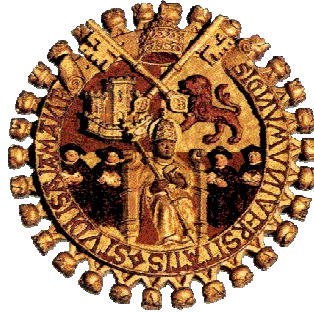


VNiVERSiDAD DE SALAMANCA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS**

INGENIERÍA MECÁNICA Y DE MATERIALES



TESiS DOCTORAL

**INVESTIGACIÓN Y APLICACIÓN DE LA
TECNOLOGÍA HÍBRIDA EN EL
DESARROLLO DE COMPONENTES DE
SEGURIDAD DE VEHÍCULOS
AUTOMÓVILES
– BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO –**

Por:

IGNACIO LOBO CASANOVA
Ingeniero de Materiales
Ingeniero Técnico Industrial Mecánico

Directores de Tesis:

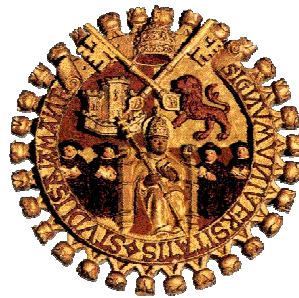
JOSÉ LUIS GONZÁLEZ FUEYO
Doctor Ingeniero Industrial

METIN ERSOY
Professor Doktor Ingenieur

Zamora, Diciembre de 2010

VNIVERSIDAD DE SALAMANCA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS**



TESIS DOCTORAL

**INVESTIGACIÓN Y APLICACIÓN DE LA
TECNOLOGÍA HÍBRIDA EN EL
DESARROLLO DE COMPONENTES DE
SEGURIDAD DE VEHÍCULOS
AUTOMÓVILES
– BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO –**

Presentado por:

IGNACIO LOBO CASANOVA

Para la obtención del Título de:

DOCTOR INGENIERO EN INGENIERÍA MECÁNICA Y DE MATERIALES

Directores de Tesis:

JOSÉ LUIS GONZÁLEZ FUEYO

METIN ERSOY

Zamora, Diciembre de 2010

A mis padres

A mi mujer

AGRADECIMIENTOS:

A través de estas líneas deseo manifestar mi reconocimiento y mi más sincera gratitud a todas aquellas personas e instituciones que, de una u otra forma, me han ayudado y apoyado hasta alcanzar este punto en mi vida académica y que fundamentalmente han contribuido en la elaboración de esta Tesis Doctoral.

En primer lugar quisiera dar las gracias a mi director de Tesis, el Doctor **D. José Luis González Fueyo** profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Superior de Zamora (Universidad de Salamanca), por la confianza depositada, su inestimable ayuda tanto humana como científica y por su colaboración y disponibilidad en todo momento.

A continuación quiero expresar mi gratitud a mi codirector de Tesis y compañero de trabajo el Prof. Doktor **D. Metin Ersoy**, Responsable del Departamento de Estudios Avanzados del Grupo ZF Lemförder GmbH y Professor Doktor en la University of Applied Sciences de Osnabrück – Fachhochschule Osnabrück– (Alemania), por conferirme la oportunidad de escribir mi Tesis Doctoral con la colaboración del Grupo ZF Lemförder GmbH y apoyarme en todo momento en el desarrollo de la misma. Sus ideas, consejos y experiencia profesional me han formado concediéndome un punto de vista más práctico de la ingeniería en cuanto se refiere a proyectos de innovación, dando de esta manera forma física a todo el trabajo de investigación desarrollado.

Al Grupo ZF Lemförder GmbH por haber hecho posible la ejecución de este trabajo poniendo a mi disposición todos los medios y recursos necesarios para su realización. En particular deseo dar las gracias a todos mis amigos, antes que compañeros, tanto de la planta en Burgos (España) como de la Central en Dielingen (Alemania), por el apoyo y la ayuda prestada, por su trabajo y dedicación en su fase experimental (prototipado y validación del concepto) así como por las facilidades brindadas en la realización de esta Tesis Doctoral. Ha

sido un placer trabajar en ese equipo; “vosotros habéis transformado en realidad este proyecto”.

Gracias también a los integrantes del Departamento de Seguridad Activa de la Fundación CIDAUT por la información proporcionada y por su dedicación en los trabajos realizados conjuntamente. En especial quiero agradecerle al doctor **D. Esteban Cañibano Álvarez**, responsable del Departamento de Seguridad Activa de la Fundación CIDAUT y profesor del Departamento de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la Universidad de Valladolid, el conjunto de consejos, comentarios y recomendaciones, siempre precisas y acertadas, que han mejorado el contenido de esta Tesis.

A todos mis antiguos compañeros de la Universidad de Burgos, más concretamente a los miembros del Departamento de Ingeniería Civil, por su confianza, colaboración y por el aliento recibido en todo momento.

A mis padres, **José Ignacio y Encarnación**, a mis hermanos, **María Teresa y Javier** y hermanos políticos, **Luis Ginés y Rebeca**, y al resto de familia por su apoyo incondicional y confianza en mi trabajo en todo momento. Ellos me han hecho llegar hasta aquí proporcionándome unos estudios y animándome siempre a alcanzar nuevas metas. Su confianza en mi me ha conducido hasta aquí y me conducirá en el futuro.

A mi esposa **Yulia**, por no dejarme caer en el desánimo, por su paciencia y comprensión y por el gran esfuerzo realizado para que todo esto fuera posible. A partir de este momento recuperaremos todo el tiempo que la Tesis te ha arrebatado.

Por último, quiero agradecer también la ayuda y apoyo que me han brindado mis amig@s y todas aquellas personas que de alguna manera han hecho posible la conclusión de este trabajo. ¡Gracias a todos por estar siempre ahí!

PRESENTACIÓN:

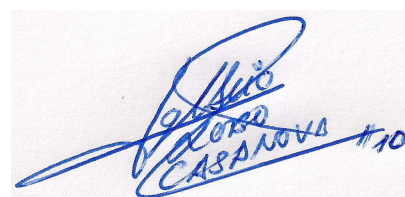
El presente documento representa la parte escrita de la *Tesis Doctoral* con título “**Investigación y Aplicación de la Tecnología Híbrida en el Desarrollo de Componentes de Seguridad de Vehículos Automóviles – Brazo de Suspensión Híbrido –**” realizada por el alumno **D. Ignacio Lobo Casanova**.

El presente Trabajo ha sido tutorado por el doctor **D. José Luis González Fueyo** profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Superior de Zamora (Universidad de Salamanca).

Asimismo los trabajos realizados en esta Tesis se encuentran ligados a las actividades de Investigación, Desarrollo e Innovación de la multinacional alemana perteneciente al sector de automoción ZF Lemförder GmbH, siendo tutorados por el doctor **D. Metin Ersoy**, Responsable del Departamento de Estudios Avanzados del Grupo ZF Lemförder GmbH y Professor Doktor en la University of Applied Sciences de Osnabrück (Alemania).

La finalidad del trabajo es la obtención del título de *Doctor Ingeniero en Ingeniería Mecánica y de Materiales* por la *Universidad de Salamanca* por parte del autor del mismo, una vez cumplidos todos los requisitos impuestos por el Tribunal.

Zamora, Octubre de 2010



D. Ignacio Lobo Casanova

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS: I

PRESENTACIÓN: I

MARCO DE LA TESIS DOCTORAL 1

MARCO TEÓRICO-TÉCNICO: I

MARCO EMPRESARIAL: IV

1.- INTRODUCCIÓN IV

2.- EL GRUPO ZF FRIEDRICHSHAFEN AG..... V

2.1.- Divisiones del Grupo ZF Friedrichshafen AG..... VI

3.- EL GRUPO ZF LEMFÖRDER GMBH..... VI

3.1.- División de Componentes de Chasis de ZF Lemförder GmbH VIII

3.2.- Plan Estratégico de ZF Lemförder GmbH IX

3.2.1.- Misión de la Empresa IX

3.2.2.- Visión de la Empresa IX

4.- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA:..... X

4.1.- Marco Empresarial..... X

4.1.1.- Referencias X

4.1.2.- Bibliografía X

BLOQUE – I – TESIS DOCTORAL 1

INTRODUCCIÓN: 2

1.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA. MOTIVACIÓN 3

2.- OBJETIVOS DE LA TESIS DOCTORAL BLOQUE I 5

 2.1.- *Objetivo Principal del Bloque I de la Tesis Doctoral* 5

 2.2.- *Objetivos Parciales del Bloque I de la Tesis Doctoral* 5

 2.2.1.- Estudio de la Importancia de los Proyectos de Innovación 5

 2.2.2.- Estudio del Concepto del Término Innovación y de los Tipos de Innovación. 6

 2.2.3.- Estudio de la Terminología Investigación y Desarrollo 6

 2.2.4.- Estudio del Proceso de Innovación y de los Principales Modelos Teóricos de los Procesos de Innovación en la Empresa. 7

3.- ESTRUCTURA DE LA TESIS BLOQUE I 8

SITUACIÓN DE PARTIDA: 11

1.- IMPORTANCIA DE LOS PROYECTOS DE INNOVACIÓN 11

ESTADO DEL CONOCIMIENTO: 14

1.- EL CONCEPTO DE INNOVACIÓN Y LA TERMINOLOGÍA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO 14

 1.1.- *Definición de Innovación* 15

 1.1.1.- Tipos de Innovación 16

 1.2.- *Definiciones de Investigación y Desarrollo* 20

 1.2.1.- Definición de Investigación 21

 1.2.2.- Definición de Desarrollo 22

2.- EL PROCESO DE INNOVACIÓN EN LA EMPRESA 23

 2.1.- *Modelos del Proceso de Innovación* 26

 2.1.1.- Modelo de Primera Generación: Modelo Lineal Empujado por la Tecnología 27

 2.1.2.- Modelo de Segunda Generación: Modelo Tiron de la Demanda 28

 2.1.3.- Modelo Híbrido de Primera y Segunda Generación: Modelo por Etapas 29

 2.1.4.- Modelo de Tercera Generación: Modelo Interactivo o Mixto 30

 2.1.5.- Modelo Evolucionado de Tercera Generación: Modelo Norma UNE 166002 33

 2.1.6.- Modelo de Cuarta Generación: Modelo Integrado 34

 2.1.7.- Modelo de Quinta Generación: Modelo de Red 35

METODOLOGÍA - RESULTADOS: 38

1.- EL PROYECTO DE INNOVACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL 38

 1.1.- *Tipo de Innovación* 39

 1.1.1.- Recapitulación: Tabla Resumen de los Tipos de Innovación 39

 1.1.2.- Recapitulación: Tabla Resumen de los Rasgos Esenciales de Investigación y Desarrollo 40

 1.1.3.- Tipo de Innovación a Desarrollar en el Bloque II 41

 1.2.- *Gestión del Proceso de Innovación* 43

 1.2.1.- Recapitulación: Tabla Resumen de los Modelos de Gestión del Proceso de Innovación 43

 1.2.2.- Modelo del Proceso de Innovación para el Bloque II 45

CONCLUSIONES: 50

1.- CONCLUSIONES SOBRE EL CONCEPTO DE INNOVACIÓN 50

2.- CONCLUSIONES SOBRE LOS MODELOS TEÓRICOS DEL PROCESO DE INNOVACIÓN 52

3.- CONCLUSIONES FINALES SOBRE LA INNOVACIÓN Y EL MODELO DEL PROCESO DE INNOVACIÓN.....	55
3.1.- <i>Requisitos para Lograr una Innovación con Éxito</i>	55
3.2.- <i>El Modelo de Innovación Propuesto para el Bloque II</i>	56

LITERATURA CITADA. BIBLIOGRAFÍA: 58

1.- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA:.....	58
1.1.- <i>Bloque I: El Proyecto de Innovación en la Empresa</i>	58
1.1.1.- Referencias	58
1.1.2.- Bibliografía	59

BLOQUE – II – TESIS DOCTORAL 61

INTRODUCCIÓN 62

1.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA. MOTIVACIÓN	63
2.- OBJETIVOS DE LA TESIS DOCTORAL BLOQUE II.....	65
2.1.- <i>Objetivo Principal del Bloque II de la Tesis Doctoral</i>	65
2.2.- <i>Objetivos Parciales Técnicos del Bloque II de la Tesis Doctoral</i>	66
2.2.1.- <i>Prospección de las Necesidades del Mercado</i>	66
2.2.2.- <i>Estudio del Estado del Arte del Producto y de sus Procesos Productivos</i>	67
2.2.3.- <i>Determinación de la Solución Idónea</i>	67
2.2.4.- <i>Definición del Concepto del Producto y del Proceso Productivo</i>	68
2.2.5.- <i>Definición y Optimización del Producto y del Proceso Productivo</i>	68
2.3.- <i>Objetivos Parciales Empresariales del Bloque II de la Tesis Doctoral</i>	71
2.3.1.- <i>Diversificar la producción de la empresa. Potenciar el desarrollo de brazos de suspensión con mayor valor añadido</i>	71
2.3.2.- <i>Fortalecer la imagen vanguardista de la empresa</i>	72
2.3.3.- <i>Conseguir una posición preferente frente a la competencia en este tipo de componentes</i>	72
3.- ESTRUCTURA DE LA TESIS BLOQUE II	73

ANÁLISIS PRE-INNOVACIÓN 78

SITUACIÓN DE PARTIDA: 78

1.- DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA GLOBAL	79
2.- DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA LOCAL.....	81
3.- DETERMINACIÓN DE LOS REQUISITOS SOCIOECONÓMICOS	82
3.1.- <i>Factores que Condicionan a la Industria del Automóvil</i>	82
3.1.1.- <i>El Desarrollo Estratégico del Mercado</i>	82
3.1.2.- <i>Desarrollo de Nuevos Segmentos de Vehículos Automóviles y la Aplicación de Nuevos Materiales</i>	84
3.1.3.- <i>Los Requisitos Medioambientales</i>	86
3.1.4.- <i>Reducción del Tiempo de Desarrollo y Costes</i>	92
3.2.- <i>Recapitulación: Problemática de la Industria del Automóvil</i>	94

NECESIDAD DE INNOVACIÓN: 97

1.- AFECTACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE ZF LEMFÖRDER GMBH	97
1.1.- <i>Necesidad de Innovación para el Brazo de Suspensión</i>	100
1.1.1.- <i>Descripción de la Metodología para el Estudio del Ciclo de Vida</i>	100

1.1.2.- Determinación de las Fases del Ciclo de Vida de los Brazos de Suspensión ofertados por ZF Lemförder GmbH en la Actualidad 103

1.1.3.- Resultados del Análisis del Ciclo de Vida de los Brazos de Suspensión ofertados por ZF Lemförder GmbH en la Actualidad 104

LITERATURA CITADA. BIBLIOGRAFÍA: 107

1.- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA:..... 107

1.1.- Bloque II: Análisis Pre-Innovación 107

1.1.1.- Referencias 107

1.1.2.- Bibliografía 108

GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE IDEAS & SOLUCIONES: 109

ESTADO DEL CONOCIMIENTO:..... 109

1.- EL VEHÍCULO AUTOMÓVIL EN SU CONJUNTO 110

1.1.- El Concepto de Vehículo Automóvil..... 111

1.2.- Clasificación de los Vehículos Automóviles 111

1.3.- Estructura del Vehículo Automóvil..... 114

1.3.1.- Distribución de Pesos/Materiales en la Estructura del Vehículo Automóvil 115

1.4.- El Sistema de Referencia del Vehículo Automóvil 116

2.- EL SISTEMA CHASIS DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL 118

2.1.- Descripción del Sistema Chasis del Vehículo Automóvil..... 118

2.1.1.- Concepto y Funcionalidad del Sistema Chasis del Vehículo Automóvil 118

2.1.2.- Estructura del Sistema Chasis del Vehículo Automóvil..... 119

3.- EL SISTEMA SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL 120

3.1.- Descripción de los Sistemas de Suspensión para el Vehículo Automóvil 121

3.1.1.- Concepto y Funcionalidad del Sistema Suspensión del Vehículo Automóvil..... 121

3.1.2.- Requisito Especial del Sistema Suspensión del Vehículo Automóvil 123

3.1.3.- Estructura del Sistema Suspensión del Vehículo Automóvil 124

3.2.- Estudio de los Sistemas de Suspensión para el Vehículo Automóvil..... 125

3.2.1.- Suspensiones rígidas 126

3.2.2.- Suspensión semirrígida..... 127

3.2.3.- Suspensión independiente 129

3.3.- Tipología de los Sistemas de Suspensión del Vehículo Automóvil..... 131

3.4.- Distribución de los Sistemas de Suspensión por Segmentos de Vehículos Automóviles..... 132

4.- EL BRAZO DE SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL 135

4.1.- Descripción del Brazo de Suspensión del Vehículo Automóvil..... 135

4.1.1.- Concepto y Funcionalidad del Brazo de Suspensión del Vehículo Automóvil 135

4.1.2.- Requisitos del Brazo de Suspensión del Vehículo Automóvil 136

4.1.3.- Estructura del Brazo de Suspensión del Vehículo Automóvil 137

4.2.- Tipología del Brazo de Suspensión del Vehículo Automóvil 146

4.2.1.- Brazo de Suspensión de 2 Puntos..... 146

4.2.2.- Brazo de Suspensión de 3 Puntos..... 147

4.2.3.- Brazo de Suspensión de 4 Puntos..... 148

4.3.- El Brazo de Suspensión en el Vehículo Automóvil 149

5.- DETERMINACIÓN DE LOS REQUISITOS FUNCIONALES 151

ESTUDIO DE SOLUCIONES:	153
1.- DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA A UTILIZAR	153
1.1.- <i>Método del Análisis Morfológico de Ideas o Método de Zwicky</i>	154
1.1.1.- Fases del Análisis Morfológico de Ideas o Método de Zwicky.....	156
1.2.- <i>Método de Comparativa Matricial Dos a Dos</i>	156
2.- DETERMINACIÓN DE LA SOLUCIÓN IDÓNEA	158
2.1.- <i>Fase 1: Análisis y Definición del Problema y de los Criterios de Selección y Evaluación de Soluciones</i> ...	158
2.1.1.- Análisis y Definición del Problema.....	158
2.1.2.- Definición del Concepto de Brazo de Suspensión: Segmentos A & B.....	160
2.1.3.- Definición de los Campos de Investigación para la Generación de Soluciones	164
2.1.4.- Definición de los Criterios Evaluación de las Posibles Soluciones	166
2.2.- <i>Fase 2: Identificación de los Parámetros y Variables</i>	168
2.2.1.- Definición de los Parámetros Caracterizadores del Problema	168
2.2.2.- Descripción de los Parámetros y Variantes Caracterizadores del Problema	170
2.3.- <i>Fase 3: Construcción de la Matriz Multidimensional</i>	203
2.4.- <i>Fase 4: Identificación / Generación de Soluciones</i>	204
2.5.- <i>Fase 5: Determinación de la Solución Idónea</i>	208
2.5.1.- Evaluación de las Soluciones	208
2.5.2.- Análisis de los Resultados de la Evaluación Final.....	210
LITERATURA CITADA. BIBLIOGRAFÍA:	212
1.- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA:	212
1.1.- <i>Bloque II: Generación y Evaluación de Ideas & Soluciones</i>	212
1.1.1.- Referencias	212
1.1.2.- Bibliografía	213
DEFINICIÓN DEL CONCEPTO “PRODUCTO-PROCESO”:	215
DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN IDÓNEA	216
1.- DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA	216
1.1.- <i>Concepto y Definición de Tecnología Híbrida</i>	216
1.2.- <i>Unión de Elementos/Componentes en la Tecnología Híbrida</i>	219
1.2.1.- Unión Directa en el Proceso de Inyección. In-Mold Assembly (IMA)	220
1.2.2.- Unión Posterior al Proceso de Inyección. Post-Mold Assembly. PMA.....	221
2.- ANÁLISIS Y ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO	222
2.1.- <i>Estado del Arte: Procesos Productivos para Componentes Híbridos Metal – Plástico en el Automóvil</i> ... 222	
2.1.1.- Insert Molding	223
2.1.2.- Outsert Molding	223
2.1.3.- Tecnología Híbrida Metal – Plástico	224
2.2.- <i>Estudio de Patentes: Tecnología Híbrida Metal – Plástico</i>	227
DEFINICIÓN DEL CONCEPTO “PRODUCTO Y PROCESO”	228
1.- DESCRIPCIÓN DEL CONCEPTO. INNOVACIÓN Y NOVEDAD	228
1.1.- <i>Innovación y Novedad del Proyecto</i>	232
1.2.- <i>Avances Científicos y Técnicos que Propone el Proyecto</i>	233
2.- DEFINICIÓN DEL CONCEPTO	235
2.1.- <i>Estudio y Selección de Materiales</i>	236
2.1.1.- Material Metálico. Chapa de Acero.....	236

2.1.2.- Material Polimérico Termoplástico	270
2.1.3.- Material de Refuerzo para el Material Polimérico Termoplástico.....	284
2.2.- <i>Diseño del Producto</i>	286
2.2.1.- Definición de la Construcción Geométrica del Nervado Plástico	286
2.3.- <i>Diseño del Proceso Productivo</i>	293
2.3.1.- Proceso de Conformado por Estampación/Embutición	293
2.3.2.- Proceso de Moldeo por Inyección	300
3.- FACTIBILIDAD CONCEPTO: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO	313
3.1.- <i>Factibilidad Diseño Producto: Brazo de Suspensión Híbrido</i>	314
3.1.1.- Definición de la Geometría CAD	314
3.1.2.- Selección de Materiales.....	315
3.1.3.- Definición del Modelo para Cálculo MEF	315
3.1.4.- Resultados Cálculo MEF	316
3.1.5.- Discusión de los Resultados Obtenidos	320
3.2.- <i>Factibilidad Proceso Productivo: Brazo de Suspensión Híbrido</i>	321
3.2.1.- Factibilidad Proceso de Conformado por Estampación/Embutición	321
3.2.2.- Factibilidad Proceso de Moldeo por Inyección.....	324
3.3.- <i>Conclusiones Análisis Factibilidad Diseño Producto–Proceso Productivo: Brazo de Suspensión Híbrido</i>	326
PROTECCIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL DE LOS RESULTADOS.....	328
1.- PROTECCIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL.....	328
LITERATURA CITADA. BIBLIOGRAFÍA:	330
1.- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA:.....	330
1.1.- <i>Bloque II: Definición del Concepto “Producto – Proceso”</i>	330
1.1.1.- Referencias	330
1.1.2.- Bibliografía	331
DEFINICIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO “PRODUCTO &_amp; PROCESO”:	333
INTRODUCCIÓN.....	333
1.- ESTRUCTURA Y PLAN DE TRABAJO. FASES DEL PROYECTO.....	335
2.- RESUMEN DE LAS FASES DEL PROYECTO	336
3.- OBJETIVOS E HITOS DE LAS FASES–TAREAS DEL PROYECTO	338
DESARROLLO TEÓRICO DEL COMPONENTE	340
1.- DEFINICIÓN DEL CUADERNO DE CARGAS	340
1.1.- <i>Definición del Coche Piloto</i>	340
1.1.1.- Características del Coche Piloto	341
1.1.2.- Cuaderno de Cargas del Coche Piloto.....	343
1.2.- <i>Determinación del Cuaderno de Cargas Mediante Simulación Multicuerpos</i>	345
1.3.- <i>Conclusiones de la Simulación Multicuerpos</i>	349
2.- ESTUDIO, SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	350
2.1.- <i>Material Metálico. Chapa de Acero de Alto Límite Elástico</i>	350
2.1.1.- Caracterización Chapa de Acero HC420LA	352
2.1.2.- Caracterización Chapa de Acero DP600	361
2.2.- <i>Material Polimérico Termoplástico</i>	367
2.2.1.- Caracterización Mediante Ensayo de Tracción.....	370
2.2.2.- Selección del Material Polimérico Termoplástico	373

2.3.- Conclusiones del Estudio, Selección y Caracterización de Materiales	374
3.- DISEÑO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO	375
3.1.- Definición de la Geometría CAD.....	376
3.1.1.- Modelo CAD Rótula de Suspensión	378
3.1.2.- Modelo CAD Silentblocks Delantero y Trasero.....	379
3.1.3.- Modelo CAD Chapa de Acero Estampada/Embutida.....	380
3.1.4.- Modelo CAD Estructura Nervada de Material Plástico.....	382
3.2.- Definición del Modelo para Cálculo MEF: Diseño Producto	384
3.2.1.- Definición de los Puntos Cinemáticos y Ejes Coordinados de Referencia	384
3.2.2.- Definición del Cuaderno de Cargas a Simular y Condiciones de Contorno.....	385
3.2.3.- Definición del Mallado.....	388
3.2.4.- Definición del Software a Emplear	389
3.3.- Resultados de los Cálculos MEF	390
3.3.1.- Cálculo de la Rigidez Longitudinal del Brazo de Suspensión Híbrido Metal – Plástico	391
3.3.2.- Resultados Estudio MEF del Proceso de Conformado de la Chapa de Acero	402
3.4.- Diseño Final del Componente: Fabricación de Prototipos	406
3.5.- Conclusiones del Diseño del Brazo de Suspensión Híbrido	407
DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL COMPONENTE	409
1.- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UTILLAJES PARA LA FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS	409
1.1.- Desarrollo y Construcción de Utillajes Para el Conformado de la Chapa de Acero	410
1.2.- Desarrollo y Construcción de Utillajes Para el Conformado de la Chapa de Acero	412
2.- FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS	413
2.1.- Conformado de la Chapa de Acero del Brazo de Suspensión Híbrido.....	414
2.2.- Fabricación de la Rótula de Suspensión	416
2.3.- Moldeo por Inyección del Material Termoplástico.....	417
2.4.- Montaje Final.....	418
2.5.- Conclusiones del Diseño y Construcción de Utillajes y la Fabricación de Prototipos	418
3.- VALIDACIÓN DE LOS PROTOTIPOS.....	419
3.1.- Diseño y Fabricación de los Utillajes para la Validación de los Prototipos.....	419
3.2.- Contraste de los Resultados Teóricos con los Resultados Experimentales	421
3.3.- Ajuste de los Modelos de Simulación MEF.....	423
3.4.- Realización de los Ensayos de Validación.....	424
3.5.- Conclusiones de la Validación de los Prototipos	426
4.- DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO	427
4.1.- Definición del Concepto para el Proceso Productivo	428
4.2.- Escenarios para la Producción	430
4.3.- Definición del Lay-Out para el Concepto de Fabricación.....	431
4.4.- Conclusiones del Diseño del Proceso Productivo	432
CONCLUSIONES.....	434
1.- CONCLUSIONES DE LA FASE PRE - INNOVACIÓN	436
2.- CONCLUSIONES DE LA FASE DE GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE IDEAS	437
3.- CONCLUSIONES DE LA FASE DE DEFINICIÓN DEL CONCEPTO DEL PRODUCTO/PROCESO.....	438

3.1.- Conclusiones del Análisis Factibilidad Diseño Producto–Proceso: Brazo de Suspensión Híbrido.....	440
4.- CONCLUSIONES DE LA FASE DE DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL PRODUCTO/PROCESO.....	441
4.1.- Conclusiones de la Determinación del Cuaderno de Cargas.....	441
4.2.- Conclusiones del Estudio, Selección y Caracterización de Materiales.....	442
4.3.- Conclusiones del Diseño del Brazo de Suspensión Híbrido.....	443
4.4.- Conclusiones del Diseño y Construcción de Utilajes y la Fabricación de Prototipos.....	443
4.5.- Conclusiones de la Validación de los Prototipos.....	444
4.6.- Conclusiones del Diseño del Proceso Productivo.....	445

ÍNDICE IMÁGENES:

FIGURA 1:	ESTRUCTURA GLOBAL DE LA TESIS DOCTORAL.....	II
FIGURA 2:	PLANTAS Y VOLUMEN DE VENTAS DE ZF FRIEDRICHSHAFEN AG EN 2008	V
FIGURA 3:	DIVISIONES DEL GRUPO ZF FRIEDRICHSHAFEN AG	VI
FIGURA 4:	UNIDADES DE ESTRATÉGIAS DE NEGOCIO Y CLIENTES DE ZF LEMFÖRDER GMBH.....	VII
FIGURA 5:	GAMA DE PRODUCTOS DE ZF LEMFÖRDER GMBH	VII
FIGURA 6:	UBICACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE ZF LEMFÖRDER GMBH EN EL VEHÍCULO AUTOMÓVIL	VIII
FIGURA 7:	COMPONENTES DE CHASIS FABRICADOS POR ZF LEMFÖRDER GMBH	VIII
FIGURA 8:	ESTRUCTURA BLOQUE I DE LA TESIS DOCTORAL	8
FIGURA 9:	GASTO EN I+D+I EN PORCENTAJE DEL PIB (INE 2009).....	13
FIGURA 10:	CORRELACIÓN ENTRE INVERSIÓN EN I+D+I Y GENERACIÓN DE EMPLEO	13
FIGURA 11:	INTERACCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DEL PROCESO DE INNOVACIÓN	23
FIGURA 12:	MODELO DE PRIMERA GENERACIÓN. MODELO LINEAL EMPUJADO POR LA TECNOLOGÍA.....	27
FIGURA 13:	MODELO DE SEGUNDA GENERACIÓN. MODELO TIRÓN DE LA DEMANDA	28
FIGURA 14:	MODELO HÍBRIDO DE PRIMERA Y SEGUNDA GENERACIÓN: MODELO POR ETAPAS	29
FIGURA 15:	MODELO DE TERCERA GENERACIÓN MODELO INTERACTIVO/MIXTO	31
FIGURA 16:	MODELO EVOLUCIONADO DE TERCERA GENERACIÓN: MODELO NORMA UNE 166002.....	33
FIGURA 17:	MODELO DE CUARTA GENERACIÓN: MODELO INTEGRADO	34
FIGURA 18:	MODELO DE QUINTA GENERACIÓN: MODELO DE RED	36
FIGURA 19:	TIPO DE PROYECTO DE INNOVACIÓN A REALIZAR EN EL BLOQUE II	41
FIGURA 20:	MODELO DEL PROCESO DE INNOVACIÓN PARA EL BLOQUE II	45
FIGURA 21:	FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO DE INNOVACIÓN DEL BLOQUE II	48
FIGURA 22:	FACTORES QUE CONDICIONAN LA INNOVACIÓN	52
FIGURA 23:	METODOLOGÍA PARA LA CONSECUCCIÓN DEL OBJETIVO DEL BLOQUE II.....	65
FIGURA 24:	MODELO DEL PROCESO DE INNOVACIÓN PARA EL BLOQUE II	73
FIGURA 25:	FASES DEL MODELO DEL PROCESO DE INNOVACIÓN DENTRO DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN DEL BLOQUE II	74
FIGURA 26:	ESTRUCTURA DEL BLOQUE II DE LA TESIS DOCTORAL.....	74
FIGURA 27:	ACTIVIDADES DE LA FASE PRE-INNOVACIÓN	75
FIGURA 28:	ACTIVIDADES DE LA FASE GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE IDEAS.....	76
FIGURA 29:	ACTIVIDADES DE LA FASE DE DEFINICIÓN DEL CONCEPTO	76
FIGURA 30:	ACTIVIDADES DE LA FASE DE DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROCESO PRODUCTIVO	76
FIGURA 31:	METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA PROBLEMÁTICA DEL AUTOMÓVIL - NECESIDADES DEL MERCADO.	79
FIGURA 32:	FACTORES QUE CONDICIONAN A LA INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL GLOBAL.....	80

FIGURA 33:	EFFECTO CASACA DE LA PROBLEMÁTICA DEL SECTOR DEL AUTOMÓVIL	81
FIGURA 34:	FACTORES QUE CONDICIONAN A ZF LEMFÖRDER GMBH	82
FIGURA 35:	EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES [11]	83
FIGURA 36:	CRECIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES	83
FIGURA 37:	EVOLUCIÓN DE LA OFERTA DE NUEVOS SEGMENTOS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES	84
FIGURA 38:	EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE VEHÍCULOS SEGÚN SEGMENTOS DE MERCADO.....	85
FIGURA 39:	EVOLUCIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE MATERIALES EN LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES	86
FIGURA 40:	EMISIONES DE CO2 DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES EN LA UNIÓN EUROPEA	88
FIGURA 41:	DISTRIBUCIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES VENDIDOS /EMISIONES DE CO2	88
FIGURA 42:	MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES	89
FIGURA 43:	EVOLUCIÓN DE LAS MEJORAS EN LA EFECTIVIDAD DE LOS MOTORES	90
FIGURA 44:	INFLUENCIA DEL PESO DE LOS VEHÍCULOS	90
FIGURA 45:	EVOLUCIÓN DEL PESO DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES 1970-2006 (SEGMENTO C).....	91
FIGURA 46:	FASES DEL DESARROLLO DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL	92
FIGURA 47:	COMPONENTES DE CHASIS PARA EL EJE DELANTERO FABRICADOS POR ZF LEMFÖRDER GMBH.....	98
FIGURA 48:	ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE LOS PRODUCTOS Y SUS TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN	100
FIGURA 49:	COMPARATIVA COSTES – PESO DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN DE ZF LEMFÖRDER GMBH	105
FIGURA 50:	EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN DE ZF LEMFÖRDER GMBH	105
FIGURA 51:	CICLO DE VIDA DE LOS DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN DE ZF LEMFÖRDER GMBH	106
FIGURA 52:	METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LOS REQUISITOS FUNCIONALES DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN	110
FIGURA 53:	SEGMENTOS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES EN EL MERCADO	111
FIGURA 54:	VISTA EXPLOSIONADA DE LA ESTRUCTURA DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL	114
FIGURA 55:	ESTRUCTURA DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL.....	115
FIGURA 56:	DISTRIBUCIÓN DE PESOS EN UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL DEL SEGMENTO A (FIAT 500)	115
FIGURA 57:	DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES EN UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL DEL SEGMENTO A (FIAT 500)	116
FIGURA 58:	SISTEMAS DE REFERENCIA LIGADO AL VEHÍCULO SEGÚN NORMA SAE J670E Y NORMA ISO 8855	117
FIGURA 59:	EJES DE TRASLACIÓN Y ROTACIÓN DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL SEGÚN NORMA ISO 8855	118
FIGURA 60:	EVOLUCIÓN DEL SISTEMA CHASIS DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL.....	119
FIGURA 61:	ESTRUCTURA DEL SISTEMA CHASIS PARA UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL	120
FIGURA 62:	CONTACTO Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS ENTRE EL VEHÍCULO AUTOMÓVIL- PAVIMENTO.....	121
FIGURA 63:	RELACIÓN FUNCIONES-REQUISITOS-COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL SISTEMA SUSPENSIÓN	122
FIGURA 64:	EFFECTO DE LA MASA NO SUSPENDIDA EN LA RESPUESTA DINÁMICA	123
FIGURA 65:	ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL	124
FIGURA 66:	EXPLOSIÓN DEL SISTEMA EJE DELANTERO DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL (AUDI Q7)	124
FIGURA 67:	EJEMPLO SISTEMA SUSPENSIÓN RÍGIDO.....	126
FIGURA 68:	CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS SUSPENSIÓN RÍGIDOS	127
FIGURA 69:	EJEMPLO SISTEMA SUSPENSIÓN SEMIRRÍGIDO	127
FIGURA 70:	CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS SUSPENSIÓN SEMIRRÍGIDOS	128
FIGURA 71:	EJEMPLO SISTEMA SUSPENSIÓN INDEPENDIENTE	129
FIGURA 72:	CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS SUSPENSIÓN INDEPENDIENTES (MC PHERSON).....	130
FIGURA 73:	DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN PARA EL EJE DELANTERO	134
FIGURA 74:	DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN PARA EL EJE TRASERO.....	134
FIGURA 75:	UNIÓN MANGUETA – BRAZO DE SUSPENSIÓN – BASTIDOR O SUBFRAME	136
FIGURA 76:	ESTRUCTURA DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL	138
FIGURA 77:	TIPOLOGÍA DE LAS ARTICULACIONES INTEGRADAS EN EL BRAZO DE SUSPENSIÓN	139
FIGURA 78:	GRADOS DE LIBERTAD DE LA RÓTULA DE SUSPENSIÓN.....	142
FIGURA 79:	ELEMENTOS DE LA RÓTULA.....	143
FIGURA 80:	GRADOS DE LIBERTAD DEL SILENTBLOCK.....	144
FIGURA 81:	ELEMENTOS DEL SILENTBLOCK	146

FIGURA 82:	TIPOLOGÍA DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL	146
FIGURA 83:	BRAZO DE SUSPENSIÓN DE 2 PUNTOS	147
FIGURA 84:	BRAZO DE SUSPENSIÓN DE 3 PUNTOS	148
FIGURA 85:	BRAZO DE SUSPENSIÓN DE 4 PUNTOS	148
FIGURA 86:	EL BRAZO DE SUSPENSIÓN EN EL VEHÍCULO AUTOMÓVIL	149
FIGURA 87:	ANÁLISIS MORFOLÓGICO DE IDEAS: DESCOMPOSICIÓN DEL PROBLEMA EN SUS FUNCIONES	154
FIGURA 88:	FASES DEL ANÁLISIS MORFOLÓGICO DE IDEAS O MÉTODO DE ZWICKY.....	156
FIGURA 89:	MÉTODO DE COMPARACIÓN MATRICIAL DOS A DOS.....	157
FIGURA 90:	PROCESO PARA EL ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	158
FIGURA 91:	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN PARA EL FUTURO BRAZO DE SUSPENSIÓN.....	159
FIGURA 92:	SISTEMA DE SUSPENSIÓN McPHERSON	161
FIGURA 93:	SISTEMA DE SUSPENSIÓN Mc PHERSON EN EL EJE DELANTERO.....	163
FIGURA 94:	SISTEMA DE SUSPENSIÓN Mc PHERSON EN EL EJE TRASERO	163
FIGURA 95:	ESTRUCTURA DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN Mc PHERSON	164
FIGURA 96:	RELACIÓN ENTRE LOS COSTES Y EL PESO PARA EL NUEVO COMPONENTE	165
FIGURA 97:	MATRIZ PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	167
FIGURA 98:	PESO ESPECÍFICO DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN	167
FIGURA 99:	CAMPOS DE INVESTIGACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE SOLUCIONES	168
FIGURA 100:	FUNCIONES QUE INTEGRAN EL BRAZO DE SUSPENSIÓN	169
FIGURA 101:	MAPA MENTAL PARÁMETROS CARACTERIZADORES Y VARIABLES DE LA FUNCIÓN ELEMENTO ESTRUCTURAL	169
FIGURA 102:	MAPA MENTAL PARÁMETROS CARACTERIZADORES Y VARIABLES DE LA FUNCIÓN RÓTULA	170
FIGURA 103:	MAPA MENTAL PARÁMETROS CARACTERIZADORES Y VARIABLES DE LA FUNCIÓN SILENTBLOCK	170
FIGURA 104:	PROCESOS DE FABRICACIÓN SEGÚN NORMA DIN 8580:2003-09	172
FIGURA 105:	PROCESO DE FUNDICIÓN EN MOLDE DE ARENA Y EN MOLDE METÁLICO O COQUILLA.....	175
FIGURA 106:	PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN	176
FIGURA 107:	PROCESO DE CONFORMADO POR FORJA.....	177
FIGURA 108:	PROCESO DE CONFORMADO POR CONFORMADO DE CHAPA. ESTAMPACIÓN	179
FIGURA 109:	PROCESO POR MOLDEO POR TRANSFERENCIA DE RESINA (RTM)	180
FIGURA 110:	PROCESO DE FABRICACIÓN POR APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA	181
FIGURA 111:	INTEGRACIÓN POR COMPRESIÓN: ATORNILLADO.....	183
FIGURA 112:	INTEGRACIÓN POR COMPRESIÓN: UNIÓN POR AJUSTE PENSADO	183
FIGURA 113:	INTEGRACIÓN POR COMPRESIÓN: UNIÓN POR MOLDEO POR INYECCIÓN.....	184
FIGURA 114:	INTEGRACIÓN POR DEFORMACIÓN: UNIÓN POR REMACHES	185
FIGURA 115:	INTEGRACIÓN POR SOLDADURA: SOLDADURA LASER	186
FIGURA 116:	METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES. DIAGRAMAS DE ASHBY - CES-SELECTOR.....	191
FIGURA 117:	DIAGRAMAS DE ASHBY PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.....	192
FIGURA 118:	ELEMENTO ESTRUCTURAL DE CONSTRUCCIÓN SIMPLE (IZQDA.) Y COMPUESTA (DCHA.).....	193
FIGURA 119:	CONCEPTO RÓTULA – CARCASA CON PALA	194
FIGURA 120:	CONCEPTO RÓTULA – CARCASA CILÍNDRICA.....	194
FIGURA 121:	CONCEPTO RÓTULA – CARCASA INTEGRADA	195
FIGURA 122:	SILENTBLOCK CON ANILLO EXTERIOR	195
FIGURA 123:	SILENTBLOCK SIN ANILLO EXTERIOR.....	196
FIGURA 124:	PROCESO DE PINTADO POR CATAFORESIS	199
FIGURA 125:	AUTODEPOSITION COATING TECHNOLOGY: AQUENCE®	200
FIGURA 126:	GALVANIZADO O ZINCADO ELECTROLÍTICO.....	201
FIGURA 127:	MATRIZ MORFOLÓGICA PARA EL BRAZO DE SUSPENSIÓN	203
FIGURA 128:	PROCESO DE GENERACIÓN DE SOLUCIONES CON LA MATRIZ MORFOLÓGICA	205
FIGURA 129:	METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE PROCESOS PRODUCTIVOS - CES-SELECTOR	206
FIGURA 130:	MAPAS DE PROCESOS PRODUCTIVOS PARA LA ELIMINACIÓN DE LAS SOLUCIONES INVIABLES	206

FIGURA 131: POSIBLES SOLUCIONES PARA EL NUEVO CONCEPTO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN	207
FIGURA 132: DETALLE POSIBLES SOLUCIONES PARA EL NUEVO CONCEPTO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN	208
FIGURA 133: EJEMPLO: EVALUACIÓN DE LAS SOLUCIONES MEDIANTE COMPARACIÓN MATRICIAL DOS A DOS	209
FIGURA 134: RESULTADOS ANÁLISIS SOLUCIÓN IDÓNEA PARA LOS DIFERENTES MATERIALES	209
FIGURA 135: RESULTADOS DE LA COMPARATIVA MULTI-MATERIAL	210
FIGURA 136: TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL - PLÁSTICO	217
FIGURA 137: COMPARATIVA RESISTENCIA: TECNOLOGÍA HÍBRIDA, PERFIL DE METAL ABIERTO Y CERRADO	219
FIGURA 138: MECANISMOS DE UNIÓN DE COMPONENTES EN LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA.....	219
FIGURA 139: PROCESO PRODUCTIVO DE UNIÓN IN-MOLD ASSEMBLY. IMA	220
FIGURA 140: TIPOS DE UNIÓN PARA IN-MOLD ASSEMBLY	221
FIGURA 141: PROCESO PRODUCTIVO DE UNIÓN IN-MOLD ASSEMBLY. PMA	221
FIGURA 142: TIPO DE UNIÓN PARA POST-MOLD ASSEMBLY	222
FIGURA 143: ESTADO DEL ARTE PROCESO PRODUCTIVO: INSERT MOLDING.....	223
FIGURA 144: ESTADO DEL ARTE PROCESO PRODUCTIVO: INSERT MOLDING.....	224
FIGURA 145: ESTADO DEL ARTE PROCESO PRODUCTIVO: TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO	225
FIGURA 146: PROYECTO CARMAT: PUERTA FABRICADA CON TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO	226
FIGURA 147: FRONTAL AUDI TT FABRICADO CON TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO.....	226
FIGURA 148: DEFINICIÓN CONCEPTO BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO METAL - PLÁSTICO	228
FIGURA 149: LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL - PLÁSTICO.....	229
FIGURA 150: CONOCIMIENTO-COMPETITIVIDAD-PRODUCCIÓN- MERCADO-INVESTIGACIÓN-CONOCIMIENTO.....	231
FIGURA 151: INNOVACIÓN Y NOVEDAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO METAL - PLÁSTICO	232
FIGURA 152: METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL CONCEPTO: TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO	235
FIGURA 153: FAMILIAS METALÚRGICAS DE LOS ACEROS DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO.....	236
FIGURA 154: ENSAYO DE TRACCIÓN. CURVA DE TRACCIÓN. FORMA DE LA PROBETA DE TRACCIÓN	240
FIGURA 155: FORMA DE LA CURVA DE TENSIÓN-DEFORMACIÓN METALES.....	241
FIGURA 156: CURVA TENSIÓN – DEFORMACIÓN TRAS DESCARGA	243
FIGURA 157: CICLO DE HISTÉRESIS CURVA TENSIÓN – DEFORMACIÓN	244
FIGURA 158: RELACIÓN MÉTODOS /ENFOQUES DEL CÁLCULO DE FATIGA	244
FIGURA 159: RELACIÓN/CURVA TENSIÓN – VIDA	246
FIGURA 160: RELACIÓN/CURVA DEFORMACIÓN ELÁSTICA – VIDA	247
FIGURA 161: RELACIÓN/CURVA DEFORMACIÓN PLÁSTICA – VIDA.....	247
FIGURA 162: RELACIÓN/CURVA DEFORMACIÓN – VIDA	248
FIGURA 163: CORRECCIÓN DE MORROW CURVA DEFORMACIÓN – VIDA	250
FIGURA 164: CORRECCIÓN DE SMITH-WATSON-TOPPER CURVA DEFORMACIÓN – VIDA.....	251
FIGURA 165: ANÁLISIS DEL DIAGRAMA LÍMITE DE CONFORMADO	252
FIGURA 166: ANÁLISIS DE LA FACILIDAD DE ÉSTAMPACIÓN DE LAS DIFERENTES FAMILIAS DE ACEROS	252
FIGURA 167: CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO	253
FIGURA 168: MICROESTRUCTURA Y CURVA DE TENSIÓN - DEFORMACIÓN DE UN ACERO DP	254
FIGURA 169: PROPIEDADES MECÁNICAS Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS DP.....	255
FIGURA 170: CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS DP.....	256
FIGURA 171: MICROESTRUCTURA Y CURVA DE TENSIÓN - DEFORMACIÓN DE UN ACERO TRIP	256
FIGURA 172: PROPIEDADES MECÁNICAS Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS TRIP	257
FIGURA 173: CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS TRIP	258
FIGURA 174: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO CP.....	258
FIGURA 175: PROPIEDADES MECÁNICAS: ACEROS CP	259
FIGURA 176: CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN/CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS CP	259
FIGURA 177: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO FB	260
FIGURA 178: PROPIEDADES MECÁNICAS: ACEROS FB FERRÍTICOS-BAINÍTICOS	260
FIGURA 179: CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN/CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS FB	260

FIGURA 180: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO HSLA.....	261
FIGURA 181: PROPIEDADES MECÁNICAS Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS HSLA	261
FIGURA 182: CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS HSLA	262
FIGURA 183: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO IF	262
FIGURA 184: PROPIEDADES MECÁNICAS Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS IF	263
FIGURA 185: CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS IF	263
FIGURA 186: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO HS.....	263
FIGURA 187: PROPIEDADES MECÁNICAS Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS HS	264
FIGURA 188: CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS HS.....	264
FIGURA 189: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO BH	264
FIGURA 190: PROPIEDADES MECÁNICAS Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS BH	265
FIGURA 191: PROPIEDADES MECÁNICAS ACERO IS	266
FIGURA 192: MICROESTRUCTURA Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS IS.....	266
FIGURA 193: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO ALTA CONFORMABILIDAD	266
FIGURA 194: RELACIÓN COSTES – RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ACEROS PARA ESTAMPACIÓN	268
FIGURA 195: CLASIFICACIÓN DE LOS TERMOPLÁSTICOS SEGÚN SU ORDENAMIENTO MOLECULAR.....	271
FIGURA 196: ENSAYO DE TRACCIÓN. CURVA DE TRACCIÓN. FORMA DE LA PROBETA DE TRACCIÓN	272
FIGURA 197: FORMA DE LA CURVA DE TENSIÓN-DEFORMACIÓN POLÍMEROS.....	273
FIGURA 198: CAMBIO DE VOLUMEN ESPECÍFICO CON LA TEMPERATURA. MATERIALES TERMOPLÁSTICOS	274
FIGURA 199: PROPIEDADES MATERIALES TERMOPLÁSTICOS AMORFOS – TEMPERATURA (Tg)	275
FIGURA 200: PROPIEDADES MATERIALES TERMOPLÁSTICOS AMORFOS – TEMPERATURA (Tg)	275
FIGURA 201: RESULTADOS DE LA CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO – DSC –	276
FIGURA 202: FAMILIAS DE MATERIALES POLIMÉRICOS TERMOPLÁSTICOS.....	277
FIGURA 203: MATERIAL TERMOPLÁSTICO PEEK	278
FIGURA 204: MATERIAL TERMOPLÁSTICO PPS	278
FIGURA 205: MATERIAL TERMOPLÁSTICO PP.....	279
FIGURA 206: MATERIAL TERMOPLÁSTICO PA 6.....	280
FIGURA 207: MATERIAL TERMOPLÁSTICO PA 66	281
FIGURA 208: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS CON Y SIN REFUERZO	284
FIGURA 209: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS TERMOPLÁSTICOS REFORZADOS	285
FIGURA 210: PERFIL EN U PARA EL ESTUDIO DEL CONCEPTO	286
FIGURA 211: ESTUDIO DE RIGIDEZES A FLEXIÓN Y TORSIÓN.....	288
FIGURA 212: MOMENTOS DE FLEXIÓN Y TORSIÓN GENERADOS EN EL BRAZO DE SUSPENSIÓN	288
FIGURA 213: MODELOS CAD DE SIMULACIÓN MEF ESPACIADO 35 MM Y 70 MM	289
FIGURA 214: MODELOS CAD DE SIMULACIÓN MEF – DISPOSICIÓN NERVADO PLÁSTICO –	289
FIGURA 215: MODELO DE SIMULACIÓN MEF – DISPOSICIÓN NERVADO PLÁSTICO –	290
FIGURA 216: RESULTADOS SIMULACIÓN MEF – COMPARATIVA ESPESORES DE CHAPA SIN NERVIOS PLÁSTICO –	290
FIGURA 217: RESULTADOS SIMULACIÓN MEF – ESTUDIO DISPOSICIÓN NERVIOS DE PLÁSTICO ESPACIADO 35 MM–	291
FIGURA 218: RESULTADOS SIMULACIÓN MEF – ESTUDIO DISPOSICIÓN NERVIOS DE PLÁSTICO ESPACIADO 70 MM –	291
FIGURA 219: RESULTADOS SIMULACIÓN MEF – ESTUDIO DISPOSICIÓN NERVIOS DE PLÁSTICO –	292
FIGURA 220: DISPOSICIÓN NERVIOS DE PLÁSTICO A IMPLEMENTAR EN EL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO.....	293
FIGURA 221: PROCESO DE CONFORMADO POR ESTAMPACIÓN/EMBUTICIÓN	293
FIGURA 222: MODOS DE DEFORMACIÓN DURANTE EL PROCESO DE ESTAMPACIÓN.....	295
FIGURA 223: OBTENCIÓN DE LA CURVA FLD SEGÚN ENSAYO NAKAZIMA	296
FIGURA 224: EFECTO RECUPERACIÓN ELÁSTICA DEL MATERIAL O SPRING-BACK-EFFECT	297
FIGURA 225: CÁLCULO DE LA TASA DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA – K –.....	297
FIGURA 226: COMPARACIÓN RECUPERACIÓN ELÁSTICA. PARÁMETROS ESPESOR Y LÍMITE ELÁSTICO	298
FIGURA 227: SIMULACIÓN CAE PROCESO ESTAMPACIÓN – AUTOFORM –	300
FIGURA 228: PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN	301

FIGURA 229: EQUIPO ACONDICIONADO MATERIALES POLIMÉRICOS TERMOPLÁSTICOS	302
FIGURA 230: EFECTOS TEMPERATURA DE INYECCIÓN DE LA MASA TERMOPLÁSTICA	303
FIGURA 231: RELACIÓN VISCOSIDAD DEL MATERIAL– LONGITUD – ESPESOR	306
FIGURA 232: EFECTO DE VARIACIÓN DEL ESPESOR DE LOS NERVIOS EN LA ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS	307
FIGURA 233: INCREMENTO DE LA RIGIDEZ MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE NERVIOS	307
FIGURA 234: REGLAS DE DISEÑO PARA NERVIOS EN MATERIAL TERMOPLÁSTICO REFORZADO	308
FIGURA 235: REGLAS DE DISEÑO PARA NODOS EN ESTRUCTURAS NERVADAS	308
FIGURA 236: DETERMINACIÓN DE LA CORRECTA TEMPERATURA DEL MOLDE MEDIANTE DSC.....	309
FIGURA 237: TEMPERATURAS DE MOLDE RECOMENDADAS Y SU EFECTO EN LA CONTRACCIÓN.....	310
FIGURA 238: SIMULACIÓN CAE PROCESO MOLDEO POR INYECCIÓN – MOLDFLOW –	312
FIGURA 239: EJE DELANTERO Mc PHERSON Y BRAZO DE SUSPENSIÓN SMART FORTWO	313
FIGURA 240: MODELOS CAD: ESTUDIO FACTIBILIDAD DEL CONCEPTO – BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO –	314
FIGURA 241: PROPIEDADES DE LOS SILENTBLOCKS BRAZO DE SUSPENSIÓN SMART FORTWO.....	314
FIGURA 242: MATERIALES PARA LA SIMULACIÓN MEF DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN DEL SMART FORTWO	315
FIGURA 243: MODELO CÁLCULO MEF: BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO	316
FIGURA 244: RESULTADOS MEF: FUERZA-DESPLAZAMIENTO BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO EN CHAPA DE ACERO	316
FIGURA 245: RESULTADOS MEF: ESTADO TENSIONAL BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO EN CHAPA ACERO	317
FIGURA 246: RESULTADOS MEF: FUERZA-DESPLAZAMIENTO BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO – HÍBRIDO –.....	317
FIGURA 247: RESULTADOS MEF: ESTADO TENSIONAL BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO – HÍBRIDO –	317
FIGURA 248: MODELOS CAD: BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO – HÍBRIDO V.2 –	318
FIGURA 249: RESULTADOS MEF: FUERZA-DESPLAZAMIENTO BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO – HÍBRIDO V.2 –.....	318
FIGURA 250: RESULTADOS MEF: ESTADO TENSIONAL BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO – HÍBRIDO V.2 –.....	319
FIGURA 251: RESULTADOS MEF: FUERZA-DESPLAZAMIENTO BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO TOTAL	319
FIGURA 252: DATOS DE ENTRADA SIMULACIÓN PROCESO DE CONFORMADO POR ESTAMPACIÓN	323
FIGURA 253: ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL PROCESO DE CONFORMADO	323
FIGURA 254: VARIACIÓN DEL ESPESOR Y DISTRIBUCIÓN DE LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA EN EL COMPONENTE	324
FIGURA 255: DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA (IZQDA.) Y EVOLUCIÓN DEL LLENADO DEL MOLDE (DCHA.).....	325
FIGURA 256: AVANCE DE LA PRESIÓN DE INYECCIÓN (IZQDA.) Y ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS (DCHA.).....	326
FIGURA 257: PATENTE BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO	329
FIGURA 258: FLUJOGRAMA ACTIVIDADES FASE DE DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROCESO PRODUCTIVO	335
FIGURA 259: METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO MEF DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO.....	337
FIGURA 260: COCHE PILOTO: FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006)	341
FIGURA 261: DISTRIBUCIÓN DE PESOS COCHE PILOTO: FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006).....	341
FIGURA 262: DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES COCHE PILOTO: FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006).....	342
FIGURA 263: EJE DELANTERO COCHE PILOTO: FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006).....	342
FIGURA 264: DISTRIBUCIÓN DE PESOS SISTEMA SUSPENSIÓN COCHE PILOTO: FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006)	342
FIGURA 265: BRAZO DE SUSPENSIÓN COCHE PILOTO: FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006).....	343
FIGURA 266: ENSAYO DE DEFORMACIÓN BRAZO DE SUSPENSIÓN. RIGIDECES LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL	344
FIGURA 267: COMPONENTES DEL MODELO DE SIMULACIÓN MULTICUERPOS ADAMS-CAR.....	346
FIGURA 268: DATOS CARACTERÍSTICOS SUSPENSIÓN Mc PHERSON DEL FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006)	346
FIGURA 269: MODELO DE VEHÍCULO PARA LA SIMULACIÓN MULTICUERPOS ADAMS-CAR.....	347
FIGURA 270: RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN MULTICUERPOS ADAMS-CAR.....	348
FIGURA 271: PROBETAS PARA CARACTERIZACIÓN DE LA CHAPA DE ACERO 0º / 45º / 90º	351
FIGURA 272: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS LONGITUDINALES 0º – HC420LA –	353
FIGURA 273: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS OBLICUAS 45º – HC420LA –.....	353
FIGURA 274: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS TRANSVERSALES 90º – HC420LA –	353
FIGURA 275: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS 0º / 45º / 90º – HC420LA –	354
FIGURA 276: PROBETAS EMPLEADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DINÁMICA	355
FIGURA 277: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN 500 MM/MIN – HC420LA –	355

FIGURA 278: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN 6 M/S – HC420LA –	356
FIGURA 279: COMPARATIVA RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN CON DIFERENTES VELOCIDADES – HC420LA –	356
FIGURA 280: RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN A FATIGA – HC420LA –	358
FIGURA 281: CURVA CÍCLICA DEL MATERIAL – HC420LA –	358
FIGURA 282: AJUSTE DE LA CURVA ELÁSTICA DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA – HC420LA –	359
FIGURA 283: AJUSTE DE LA CURVA PLÁSTICA DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA – HC420LA –	360
FIGURA 284: CURVA COMPORTAMIENTO “DEFORMACIÓN – VIDA” – HC420LA –	360
FIGURA 285: DIAGRAMA LÍMITE DE CONFORMADO - CURVA FLD – HC420LA –	361
FIGURA 286: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS LONGITUDINALES 0º – DP600 –	362
FIGURA 287: RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN A FATIGA – DP600 –	363
FIGURA 288: CURVA CÍCLICA DEL MATERIAL – DP600 –	364
FIGURA 289: AJUSTE DE LA CURVA ELÁSTICA DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA – DP600 –	365
FIGURA 290: AJUSTE DE LA CURVA PLÁSTICA DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA – DP600 –	365
FIGURA 291: CURVA COMPORTAMIENTO “DEFORMACIÓN – VIDA” – DP600 –	366
FIGURA 292: DIAGRAMA LÍMITE DE CONFORMADO - CURVA FLD – DP600 –	367
FIGURA 293: COMPORTAMIENTO ELÁSTICO DEL MATERIAL METÁLICO Y EL MATERIAL POLIMÉRICO	368
FIGURA 294: DIAGRAMA DE FLUJO DEL CICLO DE OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO	375
FIGURA 295: DATOS DE PARTIDA: DISEÑO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –	376
FIGURA 296: LISTA DE COMPONENTES DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –	377
FIGURA 297: DEFINICIÓN MODELO CAD RÓTULA DE SUSPENSIÓN – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –	378
FIGURA 298: CARACTERÍSTICAS SILENTBLOCK DELANTERO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –	379
FIGURA 299: CARACTERÍSTICAS SILENTBLOCK TRASERO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –	379
FIGURA 300: DEFINICIÓN MODELO CAD SILENTBLOCK DELANTERO Y TRASERO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –	380
FIGURA 301: DEFINICIÓN MODELO CAD CHAPA DE ACERO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –	381
FIGURA 302: ESTUDIO INFLUENCIA DEL ESPESOR EN LA RIGIDEZ DE LA CHAPA DE ACERO	381
FIGURA 303: DEFINICIÓN MODELO CAD ESTRUCTURA NERVIOS PLÁSTICO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –	383
FIGURA 304: DEFINICIÓN PUNTOS CINEMÁTICOS Y EJES DE REFERENCIA BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO	384
FIGURA 305: CONDICIONES DE CONTORNO / REQUISITOS ENSAYO DEFORMACIÓN BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO	386
FIGURA 306: CONDICIONES DE CONTORNO SIMULACIÓN CARGAS EN SERVICIO BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO	387
FIGURA 307: DETALLE MALLADO BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO	389
FIGURA 308: CURVAS TENSIÓN – DEFORMACIÓN CHAPA DE ACERO PARA CÁLCULO MEF	392
FIGURA 309: CURVA TENSIÓN – DEFORMACIÓN MATERIAL TERMOPLÁSTICO PARA CÁLCULO MEF	392
FIGURA 310: PROPIEDADES DE LOS SILENTBLOCKS PARA CÁLCULO MEF	393
FIGURA 311: MODELO CAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 1	393
FIGURA 312: MODELO CÁLCULO MEF: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 1	394
FIGURA 313: RESULTADOS MEF: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 1 (HC420LA)	394
FIGURA 314: TENSIONES DE VON MISES CHAPA DE ACERO: MOMENTO DE PÉRDIDA DE LA LINEALIDAD. VERSIÓN 1	395
FIGURA 315: DEFORMACIÓN DE LOS NERVIOS DE PLÁSTICO: MOMENTO DE PÉRDIDA DE LA LINEALIDAD VERSIÓN 1	395
FIGURA 316: MODELO CAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 2	396
FIGURA 317: MODELO CÁLCULO MEF: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 2	396
FIGURA 318: RESULTADOS MEF: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 2 (HC420LA)	397
FIGURA 319: TENSIONES DE VON MISES CHAPA DE ACERO: MOMENTO DE PÉRDIDA DE LA LINEALIDAD. VERSIÓN 2	397
FIGURA 320: DEFORMACIÓN DE LOS NERVIOS DE PLÁSTICO: MOMENTO DE PÉRDIDA DE LA LINEALIDAD VERSIÓN 2	397
FIGURA 321: MODELO CAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 3	398
FIGURA 322: MODELO CÁLCULO MEF: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 3	399
FIGURA 323: RESULTADOS MEF: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 3 (HC420LA)	400
FIGURA 324: TENSIONES DE VON MISES CHAPA DE ACERO: MOMENTO DE PÉRDIDA DE LA LINEALIDAD. VERSIÓN 3	400
FIGURA 325: DEFORMACIÓN DE LOS NERVIOS DE PLÁSTICO: MOMENTO DE PÉRDIDA DE LA LINEALIDAD VERSIÓN 3	400
FIGURA 326: RESULTADOS MEF TOTALES: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO	402

FIGURA 327: DATOS DE ENTRADA SIMULACIÓN PROCESO DE CONFORMADO POR ESTAMPACIÓN – MATERIAL HC420LA –	403
FIGURA 328: DATOS DE ENTRADA SIMULACIÓN PROCESO DE CONFORMADO POR ESTAMPACIÓN – MATERIAL DP600 –	403
FIGURA 329: ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL PROCESO DE CONFORMADO – MATERIAL HC420LA –	404
FIGURA 330: ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL PROCESO DE CONFORMADO – MATERIAL DP600–	405
FIGURA 331: FENÓMENO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA DEL MATERIAL (GRIS HC420LA – ROJO DP600)	405
FIGURA 332: VARIACIÓN DEL ESPESOR EN LA CHAPA DE ACERO – MATERIAL HC420LA –	406
FIGURA 333: DISEÑO FINAL DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –	407
FIGURA 334: PASOS PROCESO DE CONFORMADO BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO	410
FIGURA 335: UTILAJES PARA EL CONFORMADO DE LA CHAPA DE ACERO DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO	411
FIGURA 336: UTILAJES PARA EL MOLDEO POR INYECCIÓN DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO	413
FIGURA 337: CHAPA DE ACERO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO DURANTE EL PROCESO CONFORMADO	414
FIGURA 338: CONTROL DIMENSIONAL CHAPA DE ACERO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO – HC420LA –	415
FIGURA 339: RESULTADOS CONFORMADO CHAPA DE ACERO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO – DP 600 –	415
FIGURA 340: PROTOTIPOS DE LA RÓTULA DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO	416
FIGURA 341: PROTOTIPOS BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO PRE-MONTADO PARA INYECCIÓN	416
FIGURA 342: PROTOTIPOS BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO METAL – PLÁSTICO	417
FIGURA 343: PROTOTIPOS BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO METAL – PLÁSTICO CON SILENTBLOCKS	418
FIGURA 344: BANCO DE ENSAYOS PARA BRAZOS DE SUSPENSIÓN	420
FIGURA 345: UTILAJE PARA LA FIJACIÓN DEL BRAZO AL BANCO DE ENSAYOS	420
FIGURA 346: DISPOSICIÓN PARA EL ENSAYO EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL (EJE X POSITIVO)	421
FIGURA 347: CORRELACIÓN RESULTADO EXPERIMENTAL VS. TEÓRICO-MEF ENSAYO DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	422
FIGURA 348: MODO DE FALLO RESULTADO EXPERIMENTAL VS. TEÓRICO-MEF ENSAYO DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	423
FIGURA 349: RESULTADOS ENSAYO DE RIGIDECES LONGITUDINAL (-X) Y TRANSVERSAL (+Y // -Y)	424
FIGURA 350: MONTAJE PARA ENSAYO DE FATIGA EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL	425
FIGURA 351: BRAZOS DE SUSPENSIÓN HÍBRIDOS ENSAYADOS	426
FIGURA 352: FABRICACIÓN DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO EN SERIES: OPCIÓN 1	428
FIGURA 353: FABRICACIÓN DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO EN SERIES: OPCIÓN 2	429
FIGURA 354: VARIANTES DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE MATERIAL FABRICACIÓN BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO	429
FIGURA 355: FABRICACIÓN DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO EN SERIES: LAY-OUT OPCIÓN 1	431
FIGURA 356: FABRICACIÓN DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO EN SERIES: LAY-OUT OPCIÓN 2	432
FIGURA 357: METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTA EN EL BLOQUE II	434

ÍNDICE TABLAS:

TABLA 1:	CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE INNOVACIÓN	16
TABLA 2:	ACTIVIDADES QUE COMPONEN EL PROCESO DE INNOVACIÓN	24
TABLA 3:	RASGOS ESENCIALES DE LA INVESTIGACIÓN BÁSICA Y APLICADA Y DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO	40
TABLA 4:	RASGOS ESENCIALES DE LA INVESTIGACIÓN BÁSICA Y APLICADA	40
TABLA 5:	RASGOS ESENCIALES DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO.....	41
TABLA 6:	CARACTERÍSTICAS, APORTACIONES Y DEFICIENCIAS DE LOS MODELOS SOBRE EL PROCESO DE INNOVACIÓN	44
TABLA 7:	EVOLUCIÓN DE LAS NORMAS EUROPEAS SOBRE EMISIONES PARA TURISMOS (NORMAS EURO)	87
TABLA 8:	MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DEL PESO DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES.....	91
TABLA 9:	TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS USADAS EN EL MUNDO DEL AUTOMÓVIL	94
TABLA 10:	RESUMEN DE LA PROBLEMÁTICA DEL SECTOR DEL AUTOMÓVIL.....	95
TABLA 11:	REQUISITOS SOCIOECONÓMICOS DEL FUTURO BRAZO DE SUSPENSIÓN	96
TABLA 12:	INDICADORES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS FASES DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO	104
TABLA 13:	SEGMENTOS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES CON SUS VEHÍCULOS CARACTERÍSTICOS	112
TABLA 14:	CARACTERÍSTICAS DE LOS SEGMENTOS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES	113
TABLA 15:	TIPOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN RÍGIDO Y SEMIRRÍGIDO E INDEPENDIENTE	132
TABLA 16:	DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN POR CONCEPTO DE EJE	133
TABLA 17:	MATERIALES Y MÉTODOS DE FABRICACIÓN DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL.....	141
TABLA 18:	DISTRIBUCIÓN DE LOS TIPOS DE BRAZOS DE SUSPENSIÓN EN EL EJE DELANTERO.....	149
TABLA 19:	DISTRIBUCIÓN DE LOS TIPOS DE BRAZOS DE SUSPENSIÓN EN EL EJE TRASERO	150
TABLA 20:	REQUISITOS FUNCIONALES DEL FUTURO BRAZO DE SUSPENSIÓN.....	152
TABLA 21:	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN PARA EL FUTURO BRAZO DE SUSPENSIÓN.....	159
TABLA 22:	COMPONENTES Y FUNCIONES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN	162
TABLA 23:	PROCESOS DE FABRICACIÓN SEGÚN NORMA DIN 8580:2003-09	171
TABLA 24:	CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LOS MATERIALES FÉRRICOS	188
TABLA 25:	CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LOS MATERIALES NO FÉRRICOS	188
TABLA 26:	CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS	189
TABLA 27:	CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.....	191
TABLA 28:	CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA	218
TABLA 29:	PATENTES RELACIONADAS CON LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO	227
TABLA 30:	INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS ALEANTES EN LAS PROPIEDADES DEL ACERO	238
TABLA 31:	CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS ACEROS PARA ESTAMPACIÓN	267
TABLA 32:	SELECCIÓN DE LA CHAPA DE ACERO PARA EL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO	269

TABLA 33:	CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS TERMOPLÁSTICOS	282
TABLA 34:	SELECCIÓN DEL MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO PARA EL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO	283
TABLA 35:	CARACTERÍSTICAS DE LOS REFUERZOS PARA EL MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO	285
TABLA 36:	RIGIDEZ PARA DIFERENTES CONSTRUCCIONES GEOMÉTRICAS – TORSIÓN Y FLEXIÓN –	287
TABLA 37:	COMPARATIVA DE RIGIDECES OBTENIDAS MEDIANTE CÁLCULO MEF PARA EL PERFIL EN U	292
TABLA 38:	SELECCIÓN DE LUBRICANTE PARA EL PROCESO DE ESTAMPACIÓN/EMBUTICIÓN	299
TABLA 39:	COMPARATIVA DE PESOS BRAZO DE SUSPENSIÓN SMART FORTWO	320
TABLA 40:	OBJETIVOS E HITOS DE LAS FASES PARA LA DEFINICIÓN DEL PRODUCTO – PROCESO	338
TABLA 41:	OBJETIVOS E HITOS DE LAS FASES PARA LA DEFINICIÓN DEL PRODUCTO – PROCESO	339
TABLA 42:	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN MULTICUERPOS ADAMS-CAR	349
TABLA 43:	RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS LONGITUDINALES 0º – HC420LA –	352
TABLA 44:	RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS OBLICUAS 45º – HC420LA –	352
TABLA 45:	RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS TRANSVERSALES 90º – HC420LA –	352
TABLA 46:	RESULTADOS CARACTERIZACIÓN COMPORTAMIENTO A FATIGA “DEFORMACIÓN – VIDA” – HC420LA –	357
TABLA 47:	RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS LONGITUDINALES 0º – DP600 –	362
TABLA 48:	RESULTADOS CARACTERIZACIÓN COMPORTAMIENTO A FATIGA “DEFORMACIÓN – VIDA” – DP600 –	363
TABLA 49:	RESUMEN PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA CHAPA DE ACERO DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO.....	369
TABLA 50:	RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN ESTÁTICO // 500 MM/MIN // 6 M/S – DURETHAN BKV 30 A. –	370
TABLA 51:	RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN ESTÁTICO // 500 MM/MIN // 6 M/S – DURETHAN BKV 30 S.A. –	371
TABLA 52:	RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN ESTÁTICO // 500 MM/MIN // 6 M/S – DURETHAN BKV 130 S.A. –	372
TABLA 53:	RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN ESTÁTICO // 500 MM/MIN // 6 M/S – DURETHAN BKV 130 A. –	373
TABLA 54:	SELECCIÓN DEL MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO PARA EL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO	374
TABLA 55:	ESTUDIO INFLUENCIA DEL ESPESOR EN LA RIGIDEZ Y EL PESO DE LA CHAPA DE ACERO	382
TABLA 56:	PUNTOS CINEMÁTICOS DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –	384
TABLA 57:	CUADERNO DE CARGAS EN SERVICIO PARA EL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO	387
TABLA 58:	PROPIEDADES MECÁNICAS CHAPA DE ACERO DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO PARA CÁLCULO MEF	391
TABLA 59:	PROPIEDADES MECÁNICAS MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO PARA CÁLCULO MEF	392
TABLA 60:	PESOS MODELO CAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 1	393
TABLA 61:	PESOS MODELO CAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 2	396
TABLA 62:	PESOS MODELO CAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 2	399
TABLA 63:	VOLÚMENES DE FABRICACIÓN Y TAKT-TIME BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO	430
TABLA 64:	REQUISITOS DE LA LÍNEA DE FABRICACIÓN PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS	430



MARCO DE LA TESIS DOCTORAL

MARCO TEÓRICO-TÉCNICO:

La justificación de los trabajos desarrollados en la presente Tesis Doctoral reposa en la realización de un Proyecto de Innovación, con sus respectivas etapas de Investigación y Desarrollo, ligado a las actividades del Departamento de Estudios Avanzados de la multinacional alemana del sector de la automoción ZF Lemförder GmbH y apoyado por el Gobierno de España mediante el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica a través de las siguientes ayudas:

- ↪ Proyecto PROFIT – 030000200580
- ↪ Proyecto CDTI – IDI20060322
- ↪ Informe Motivado emitido por el Ministerio de Ciencia y Tecnología del Gobierno de España relativo al cumplimiento de requisitos científicos y tecnológicos, a efectos de la aplicación e interpretación de deducciones fiscales por actividades de investigación y desarrollo e innovación tecnológica
- ↪ Proyecto subvencionado LAP en ZF Friedrichshafen AG

Mediante la realización de este Proyecto de Innovación la empresa persigue dos objetivos. Por un lado se pretende definir un modelo de gestión para las actividades a realizar en este tipo de proyectos mientras que por otro, aplicando el modelo de gestión

establecido en el punto inicial, se pretende desarrollar un nuevo concepto para un componente de seguridad para vehículos automóviles, en particular desarrollar un nuevo concepto tecnológico para un brazo de suspensión de un vehículo automóvil.

La Tesis Doctoral aquí expuesta recoge las actividades llevadas a cabo para lograr alcanzar los dos objetivos descritos en el párrafo anterior. Con el fin de diferenciar los trabajos de investigación científico-teóricos de los de investigación científico-técnicos llevados a cabo, la Tesis Doctoral se divide en dos bloques estrechamente relacionados entre sí:

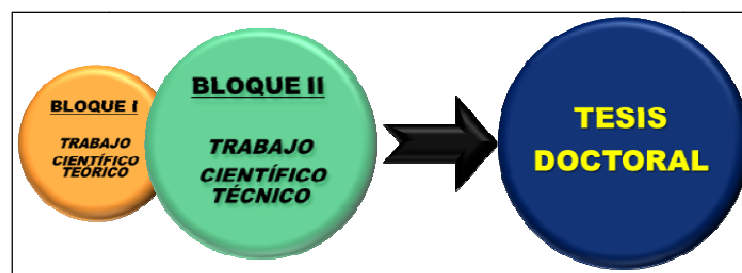


FIGURA 1: ESTRUCTURA GLOBAL DE LA TESIS DOCTORAL

El primer bloque se centra en el estudio científico-teórico de la innovación y los procesos innovadores en la empresa. En él se introduce, previamente a la realización del trabajo científico-técnico, la importancia de los proyectos de innovación, se estudia el concepto y lo que engloba este término en el ámbito empresarial y, finalmente, se hace una revisión de los principales aportes teóricos sobre los modelos de gestión de estos proyectos.

Tras este estudio teórico se presenta el tipo de proyecto de innovación que se desarrollará en el segundo bloque de la tesis para, a continuación, definir un modelo de gestión que permita abordar el carácter multidisciplinar así como la naturaleza y complejidad de las actividades a realizar en el mismo.

Por su parte, el segundo bloque recoge principalmente los trabajos científico-técnicos llevados a cabo en este proyecto de innovación. En este apartado, haciendo uso del modelo de gestión del proceso de innovación presentado al final del primer bloque, se define una estructura de trabajo que permita alcanzar el segundo objetivo del proyecto, que se convertirá a la postre en el objetivo final de la Tesis Doctoral.

Esta estructura deja patente que, para lograr alcanzar el objetivo marcado, es necesario analizar las exigencias del mercado que son las que marcarán los requisitos del nuevo

componente, realizar estudios sobre el estado de la técnica del producto y de los procesos productivos y llevar a cabo un proceso sistemático de generación, selección y evaluación de ideas/conceptos para, una vez determinada la solución idónea, empezar con la fase de Investigación y Desarrollo de este proyecto de innovación en la que quedan englobados trabajos propios de Ingeniería Mecánica e Ingeniería de Materiales tales como:

- ↪ Estudio, selección y aplicación de nuevos materiales
- ↪ Empleo de herramientas de diseño virtual (CAD, FEA, CAE, etc.)
- ↪ Estudio, selección y validación de nuevos procesos de fabricación
- ↪ Fabricación de prototipos
- ↪ Validación/Ensayos de los prototipos
- ↪ Correlación de los resultados de los ensayos con los modelos de simulación

Mediante esta breve justificación de los trabajos realizados en la Tesis Doctoral el autor espera que, por un lado, el lector tenga una idea clara sobre la naturaleza de la misma y de lo que se encontrará en los siguientes capítulos mientras que por otro, se haya en una buena disposición para juzgar y valorar el contenido de la misma.

MARCO EMPRESARIAL:

1.- INTRODUCCIÓN

En el siguiente apartado, con el objetivo de que el lector pueda entender mejor el marco empresarial en el que queda recogida la presente Tesis Doctoral se hace una breve reseña de la empresa que la ha patrocinado y en la que se ha realizado el Proyecto de Innovación que ha dado origen a la misma.

En primer lugar se presenta el Grupo ZF Friedrichshafen AG describiendo el sector al que pertenece, su posición en el mercado y las diferentes divisiones o unidades de negocio que lo componen.

A continuación, se presenta con más detalle su división dedicada a la Tecnología del Chasis, ZF Lemförder GmbH, división que ha amparado el Proyecto de Innovación aquí presentado y por tanto los trabajos de investigación realizados en la Tesis Doctoral. En este último punto se exponen las unidades estratégicas de negocio de esta división, su cartera de productos, así como la política y el planteamiento estratégico del Grupo ZF Lemförder GmbH para con los proyectos de Innovación.

2.- EL GRUPO ZF FRIEDRICHSHAFEN AG

ZF Friedrichshafen AG se define como un grupo empresarial que desarrolla y fabrica productos para la movilidad de personas y mercancías. Sus innovaciones en los de sistemas de transmisión y tecnología de chasis proporcionan un mejor comportamiento dinámico del vehículo, una mayor seguridad, comodidad y eficiencia a la vez que contribuyen a un menor consumo y reducción de las emisiones de los vehículos de sus clientes.^[1]

El Grupo ZF, dedicado a la fabricación y desarrollo de sistemas de transmisión y tecnología de chasis, es un grupo líder en el sector de empresas proveedoras de las grandes firmas del mercado automotriz alcanzando en el ejercicio del año 2009 un volumen de ventas de 9.371 millones de Euros gracias al trabajo de sus 60.480 empleados distribuidos en sus 123 plantas productivas y de desarrollo localizadas a lo largo de todo el planeta.^[2]

En las siguientes imágenes se presenta la distribución mundial de plantas del Grupo ZF así como su volumen de ventas en 2009:

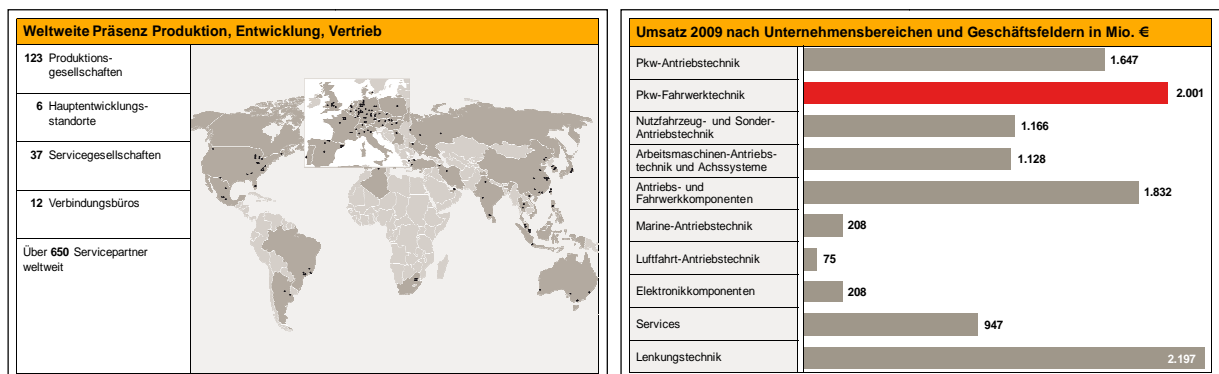


FIGURA 2: PLANTAS Y VOLUMEN DE VENTAS DE ZF FRIEDRICHSHAFEN AG EN 2008

En lo que se refiere a proyectos de Investigación + Desarrollo + Innovación cabe destacar que el Grupo ZF, conector de las crecientes demandas por parte de los clientes, de las nuevas tendencias del mercado y de la competitividad reinante en el sector, apuesta por una fuerte política de innovadora invirtiendo cada año alrededor del 5% de sus ventas en Proyectos de Investigación + Desarrollo + Innovación que conduzcan a la creación de nuevos productos-procesos más eficientes y con mejores prestaciones que aseguren el poder conservar y mejorar su condición de empresa líder en el mercado e incrementar su posición actual en volumen ventas en el futuro.^[2]

2.1.- DIVISIONES DEL GRUPO ZF FRIEDRICHSHAFEN AG

El Grupo ZF Friedrichshafen AG se compone de diferentes divisiones o unidades de negocio siendo responsables cada una de ellas de un sector tecnológico dentro del sector automotriz. A su vez el Grupo ZF divide su negocio en regiones de mercado dando a sus clientes un servicio más cercano y personal.

En la figura podemos ver las diferentes divisiones que componen ZF Friedrichshafen AG y el sector al que se dedican: [2]

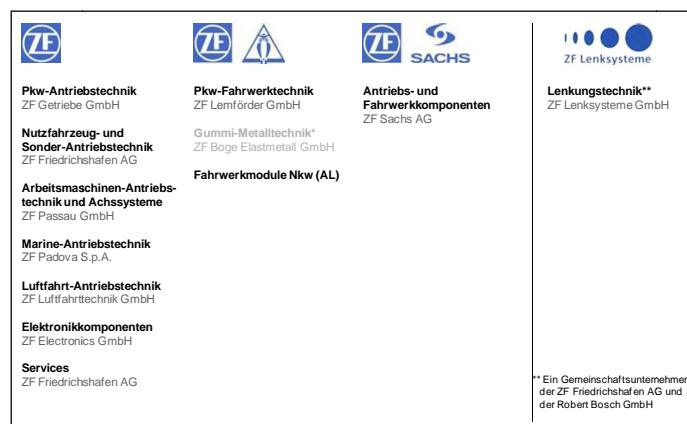


FIGURA 3: DIVISIONES DEL GRUPO ZF FRIEDRICHSHAFEN AG

3.- EL GRUPO ZF LEMFÖRDER GMBH

Dentro de ZF, la división dedicada a Tecnología del Chasis es ZF Lemförder GmbH. Esta empresa, fundada en 1947 bajo el nombre de Lemförder Metallwaren, fue adquirida en un 51% por el grupo ZF Friedrichshafen AG en 1984 pasando finalmente en 2003 a pertenecer al 100% a dicho Grupo adoptando a partir de ese momento el nombre de ZF Lemförder. [1]

A su vez ZF Lemförder GmbH se divide en cuatro unidades estratégicas de negocio dedicadas respectivamente al desarrollo y producción de componentes de chasis (*Fahrwerkkomponenten*), de ejes (*Achssysteme*), de palancas de cambio (*Schaltungssysteme*) y desde Julio de 2010 de componentes goma – metal (*Boge Rubber & Plastics*) para vehículos de las más prestigiosas firmas del mercado automovilístico. La empresa, con 9.346 trabajadores distribuidos a lo largo de sus 42 plantas ubicadas a lo largo

del mundo, logró alcanzar en el año 2009 un volumen de ventas de 2.001 millones de Euros siendo sus principales clientes los grandes fabricantes de automóviles.

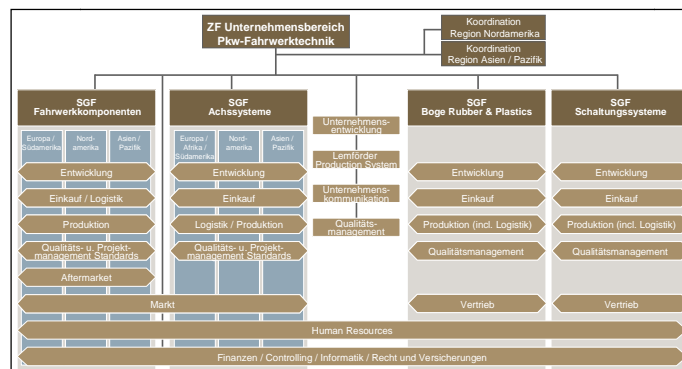


FIGURA 4: UNIDADES DE ESTRATÉGICAS DE NEGOCIO Y CLIENTES DE ZF LEMFÖRDER GMBH

La gama de productos de las diferentes unidades estratégicas de negocio de ZF Lemförder GmbH queda definida de la siguiente manera:

- ↪ *Componentes de Chasis (Fahrwerkkomponenten)*: Sus productos son Rótulas de Suspensión, de Dirección, Axiales, Estabilizadores y Brazos de Suspensión.
- ↪ *Ejes (Achssysteme)*: Sus productos son Ejes Delanteros y Traseros, así como módulos de eje para los vehículos con una carga máxima de 3,5 toneladas.
- ↪ *Palancas de Cambio (Schaltungssysteme)*: Sus productos son palancas de cambio con cables y con tecnología “shift by wire” para sistemas manuales, automáticos-manuales o totalmente automáticos.

En las siguientes imágenes podemos ver la gama de productos de ZF Lemförder GmbH y cómo se encuentran distribuidos en un vehículo automóvil: [2]




Unidad de Negocio	Gama de Productos
Componentes de Chasis <i>Fahrwerkkomponenten</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Brazos de Suspensión / <i>Lenker</i> ▪ Rótulas de Suspensión / <i>Radgelenke</i> ▪ Rótulas de Suspensión / <i>Hülsengelenke</i> ▪ Rótulas de Dirección-Axiales / <i>Spurstangen</i> ▪ Estabilizadores / <i>Stabilisatoranbindungen</i> 
Ejes de Vehículos <i>Achssysteme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eje Delantero / <i>Vorderachsen</i> ▪ Eje Trasero / <i>Hinterachsen</i> ▪ Corner-Module 
Palancas de Cambio <i>Schaltungssysteme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Palancas de cambio Shift-by-wire <i>Shift-by-wire Schaltungen</i> ▪ Palancas de cambio automáticas y manuales <i>Eilzugschaltungen für Schalt- und Automatikgetriebe</i> 

FIGURA 5: GAMA DE PRODUCTOS DE ZF LEMFÖRDER GMBH

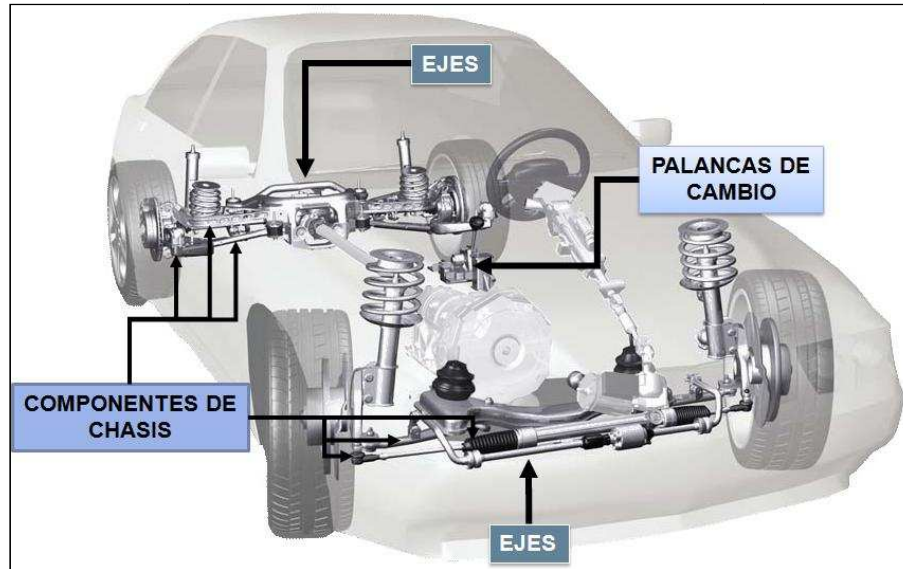


FIGURA 6: UBICACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE ZF LEMFÖRDER GMBH EN EL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

3.1.- DIVISIÓN DE COMPONENTES DE CHASIS DE ZF LEMFÖRDER GMBH

La principal actividad de la División de Componentes de Chasis (*Fahrwerk-komponenten*) de ZF Lemförder GmbH consiste en la producción de componentes de seguridad de chasis para los sistemas de suspensión y dirección de vehículos de turismo e industriales; principalmente rótulas sin mantenimiento, de suspensión, de dirección y axiales, con pernos articulados sobre casquillos de materiales plásticos.

En la siguiente imagen podemos ver la gama de productos que comercializa la empresa ZF Lemförder GmbH: ^[2]

Productos	Imágenes
Brazos de Suspensión	
Rótulas de Dirección y Axiales	
Rótulas de Suspensión	
Rótulas de Suspensión	
Estabilizadores	

FIGURA 7: COMPONENTES DE CHASIS FABRICADOS POR ZF LEMFÖRDER GMBH

3.2.- PLAN ESTRATÉGICO DE ZF LEMFÖRDER GMBH

3.2.1.- Misión de la Empresa

La misión de ZF Lemförder GmbH en su división de Componentes de Chasis (*Fahrwerkkomponenten*) es asegurar sus relaciones con los clientes en el largo plazo, contribuyendo dentro del grupo ZF, de manera creativa y significativa, a los procesos de diseño, fabricación y suministro de productos que aseguren a sus clientes la función de articular la suspensión y la dirección en vehículos de turismo e industriales; garantizando la calidad de los mismos y sensibilizados por el conocimiento de la responsabilidad de su función para la seguridad de los vehículos.^[2]

Con este propósito, sabiendo adaptarse en cada momento a los objetivos de sus clientes y ampliando permanentemente su responsabilidad en el diseño, en la fabricación y entrega de esta función, hasta suministrar el sistema completo del que forman parte sus productos; logrará su objetivo de conseguir la rentabilidad y el crecimiento sostenido de sus actividades, que asegure el rendimiento esperado por sus accionistas y brinde una oportunidad de desarrollo personal y material a sus empleados, en un ambiente de seguridad para todos y de respeto a su entorno.

3.2.2.- Visión de la Empresa

La visión de ZF Lemförder GmbH en su división de Componentes de Chasis (*Fahrwerkkomponenten*) es su capacidad de innovación y de mejora continua, orientadas a añadir valor para el cliente garantizando su satisfacción de forma duradera. Para lograr tal fin la Empresa incorporará en este proceso a sus proveedores, se apoyará en el potencial del grupo al que pertenece y aportará la capacidad, la creatividad y el compromiso de todos sus empleados para conseguir la calidad y el servicio que sus clientes esperan.^[2]

El éxito en este objetivo asegurará la rentabilidad necesaria para mantener su independencia empresarial, satisfacer los intereses de sus accionistas y mantener puestos de trabajo estables para sus empleados. El desarrollo de sistemas de gestión flexibles, comprometidos con el interés de sus clientes, empleados y accionistas; debe tener también una influencia en su entorno mediante su aportación al desarrollo social y empresarial; así como el respeto al medio ambiente.

4.- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA:

4.1.- MARCO EMPRESARIAL

4.1.1.- Referencias

- [1] **ZF FRIEDRICHSHAFEN AG:** “ZF-KONZERN: AUF EINEN BLICK. PKW FAHRWERKTECHNIK”. FRIEDRICHSHAFEN, 2010.
- [2] **ZF FRIEDRICHSHAFEN AG:** “ZF-KONZERN: AUF EINEN BLICK. DATEN & FAKTEN” ZF LEMFÖRDER GMBH (UB. F)”; FRIEDRICHSHAFEN, 2010.

4.1.2.- Bibliografía

4.1.2.1.- Libros y Artículos

- ❑ **HEIBLING, B.; ERSOY, M.:** “FAHRWERKHANDBUCH: GRUNDLAGEN, FAHRDYNAMIK, KOMPONENTEN, SYSTEME, MECHATRONIK, PERSPEKTIVEN”. VIEWEG & SOHN VERLAG, GWV FACHWERKLAGE GMBH, WIESBADEN, 2007

4.1.2.2.- Páginas WEB

- ❑ DATOS PUBLICADOS EN LA PÁGINA WEB DE ZF FRIEDRICHSHAFEN AG; DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.ZF.COM](http://www.zf.com)



BLOQUE - I - TESIS DOCTORAL

INTRODUCCIÓN:

Como ya se comentaba anteriormente, la Tesis Doctoral recoge las actividades realizadas en un Proyecto de Innovación dividido en dos bloques con dos objetivos claramente definidos. Por un lado se pretende definir un modelo de gestión para las actividades a realizar en este tipo de proyectos mientras que por otro, aplicando este modelo de gestión, se pretende desarrollar un nuevo concepto para un componente de seguridad para vehículos automóviles.

Este primer bloque de la Tesis Doctoral, en el que quedan recogidos los trabajos de investigación científico-teóricos acerca de la innovación y de los procesos innovadores en la empresa, se centra en el primero de los objetivos, la definición de un modelo de gestión para los proyectos de innovación en la empresa.

En los siguientes puntos se expone la importancia de los proyectos de innovación en la empresa y qué se entiende en el mundo empresarial por innovación para, a continuación, estudiar los modelos de gestión de los procesos innovadores más destacados. Finalmente se presenta el tipo de proyecto de innovación que se desarrollará en el segundo bloque de la tesis y se define un modelo de gestión del proceso innovador que permita abordar el carácter multidisciplinar así como la naturaleza y complejidad de las actividades a realizar en el mismo.

1.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA. MOTIVACIÓN

En la actualidad la innovación y los procesos innovadores forman parte de la vida cotidiana de cualquier sociedad desarrollada. Todo el mundo conoce la contribución que tiene la innovación en el desarrollo económico de los países, en su crecimiento y en la productividad y competitividad de sus empresas pero no muchos conocen exactamente lo que hay detrás de este término y por ello no siempre se utiliza con precisión.

Debido a esto, conviene detenerse brevemente para estudiar y delimitar su concepto desde el punto de vista empresarial, lo que ayudará a entender los trabajos expuestos en los siguientes capítulos de la Tesis Doctoral. Además del desconocimiento acerca del concepto del término innovación, de lo que éste engloba y de la falta de precisión en su empleo, cabe destacar otro gran interrogante, cómo conseguir sistematizar el proceso de innovación en la empresa.

Algunas empresas aseguran que la innovación es un proceso que no tiene una forma regular, que es simplemente el resultado de una feliz idea de alguna mente brillante en un momento de inspiración y por lo tanto imposible de sistematizar. Debido a esta filosofía de trabajo muchas de ellas innovan de manera discontinua ya que sólo lo hacen después de ver que la competencia ha lanzado un nuevo producto o proceso, cuando han perdido un proyecto importante con un cliente, etc. Esto provoca que pierdan muchas oportunidades de negocio a la vez que competitividad en el mercado y que se conviertan a la larga en simples empresas imitadoras. ^[6]

Por otro lado, según reflejan las disertaciones de prestigiosos institutos y universidades, las empresas con más éxito y mejores cuotas de mercado son las que intentan innovar de manera sistemática tratando de obtener un flujo regular de innovaciones. ^[4] Asimismo varios de estos estudios demuestran que, aunque la innovación es por su naturaleza un proceso aleatorio, en el mundo empresarial ésta debe ser fruto de un proceso premeditado, guiado por la intuición humana, la inteligencia y la previsión. En otras palabras, las empresas pueden y deben gestionar el proceso de innovación de manera consistente de forma que el éxito, aunque nunca garantizado, sea más probable. Para tal fin resulta fundamental para las mismas el estudiar, comprender y gestionar los procesos de innovación de manera sistemática con el objetivo de que quede poco margen para el azar.

Lamentablemente, a día de hoy todavía no existe un modelo de gestión claro, definitivo y generalizable sobre el camino que tiene lugar desde que surge una invención hasta que ésta alcanza el mercado que pueda implementarse directamente en las empresas para que éstas consigan gestionar sistemáticamente sus procesos de innovación. Todos los modelos expuestos hasta la fecha presentan carencias e interrogantes hasta el punto que se hace prácticamente imposible encontrar un proceso innovador en una empresa, no sólo entre empresas de distintos sectores industrial, sino también empresas del mismo sector industrial, que se ajuste de forma estricta a uno de los modelos teóricos. [7]

Esta circunstancia conduce a las empresas a la necesidad de estudiar los modelos teóricos de gestión del proceso de innovación más destacados para después seleccionar el que mejor se adapte a su actividad/estrategia y, a partir de ahí, basándose en el modelo seleccionado, definir sus propios modelos de gestión para sus proyectos de innovación.

2.- OBJETIVOS DE LA TESIS DOCTORAL BLOQUE I

2.1.- OBJETIVO PRINCIPAL DEL BLOQUE I DE LA TESIS DOCTORAL

El *principal objetivo del bloque I* de la Tesis Doctoral es el de *definir una metodología que permita abordar el carácter multidisciplinar así como la naturaleza y complejidad de las actividades a realizar en los proyectos de innovación* de la multinacional alemana del sector de la automoción ZF Lemförder GmbH de una manera sistemática.

La consecución de este objetivo repercutirá directamente en la política y en la gestión de los proyectos de innovación de la empresa haciendo que ésta sea en el futuro más ordenada y sistematizada. Gracias a esta nueva filosofía de trabajo se logrará obtener un flujo regular de innovaciones, reducir los tiempos y costes de desarrollo en los proyectos de esta índole haciendo, en definitiva, que la empresa sea más competitiva.

2.2.- OBJETIVOS PARCIALES DEL BLOQUE I DE LA TESIS DOCTORAL

Como paso previo hasta alcanzar el objetivo principal del bloque I, se establecieron una serie de objetivos parciales cuya consecución ha sido fundamental para el buen desarrollo del proyecto. Estos objetivos se pueden sintetizar como se menciona a continuación:

2.2.1.- Estudio de la Importancia de los Proyectos de Innovación

Al analizar el crecimiento de los países industrializados a lo largo de los últimos años se viene observando que la proporción en el aumento de la competitividad ya no se explica por el aumento de capital y de mano de obra, sino que entran en juego otros factores que tienen que ver con el estado de la ciencia, la tecnología y en definitiva con la innovación.

Esta circunstancia es la que provoca que hoy en día la innovación se entienda como un factor crucial en todos los niveles de la actividad económica y social de un país y sea tratada como tal.

Del mismo modo, es necesario entender que las empresas, como agentes económicos, constituyen el principal agente innovador de una economía, ya que es el sector empresarial el responsable de introducir en el mercado, gracias a la realización de proyectos de innovación, los resultados de los avances científico-tecnológicos de la sociedad.

2.2.2.- Estudio del Concepto del Término Innovación y de los Tipos de Innovación.

Hoy en día el término innovación es muy utilizado en el mundo empresarial y es que no se concibe una empresa líder en el mercado o con un gran desarrollo que no base su éxito en el cambio constante, en la evolución o renovación y en la introducción de novedosos procedimientos que satisfagan cada vez más las crecientes necesidades de los clientes.

Existen múltiples definiciones acerca del concepto de innovación, un concepto que en apariencia es simple pero a la vez es ambiguo. Este objetivo parcial pretende acotar estas numerosas definiciones y dar una idea más precisa y concisa de lo que significa este término proporcionando de esta manera un primer acercamiento al proceso de innovación en la empresa a la vez que arrojando algo de luz en torno a este polémico concepto.

Además del estudio del concepto del término innovación es importante tener claro el tipo de innovación que se pretende llevar a cabo. Las empresas incorporan la innovación de formas muy diversas, pudiendo hacerlo para obtener una mayor calidad en sus productos o servicios, disminuir costes, ofrecer una mayor gama de productos o servicios, o ser más rápidas en su introducción en el mercado. Cualquiera que sea el caso, su única exigencia es la de implantar el cambio dentro de la organización.

A lo largo de esta tarea se analizarán los distintos tipos de innovación existentes estudiando sus principales características. Este estudio nos servirá para poder clasificar el proyecto de innovación a realizar en el bloque II de la Tesis Doctoral así como para definir el modelo de gestión del proceso innovador más adecuado.

2.2.3.- Estudio de la Terminología Investigación y Desarrollo

Las actividades de Investigación y Desarrollo son las que permiten a la empresa adquirir y generar conocimientos nuevos por ello son consideradas en la empresa como el ‘invento para inventar’ o como una ‘fábrica de tecnología’. Esta condición provoca que estas actividades sean consideradas como las de mayor importancia cualitativa, al representar un mayor aumento relativo de los conocimientos generados en el proceso innovador.

Por ello es necesario, al igual que se hizo con el concepto de innovación, estudiar el significado de esta terminología con el objetivo de proporcionar una idea más precisa y concisa de lo que significa cada término y de lo que éstos engloban bajo el contexto de los proyectos de Innovación en la empresa que buscan mejorar su competitividad.

2.2.4.- Estudio del Proceso de Innovación y de los Principales Modelos Teóricos de los Procesos de Innovación en la Empresa.

El proceso de innovación es un proceso complejo que integra varias actividades entre las que existen frecuentes y repetidos caminos de ida y vuelta, y que varía no sólo entre empresas de distintos sectores industrial, sino incluso hasta entre empresas del mismo sector industrial. Por ello que conviene detenerse para estudiar el proceso en sí y detallar el contenido de cada una de las fases o actividades, algo que nos servirá para poder entender a continuación los modelos de gestión propuestos para el mismo.

En cuanto se refiere a los modelos del proceso de innovación, la heterogeneidad de este proceso, donde muchos componentes interactúan entre sí de una manera prácticamente aleatoria, ha dado lugar a la existencia de numerosos modelos que, aun teniendo el objetivo único de explicar lo que constituye el proceso de innovación, resultan incapaces a la hora de capturar toda la complejidad de la realidad que tratan de describir ya que no existe una idea universal, clara y definitiva sobre el camino que tiene lugar desde que surge una invención hasta que ésta alcanza el mercado.

Debido a esta situación es necesario el estudio de los modelos de gestión propuestos hasta la fecha para poder, finalmente, seleccionar el que mejor se adapte a la actividad de la empresa y a partir de ahí, basándose en el modelo seleccionado, definir el modelo de gestión que permita abordar el proyecto de innovación a realizar en el bloque II consiguiéndose de esta manera alcanzar el objetivo principal de este bloque I de la Tesis Doctoral.

3.- ESTRUCTURA DE LA TESIS BLOQUE I

El bloque I de la Tesis Doctoral, con el fin de poder alcanzar el objetivo principal, a través de la consecución de los objetivos parciales previamente enumerados, se ha estructurado en los siguientes capítulos:

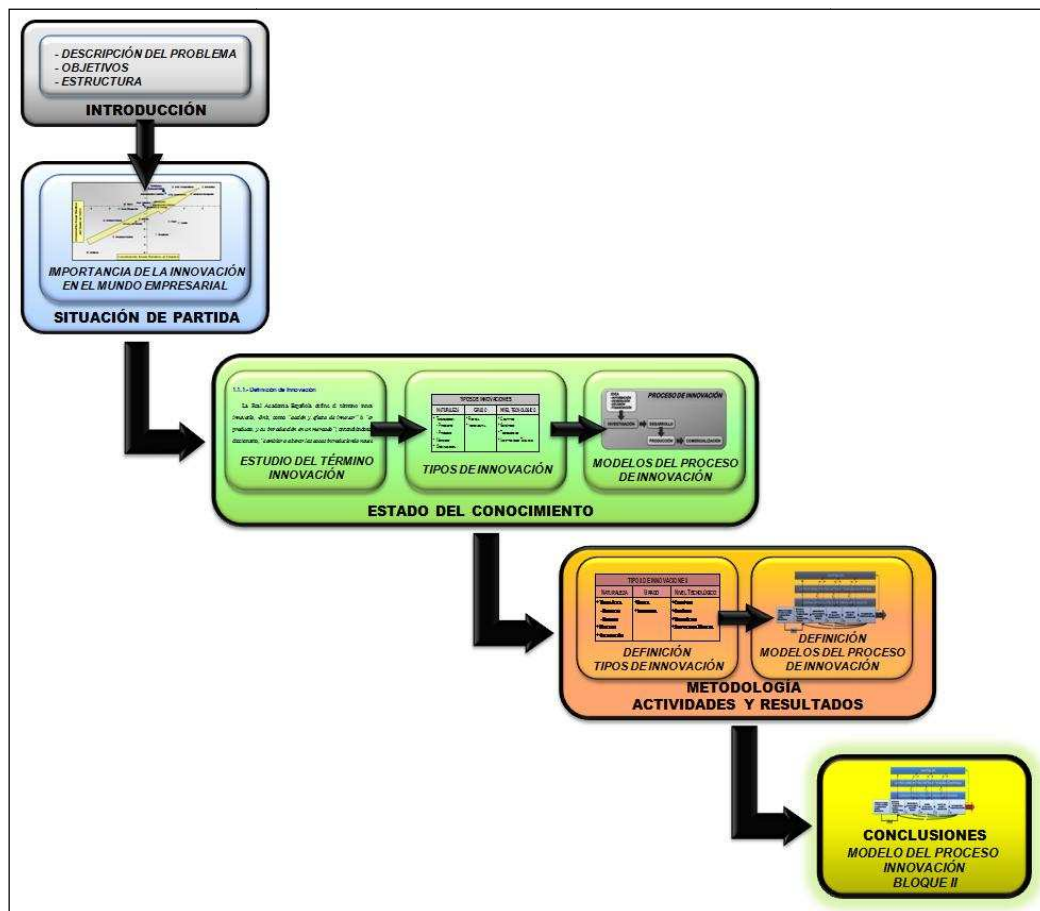


FIGURA 8: ESTRUCTURA BLOQUE I DE LA TESIS DOCTORAL

A continuación se resume brevemente el contenido de los puntos expuestos en la figura anterior:

↪ *Introducción:*

En la Introducción se recogen el marco teórico en el que queda englobado el Bloque I de la Tesis Doctoral así como la justificación de los trabajos que se desarrollarán en los siguientes capítulos. Asimismo también se definen el objetivo principal así como los objetivos parciales que se pretenden alcanzar y la estructura de los trabajos a realizar para lograrlo.

↳ *Situación de Partida:*

En este apartado se estudian los antecedentes que han dado lugar a la realización del presente trabajo de investigación.

En él se describe la importancia que tiene para las empresas la realización de trabajos como el recogido en esta Tesis y cómo estos trabajos constituyen en nuestra sociedad la base de su vida y de su prosperidad.

↳ *Estado del Conocimiento:*

En este capítulo se desarrolla una revisión exhaustiva de la bibliografía existente acerca del tema recogido en el Bloque I de la Tesis Doctoral, el trabajo de investigación científico-teórico acerca del concepto de innovación para la empresa y de lo que éste engloba.

A partir de esta revisión se presentan los fundamentos teóricos que se van a utilizar para lograr alcanzar el objetivo planteado. En primer lugar se estudian las diversas teorías y el estado del conocimiento que hoy en día se tiene sobre el concepto de innovación y sobre la terminología investigación y desarrollo y, finalmente, se exponen los principales aportes teóricos acerca del proceso de innovación y de los modelos de gestión del proceso innovador que son los que, en definitiva, servirán como base para los trabajos a completar en el siguiente capítulo.

↳ *Metodología y Resultados:*

Dentro del capítulo Metodología y Resultados quedan recogidos los trabajos llevados a cabo para la definición de una metodología que permita gestionar en el futuro las actividades a realizar en los proyectos de innovación de la empresa ZF Lemförder GmbH, así como el resultado obtenido.

En él se presenta el tipo de proyecto de innovación que se desarrollará en el segundo bloque de la tesis para, a continuación, definir el modelo de gestión que haga posible abordar el carácter multidisciplinar así como la naturaleza y complejidad de las actividades a realizar en el mismo y que en definitiva sirva para determinar la estructura del segundo bloque de la Tesis.

↳ *Conclusiones. Discusión de los Resultados:*

En el apartado Conclusiones se presenta un resumen de todo el trabajo llevado a cabo en el Bloque I de esta Tesis Doctoral, a la vez que se extraen las conclusiones de cada uno de los anteriores apartados.

Además se comentan los resultados reflejados en el capítulo anterior, proponiendo explicaciones a las decisiones tomadas y defendiendo las mismas.

↳ *Bibliografía:*

Este capítulo recoge las diferentes referencias bibliográficas en las que el autor se ha apoyado para la realización del presente trabajo.

SITUACIÓN DE PARTIDA:

1.- IMPORTANCIA DE LOS PROYECTOS DE INNOVACIÓN

El panorama mundial empresarial actual está marcado por la necesidad de adaptación de las empresas al mercado global hacia el que nos movemos. En este mercado la competitividad impera en todos los ámbitos de la industria, teniendo en particular uno de sus más claros exponentes en el sector de la automoción. La complejidad intrínseca del mismo, por su tecnología, precio y plazo se ve ahora agravada por la competencia que le exige este modelo global.

Este movimiento está produciendo un cambio paulatino del ambiente, se está modificando el equilibrio empresarial existente. Las empresas se ven, cada día, enfrentadas a un reto muy importante, el aseguramiento de su competitividad y la deslocalización de sus recursos.

Asimismo, estos retos están provocando, en el entramado empresarial, una selección natural de las áreas implicadas. Ello conlleva, del mismo modo, una selección del elemento humano que las compone.

Estos grandes vectores estratégicos movilizan y afectan a una gran cantidad de recursos materiales y humanos y la necesidad de otorgar mayor valor a las actividades empresariales a través de la inversión en proyectos de Innovación, definidos también en el ámbito empresarial como proyectos de Investigación + Desarrollo + Innovación, en adelante proyectos de I+D+i, tanto de los productos como en los procesos.

Estos proyectos se han convertido por tanto en un reto de la industria moderna de hoy en día ya que por un lado, tienen un gran atractivo para las empresas debido a que el continuo desarrollo de nuevos y mejores productos y procesos productivos constituye en nuestra sociedad la base de su vida y de su prosperidad, mientras que por otro lado, son uno de los principales resortes que va a tener la industria de países desarrollados como el nuestro, para hacer frente a la globalización e intensificación de la competencia de los productores de países emergentes (por ejemplo, Europa del este, China, India,...).

Además, debido a la importante contribución que tiene la innovación en el desarrollo económico de los países, en su crecimiento y en la productividad de sus empresas se está convirtiendo en una de las pocas líneas de política industrial que en estos momentos pueden utilizar los gobiernos para mejorar la competitividad de sus empresas, regiones o países y para aseguramiento de los puestos de trabajo. ^①

En lo que respecta a la Unión Europea, y más concretamente a España, se están haciendo importantes esfuerzos en apoyo y fomento a los proyectos de Innovación con el objetivo de hacer que las empresas puedan ganar en competitividad en el nuevo panorama de globalización en el que nos movemos^②, de los cuales la presente Tesis Doctoral se ha visto beneficiada^③.

En el siguiente gráfico podemos ver la evolución de los gastos de I+D+i en los últimos años así como las tendencias futuras de gastos para cumplir con la Estrategia de Lisboa en 2010. ^[8]

^① Los estudios para EEUU y la EU sugieren que un incremento de un 1% en el stock de conocimiento incrementa la productividad entre un 0,05% y un 0,25% a largo plazo. La competitividad de una nación depende de la capacidad de su industria para innovar y mejorar. Las empresas consiguen ventajas competitivas si consiguen innovar. (09Porter)

^② Unión Europea.- La *Estrategia de Lisboa*, aprobada por el Consejo Europeo, define una serie de medidas para fomentar el crecimiento y el empleo para acercarse al 3% del PIB la inversión europea en I+D+i en el año 2010. España.- El Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica y el Programa Ingenio2010 persiguen, en convergencia con los planes de la Unión Europea para 2010, aumentar la ratio de inversión en I+D sobre el PIB hasta alcanzar el 2% en 2010 e incrementar el número de doctores universitarios en las empresas privadas alcanzando un mínimo de 1300 en el año 2010.

^③ - Proyecto PROFIT – 030000200580

- Proyecto CDTI - IDI20060322

- Informe Motivado emitido por el Ministerio de Ciencia y Tecnología relativo al cumplimiento de requisitos científicos y tecnológicos, a efectos de la aplicación e interpretación de deducciones fiscales por actividades de investigación y desarrollo e innovación tecnológica

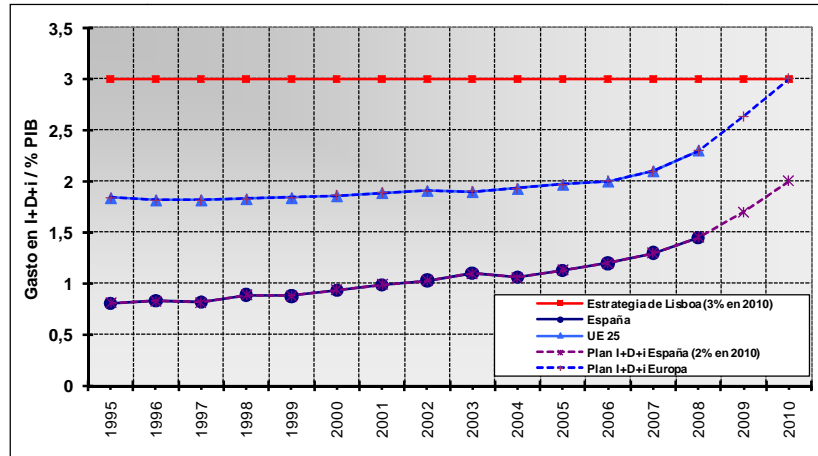


FIGURA 9: GASTO EN I+D+I EN PORCENTAJE DEL PIB (INE 2009)

Por otro lado cabe destacar que, tal y como podemos apreciar en la siguiente figura, la intensidad en I+D+i de un sector está correlacionada positivamente con el crecimiento anual de empleo. [15]

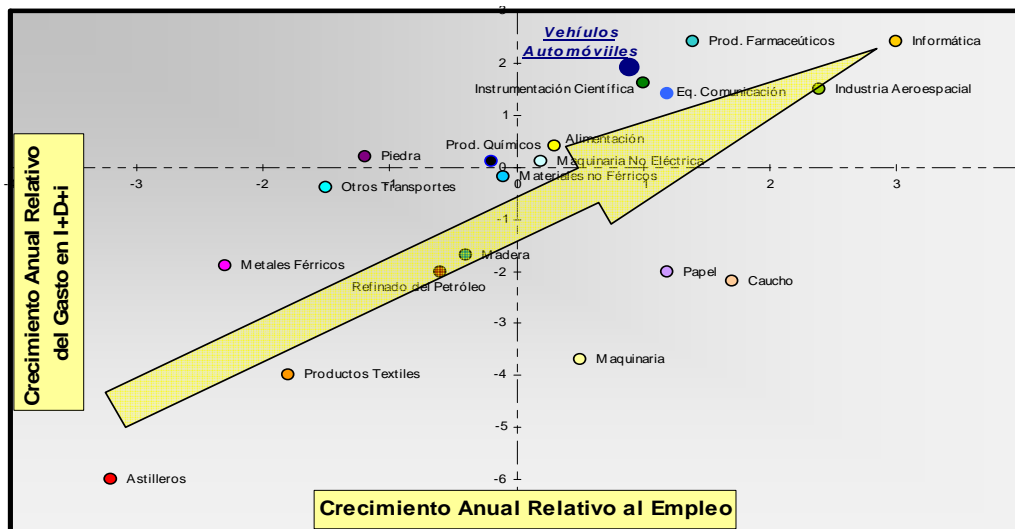


FIGURA 10: CORRELACIÓN ENTRE INVERSIÓN EN I+D+I Y GENERACIÓN DE EMPLEO

Una vez expuesto el marco en el que se mueve el proyecto de I+D+i y las razones de partida que impulsan a las empresas a invertir en estas actividades se pasará a estudiar más en detalle los conceptos de Investigación, Desarrollo e Innovación, qué significa e implica realizar un proyecto de I+D+i en la empresa privada y en qué consiste (fases del proyecto). Este trabajo arrojará un poco de luz a los trabajos que posteriormente se desarrollarán en la Tesis Doctoral.

ESTADO DEL CONOCIMIENTO:

1.- EL CONCEPTO DE INNOVACIÓN Y LA TERMINOLOGÍA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

La evolución a través del tiempo del panorama mundial de mercado y el auge de las alianzas estratégicas (globalización de los mercados), de la aparición y difusión acelerada de nuevas tecnologías (evolución del estado de la técnica), de los contextos de aplicación, de la sociedad y sus condicionantes (incremento de la tasa de desempleo, factores sociales como el medioambiente,...), etc. ha dado fruto a la formulación de numerosas definiciones y numerosos aportes teóricos acerca de los conceptos Innovación, Investigación y Desarrollo.

Con el objetivo de acotar estas numerosas definiciones y de dar una idea más precisa y concisa de lo que significan cada uno de estos términos, nos centraremos en sus definiciones bajo el contexto de los proyectos de Innovación en la empresa que buscan mejorar su competitividad, entendiéndose por competitividad la capacidad que tienen las empresas de aprovechar de forma efectiva sus ventajas distintivas para ser mejores que sus competidores.^[12]

De esta manera, se ha optado por utilizar como referencia las definiciones propuestas por AENOR en su norma UNE 166000:2006 *“Gestión de la I+D+i. Terminología y definiciones de las actividades de I+D+i”* y las enunciadas en los Manuales de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, a los cuales nos referiremos en adelante como Manuales OCDE.

1.1.- DEFINICIÓN DE INNOVACIÓN

La Real Academia Española define el término innovación, proveniente del latín *innovatĭo, -ōnis*, como *“acción y efecto de innovar”* ó *“creación o modificación de un producto, y su introducción en un mercado”*; entendiéndose por innovar, según el mismo diccionario, *“cambiar o alterar las cosas introduciendo novedades”*.^[13]

Si nos atenemos a las definiciones recogidas en la norma UNE 166000:2006 y en los manuales OCDE el término de innovación queda definido como la *“actividad que, utilizando el conocimiento o, generándolo si es necesario, tiene como objetivo la obtención de nuevos productos (bienes o servicios), de nuevos procesos, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo o mejoras sustancialmente significativas de los ya existentes, para su introducción en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo, las relaciones exteriores de la empresa o el mercado”*.^{[1][11]}

Asimismo los Manuales de la OCDE y por su parte la norma UNE 166000:2006 recogen también como actividades innovadoras todas las gestiones científicas, tecnológicas, organizativas, financieras y comerciales, incluida la inversión en nuevos conocimientos, que conducen efectivamente, o tienen por objeto conducir, a la introducción de innovaciones. Dentro de estas actividades innovadoras quedan también incluidas las de Investigación y Desarrollo que no están directamente vinculadas a la introducción de una innovación en particular.^[11] Cabe destacar que algunas de estas actividades pueden ser innovadoras en sí mismas, mientras que otras son necesarias para la introducción de innovaciones.

Innovar es en definitiva, tal y como lo definía P. Drucker en el entorno empresarial,^[3] *“la manera con la que el emprendedor bien crea riqueza mediante la producción de recursos/productos nuevos, bien utiliza los ya existentes para hacer las cosas de manera*

diferente y producir riqueza”; o dicho en un lenguaje más coloquial, viendo lo que todo el mundo ve, leyendo lo que todo el mundo lee y oyendo lo que todo el mundo oye, innovar es realizar lo que nadie ha imaginado todavía.

1.1.1.- Tipos de Innovación

Las empresas incorporan la innovación en su estrategia de formas muy diversas, pudiéndolo hacer para ofrecer una mayor gama de productos, procesos y servicios, obtener una mayor calidad en los mismos, disminuir costes, o mejorar su posición en el mercado.

El establecimiento de tipologías de innovación se plantea como una ardua labor debido a que la variedad y complejidad de las innovaciones es enorme dependiendo del sector industrial, el grado de novedad, la tecnología, la naturaleza, etc. Numerosos estudiosos e investigadores se han visto atraídos por esta interesante tarea y han conducido sus trabajos a la elaboración de diferentes clasificaciones de las innovaciones que faciliten un análisis sistemático de los procesos involucrados en ellas.

Una clasificación posible es la que se refleja en la siguiente tabla.

TIPOS DE INNOVACIONES		
NATURALEZA	GRADO	NIVEL TECNOLÓGICO
<ul style="list-style-type: none"> ♦ TECNOLÓGICA - PRODUCTO - PROCESO ♦ COMERCIAL O MERCADOTECNIA ♦ ORGANIZATIVA 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ RADICAL ♦ INCREMENTAL 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ CIENTÍFICO ♦ GENÉRICO ♦ TECNOLÓGICO ♦ ADAPTACIONES TÉCNICAS

TABLA.1: CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE INNOVACIÓN

En ella observamos una clasificación basada en la *naturaleza de la innovación* que permite enfocar el estudio desde cada uno de los ámbitos de la empresa; otra que se refiere al *grado de la innovación*, esto es, a la ruptura que representa una innovación determinada en el mercado y, por último, una atendiendo a la relevancia de su *nivel tecnológico*. [11]

En los siguientes puntos se describe con más detalle lo que se incluye en cada una de estas categorías.

1.1.1.1.- Innovación según su Naturaleza.

Bajo este prisma podemos enfocar la innovación desde cada uno de los ámbitos de la empresa, pudiendo así diferenciar entre:

↳ *Innovación Tecnológica*. Surge tras la utilización de la tecnología como medio para introducir un cambio en la empresa. La tecnología puede ser creada por la propia empresa o adquirida a cualquier suministrador, público o privado, nacional o extranjero. El único agente imprescindible para que exista innovación tecnológica es la empresa, ya que es la responsable de su utilización para introducir el cambio. Dentro de esta categoría quedan recogidas las *Innovaciones de Producto y de Proceso*:^[11]

- *Innovación de Producto*. Esta innovación se corresponde con la introducción de un bien o de un servicio nuevo, o significativamente mejorado, en cuanto a sus características o en cuanto al uso al que se destina. Esta definición incluye la mejora significativa de las características técnicas, de los componentes y los materiales de la información integrada, de la facilidad de uso u otras características funcionales. Bajo esta definición podemos distinguir entre dos formas de innovación de productos:
 - Se dice que un *producto es tecnológicamente nuevo* en el mercado cuando presenta diferencias significativas respecto a los producidos anteriormente en cuanto a su finalidad, prestaciones, características tecnológicas, propiedades teóricas o materias primas y componentes utilizados en su producción. Este tipo de innovaciones puede llevarse a cabo con tecnologías completamente nuevas o por medio de nuevas utilizaciones de tecnologías existentes o aprovechando nuevos conocimientos.
 - Se califica como *producto tecnológicamente mejorado* al producto existente cuyos resultados han sido sensiblemente incrementados o mejorados. También puede tomar dos formas. En la primera, un producto simple puede ser mejorado (por mejora de sus prestaciones o abaratamiento del coste) gracias a la utilización de componentes o materiales más logrados. En la segunda, un producto complejo que comprende varios subsistemas técnicos integrados puede ser mejorado por medio de modificaciones parciales de uno de ellos.

- *Innovación de Proceso*. Esta innovación se corresponde con la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, proceso de producción o de distribución (suministro del producto). Ello implica cambios significativos en las técnicas, los materiales y/o los programas informáticos. Dentro de este grupo se incluyen tanto las innovaciones de proceso (que afectan a la naturaleza misma del proceso tecnológico empleado para fabricar) como las de producción (que se refieren a las operaciones de fabricación y a su encadenamiento). Puede resultar de modificaciones en el equipo o en la organización de la producción o de estas dos modificaciones asociadas y aprovechando nuevos conocimientos. Los métodos introducidos pueden ser destinados a la producción y suministro de productos tecnológicamente nuevos o mejorados que sean imposibles de obtener con las instalaciones o los métodos de producción clásicos, o a producir o suministrar de forma más eficiente productos existentes.

↳ *Innovación de Mercadotecnia o Innovación Comercial*. Este tipo de innovación aparece como resultado del cambio de cualquiera de las diversas variables del marketing y recoge la aplicación de un nuevo método de comercialización que implique cambios significativos del diseño o envasado del producto, su posicionamiento, su promoción o su tarificación. El objetivo de estas innovaciones es el de satisfacer mejor las necesidades de los consumidores, de abrir nuevos mercados o de posicionar en el mercado de una nueva manera un producto de la empresa con el fin de aumentar sus ventas.^[11]

↳ *Innovación Organizativa*. En este caso el cambio ocurre en la dirección y organización bajo la cual se desarrolla la actividad productiva y comercial de la empresa. Bajo esta innovación queda recogida la introducción de un nuevo método organizativo en las prácticas, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores de la empresa. Es un tipo de innovación que, entre otras cosas, posibilita un mayor acceso al conocimiento y un mejor aprovechamiento de los recursos materiales y financieros. Entre las innovaciones organizativas de posible aplicación en la empresa distinguimos dos: las que actúan a un *nivel externo* que se refieren a la constitución de redes entre empresas y otros agentes del sistema económico para favorecer la cooperación entre ellos, y las que abordan la proyección de los negocios y actividades productivas en el ámbito internacional y las que lo hacen a un *nivel interno* que van dirigidas a mejorar el trabajo en grupo, bien a través de la gestión de interfaces o del funcionamiento interno del equipo.^[11]

1.1.1.2.- Innovación según su Grado.

El grado de una innovación trata de aproximar la ruptura que ésta ha supuesto dentro del mercado o del sector y así, generalmente se opone la innovación radical a la incremental. En todo caso, la apreciación del grado de radicalidad de la innovación depende en parte de la perspectiva escogida; así, innovaciones de valor incremental en un ámbito (por ejemplo, los materiales) pueden dar lugar a innovaciones radicales en otros (por ejemplo, el sector de automóvil).

Las dificultades para precisar el grado de innovación son grandes, pero la distinción es importante, porque las necesidades de nuevo conocimiento entre ambos tipos son muy diferentes y también sus consecuencias para las empresas que las realizan y para la economía en su conjunto.

Podemos por tanto diferenciar entre:

↳ *Innovación Radical*. Implica una ruptura con lo ya establecido. Son innovaciones que modifican profundamente las referencias habituales que conciernen a las prestaciones del producto o su coste, a los sistemas de producción y mercadeo o a la propia empresa. ^[11] Estos diferentes conceptos exigen nuevos conocimientos y nuevas competencias, a veces totalmente ajenos a los tradicionales, obligando a las empresas a realizar esfuerzos económicos extras para suplir estas carencias.

↳ *Innovación Incremental*. La innovación incremental, por su parte, entraña una mejora progresiva de las referencias (prestaciones o costes) del producto y no exige nuevos conocimientos técnicos. Se trata de pequeños cambios dirigidos a incrementar la funcionalidad y las prestaciones de la empresa que, si bien aisladamente son poco significativas, cuando se suceden continuamente de forma acumulativa pueden constituir una base permanente de progreso. ^[11] Así, se observa cómo el crecimiento y el éxito experimentado por las empresas de automoción en los últimos tiempos responde, en gran parte, a programas a largo plazo caracterizados por una sistemática y continua mejora en el diseño de productos y procesos.

1.1.1.3.- Innovación según su Nivel Tecnológico.

La evaluación de las aportaciones de las innovaciones y de la ruptura que cada una de ellas representa no sólo implica constatar sus respectivas contribuciones al progreso, también es preciso apreciar su nivel, es decir, el cúmulo de conocimientos, nuevos o no aplicados antes al mismo fin, que implican.

En este contexto, cabe distinguir cuatro niveles principales de innovación: [11]

↳ *Innovación de nivel científico.* Este nivel considera los fundamentos científicos del dominio tecnológico o de la actividad analizada. Las innovaciones de nivel científico son aquellas en las que los inputs de nuevo conocimiento son clave.

↳ *Innovación de las tecnologías genéricas.* Son las tecnologías fundamentales necesarias en una actividad o producto determinado pero que no están ligadas exclusivamente a él, sino que contribuyen al desarrollo de muy diversos tipos de productos. Se encuentran muy próximas a las disciplinas científicas y no finalistas y se caracterizan porque pueden ser compartidas por muchos sectores. Es el caso de la informática, la electrónica, las telecomunicaciones, la biotecnología o el empleo de nuevos materiales.

↳ *Innovación de los conceptos tecnológicos de aplicación.* En el marco de una tecnología genérica dada existen muchos conceptos posibles de aplicación y cada uno de ellos precisa conocimientos (know-how) específicos. Por ejemplo, el know-how específico que requiere cada una de las aplicaciones de la electrónica en los diversos ámbitos de aplicación (comunicaciones, electrodomésticos, máquinas herramientas, automóviles, etc.).

↳ *Innovación de las adaptaciones técnicas.* Estas modificaciones no requieren el recurso a una nueva tecnología, pero intervienen en el marco definido por un concepto tecnológico dado y pueden tener gran importancia.

A la vista de esta clasificación cabe destacar que no debemos pensar en estos tipos de innovaciones como si de sucesos independientes se tratase, sino más bien de sucesos interrelacionados entre sí, de tal forma que muchas veces las innovaciones tecnológicas implican o promueven innovaciones organizativas o comerciales y viceversa.

1.2.- DEFINICIONES DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Dentro de las actividades que permiten a la empresa adquirir y generar conocimientos nuevos, las actividades de Investigación y Desarrollo, en adelante I+D, son las de mayor importancia cualitativa, al representar un mayor aumento relativo de los conocimientos generados en el proceso innovador.

En este marco el Manual de Frascati define Investigación y Desarrollo como “*el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de*

conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones”.^[10]

La I+D es considerada un ‘invento para inventar’ o como una ‘fábrica de tecnología’ y es por tanto el mecanismo generador de aquellas tecnologías y conocimientos propios con los que la empresa pretende potenciar o desarrollar sus productos, procesos o servicios. La amplitud de este objetivo hace que la I+D, a su vez, deba incluir una serie de actividades/tipos de I+D que, aunque persiguen resultados diferentes, están conectados entre sí y que se recogen en los siguientes puntos.

1.2.1.- Definición de Investigación

La Real Academia Española define el término investigación, proveniente del latín *investigatio*, -ōnis, como “*acción y efecto de investigar*” ó “*acción que tiene por fin ampliar el conocimiento científico, sin perseguir, en principio, ninguna aplicación práctica*”; entendiéndose por investigar, según el mismo diccionario, “*realizar actividades intelectuales y experimentales de modo sistemático con el propósito de aumentar los conocimientos sobre una determinada materia*”.^[13]

Debido a que el esfuerzo investigador no siempre se orienta al puro conocimiento de la verdad, sino que se dirige al dominio de las potencias del universo para nuestro beneficio, surge la necesidad de diversificar en la intencionalidad, que no en los métodos, de la investigación surgiendo así los dos tipos siguientes:

↳ *Investigación Básica*. Si nos atenemos a las definiciones recogidas en la norma UNE 166000:2006 y en los manuales OCDE el término de investigación básica queda definido como “*los trabajos experimentales o teóricos que se emprenden fundamentalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada*”.^{[1][10]}

La investigación básica, llevada a cabo normalmente por científicos en el sector enseñanza superior o en el sector Administración pública, analiza propiedades, estructuras y relaciones, con objeto de formular y contrastar hipótesis, teorías o leyes.

La referencia a “sin pensar en darle ninguna aplicación o utilización determinada” en la definición de investigación básica es crucial, ya que el ejecutor puede no conocer aplicaciones reales cuando hace la investigación o responde a las encuestas. Los

resultados de la investigación básica no se ponen normalmente a la venta, sino que generalmente se publican en revistas científicas o se difunden directamente a personas interesadas.

Recientemente se ha subdividido la investigación básica en dos grupos:

- *Investigación Básica Pura*. Llevada a cabo para hacer progresar los conocimientos, sin intención de obtener a largo plazo ventajas económicas o sociales y sin un esfuerzo deliberado por aplicar los resultados a problemas prácticos ni transferirlos a los sectores responsables de su aplicación.
- *Investigación Básica Orientada*. Llevada a cabo con la idea de que producirá una amplia base de conocimientos susceptible de constituir un punto de partida que permita resolver problemas ya planteados o que puedan plantearse en el futuro.

↪ *Investigación Aplicada*. Si nos atenemos a las definiciones recogidas en la norma UNE 166000:2006 y en los manuales OCDE el término de investigación aplicada queda definido como la “*los trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos; sin embargo, está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico*”. [1] [10]

La investigación aplicada se emprende para determinar los posibles usos de los resultados de la investigación básica, o para determinar nuevos métodos o formas de alcanzar objetivos específicos predeterminados. Este tipo de investigación implica la consideración de todos los conocimientos existentes y su profundización, en un intento de solucionar problemas específicos. En el sector empresas, la separación entre investigación básica e investigación aplicada vendrá dada normalmente por la preparación de un nuevo proyecto para explorar un resultado prometedor obtenido en el marco de un programa de investigación básica.

Los resultados de la investigación aplicada recaen, en primer lugar, sobre un producto único o un número limitado de productos, operaciones, métodos o sistemas. La investigación aplicada desarrolla ideas y las convierte en algo operativo. Los conocimientos o informaciones obtenidas de la investigación aplicada son a menudo patentados, aunque igualmente pueden permanecer secretos.

1.2.2.- Definición de Desarrollo

La Real Academia Española define el término desarrollo, proveniente del latín *evolvô, is*, como “*acción y efecto de desarrollar o desarrollarse*” ó “*evolución progresiva*”

de una economía hacia mejores niveles de vida”; entendiéndose por desarrollar, según el mismo diccionario, “acrecentar, dar incremento a algo de orden físico, intelectual o moral” ó “dicho de una comunidad humana: progresar, crecer económica, social, cultural o políticamente”. [13]

Si nos atenemos a las definiciones recogidas en la norma UNE 166000:2006 y en los manuales OCDE el término de desarrollo queda definido como los “trabajos sistemáticos fundamentados en los conocimientos existentes obtenidos por la investigación o la experiencia práctica, que se dirigen a la fabricación de nuevos materiales, productos o dispositivos, a establecer nuevos procedimientos, sistemas y servicios, o a mejorar considerablemente los que ya existen”. [1][10]

La construcción y prueba de un prototipo constituyen con frecuencia la fase más importante del desarrollo tecnológico. Un prototipo es un modelo original que presenta todas las características técnicas y prestaciones del nuevo producto.

2.- EL PROCESO DE INNOVACIÓN EN LA EMPRESA

El proceso de innovación es un proceso complejo que varía mucho de unas empresas a otras y, sobre todo, de unos sectores a otros.

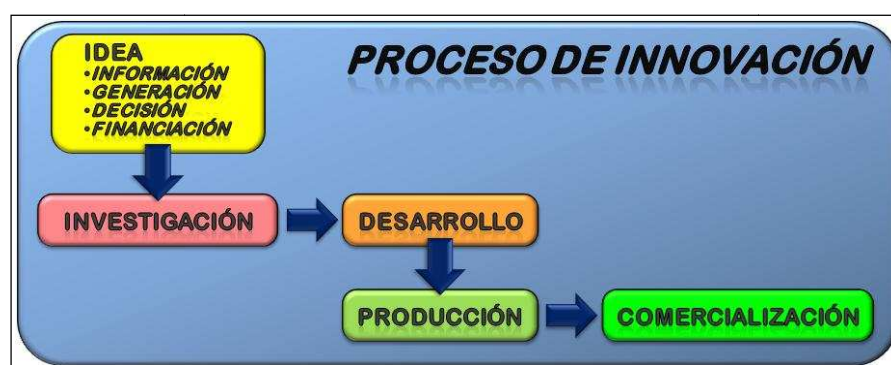


FIGURA 11: INTERACCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DEL PROCESO DE INNOVACIÓN

Este proceso integra actividades científicas, tecnológicas, organizativas, financieras y comerciales, incluyendo las inversiones en nuevos conocimientos entre las que existen frecuentes y repetidos caminos de ida y vuelta y que finalizan con la introducción en el mercado del nuevo producto o con el funcionamiento del nuevo proceso productivo. [1][2]

En términos amplios las actividades innovadoras que conducen al desarrollo o introducción de innovaciones pueden dividirse en los tres grandes grupos como se muestra en la siguiente tabla: [2]

ACTIVIDADES DEL PROCESO DE INNOVACIÓN		
GENERACIÓN Y ADQUISICIÓN DE NUEVO CONOCIMIENTO	PREPARACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN	PREPARACIÓN PARA LA COMERCIALIZACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> ♦ INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO ♦ ADQUISICIÓN DE TECNOLOGÍA EXTERIOR: <ul style="list-style-type: none"> - INMOVILIZADO MATERIAL - INMOVILIZADO INMATERIAL 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DISEÑO E INGENIERÍA DE LA PRODUCCIÓN ♦ INGENIERÍA DE PROCESO ♦ LANZAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ REDUCCIÓN DEL RIESGO COMERCIAL

TABLA 2: ACTIVIDADES QUE COMPONEN EL PROCESO DE INNOVACIÓN

A continuación se describe con más detalle lo que se incluye en cada una de estas categorías: [2]

↪ *Generación y Adquisición de Conocimiento.* En este grupo se encuentran las actividades que le permiten a la empresa generar o adquirir los conocimientos nuevos precisos para innovar. Quedan integradas en esta etapa las actividades de:

- *Investigación y Desarrollo Tecnológico.* Es el mecanismo generador de aquellas tecnologías y conocimientos propios con las que la empresa pretende potenciar o desarrollar sus productos, procesos y servicios. Esta actividad incluye la construcción y pruebas de prototipos.
- *Adquisición de Tecnología Exterior.* No todas las empresas pueden hacer frente a las inversiones que requiere mantener un departamento de I+D y, mucho menos, pretender desarrollar internamente todo el conocimiento necesario para ejecutar la innovación. La generación de tecnología propia por parte de la empresa no es condición necesaria para su supervivencia, y se puede ser competitivo sin el desarrollo de esta capacidad. Cuando este es el caso, resulta crítico poseer una buena red de suministradores de tecnología y capacidad suficiente para poner esa tecnología adquirida en uso, ya sea de forma independiente o combinándola con desarrollos internos de la propia empresa. Dos son las vías para lograr tal fin:
 - *Adquisición de Inmovilizado Material* consistente en adquirir maquinaria y equipos con características tecnológicas avanzadas,

directamente relacionadas con el proceso de innovación y, por tanto, con la introducción por primera vez en el mercado de un producto, proceso o servicio nuevo o mejorado.

- *Adquisición de Inmovilizado Inmaterial* consistente en adquirir tecnología en forma de patentes, licencias, Know-how, marcas, diseños, estudios de viabilidad tecnológica, software y servicios técnicos relativos a la creación de nuevos productos, procesos y servicios o a mejoras significativas de otras ya existentes.

↪ *Preparación para la Producción.* Las actividades aquí recogidas se relacionan directamente con el proceso de transformación de los conocimientos y tecnologías adquiridas en la etapa anterior en mejoras para la empresa, tanto de producto o servicio como de proceso. Las tres actividades básicas que integran esta etapa son:

- *Diseño Industrial e Ingeniería de Producto*, que es la actividad mediante la cual se elaboran los elementos descriptivos del producto, proceso o servicio objeto de la innovación y, llevándose a cabo cuando es necesario modificaciones para facilitar la producción del producto, la implantación del proceso o la provisión del servicio.
- *Ingeniería de Proceso*, que ordena los procedimientos de producción (procesos) o de provisión (servicios), y asegura la calidad y la aplicación de normas de cualquier tipo para la fabricación de productos, servicios y procesos nuevos o mejorados. Esta actividad incluye el diseño y la realización de nuevas herramientas de producción y prueba (cadenas de montaje, plantas de proceso, utillaje, moldes, programas de ordenador para equipos de prueba, etc.).
- *Lanzamiento de la Fabricación*, que consiste en la fabricación de un número suficiente de unidades de producto o de realización de servicios, que permita probar la capacidad que tiene el nuevo proceso de ser comercializado. En esta actividad se incluye la formación del personal de producción en la utilización de nuevas técnicas o en el uso de nuevos equipos o maquinaria necesarias para el buen fin de la innovación.

↪ *Preparación para la Comercialización.* Es el conjunto de actividades asociadas al lanzamiento de un producto nuevo o tecnológicamente mejorado:

- *Reducción del Riesgo Comercial.* Con el nombre genérico de estudios y pruebas dirigidas a reducir la incertidumbre del mercado, se designa a todas

las actividades consistentes en estudios previos de mercado, la adaptación del producto a diferentes mercados, pruebas de publicidad o de lanzamiento en mercados piloto. Una innovación, cuanto más radical y novedosa sea, más complicaciones y reticencias suscitará a la hora de su introducción. Por ello, los estudios de mercado y de los consumidores deberán determinar si la innovación es compatible o no con el estado actual de las cosas, de tal modo que a menor compatibilidad, serán necesarias campañas más fuertes de publicidad y acciones para informar y educar a los compradores potenciales.

2.1.- MODELOS DEL PROCESO DE INNOVACIÓN

La complejidad y diversidad del proceso de innovación hace muy difícil descubrir las consecuencias que un nuevo acontecimiento puede provocar en los múltiples componentes en interacción que actúan durante este proceso. De esta situación se desprende la existencia de numerosos modelos que, aun teniendo el objetivo único de explicar lo que constituye el proceso de innovación, resultan incapaces a la hora de capturar toda la complejidad de la realidad que tratan de describir ya que no existe una idea universal, clara y definitiva sobre el camino que tiene lugar desde que surge una invención o idea hasta que ésta alcanza el mercado. ^[5]

La evolución de un modelo a otro no implica una sustitución automática de un modelo por otro, muchos modelos coexisten y en algunos casos, elementos de un modelo se entremezclan con elementos de otro. Además, en muchas ocasiones el progreso de una generación a otra refleja el cambio en la percepción predominante de lo que constituyen las mejores prácticas, más que un progreso en sí mismo.

Todo esto provoca que el modelo más apropiado varíe de un sector a otro e incluso hasta entre empresas del mismo sector industrial atendiendo a las distintas categorías de innovaciones que se estudian en el punto anterior. No obstante, del análisis y estudio de los modelos propuestos por distintos autores se deduce que existen algunos modelos sobre el proceso de innovación más extendidos y aceptados en la literatura general. Concretamente, los modelos más destacados son los Modelos Lineales, los Modelos por Etapas, los Modelos Interactivos o Mixtos, los Modelos Integrados y el Modelo de Red. ^[14]

Cada uno de estos modelos trata de mejorar a sus predecesores, subsanando sus debilidades, realizando nuevas aportaciones e incorporando perspectivas alternativas, de

forma que se ha ido perfeccionando el conocimiento sobre la forma en la que tiene lugar la innovación en la empresa. En los siguientes puntos se exponen cada uno de estos modelos estudiando sus características principales y el proceso que plantean desde la generación de la idea hasta su introducción en el mercado. [14]

2.1.1.- Modelo de Primera Generación: Modelo Lineal Empujado por la Tecnología

Este modelo se caracteriza por su concepción lineal del proceso de innovación. En él se considera que, para sacar al mercado nuevos productos o para modificar los procesos de fabricación, se suceden una serie de etapas que se inician con la de la investigación científica.

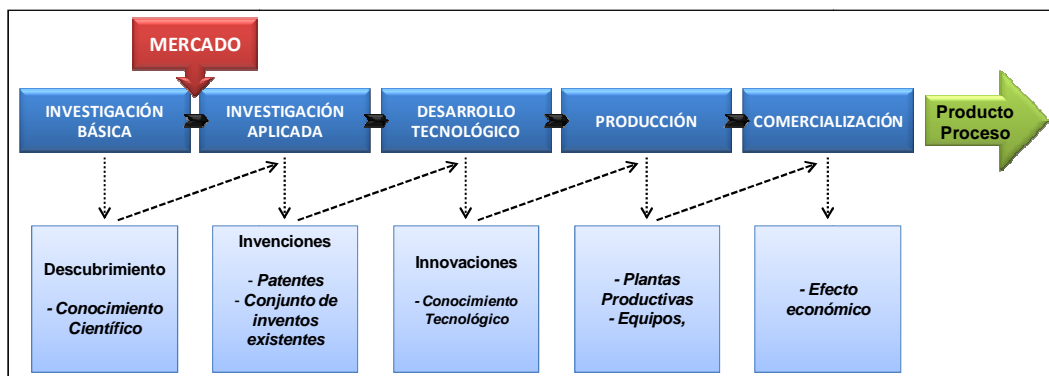


FIGURA 12: MODELO DE PRIMERA GENERACIÓN. MODELO LINEAL EMPUJADO POR LA TECNOLOGÍA

Por ello este enfoque se denomina también secuencial, ya que plantea que a partir de las actividades de I+D se ha de llegar necesariamente a la incorporación al mercado de nuevos productos o procesos, es decir, que se parte de la hipótesis de que la innovación tiene su origen en el descubrimiento científico.

El modelo lineal empujado por la tecnología se caracteriza por las siguientes ideas:

- ↳ El carácter secuencial y ordenado que establece este modelo genera cierta inflexibilidad a la hora de adaptarse a la realidad del proceso de innovación. En ciertas ocasiones no son necesarias determinadas fases del proceso y en otras, la secuencia puede ser distinta.
- ↳ El proceso de adaptación de los principios científicos a conocimientos tecnológicos se produce mediante un escalonamiento progresivo, secuencial y ordenado.
- ↳ Las innovaciones se derivan básicamente del descubrimiento científico.

- ↪ Las capacidades tecnológicas de una determinada sociedad son esencialmente función de las fronteras de sus conocimientos.
- ↪ Los conocimientos útiles para la producción industrial se basan en principios fundamentalmente científicos.
- ↪ Concibe la evolución tecnológica en términos de organización de los procesos de desarrollo técnico y de invenciones materiales.
- ↪ No es un modelo que explique con veracidad la realidad. No obstante en su momento significó una primera aproximación al fenómeno descrito y proporcionó un vocabulario para nombrar y precisar los pasos que llevan a una innovación.

2.1.2.- Modelo de Segunda Generación: Modelo Tirón de la Demanda

Los principales condicionantes que propician la evolución del modelo lineal de primera generación a este nuevo modelo son los cambios originados en el mercado mundial donde la oferta comienza a exceder la demanda y, como consecuencia, las nuevas estructuras de poder que establecen organizaciones y consumidores.

Debido a este nuevo entorno, se genera la necesidad de un nuevo modelo que reconsiderare el papel del mercado en el proceso innovador. Este modelo, también lineal, plantea que las innovaciones se derivan básicamente de las necesidades de los consumidores.

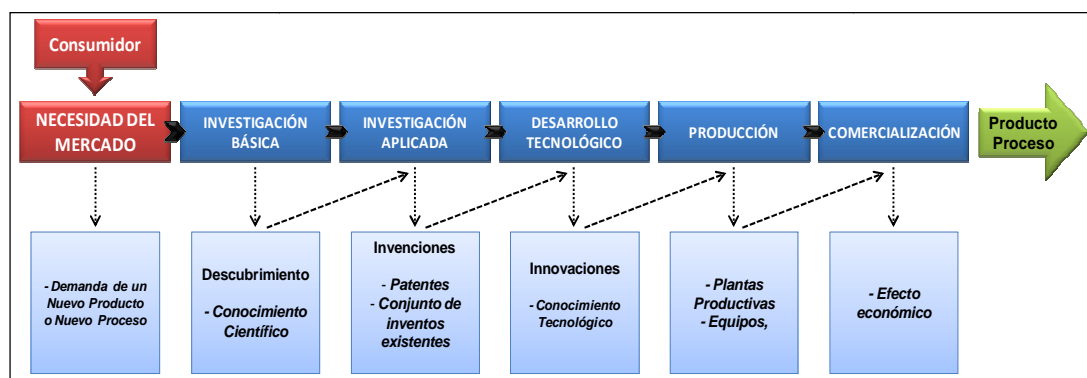


FIGURA 13: MODELO DE SEGUNDA GENERACIÓN. MODELO TIRÓN DE LA DEMANDA

El modelo lineal del tirón de la demanda se caracteriza por las siguientes ideas:

- ↪ El mercado se concibe como fuente de ideas a las que dirigir las actividades de investigación y desarrollo, que desempeña puramente un papel reactivo en el proceso de innovación.

- ↪ Al igual que sucede con el modelo de primera generación, el carácter secuencial y ordenado que establece este modelo genera cierta inflexibilidad a la hora de adaptarse a la realidad del proceso de innovación. En ciertas ocasiones no son necesarias determinadas fases del proceso y en otras, la secuencia puede ser distinta.
- ↪ Las innovaciones se derivan básicamente de las necesidades de los consumidores.
- ↪ Este modelo considera que el empresario decide realizar un proyecto de innovación acudiendo al stock de conocimientos científicos para tratar de satisfacer las necesidades de los consumidores.
- ↪ Este modelo, aunque explicó de una manera más real la innovación en su época y valoró el poder que tiene el mercado para impulsarla, continuó siendo insuficiente y sus principales limitaciones están enmarcadas en dos elementos fundamentales; la naturaleza del proceso innovador sigue siendo explicada a través de un análisis que no refleja su complejidad; así como, una posición absoluta en cuanto a las fuerzas que lo impulsan.

2.1.3.- Modelo Híbrido de Primera y Segunda Generación: Modelo por Etapas

Este modelo, en el que al igual que los anteriores la innovación es considerada como una actividad secuencial de carácter lineal, surge de la combinación de los modelos de primera y segunda generación, incorporando por lo tanto elementos de ambos.

El proceso de innovación se plantea como una serie de etapas consecutivas, detallando y haciendo énfasis, bien en las actividades particulares que tienen lugar en cada una de las etapas, bien en los departamentos involucrados.

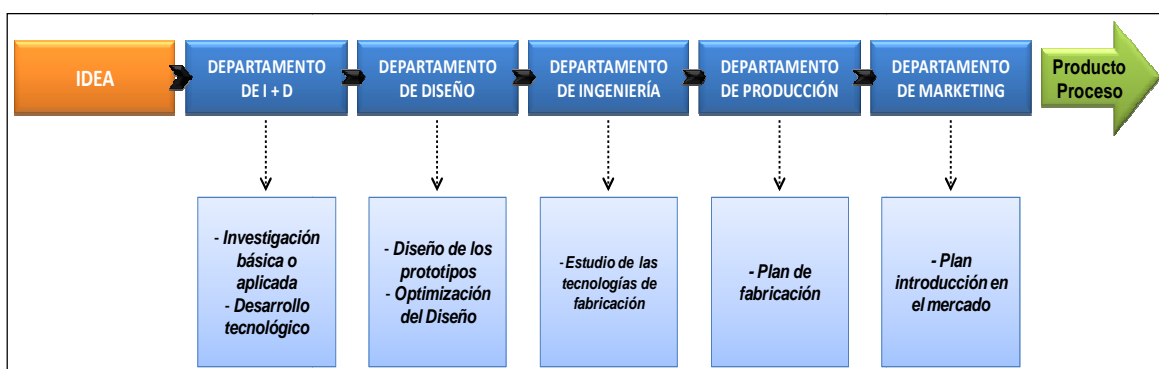


FIGURA 14: *MODELO HÍBRIDO DE PRIMERA Y SEGUNDA GENERACIÓN: MODELO POR ETAPAS*

En la anterior imagen podemos observar el modelo propuesto en términos de los departamentos de la empresa involucrados: una idea que se convierte en un input para el

departamento de I+D, de ahí pasa al de diseño, ingeniería, producción, marketing y finalmente, se obtiene como output del proceso, el producto o proceso.

El modelo por etapas se caracteriza por las siguientes ideas:

- ↪ Como sucede en los modelos en los que está basado, la naturaleza secuencial y ordenada que establece este modelo, en los que un paso sigue a otro, tampoco es válida en la práctica, dado que una de las características del proceso de innovación es su no-linealidad.
- ↪ Existe cierta disparidad en los modelos planteados bajo este enfoque. Algunos autores consideran que el proceso se puede resumir en dos etapas y otros llegan a considerar hasta ocho.
- ↪ No contemplan las superposiciones o solapamientos que se producen entre los departamentos y los procesos de retroalimentación o retro-información que tienen lugar entre los mismos.
- ↪ Considera cada actividad o departamento como individual y aislado del resto, cuando indefectiblemente tienen lugar numerosas interrelaciones
- ↪ No indican qué sucede exactamente dentro de cada uno de los departamentos y la etapa en la que se encuentra la innovación cuando abandona un departamento concreto.

2.1.4.- Modelo de Tercera Generación: Modelo Interactivo o Mixto

La imperiosa necesidad de entender la lógica del proceso de innovación y las bases de las innovaciones exitosas para conseguir reducir la incidencia de fallos y el despilfarro de recursos en una época marcada por las elevadas tasas de inflación y desempleo y por la saturación de la demanda son el detonante que provoca la aparición de este modelo.

En su formulación del proceso de innovación se subraya la interacción entre las capacidades tecnológicas por un lado, y las necesidades del mercado, por otro. Además, estos modelos, aunque en esencia siguen siendo modelos secuenciales, resaltan la importancia de los procesos retroactivos que se generan entre las distintas fases de la innovación.

Dentro de esta corriente destacan el modelo de Marquis, el de Roberts, el de Rothwell y Zegveld y el de Kline y Rosenberg.

A continuación se presenta éste último ya que es sin duda uno de los más conocidos y aceptados.

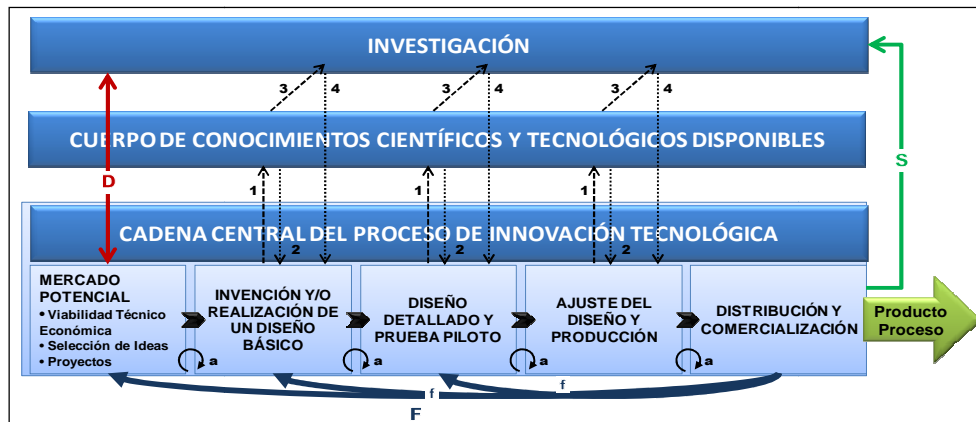


FIGURA 15: *MODELO DE TERCERA GENERACIÓN MODELO INTERACTIVO/MIXTO*

El modelo de Kline y Rosenberg, tal y como se observa en la anterior imagen, propone un proceso de innovación con tres áreas de relevancia en interrelacionadas entre sí: la investigación, el cuerpo de conocimientos científicos y tecnológicos disponibles y la cadena central del proceso de innovación tecnológica [9].

En los siguientes puntos se exponen las principales aportaciones de este modelo así como las interrelaciones entre las áreas que plantea:

- ↳ El proceso de innovación comienza con una idea que se materializa en un invento y/o diseño analítico, que, lógicamente, debe responder a una necesidad del mercado.
- ↳ La inclusión de las necesidades del mercado en el proceso de innovación. Este proceso, representado en la figura por las flechas **f** y **F**, ofrece información sobre las necesidades del mercado a las fases precedentes del proceso de innovación, dado que el producto final puede presentar algunas deficiencias y puede obligar a hacer correcciones en etapas anteriores; e información sobre la posibilidad de desarrollo de nuevas aplicaciones industriales, ya que cada nuevo producto crea nuevas condiciones en el mercado.
- ↳ Incluye procesos retroactivos entre las distintas fases de la innovación. Consisten en las retroalimentaciones representadas en la figura por los círculos **a** cuya función es la de hacer que el camino central de la innovación, el cual comienza con una idea que se materializa en un invento y/o diseño analítico, que lógicamente responde a una necesidad del mercado, y que finaliza con la distribución y comercialización de esa idea/invento sea un proceso más interactivo y sólido.

- ↪ La interacción entre las tres áreas de relevancia del proceso de innovación:
- Interacción entre la Cadena Central del Proceso de Innovación Tecnológica, el Cuerpo de Conocimientos Científicos y Tecnológicos disponibles y el área de Investigación. La primera interacción, representada por las flechas **1** y **2**, se produce cuando tiene lugar un problema en una actividad de la cadena central de la innovación tecnológica y se acude al conocimiento existente para resolverlo. La acción de acudir al conocimiento se refleja mediante la flecha **1**, que une la invención y el conocimiento. Si el cuerpo de conocimientos existente proporciona los datos necesarios (conceptos o teoría), la información es transferida al invento o diseño analítico, lo que se indica mediante la flecha **2**. En el caso de no existir tal información, será necesario realizar una investigación, expresado mediante la flecha **3**, y que posteriormente los resultados de la investigación se añadan a la base de datos del cuerpo de conocimientos, retorno reflejado por la flecha **4**.
 - Interacción entre la Invención, fase de la Cadena Central del Proceso de Innovación Tecnológica, y el área de Investigación. Esta conexión, representada por la flecha **D**, vincula la posibilidad de realizar innovaciones radicales gracias a los nuevos descubrimientos de la investigación. La relación es bidireccional, ya que aunque la ciencia es la que normalmente crea oportunidades para nuevos productos, también la percepción de necesidades o posibles ventajas en el mercado pueden asimismo estimular investigaciones importantes.
 - Interacción entre el Mercado y el área de Investigación. Esta interacción vincula los resultados de la innovación, tales como instrumentos, máquinas herramientas, procedimientos tecnológicos, etc. con la investigación ya que estos resultados pueden ser utilizados para apoyar la investigación científica. En la figura queda descrita por la flecha **S**.

El modelo interactivo o mixto se caracteriza por las siguientes ideas:

- ↪ Mantiene el carácter lineal del proceso, lo cual afecta a la eficacia de los sistemas de retroalimentación en cuanto a la rápida difusión de la información.
- ↪ La duración del proceso continúa siendo excesiva. Los numerosos procesos de retroalimentación entre las diferentes funciones y actividades implicadas en el desarrollo de la innovación, pueden terminar siendo perjudiciales debido al retraso en la toma de decisiones que originan.

- ↪ Relaciona la ciencia y la tecnología en todas las partes del modelo y no sólo al principio, como hace el modelo lineal. La innovación surge del contacto con la ciencia a lo largo de todo el proceso: por un lado, como ciencia o conocimiento acumulado que se utiliza cuando surge un problema tecnológico y, por otro, cuando no se encuentran estas soluciones y es necesario emprender nuevas investigaciones
- ↪ Considera la innovación como una manera de encontrar y solucionar problemas, no como algo totalmente nuevo, como plantea el modelo lineal.
- ↪ La empresa recurre a las actividades de investigación y desarrollo cuando no consigue el conocimiento que precisa en otras fuentes por lo que estas actividades dejan de ser consideradas el origen indiscutible del proceso innovador.
- ↪ El modelo no hace referencia al trabajo en equipos interdisciplinares, con lo cual no se garantiza la necesaria integración funcional.

2.1.5.- Modelo Evolucionado de Tercera Generación: Modelo Norma UNE 166002

El modelo del proceso de innovación de la norma UNE 166002 surge de una evolución del modelo de Kline y Rosenberg. En esta evolución aporta al modelo anterior el uso de la vigilancia y previsión tecnológica y el impulso de la creatividad en la identificación y caracterización de ideas, objetivos y escenarios tecnológicos.

En la siguiente imagen podemos observar el modelo propuesto:

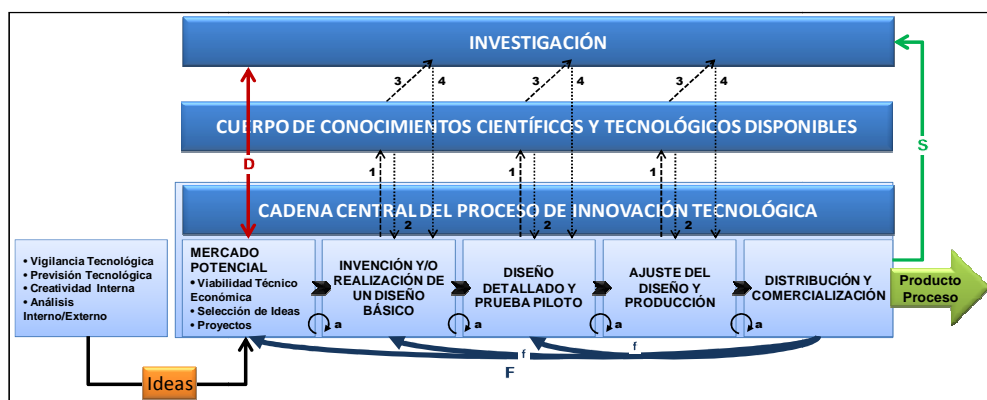


FIGURA 16: MODELO EVOLUCIONADO DE TERCERA GENERACIÓN: MODELO NORMA UNE 166002

El modelo evolucionado de tercera generación se caracteriza por las siguientes ideas:

- ↪ Relaciona la ciencia y la tecnología en todas las partes del modelo y no sólo al principio, como hace el modelo lineal. La innovación surge del contacto con la ciencia a lo largo de todo el proceso: por un lado, como ciencia o conocimiento acumulado

que se utiliza cuando surge un problema tecnológico y, por otro, cuando no se encuentran estas soluciones y es necesario emprender nuevas investigaciones

↪ Mantiene el carácter lineal del proceso, lo cual afecta a la eficacia de los sistemas de retroalimentación en cuanto a la rápida difusión de la información.

↪ Uso de la vigilancia y previsión tecnológica y el impulso de la creatividad en la identificación y caracterización de ideas, objetivos y escenarios tecnológicos.

↪ La duración del proceso continúa siendo excesiva y sus requisitos de inversión constante sin resultados son elevados. Los numerosos procesos de retroalimentación entre las diferentes funciones y actividades implicadas en el desarrollo de la innovación, pueden terminar siendo perjudiciales debido al retraso en la toma de decisiones que originan.

↪ La empresa recurre a las actividades de investigación y desarrollo cuando no consigue el conocimiento que precisa en otras fuentes por lo que estas actividades dejan de ser consideradas el origen indiscutible del proceso innovador.

2.1.6.- Modelo de Cuarta Generación: Modelo Integrado

El acortamiento del ciclo de vida de los productos provoca que la velocidad de desarrollo se imponga como un factor clave para competir, empujando a las empresas a adoptar estrategias basadas en el tiempo.

Fruto de esta nueva situación del mercado surge el modelo integrado del proceso de innovación, el cual concibe que las fases del proceso de innovación deben ser consideradas y gestionadas a través de procesos solapados o incluso concurrentes o simultáneos, en vez de mediante procesos no secuenciales tal y como lo concebían los modelos anteriores. En la siguiente imagen podemos observar el modelo propuesto:



FIGURA 17: MODELO DE CUARTA GENERACIÓN: MODELO INTEGRADO

Este modelo persigue una mayor integración de las fases del proceso de innovación, lo que implica un elevado nivel de coordinación y control. En él se plantea que el proceso de desarrollo de un producto o proceso tiene lugar en un grupo multidisciplinar cuyos miembros trabajan juntos desde el comienzo hasta el final. El modelo integrado se caracteriza por las siguientes ideas:

- ↪ El carácter integrador y el desarrollo paralelo que establece este modelo se asemeja más a la realidad del proceso de innovación que el enfoque secuencial de los modelos predecesores.
- ↪ No existen etapas perfectamente estructuradas y definidas, el proceso se va conformando a través de las interacciones de los miembros del grupo.
- ↪ Intentan capturar el alto grado de integración funcional que tiene lugar dentro de las empresas, así como su integración con actividades de otras empresas, incluyendo a proveedores, clientes, y en algunos casos, universidades y agencias gubernamentales.
- ↪ Se sustenta sobre los criterios planteados por la ingeniería simultánea o concurrente; integración interna con el desarrollo de una estructura participativa en todos los departamentos y la integración externa, con la colaboración de proveedores para conseguir la reducción del costo.
- ↪ Integran a los proveedores en el proceso de desarrollo del nuevo producto desde las primeras etapas, y al mismo tiempo integran las actividades de los diferentes departamentos internos involucrados, quienes trabajan en el proyecto simultáneamente (en paralelo) en vez de secuencialmente (en serie).

2.1.7.- Modelo de Quinta Generación: Modelo de Red

La evolución de las estrategias empresariales en los últimos años, en los que se han incrementado de forma importante, por un lado, el número de alianzas estratégicas de carácter horizontal basadas en la colaboración interempresarial y, por otro, alianzas estratégicas de carácter vertical con clientes y proveedores para el desarrollo de la innovación, ha contribuido a un cambio en la concepción de la misma.

En este nuevo escenario las compañías líderes siguen comprometidas con la acumulación tecnológica; las empresas continúan estableciendo redes estratégicas; la velocidad por llegar al mercado sigue siendo un factor de competitividad clave; persisten los esfuerzos por lograr una mejor integración entre las estrategias de producto y las de

producción; las empresas muestran cada vez una mayor flexibilidad y adaptabilidad; y las estrategias de producto enfatizan la calidad y el rendimiento.



FIGURA 18: MODELO DE QUINTA GENERACIÓN: MODELO DE RED

Todo esto provoca que la innovación se convierta en mayor medida en un proceso en red en el cual las diferentes áreas de la empresa se encuentran interrelacionadas entre sí y éstas a su vez se relacionan con los recursos externos tal y como se puede apreciar en la figura anterior.

Bajo este prisma la innovación puede considerarse como un proceso de aprendizaje o proceso de acumulación de know-how, que involucra elementos de aprendizaje tanto internos como externos.

El modelo de red se caracteriza por las siguientes ideas:

- ↪ La fuente de la innovación es el conocimiento. Se considera a la misma como un proceso aislado o separado, no integrado en otros procesos empresariales y guiado por la gestión estratégica.
- ↪ Emplea equipos multifuncionales y hace uso de la ingeniería simultánea.
- ↪ Utiliza sofisticadas herramientas electrónicas que permiten a las empresas incrementar la velocidad y la eficiencia en el desarrollo de nuevos productos, tanto internamente entre las distintas actividades funcionales, como externamente entre la red de proveedores, clientes y colaboradores externos.
- ↪ Este modelo apunta una nueva idea sobre la innovación: las empresas innovadoras se encuentran asociadas a un conjunto muy diverso de agentes a través de redes de colaboración y de intercambio de información, conformando un “sistema de innovación”.

- ↳ Gran importancia de las fuentes de información externas a la empresa: los clientes, proveedores, consultorías, laboratorios públicos, agencias gubernamentales, universidades, etc. de forma que la innovación se deriva de redes tecnológicas.
- ↳ No contemplan el ambiente interno de las organizaciones. Las tecnologías informáticas no pueden sustituir la interacción social y confianza

METODOLOGÍA - RESULTADOS:

1.- EL PROYECTO DE INNOVACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL

Tras el estudio teórico y revisión bibliográfica acerca del concepto de innovación y la terminología investigación y desarrollo realizados en el apartado anterior se determina, en primer lugar, el tipo de proyecto de innovación que se desarrollará en el segundo bloque de la tesis. Esta determinación tiene una elevada importancia de cara a la definición del modelo de gestión del proceso innovador ya que, en definitiva, este último está supeditado a ella de manera que es ésta quien dictamina las fases que debe contener el proyecto, el orden cronológico y el contenido de las mismas.

A continuación comienzan, basándose en los modelos teóricos del proceso de gestión ya expuestos, las actividades que tienen como objetivo la definición del modelo que permita abordar el carácter multidisciplinar así como la naturaleza y complejidad de las actividades a realizar en los proyectos de innovación como el presentado en el segundo bloque de la Tesis y que, en definitiva, servirá para determinar la estructura de las actividades a ejecutar en el mismo.

1.1.- TIPO DE INNOVACIÓN

1.1.1.- Recapitulación: Tabla Resumen de los Tipos de Innovación

A continuación se resumen los distintos tipos de innovación expuestos en el apartado anterior:

TIPOS DE INNOVACIÓN			
DEFINICIÓN TÉRMINO INNOVACIÓN	LA INNOVACIÓN ES UN COMPLEJO PROCESO QUE LLEVA CONOCIMIENTO AL MERCADO EN FORMA DE PRODUCTOS, SERVICIOS Y SUS PROCESOS DE PRODUCCIÓN O PROVISIÓN NUEVOS O MEJORADOS: INNOVACIÓN = CONOCIMIENTO/CONCEPTO TEÓRICO + INVENCION TÉCNICA + EXPLOTACIÓN COMERCIAL		
FAMILIA	TIPO	DEFINICIÓN	OBJETIVO
NATURALEZA	TECNOLÓGICA PRODUCTO	♦ INTRODUCCIÓN AL MERCADO DE UN PRODUCTO TECNOLÓGICAMENTE NUEVO O SIGNIFICATIVAMENTE MEJORADO	♦ CREAR PRODUCTOS CUYAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS O USOS PREVISTOS DIFIEREN SIGNIFICATIVAMENTE DE LOS CORRESPONDIENTES A PRODUCTOS ANTERIORES ♦ CREAR PRODUCTOS A PARTIR DE PRODUCTOS PREVIAMENTE EXISTENTES, CUYO DESEMPEÑO HA SIDO PERFECCIONADO O MEJORADO
	TECNOLÓGICA PROCESO	♦ INTRODUCCIÓN DE MÉTODOS DE PRODUCCIÓN O DE DISTRIBUCIÓN NUEVOS O SIGNIFICATIVAMENTE MEJORADOS	♦ PRODUCIR O ENTREGAR PRODUCTOS TECNOLÓGICAMENTE NUEVOS O MEJORADOS, QUE NO PUEDAN PRODUCIRSE NI ENTREGARSE UTILIZANDO MÉTODOS DE PRODUCCIÓN CONVENCIONALES ♦ AUMENTAR FUNDAMENTALMENTE LA EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN O ENTREGA DE PRODUCTOS EXISTENTES
	COMERCIAL O MERCADO	♦ INTRODUCCIÓN DE MÉTODOS PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS/PROCESOS NUEVOS, DE NUEVOS MÉTODOS DE ENTREGA DE PRODUCTOS PREEXISTENTES O DE CAMBIOS EN EL EMPAQUE Y/O EMBALAJE	♦ SATISFACER MEJOR LAS NECESIDADES DE LOS CONSUMIDORES, DE ABRIR NUEVOS MERCADOS O DE POSICIONAR EN EL MERCADO DE UNA NUEVA MANERA UN PRODUCTO DE LA EMPRESA CON EL FIN DE AUMENTAR SUS VENTAS
	ORGANIZATIVA	♦ INTRODUCCIÓN DE NUEVAS ESTRUCTURAS ORGANIZATIVAS O MODIFICADAS SIGNIFICATIVAMENTE E IMPLEMENTACIÓN DE ORIENTACIONES ESTRATÉGICAS NUEVAS O SUSTANCIALMENTE MODIFICADAS	♦ CREAR UN NUEVO MÉTODO ORGANIZATIVO EN LAS PRÁCTICAS, LA ORGANIZACIÓN DEL LUGAR DE TRABAJO O LAS RELACIONES EXTERIORES DE LA EMPRESA QUE POSIBILITE UN MAYOR ACCESO AL CONOCIMIENTO Y MEJOR APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS MATERIALES Y FINANCIEROS.
GRADO	RADICAL	♦ INTRODUCCIÓN/CREACIÓN DE UN NUEVO PRODUCTO, SERVICIO O PROCESO QUE NO SE CONOCÍA ANTES	♦ MODIFICACIÓN PROFUNDA DE LAS REFERENCIAS HABITUALES QUE CONCIERNEN A LAS PRESTACIONES DEL PRODUCTO, PROCESO O SUS COSTES, A LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y MERCADEO O A LA ORGANIZACIÓN DE LA PROPIA EMPRESA
	INCREMENTAL	♦ INTRODUCCIÓN/CREACIÓN DE VALOR AGREGADO SOBRE UN PRODUCTO, SERVICIO O PROCESO YA EXISTENTE, AGREGÁNDOLE CIERTA MEJORA	♦ MEJORA PROGRESIVA DE LAS REFERENCIAS HABITUALES QUE CONCIERNEN A LAS PRESTACIONES DEL PRODUCTO, PROCESO O SUS COSTES, A LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y MERCADEO O A LA ORGANIZACIÓN DE LA PROPIA EMPRESA

NIVEL TECNOLÓGICO	CIENTÍFICO	<ul style="list-style-type: none"> ♦ CONSIDERA LOS FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS DEL DOMINIO TECNOLÓGICO O DE LA ACTIVIDAD ANALIZADA 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ CONSTATAR EL NIVEL DE CONOCIMIENTOS, NUEVOS O NO, APLICADOS AL MISMO FIN BAJO EL CRITERIO DE NIVEL CIENTÍFICO
	TECNOLOGÍAS GENÉRICAS	<ul style="list-style-type: none"> ♦ SON LAS TECNOLOGÍAS FUNDAMENTALES NECESARIAS EN UNA ACTIVIDAD O PRODUCTO DETERMINADO PERO QUE NO ESTÁN LIGADAS EXCLUSIVAMENTE A ÉL, SINO QUE CONTRIBUYEN AL DESARROLLO DE DIVERSOS PRODUCTOS 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ COTEJAR EL NIVEL DE CONOCIMIENTOS, NUEVOS O NO, APLICADOS AL MISMO FIN BAJO EL CRITERIO DE LAS TECNOLOGÍAS NECESARIAS PARA MATERIALIZAR LA IDEA.
	CONCEPTO TECNOLÓGICO	<ul style="list-style-type: none"> ♦ LOS CONOCIMIENTOS ESPECÍFICOS REQUERIDOS PARA EL DESARROLLO DE LA INNOVACIÓN 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DEFINIR EL NIVEL DE CONOCIMIENTOS, ESPECÍFICOS PARA LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS GENÉRICAS
	ADAPTACIONES TÉCNICAS	<ul style="list-style-type: none"> ♦ LOS CONCEPTOS TECNOLÓGICOS UTILIZADOS EN LA MODIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA EL DESARROLLO DE LA INNOVACIÓN 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ EXAMINAR EL NIVEL DE CONOCIMIENTOS, NUEVOS O NO, NECESARIOS PARA LA ADAPTACIÓN DE UNA TECNOLOGÍA EXISTENTE

TABLA 3: RASGOS ESENCIALES DE LA INVESTIGACIÓN BÁSICA Y APLICADA Y DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO

1.1.2.- Recapitulación: Tabla Resumen de los Rasgos Esenciales de Investigación y Desarrollo

Las siguientes tablas resumen los rasgos esenciales de la terminología investigación y desarrollo:

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO				
DEFINICIÓN DE LOS TÉRMINOS INVESTIGACIÓN DESARROLLO	EL TRABAJO CREATIVO LLEVADO A CABO DE FORMA SISTEMÁTICA PARA INCREMENTAR EL VOLUMEN DE CONOCIMIENTOS, INCLUIDO EL CONOCIMIENTO DEL HOMBRE, LA CULTURA Y LA SOCIEDAD, Y EL USO DE ESOS CONOCIMIENTOS PARA CREAR NUEVAS APLICACIONES			
	DEFINICIÓN	TIPOS DE TRABAJO	OBJETIVO	COMENTARIOS
INVESTIGACIÓN BÁSICA	ADQUISICIÓN DE CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS NUEVOS, SOBRE FUNDAMENTOS DE LOS FENÓMENOS Y HECHOS OBSERVABLES	ANALIZA: <ul style="list-style-type: none"> ♦ PROPIEDADES ♦ ESTRUCTURAS ♦ RELACIONES 	FORMULAR: <ul style="list-style-type: none"> ♦ HIPÓTESIS ♦ TEORÍAS ♦ LEYES 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ LOS RESULTADOS NO BUSCAN UN OBJETIVO CONCRETO. ♦ LOS RESULTADOS APARECEN EN PUBLICACIONES ESPECIALIZADAS
INVESTIGACIÓN APLICADA	ADQUISICIÓN DE CONOCIMIENTO CIENTÍFICOS NUEVOS, ORIENTADOS A UN OBJETIVO PRÁCTICO	ESTUDIA: <ul style="list-style-type: none"> ♦ USOS POSIBLES DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN BÁSICA 	OBJETIVO PRÁCTICO DETERMINADO	LOS RESULTADOS GENERAN: <ul style="list-style-type: none"> ♦ PRODUCTO ÚNICO ♦ Nº LIMITADO PRODUCTOS, OPERACIONES, MÉTODOS Y SISTEMAS ♦ EXISTE LA POSIBILIDAD DE PATENTARLOS

TABLA 4: RASGOS ESENCIALES DE LA INVESTIGACIÓN BÁSICA Y APLICADA

	DEFINICIÓN	TIPOS DE TRABAJO	OBJETIVO	COMENTARIOS
DESARROLLO EXPERIMENTAL O TECNOLÓGICO	USO DE LOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES, DISPOSITIVOS, PROCEDIMIENTOS, SISTEMAS O SERVICIOS NUEVOS O MEJORAS SUBSTANCIALES	REALIZA: <ul style="list-style-type: none"> ♦ TRABAJOS SISTEMÁTICOS BASADOS EN CONOCIMIENTOS EXISTENTES PROCEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA O LA EXPERIENCIA PRÁCTICA 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ LANZAR AL MERCADO UNA NOVEDAD ♦ LANZAR AL MERCADO UNA MEJORA CONCRETA 	CONCLUYEN NORMALMENTE CON: <ul style="list-style-type: none"> ♦ ENSAYOS Y PRUEBAS DE UN PROTOTIPO ♦ UNA PLANTA PILOTO

TABLA 5: RASGOS ESENCIALES DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO

1.1.3.- Tipo de Innovación a Desarrollar en el Bloque II

Una vez finalizados los trabajos de investigación científica-teórica acerca del término innovación, lo que este engloba y su tipología, nos hayamos en disposición de poder determinar el tipo de innovación que se desarrollará en el Bloque II de la Tesis Doctoral, en el que como se comentaba anteriormente, quedan recogidos los trabajos de investigación científico-técnicos llevados a cabo en la misma.

El desarrollo de un nuevo componente de seguridad para vehículos automóviles, objetivo que persigue este segundo bloque, requiere de la realización de un proyecto de innovación bastante complejo debido principalmente al carácter multidisciplinar de las actividades a realizar en el mismo (estudio y selección de materiales, diseño y optimización del componente, validación de nuevos procesos de fabricación, etc.)

Esta situación provoca que el proyecto encaje con varios de los tipos de innovación expuestos con anterioridad, tal y como se observa en la siguiente figura:

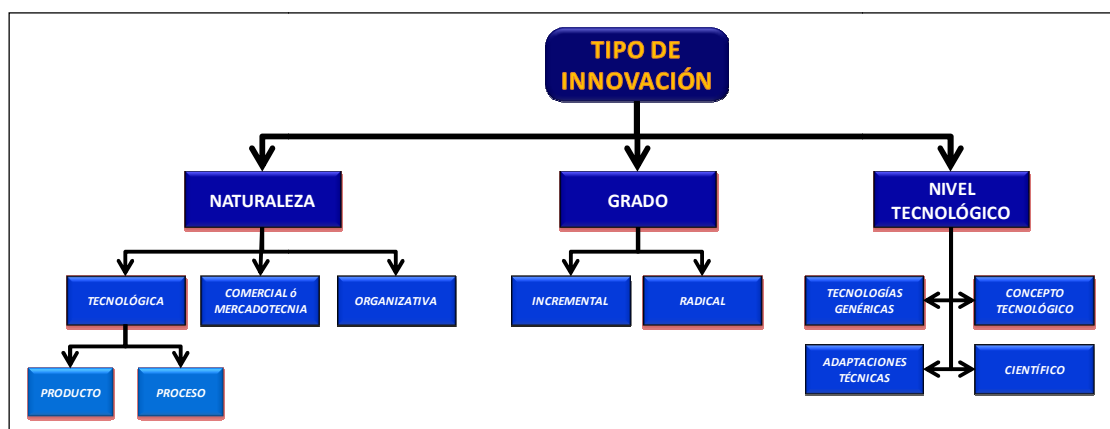


FIGURA 19: TIPO DE PROYECTO DE INNOVACIÓN A REALIZAR EN EL BLOQUE II

En los siguientes puntos, con el objetivo de arrojar un poco de luz a esta categorización, se exponen con más detalle los criterios de la misma:

↪ *Innovación según su Naturaleza* → *Innovación Tecnológica*. El proyecto de innovación encaja en esta categoría ya que la empresa pretende utilizar la tecnología como medio para introducir un cambio en la misma. Dentro de esta categoría quedan recogidas las Innovaciones de Producto y de Proceso:

- *Innovación de Producto*. La empresa pretende introducir en el mercado un producto tecnológicamente nuevo en cuanto se refiere a sus características técnicas pero conservando su funcionalidad, mejorando sus prestaciones y características técnicas y todo ello con un coste contenido.
- *Innovación de Proceso*. El nuevo producto fruto del apartado anterior requiere de la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, proceso de producción que haga factible su fabricación de una manera eficaz y eficiente.

↪ *Innovación según su Grado* → *Innovación Radical*. El nuevo producto busca una ruptura con lo ya establecido. Se pretende desarrollar un componente que por un lado rompa con las referencias habituales que conciernen a sus prestaciones y su coste, mientras que por otro sea totalmente innovador en cuanto se refiere a los sistemas de producción para la fabricación del mismo.

↪ *Innovación según su Nivel Tecnológico*

- *Innovación según su Nivel Tecnológico* → *Innovación de las tecnologías genéricas*. Durante el desarrollo del componente se hará uso de diferentes tecnologías fundamentales (informática, materiales, etc.) pero que no están ligadas exclusivamente a él, sino que contribuyen al desarrollo de muy diversos tipos de productos/procesos.
- *Innovación según su Nivel Tecnológico* → *Innovación de los conceptos tecnológicos de aplicación*. Muchas de las tecnologías genéricas que describíamos en el apartado anterior precisan de unos conocimientos específicos (know-how) clave en el desarrollo del proyecto. Éstos son los que en definitiva proporcionan a la empresa un distanciamiento a la vez que protección frente a los competidores.

1.2.- GESTIÓN DEL PROCESO DE INNOVACIÓN

1.2.1.- Recapitulación: Tabla Resumen de los Modelos de Gestión del Proceso de Innovación

En la siguiente tabla se resumen las principales características de cada uno de los distintos modelos del proceso de innovación, las aportaciones de cada uno de ellos y sus deficiencias.

MODELOS DEL PROCESO DE INNOVACIÓN				
MODELO LINEAL	MODELO POR ETAPAS	MODELO INTERACTIVO O MIXTO	MODELO INTEGRADO	MODELO DE RED
CARACTERÍSTICAS				
<ul style="list-style-type: none"> ♦ <i>MODELO DE EMPUJE DE LA TECNOLOGÍA O CIENCIA:</i> PROCESO PROGRESIVO, SECUENCIAL Y ORDENADO DESDE EL DESCUBRIMIENTO CIENTÍFICO, HASTA LA INVESTIGACIÓN APLICADA, EL DESARROLLO TECNOLÓGICO, LA FABRICACIÓN Y EL LANZAMIENTO AL MERCADO DE LA NOVEDAD ♦ <i>MODELO DE TIRÓN DE LA DEMANDA O DEL MERCADO:</i> LAS NECESIDADES DE LOS CONSUMIDORES SON LA PRINCIPAL FUENTE DE IDEAS PARA DESENCADENAR EL PROCESO DE INNOVACIÓN. EL MERCADO SE CONCIBE COMO UNA FUENTE DE IDEAS A LAS QUE DIRIGIR LA I+D, QUE DESEMPEÑA UN PAPEL MERAMENTE REACTIVO EN EL PROCESO DE INNOVACIÓN 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ AL IGUAL QUE LOS LINEALES CONSIDERAN LA INNOVACIÓN COMO UNA ACTIVIDAD SECUENCIAL DE CARÁCTER LINEAL ♦ SE CONTEMPLA EL PROCESO DE INNOVACIÓN COMO UNA SERIE DE ETAPAS CONSECUTIVAS, DETALLANDO Y HACIENDO ÉNFASIS, BIEN EN LAS ACTIVIDADES PARTICULARES QUE TIENEN LUGAR EN CADA UNA DE LAS ETAPAS, BIEN EN LOS DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS ♦ INCLUYEN ELEMENTOS TANTO DEL EMPUJE DE LA TECNOLOGÍA COMO DEL TIRÓN DE LA DEMANDA 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DESTACA EL MODELO DE KLINE O DE ENLACES EN CADENA ♦ ESTE MODELO, EN VEZ DE TENER UN ÚNICO CURSO PRINCIPAL DE ACTIVIDAD COMO EL MODELO LINEAL, TIENE CINCO. DICHSO CAMINOS O TRAYECTORIAS SON VÍAS QUE CONECTAN LAS TRES ÁREAS DE RELEVANCIA EN EL PROCESO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA, LA INVESTIGACIÓN, EL CONOCIMIENTO Y LA CADENA CENTRAL DEL PROCESO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA ♦ RELACIONA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN TODAS LAS ETAPAS Y NO SOLAMENTE AL PRINCIPIO. LA INNOVACIÓN SURGE DEL CONTACTO CON LA CIENCIA A LO LARGO DE TODO EL PROCESO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ EL TIEMPO DE DESARROLLO ES UNA VARIABLE CRÍTICA. LAS FASES DEL PROCESO DE INNOVACIÓN SE CONSIDERAN Y SE GESTIONAN, EN VEZ DE MEDIANTE PROCESOS SECUENCIALES, A TRAVÉS DE PROCESOS SOLAPADOS O INCLUSO CONCURRENTES O SIMULTÁNEOS. ♦ EN ESTE MODELO SE DESARROLLAN LOS PRODUCTOS EN GRUPOS MULTIDISCIPLINARES CUYOS MIEMBROS TRABAJAN JUNTOS DESDE EL COMIENZO HASTA EL FINAL. ♦ SE INTEGRA A PROVEEDORES EN EL PROCESO DESDE LAS PRIMERAS ETAPAS, Y SE INTEGRAN LAS ACTIVIDADES DE LOS DIFERENTES DEPARTAMENTOS QUE TRABAJAN EN EL PROYECTO SIMULTÁNEAMENTE Y NO EN SERIE 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DESTACA EL MODELO DE INTEGRACIÓN DE SISTEMAS Y ESTABLECIMIENTO DE REDES ♦ SON UNAS EXTENSIONES DE LOS MODELOS INTEGRADOS EN LAS QUE SE ENFATIZAN LAS RELACIONES VERTICALES (ALIANZAS ESTRATÉGICAS CON CLIENTES Y PROVEEDORES) Y COLABORACIONES CON COMPETIDORES ♦ UTILIZA SOFISTICADAS HERRAMIENTAS ELECTRÓNICAS QUE PERMITEN INCREMENTAR LA VELOCIDAD Y LA EFICIENCIA EN EL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS TANTO INTERNAMENTE, COMO EXTERNAMENTE ENTRE LA RED DE PROVEEDORES, CLIENTES Y COLABORADORES EXTERNOS

CONTRIBUCIONES				
<ul style="list-style-type: none"> ♦ ÚTILES PARA ENTENDER DE FORMA SIMPLIFICADA Y RACIONAL EL PROCESO DE INNOVACIÓN ♦ SIENTAN LAS BASES DE MODELOS POSTERIORES 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ CONTEMPLAN LA INTERACCIÓN ENTRE LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA Y LAS NECESIDADES DE LA DEMANDA ♦ PROFUNDIZAN ALGO EN LAS ACTIVIDADES A REALIZAR EN CADA ETAPA 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ INCORPORA LA INTERACCIÓN ENTRE LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA Y LAS NECESIDADES DE LA DEMANDA ♦ SE SUBRAYAN LOS PROCESOS RETROACTIVOS 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ FASES NO SECUENCIALES, SINO YUXTAPUESTAS O PARALELAS ♦ INTEGRACIÓN DE TODAS LAS FUNCIONES QUE CONTRIBUYEN AL PROCESO DE INNOVACIÓN ♦ INTEGRACIÓN INCLUSO CON ACTIVIDADES DE OTRAS EMPRESAS Y PROVEEDORES 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ INFLUENCIA DEL ENTORNO ♦ ÉNFASIS EN LAS ALIANZAS ESTRATÉGICAS CON CLIENTES, PROVEEDORES Y COLABORACIONES CON COMPETIDORES ♦ EMPLEO DE EQUIPOS MULTIFUNCIONALES Y USO DE INGENIERÍA SIMULTÁNEA ♦ INNOVACIÓN BASADA EN EL CONOCIMIENTO
CARENCIAS				
<ul style="list-style-type: none"> ♦ CONCEPCIÓN LINEAL DEL PROCESO DE INNOVACIÓN; CARÁCTER SECUENCIAL Y ORDENADO ♦ AUSENCIA DE RETROALIMENTACIONES O INTERCAMBIOS DE INFORMACIÓN HACIA DELANTE Y HACIA ATRÁS ♦ AUSENCIA DE SOLAPAMIENTOS ENTRE LAS DISTINTAS ACTIVIDADES ♦ NO CONJUGAN ELEMENTOS TANTO DEL EMPUJE DE LA TECNOLOGÍA COMO DEL TIRÓN DE LA DEMANDA 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ CARÁCTER SECUENCIAL DEL PROCESO DE INNOVACIÓN EXCESIVAMENTE ORDENADO ♦ AUSENCIA DE INTERRELACIONES ENTRE ACTIVIDADES O DEPARTAMENTOS ♦ AUSENCIA DE PROCESOS DE RETROALIMENTACIÓN 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ EXCESIVOS PROCESOS DE RETROALIMENTACIÓN ♦ MANTIENE EL CARÁCTER LINEAL DEL PROCESO. COMIENZO DE UNA FASE SUPEDITADA A LA FINALIZACIÓN DE LA ANTERIOR ♦ NO GARANTIZADA LA INTEGRACIÓN FUNCIONAL MEDIANTE EQUIPOS INTERDISCIPLINARES ♦ NO SE PROFUNDIZA EN LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES DEL ENTORNO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ NO SE CONTEMPLA EN DETALLE LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES DEL ENTORNO ♦ AUSENCIA DE PROCESOS DE RETROALIMENTACIÓN 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ EXCESIVO PESO Y RELEVANCIA DE LAS TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS ♦ LAS TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS NO PUEDEN SUSTITUIR LA INTERACCIÓN SOCIAL Y CONFIANZA ♦ NO CONTEMPLAN EL AMBIENTE INTERNO DE LAS ORGANIZACIONES ♦ INNOVACIÓN COMO UN PROCESO AISLADO O SEPARADO, NO INTEGRADO EN OTROS PROCESOS EMPRESARIALES Y GUIADO POR LA GESTIÓN ESTRATÉGICA

TABLA 6: CARACTERÍSTICAS, APORTACIONES Y DEFICIENCIAS DE LOS MODELOS SOBRE EL PROCESO DE INNOVACIÓN

A modo de resumen final podemos destacar que, de las cinco generaciones de modelos por las que ha transitado la innovación, el modelo mixto fue el que se convirtió en un punto de giro en la concepción de la innovación y aunque mantenía un enfoque primordialmente lineal dio una visión de la multidimensionalidad del proceso innovador. [16]

A partir de esta ruptura surgieron nuevos modelos del proceso de innovación, como el integrado y en el de red, en los que se empieza a tener en cuenta un nuevo grupo de factores

presentes en los procesos innovadores tales como la competitividad, la integración interdepartamental e interempresarial, la competencia del personal, el liderazgo, las estructuras participativas, los estilos de dirección horizontales y la inclusión de clientes especializados, elementos que delimitan un amplio campo de investigación para el análisis del proceso de innovación.

1.2.2.- Modelo del Proceso de Innovación para el Bloque II

Tras la determinación del tipo de proyecto de innovación que se acometerá en el Bloque II de la Tesis Doctoral, corresponde abordar la definición un modelo de gestión para los trabajos de investigación científico-técnicos a realizar en el mismo.

El hecho de que el proyecto a realizar aborde diferentes tipos de innovación repercute directamente en la complejidad de su modelo de gestión así como en las interacciones entre sus diferentes fases. Debido a esto, y a que el estudio de los modelos teóricos dejó patente que ninguno de ellos se adaptaba fielmente a las necesidades del proyecto, se decidió definir un nuevo modelo que permitiese abordar el carácter multidisciplinar así como la naturaleza y complejidad de las actividades a realizar en el mismo.

La siguiente figura muestra el modelo de gestión propuesto que se aplicará para gestionar las actividades a desarrollar en el segundo bloque de la Tesis Doctoral:

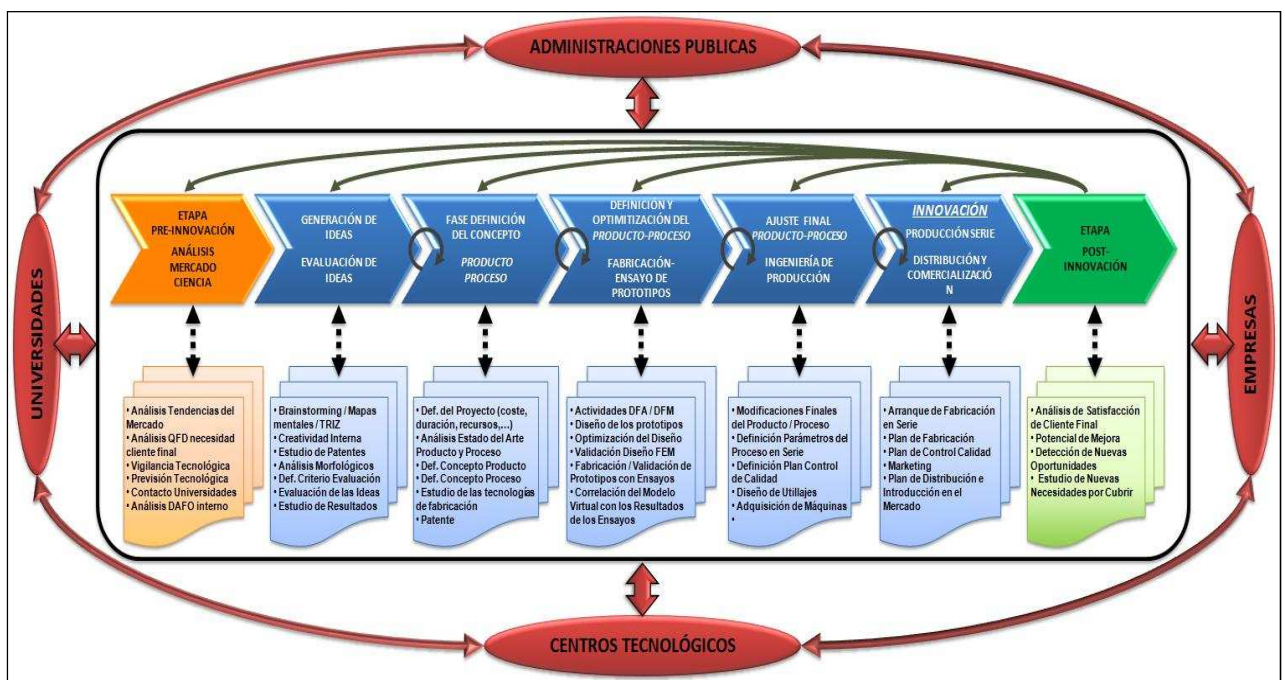


FIGURA 20: MODELO DEL PROCESO DE INNOVACIÓN PARA EL BLOQUE II

Este nuevo modelo de gestión, tal y como se apreciaba en la anterior imagen, propone un proceso de innovación con procesos solapados que persiguen una mayor integración de las fases del mismo, así como una conexión con los agentes del entorno exterior.

En los siguientes puntos se describe más en detalle cómo se plantea un proyecto de innovación con gran contenido tecnológico realizado bajo este modelo:

↳ *Fase Pre-Innovación.* El proyecto se inicia con un estudio de la situación del mercado y de las demandas de los clientes, del estado del arte de los productos y de las tecnologías, de las oportunidades de la empresa, etc.

Esta fase nos ayuda a detectar la necesidad de innovación y a definir el objetivo global/bruto del proyecto de innovación, hacia dónde debemos dirigir nuestros esfuerzos y bajo que premisas/criterios (entorno temporal, costes,...), etc.

↳ *Fase de Generación y Evaluación de Ideas.* En primer lugar es necesario realizar un análisis del estado del arte de los productos y/o de los procesos a analizar y un estudio de las patentes existentes sobre los mismos para, a partir de éstos, haciendo uso de herramientas como los Mapas Mentales, Análisis Morfológicos, Tormentas de Ideas (Brainstorming), etc. concebir o esbozar las posibles soluciones a la problemática anterior.

Una vez determinadas las posibles soluciones se procede a un proceso de filtrado/evaluación objetivo de las mismas para determinar cuál es la solución que mayor equilibrio y mejor sinergia encuentra con respecto a los criterios de evaluación fijados en la fase Pre-Innovación.

↳ *Fase de Definición del Concepto.* En esta fase se realiza un análisis detallado del estado del arte del producto y del proceso en relación a la solución obtenida en el punto anterior. Paralelamente a este trabajo se realizan los primeros análisis de factibilidad del diseño y del proceso productivo, y se prepara la documentación para la protección del concepto mediante una patente.

↳ *Fase de Diseño y Optimización del Producto/Proceso.* En ella, a partir del conocimiento generado en la fase de concepto y mediante la utilización de herramientas de diseño y cálculo CAE, se optimiza el concepto anterior y se definen los materiales concretos a utilizar, la geometría final del producto, etc.

A partir de este diseño se realizan los primeros prototipos que son validados con ensayos físicos y que a su vez sirven para la realimentación y ajuste de los modelos

matemáticos de cálculo CAE (modelos de cálculo por elementos finitos) así como para la determinación de los futuros parámetros de los procesos productivos y determinación de las prestaciones de los equipos para la fabricación en serie.

Esta fase se caracteriza por su gran interactividad entre la definición del producto y su correspondiente proceso productivo y es de vital importancia de cara a la obtención de un componente fiable desde el punto de vista del producto y factible para su fabricación desde el punto de vista del proceso.

↪ *Fase de Ajuste Final del Producto y Proceso o Fase de Ingeniería de Producción.* Una vez definido y validado el diseño nos queda planificar y preparar su fabricación en serie. Para ello, en esta fase se dan las últimas pinceladas al producto a la vez que se trabaja profundamente en el diseño de los medios productivos y la definición de los parámetros de fabricación que cumplan los requisitos de la producción en serie (tiempo de ciclo, cadencia de producción, tasa de fallos,...), definición de los controles de calidad para la serie, los temas logísticos (empaquetamiento, suministros,...), plan de lanzamiento comercial (Marketing, publicidad,...), etc.

↪ *Fase de Producción en Serie/ Distribución y Comercialización.* Llegados a este punto nos hayamos en disposición de empezar la fabricación en serie y la comercialización del mismo. Dentro de esta fase quedan recogidas las actividades de arranque en serie de las máquinas, introducción en el mercado vía la promoción del producto/proceso, distribución, etc.

↪ *Fase Post-Innovación.* Una vez alcanzado el mercado nuestra innovación generará nuevas condiciones en el mercado que es necesario detectar para poder realimentar nuestro proceso y así conseguir el objetivo planteado, obtener un flujo de innovación continuo gracias a la gestión sistemática del proceso de innovación.

La información aquí recogida nos otorgará una ventaja competitiva frente a otras empresas del mismo sector ya que para la siguiente innovación nos encontraremos mejor preparados/entrenados y se podrán optimizar las diferentes fases que lo componen.

A continuación, y con el objetivo de ayudar a comprender de una manera gráfica el proceso descrito en los puntos anteriores, se presenta la siguiente figura:

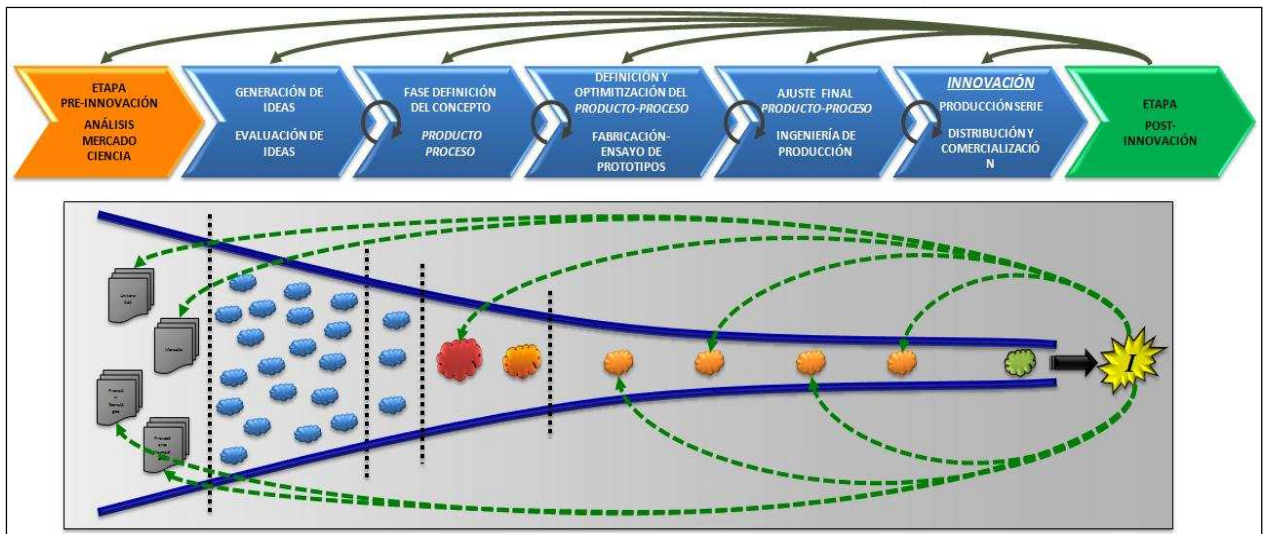


FIGURA 21: FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO DE INNOVACIÓN DEL BLOQUE II

1.2.2.1.- Aportaciones y Características del Modelo del Proceso de Innovación Propuesto

Por último se resumen finalmente las principales aportaciones y características de este modelo así como las interacciones que plantea entre las diferentes áreas/fases:

- ↳ El modelo plantea un proceso de innovación con carácter integrador en el que sus diferentes fases son gestionadas a través de procesos solapados o incluso simultáneos. Este planteamiento permite reducir el tiempo de desarrollo así como favorecer las interacciones entre los miembros del equipo de proyecto.
- ↳ Inclusión de una etapa denominada *Pre-Innovación* que tiene como objetivo el determinar las necesidades/deseos de los clientes, realizar análisis de las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de la empresa, así como llevar a cabo una labor de vigilancia y previsión tecnológica que permita determinar la estrategia correcta a seguir para conseguir una innovación exitosa.
- ↳ Inclusión de una etapa denominada *Post-Innovación* que tiene como objetivo el determinar el grado de satisfacción del cliente final una vez concluido el proyecto de innovación, averiguar las nuevas tendencias del mercado y transmitir esa información a las fases predecesoras, tal y como reflejan las flechas verdes de la figura.

Esta información es de gran importancia ya que por un lado el producto/proceso final puede presentar algunas deficiencias y puede obligar a hacer correcciones en etapas anteriores, mientras que por otro ofrece información sobre la posibilidad de

desarrollo de nuevas aplicaciones industriales, ya que cada nuevo producto/proceso crea nuevas condiciones en el mercado.

↪ Inclusión de procesos retroactivos entre las distintas fases de la innovación. La función de las retroalimentaciones, representadas en la figura por los círculos con flecha, es la de hacer que la innovación sea un proceso más interactivo y sólido y garantizar la necesaria integración funcional. Asimismo éstas potencian el trabajo conjunto de los diferentes departamentos así como la mejora en el flujo de información generada por los equipos interdisciplinarios que trabajan en el proyecto.

↪ Interacciones entre los factores externos y el proyecto de innovación cuya finalidad es la de aumentar el conocimiento de la empresa, promover proyectos de interés común y de actuación conjunta, solucionar alguno de los problemas científicos o tecnológicos que se den durante la ejecución del proyecto de innovación, etc. Estas interacciones, representadas por las flechas rojas, son las siguientes:

- Interacción entre Universidades - Administraciones Públicas - Empresas Proveedoras y/o Competidoras - Centros Tecnológicos
- Interacción entre Universidades y el Proyecto de Innovación.
- Interacción entre Administraciones Públicas y el Proyecto de Innovación.
- Interacción entre Empresas Proveedoras y/o Competidoras y el Proyecto de Innovación.
- Interacción entre Centros Tecnológicos el Proyecto de Innovación.

CONCLUSIONES:

En este primer Bloque se han completado los trabajos de investigación científico-teóricos de la Tesis Doctoral. En la primera fase se ha explicado el significado del término innovación y lo que este engloba, se ha analizado la tipología de los proyectos de innovación, para concluir con el estudio de los modelos teóricos de gestión para el mismo.

A continuación, gracias a los resultados de estos trabajos teóricos, se ha podido determinar el tipo de proyecto de innovación a realizar en el siguiente bloque así como definir el modelo de gestión que permita gestionar/abordar el mismo.

Tras establecer las bases de los siguientes trabajos de la Tesis Doctoral, los trabajos de investigación científico-técnicos, se llega a una serie de conclusiones que procederemos a agrupar del siguiente modo:

1.- CONCLUSIONES SOBRE EL CONCEPTO DE INNOVACIÓN

Tal y como se definía anteriormente, la innovación es el proceso de convertir ideas en productos, procesos o servicios nuevos o mejorados, que aporten un rendimiento al mercado

y unos beneficios a la empresa objeto del proceso innovador. Ahora bien, cuando se habla de innovación no se está haciendo referencia exclusivamente a cuestiones relacionadas con la tecnología, sino que también se incluyen aspectos relacionados con la organización y las formas de comercialización de los bienes, entre otras.

Además es importante destacar que, para que exista realmente un proceso de innovación, ya sea por su naturaleza (tecnológica, comercial o de organización), por su grado (incremental o radical) o por su nivel tecnológico (científico, tecnología genérica, concepto tecnológico o adaptación técnica), éste debe suponer resultados positivos para los beneficios presentes o futuros del empresario. Es decir, todo empresario que decida emprender una iniciativa innovadora debe buscar un beneficio o rendimiento económico para su empresa. Esta es una condición esencial para que un proceso pueda considerarse como innovador y la innovación perdure en el tiempo y no sea una mera acción puntual con efectos pasajeros.

La innovación se ha convertido por tanto en una herramienta imprescindible para dotar al tejido empresarial de los recursos y capacidades necesarias para enfrentarse al entorno cambiante, aprovechar las oportunidades que se presenten y por último influir positivamente en la generación de riqueza y en la creación de empleo.

Esta situación conduce a que el papel de la innovación en la empresa sea cada vez mayor, condicionado en gran parte a que la situación actual del mercado impone severos niveles de competencia que imposibilitan la supervivencia de aquellas empresas que no se capacitan adecuadamente. Es por ello que las empresas con mayor carácter innovador consiguen crecientes cuotas de mercado, alcanzan mejores resultados económicos y, en definitiva, obtienen un sólido posicionamiento competitivo. Por ello, se debe considerar que la innovación no es una moda pasajera o una decisión de mercado; muy al contrario, es una necesidad ineludible para cualquier empresa que quiera sobrevivir y progresar en el marco actual.

No obstante, el éxito de los proyectos de innovación nunca está plenamente garantizado al depender de aspectos internos tan diversos como los tecnológicos, los comerciales, los sociales, los conocimientos existentes y a desarrollar, la creatividad, etc. y aspectos externos como los impuestos de manera general por el entorno como pueden ser las normativas locales, nacionales o internacionales.



FIGURA 22: FACTORES QUE CONDICIONAN LA INNOVACIÓN

Sin embargo, existe una solución que permite en gran medida hacer frente al riesgo ofreciendo alternativas para gestionarlo, superarlo y reducirlo, la gestión sistemática de los procesos de innovación. Eso sí, conviene subrayar que para que esta solución se sostenga en el tiempo tiene que ser rentable económica y socialmente y sobre la base del respeto del entorno, siendo la única política segura para crear empleo y aumentar la calidad de vida.

2.- CONCLUSIONES SOBRE LOS MODELOS TEÓRICOS DEL PROCESO DE INNOVACIÓN

En los apartados previos se destacaba el inherente compromiso del mundo empresarial con el aumento de la competitividad, la contención de los gastos, el aprovechamiento de los recursos al máximo, etc. y cómo éstos generan la necesidad de innovar.

Asimismo se comentaba la importancia que tiene para las empresas el gestionar el proceso de innovación de manera consistente de manera que el éxito, aunque nunca garantizado, sea más probable. Ahora bien, también se exponía que debido a la aleatoriedad del proceso de innovación y a los múltiples factores que sobre esta influyen no existe un modelo de gestión del proceso de innovación concluyente y generalizable que pueda implementarse directamente en las empresas. Esta situación es la que conduce a las mismas a adoptar nuevas políticas, estrategias y a emprender actividades que persiguen la definición de sus propios modelos de gestión sistemática de sus proceso de innovación.

En su carrera hacia la determinación de este modelo adaptado, las empresas pasan por varias fases, destacando entre todas la fase de revisión de la literatura, en la que se estudian los modelos teóricos de gestión del proceso de innovación más reconocidos que, a la larga,

servirán como base para la definición de sus propios modelos de gestión para sus procesos innovadores.

El estudio de los diversos modelos deja patente de nuevo que la innovación es un fenómeno aleatorio y sumamente complejo. Cada uno de los modelos estudiados trata de mejorar a sus predecesores, subsanando sus debilidades, realizando nuevas aportaciones e incorporando perspectivas alternativas, de forma que se ha ido perfeccionando el conocimiento sobre la forma en la que tiene lugar la innovación en la empresa.

En cualquier caso, los modelos de innovación resultan muy útiles cuando se trata de mejorar la comprensión sobre el proceso de innovación. Así, el análisis de los diversos modelos permite concluir una serie de consideraciones generales sobre el proceso de innovación, que recoge algunos de sus elementos claves:

- ↪ El proceso de innovación no se puede analizar por separado del conjunto de los sistemas y procesos de la empresa. En la mayoría de los modelos, la innovación es tratada como un proceso aislado o separado dentro de la empresa cuando, generalmente, la innovación se encuentra integrada en otros procesos empresariales y se guía por la gestión estratégica de la empresa.
- ↪ La innovación requiere de un ambiente o cultura organizativa que la promueva y favorezca. Una cultura organizativa sustentada en valores como flexibilidad, asunción de riesgos, compartir, dinamismo, sugerir, entusiasmo, inquietud, creatividad, etc., hace que el proceso de innovación tenga lugar de forma más ágil y dinámica.
- ↪ Los factores del entorno de la empresa pueden influir en los resultados de innovación de la misma. La empresa se considera como un sistema abierto adaptable que vigila su entorno y en el que las funciones de investigación & desarrollo y marketing reciben información retroactiva de los otros departamentos y del ambiente externo. Así, el origen de las innovaciones empresariales proviene no sólo del capital humano de la empresa, del propio mercado o del conocimiento de la oferta de los fabricantes de bienes de equipo, sino también del espacio de soporte.
- ↪ La innovación se basa cada vez más en muchas formas de conocimiento. Ahora bien, este conocimiento puede provenir de fuentes muy diversas. Se puede hablar de cinco fuentes de información para la innovación: interna a la empresa; proveedores; las empresas iguales (competidoras o no); clientes y sector público. La mayor parte del conocimiento tecnológico de la empresa se encuentra en el departamento de

investigación y desarrollo, que no sólo se encarga de realizar las actividades de investigación con el objeto de desarrollar nueva tecnología o mejorar la actual, sino que también desempeña un papel importante en la vigilancia tecnológica. Ahora bien, existe un conocimiento más sutil, pero no por ello menos importante, que viene recogido en los siguientes ámbitos: el trabajador en su puesto de trabajo, el trabajador dentro del grupo, el trabajador en la empresa, la empresa con otras empresas y el entorno donde la empresa desarrolla sus actividades. Cada una de estas relaciones es una fuente de conocimiento que puede ayudar a solucionar alguno de los problemas tecnológicos y de innovación de la empresa.

↪ El incremento del volumen de conocimientos se consigue fundamentalmente mediante la ejecución de actividades de investigación y desarrollo, pero existen otras modalidades de aprendizaje continuo como son el aprendizaje por la práctica, que se logra con la realización de las actividades de producción; el aprendizaje por el uso, que se extrae de estudiar la forma en que los clientes emplean los productos de la empresa; el aprendizaje por el error, proveniente del análisis de las decisiones erróneas adoptadas. Estas fórmulas de aprendizaje incremental proporcionan un flujo continuo de nuevos conocimientos que se acumulan al stock de conocimientos previamente existentes. Las empresas que triunfarán en el futuro serán aquellas que consigan descubrir cómo lograr el compromiso de su gente y que desarrollen una capacidad de aprender a todos los niveles de la organización.

Finalmente, si nos centramos en los modelos teóricos estudiados podemos identificar una serie de debilidades comunes a todos ellos que es enumeran a continuación:

↪ La evolución del proceso de innovación no siempre tiene lugar de forma secuencial, sino que en muchos casos es más deseable su desarrollo de forma solapada. Por otro lado, los procesos de realimentación desde las fases posteriores hacia las anteriores son esenciales, ya que generan flujos de información entre las diferentes actividades a lo largo del tiempo y el intercambio de conocimiento dentro de la organización.

↪ Muchos de los modelos están enfocados a la obtención de un nuevo producto, dejando de lado otro tipo de innovaciones (de proceso, organizativas, etc.) y el sector servicios. Son además modelos que se centran en un tipo de innovación concreta, la de carácter radical, obviando las de tipo incremental, que son las que tienen un mayor potencial innovador.

↳ La mayoría de los modelos no aciertan a la hora de incorporar la etapa de post innovación, la que tiene lugar una vez que el producto ha sido lanzado al mercado. En la fase de difusión es importante tener presente en todo momento tanto el ciclo de vida del producto, como la curva de la experiencia. La consideración de esta fase final permite la introducción de modificaciones en el producto, de forma que se adapte a las necesidades cambiantes del mercado, que responda a la competencia, y que facilite el desarrollo de los llamados productos de siguiente generación.

3.- CONCLUSIONES FINALES SOBRE LA INNOVACIÓN Y EL MODELO DEL PROCESO DE INNOVACIÓN

3.1.- REQUISITOS PARA LOGRAR UNA INNOVACIÓN CON ÉXITO

Anteriormente se comentaba la importancia que los proyectos de innovación tienen para las empresas y cómo éstos se han convertido en una herramienta imprescindible para dotar a las mismas de los recursos y capacidades necesarias para enfrentarse al entorno cambiante que impone el mercado actual, para aprovechar las oportunidades que se presenten y por último para influir positivamente en su desarrollo económico, su competitividad y en definitiva, en la creación de empleo.

De la misma forma se recalca que para que estos proyectos perduren en el tiempo éstos deben reportar resultados positivos para los beneficios presentes o futuros de las empresas que deciden abordarlos, en otras palabras, los proyectos de innovación deben tener éxito.

Llegados a este punto cabe formular las siguientes preguntas: ¿Qué se entiende por una innovación exitosa? y a continuación ¿Cómo conseguir una innovación exitosa?

Pues bien, atendiendo a la primera de las preguntas y teniendo en cuenta todo lo estudiado acerca del concepto de innovación, su tipología, el proceso innovador, etc. podemos concluir que, *“una innovación con éxito es la que otorga a la empresa una cuota de mercado que le permite recuperar la inversión realizada por su puesta en práctica y obtener beneficios que recompensen el riesgo asumido”*.

Por otro lado, si nos centramos en la segunda de las preguntas, y pese a la complejidad del proceso de innovación que ya veíamos anteriormente, se podrían resumir una serie de características comunes que se deben cumplir para que una innovación resulte exitosa:

- ↪ Existe una necesidad social asociada a una demanda presente o potencialmente identificada que no se satisface con la tecnología actual.
- ↪ Correcta identificación de la factibilidad técnico - económica.
- ↪ Integra los dos primeros en un nuevo concepto de diseño.
- ↪ Existe un potencial científico - técnico adecuado.
- ↪ Todo el proceso es innovador, desde las actividades de investigación y desarrollo hasta las inversiones necesarias, incluyendo gastos iniciales de producción, promoción y ventas.
- ↪ Considera las capacidades financieras y de dirección.
- ↪ Existe comunicación, colaboración e integración entre todos los factores.
- ↪ Hay un eficiente trabajo de desarrollo tecnológico.
- ↪ Tiene una salida a tiempo al mercado. Llega al mercado en el mejor momento.
- ↪ Existe una acertada política de precios.
- ↪ Permite alcanzar y mantener el perfeccionamiento en la calidad y competitividad del producto.
- ↪ Perfeccionamiento continuo de tecnología de producción y distribución con vistas a reducir costos o energía.
- ↪ Utilización adecuada de técnicas de planificación y control de su ejecución.
- ↪ Posee ventajas sobre otras tecnologías. Positivo impacto social y medioambiental.

3.2.- EL MODELO DE INNOVACIÓN PROPUESTO PARA EL BLOQUE II

El nuevo modelo de gestión para los proyectos de innovación aquí definido ha tratado de mejorar los modelos teóricos estudiados, subsanando sus debilidades, realizando nuevas aportaciones e incorporando perspectivas alternativas, de forma que se ha ido

perfeccionando el conocimiento sobre la forma en la que tiene lugar la innovación en la multinacional alemana del sector del automóvil ZF Lemförder GmbH.

Con la formulación de este modelo se espera que la empresa pueda en el futuro gestionar de una manera sistemática los procesos de innovación y que éstos repercutan de manera positiva en sus resultados económicos de la misma otorgándola en definitiva una ventaja competitiva frente a las empresas competidoras del mismo sector.

En lo que respecta a la presente Tesis Doctoral, este modelo se implementará en las actividades a realizar en el segundo bloque de la misma pudiendo comprobar entonces la eficacia así como la eficiencia del mismo.

LITERATURA CITADA. BIBLIOGRAFÍA:

1.- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA:

1.1.- BLOQUE I: EL PROYECTO DE INNOVACIÓN EN LA EMPRESA

1.1.1.- Referencias

- [1] AENOR. NORMA UNE 166000:2006: “GESTIÓN DE LA I+D+I: TERMINOLOGÍA Y DEFINICIONES DE LAS ACTIVIDADES DE I+D+I”. AENOR. MADRID. 2006
- [2] AENOR. NORMA UNE 166002:2006: “GESTIÓN DE LA I+D+I: GESTIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE I+D+I”. AENOR. MADRID. 2006
- [3] DRUCKER, P. F.: “LA INNOVACIÓN Y EL EMPRESARIO INNOVADOR. LA PRÁCTICA Y LOS PRINCIPIOS”. EDHASA. BARCELONA. 1986
- [4] ESCORSA, P.; VALLS, J.: “TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN LA EMPRESA. DIRECCIÓN Y GESTIÓN”. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA, BARCELONA. 2003
- [5] FORREST, J. E.: “MODELS OF THE PROCESS OF TECHNOLOGICAL INNOVATION”. TECHNOLOGY ANALYSIS & STRATEGIC MANAGEMENT. 1991

- [6] **FREEMAN, C.:** *“LA TEORÍA ECONÓMICA DE LA INNOVACIÓN INDUSTRIAL”*. EDITORIAL ALIANZA UNIVERSIDAD. MADRID. 1974
- [7] **GAUSEMEIER J.:** *“PRODUKTINNOVATION. STRATEGISCHE PLANUNG UND ENTWICKLUNG DER PRODUKTE VON MORGEN”*. MÜNCHEN. 2001
- [8] **INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE):** *“ESTADÍSTICA SOBRE EL GASTO EN ACTIVIDADES DE I+D. AÑO 2008”*. INE. MADRID. 2009
- [9] **KLINE, S.J., ROSEMBERG, N.:** *“AN OVERVIEW OF INNOVATION”*. LANDAU Y ROSEMBERG. WASHINGTON. 1986
- [10] **OCDE:** *“FRASCATI MANUAL 6TH EDITION: THE MEASUREMENT OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL ACTIVITIES. PROPOSED STANDARD PRACTICE FOR SURVEYS ON RESEARCH AND EXPERIMENTAL DEVELOPMENT”*. OCDE/EUROPEAN COMMISSION, 2002
- [11] **OCDE Y EUROSTAT:** *“OSLO MANUAL 3RD EDITION: GUIDELINES FOR COLLECTING AND INTERPRETING INNOVATION DATA”*. OCDE/EUROPEAN COMMISSION, 2005
- [12] **PORTER, M.:** *“THE COMPETITIVE ADVANTAGE OF NATIONS”*. FREE PRESS. NEW YORK. 1990
- [13] **REAL ACADEMIA ESPAÑOLA:** *“DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA”*. VIGÉSIMO SEGUNDA EDICIÓN. MADRID. 2001
- [14] **ROTHWELL, R., DOGSON, M.:** *“THE HANDBOOK OF INDUSTRIAL INNOVATIONS”*. EDWARD ELGAR. LONDON. 1994
- [15] **SAINZ DE VICUÑA ANCÍN, J. M.:** *“INNOVAR CON ÉXITO”*. ESIC. MADRID. 2006
- [16] **VELASCO, E. ; ZAMANILLO; I. INTXAURBURU:** *“EVALUACIÓN DE LOS MODELOS SOBRE EL PROCESO DE INNOVACIÓN: DESDE EL MODELO LINEAL HASTA LOS SISTEMAS DE INNOVACIÓN”*

1.1.2.- Bibliografía

1.1.2.1.- Libros y Artículos

- ❑ **AENOR. NORMA UNE 166001:2006:** *“GESTIÓN DE LA I+D+I: REQUISITOS DE UN PROYECTO DE I+D+I”*. AENOR. MADRID. 2006
- ❑ **AENOR. NORMA UNE 116006:2006 EX:** *“GESTIÓN DE LA I+D+I: SISTEMA DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA”*. AENOR. MADRID. 2006
- ❑ **ALTSHULLER, G.:** *“INTRODUCCIÓN A LA INNOVACIÓN SISTEMÁTICA: TRIZ. DE PRONTO APARECIÓ EL INVENTOR”*. INTERNET GLOBAL. VALENCIA. 1998
- ❑ **BOE:** *“LEY DEL IMPUESTO DE SOCIEDADES. TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DEL IMPUESTO SOBRE SOCIEDADES”*. ANEXO AL RDL 4/2004, DE 5 DE MARZO, BOE DEL 11/03/2004
- ❑ **BOUTELLIER, R., VÖLKER, R.:** *“ERFOLG DURCH INNOVATIVE PRODUKTE”*. HANSER, MÜNCHEN 1997.
- ❑ **COMISIÓN EUROPEA:** *“EL LIBRO VERDE DE LA INNOVACIÓN”*. BRUSELAS. 1995
- ❑ **CONSEJO DE MINISTROS:** *“PLAN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA 2008-2011”*. ECYT. 2007

- ❑ **FUNDACIÓN COTEC:** *“INFORME COTEC 2008: TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN ESPAÑA”*. FUNDACIÓN COTEC PARA LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA, MADRID. 2008
- ❑ **PRESIDENCIA DEL GOBIERNO:** *“PROGRAMA INGENIO 2010”*. 2005
- ❑ **ROTHWELL, R., DODGSON, M.:** *“TOWARDS THE FIFTH-GENERATION INNOVATION PROCESS”*. INTERNATIONAL MARKETING. 1994

1.1.2.2.- Páginas WEB

- ❑ **AENOR.** ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.AENOR.ES](http://www.aenor.es)
- ❑ **BOE.** BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.BOE.ES](http://www.boe.es)
- ❑ **COTEC.** FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA. DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.COTEC.ES](http://www.cotec.es)
- ❑ **INE.** INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.INE.ES](http://www.ine.es)
- ❑ **OCDE.** ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONÓMICO. DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.OECD.ORG](http://www.oecd.org)
- ❑ **PLAN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.** DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA 2008 – 2011. DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.PLANNACIONALIDI.ES](http://www.plannacionalidi.es)
- ❑ **PROGRAMA INGENIO 2010.** DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.INGENIO2010.ES](http://www.ingenio2010.es)
- ❑ **RAE.** REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA. DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.RAE.ES](http://www.rae.es)



BLOQUE - II - TESIS DOCTORAL

INTRODUCCIÓN

Una vez definido el modelo de gestión del proceso de innovación que en el futuro estructurará y regirá las actividades/fases de los proyectos de innovación de la empresa ZF Lemförder GmbH, nos hayamos en disposición de abordar el Bloque II de la Tesis Doctoral.

En este segundo bloque, como ya se comentaba en el Marco Teórico-Técnico, quedan recogidos los trabajos de investigación científico-técnicos llevados a cabo en el proyecto de innovación presentado en la misma, los cuales tienen como objetivo final el desarrollar un nuevo concepto para un componente de seguridad para vehículos automóviles.

Para lograr tal fin es necesario analizar las exigencias del mercado que son las que marcarán los requisitos del nuevo componente, realizar prospecciones sobre el estado de la técnica del producto y de los procesos productivos y llevar a cabo un proceso sistemático de generación, selección y evaluación de ideas/conceptos para, una vez determinada la solución idónea, empezar con la fase de Investigación y Desarrollo de este proyecto de innovación en la que quedan englobados trabajos propios de Ingeniería Mecánica e Ingeniería de Materiales tales como el estudio, selección y aplicación de nuevos materiales, el diseño y optimización del concepto mediante el empleo de herramientas de diseño virtual (CAD, FEA, CAE, etc.), la definición de los nuevos procesos productivos, la fabricación y validación de prototipos y, finalmente, la correlación de los modelos de simulación.

1.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA. MOTIVACIÓN

El automóvil se ha convertido, desde los inicios de su producción en cadena en EEUU en el año 1908, en un bien de consumo que ha revolucionado el modo de vida del ser humano hasta convertirse en un instrumento que muchos ciudadanos consideran imprescindible, y cuya presencia en nuestras sociedades no ha dejado de incrementarse hasta llegar a los más de 900 millones de vehículos que circulan hoy día por todo el mundo.

Esta demanda se ha traducido en un crecimiento de la industria del automóvil haciendo que ésta llegue a representar en la actualidad aproximadamente el 6% del Producto Interior Bruto (PIB) de las economías mundiales, convirtiéndose por tanto en uno de los pilares básicos de las mismas y provocando al mismo tiempo que cualquier alteración en este sector tenga consecuencias en todas las dimensiones del funcionamiento de las sociedades modernas.

Fruto del gran calado que la industria del automóvil tiene en el ámbito social y en la economía mundial, se desprende que este sector se haya convertido en uno de los sectores más dinámicos de todos los ámbitos de la industria, incrementado de esta manera la complejidad intrínseca del mismo. Sin embargo, esta necesidad de dinamismo no camina sola, sino que se ve a su vez agravada por otros retos de gran actualidad en nuestra sociedad, los cuales podríamos agrupar a groso modo en los siguientes tres grandes bloques:

- ↳ Globalización de los Mercados. Aumento de la Competitividad Interempresarial
- ↳ Nuevas Demandas de la Sociedad
- ↳ Incremento de las Exigencias de Seguridad y de las Exigencias Medioambientales

Como consecuencia de todas estas nuevas demandas, las miradas críticas puestas en la industria de la automoción se han intensificado, habiéndose añadido al ya conocido escenario de la creciente competitividad y dinamismo de este sector nuevos y complejos factores tanto sociales como medioambientales.

No obstante, cabe destacar que todos estos aspectos no sólo afectan a los grandes fabricantes de vehículos automóviles (BMW, Porsche, Ford, Volkswagen, Renault, etc.), sino que se propagan desde éstos hasta el último de los suministradores condicionando de

esta manera las actividades, estrategias y los planes de futuro de todas las empresas involucradas en el proceso.

De este nuevo escenario del sector de la automoción se deriva la necesidad de realizar detallados estudios científico-técnicos concernientes, por un lado, a la mejora de la competitividad de las empresas que lo componen, a la búsqueda de nuevas soluciones para cubrir los requisitos de seguridad y a la adecuación medioambiental de los nuevos conceptos, y por otro lado, a la determinación de los efectos que éstos tienen en el futuro del automóvil.

En otras palabras, conduce a las empresas de este sector a la necesidad de realizar proyectos de innovación que busquen y encuentren soluciones (nuevos productos, nuevos procesos, nueva organización del trabajo, etc.) con equilibrio entre los nuevos y los ya conocidos retos de la industria automovilística de manera que mediante la ejecución de éstos se garantice la supervivencia de las mismas dentro del mercado.

Eso sí, la solución no sólo consiste realizar proyectos de innovación, la clave reside en que estos proyectos tengan éxito. Para ello es imperioso, tal y como veíamos en el bloque anterior, que éstos se realicen de una manera estructurada y sistemática, para lo cual se hace imprescindible el disponer de un sistema de gestión del proceso innovador adaptado a los productos y procesos de la empresa que en nuestro caso ya quedó definido en el primer bloque de la Tesis Doctoral.

2.- OBJETIVOS DE LA TESIS DOCTORAL BLOQUE II

2.1.- OBJETIVO PRINCIPAL DEL BLOQUE II DE LA TESIS DOCTORAL

El principal objetivo del bloque II de la Tesis Doctoral es el de *desarrollar un nuevo concepto tecnológico para un componente de seguridad de un vehículo automóvil, en particular el desarrollo de un nuevo concepto tecnológico para un brazo de suspensión, para la multinacional alemana del sector de la automoción ZF Lemförder GmbH.*

La premisa sobre la que se quiere alcanzar este objetivo es el incremento del contenido tecnológico y del valor añadido del producto con un costo contenido para incrementar su competitividad frente a productos tradicionales fabricados a bajo costo. Para tal fin, el diseño del nuevo brazo de suspensión busca un equilibrio entre los factores condicionantes de la industria del automóvil en la actualidad, pero hace especial hincapié en factores como la aplicación de nuevos materiales para lograr una reducción de masa de los vehículos automóviles, y el estudio, desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías y procesos productivos para la fabricación de un nuevo componente con alta capacidad de integración de funciones.

La siguiente imagen recoge de manera esquemática la metodología que se seguirá para lograr el objetivo expuesto:

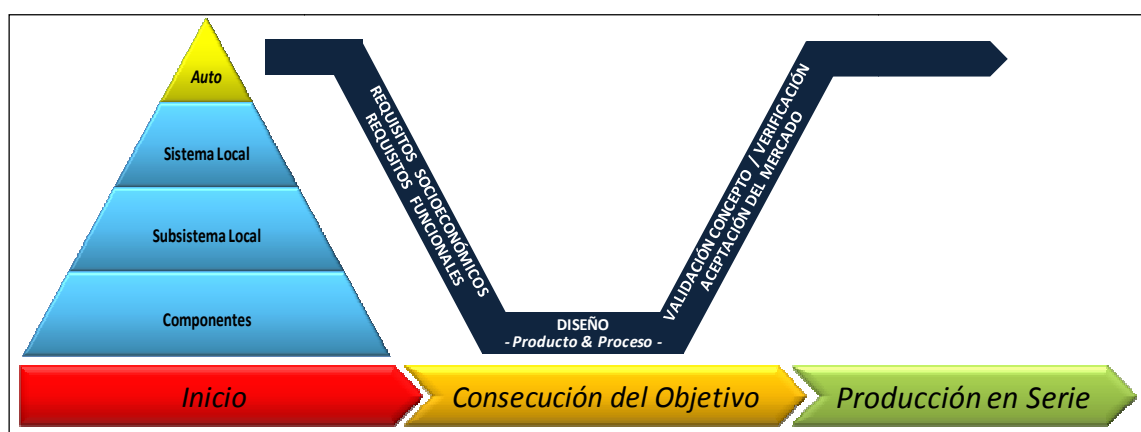


FIGURA 23: METODOLOGÍA PARA LA CONSECUCCIÓN DEL OBJETIVO DEL BLOQUE II

La consecución de este objetivo permitirá a la empresa el introducir un nuevo componente de seguridad, adaptado a las nuevas demandas del mercado, en su paleta de productos, confiriéndola por tanto la posibilidad de ofrecer a sus clientes una solución

novedosa a la vez que vanguardista a los problemas a los que éstos se enfrentan durante el desarrollo de los futuros vehículos.

Por último, la aceptación del nuevo componente por parte de los clientes, los fabricantes de automóviles, se traducirá en la comercialización del mismo, lo cual repercutirá positivamente en los resultados económicos de la misma asegurando así el futuro de la multinacional.

2.2.- OBJETIVOS PARCIALES TÉCNICOS DEL BLOQUE II DE LA TESIS DOCTORAL

Como paso previo hasta alcanzar el objetivo principal del bloque II, se establecieron una serie de objetivos parciales cuya consecución ha sido fundamental para el buen desarrollo del proyecto.

Estos objetivos se pueden sintetizar como se menciona a continuación:

2.2.1.- Prospección de las Necesidades del Mercado

Un proyecto de innovación como el aquí presentado será aceptado y por lo tanto tendrá éxito si satisface una necesidad social asociada a una demanda presente, o potencialmente identificada, que no se solventa con la tecnología actual.

Por este motivo es imperioso conocer e identificar las necesidades del mercado para, en función de éstas, determinar las líneas de investigación que se deben emprender, ya que, en definitiva, las exigencias del mercado son las que marcarán los requisitos del nuevo producto o proceso a desarrollar.

Para lograr tal fin se hace necesario el entender las demandas globales del sector del automóvil para, a continuación, centrarse en las necesidades intrínsecas o locales de las empresas proveedoras de los grandes fabricantes de vehículos automóviles.

Siguiendo esta pauta obtendremos una visión completa de la problemática que acecha al grupo ZF Lemförder GmbH y por consiguiente a sus productos, permitiéndonos por tanto determinar cuáles son los puntos clave en los cuales tendremos que basar el desarrollo del nuevo componente de seguridad o dicho en otras palabras, permitiéndonos determinar cuáles son los requisitos socioeconómicos del futuro componente.

2.2.2.- Estudio del Estado del Arte del Producto y de sus Procesos Productivos

Antes de realizar cualquier actividad de investigación y desarrollo conviene detenerse a estudiar el estado del arte, tanto del producto (diseño, materiales empleados,...) como del proceso productivo para obtenerlo (concepto de fabricación, tiempo de ciclo,...), del componente a desarrollar.

A lo largo de esta tarea, siguiendo la filosofía de trabajo anterior, análisis desde el concepto global hasta el concepto local, se analizará el componente a desarrollar, se profundizará en la descripción de la funcionalidad del mismo y por último se estudiará la interacción de éste con los demás elementos de un vehículo automóvil.

Los resultados de este estudio nos ayudarán por un lado a entender donde se ubica y cómo trabaja el componente en el vehículo mientras que por otro nos permitirá completar la lista de requisitos del futuro producto añadiendo a los ya determinados requisitos socioeconómicos información referente a la funcionalidad del mismo.

2.2.3.- Determinación de la Solución Idónea

Habiendo definido los requisitos del futuro componente podemos empezar con la fase de ideación de las posibles soluciones. Debido a que las soluciones pueden ser varias es necesario realizar un filtrado de las mismas para definir cuál es la solución idónea.

Este objetivo parcial nos permitirá llevar a cabo esta actividad de generación y filtrado de las ideas / soluciones de una manera estructurada y objetiva, obteniendo como resultado final la solución que mayor equilibrio y mejor sinergia encuentra con respecto a los requisitos socioeconómicos y funcionales. Para lograr alcanzar este objetivo se procederá de la siguiente manera:

- ↪ Se llevará a cabo un proceso estructurado de generación de ideas/soluciones en el que se recurrirá al empleo de diferentes herramientas creativas como la tormenta de ideas (Brainstorming), mapas mentales, matrices combinatorias para el análisis morfológico de las variantes, etc.
- ↪ La evaluación de las diferentes ideas/soluciones se realizará mediante el método de comparación matricial en el cual las variantes se comparan de manera objetiva una frente a otra, evaluando de esta manera cuál de ellas es mejor bajo un criterio especificado.

2.2.4.- Definición del Concepto del Producto y del Proceso Productivo

La solución idónea obtenida debe ser estudiada en detalle con el objetivo de poder establecer de una manera más concisa la filosofía de trabajo a seguir, de determinar las tareas a realizar (estudio de materiales, estudio de los procesos productivos, fabricación de prototipos, etc.) y a la vez de planificar éstas en un entorno temporal y económico (estimación del tiempo de desarrollo, costes, etc.).

Con la realización de este objetivo parcial se busca, en primer lugar, profundizar en el estudio del estado del arte del producto y del proceso asociado a la solución idónea, si es que existe algo en el mercado en esta línea. A continuación, en función de los resultados de este estudio, se identificarán los puntos clave de la tecnología a emplear (tiempos de procesado, preparación de los productos previa al procesado, etc.) y de los productos con ella fabricados (materiales a emplear, requisitos de tolerancias, etc.), y se estudiarán sus aspectos críticos así como la existencia de patentes relacionadas con la misma que pudiesen interferir en el desarrollo y posterior comercialización de nuestro componente.

Como resultado obtendremos los primeros bocetos del componente, un análisis detallado de la factibilidad del diseño y del proceso productivo, y la documentación necesaria para la protección del concepto mediante una patente.

2.2.5.- Definición y Optimización del Producto y del Proceso Productivo

Este objetivo parcial profundiza en la definición del concepto esbozado anteriormente fijándose como fin, por un lado, la definición de un producto seguro y robusto en lo que se refiere a su funcionalidad, y por otro, la definición de un proceso productivo fiable, factible y reproducible en lo que respecta a su posterior fabricación en serie. La consecución de este objetivo parcial será posible mediante la obtención de resultados en la serie de sub-objetivos parciales que se enumeran a continuación:

2.2.5.1.- Determinación del cuaderno de cargas del componente

El primer paso en el diseño de un componente de seguridad para un vehículo automóvil es el de determinar el cuaderno de cargas al que se ve sometido ya que, en función de éstas, se llevará a cabo la selección de materiales y la definición y optimización de su geometría. Mediante la realización de este sub-objetivo se pretende desarrollar y poner a punto de una herramienta de diseño que permita determinar de manera virtual las cargas que le llegan al

componente durante su utilización. Para tal fin se empleará software de simulación multicuerpos que nos permite realizar modelos en los que se introducen las geometrías así como los parámetros fundamentales del vehículo automóvil en el que se instalará el futuro componente, para posteriormente someter dicho vehículo a las maniobras propias de su utilización, todo ello de manera virtual.

Como resultado obtendremos el cuaderno de cargas que debe superar el componente que nos servirá para seleccionar correctamente los materiales a emplear, para determinar y garantizar su correcto dimensionamiento y que podremos implementar en la herramienta de diseño para predecir en comportamiento en uso del componente.

2.2.5.2.- Estudio, selección y caracterización estática y dinámica de materiales

Antes de empezar con las actividades de diseño del nuevo componente es necesario conocer las particularidades de los materiales a emplear que son las que en definitiva condicionaran su geometría, su funcionalidad y en última instancia su factibilidad de cara a la fabricación en serie.

Para ello es imprescindible estudiar los materiales candidatos en detalle, seleccionar los más adecuados bajo los requisitos tanto funcionales (desde el punto de vista del producto), como de factibilidad de su aplicación (desde el punto de vista de los procesos productivos) y por último caracterizar los mismos con el fin de determinar cómo se comportan frente a sollicitaciones estáticas y dinámicas.

Gracias a este objetivo obtendremos toda la información necesaria acerca de los materiales a utilizar y podremos implementar los datos de la caracterización en nuestras herramientas de diseño virtual, tanto de los productos como de los procesos productivos, permitiéndonos obtener unos resultados teóricos lo más aproximados posible a la realidad.

2.2.5.3.- Establecer una metodología para la definición y optimización de la geometría del nuevo componente que considere simultáneamente los procesos productivos y que permita reducir el tiempo de desarrollo y el costo asociado al mismo

Con el fin de poder reducir los tiempos y costes de desarrollo vía la reducción del número de prototipos a fabricar y de los ensayos de los mismos se empleará para la definición y optimización de la geometría del nuevo componente, así como para la determinación de los parámetros de los procesos de fabricación y la influencia de éstos en el

futuro comportamiento del componente, herramientas de desarrollo virtual / modelos de simulación (CAD, CAM, CAE,...).

Para tal fin es necesario trabajar en primer lugar en la elección del software comercial que mejor se ajuste a las necesidades de cada una de las fases del proyecto y a continuación en la manera de conectar cada uno de los modelos de simulación de modo que la información / resultados de uno puedan ser implementadas en el siguiente. A continuación se exponen las dos fases en las que se aplicarán las herramientas de desarrollo virtual:

↳ Desarrollo y puesta a punto de una herramienta de diseño que permita determinar el comportamiento en uso del componente

Para ello se emplearán programas de cálculo estructural en los que se introduce el modelo de elementos finitos con la información referente a los procesos productivos y se le somete a las diferentes condiciones de contorno y solicitaciones de carga que va a soportar durante su vida útil y que ya habremos determinado mediante el análisis de multicuerpos.

El resultado de dicho análisis nos permitirá conocer si la geometría considerada se adecua a las necesidades de diseño o es necesario optimizarla, abriéndose en este punto un ciclo de optimización altamente dinámico que nos permitirá obtener finalmente un componente fiable en lo que respecta a su funcionalidad.

↳ *Desarrollo y puesta a punto de una herramienta de diseño que permita determinar y optimizar los procesos productivos para la fabricación del componente*

En esta fase utilizaremos software comercial específico destinado a cada uno de los procesos de fabricación a emplear en los que a partir de la geometría del componente podremos simular los procesos productivos para su obtención de manera virtual.

Gracias a esta herramienta podremos delimitar cuáles son las zonas de riesgo del componente, determinar los parámetros de fabricación, diseñar y optimizar los utillajes de fabricación y por último obtener información acerca de las propiedades de los materiales en función de los propios procesos de transformación empleados, lo que en definitiva nos permitirá desarrollar un componente factible desde el punto de vista de los procesos productivos sin la necesidad de fabricar numerosos prototipos. Los resultados de estas simulaciones se implementarán en la herramienta de diseño anterior para predecir con mayor exactitud el comportamiento en uso del componente, ayudando por tanto a que los resultados sean lo más semejantes posibles a la realidad.

2.2.5.4.- Validación de la metodología mediante la construcción y ensayo de prototipos

Con objeto de conocer si los resultados alcanzados con el cálculo teórico, tanto de los procesos productivos como del comportamiento en uso del componente, son correctos, se procederá a la fabricación de prototipos y a su posterior validación / ensayo para poder comparar y correlacionar los valores fundamentales de la metodología.

La información aquí obtenida se utilizará para la retroalimentación de las herramientas de desarrollo virtual optimizando las mismas de cara al desarrollo de futuros componentes en los que se emplee la misma tecnología.

2.2.5.5.- Definición del proceso productivo para la fabricación en serie

Los estudios realizados previamente han permitido determinar cuáles serán los procesos productivos a emplear para la fabricación del componente final, los parámetros de los mismos, etc.

Este objetivo profundiza en el conocimiento de cada uno de los procesos productivos necesarios para la fabricación de nuestro componente con el fin de descubrir sus particularidades de cara a su fabricación en serie. Gracias a este objetivo podremos concretar los medios necesarios para la industrialización del nuevo producto así como fijar otros procesos paralelos como son la adquisición de inmovilizado material e inmaterial, definición de la logística tanto externa como interna, compra de materiales, etc.

2.3.- OBJETIVOS PARCIALES EMPRESARIALES DEL BLOQUE II DE LA TESIS DOCTORAL

Además de los objetivos técnicos descritos en el epígrafe anterior, las actividades llevadas a cabo en el bloque II de la Tesis Doctoral persiguen otros objetivos de carácter empresarial / estratégico ligados directamente a la multinacional alemana del sector de la automoción ZF Lemförder GmbH. Estos objetivos se enumeran a continuación:

2.3.1.- Diversificar la producción de la empresa. Potenciar el desarrollo de brazos de suspensión con mayor valor añadido

El entorno del sector obliga a diversificar la producción con objeto de reducir el riesgo de una reducción del nivel productivo. Por este motivo, la empresa ha analizado las circunstancias actuales del mercado para optar por la investigación y el desarrollo de nuevos

productos que le permitan afianzar su posición. Fruto de este análisis se ha optado por trabajar en el desarrollo de brazos de suspensión con un mayor contenido tecnológico y con mayor valor añadido que permita a la empresa adoptar una posición de liderazgo en la fabricación de los nuevos productos con nuevos procesos.

2.3.2.- Fortalecer la imagen vanguardista de la empresa

El uso de nuevas tecnologías de fabricación así como el uso de nuevos métodos para el diseño de los productos ofrece además de unas ventajas económicas frente a los productos existentes en el mercado una imagen vanguardista tanto dentro del grupo ZF al que pertenece la empresa como de cara a posibles clientes.

2.3.3.- Conseguir una posición preferente frente a la competencia en este tipo de componentes

Todas las ventajas expuestas anteriormente desembocarán en la obtención de un producto novedoso, de coste inferior a otros componentes similares, con alto contenido tecnológico y carácter innovador, lo que permitirá tanto a la empresa como al grupo confirmar su posición de liderazgo en el suministro de componentes de seguridad a nivel mundial.

3.- ESTRUCTURA DE LA TESIS BLOQUE II

Tal y como se exponía en el Marco de la Tesis Doctoral, en el Bloque II quedan recogidos los trabajos de investigación científico-técnicos llevados a cabo en el proyecto de innovación que tiene como objetivo el desarrollar un nuevo concepto tecnológico para un componente de seguridad de un vehículo automóvil, concretamente un nuevo concepto tecnológico para un brazo de suspensión, para la multinacional alemana del sector de la automoción ZF Lemförder GmbH.

Con el fin de poder gestionar las tareas a realizar en este proyecto de innovación se definió en el Bloque I el modelo de gestión representado en la siguiente figura. La aplicación de este modelo para la gestión del proyecto de innovación permitirá abordar el carácter multidisciplinar así como la naturaleza y complejidad de las actividades a realizar en el mismo de una manera estructurada y sistematizada logrando reducir así sus tiempos y sus costes de desarrollo del nuevo producto/proceso productivo.

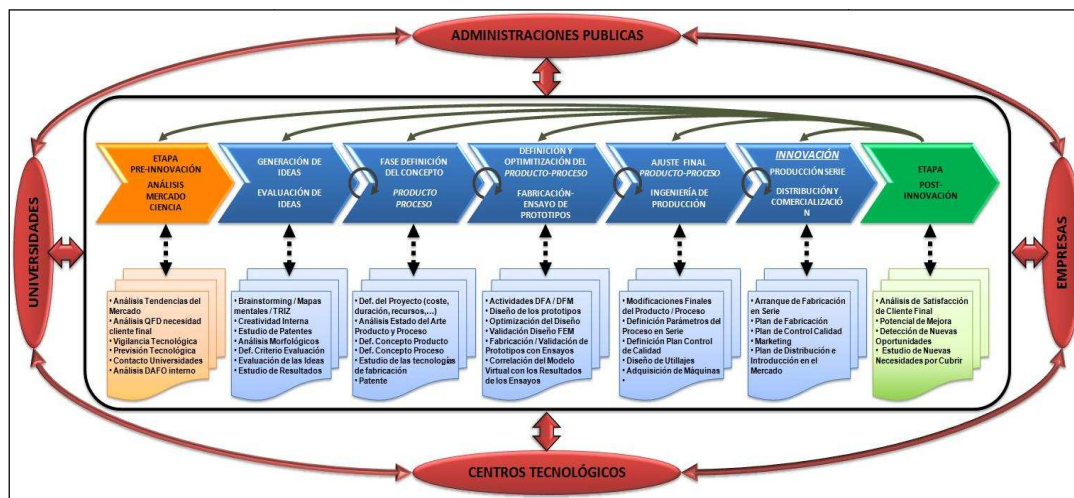


FIGURA 24: MODELO DEL PROCESO DE INNOVACIÓN PARA EL BLOQUE II

Debido a que la presente Tesis Doctoral está inscrita en el programa de Doctorado de *Ingeniería Mecánica y de Materiales* de la Universidad de Salamanca se decidió enfocar la memoria escrita del proyecto de innovación solamente hacia las actividades relacionadas con estas materias, centrándonos principalmente en las actividades que conducen al desarrollo técnico del nuevo componente/producto y del proceso productivo asociado al mismo. De esta manera quedan excluidas de la misma temas como la gestión de compras, la búsqueda y selección de proveedores, definición de la logística interna y externa, etc.

En la siguiente imagen se observan, destacadas en azul oscuro, las fases del modelo del proceso de innovación definido en el Bloque I que se tratarán en el Bloque II de la Tesis Doctoral:

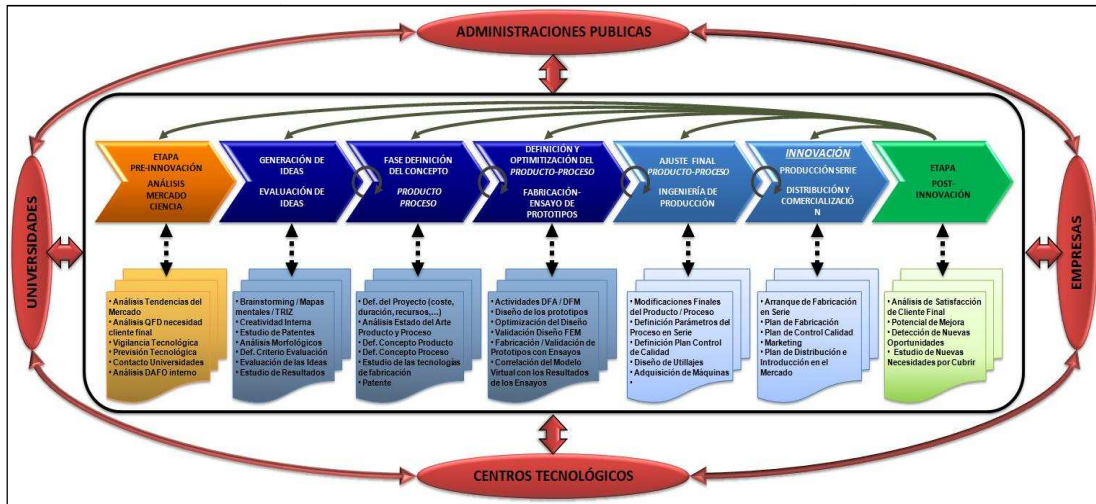


FIGURA 25: FASES DEL MODELO DEL PROCESO DE INNOVACIÓN DENTRO DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN DEL BLOQUE II

Dentro de cada una de las fases se completarán una serie de tareas que ayudarán a lograr alcanzar el objetivo principal de este segundo bloque a través de la consecución de resultados positivos en los objetivos parciales enumerados en el punto anterior.

Las fases y sus respectivas tareas se han estructurado de la siguiente manera:

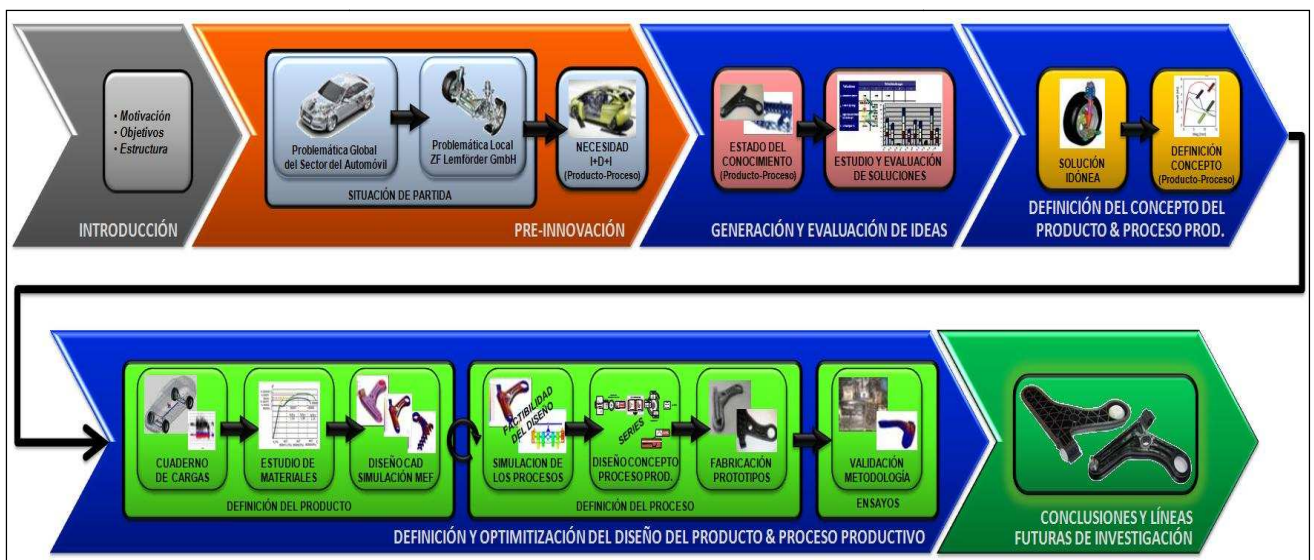


FIGURA 26: ESTRUCTURA DEL BLOQUE II DE LA TESIS DOCTORAL

A continuación se resume brevemente el contenido de las fases con sus respectivas tareas expuestas en la figura anterior:

↪ *Introducción:*

En la Introducción se recogen el marco teórico en el que queda englobado el Bloque II de la Tesis Doctoral así como la justificación de los trabajos que se desarrollarán en los siguientes capítulos. Asimismo también se definen el objetivo principal así como los objetivos parciales que se pretenden alcanzar y la estructura de los trabajos a realizar para lograrlo.

↪ *Fase Pre-Innovación:*

En este apartado se estudian los antecedentes que han dado lugar a la realización del presente trabajo de investigación.

En él se realiza una prospección de la situación del mercado en la que se analizarán los condicionantes y las demandas intrínsecas a los grandes fabricantes de automóviles (demandas globales), para a continuación centrarnos en los condicionantes y las demandas intrínsecas a las empresas suministradoras de éstos (demandas locales).



FIGURA 27: ACTIVIDADES DE LA FASE PRE-INNOVACIÓN

Gracias a este análisis se podrá detectar la necesidad de innovación (objetivo global/bruto del proyecto de innovación) y determinar cuáles son los requisitos socioeconómicos del futuro componente y de su consecuente proceso productivo.

↪ *Fase de Generación y Evaluación de Ideas:*

En este capítulo se llevará a cabo en primer lugar un análisis del estado del arte del producto, el brazo de suspensión, y de los procesos productivos asociados al mismo que nos servirá para determinar los requisitos funcionales del mismo.

A continuación, una vez definidos los requisitos socioeconómicos así como los requisitos funcionales del futuro componente, se llevará a cabo un proceso estructurado de generación de ideas/soluciones y evaluación de las mismas que nos

ayudará a determinar cuál de es la solución ellas que mayor equilibrio y mejor sinergia encuentra con respecto a los criterios de evaluación.



FIGURA 28: ACTIVIDADES DE LA FASE GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE IDEAS

↪ *Fase de Definición del Concepto:*

Esta fase está dedicada por un lado al análisis detallado del estado de la técnica en relación a la solución obtenida en la fase anterior mientras que por otro se pretende establecer de una manera más concisa la filosofía de trabajo a seguir en la siguiente fase del proyecto de innovación.

Para ello se realizarán los primeros análisis de factibilidad del diseño y del proceso productivo, y se preparará la documentación para la protección del concepto mediante una patente.



FIGURA 29: ACTIVIDADES DE LA FASE DE DEFINICIÓN DEL CONCEPTO

↪ *Fase de Diseño y Optimización del Producto y del Proceso Productivo:*

En este capítulo se presentan por un lado las actividades que conducen a la definición de un producto seguro y robusto en lo que se refiere a su funcionalidad, y por otro, las que conducen a la definición de un proceso productivo fiable, factible y reproducible en lo que respecta a su posterior fabricación en serie.

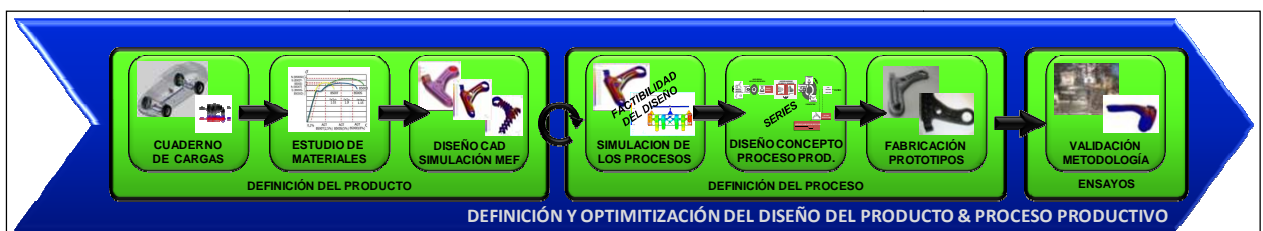


FIGURA 30: ACTIVIDADES DE LA FASE DE DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROCESO PRODUCTIVO

En él quedan englobados los siguientes trabajos:

- Determinación del cuaderno de cargas que le llegan al componente
- Estudio, selección y caracterización estática y dinámica de materiales
- Diseño y optimización del nuevo concepto de brazo de suspensión mediante el empleo de herramientas de diseño y cálculo CAE (Computer Aided Engineering)
- Diseño y optimización de los procesos productivos asociados al nuevo concepto de brazo de suspensión mediante el empleo de herramientas de cálculo CAM (Computer Aided Manufacturing)
- Fabricación de prototipos
- Validación/Ensayos de los prototipos
- Correlación de los resultados de los ensayos con los modelos de simulación
- Determinación del concepto de fabricación de cara a la producción en serie

↳ *Conclusiones. Líneas Futuras de Investigación. Discusión de los Resultados:*

En el apartado Conclusiones se presenta un resumen de todo el trabajo llevado a cabo en el Bloque II de esta Tesis Doctoral a la vez que se extraen las conclusiones de cada uno de los anteriores apartados.

Asimismo se expondrán las líneas futuras de investigación referentes a este proyecto de innovación así como a la metodología desarrollada en el mismo.

↳ *Bibliografía:*

Al final de cada capítulo se recogen las diferentes referencias bibliográficas en las que el autor se ha apoyado para la realización del presente trabajo.

ANÁLISIS PRE-INNOVACIÓN

SITUACIÓN DE PARTIDA:

Tal y como se exponía en el apartado Conclusiones del Bloque I de la Tesis Doctoral, *“una innovación será exitosa si otorga a la empresa una cuota de mercado que le permite recuperar la inversión realizada por su puesta en práctica y obtener beneficios que recompensen el riesgo asumido”*.

Asimismo se identificaban una serie de características comunes que se deben cumplir para que una innovación sea aceptada y resulte exitosa, entre las destacaban una por encima de todas las demás: *“el proyecto de innovación satisface una necesidad social asociada a una demanda presente, o potencialmente identificada, que no se solventa con los productos/ las tecnologías actuales”*

Esta situación conduce a la necesidad de realizar estudios de prospección que tienen como objetivo el identificar las necesidades del mercado para, en función de éstas, determinar las líneas de investigación que se deben emprender, ya que, en definitiva, son éstas mismas las que marcarán los requisitos de los futuros productos.

En nuestro caso concreto ha sido necesario realizar un estudio de prospección en el que en primer lugar se analizan las demandas globales que condicionan a los grandes fabricantes del sector del automóvil para, a continuación, centrarse en las necesidades intrínsecas o locales de la empresa ZF Lemförder GmbH y como ésta se ve afectada y/o condicionada por las primeras.



FIGURA 31: METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA PROBLEMÁTICA DEL AUTOMÓVIL - NECESIDADES DEL MERCADO.

Gracias a la realización de este estudio se podrá determinar de una manera concreta y precisa cuáles son los requisitos socioeconómicos del futuro brazo de suspensión y cuáles son los puntos clave en los cuales tendremos que hacer especial hincapié durante el desarrollo del nuevo componente de seguridad para lograr garantizar la aceptación del mismo minimizando por tanto el riesgo de fracaso del proyecto de innovación.

1.- DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA GLOBAL

El gran calado que tiene la industria del automóvil en el ámbito social y en la economía mundial, ha derivado en que el sector del automóvil se convierta en uno de los sectores más dinámicos de todos los ámbitos de la industria.

Este dinamismo radica en múltiples factores, algunos de los cuales están de actualidad de forma continuada, como pueden ser el gran volumen de negocio que le caracteriza, las crecientes exigencias de calidad, requisitos de seguridad y de diseño del producto junto a la

asfixiante necesidad de reducción de costes, etc.; mientras que otros lo hacen de manera más puntual, como pueden ser factores de desarrollo estratégico del mercado, los requisitos medioambientales, el desarrollo de nuevas tecnologías, las nuevas oportunidades de mercado fruto de las demandas adaptadas a la evolución de la sociedad, etc. La actuación conjunta de todos estos factores es la que en definitiva provoca que la necesidad de innovación, investigación y desarrollo de nuevos materiales, de desarrollo de productos y procesos productivos novedosos, etc. sea prácticamente instantánea.

De entre todos los factores referidos en el párrafo anterior destacan cuatro que son los que de alguna manera más están condicionando la situación de la industria automovilística hoy en día. Estos cuatro factores son:

- ↪ El desarrollo estratégico del mercado
- ↪ Las nuevas oportunidades de mercado fruto de las demandas adaptadas a la evolución de la sociedad (nuevos segmentos de mercado)
- ↪ El incremento de las Exigencias Medioambientales y de las Exigencias de Seguridad
- ↪ La reducción del tiempo de desarrollo y de los costes asociados al mismo

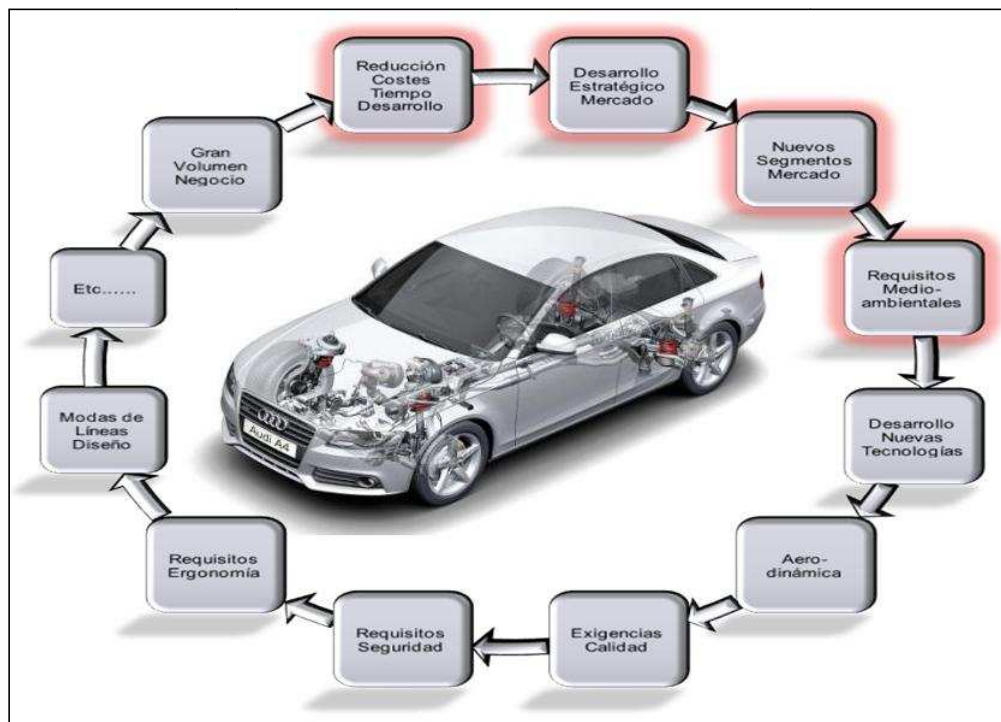


FIGURA.32: FACTORES QUE CONDICIONAN A LA INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL GLOBAL

factores como son los requisitos de seguridad, el desarrollo de nuevas tecnologías para la propulsión de los vehículos, la reducción del tiempo y costes de desarrollo, calidad, etc.

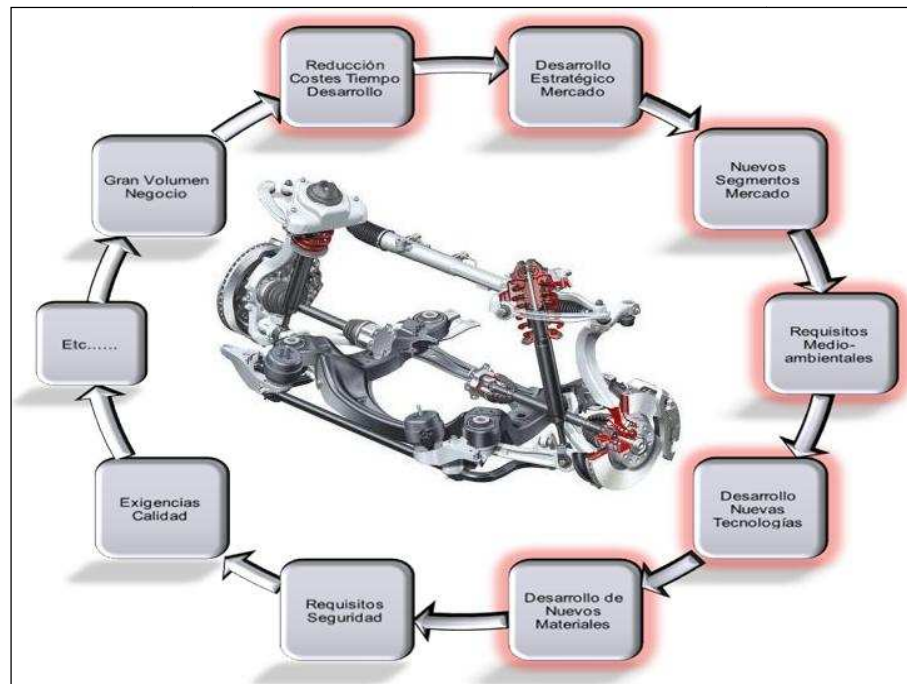


FIGURA 34: FACTORES QUE CONDICIONAN A ZF LEMFÖRDER GMBH

3.- DETERMINACIÓN DE LOS REQUISITOS SOCIOECONÓMICOS

En los siguientes puntos se expone con más detalle la problemática intrínseca de cada uno de estos factores y cuáles son los planes de acción o soluciones que la industria del automóvil está adoptando para paliar sus efectos.

3.1.- FACTORES QUE CONDICIONAN A LA INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL

3.1.1.- El Desarrollo Estratégico del Mercado

El desarrollo estratégico del mercado en el sector del automóvil ha hecho que en los últimos años las empresas de la industria automovilística ubicadas en la Europa occidental y más concretamente en España, se hayan visto amenazadas por la deslocalización de los centros productivos debido a la proliferación de nuevas empresas en mercados emergentes, países donde se consiguen bajo coste de mano de obra así como suelo industrial a precio reducido.

Esta evolución del mercado está supeditada al crecimiento económico de determinados países que está provocando que su demanda de bienes de consumo en general y de automóviles en particular crezca exponencialmente, y que, debido a su ubicación geográfica, encarezcan el suministro de vehículos desde Europa occidental, haciendo por tanto rentable la ubicación de centros productivos en su entorno.

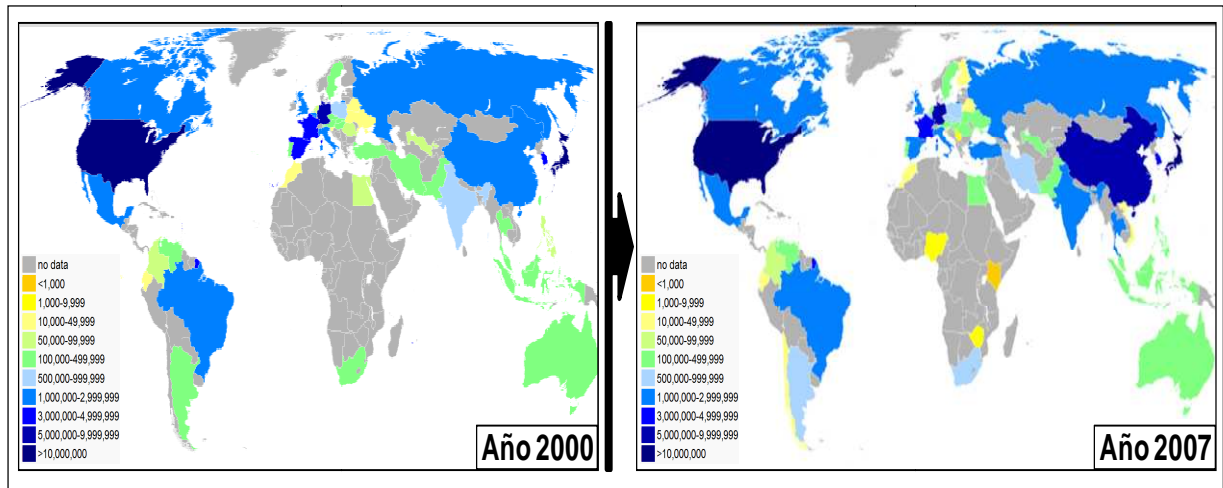


FIGURA 35: EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES [11]

El siguiente gráfico nos muestra el crecimiento exponencial que ha sufrido la producción de automóviles en China en comparación con la producción en otros países de Europa: [1] [11]

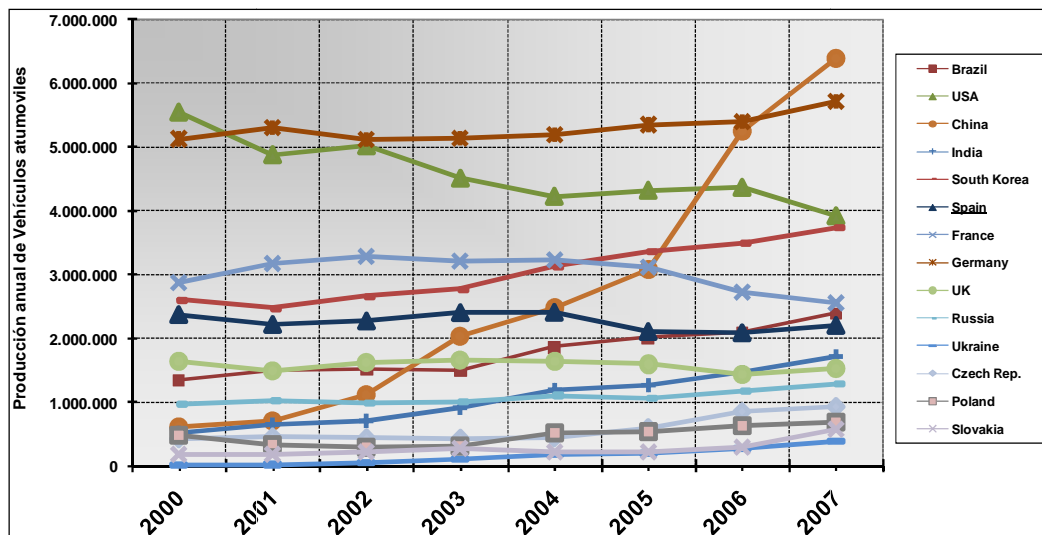


FIGURA 36: CRECIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

Este factor no es del todo nuevo y lleva acechando al sector del automóvil desde hace varios años. Hasta ahora la principal defensa de la industria automovilística ubicada en

Europa occidental había sido el incremento de la productividad de las plantas vía la inversión en máquinas automáticas, la formación y especialización de los trabajadores, etc. consiguiendo en muchos casos ser una de las referencias en este aspecto en los respectivos grupos multinacionales a los que pertenecen. Sin embargo la capacidad de incrementar la productividad está llegando a un punto difícilmente superable, por lo que es necesario buscar nuevos alicientes que incrementen el atractivo de los productos nacionales frente a los que pueden ofrecer las empresas ubicadas en los países emergentes.

El principal argumento que puede asegurar el incremento de competitividad en el sector de la automoción en los países desarrollados queda por tanto condicionado al diseño de componentes más vanguardistas y de alto contenido tecnológico. Además cabe destacar que, haciendo uso de la especialización de los trabajadores de los países desarrollados, los nuevos productos y procesos deben alcanzar unos estándares de calidad superiores y mejores rendimientos frente a los que se empleen en los países emergentes.

3.1.2.- Desarrollo de Nuevos Segmentos de Vehículos Automóviles y la Aplicación de Nuevos Materiales

La evolución conjunta de las demandas de la sociedad y el desarrollo de nuevas tecnologías tienen también un gran peso específico en el devenir del mercado automovilístico. Muestra de ello es el crecimiento de la oferta de nuevos tipos/segmentos de vehículos automóviles que se viene observando desde los años 60 hasta la actualidad: [5]

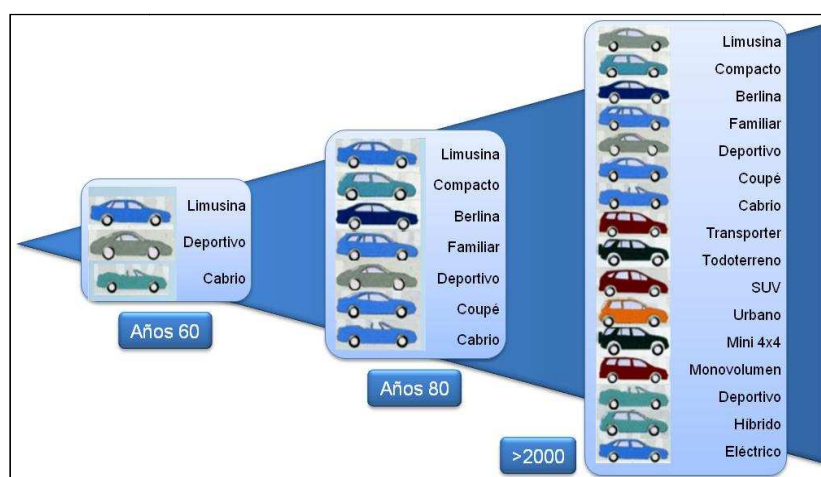


FIGURA 37: EVOLUCIÓN DE LA OFERTA DE NUEVOS SEGMENTOS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

Dentro de esta tendencia de crecimiento de la oferta de vehículos automóviles, y debido principalmente al cambio de forma de vida del ser humano y a la creación de macro urbes

en las que se aglomeran millones de habitantes que necesitan vehículos automóviles para desplazarse dentro de ellas, se han detectado varios factores que apuntan hacia la necesidad de desarrollar nuevos vehículos económicos de reducido tamaño, consumo y prestaciones, con uso fundamentalmente urbano.

La siguiente gráfica recoge la evolución del parque automovilístico en los últimos años así como las previsiones de futuro para el mismo en la que se muestra claramente una tendencia positiva en el crecimiento de vehículos para uso principalmente urbano (segmentos A y B): [14]

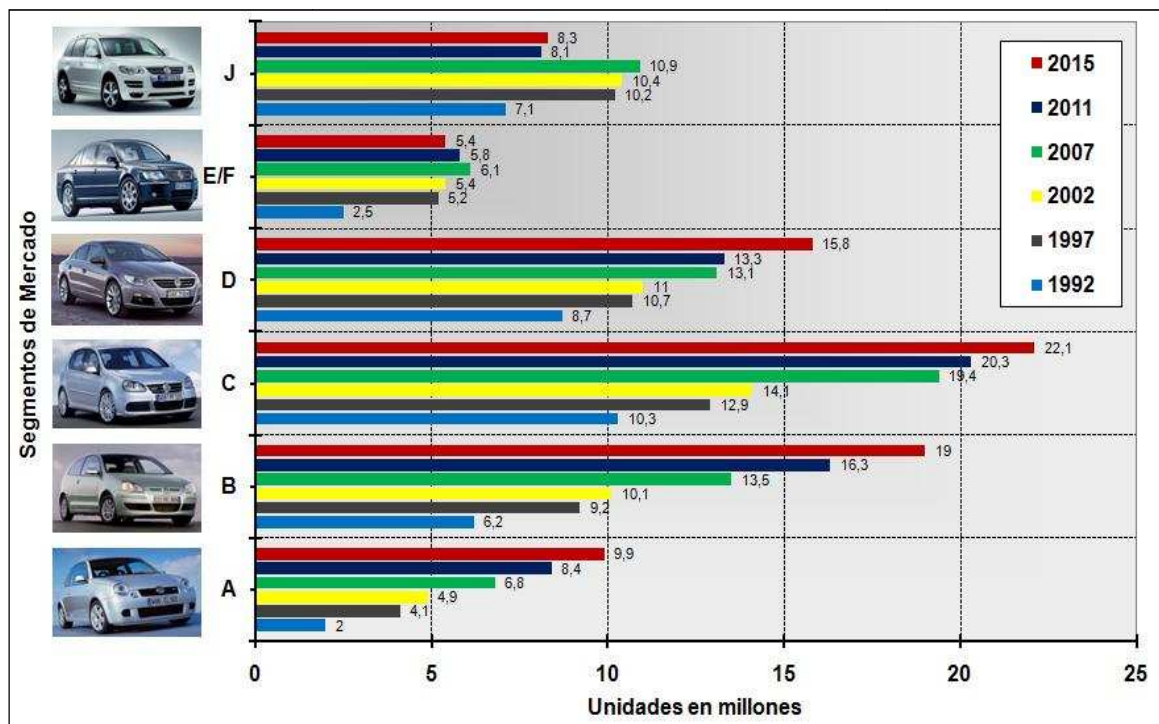


FIGURA 38: EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE VEHÍCULOS SEGÚN SEGMENTOS DE MERCADO

El auge de este tipo de vehículos, impensable hace tan sólo 15 años, está marcando a su vez el desarrollo de las nuevas tecnologías que tienen por principal objetivo el proporcionar nuevos sistemas de tracción para los nuevos vehículos automóviles (vehículos con motores de gas, eléctricos, híbridos, etc.) y el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías de fabricación de los mismos que hagan posible la fabricación de estructuras y componentes adaptados a los nuevos vehículos (componentes más pequeños, más ligeros, con mejor calidad, que integren más funciones y que sobre todo tengan un precio contenido a la vez que respeten el medio ambiente).

Este esfuerzo es el que está promoviendo que se haya pasado del tradicional uso de componentes solamente metálicos en la arquitectura del vehículo automóvil al uso de todo tipo de materiales en la actualidad, tal y como se observa en la siguiente imagen: [4] [10]

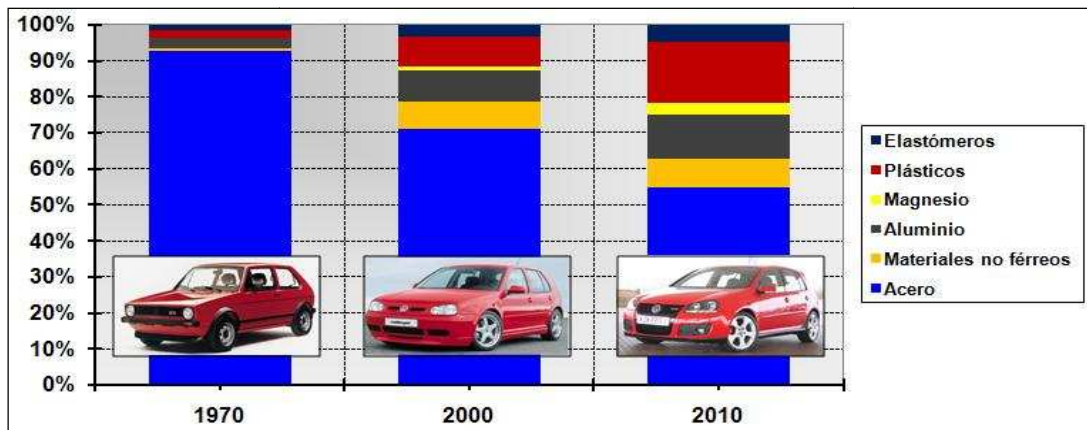


FIGURA 39: EVOLUCIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE MATERIALES EN LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

Para poder hacer frente a la demanda de vehículos de reducido tamaño para uso fundamentalmente urbano y en los que se pretenden implementar nuevas tecnologías vía la aplicación de nuevos materiales, las empresas del sector del automóvil han optado por la inversión en proyectos de investigación, desarrollo e innovación en los que trabajan conjuntamente con Universidades y Centros Tecnológicos del Automóvil.

En estos proyectos se desarrollan las nuevas arquitecturas para los nuevos vehículos automóviles (nuevos conceptos de ejes/chasis, carrocería, etc.), nuevos componentes que integren funciones, nuevos materiales y procesos productivos para los mismos, etc. que conduzcan a que los vehículos del futuro se adapten a las demandas impuestas por el cliente final.

Paralelamente a todas estas actividades se debe potenciar el desarrollo de servicios de vigilancia tecnológica que permitan detectar factores que apunten hacia el desarrollo de nuevos tipos vehículos y de nuevas tecnologías de fabricación y que por lo tanto permitan anticiparse a las oportunidades de mercado.

3.1.3.- Los Requisitos Medioambientales

Respecto a los requisitos medioambientales cabe destacar la creciente exigencia de las normas medioambientales que obligan a reducir la emisión de agentes contaminantes hasta valores que hace tan solo unos años parecían totalmente inalcanzables.

Este fenómeno ha cobrado especial importancia recientemente debido por un lado a los últimos datos estadísticos sobre las emisiones de agentes contaminantes en Europa, los cuales reflejan que en la Unión Europea el 10% de todas las emisiones del principal gas de efecto invernadero, el dióxido de carbono (CO₂) proceden de los combustibles que consumen los turismos y por otro tras la concienciación de la existencia de una relación entre la emisión de CO₂ y el calentamiento del planeta.

Con el objetivo de reducir estas emisiones de agentes contaminantes a la atmósfera y más concretamente de CO₂, tanto los dirigentes políticos como los fabricantes de automóviles han adoptado múltiples medidas, en concreto:

↪ A nivel global el Tratado de Kyoto, adscrito por la gran mayoría de los países a nivel mundial, se compromete a reducir entre 2008 y 2012 las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso), HFC (hidrofluorocarbonos), PFC (perfluorocarbonos) y SF₆ (hexafluoruro de azufre) a niveles un 5,8 % inferiores a los del año 1990. ^[8]

↪ Por su parte la Unión Europea ha endurecido las normas anticontaminantes del sector del automóvil sensiblemente. Actualmente se encuentra en vigor la norma EURO V (vigente para los vehículos de categoría A y B y en un periodo de adaptación hasta 2012 para los vehículos de más de 2.000 kg), que reduce significativamente las emisiones de NO_x (óxidos de nitrógeno), CO (monóxido de carbono), HC (hidrocarburos) y PM (partículas) respecto a la norma anterior, y a finales de 2014 entrará en vigor la norma EURO VI, que será notablemente más restrictiva. ^[12]

EVOLUCIÓN DE LAS NORMAS “EURO”											
NORMAS	ENTRADA EN VIGOR	CO		HC		HC + NOx		NOx		PM	
		DIESEL	GASOL	DIESEL	GASOL	DIESEL	GASOL	DIESEL	GASOL	DIESEL	GASOL
EURO I	1992	2.72	2.72	--	--	0.97	0.97	--	--	0.14	--
EURO II	1996	1.00	2.30	--	--	0.70	0.50	--	--	0.10	--
EURO III	2000	0.64	2.20	--	0.20	0.56	--	0.50	0.15	0.05	--
EURO IV	2005	0.50	1.00	--	0.10	0.30	--	0.25	0.08	0.025	--
EURO V	2009	0.50	1.00	--	0.10	0.23	--	0.18	0.06	0.005	0.005
EURO VI	2014	0.50	1.00	--	0.10	0.17	--	0.08	0.06	0.005	0.005

TABLA 7: EVOLUCIÓN DE LAS NORMAS EUROPEAS SOBRE EMISIONES PARA TURISMOS (NORMAS EURO)

↪ Además de los requisitos fijados por las normas EURO, la Comisión Europea publicó en febrero de 2007 su propuesta de proyecto legislativo para la regulación de

las emisiones de CO₂ de la flota de vehículos europeos nuevos, que tiene por objetivo alcanzar una media de emisiones de 120 g/km en el año 2012. [9]

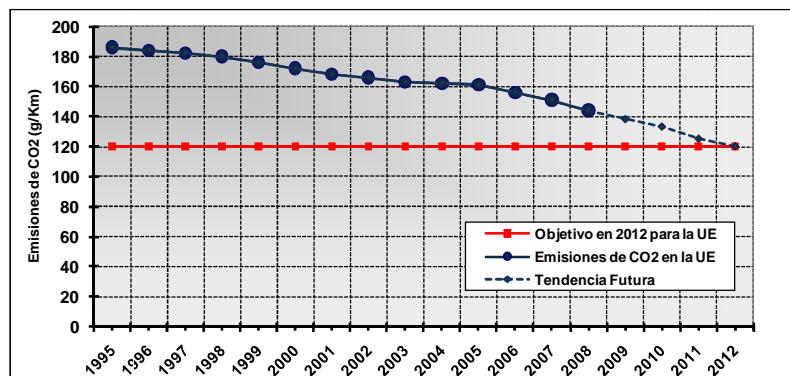


FIGURA 40: EMISIONES DE CO₂ DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES EN LA UNIÓN EUROPEA

Este objetivo se pretende alcanzar en dos partes:

- Alcanzar el nivel de 130gr/Km para las emisiones más directamente ligadas a las tecnologías de propulsión (motor) y reducción de peso de los vehículos (empleo de nuevos materiales, nuevos diseños, etc.)
- 10gr/Km de reducciones adicionales ligadas a otras medidas, de las cuales 5gr/Km vendrían, respectivamente, del uso de biocombustibles y medidas complementarias de tecnologías de vehículos (indicadores de cambio de marcha, neumáticos de baja resistencia a la rodadura, etc.).

Por el momento, se avanza positivamente hacia la consecución de la reducción de las emisiones de CO₂ y así lo demuestran los resultados estadísticos de las emisiones de CO₂ de los coches nuevos vendidos en los últimos años, pero si se desea alcanzar la meta de 120g de CO₂/km en 2012 es necesario seguir potenciando las actividades de I+D+i y o adoptar nuevas medidas que garanticen la consecución de los objetivos en ese marco temporal. [7]

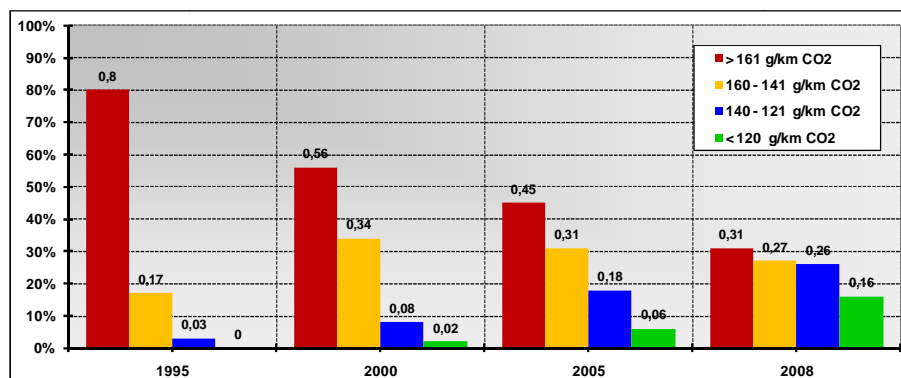


FIGURA 41: DISTRIBUCIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES VENDIDOS / EMISIONES DE CO₂

La industria del automóvil no es ajena a estas propuestas y con el propósito de llegar a cumplir los objetivos marcados en las normativas medioambientales los fabricantes trabajan, desde el comienzo del diseño del vehículo, en multitud de medidas para lograr la deseada reducción de emisiones contaminantes de los futuros vehículos automóviles.

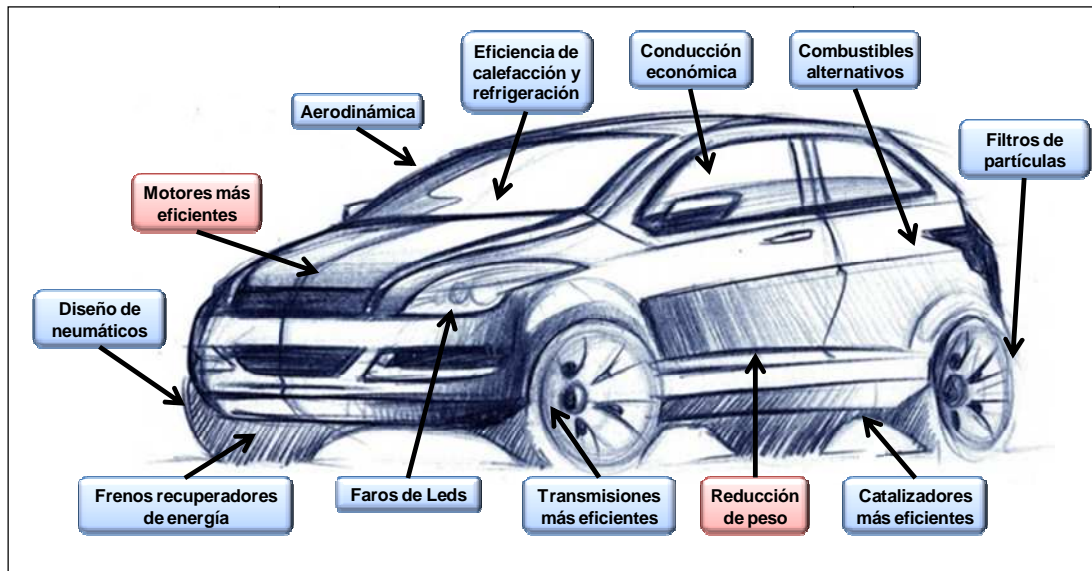


FIGURA 42: MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES

De todas las medidas que los fabricantes están adoptando hay dos soluciones que destacan sobre las demás y que se dirigen en dos direcciones diferentes, la primera de ellas es el desarrollo de motores más eficientes, mientras que la segunda pasa por la reducción de la masa de los vehículos. En los siguientes puntos se expone en que se trabaja en cada una de estas medidas:

↳ *Mejorar la efectividad de los motores* con el objetivo de lograr un menor consumo de combustible con la consiguiente reducción de las emisiones contaminantes. Estos efectos se consiguen actuando fundamentalmente en la mejora de la eficiencia de los ciclos de los motores actuales (recirculación de los gases, inyección directa, el aligeramiento de componentes con movimiento alternante, etc.), en el desarrollo de combustibles más eficientes o desarrollo de combustibles alternativos (mediante la introducción de partículas de baja fricción, nuevos aditivos, reduciendo el contenido de azufre, etc.), y en la implementación de técnicas para la neutralización de las partículas ya generadas, (catalizadores más eficientes, filtros de partículas, etc.).

En la siguiente imagen podemos observar cómo las mejoras en la efectividad de los motores en los últimos veinte años han llevado a disponer en la actualidad de

motores que ofrecen un 60% más potencia con un consumo y unas emisiones contaminantes un 28 % y un 75% inferiores a la de los motores de 1985. [1]

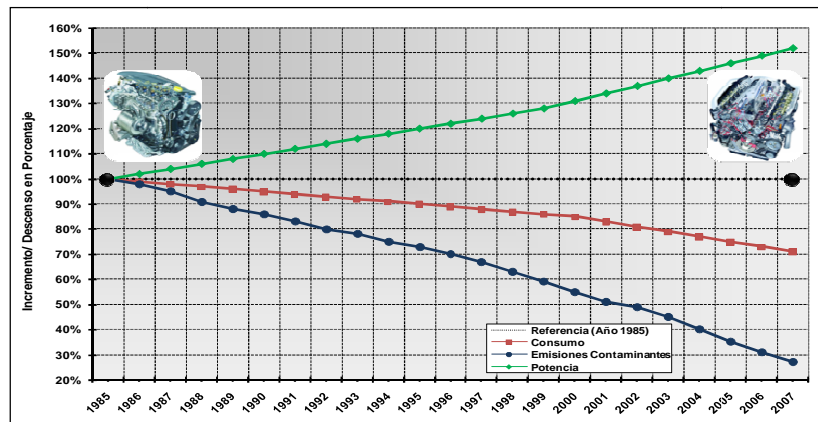


FIGURA 43: EVOLUCIÓN DE LAS MEJORAS EN LA EFECTIVIDAD DE LOS MOTORES

↪ Reducción del peso de los vehículos para disminuir la energía necesaria para conseguir su movimiento. Este efecto provocaría la reducción de las resistencias al movimiento del vehículo automóvil derivando por lo tanto en un menor consumo de combustible con la consiguiente reducción de las emisiones contaminantes (diferentes estudios indican que una reducción del peso de un vehículo automóvil de 90kg supondría una reducción del consumo de combustible cercana a los 0.3 l/100 km).

En la siguiente imagen podemos observar la influencia que tiene el peso del vehículo en las diferentes resistencias que se generan durante el movimiento del mismo:

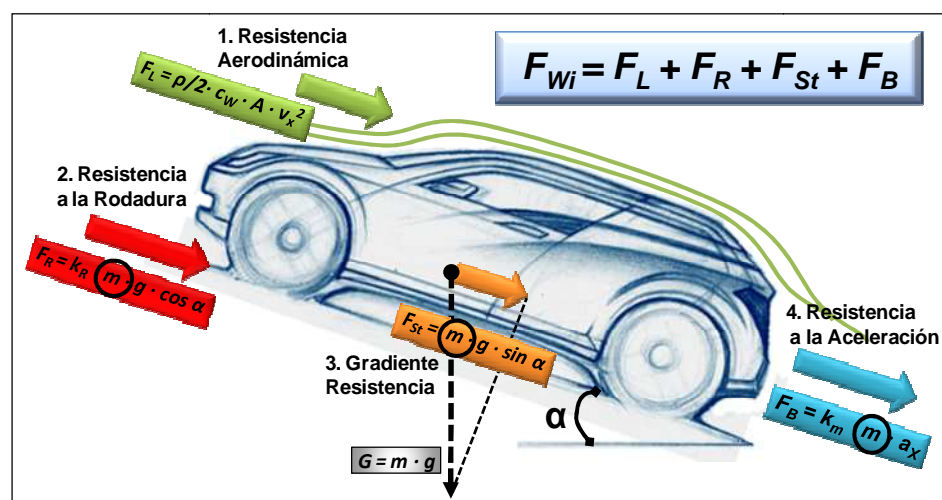


FIGURA 44: INFLUENCIA DEL PESO DE LOS VEHÍCULOS

Cabe destacar también que la reducción de masa de los vehículos ha tenido como enemigo a uno de los ámbitos de la tecnología que más se ha desarrollado en los

últimos años en la automoción, la seguridad. La incorporación de sistemas de seguridad tanto activa (airbag, pretensores, refuerzos estructurales, sensores de posición, etc.) como pasiva (controles de estabilidad, sistemas antibloqueo de frenos, controles de tracción, etc.) ha incrementado notablemente la masa de los vehículos, haciendo aún más necesaria una fuerte dieta de adelgazamiento. [2]

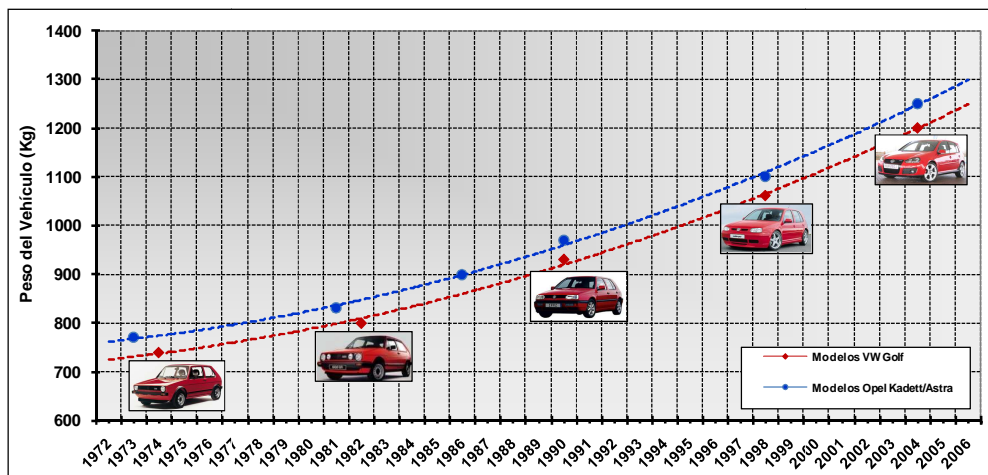


FIGURA 45: EVOLUCIÓN DEL PESO DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES 1970-2006 (SEGMENTO C)

Para poder hacer frente a esta reducción de peso de los vehículos automóviles existen básicamente tres alternativas, por un lado el estudio y utilización de materiales de menor densidad, por otro la optimización del diseño del producto que permita simplificar su geometría, disminuir su tamaño, etc. y por último, la optimización del proceso de fabricación del componente que permita facilitar su fabricación, integrar funciones, reducir los costes asociados a la misma, etc.

MEDIDAS PARA REDUCIR DE PESO DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES		
UTILIZACIÓN DE MATERIALES MÁS LIGEROS	OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> ♦ PLÁSTICOS TÉCNICOS REFORZADOS ♦ ACEROS DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO ♦ ALUMINIO, MAGNESIO,... ♦ ESPUMAS METÁLICAS ♦ ETC. 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ NUEVAS GEOMETRÍAS DE REFUERZOS ♦ INTEGRACIÓN DE COMPONENTES ♦ USO DE PERFILES ♦ EMPLEO DE SOFTWARE CAE ♦ ETC. 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ EMPLEO DE NUEVOS PROCESOS PRODUCTIVOS QUE PERMITAN LA INTEGRACIÓN DE FUNCIONES ♦ REDUCCIÓN DE SOLDADURAS ♦ NO INTERRUPTIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN ♦ ETC.

TABLA 8: MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DEL PESO DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

Finalmente es importante subrayar que las tres medidas descritas en la tabla anterior están sujetas a una misma premisa, el nuevo producto que surja del estudio

debe tener la misma funcionalidad que el sustituido. Para llegar a validar el nuevo diseño será necesario realizar comprobaciones tanto estáticas, como dinámicas, ante impacto, a fatiga, térmicas, termo-mecánicas y cuantas particularidades sean precisas en función de la naturaleza de la pieza.

3.1.4.- Reducción del Tiempo de Desarrollo y Costes

Los fabricantes de automóviles, debido a la enorme presión del mercado que obliga a proporcionar productos de mayor calidad, con mayor numero de funcionalidades y sobre todo más baratos, teniendo que reemplazar modelos cada vez en menos tiempo, trabajan en planes y procedimientos orientados a la optimización de los procesos de diseño (ingeniería de producto) y de producción (ingeniería de proceso) que están revolucionando y cambiando radicalmente los medios usados para concebir y fabricar un automóvil hasta la fecha.

Si hace unos años el tiempo de desarrollo de un automóvil era de hasta siete años y su vida media en el mercado de unos diez, hoy se tarda menos de treinta y seis meses en realizar un automóvil mucho más complejo y su vida media es de cinco años.

En la siguiente figura podemos contemplar el tiempo total dedicado al desarrollo de un automóvil y los tipos de actividades involucrados en cada etapa: [5]

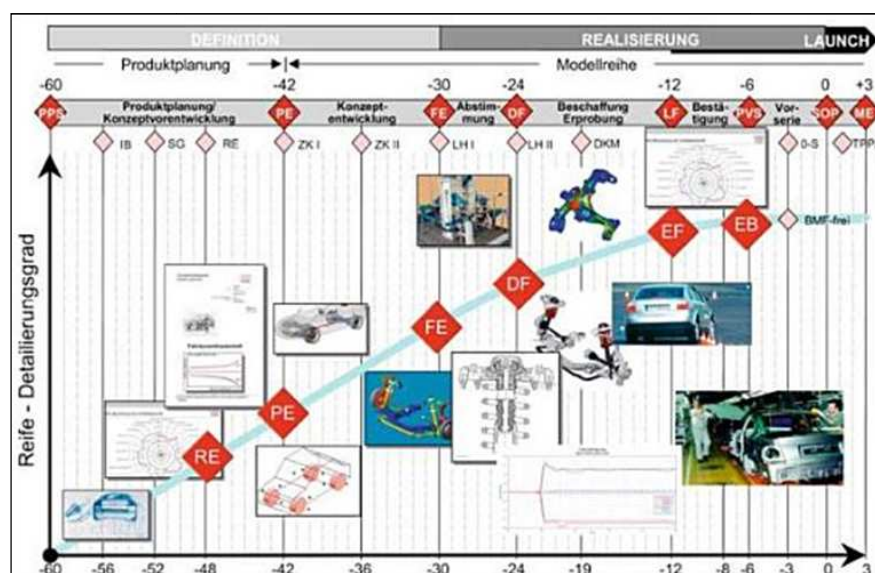


FIGURA 46: FASES DEL DESARROLLO DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL

Esto además hay que hacerlo, con el objetivo de poder aumentar la competitividad de las propias compañías, con un menor coste, lo que implica menos personas pero con mucha

más productividad. Un concepto que ilustra esta búsqueda de la competitividad es el llamado en terminología inglesa “*Time to market*”. Con esta expresión se resume el deseo de las compañías de reducir el tiempo que se emplea desde que se concibe una idea hasta que el producto resultante, en este caso un automóvil, sale por la línea de producción. El objetivo de los fabricantes de automóviles es naturalmente reducir este “*Time to market*”.

Las principales vías para reducir el tiempo total dedicado a estas actividades (reducir el *Time to market*) y el coste de las mismas son el aumento del conocimiento del producto y del proceso productivo, y la realización de tareas en paralelo frente a su realización en serie. A continuación se explica más en detalle cada una de estas medidas:

↳ *La búsqueda y el aumento del conocimiento del producto y del proceso productivo* para ser capaces de dominar la función de los sistemas/componentes. Esto se traduce en que cuanto más completo sea, más reduciremos el tiempo total de desarrollo, y lo que es también muy importante, servirá para reducir errores en los procesos de diseño y de fabricación. Este aumento del conocimiento de ambos procesos se conseguirá principalmente mediante el estudio del estado de la técnica del producto así como de los procesos productivos previos al inicio de cualquier nueva actividad de desarrollo, el análisis funcional del producto y del proceso productivo, y la revisión y optimización de las fases del proceso de desarrollo estudiando detalladamente qué procesos añaden valor añadido al producto y cuáles no.

↳ *La reducción del tiempo de desarrollo vía la ejecución de tareas en paralelo.* Esta reducción se alcanza gracias a la implementación de las nuevas tecnologías informáticas, modelos de desarrollo virtual y software de gestión de proyectos, en cada una de las fases del proceso de desarrollo de un nuevo automóvil. En los siguientes puntos se expondrá qué ofrecen cada una de estas herramientas:

↳ Los *modelos de desarrollo virtual*, conocidos por sus acrónimos en inglés (CAD, CAM, CAE, etc.) y usados extensivamente por los mayores fabricantes de automóviles del mundo, ofrecen una vertiginosa disminución en el tiempo de desarrollo, un aumento de la calidad y una disminución del coste que se produce en esta industria gracias a la posibilidad de construcción y validación virtual de los nuevos conceptos sin la necesidad de realizar una fase de prototipos, ensayos, etc.

↳ Los *software de gestión de proyectos*, conocidos también por sus acrónimos en inglés (PDM, EDM,...), permiten que el acceso a la información sea mucho más rápido, no dependa del número de personas que requieren la información y no

dependa de la localización geográfica del generador/demandante de la información. Así mismo ofrecen herramientas de control y organización de todos los datos involucrados. La siguiente tabla recoge los acrónimos de las tecnologías informáticas más usadas en el ámbito de la ingeniería por el mundo del automóvil y su significado:

ACRÓNIMOS DE LAS TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS USADAS EN SECTOR DEL AUTOMÓVIL		
	ACRÓNIMO	SIGNIFICADO
CAx →	♦ CAD	♦ COMPUTER AIDED DESING, DRAFTING
	♦ CAM	♦ COMPUTER AIDED MANUFACTURING
	♦ CAE	♦ COMPUTER AIDED ENGINEERING
	♦ CAPP	♦ COMPUTER AIDED PROCESS PLANING
xDM →	♦ CAPE	♦ COMPUTER AIDED PROCESS ENGINEERING
	♦ CA...	♦ COMPUTER AIDED ...
	♦ PDM	♦ PRODUCT DATA MANAGEMENT
	♦ EDM	♦ ENGINEERING DATA MANAGEMENT

TABLA 9: TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS USADAS EN EL MUNDO DEL AUTOMÓVIL

3.2.- RECAPITULACIÓN: PROBLEMÁTICA DE LA INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL

Con el objetivo de poder contemplar toda la problemática descrita en los puntos anteriores de una manera resumida se ha elaborado la siguiente tabla:

PROBLEMÁTICA DEL SECTOR DEL AUTOMÓVIL		
FACTOR CONDICIONANTE	PROBLEMA	SOLUCIÓN
♦ DESARROLLO ESTRATÉGICO DEL MERCADO	♦ DESLOCALIZACIÓN DE LOS CENTROS PRODUCTIVOS ♦ PROLIFERACIÓN DE NUEVAS EMPRESAS EN MERCADOS EMERGENTES (EUROPA DEL ESTE, CHINA, INDIA,...)	♦ INVERSIÓN EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE PRODUCTOS Y PROCESOS NOVEDOSOS ♦ INVERSIÓN EN LA CUALIFICACIÓN DE LOS TRABAJADORES ♦ DISEÑO DE SISTEMAS/ COMPONENTES MÁS VANGUARDISTAS ♦ DISEÑO DE SISTEMAS/ COMPONENTES CON ALTO CONTENIDO TECNOLÓGICO ♦ ESTÁNDARES DE CALIDAD SUPERIORES
♦ NUEVOS SEGMENTOS DE MERCADO Y DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS	♦ DEMANDA DE NUEVOS SEGMENTOS DE VEHÍCULOS → VEHÍCULOS DE REDUCIDO TAMAÑO "CITY CAR" ♦ NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LOS VEHÍCULOS → NUEVOS SISTEMAS DE TRACCIÓN (VEHÍCULOS ELÉCTRICOS, HÍBRIDOS,...)	♦ POTENCIAR EL DESARROLLO DE SERVICIOS DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA ♦ ANÁLISIS QFD DE LAS NECESIDADES DE LOS CLIENTES ♦ ESTUDIO/ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO Y PROCESOS PRODUCTIVOS ♦ TRABAJO CON CENTROS I+D+I Y UNIVERSIDAD DESARROLLO DE LOS NUEVOS CONCEPTOS DE SISTEMA ESTRUCTURAL, SISTEMAS DE PROPULSIÓN (MOTORES, COMBUSTIBLES, ETC.) SISTEMA DE CHASIS, ETC.

PROBLEMÁTICA DEL SECTOR DEL AUTOMÓVIL		
FACTOR CONDICIONANTE	PROBLEMA	SOLUCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> ♦ REQUISITOS MEDIOAMBIENTALES 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ REDUCCIÓN DE EMISIONES DE LOS GASES PROVOCADORES DEL CALENTAMIENTO GLOBAL ♦ CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS DE RECICLABILIDAD 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS ♦ ESTUDIOS AERODINÁMICOS DEL COCHE ♦ MEJORA DE LA EFECTIVIDAD DE LOS MOTORES ♦ REDUCCIÓN DEL PESO DE LOS VEHÍCULOS: <ul style="list-style-type: none"> ♦ UTILIZACIÓN DE MATERIALES MÁS LIGEROS ♦ OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DEL PRODUCTO. INTEGRACIÓN DE FUNCIONES ♦ MEJORA DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS
<ul style="list-style-type: none"> ♦ REDUCCIÓN DE TIEMPO Y COSTES DE DESARROLLO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ REDUCCIÓN DEL "TIME TO MARKET" ♦ REDUCCIÓN DE LOS COSTES DE DESARROLLO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA SIMULTÁNEA → INGENIERÍA PRODUCTO-PROCESO ♦ AUMENTAR EL CONOCIMIENTO DEL PRODUCTO Y DEL PROCESO PRODUCTIVO → DOMINAR LA FUNCIÓN DE LOS SISTEMAS/ COMPONENTES ♦ IMPLEMENTACIÓN DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS EN EL PROCESO DE DESARROLLO (CAD, CAE, PDM,...)

TABLA 10: RESUMEN DE LA PROBLEMÁTICA DEL SECTOR DEL AUTOMÓVIL

Extrapolando la problemática del sector del automóvil a los problemas que marcan el devenir de ZF Lemförder GmbH obtenemos una visión de los factores que condicionan a esta última pudiendo de esta manera, por un lado, determinar las líneas de investigación que se deben emprender y, por otro, identificar cuáles son los puntos clave en los cuales tendremos que basar el desarrollo del nuevo componente de seguridad para lograr la aceptación de éste por parte del mercado.

PROBLEMÁTICA DE ZF LEMFÖRDER GMBH		
FACTOR CONDICIONANTE	PROBLEMA	SOLUCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> ♦ DESARROLLO ESTRATÉGICO DEL MERCADO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DESLOCALIZACIÓN DE LOS CENTROS PRODUCTIVOS ♦ PROLIFERACIÓN DE NUEVAS EMPRESAS EN MERCADOS EMERGENTES (EUROPA DEL ESTE, CHINA, INDIA,...) 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ INVERSIÓN EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE PRODUCTOS Y PROCESOS NOVEDOSOS ♦ DISEÑO DE COMPONENTES MÁS VANGUARDISTAS CON ALTO CONTENIDO TECNOLÓGICO ♦ AUMENTAR EL VALOR AÑADIDO DE LOS PRODUCTOS Y/O PROCESOS PRODUCTIVOS ♦ ESTÁNDARES DE CALIDAD SUPERIORES
<ul style="list-style-type: none"> ♦ NUEVOS SEGMENTOS DE MERCADO Y DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DEMANDA DE NUEVOS SEGMENTOS DE VEHÍCULOS → VEHÍCULOS DE REDUCIDO TAMAÑO ♦ NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LOS VEHÍCULOS → NUEVOS SISTEMAS DE TRACCIÓN 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ POTENCIAR EL DESARROLLO DE SERVICIOS DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA ♦ TRABAJO CON CENTROS I+D+I Y UNIVERSIDAD DESARROLLO DE LOS NUEVOS CONCEPTOS DE CHASIS / EJES / COMPONENTES ♦ ESTUDIO DE NUEVOS MATERIALES Y PROCESOS PRODUCTIVOS PARA LA FABRICACIÓN DE SISTEMAS/ COMPONENTES PARA LOS NUEVOS VEHÍCULOS

PROBLEMÁTICA DE ZF LEMFÖRDER GMBH		
FACTOR CONDICIONANTE	PROBLEMA	SOLUCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> ♦ REQUISITOS MEDIOAMBIENTALES 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ REDUCCIÓN DE EMISIONES DE LOS GASES PROVOCADORES DEL CALENTAMIENTO GLOBAL ♦ CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS DE RECICLABILIDAD 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ REDUCCIÓN DEL PESO DE LOS VEHÍCULOS: <ul style="list-style-type: none"> ♦ UTILIZACIÓN DE MATERIALES MÁS LIGEROS ♦ OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DEL PRODUCTO. INTEGRACIÓN DE FUNCIONES ♦ MEJORA DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS
<ul style="list-style-type: none"> ♦ REDUCCIÓN DE TIEMPO Y COSTES DE DESARROLLO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ REDUCCIÓN DEL "TIME TO MARKET" ♦ REDUCCIÓN DE LOS COSTES DE DESARROLLO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA SIMULTÁNEA → INGENIERÍA PRODUCTO-PROCESO ♦ AUMENTAR EL CONOCIMIENTO DEL PRODUCTO Y DEL PROCESO PRODUCTIVO → DOMINAR LA FUNCIÓN DE LOS SISTEMAS/ COMPONENTES ♦ IMPLEMENTACIÓN DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS EN EL PROCESO DE DESARROLLO (CAD, CAE, PDM,...)

TABLA 11: REQUISITOS SOCIOECONÓMICOS DEL FUTURO BRAZO DE SUSPENSIÓN

NECESIDAD DE INNOVACIÓN:

Como se veía en el apartado anterior, en la actualidad el panorama mundial empresarial del sector del automóvil está marcado en gran medida por la necesidad de adaptación de las empresas al mercado global hacia el que nos movemos. Esta necesidad de adaptación arranca en los grandes grupos empresariales multinacionales y es transmitida hasta el último de sus proveedores provocando importantes cambios en las estrategias de todas las empresas involucradas en el proceso.

El Grupo ZF Friedrichshafen AG, y más concretamente a su división dedicada a la tecnología del chasis, ZF Lemförder GmbH, no es ajena a esta situación y ha visto como el competitivo y cambiante entorno del sector de la automoción de los últimos años ha provocado, en los campos de producto en los que se mueve, la necesidad de ampliar los horizontes productivos de la empresa, transformándose éstos de la actual fabricación de componentes con diseño tradicional hacia la obtención de componentes con diseños más vanguardistas y con alto contenido tecnológico, con altos estándares de calidad, etc., y hacia la obtención de módulos que integren varios componentes.

El camino adoptado por ZF Lemförder GmbH para cumplir semejante objetivo pasa por la apuesta en innovación, potenciando las actividades de su departamento de Estudios Avanzados y trabajando en proyectos innovadores que encuentren soluciones a los nuevos retos de la industria automovilística.

1.- AFECTACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE ZF LEMFÖRDER GMBH

La empresa ZF Lemförder GmbH en su unidad estratégica de negocio de componentes de chasis se dedica a la fabricación de elementos de seguridad de los órganos de dirección y

suspensión para vehículos automóviles. Tradicionalmente se ha dedicado a la fabricación de rótulas de suspensión, bieletas de dirección, estabilizadores así como brazos de suspensión para los principales fabricantes de vehículos automóviles convirtiéndose gracias a la buena relación prestaciones – precio de sus productos, a su calidad y a su rápida capacidad de respuesta para con sus clientes en una referencia para otras empresas del sector.

Sin embargo, a lo largo de los últimos años, como el resto de empresas suministradoras de la industria del automóvil, se ha visto envuelta en el dinamismo y la vorágine que caracteriza a este sector de manera que ha pasado de ser un proveedor de componentes de seguridad de chasis para los sistemas de suspensión y dirección de los vehículos automóviles casi sin competencia en el mercado a encontrarse en una situación de necesidad de renovación de su paleta de componentes casi instantánea para poder amoldarse a la situación del mercado y garantizar su competitividad y supervivencia.

Concretamente ZF Lemförder GmbH ha visto como debido a este entorno de competitividad su paleta de productos más tradicionales, rótulas de suspensión, estabilizadores y bieletas de dirección, están siendo desplazados por componentes fabricados por empresas de la competencia ubicadas en países de bajo costo y como en productos como los brazos de suspensión está perdiendo cuota de mercado en todos los segmentos de vehículos automóviles frente a los conceptos de brazos de suspensión de la competencia a pasos agigantados.

La siguiente figura recoge gráficamente parte de la paleta de productos de la empresa ZF Lemförder GmbH y su ubicación en un eje delantero de un vehículo automóvil: ^[13]

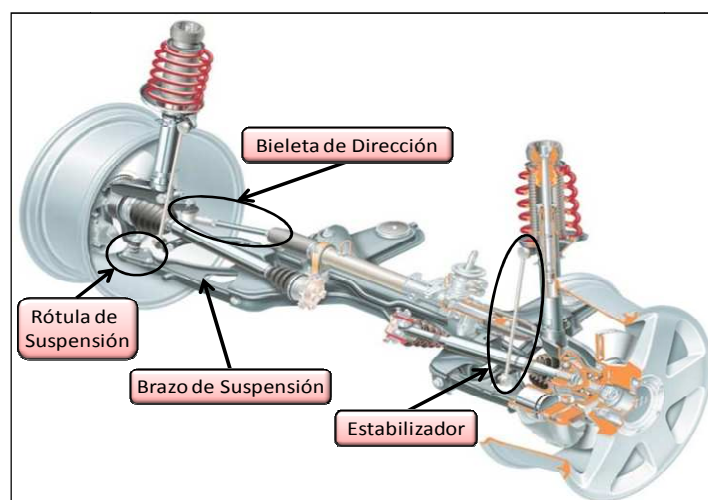


FIGURA 47: COMPONENTES DE CHASIS PARA EL EJE DELANTERO FABRICADOS POR ZF LEMFÖRDER GMBH

Con estos antecedentes, y con los objetivos de, primero, lograr mantener su posición en el mercado actual siendo uno más dentro de las listas de proveedores de los fabricantes de automóviles y segundo, mejorar esta posición en el futuro incrementando su cuota de negocio en los nuevos nichos de mercado que se abren, ZF Lemförder GmbH ha adoptado una estrategia de anticipación basada en la inversión en proyectos de Innovación con sus respectivas fases de Investigación, Desarrollo cuyos ejes estratégicos son:

↳ *Dominio tecnológico del producto.* ZF Lemförder GmbH pretende dominar este eje mediante la anticipación sobre los conceptos, materiales y sus comportamientos con el uso de herramientas de cálculo, simulación y diseño.

↳ *Investigación y Desarrollo de nuevos materiales aplicables a sus productos.* ZF Lemförder GmbH pretende dominar este eje mediante el estudio y desarrollo de nuevos materiales compatibles a las aplicaciones actuales ayudándonos de aquellos que mejor los conocen, los proveedores, las universidades y los centros de investigación y desarrollo.

↳ *Dominio tecnológico del proceso.* ZF Lemförder GmbH pretende dominar este eje mediante la anticipación y la aplicación de nuevas tecnologías y conceptos productivos. Asimismo la investigación en nuevos procesos es fundamental así como la conexión producto-proceso.

↳ *Apertura de una política de colaboración con Universidades y Centros de Investigación públicos y privados.* Para continuar con su política de diseños de nuevos conceptos tecnológicos aplicables a su gama de productos, ZF Lemförder GmbH considera como eje fundamental mantener las relaciones establecidas con universidades y centros de investigación y desarrollo en automoción y fomentar en el futuro una relación más estrecha con dichas entidades.

Gracias a la realización de estos proyectos la empresa logrará ampliar la oferta de su paleta de componentes de chasis fabricados hasta la fecha gracias a la incorporación de los productos resultado de estos proyectos de innovación en los que se desarrollan los componentes del futuro de acuerdo con los principales factores que condicionan el mercado del automóvil en general y el devenir de ZF Lemförder GmbH en particular que ya fueron descritos en detalle en el apartado anterior.

1.1.- NECESIDAD DE INNOVACIÓN PARA EL BRAZO DE SUSPENSIÓN

De entre todos los componentes de seguridad de chasis que forman la paleta de productos de ZF Lemförder GmbH, el brazo de suspensión para el vehículo automóvil es el que necesita de una manera más imperativa la realización de actividades de investigación y desarrollo encaminadas a la obtención de nuevos conceptos tecnológicos para el mismo que puedan ser aplicados en los diferentes segmentos de mercado de vehículos automóviles.

La razón que impulsa esta necesidad de innovación viene determinada por la desaceleración y pérdida de pedidos de brazos de suspensión fabricados tradicionalmente por ZF Lemförder GmbH en materiales como acero de fundición, acero forjado, fundición de aluminio, etc. por parte de los principales fabricantes de automóviles.

Con el objetivo de determinar los motivos que han provocado esta disminución en los pedidos de brazos de suspensión e intentar prever su desarrollo se realizó un análisis del ciclo de vida de los productos con sus respectivas tecnologías de fabricación ofertados actualmente por oferta la empresa.

En este estudio se ponderaron diferentes factores como la satisfacción de los clientes, un análisis de costes, número de competidores en el mercado, los problemas de calidad, etc. para determinar finalmente en qué fase del ciclo de vida se encuentran los productos que se comercializan hoy en día.

1.1.1.- Descripción de la Metodología para el Estudio del Ciclo de Vida

El ciclo de vida de un producto o tecnología de producción es el conjunto de etapas (embrionaria, introducción, crecimiento, madurez, saturación y obsolescencia) por las que éstos atraviesan. [3] [4]

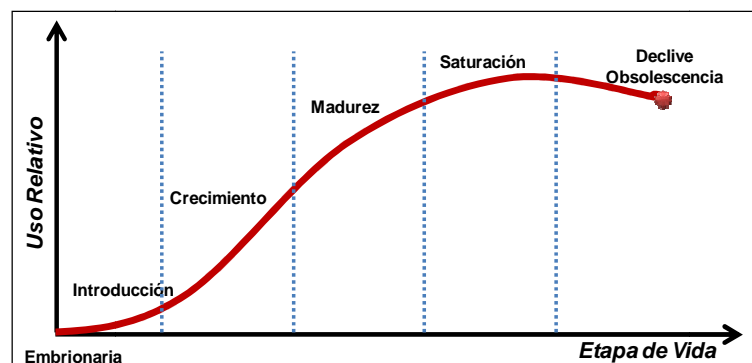


FIGURA 48: ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE LOS PRODUCTOS Y SUS TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN

Estos conceptos son utilizados como una herramienta de administración de la vigilancia tecnológica y de la mercadotecnia para conocer y rastrear la fase en la que se encuentra una determinada categoría de productos, con la finalidad de identificar con anticipación los riesgos y oportunidades que plantea cada etapa para una paleta de productos en particular.

Diversos estudios en temas de mercadotecnia coinciden en señalar que son cinco las etapas que conforman el ciclo de vida del producto tal y como se expone en los siguientes puntos y como se mostraba en la imagen anterior: ^[3] ^[4]

↳ *Fase Embrionaria.* En esta fase previa a las etapas del ciclo de vida, se desarrollan, entre otros, los siguientes procesos de la vida del producto: concepción de la idea, desarrollo del proyecto, investigaciones anteriores a su producción masiva y lanzamiento, plan de negocios, etc.

↳ *Etapas de Introducción.* Esta primera etapa del ciclo de vida del producto, se inicia cuando se lanza un nuevo producto al mercado, el cual puede ser algo completamente innovador (innovación radical) o puede tener una característica novedosa que dé lugar a una nueva categoría de producto (innovación incremental).

En esta etapa, una vez lanzado el producto al mercado, la empresa se ocupa a través del área de marketing de todas las actividades necesarias para asegurar el plan de cobertura y penetración original previsto en los objetivos del proyecto. Dos aspectos importantes a tener también en cuenta en esta fase son la política de precios y el financiamiento, los cuales deben ser estratégicamente decididos para facilitar la rápida penetración del producto en el mercado.

Finalmente, es importante subrayar que la etapa de introducción es la etapa más arriesgada y costosa de un producto porque en ella se tiene que gastar una considerable cantidad de recursos no solo en desarrollar el producto sino también en procurar la aceptación de la oferta por el consumidor. Por ello, cabe señalar que son muchos los nuevos productos que fracasan en esta etapa debidos principalmente a que no son aceptados por una cantidad suficiente de consumidores.

↳ *Etapas de Crecimiento.* Si una categoría de producto satisface al mercado y sobrevive a la etapa de introducción, ingresa a la segunda etapa del ciclo de vida del producto conocida como la etapa de crecimiento.

En esta etapa, el producto completa su posicionamiento definitivo, consolidada su cobertura y comienza a aumentar su participación en el mercado rápidamente. Esta etapa se caracteriza porque las ventas suelen incrementarse a tasas crecientes, muchos

competidores ingresan en el mercado, las grandes compañías pueden comenzar a adquirir pequeños negocios pioneros, los costos unitarios de fabricación bajan y los costos de promoción se reducen al repartirse entre un volumen de producción más grande.

↳ *Etapa de Madurez.* Es en esta tercera etapa del ciclo de vida del producto, el crecimiento de las ventas se reduce y/o se detiene.

Cuando el producto ha alcanzado la máxima participación posible y pronosticada de su evolución en el mercado, se ha llegado a la etapa denominada de madurez.

Esta etapa normalmente dura más tiempo que las etapas anteriores y presenta retos importantes para la dirección de mercadotecnia. La mayor parte de los productos se encuentran en la etapa de madurez de su ciclo de vida, por lo que casi toda la dirección de mercadotecnia se ocupa de productos maduros.

↳ *Etapa de Saturación/Declinación.* En esta cuarta etapa del ciclo de vida del producto, la demanda disminuye, por tanto, existe una baja de larga duración en las ventas, las cuales, podrían bajar a cero, o caer a su nivel más bajo en el que pueden continuar durante muchos años.

Después de una meseta de alta participación y muy buenas ventas en el mercado, todo producto, tecnología o servicio, con el tiempo, tiende a decrecer en su evolución. Ello puede originarse por los cambios en las conductas de los clientes y usuarios; por una innovación tecnológica que marque la iniciación de un ciclo de obsolescencia, por errores estratégicos propios de la compañía, por modificaciones en las condiciones socioeconómicas del entorno; leyes o disposiciones normativas, etc.

En el ciclo de declinación es posible intentar esfuerzos para desacelerar el ritmo de la caída, pero no más que ello, ya que, cuando se detectan las señales de su iniciación, el ciclo es irreversible y no se justifica, económicamente, realizar inversiones para detenerlo o revertirlo por lo tanto es necesario comenzar a programar el retiro del producto del mercado, ya que en estas circunstancias no se obtienen resultados económicos positivos.

↳ *Etapa de Declive/Obsolescencia.* En su última fase de la saturación/declinación, el producto está en la empresa pero no tiene vigencia en el mercado: los canales de distribución lo dan de baja en su comercialización, porque no existe demanda.

Los compradores y los usuarios no lo aceptan por no adaptarse a sus expectativas y deseos. Llegó la hora de tomar la decisión de su retiro definitivo.

1.1.2.- Determinación de las Fases del Ciclo de Vida de los Brazos de Suspensión ofertados por ZF Lemförder GmbH en la Actualidad

Una vez explicado qué es el ciclo de vida del producto y cuáles son las etapas que lo conforman, podemos pasar a determinar la ubicación de los brazos de suspensión ofertados actualmente por la empresa ZF Lemförder GmbH en el ciclo de vida para estos productos.

Para lograr tal fin, resulta de vital importancia conocer qué indicadores y qué características distinguen a cada etapa en particular, con la finalidad de poder tener los conceptos básicos para utilizar adecuadamente ésta herramienta de predicción o pronóstico, la cual, nos permitirá identificar las oportunidades y riesgos que plantean las diferentes etapas por las que atraviesan los brazos de suspensión ofertados actualmente por la empresa.

DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL CICLO DE VIDA DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN		
ETAPA	INDICADORES	CARACTERÍSTICAS
INTRODUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ♦ CRECIMIENTO GRADUAL EN VOLÚMENES DE VENTAS, REPETICIONES LENTAS DE COMPRAS, ASÍ COMO SU PROGRESIVA PARTICIPACIÓN EN EL MERCADO ♦ COBERTURA GRADUAL DE LOS PUNTOS DE VENTAS SELECCIONADOS COMO METAS ♦ ROTACIÓN REDUCIDA DE LAS EXISTENCIAS EN LOS CANALES 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ LAS VENTAS SON BAJAS ♦ NO EXISTEN COMPETIDORES, Y EN EL CASO QUE LOS HAYA SON MUY POCOS ♦ LOS PRECIOS SUELEN SER ALTOS EN ESTA ETAPA, DEBIDO A QUE EXISTE UNA SOLA OFERTA ♦ LOS GASTOS EN PROMOCIÓN Y DISTRIBUCIÓN SON ALTOS ♦ LAS ACTIVIDADES DE DISTRIBUCIÓN SON SELECTIVAS ♦ LAS UTILIDADES SON NEGATIVAS O MUY BAJAS ♦ EL OBJETIVO PRINCIPAL DE LA PROMOCIÓN ES INFORMAR.
CRECIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> ♦ PENETRACIÓN CRECIENTE EN EL MERCADO, CON AMPLIAS OPORTUNIDADES DE AVANCE ♦ SEGMENTOS Y NICHOS DE MERCADO AÚN VÍRGENES, O CON POCA PENETRACIÓN ♦ GRADO DE FIDELIZACIÓN O REPETICIÓN DE COMPRAS CON SOSTENIDO AVANCE ♦ MUY BUENA COBERTURA EN LOS CANALES DE DISTRIBUCIÓN ♦ UTILIDADES BRUTAS EN CRECIMIENTO, PERO AÚN BAJAS CON RELACIÓN A SU POTENCIAL ♦ CURVA DE APRENDIZAJE EN DESARROLLO ♦ CARTERA DE CLIENTES AMPLIA, PERO CON POSIBILIDADES DE EXTENSIÓN ♦ IMPORTANTE PRESIÓN Y RESPUESTA COMPETITIVA ♦ AVANCE SOSTENIDO PARA ALCANZAR EL LIDERAZGO EN COSTOS; TENDENCIA SOSTENIDA EN CRECIMIENTO DE VENTAS 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ LAS VENTAS SUBEN CON RAPIDEZ ♦ MUCHOS COMPETIDORES INGRESAN AL MERCADO ♦ APARECEN PRODUCTOS CON NUEVAS CARACTERÍSTICAS (EXTENSIONES DE PRODUCTO, SERVICIO O GARANTÍA) ♦ LOS PRECIOS DECLINAN DE MANERA GRADUAL. ESFUERZO DE LAS EMPRESAS POR INCREMENTAR LAS VENTAS Y SU PARTICIPACIÓN EN EL MERCADO ♦ LA PROMOCIÓN TIENE EL OBJETIVO DE PERSUADIR PARA LOGRAR LA PREFERENCIA POR LA MARCA ♦ LOS COSTOS UNITARIOS DE FABRICACIÓN BAJAN Y LOS COSTOS DE PROMOCIÓN SE REPARTEN ENTRE UN VOLUMEN MÁS GRANDE ♦ LOS CLIENTES QUE ADQUIEREN EL PRODUCTO EN ESTA ETAPA SON LOS ADOPTADORES TEMPRANOS

DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL CICLO DE VIDA DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN		
ETAPA	INDICADORES	CARACTERÍSTICAS
MADUREZ	<ul style="list-style-type: none"> ♦ NIVEL ÓPTIMO DE PENETRACIÓN DE MERCADO ♦ CON POCAS POSIBILIDADES DE CRECIMIENTO ♦ FINALIZACIÓN DE LA TENDENCIA DE CRECIMIENTO DE VENTAS ♦ NIVELES MÁXIMOS DE CONTRIBUCIÓN Y RENTABILIDAD FINAL ♦ MÁXIMA ACCIÓN DE LA COMPETENCIA PARA DESPLAZAR POSICIONES ALCANZADAS ♦ LIDERAZGO Y DOMINANCIA EN LOS SEGMENTOS OPERADOS, O EN EL MERCADO TOTAL ♦ ALTOS ÍNDICES DE FIDELIZACIÓN DE CLIENTES ♦ EXTENSIÓN AMPLIA Y CASI TOTAL DE LÍNEAS O VARIEDADES DEL PRODUCTO ♦ MARCAS Y USOS DE ALTO RECONOCIMIENTO Y PROFUNDO POSICIONAMIENTO ♦ ELEVADA ROTACIÓN DE INVENTARIOS EN LA EMPRESA Y LOS PUNTOS DE VENTAS ♦ CARENCIA DE REQUERIMIENTO DE INVERSIONES ADICIONALES PARA SOSTENER POSICIONES LOGRADAS 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ EN UNA PRIMERA ETAPA, LAS VENTAS SIGUEN AUMENTANDO, PERO A RITMO DECRECIENTE, HASTA QUE LLEGA EL MOMENTO EN QUE SE DETIENE ♦ LA COMPETENCIA ES INTENSA, AUNQUE EL NÚMERO DE COMPETIDORES PRIMERO TIENDE A ESTABILIZARSE, Y LUEGO COMIENZA A REDUCIRSE ♦ LAS LÍNEAS DE PRODUCTOS SE ALARGAN PARA ATRAER A SEGMENTOS DE MERCADO ADICIONALES. EL SERVICIO JUEGA UN PAPEL MUY IMPORTANTE PARA ATRAER Y RETENER A LOS CONSUMIDORES ♦ EXISTE UNA INTENSA COMPETENCIA DE PRECIOS ♦ EXISTE UNA FUERTE PROMOCIÓN QUE PRETENDE DESTACAR LAS DIFERENCIAS Y BENEFICIOS DE LA MARCA ♦ LAS ACTIVIDADES DE DISTRIBUCIÓN SON AÚN MÁS INTENSIVAS QUE EN LA ETAPA DE CRECIMIENTO ♦ LAS GANANCIAS DE PRODUCTORES Y DE INTERMEDIARIOS DECAEN PRINCIPALMENTE POR LA INTENSA COMPETENCIA DE PRECIOS
SATURACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ♦ LAS VENTAS VAN EN DECLIVE ♦ LA COMPETENCIA VA BAJANDO EN INTENSIDAD DEBIDO A QUE EL NÚMERO DE COMPETIDORES VA DECRECIENDO ♦ LA PROMOCIÓN SE REDUCE AL MÍNIMO, TAN SOLO PARA REFORZAR LA IMAGEN DE MARCA O PARA RECORDAR LA EXISTENCIA DEL PRODUCTO ♦ EXISTE UN PRODUCTO MEJOR O MENOS COSTOSO PARA SATISFACER LA MISMA NECESIDAD 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ LA NECESIDAD DEL PRODUCTO DESAPARECE, A MENUDO POR EL DESARROLLO DE OTRO PRODUCTO ♦ SE PRODUCEN RECORTES EN LAS LÍNEAS DE PRODUCTOS EXISTENTES MEDIANTE LA DISCONTINUACIÓN DE PRESENTACIONES ♦ LOS PRECIOS SE ESTABILIZAN A NIVELES RELATIVAMENTE BAJOS ♦ LOS CONSUMIDORES SE CANSAN DEL PRODUCTO
DECLIVE	<ul style="list-style-type: none"> ♦ LAS VENTAS SON CASI NULAS ♦ NO EXISTE DEMANDA 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ LAS LÍNEAS DE PRODUCTOS SE NO ADAPTAN A LAS EXPECTATIVAS DE LOS CONSUMIDORES ♦ LOS PRODUCTOS SON OBSOLETOS, NO SUSCITAN NINGÚN INTERÉS

TABLA 12: INDICADORES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS FASES DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO

1.1.3.- Resultados del Análisis del Ciclo de Vida de los Brazos de Suspensión ofertados por ZF Lemförder GmbH en la Actualidad

Para determinar la fase del ciclo de vida en la que se encuentran los brazos de suspensión ofertados por ZF Lemförder GmbH en la actualidad se evaluaron éstos bajo diferentes prismas como la satisfacción de los clientes, su adecuación a los requisitos de la industria automovilística a día de hoy, el estado de las ventas y la logística, etc.

Fruto de uno de estos estudios se desprende la siguiente tabla en la que se reflejan los resultados del análisis comparativo de los costes y peso relativo así como las propiedades mecánicas de los componentes ofertados por ZF Lemförder GmbH frente al concepto que actualmente tiene una mayor aceptación por parte de los clientes:

CLASIFICACIÓN				CARACTERÍSTICAS								
MATERIAL	PROCESO	VARIANTE	NUMERO	PESO RELATIVO	RESISTENCIA	ACABADO SUPERFICIAL	FLEXIBILIDAD DEL DISEÑO	TOLERANCIAS FABRICACIÓN	COSTES PIEZA EN BRUTO	COSTES FABRICACIÓN	COSTES UTILAJES	COSTE RELATIVO TOTAL
ACERO	Fundición	Fundición Arena Acero	1	130	2	1	4	1	145	160	40	115
		Fundición Coquilla Acero	2	120	2	2	3	2	160	180	70	137
	Conformado Deformación Plástica	Forja Acero	3	110	5	2	1	1	180	200	90	157
		Estampación Chapa Acero	4	100	3	3	3	4	100	100	100	100
ALUMINIO	Fundición	Fundición Arena Aluminio	5	85	1	2	4	1	220	220	50	163
		Fundición Coquilla Aluminio	6	80	2	3	3	3	250	260	70	193
	Conformado Deformación Plástica	Fundición + Forja Aluminio	7	75	3	4	3	4	250	260	100	203
		Forja Aluminio	8	70	4	5	2	3	280	300	100	227

EVALUACIÓN = 5: Excelente 3: Medio 1: Baja

FIGURA 49: COMPARATIVA COSTES – PESO DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN DE ZF LEMFÖRDER GMBH

Si representamos los resultados de este análisis en un gráfico podemos identificar claramente cuáles son los componentes que se encuentran fuera de las exigencias actuales del mercado en cuanto a los criterios de peso y coste, y cuales es la tendencia a seguir en el desarrollo de los futuros componentes:

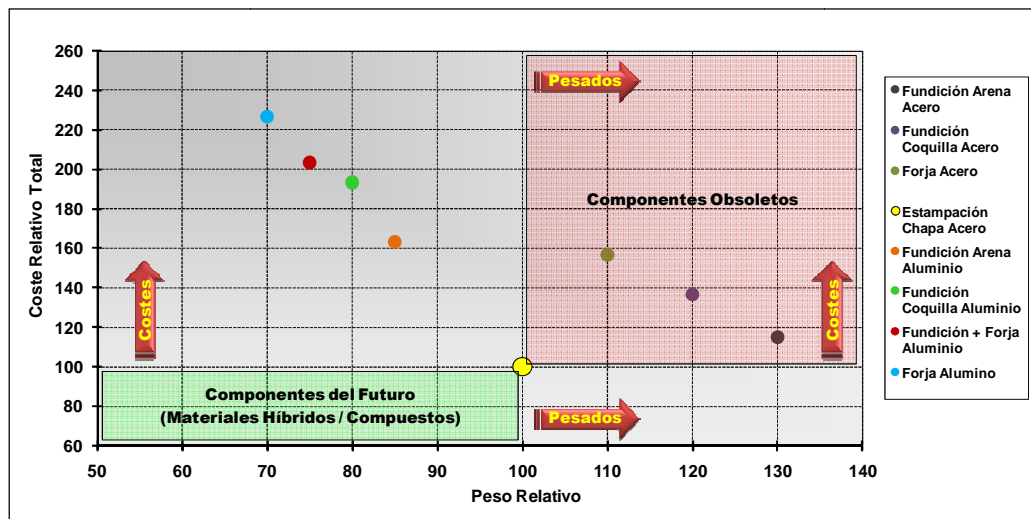


FIGURA 50: EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN DE ZF LEMFÖRDER GMBH

Finalmente, extrapolando los resultados de los diferentes análisis, podemos determinar dónde se encuentra cada uno de los brazos de suspensión ofertados por la empresa en la actualidad:

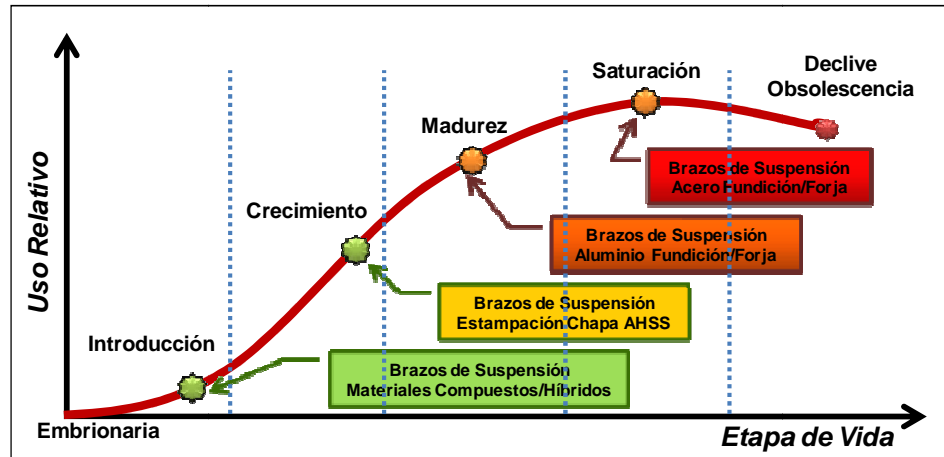


FIGURA 51: CICLO DE VIDA DE LOS DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN DE ZF LEMFÖRDER GMBH

Analizando detenidamente los estudios llevados a cabo así como la curva del ciclo de vida de los brazos de suspensión representada en la imagen anterior, se sacan las siguientes conclusiones:

- ↪ El principal motivo que ha provocado la disminución en los pedidos de brazos de suspensión es la falta de competitividad las tecnologías utilizadas para la fabricación de los mismos y la incapacidad de éstas para hacer frente a los a los nuevos requisitos del sector como son la disminución de los costes de fabricación, reducción de peso, la integración de funciones, etc.
- ↪ El aseguramiento de la competitividad frente a los componentes fabricados por empresas ubicadas en países de bajo costo pasa por el desarrollo de componentes con nuevos materiales que permitan ahorrar peso debido a su menor densidad, mejores propiedades mecánicas, etc. en combinación con nuevos procesos productivos que ofrezcan la posibilidad de integrar funciones, simplificar la logística, aumentar el grado de automatización, etc.

LITERATURA CITADA. BIBLIOGRAFÍA:

1.- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA:

1.1.- BLOQUE II: ANÁLISIS PRE-INNOVACIÓN

1.1.1.- Referencias

- [1] ACEA: EUROPEAN AUTOMOBILE MANUFACTURERS ASSOCIATION. DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.ACEA.BE](http://www.acea.be)
- [2] BERGER, L.; LESEMAN, M.; SAHR, C.: "SUPERLIGHTCAR. THE MULTI-MATERIAL CAR BODY", 7TH EUROPEAN LS-DYNA CONFERENCE. SALZBURG, 2009
- [3] BRASSINGTON F.; PETTITT S.: "ESSENTIALS OF MARKETING", PRENTICE HALL, 2004
- [4] FRIEDRICH, H E.: "LEICHTBAU UND WERKSTOFFINNOVATIONEN IM FAHRZEUGBAU", AUTOMOBILTECHNISCHE ZEITSCHRIFT, 2002
- [5] HEIBLING, B.; ERSOY, M.: "FAHRWERKHANDBUCH: GRUNDLAGEN, FAHRDYNAMIK, KOMPONENTEN, SYSTEME, MECHATRONIK, PERSPEKTIVEN", VIEWEG & SOHN VERLAG, GWV FACHWERKLAGE GMBH, WIESBADEN, 2007
- [6] KOTLER, P.; ARMSTRONG, G.: "FUNDAMENTOS DE MARKETING", PRENTICE HALL, 2008
- [7] OICA: ORGANISATION INTERNATIONALE DES CONSTRUCTEURS D'AUTOMOBILES. DIRECCIÓN WEB [HTTP://OICA.NET/CATEGORY/PRODUCTION-STATISTICS](http://oica.net/category/production-statistics)
- [8] UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE: "KYOTO PROTOCOL" KYOTO 1997. [HTTP://UNFCCC.INT/RESOURCE/DOCS/CONVKP/KPENG.PDF](http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf)
- [9] VDA. VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE: "HANDELN FÜR DEN KLIMASCHUTZ. CO2 REDUKTION IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE". DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.VDA.DE/](http://www.vda.de/)
- [10] WALLENTOWITZ, H.; LEYERS, J. ; PARR, T.: "MATERIALS FOR FUTURE AUTOMOTIVE BODY STRUCTURES", BUSINESS BRIEFING : GLOBAL AUTOMOTIVE MANUFACTURING & TECHNOLOGY, 2003
- [11] WIKIPEDIA. LA ENCICLOPEDIA LIBRE: "AUTOMOTIVE INDUSTRY. WORLD MAP OF MOTOR VEHICLE PRODUCTION", [HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/AUTOMOTIVE_INDUSTRY](http://en.wikipedia.org/wiki/Automotive_industry)
- [12] WIKIPEDIA. LA ENCICLOPEDIA LIBRE: "EUROPEAN EMISSION STANDARDS FOR PASSENGERS CARS", [HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/EUROPEAN_EMISSION_STANDARDS](http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards)

- [13] **ZF FRIEDRICHSHAFEN AG:** “ZF-KONZERN: AUF EINEN BLICK. DATEN & FAKTEN”
ZF LEMFÖRDER GMBH (UB. F)”, FRIEDRICHSHAFEN, 2009.
- [14] **ZF LEMFÖRDER GMBH.** “BETRIEBSVERSAMMLUNG 03/2009”; DIELINGEN, 2009

1.1.2.- Bibliografía

1.1.2.1.- Libros y Artículos

- ❑ **EUROPEAN COMMISSION ENVIRONMENT:** “REDUCING CO2 EMISSIONS FROM LIGHT-DUTY VEHICLES”. [HTTP://EC.EUROPA.EU/ENVIRONMENT/AIR/TRANSPORT/CO2/CO2_HOME.HTM](http://ec.europa.eu/environment/air/transport/co2/co2_home.htm)
- ❑ **EUROPEAN COMMISSION ENVIRONMENT:** “REGULATION ON CO2 FROM LIGHT VEHICLES”. [HTTP://EC.EUROPA.EU/ENVIRONMENT/AIR/TRANSPORT/CO2/CO2_CARS_REGULATION.HTM](http://ec.europa.eu/environment/air/transport/co2/co2_cars_regulation.htm)
- ❑ **EUROPEAN COMMISSION ENVIRONMENT:** “REVISION OF DIRECTIVE 1999/94/EC RELATING TO THE AVAILABILITY OF CONSUMER INFORMATION ON FUEL ECONOMY AND CO2 EMISSIONS IN RESPECT OF THE MARKETING OF NEW PASSENGER CARS”. [HTTP://EC.EUROPA.EU/ENVIRONMENT/AIR/TRANSPORT/CO2/CO2_CARS_LABELLING.HTM](http://ec.europa.eu/environment/air/transport/co2/co2_cars_labelling.htm)

1.1.2.2.- Páginas WEB

- ❑ **ANFAC.** ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE AUTOMÓVILES Y CAMIONES. DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.ANFAC.COM](http://www.anfac.com)
- ❑ **MARKETING EN EL SIGLO XXI.** DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.MARKETING-XXI.COM](http://www.marketing-xxi.com)
- ❑ **RAE.** REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA. DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.RAE.ES](http://www.rae.es)
- ❑ **SUPERLIGHTCAR.** DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.SUPERLIGHTCAR.COM](http://www.superlightcar.com)
- ❑ **WIKIPEDIA:** LA ENCICLOPEDIA LIBRE. DIRECCIÓN WEB [HTTP://ES.WIKIPEDIA.ORG](http://es.wikipedia.org)
- ❑ **ZF FRIEDRICHSHAFEN AG.** DATOS, ENCUESTAS Y ESTUDIOS PUBLICADOS EN LA PÁGINA WEB DE ZF FRIEDRICHSHAFEN AG; DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.ZF.COM](http://www.zf.com)

GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE IDEAS & SOLUCIONES:

ESTADO DEL CONOCIMIENTO:

En el siguiente apartado de la Tesis Doctoral se profundiza en el análisis del componente a desarrollar, el brazo de suspensión para un vehículo automóvil.

Para ello, siguiendo la metodología empleada en la determinación de los requisitos socioeconómicos, se estudia el estado del arte del brazo de suspensión desde el sistema global (vehículo automóvil) pasando por los sistemas locales (sistema chasis y sistemas de suspensión para el vehículo automóvil) para terminar finalmente en el subsistema local (brazo de suspensión) y los componentes que lo integran (elemento estructural, rótula y silentblocks o bushing).

Con la realización de este estudio se persiguen dos objetivos concretos:

- ↳ Ayudar a comprender y entender la funcionalidad del componente a desarrollar, su ubicación en el vehículo automóvil así como la interacción de éste con los demás elementos de su entorno.

↳ Completar la lista de requisitos del futuro producto añadiendo a los ya determinados requisitos socioeconómicos información referente a la funcionalidad del mismo lo que en definitiva se traducirán en sus requisitos funcionales.

La siguiente imagen recoge la metodología a seguir en el estudio del estado del arte del producto para la determinación de los requisitos funcionales del componente:



FIGURA 52: METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LOS REQUISITOS FUNCIONALES DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN

1.- EL VEHÍCULO AUTOMÓVIL EN SU CONJUNTO

La estructura del vehículo automóvil y por consiguiente la de los sistemas y componentes que la integran quedan definidos por regla general en función de la utilidad que se le vaya a dar al mismo, o lo que es lo mismo, en función del tipo o segmento de vehículo automóvil.

Debido a esto es necesario, antes de profundizar en el estudio de la misma, detenerse para examinar los segmentos de vehículos que podemos encontrar en el mercado en la actualidad, exponer los criterios que rigen su clasificación y, finalmente, resumir las características de cada uno de ellos.

Una vez completada esta tarea, se detalla de manera general la estructura de éstos a la vez que se expone la funcionalidad de los diferentes sistemas que la componen, el reparto de pesos del conjunto así como el de materiales empleados.

1.1.- EL CONCEPTO DE VEHÍCULO AUTOMÓVIL

La Real Academia Española define el término automóvil, proveniente del idioma griego *auto*, y del latín *móvil* como “vehículos que pueden ser guiados para marchar por una vía ordinaria sin necesidad de carriles y llevan un motor, generalmente de explosión, que los pone en movimiento”, entendiéndose por vehículo, según la misma fuente, “medio de transporte de personas o cosas”. [14]

Aunque el término automóvil es utilizado por antonomasia para referirse a los automóviles para el transporte de personas, vehículo automóvil de turismo, existen otros tipos de automóviles, como camiones, autobuses, furgonetas, etc.

En los siguientes puntos se profundizará en el estudio del vehículo automóvil turismo, entendiéndose por este término, según el mismo diccionario, “vehículo automóvil destinado al transporte de personas, con capacidad hasta de nueve plazas, incluido el conductor”. [14]

1.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

Como ya analizábamos en apartados anteriores, la evolución conjunta de las demandas de la sociedad y el desarrollo de nuevas tecnologías tienen también un gran peso específico en el devenir del mercado automovilístico.

Este nuevo escenario es el que marca el crecimiento de la oferta de nuevos tipos/segmentos de vehículos automóviles que se viene observando a lo largo de los últimos años el cual queda reflejada en la siguiente imagen: [5]

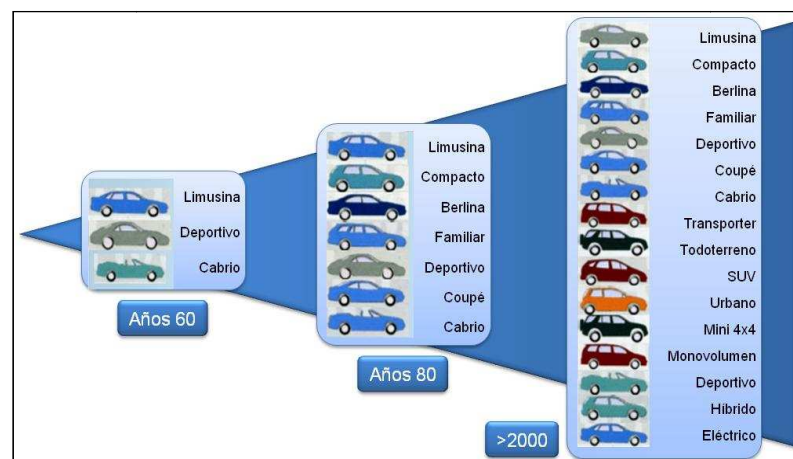


FIGURA 53: SEGMENTOS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES EN EL MERCADO

Profundizando en los criterios empleados para separar los diferentes segmentos de vehículos automóviles observamos que éstos quedan definidos y catalogados, por regla general, por las siguientes características:

- ↪ Utilidad (urbano, tiempo libre, etc.)
- ↪ Consumo (bajo, medio, alto, etc.)
- ↪ Coste (bajo, medio, alto, lujo)
- ↪ Medidas exteriores & interiores (capacidad maletero, plazas, etc.)
- ↪ Sistema de Propulsión & Potencia del mismo (eléctrico, combustión, híbrido, etc.)
- ↪ Concepto de Tracción (delantera, trasera, 4x4, etc.)

Como resultado de esta clasificación obtenemos los diferentes segmentos comúnmente denominados con las letras A, B, C,... y en los que quedan recogidos todos los vehículos que comparten unas características comunes en relación a los criterios anteriormente expuestos. ^[18]

SEGMENTOS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES		
SEGMENTO	TIPO DE VEHÍCULO	EJEMPLO DE VEHÍCULO EN EL MERCADO
A	MINI URBANO	VW LUPO, CITROËN C1, FIAT 500, FORD KA, PEUGEOT 107, OPEL AGILA, ...
B	URBANO	VW POLO, AUDI A1, CITROËN C2, FIAT PUNTO, FORD FIESTA, PEUGEOT 207, OPEL CORSA,..
C	COMPACTO	VW GOLF, AUDI A3, CITROËN C4, FORD FOCUS, PEUGEOT 307, BMW-1, OPEL ASTRA, ...
D	BERLINA COMPACTA	VW JETTA, AUDI A4, CITRÖEN C5, FORD C-MAX, PEUGEOT 407, BMW-3, ...
E	BERLINA	VW PASSAT, AUDI A5&A6,CITRÖEN C6, FORD MONDEO, PEUGEOT 607, BMW-5, ...
F	LUJO	VW PHAETON, AUDI A8, BMW-7, PORSCHE PANAMERA, MERCEDES-BENZ CLASE-S, ...
J	SUV	VW TOUAREG, AUDI Q5 & Q7, BMW X3 & X5, FORD KUGA, PORSCHE CAYENNE, ...
S	DEPORTIVO	VW SCIROCO, AUDI TT, BMW-Z4, OPEL GT, NISSAN 350Z, PORSCHE CARRERA, ...

TABLA 13: *SEGMENTOS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES CON SUS VEHÍCULOS CARACTERÍSTICOS*

Las características comunes de los vehículos pertenecientes a los diferentes segmentos expuestos en la tabla anterior se presentan a continuación: [5] [19]

CARACTERÍSTICAS DE LOS SEGMENTOS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES						
SEGMENTOS	A/B	C	D/E	F	J	S
CARACTERÍST.	URBANO	COMPACTO	BERLINA	LUJO	SUV	DEPORTIVO
DISEÑO	SIMPLE	POLIFACÉTICO	DISTINTIVO	SOFISTICADO	ROBUSTO	ELEGANTE
POTENCIA (KW)	50/75	75/100	150	>200	>150	>150
CONSUMO	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	ALTO	ALTO
PRECIO	ECONÓMICO	BARATO	ACEPTABLE	MUY ALTO	ALTO	MUY ALTO
CONCEPTO CHASIS	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	CONFORT	BUENO	DEPORTIVO
PLAZAS	2 A 4	4	4	4	5 A 7	2+2
HABITÁCULO	ACEPTABLE	SUFICIENTE	ESPACIOSO	SOBREDIMENS.	ESPACIOSO	REDUCIDO
LONGITUD TOTAL [MM]	3600-3800	3800-4400	4300-4700	4700-5100	4500-4800	3700-4600
DISTANCIA EJES [MM]	2350-2500	2500-2700	2600-2900	2700-3200	2700-3000	2400-2700
ANCHURA [MM]	1550-1650	1670-1750	1670-1770	1800-1900	1700-1900	1600-1760
ANCHURA INT. [MM]	1250-1360	1340-1440	1340-1460	1450-1500	1450-1650	1300-1450
ESPACIO PIERNAS [MM]	700-850	750-880	800-920	900-1000	800-900	750-900
ALTURA [MM]	1350-1480	1350-1440	1360-1430	1400-1500	1600-1800	1350-1450
MALETERO [L]	200-400	250-550	330-550	500-600	250-1200	200-500
PESO [KG]	800-1300	1200-1600	1500-1800	2000-2600	1800-2900	1200-1800

TABLA 14: CARACTERÍSTICAS DE LOS SEGMENTOS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

Pese al amplio abanico de segmentos expuesto en la tabla anterior, cabe destacar que los fabricantes de automóviles no desarrollan cada vez que lanzan un coche al mercado una nueva estructura para el mismo, sino que la definen haciendo uso de unos módulos estándares que, como su propio nombre indica, pueden ser comunes en las diferentes plataformas. Entre estos módulos estándares destacan el módulo referente a la transmisión en cuanto respecta al concepto de tracción (delantera, trasera, 4x4) y el concepto para el módulo de sistema de suspensión en cuanto respecta a la definición de los ejes delantero y trasero (Mc Pherson, doble brazo, etc.).

Esta simplificación viene condicionada por la necesidad de reducción de costes y tiempos de desarrollo que impera en el sector automovilístico provocando que solamente en casos excepcionales como por ejemplo el lanzamiento de un nuevo vehículo con un sistema de propulsión totalmente innovador (eléctrico, híbrido, etc.), un nuevo segmento (City-Car, utilitario, etc.) se desarrollen nuevos conceptos para la estructura total del vehículo.

1.3.- ESTRUCTURA DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

Cuando se analiza el vehículo automóvil en su conjunto se observa que tradicionalmente éste se descompone en tres sistemas o conjuntos de componentes comunes en todos sus segmentos: el sistema estructural, el sistema de chasis y el sistema de propulsión.

Estos sistemas, tal y como se observa en la siguiente imagen, están formados por otros subsistemas o módulos los cuales a su vez agrupan otros elementos y, o componentes dentro de los cuales, como se verá más adelante se encuentra el brazo de suspensión:



FIGURA 54: VISTA EXPLOSIONADA DE LA ESTRUCTURA DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL

Estudiando más en detalle la estructura del automóvil y profundizando en la descripción de los diferentes sistemas se observa que: ^[4]

- ↳ El módulo denominado sistema estructural quedan recogidos los elementos y componentes que tienen como función el garantizar el espacio y la seguridad para las personas y el equipaje
- ↳ El sistema de propulsión engloba aquellos elementos que se encargan de proporcionar movimiento al automóvil
- ↳ El módulo del sistema de chasis integra entre otros los componentes que hacen posible la conexión entre el sistema de propulsión, el sistema estructural y el pavimento y que por tanto se encargan de transmitir el movimiento al vehículo completo

En la siguiente figura se expone la estructura anteriormente comentada:

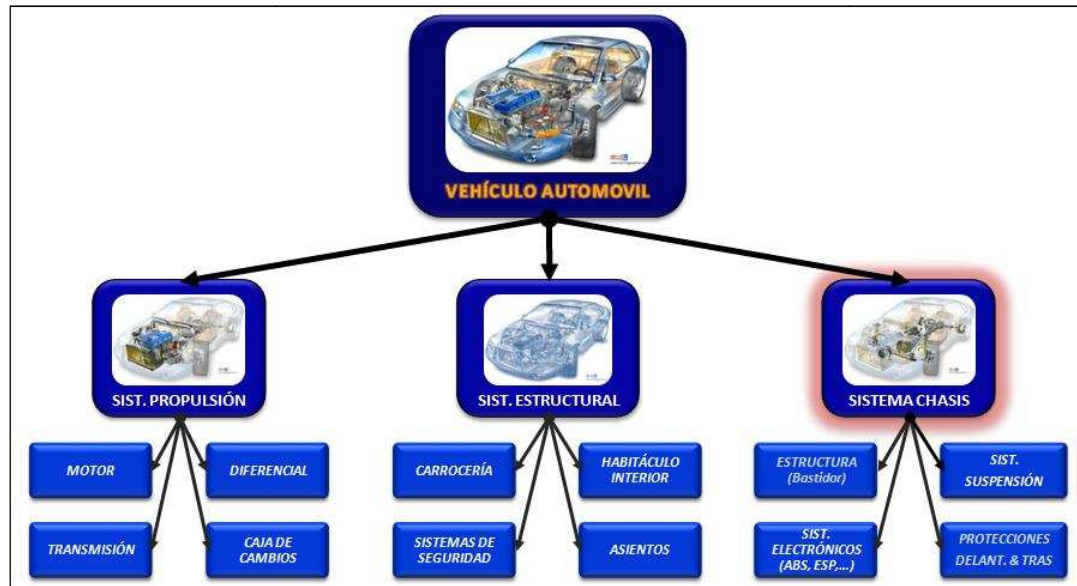


FIGURA 55: ESTRUCTURA DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL

1.3.1.- Distribución de Pesos/Materiales en la Estructura del Vehículo Automóvil

Si nos centramos en la distribución de pesos de cada uno de los módulos que componen el vehículo automóvil observamos que el sistema estructural junto con el sistema de propulsión son los grupos más pesados mientras que el chasis ronda entre el 15% y el 25% del peso del vehículo completo por regla general. El siguiente gráfico recoge el reparto de pesos de un coche perteneciente al segmento A:

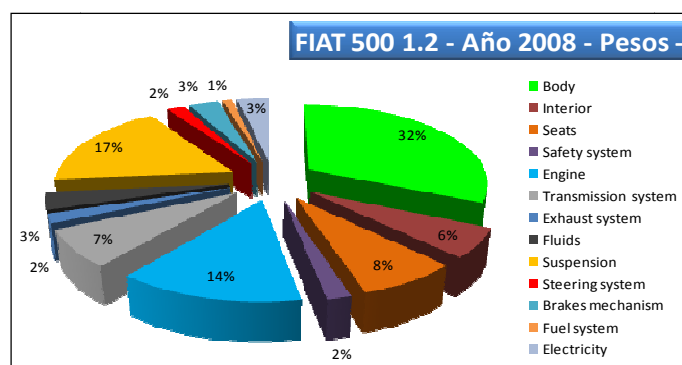


FIGURA 56: DISTRIBUCIÓN DE PESOS EN UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL DEL SEGMENTO A (FIAT 500)

Atendiendo a la distribución de materiales para este vehículo en particular observamos por un lado que más del 55 % de los materiales empleados son metálicos mientras que por otro se observa la gran importancia que cobran en la actualidad los materiales poliméricos (plásticos y elastómeros).

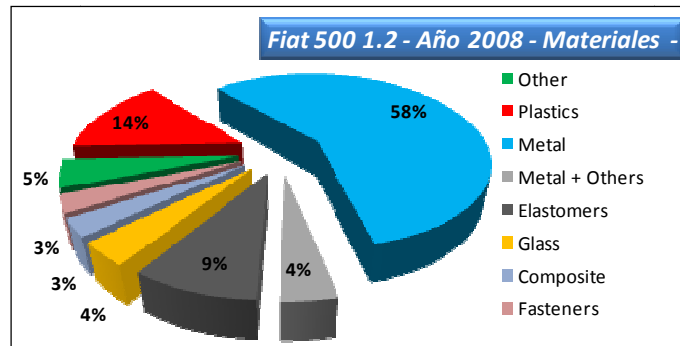


FIGURA 57: DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES EN UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL DEL SEGMENTO A (FIAT 500)

Estos estudios acerca de la distribución de pesos así como sobre los materiales empleados en los vehículos automóviles sirven para arrojar un poco de luz hacia el objetivo que persiguen hoy en día los fabricantes de automóviles, la reducción de peso de los vehículos vía la reducción de peso en los diferentes módulos que los componen.

Este adelgazamiento de la estructura del vehículo podrá llevarse a cabo gracias al rediseño y optimización de sus componentes y al estudio, desarrollo y empleo de materiales alternativos que sustituyan a los tradicionales aceros, fundiciones de hierro, etc., tendencias de las que la presente Tesis se hace eco en los siguientes apartados.

1.4.- EL SISTEMA DE REFERENCIA DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

El vehículo automóvil se encuentra durante su movimiento sobre la carretera sujeto a la aparición de fuerzas de diversas procedencias como por ejemplo las fuerzas por el contacto de los neumáticos con la carretera, la fuerza de gravedad, las fuerzas aerodinámicas sobre el vehículo, etc. que actúan en diferentes puntos y en cualquier dirección y que en definitiva pueden hacer que la trayectoria y la respuesta dinámica del vehículo (velocidad, aceleración, etc.) se vean alteradas.

Las componentes de dichas fuerzas están gobernadas por diferentes leyes físicas y además pueden generarse en diferentes puntos en relación al centro de gravedad (CG) del vehículo automóvil provocando por tanto aceleraciones e inercias en el comportamiento total del mismo.

Con el objetivo de poder calcular las velocidades y aceleraciones, así como las fuerzas y momentos que las causan, a la vez que para determinar las direcciones en las que actúan es imperioso definir un sistema de coordenadas al cual puedan ser referidas las mismas.

Para ello se determina un sistema de referencia definido por tres ejes coordenados de referencia ortogonales (90° entre sí) que se cortan en un punto común, el origen del sistema de referencia. Este sistema de referencia puede ser referenciado de dos maneras diferentes:

↪ *Sistema de referencia fijo a tierra. Sistema de referencia inercial.* Este sistema de referencia se denota por las letras mayúsculas **XYZ** y es considerado estacionario para todos los vehículos que se desplazan sobre la carretera.

↪ *Sistema de referencia ligado al vehículo. Sistema de referencia no inercial.* Este sistema de referencia se denota por las letras minúsculas **xyz** el cual es fijo al vehículo y se desplaza con él.

Para estos dos sistemas de referencia existen dos posibles orientaciones de los ejes coordenados en función de la normativa utilizada:

↪ *Norma ISO 8855: Road vehicles - Vehicle dynamics and road-holding ability.* Esta norma considera los ejes X con valor positivo en el sentido de la marcha, los ejes Y positivos hacia la izquierda y los ejes Z positivos hacia arriba ^[8]

↪ *Norma SAE J670: Vehicle Dynamics Terminology.* Esta norma considera los ejes X con valor positivo en el sentido de la marcha, los ejes Y positivos hacia la derecha y los ejes Z positivos hacia abajo ^[16]

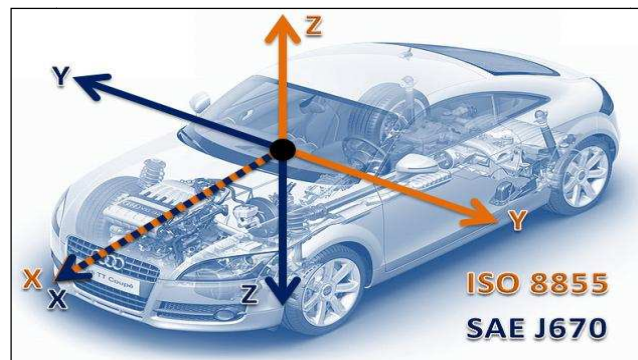


FIGURA 58: SISTEMAS DE REFERENCIA LIGADO AL VEHÍCULO SEGÚN NORMA SAE J670E Y NORMA ISO 8855

En la presente Tesis Doctoral se utilizará como referencia para las siguientes actividades la norma ISO 8855. Este sistema de referencia los movimientos de traslación (longitudinal, lateral y vertical) quedan descritos en función de las coordenadas del sistema de referencia ligado al vehículo con respecto al sistema de referencia fijo a tierra, mientras que las velocidades de rotación (balanceo, cabeceo y guiñada) están referidas al giro de los ejes ligados al vehículo con respecto a los ejes del sistema de referencia fijo a tierra.

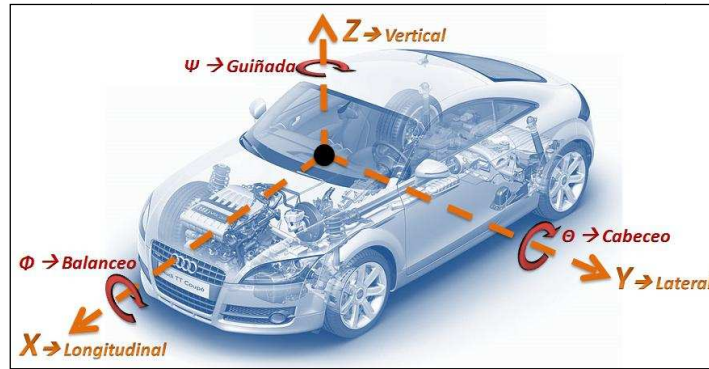


FIGURA 59: EJES DE TRASLACIÓN Y ROTACIÓN DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL SEGÚN NORMA ISO 8855

2.- EL SISTEMA CHASIS DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

En el siguiente punto, una vez descrita la estructura global del vehículo automóvil, el sistema de referencia para la determinación de su cinemática y dinámica, así como el reparto de pesos y la distribución de los materiales empleados, se profundiza en el estudio del sistema chasis para vehículos automóviles.

En este marco se define la función que cumple este sistema y se exponen los diferentes sistemas o módulos que lo integran.

2.1.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CHASIS DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

2.1.1.- Concepto y Funcionalidad del Sistema Chasis del Vehículo Automóvil

Al igual que el cuerpo humano necesita de un esqueleto para soportar su peso, el vehículo automóvil necesita también de un sistema o estructura para soportar el suyo.

Este sistema es lo que se denomina sistema chasis del vehículo automóvil, pudiendo definirse como “la estructura que integra entre sí y sujeta tanto los componentes mecánicos, como el grupo motopropulsor y la suspensión de las ruedas, incluyendo la carrocería de un vehículo automóvil”. [15] Debido principalmente a esta función integradora el sistema chasis es considerado como el sistema más significativo de un vehículo automóvil, ya que es el responsable de conferir fortaleza y estabilidad al vehículo.

No obstante, cabe destacar que el concepto estructural de este sistema para el vehículo automóvil turismo ha ido evolucionando a lo largo del tiempo gracias en gran parte al

desarrollo de nuevos materiales de mejores prestaciones (nuevas calidades de chapa de acero, aluminios más resistentes, etc.) y las demandas de reducción de peso. Este nuevo escenario es el que ha permitido pasar del concepto inicial de chasis independiente, en el que una estructura rígida independiente formada por largueros con travesaños cruzados en forma de escalera soportaba todo el peso y las fuerzas del motor y de la transmisión, al concepto actual de carrocería monocasco, donde es la propia carrocería del vehículo automóvil la que actúa como elemento estructural integrador.

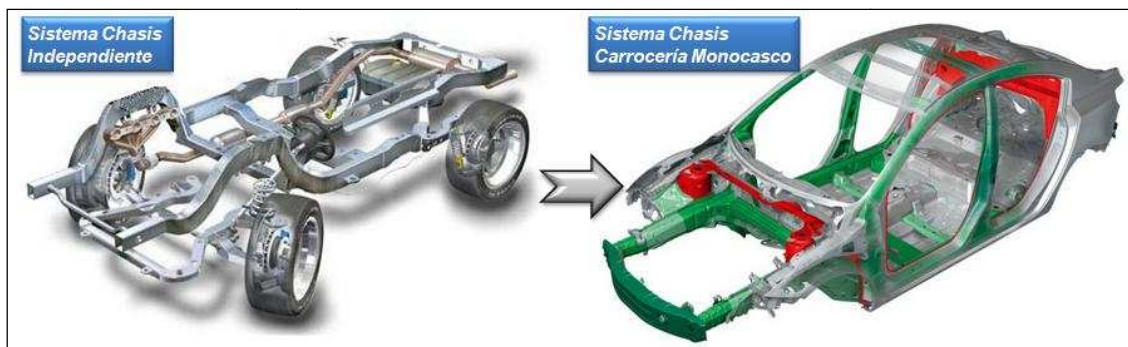


FIGURA 60: EVOLUCIÓN DEL SISTEMA CHASIS DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

En la actualidad casi todos los vehículos automóviles turismo se construyen con la técnica monocasco y sólo los vehículos todo terreno de más prestaciones, las furgonetas, los camiones y las máquinas de obras públicas utilizan el concepto de chasis independiente.

Finalmente, a la vista de todo lo expuesto en cuanto al concepto del sistema chasis de un vehículo automóvil, se definen las principales funciones / requisitos que debe cumplir:

- ↪ Dar soporte y suspensión a la masa total del vehículo
- ↪ Integrar los sistemas estructural, de propulsión y de chasis y sus componentes
- ↪ Aportar rigidez al vehículo para que pueda soportar los esfuerzos estáticos y dinámicos a los que se ve sometido
- ↪ Asegurar el perfecto contacto del vehículo con la superficie del pavimento y transmitir el torque motor

2.1.2.- Estructura del Sistema Chasis del Vehículo Automóvil

Dentro de la estructura del sistema chasis de un vehículo automóvil se distinguen cuatro sistemas principales: el sistema estructural o bastidor, la estructura para las protecciones delanteras y traseras, los sistemas electrónicos del automóvil incluidos los de seguridad

activa (ABS, ESP, control de tracción, etc.) y el sistema de suspensión. La siguiente figura recoge los sistemas de la estructura anteriormente comentada:

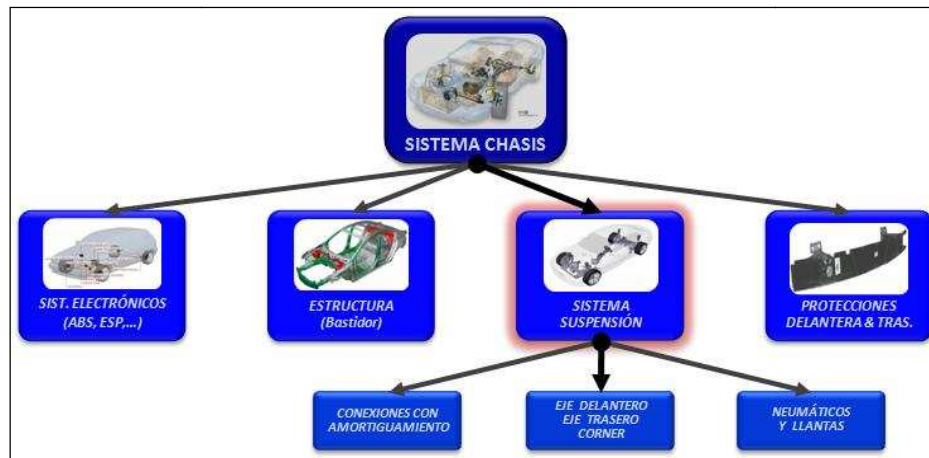


FIGURA 61: ESTRUCTURA DEL SISTEMA CHASIS PARA UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL

Por último, analizando los materiales empleados en este sistema se observa que suele estar construido en diferentes tipos, dependiendo de la rigidez, el costo y la forma necesarios. Los más habituales son aleaciones como el acero o de diversos metales como el aluminio. En cuanto a la geometría de las piezas que lo componen son por lo general chapas, tubos, o vigas, de diferentes espesores unidos entre sí mediante soldadura por puntos, MIG-MAG, láser, etc.

3.- EL SISTEMA SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

A continuación, siguiendo la estructura de los puntos anteriores, se profundiza en el sistema de suspensión del vehículo automóvil describiendo su funcionalidad y los requisitos que debe cumplir. Así mismo se exponen y analizan los sistemas que lo forman haciendo especial hincapié en el sistema eje delantero/trasero/córner ya que es éste sistema el que integra el brazo de suspensión.

En esta exposición detallada del sistema eje delantero/trasero/córner se examinan las diferentes concepciones globales que existen profundizando a continuación en el estudio de la tipología y de las características de los diferentes conceptos existentes. Para finalizar se realiza un estudio de mercado acerca de la distribución de los diferentes conceptos en función de los segmentos de vehículos automóviles.

3.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN PARA EL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

3.1.1.- Concepto y Funcionalidad del Sistema Suspensión del Vehículo Automóvil

El sistema de suspensión asegura el perfecto contacto del vehículo automóvil (incluyendo pasajeros y equipaje) con el pavimento en todo momento. [4]

Con la excepción de algunas fuerzas de inercia y de las producidas por influencias aerodinámicas, todas las demás fuerzas y momentos que soporta el vehículo durante su movimiento son transmitidos a través del contacto de los neumáticos con el pavimento. Debido a esto, el criterio más importante durante la conducción es que el contacto entre el pavimento y los neumáticos (sistema suspensión→sistema chasis→vehículo automóvil) no se vea interrumpido, ya que de lo contrario no sería posible transmitir las fuerzas generadas durante la conducción perdiéndose por lo tanto el control total sobre el vehículo.

Este requisito sería fácil cumplirlo si las carreteras no presentaran irregularidades, fueran siempre rectas, estuvieran siempre secas, el asfalto fuera siempre uniforme y los vehículos viajasen con velocidades constantes, girasen de la misma manera, etc. Sin embargo esto no es así ya que ni las carreteras son perfectas ni los vehículos con sus respectivos conductores circulan de manera homogénea lo cual complica en gran medida el asegurar el perfecto contacto de los neumáticos con el pavimento.

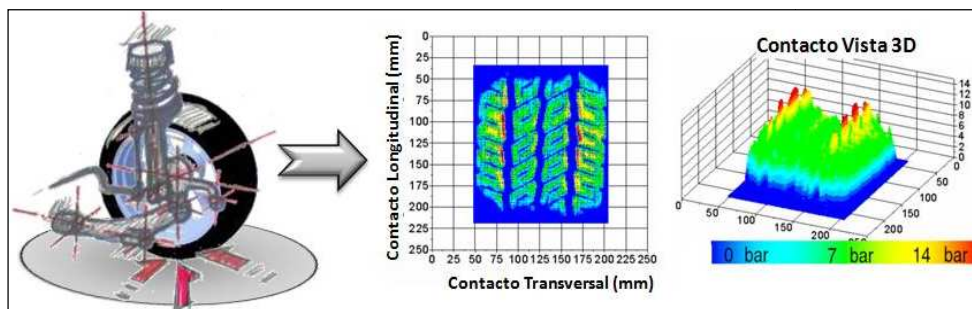


FIGURA 62: CONTACTO Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS ENTRE EL VEHÍCULO AUTOMÓVIL - PAVIMENTO

Como fruto de todos estos condicionantes y con el objetivo de minimizar o paliar los efectos que pudiesen alterar el comportamiento dinámico del vehículo automóvil se definen las funciones que debe cumplir el sistema suspensión:

- ↪ Asegurar el movimiento del vehículo y mantener en contacto de los neumáticos con el pavimento

- ↪ Mantener las ruedas alineadas. Evitar una inclinación excesiva de la carrocería durante los virajes y una inclinación excesiva en la parte delantera durante el frenado.
- ↪ Compensar y transmitir las fuerzas internas del vehículo automóvil (transmisión de momento de rotación de las ruedas, fuerzas de frenado, girar, etc.)
- ↪ Responder favorablemente a las fuerzas externas al vehículo automóvil (viento)
- ↪ Soportar el peso del vehículo, amortiguarlo y absorber sus oscilaciones
- ↪ Absorber las desigualdades del terreno y los ruidos y vibraciones producidas
- ↪ Proporcionar confort y seguridad a sus ocupantes

Finalmente es importante destacar que, debido a la criticidad de este sistema, todas las funciones enumeradas anteriormente están interrelacionadas entre sí provocando que una variación en alguna de ellas repercuta directamente en el comportamiento dinámico del vehículo en su conjunto. De esta situación se deriva el que las funciones del sistema suspensión se conviertan a su vez en los requisitos de diseño del mismo, los cuales deberán ser considerados y satisfechos por igual durante su desarrollo.

La siguiente figura recoge esquemáticamente la relación entre las funciones, los requisitos y el comportamiento dinámico del vehículo automóvil: ^[13]

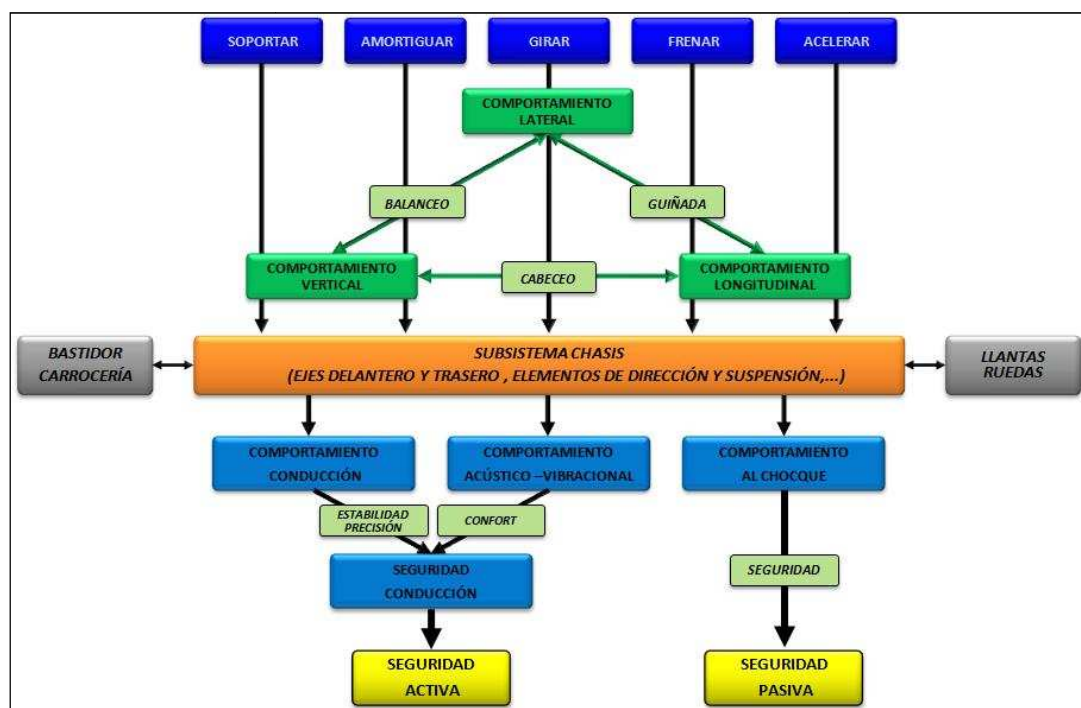


FIGURA 63: RELACIÓN FUNCIONES-REQUISITOS-COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL SISTEMA SUSPENSIÓN

3.1.2.- Requisito Especial del Sistema Suspensión del Vehículo Automóvil

En el vehículo automóvil se diferencia entre masas suspendidas, aquellas que están soportadas sobre muelles (motor, sistema estructural, etc.) y masas no suspendidas, cuyo peso cuelga directamente del bastidor y están unidas a través de elementos de elasticidad (mangueta, neumáticos, brazos de suspensión, etc.). Debido al comportamiento inercial que tienen estas últimas y con el objetivo de lograr el mejor equilibrio dinámico del vehículo automóvil, es necesario que estos pesos no suspendidos sean lo más bajos posibles.

Este requisito de adelgazamiento cobra especial importancia en el diseño del concepto de sistema suspensión para un vehículo automóvil ya que en él se encuentra toda la masa no suspendida del mismo. Centrándonos en los motivos físicos que impulsan a esta reducción de masa del sistema suspensión se observa la gran importancia que tiene esta masa en la respuesta dinámica del vehículo ya que una disminución de la misma provocaría que la conducción fuera más suave, que se redujesen las inercias durante el giro, frenado y aceleración y que por lo tanto que se mejorase el contacto entre el neumático y el pavimento, aumentando en definitiva la seguridad así como la comodidad de los ocupantes.

A continuación se expone gráficamente un ejemplo claro de la importancia de la reducción de esta masa no suspendida. Para un mismo vehículo, si montamos una rueda ligera junto con un brazo de suspensión ligero, observamos que ésta puede subir y bajar cuando encuentra irregularidades en la calzada sin causar reacciones en el bastidor y en el sistema estructural mientras que por otro lado si montamos una rueda junto con un brazo de suspensión de mayor peso enseguida notaremos las grandes inercias o reacciones que la misma produce al subir y bajar por las mismas irregularidades en la calzada.

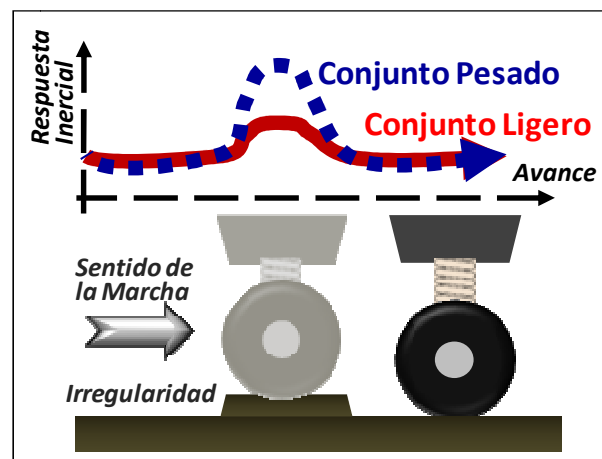


FIGURA 64: EFECTO DE LA MASA NO SUSPENDIDA EN LA RESPUESTA DINÁMICA

3.1.3.- Estructura del Sistema Suspensión del Vehículo Automóvil

El sistema de suspensión del vehículo automóvil, tal y como se observa en la siguiente imagen, integra el sistema de conexiones con amortiguamiento, el sistema de llantas-neumáticos y el sistema eje delantero/trasero/córner.

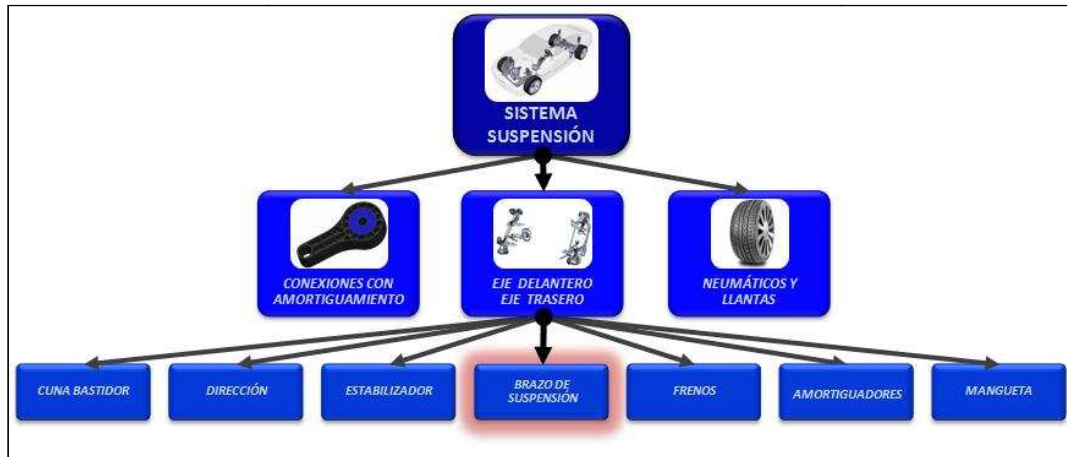


FIGURA 65: ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL

Cada uno de estos sistemas integra así mismo los siguientes subsistemas y o componentes:

↳ El sistema eje delantero/trasero/córner quedan integrados los componentes responsables de conectar el sistema llantas-neumáticos con el sistema chasis y por consiguiente con vehículo automóvil. Dentro de este sistema encontramos, entre otros subsistemas y o componentes, el brazo de suspensión, componente objeto de la investigación de la presente Tesis Doctoral.

La siguiente imagen presenta gráficamente la estructura de este sistema quedando resaltados en rojo los brazos de suspensión:

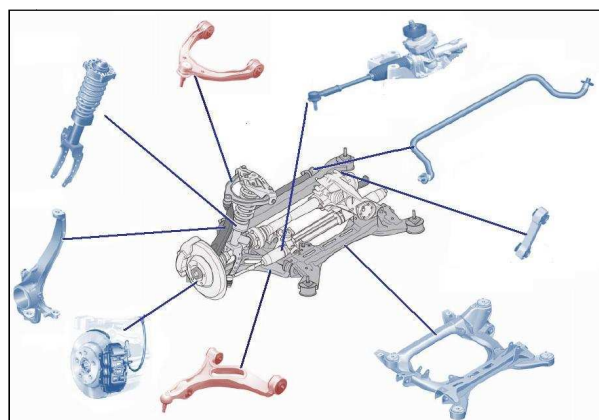


FIGURA 66: EXPLOSIÓN DEL SISTEMA EJE DELANTERO DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL (AUDI Q7)

↳ El sistema de conexiones con amortiguamiento recoge los componentes que se encargan de absorber las vibraciones ruidos y vibraciones producidas por el motor, la transmisión y las transmitidas a través de la rodadura.

↳ El sistema llantas y neumáticos está formado por los elementos elásticos que se encuentran en contacto con el pavimento (neumáticos) y los elementos rígidos que permiten la unión sólida de los primeros con el automóvil (llantas)

3.2.- ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN PARA EL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

Los vehículos automóviles turismos poseen dos ejes cada uno los cuales precisa de un sistema de suspensión específico. Esto se debe a que no todos los sistemas de suspensión pueden ser montados indistintamente en el eje delantero o en el eje trasero. La mayor o menor facilidad de adaptación a las necesidades específicas de los dos ejes ha determinado una selección, por lo que cada tipo de suspensión se adapta mejor a uno de los dos ejes.

En la actualidad existen distintas y variadas disposiciones del sistema de suspensión cuya aplicación depende principalmente del tipo de prestaciones en cuanto a confortabilidad y estabilidad con que se pretende dotar al vehículo automóvil, del concepto de tracción y sistema de propulsión, y de las dimensiones y espacio del que disponga el mismo.

Atendiendo a estos criterios podemos resumir que cada segmento de vehículo automóvil posee un concepto de sistema de suspensión determinado, pudiéndose estos clasificar según los siguientes grupos los cuales serán estudiados en detalle a continuación: ^[15]

↳ *Suspensiones Rígidas*: La suspensión de una rueda va unida a la otra mediante un eje rígido transmitiéndose por tanto las vibraciones de una rueda a la otra.

↳ *Suspensiones Semirrígidas*: La suspensión de una rueda va unida a la otra mediante un eje rígido pero con cierto grado de independencia al poder transmitir una acción de torsión al eje rígido de conexión.

↳ *Suspensiones Independientes*: Las ruedas tienen una suspensión independiente para cada una de ellas impidiendo por tanto que se transmitan las oscilaciones de unas ruedas a otras.

A continuación se profundiza en el estudio de cada uno de los sistemas de suspensión analizando sus principales características y su rango de aplicación.

3.2.1.- Suspensiones rígidas

Como ya comentábamos anteriormente, la suspensión rígida tiene unidas las ruedas mediante un eje rígido formando un conjunto. La siguiente imagen muestra un eje típico concebido con este sistema de suspensión:

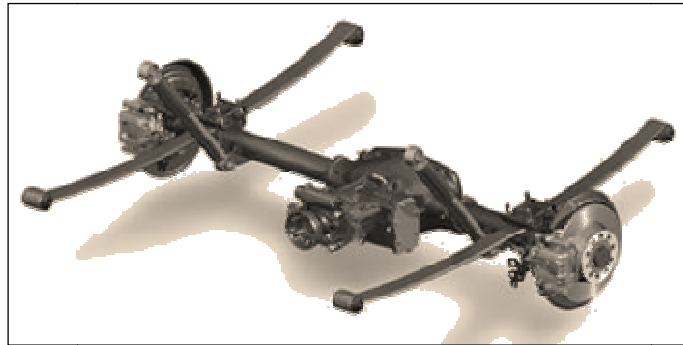


FIGURA 67: EJEMPLO SISTEMA SUSPENSIÓN RÍGIDO

Este tipo de suspensión presenta las siguientes características:

- ↪ Las vibraciones producidas por la acción de las irregularidades del pavimento, se transmiten de un lado al otro del eje
- ↪ Elevado peso de las masas no suspendidas debido al peso del eje rígido y al peso del grupo cónico diferencial en los vehículos de tracción trasera. En estos últimos el grupo cónico sube y baja en las oscilaciones como un parte integradora del eje rígido repercutiendo en el comportamientos inercial del vehículo
- ↪ No se producen variaciones significativas en los parámetros de la rueda como ángulo de caída, convergencia, avance, etc.
- ↪ Elevada rigidez del conjunto lo que se traduce en ruidos, vibraciones, etc. que son transmitidas directamente al interior del vehículo (habitáculo)
- ↪ Para estabilizar el eje y generar un único centro de balanceo de la suspensión, se suele añadir una barra transversal que une el eje con el bastidor
- ↪ Necesita bastante espacio, sobre todo si integra el grupo cónico diferencial, lo cual puede llegar a afectar al espacio interior del vehículo
- ↪ Robustez, capacidad para soportar altas cargas
- ↪ Sus prestaciones hacen que la suspensión sea utilizada sobre todo en vehículos industriales y vehículos todo terreno.

El siguiente gráfico muestra un análisis detallado de las características de este tipo de suspensión respecto a diferentes criterios de evaluación como la funcionalidad, el confort, la seguridad, etc.: [5]

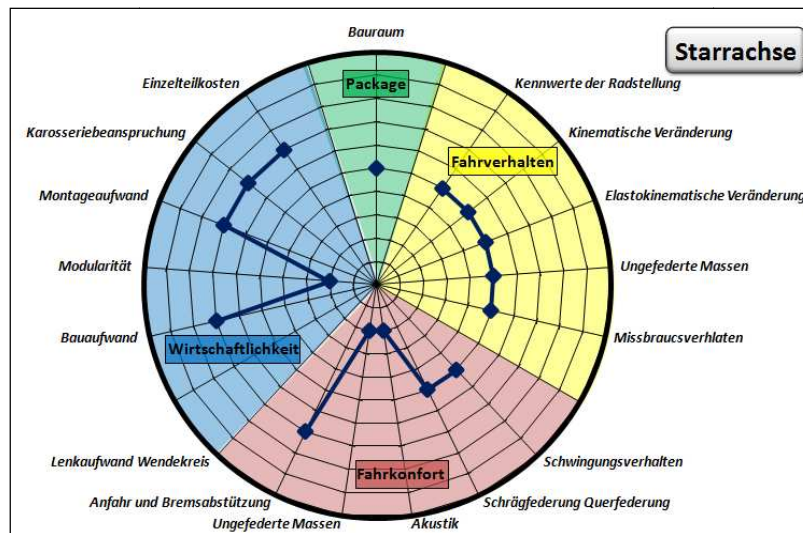


FIGURA 68: CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS SUSPENSIÓN RÍGIDOS

Finalmente cabe destacar que el principal uso de esta disposición de suspensión se realiza sobre todo en vehículos industriales, autobuses, camiones y vehículos todo terreno, vehículos donde prima una disposición robusta frente al espacio necesario para su ubicación y montaje y el confort.

3.2.2.- Suspensión semirrígida

Las suspensiones semirrígidas son muy parecidas a las anteriores ya que las ruedas están unidas entre sí como en el eje pero con la diferencia principal de que este eje no es del todo rígido ya que permite poder transmitir de una forma parcial las oscilaciones que reciben de las irregularidades del terreno. En cualquier caso, como se aprecia en la siguiente imagen, aunque la suspensión no es rígida total tampoco es independiente.

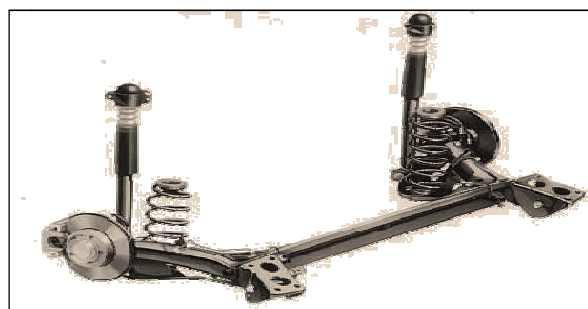


FIGURA 69: EJEMPLO SISTEMA SUSPENSIÓN SEMIRRÍGIDO

Este tipo de suspensión presenta las siguientes características:

- ↪ Reducido peso de las masas no suspendidas debido a que la función motriz se separa de la función de suspensión y de guiado o lo que es lo mismo el diferencial se une al bastidor, no es soportado por la suspensión.
- ↪ El eje semirrígido es capaz de deformarse un cierto ángulo durante las sacudidas no simétricas para después una vez pasado el obstáculo volver a la posición inicial dando lugar a una recuperación parcial del ángulo de caída de alto efecto de estabilización
- ↪ Las ruedas permanecen siempre perpendiculares al asfalto, nunca se pierde la alineación y paralelismo de las ruedas
- ↪ Construcción muy sencilla y económica acompañada de una gran robustez
- ↪ Necesita menos espacio que el eje rígido para su montaje en el vehículo
- ↪ Comportamiento acústico mejorado con respecto al eje rígido
- ↪ El principal uso de esta disposición de suspensión se realiza sobre todo en ejes traseros de vehículos de gama media baja debido al buen compromiso que se alcanza entre el coste de la misma y su funcionalidad

El siguiente gráfico muestra un análisis detallado de las características de este tipo de suspensión respecto a diferentes criterios de evaluación como la funcionalidad, el confort, la seguridad, etc.: [5]

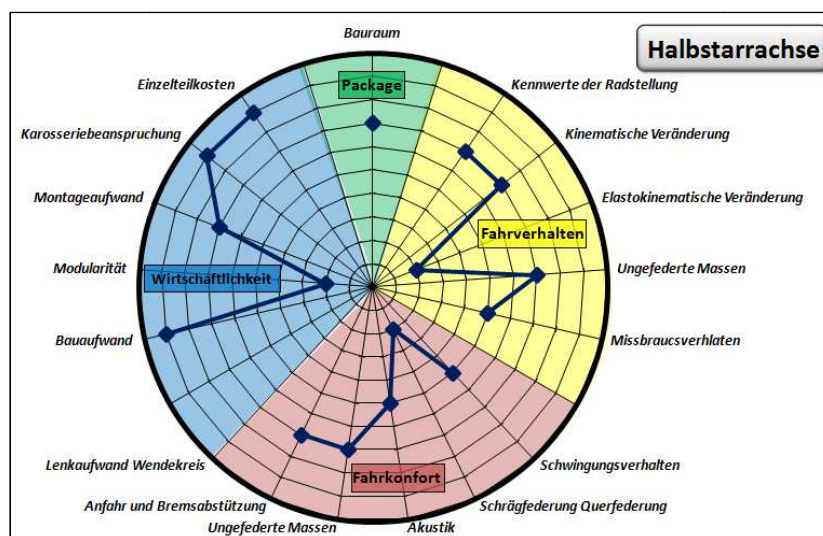


FIGURA 70: CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS SUSPENSIÓN SEMIRRÍGIDOS

3.2.3.- Suspensión independiente

En este concepto de suspensión las ruedas tienen una suspensión independiente para cada una de ellas ofreciendo por tanto la solución más óptima desde el punto de vista de confort y estabilidad al reducir de forma independiente las oscilaciones generadas por el pavimento sin transmitir las de una rueda a otra del mismo eje.

La siguiente imagen muestra un eje típico concebido con este sistema de suspensión:

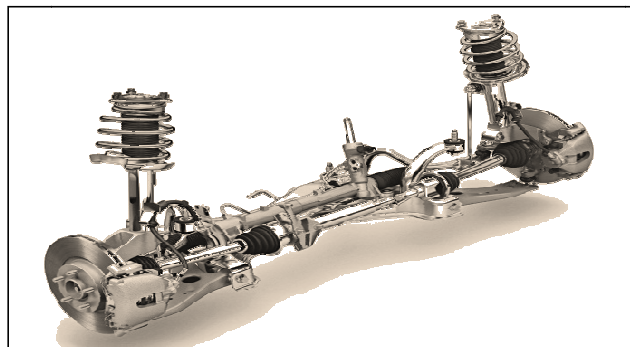


FIGURA 71: EJEMPLO SISTEMA SUSPENSIÓN INDEPENDIENTE

Como se observa en la imagen, la unión del conjunto rueda – mangueta con el bastidor o subframe se realiza mediante un elemento denominado brazo de suspensión que adoptará diferentes geometrías en función de los puntos cinemáticos que deba unir, el concepto de sistema de suspensión y el espacio del que se disponga para su ubicación.

Este tipo de suspensión presenta las siguientes características:

- ↪ Posee menor peso no suspendido que otros tipos de suspensión por lo que las acciones transmitidas al chasis son de menor magnitud. Concretamente la reducción es de aproximadamente un 50% sobre el total de las masas no suspendidas
- ↪ Es la solución óptima desde el punto de vista de confort y estabilidad al reducir de forma independiente las oscilaciones generadas por el pavimento sin transmitir las de una rueda a otra del mismo eje
- ↪ Gran modularidad para ajustar los ángulos de caída de rueda y convergencia. Existen una gran variedad de tipologías y soluciones técnicas que cada fabricante incorpora a sus mejores modelos independientemente
- ↪ Muy buen aislamiento acústico y de vibraciones
- ↪ Construcción económica y compacta

- ↪ Para cargas elevadas esta suspensión puede presentar problemas
- ↪ Suelen emplearse en vehículos tanto de tracción delantera como de tracción trasera, e incluso tracción permanente a las cuatro ruedas
- ↪ El uso de los sistemas de suspensión trasera independiente están directamente relacionados con la mejora en la estabilidad y manejabilidad pues las ruedas siempre permanecen en contacto con el piso

Estas características junto con la gran flexibilidad de diseño que posee este tipo de suspensión son las que han provocado que ésta se vaya utilizando cada día más y que vayan surgiendo nuevos conceptos que mejoren el contacto de los neumáticos con la carretera, que permitan soportar cargas y altos momentos de tracción, etc. Prueba de ello es el que en la actualidad este sistema de suspensión se utilice en todos los ejes delanteros de los diferentes segmentos de vehículos automóviles.

El siguiente gráfico muestra un análisis detallado de las características de este tipo de suspensión respecto a diferentes criterios de evaluación como la funcionalidad, el confort, la seguridad, etc.: [5]

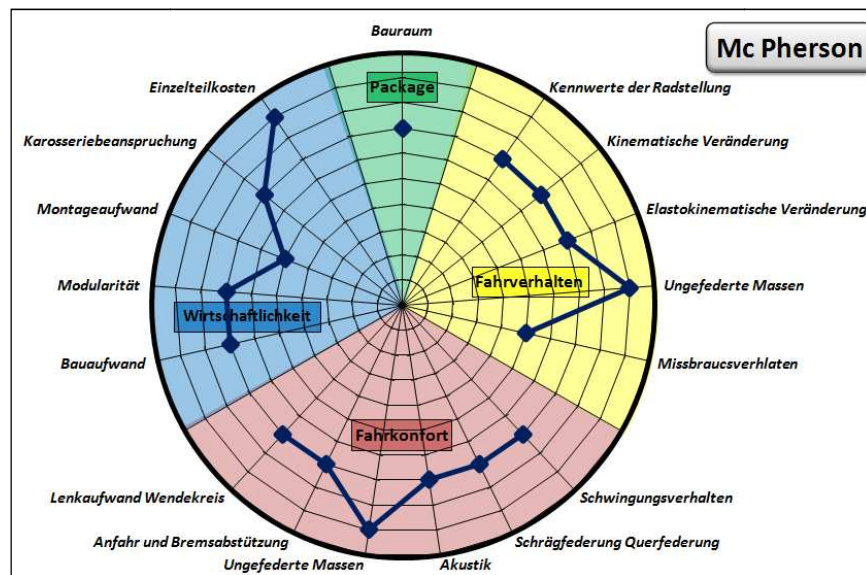


FIGURA 72: CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS SUSPENSIÓN INDEPENDIENTES (MC PHERSON)

3.3.- TIPOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

Cada uno de los sistemas de suspensión estudiados anteriormente, rígidas, semirrígido e independientes, da origen a un amplio de variantes o configuraciones que aun conservando la misma funcionalidad presentan diferentes características. Con el objetivo de poder recoger las principales configuraciones de los diferentes sistemas de suspensión se ha elaborado la siguiente tabla en la que se recoge un esquema de la disposición de sus elementos en el vehículo así como sus principales características. ^{[10] [15]}

TIPOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN			
SISTEMA DE SUSPENSIÓN RÍGIDO			
SE UTILIZAN EN EJES TRASEROS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES CON TRACCIÓN TRASERA O EN EJES DELANTEROS Y TRASEROS DE VEHÍCULOS QUE DEBEN SOPORTAR ELEVADAS CARGAS (FURGONETAS, TODO TERRENOS, ETC.)			
SISTEMA HOTCHKISS	SISTEMA PANHARD	ARTICULACIÓN WATT	SISTEMA DE 4 BRAZOS
<ul style="list-style-type: none"> ♦ EJE SUSPENDIDO POR BALLESTAS FIJAS A LA ESTRUCTURA DEL AUTOMÓVIL ♦ COSTES DE FABRICACIÓN Y MONTAJE BAJOS ♦ MALA RESPUESTA FRENTE A CARGAS LATERALES ♦ ELEVADA MASA NO SUSPENDIDA Y VIBRACIONES 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ BARRA RÍGIDA QUE FUNCIONA DE LADO EN EL MISMO PLANO QUE EL CON EJE TRASERO ♦ MANTENER EL EJE TRASERO EN TODO MOMENTO PERPENDICULAR AL EJE CENTRAL DEL COCHE ♦ LA VENTAJA DE LA BARRA ES SU SIMPLICIDAD 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DOS BARRAS HORIZONTALES DE MONTADO EN CADA LADO DEL CHASIS UNIDAS A, UNA BARRA VERTICAL ♦ MEJORA DEL CONCEPTO DE PANHARD ♦ INTENTA EVITAR EL MOVIMIENTO LATERAL RELATIVO ENTRE EL EJE Y EL CUERPO DEL COCHE 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ BARRAS SUPERIORES QUE ABSORBEN LAS CARGAS LATERALES Y DE FRENADA Y BARRAS INFERIORES QUE ASEGURAN EL CONTROL LONGITUDINAL ♦ EVOLUCIÓN DEL SISTEMA HOTCHKISS ♦ COSTES DE FABRICACIÓN ELEVADOS
SISTEMA DE SUSPENSIÓN SEMIRRÍGIDO			
SE UTILIZAN EN EJES TRASEROS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES CON TRACCIÓN DELANTERA			
SISTEMA VIGA TORSIONAL "C"	SISTEMA VIGA TORSIONAL "H"	SISTEMA VIGA TORSIONAL "SEMI-H"	
<ul style="list-style-type: none"> ♦ TRAVESAÑO/VIGA QUE UNE LAS DOS RUEDAS CON FORMA DE "U" UNIDA RÍGIDAMENTE A DOS BRAZOS LONGITUDINALES ♦ LA VIGA DE TORSIÓN SE ENCUENTRA EN EL EJE DE LAS RUEDAS ♦ REQUIERE UNA BARRA DE PANHARD PARA ASEGURAR EL CONTROL LATERAL 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ TRAVESAÑO/VIGA QUE UNE LAS DOS RUEDAS CON FORMA DE "U" UNIDA RÍGIDAMENTE A DOS BRAZOS LONGITUDINALES ♦ LA VIGA DE TORSIÓN SE ENCUENTRA ENTRE EL EJE DE LAS RUEDAS Y EL ANCLAJE A LA ESTRUCTURA 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ TRAVESAÑO/VIGA QUE UNE LAS DOS RUEDAS CON FORMA DE "U" UNIDA RÍGIDAMENTE A DOS BRAZOS LONGITUDINALES ♦ LA VIGA DE TORSIÓN SE ENCUENTRA EN EL EJE DEL ANCLAJE A LA ESTRUCTURA 	

TIPOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN		
SISTEMA DE SUSPENSIÓN INDEPENDIENTE		
SE UTILIZAN EN EJES DELANTEROS Y TRASEROS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES CON TRACCIÓN DELANTERA Y TRASERA		
SISTEMA BRAZO TIRADO	SISTEMA BRAZO SEMI-TIRADO	SISTEMA EJE OSCILANTE
<ul style="list-style-type: none"> ♦ BRAZOS EN DISPOSICIÓN LONGITUDINAL UNIDOS POR DOS EXTREMOS AL BASTIDOR (SILENTBLOCKS) Y POR EL OTRO A LA MANGUETA ♦ LOS BRAZOS PIVOTAN SOBRE UN EJE DE GIRO PERPENDICULAR AL PLANO LONGITUDINAL DEL VEHÍCULO ♦ PRODUCE PEQUEÑAS VARIACIONES DE VÍA, CAÍDA O AVANCE DE LA RUEDA 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ BRAZOS EN DISPOSICIÓN LONGITUDINAL OBLICUA UNIDOS POR DOS EXTREMOS AL BASTIDOR Y POR EL OTRO A LA MANGUETA ♦ LOS BRAZOS PIVOTAN SOBRE UN EJE DE GIRO OBLICUO RESPECTO AL PLANO LONGITUDINAL DEL VEHÍCULO ♦ NO PRECISA ESTABILIZADORES LONGITUDINALES DEBIDO A LA COMPONENTE LONGITUDINAL QUE TIENE EL BRAZO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ LA RUEDA Y EL BRAZO SON SOLIDARIOS (SALVO EL GIRO DE LA RUEDA), DE FORMA QUE EL CONJUNTO OSCILA ALREDEDOR DE UNA ARTICULACIÓN PRÓXIMA AL PLANO MEDIO LONGITUDINAL DEL VEHÍCULO ♦ NO SE PUEDE USAR COMO EJE DIRECTRIZ DEBIDO A QUE EL MOVIMIENTO OSCILATORIO ALTERA LA CAÍDA DE LAS RUEDAS EN LAS CURVAS
SISTEMA McPHERSON	SISTEMA DOBLE BRAZO	SISTEMA MULTIBRAZO
<ul style="list-style-type: none"> ♦ UN BRAZO DE 3 PUNTOS UNIDO A LA MANGUETA MEDIANTE UNA ARTICULACIÓN ESFÉRICA Y UNIDO AL BASTIDOR MEDIANTE SILENTBLOCKS ♦ EL AMORTIGUADOR ANCLADO DE FORMA FIJA A LA MANGUETA Y UNIDO AL BASTIDOR POR SU PARTE SUPERIOR MEDIANTE UN COJINETE. EL MUELLE ES CONCÉNTRICO AL AMORTIGUADOR Y ESTÁ SUJETO MEDIANTE DOS COPELAS ♦ REDUCIDA MASA NO SUSPENDIDA POCO ESPACIO REQUERIDO ♦ BAJO EL COSTE DE PRODUCCIÓN Y FÁCIL MANTENIMIENTO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ BRAZO SUPERIOR Y BRAZO INFERIOR (DE 2 O 3 PUNTOS) UNIDOS AL CHASIS A TRAVÉS DE UNOS SILENTBLOCKS Y UNIDOS A LA MANGUETA MEDIANTE DOS ARTICULACIONES ESFÉRICAS ♦ BRAZOS NO ESTÁN PARALELOS ENTRE SÍ NI POSEEN LA MISMA LONGITUD PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO LONGITUDINAL Y LATERAL ♦ LOS ELEMENTOS ELÁSTICOS Y AMORTIGUADOR ESTÁN UNIDOS POR SU PARTE INFERIOR AL BRAZO INFERIOR Y POR SU PARTE SUPERIOR AL BASTIDOR 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ MÚLTIPLES BRAZOS DE 2 PUNTOS O UN BRAZO DE 4 PUNTOS Y OTROS DE 2 PUNTOS UNEN EL CHASIS CON LAS RUEDAS MEDIANTE ARTICULACIONES ESFÉRICAS O SILENTBLOCKS ♦ MENOR INCLINACIÓN DE LA CARROCERÍA AL AFRONTAR LAS CURVAS Y UNA MAYOR ADHERENCIA (MAYOR CONTACTO CON EL ASFALTO) ♦ GRAN FLEXIBILIDAD DE CARA AL AJUSTE DE LOS PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE LA RUEDA, COMO LA CAÍDA O LA CONVERGENCIA ♦ ALCANZA UN GRADO MÁXIMO DE ESTABILIDAD DIRECCIONAL Y CONFORT

TABLA 15: TIPOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN RÍGIDO Y SEMIRRÍGIDO E INDEPENDIENTE

3.4.- DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN POR SEGMENTOS DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES

La concomitancia entre el eje delantero y trasero así como el acoplamiento entre ambos unido a las características de la estructura donde se fijan (espacio disponible, longitud, posición de los puntos de anclaje, etc.) son los responsables del buen funcionamiento del sistema chasis y por lo tanto del vehículo automóvil. De esta situación se deriva el hecho de

que por ejemplo un buen concepto de eje delantero y un buen concepto de eje trasero que no pueden trabajar bien en conjunto y que además no se puedan acoplar bien a la estructura, a la larga provocaría comportamientos no deseados a nivel del vehículo automóvil completo (inestabilidad, ruidos, vibraciones, etc.).

Fruto de esta exigencia de sinergia entre todos estos sistemas-componentes nace el requisito de especificar qué concepto de sistemas de suspensión se adaptan mejor a qué tipo eje (delantero o trasero). Para ello se definen para cada tipo de eje, teniendo en cuenta el concepto de tracción, funcionalidad, etc., una serie de conceptos sistemas de suspensión que, por su diseño y sus características, son los que en definitiva mejor equilibrio encuentran y por lo tanto los que mejor se adaptan entre sí. La siguiente tabla recoge el resultado de este estudio y la consecuente distribución de los sistemas de suspensión:

DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN			
CONCEPTO SIST. SUSPENSIÓN TIPO DE EJE	SISTEMA DE SUSPENSIÓN RÍGIDO	SISTEMA DE SUSPENSIÓN SEMIRRÍGIDO	SISTEMA DE SUSPENSIÓN INDEPENDIENTE
EJE DELANTERO	<ul style="list-style-type: none"> ♦ SISTEMA PANHARD ♦ SISTEMA HOTCHKISS 	---	<ul style="list-style-type: none"> ♦ SISTEMA MCPHERSON ♦ SISTEMA DOBLE BRAZO ♦ SISTEMA MULTIBRAZO
EJE TRASERO	<ul style="list-style-type: none"> ♦ SISTEMA PANHARD ♦ SISTEMA HOTCHKISS ♦ ARTICULACIÓN WATT ♦ SISTEMA DE 4 BRAZOS 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ SIST. VIGA TORSIONAL C ♦ SIST. VIGA TORSIONAL H ♦ SIST. VIGA TORSIONAL SEMI-H 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ SISTEMA MCPHERSON ♦ SISTEMA MULTIBRAZO ♦ SISTEMA BRAZO TIRADO ♦ SIST. BRAZO SEMI-TIRADO ♦ SISTEMA EJE OSCILANTE

TABLA 16: *DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN POR CONCEPTO DE EJE*

Sin embargo esta distribución se hace insuficiente a día de hoy debido a la aparición de nuevos segmentos de vehículos automóviles con sus respectivos nuevos requisitos de funcionalidad, dimensiones, etc. Esto provoca que además de diferenciar entre conceptos de sistemas de suspensión para el eje delantero o trasero sea necesario llevar a cabo otro análisis que permita identificar, en función del segmento de vehículo automóvil y teniendo en cuenta el uso final del vehículo, sus medidas, etc., los conceptos teóricos estándar de sistemas de suspensión que mejor se adaptan a cada uno de ellos.

Para ello, haciendo uso de modelos de simulación multicuerpos, se estudian y analizan las diferentes configuraciones posibles evaluándose el confort que ofrecen (análisis teórico

de vibraciones-resonancias), su respuesta dinámica frente al tipo de conducción/uso del vehículo (vehículo urbano, todoterreno, etc.), etc. A continuación se exponen los resultados de este análisis teórico donde se muestra la distribución actual de los conceptos de sistemas de suspensión en función de los segmentos de vehículos automóviles:

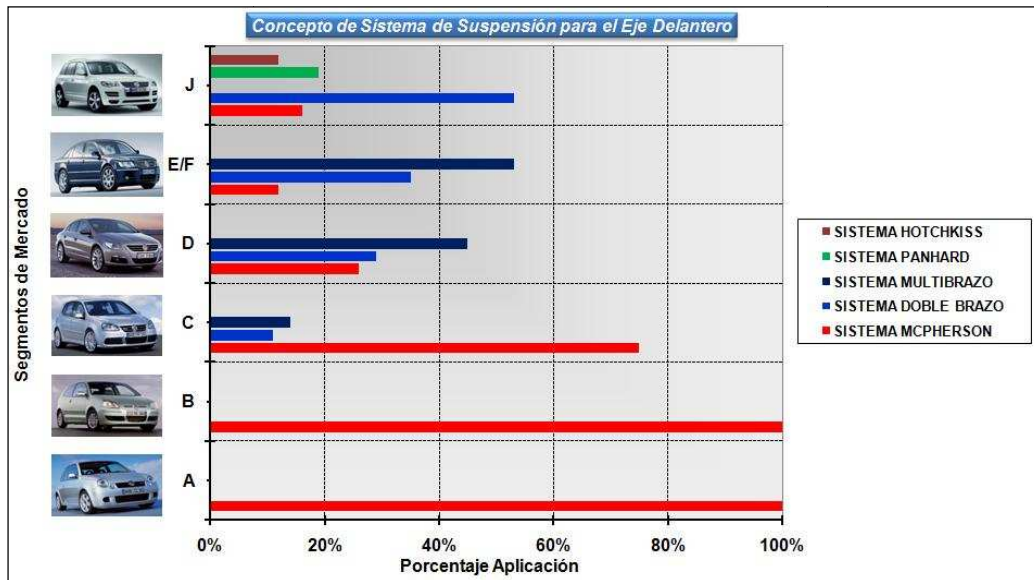


FIGURA 73: DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN PARA EL EJE DELANTERO

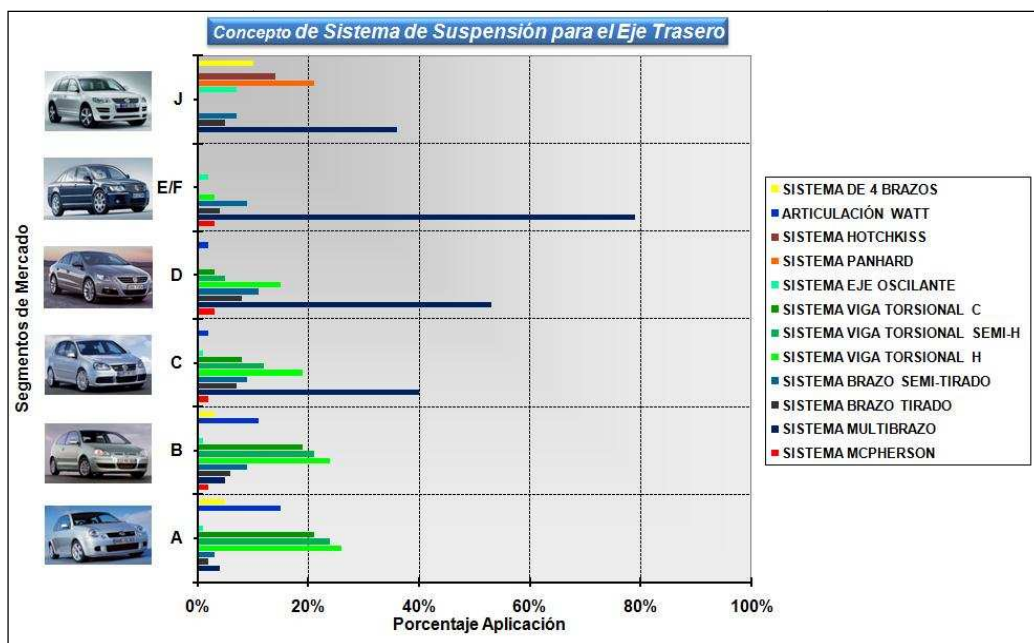


FIGURA 74: DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN PARA EL EJE TRASERO

Finalmente, tras esta preselección teórica, los fabricantes de vehículos automóviles junto con institutos tecnológicos del automóvil y empresas como ZF Lemförder GmbH desarrollan y adaptan estos sistemas de suspensión a cada plataforma – vehículo de manera

individual logrando de esta manera una perfecta sinergia entre el sistema de suspensión, el sistema chasis y por último el vehículo automóvil completo.

4.- EL BRAZO DE SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

En este último punto de la cadena del estudio del estado del conocimiento se profundiza en el análisis del brazo de suspensión detallando su funcionalidad, sus requisitos de diseño así como los principales componentes que lo integran.

Asimismo se detalla la tipología de brazos en función del tipo de sistema eje delantero/trasero donde se integran y se expone la distribución de los diferentes conceptos en función de los segmentos de vehículos automóviles.

Con la conclusión de este estudio quedarán cubiertos los dos objetivos planteados al inicio de este apartado. Por un lado se tendrá una visión global de la funcionalidad del componente a desarrollar, su ubicación en el vehículo automóvil así como la interacción de éste con los demás elementos de su entorno y por otro nos hallaremos en disposición de definir los requisitos funcionales del mismo.

4.1.- DESCRIPCIÓN DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

4.1.1.- Concepto y Funcionalidad del Brazo de Suspensión del Vehículo Automóvil

Para que el vehículo automóvil esté suspendido sobre las ruedas y no apoyado en ellas (como lo estaría un kart o cualquier otro vehículo sin suspensión) hace falta, además de un muelle y un amortiguador, unos elementos de unión entre la pieza que soporta la rueda (sistema llanta neumático), la mangueta, y el bastidor o subframe (sistema chasis). Estos elementos reciben el nombre de brazos de suspensión.

Además, para poder llevar a cabo esta unión hacen falta unos mecanismos sobre los que puedan pivotar los elementos de unión, hacen falta unas articulaciones, las cuales pueden ser de dos tipos:

↪ *Articulación rígida:* En este segundo tipo están las rótulas, que resultan de unir dos piezas metálicas, capaces de tener un movimiento relativo entre ellas

↪ *Articulación flexible*: Dentro de este grupo están los diferentes tipos de casquillos, que suelen tener una pieza metálica rígida, embutida en una pieza elástica y que son conocidos con el nombre de silentblock o bushing.

La siguiente imagen recoge el proceso de unión entre la mangueta – brazo de suspensión – bastidor o subframe así como las articulaciones anteriormente descritas:

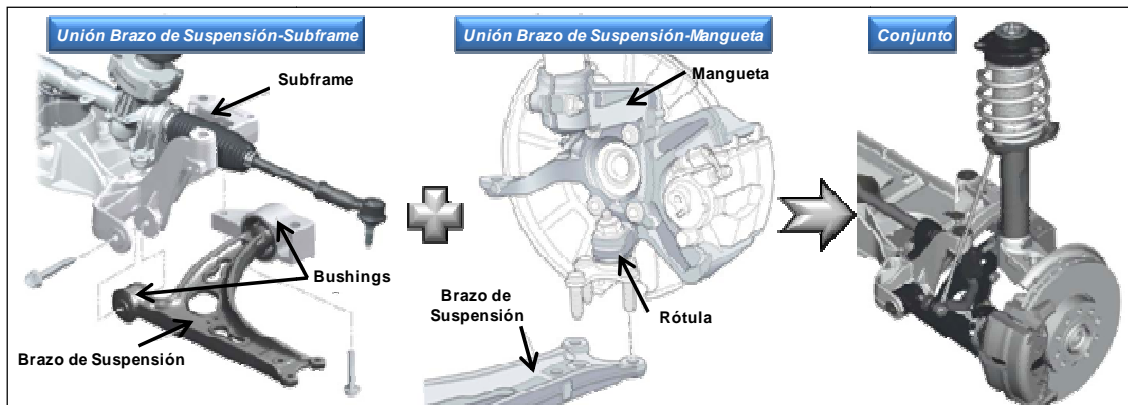


FIGURA 75: UNIÓN MANGUETA – BRAZO DE SUSPENSIÓN – BASTIDOR O SUBFRAME

Los brazos de suspensión además de conectar la rueda a través de la mangueta al bastidor tienen las siguientes funciones:

- ↪ Permitir el movimiento relativo entre el conjunto rueda-mangueta y el bastidor
- ↪ Soportar los esfuerzos provocados durante la conducción y transmitirlos desde el sistema llanta-neumático hasta el sistema chasis sin que se produzcan deformaciones o la rotura de los mismos.
- ↪ Unir los diferentes puntos de la cadena cinemática del sistema de suspensión (puntos cinemáticos o hardpoints)
- ↪ Mantener la rueda en la posición más adecuada con relación al suelo en todo el recorrido de suspensión y ante distintas sollicitaciones
- ↪ Absorber las vibraciones producidas por las irregularidades del terreno y reducir los consecuentes ruidos generados

4.1.2.- Requisitos del Brazo de Suspensión del Vehículo Automóvil

El brazo de suspensión, debido a la importancia y criticidad de las funciones que debe cumplir, se encuentra catalogado dentro de los elementos de seguridad activa del vehículo automóvil, debiendo garantizar el buen funcionamiento del vehículo en marcha, así como

proporcionar estabilidad, seguridad y buena respuesta a las órdenes del conductor en todo momento.

Además este componente forma parte de la masa no suspendida del vehículo, por lo tanto, tal y como veíamos ya anteriormente una reducción de su masa también influirá positivamente en el comportamiento dinámico del vehículo y por lo tanto en su estabilidad y la sensación de confort de los ocupantes.

De esta situación se derivan los siguientes requisitos que debe cumplir:

- ↪ Garantizar la resistencia frente a las cargas estáticas y dinámicas (fatiga) así como poseer la rigidez necesaria para el desempeño de su función
- ↪ Debe absorber la energía fruto de las cargas extraordinarias (impacto por accidente, mal uso) mediante su deformación sin romperse
- ↪ Absorber y amortiguar los ruidos y las vibraciones
- ↪ Asegurar buen comportamiento frente a desgaste. No debe de tener ninguna holgura durante su vida útil
- ↪ Ser resistente frente a la corrosión, cambios de temperatura, humedad, líquidos del automóvil(aceite, anticongelante, etc.) y de origen externo
- ↪ No colisionar con otras piezas durante su movimiento o el movimiento de los componentes adyacentes
- ↪ Su diseño deber ser compacto para condicionar lo mínimo posible el diseño de otros componentes y ser capaz de integrar los componentes necesarios para facilitar su conexión tanto con el sistema llanta-neumático como con el bastidor
- ↪ Ser económico a la vez que ligero para reducir el peso de la masa no suspendida
- ↪ Su ciclo de vida debe ser similar al del vehículo completo o al menos garantizar tres años de funcionamiento libre de mantenimiento/repación
- ↪ Cumplir los requisitos medioambientales de reciclabilidad

4.1.3.- Estructura del Brazo de Suspensión del Vehículo Automóvil

La estructura del brazo de suspensión está compuesta por las articulaciones (rótulas o silentblocks) que son los puntos de conexión entre el elemento estructural y los sistemas

adyacentes (mangueta – bastidor o subframe), los elementos electrónicos o sensores cuya función es captar información sobre la dinámica del vehículo – brazo de suspensión y enviarla a otros componentes mecatrónicos para que éstos actúen en consecuencia (reglaje de faros, suspensión, etc.) y un elemento estructural que integra y une a la vez todos estos elementos.

En la siguiente figura se expone la estructura anteriormente comentada y en los siguientes puntos se detalla la función y, características de cada uno de sus componentes aquí detallados:



FIGURA 76: ESTRUCTURA DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL

Debido a la posición intermedia y el consecuente movimiento relativo que tiene el brazo de suspensión en la cadena cinemática del sistema de suspensión, es necesario que éste posea al menos dos articulaciones que le permitan tener libertad para poder responder así como transmitir los movimientos a los que se ve sometido.

Estas articulaciones, atendiendo a sus grados de libertad f , (R: Rotación mecánica, T: Traslación mecánica; r: rotación elástica & traslación elástica) pueden clasificarse en los siguientes tipos: [5]

- ↗ A → Rótula Esférica $f=3$ (RRR):
- ↗ B → Rótula Cilíndrica $f=1...3$ (R)
- ↗ C → Silentblock $f=1$ (R + r & t)
- ↗ D → Rótula Cilíndrica Deslizante $f=2$ (RT)
- ↗ E → Rótula Deslizante $f=5$ (RTRTRT)

A continuación se muestran los conceptos de articulación descritos anteriormente:

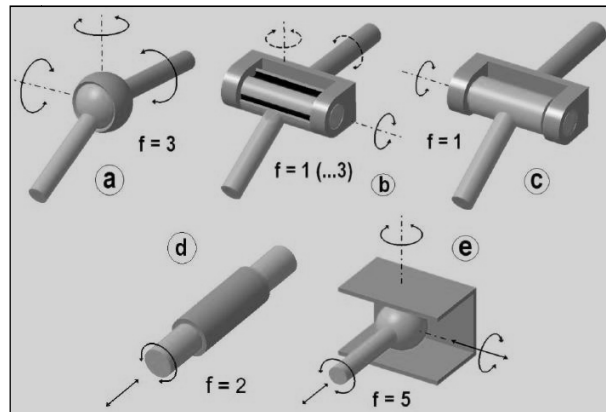


FIGURA 77: TIPOLOGÍA DE LAS ARTICULACIONES INTEGRADAS EN EL BRAZO DE SUSPENSIÓN

En cuanto respecta a la implementación de estas articulaciones en los brazos de suspensión se puede resumir que por regla general:

- ↪ Los brazos de suspensión del eje delantero integran silentblocks en las uniones con el bastidor o subframe para absorber las vibraciones así como los ruidos producidos y rótulas en la conexión del mismo con la mangueta para poder facilitar el movimiento de rotación necesario para conseguir el segundo grado de libertad de la rueda, el giro de la dirección.
- ↪ Los brazos de suspensión del eje trasero, debido a que este sólo posee un grado de libertad, integran silentblocks y rótulas cilíndricas en las uniones con el bastidor o subframe así como en la conexión del mismo con la mangueta, utilizando sólo en esta última, rótulas esféricas cuando las condiciones cinético-dinámicas del conjunto así lo requieran.

En los siguientes puntos se profundiza en la descripción de los componentes típicos que integran un brazo de suspensión analizando su funcionalidad, requisitos de diseño así como de fabricación y los materiales utilizados para su fabricación hasta la fecha.

4.1.3.1.- El Brazo o Elemento Estructural

El brazo o elemento estructural es la unión rígida que integra las articulaciones así como los elementos electrónicos y que por tanto une los puntos cinemáticos del sistema de suspensión.

Esta situación es la que provoca que sobre estos elementos recaiga la responsabilidad de soportar así como transmitir las cargas que llegan a través del contacto del sistema

neumático-llanta al sistema chasis sin que se produzca la rotura de los mismos o cualquier otra anomalía que pudiese afectar al comportamiento dinámico del vehículo y por tanto a la seguridad de los pasajeros.

4.1.3.1.1 Requisitos del Brazo o Elemento Estructural

Para lograr cumplir las funciones anteriormente descritas, se formulan los siguientes requisitos que deben ser considerados durante la fase de desarrollo del brazo o elemento estructural con el objetivo de que la solución final cumpla todos y cada uno de ellos cuando arranque la producción en serie:

- ↪ Alto límite elástico y capacidad para soportar cargas dinámicas
- ↪ Alta capacidad de deformación sin producir la rotura instantánea del mismo. En caso de cargas extraordinarias (impacto) el brazo debe conservar su integridad
- ↪ Peso reducido para contribuir a la reducción de la masa no suspendida del vehículo y por tanto mejorando el comportamiento dinámico del mismo
- ↪ Diseño compacto para no interferir con los elementos adyacentes
- ↪ Resistencia a la corrosión ambiental y a otros agentes exteriores como impactos de piedras, resistencia a líquidos del motor, frenos, etc., y cambios de temperatura
- ↪ Capacidad de ser producido en grandes volúmenes con costes contenidos. El tiempo de ciclo para su fabricación debe ser corto
- ↪ Costes de fabricación deben ser contenidos, evitando grandes trabajos de mecanizado cuando sea posible

4.1.3.1.2 Materiales del Brazo o Elemento Estructural y sus Métodos de Fabricación

Si atendemos a los posibles materiales que hasta la fecha han hecho posible el cumplimiento de estos requisitos son la fundición de hierro, el acero y aluminio. Otros materiales como el titanio, magnesio y materiales compuestos han sido también estudiados pero debido a diferentes problemas no han sido implementados todavía en un proyecto con fabricación en serie.

En cuanto respecta a los procesos de fabricación utilizados para la fabricación de los brazos con estos materiales destacan los procesos de fundición, los de forja y los de conformado de chapa acompañados, cuando el componentes así lo requiera, de procesos de

mecanizado, soldadura para facilitar la integración de componentes como la rótula, silentblock, etc. A continuación se enumeran las actuales soluciones y se resumen sus características fundamentales:







MATERIALES Y MÉTODOS DE FABRICACIÓN DEL BRAZO O ELEMENTO ESTRUCTURAL		
VARIANTE	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
ACERO FUNDICIÓN		POSITIVO
		♦ TANTO EL MATERIAL EMPLEADO COMO EL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN SON BARATOS
ACERO FORJA		POSITIVO
		♦ FRENTE A LA FUNDICIÓN TIENE MAYOR RESISTENCIA POR LO QUE SE PUEDE REDUCIR SU PESO PARA SOPORTAR EL MISMO NIVEL DE SOLICITACIONES
ALUMINIO FUNDICIÓN		POSITIVO
		♦ PESO REDUCIDO CON UNA GRAN LIBERTAD DE DISEÑO Y UN MAYOR CONTENIDO TECNOLÓGICO QUE LA FUNDICIÓN DE ACERO
ALUMINIO FORJA		POSITIVO
		♦ FRENTE A LA FUNDICIÓN TIENE MAYOR RESISTENCIA POR LO QUE SE PUEDE REDUCIR SU PESO PARA SOPORTAR EL MISMO NIVEL DE SOLICITACIONES
CHAPA BICAPA ESTAMPACIÓN		POSITIVO
		♦ EMPLEO DE MATERIALES DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO EN FORMATO DE CHAPA PARA COMPAGINAR LAS BUENAS PROPIEDADES RESISTIVAS CON UN FORMATO DE REDUCIDO ESPESOR QUE CONLLEVA UN PESO REDUCIDO
CHAPA MONOCAPA ESTAMPACIÓN		POSITIVO
		♦ EMPLEO DE MATERIALES DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO EN FORMATO DE CHAPA QUE PERMITEN CONSTRUCCIONES CON MUY BUENA RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA Y LA MASA
		NEGATIVO
		♦ LA DIFICULTAD DEL PROCESO DE EMBUTICIÓN, YA QUE LA INERCIA QUE EN OTRAS TIPOLOGÍAS VIENE DADA POR EL MATERIAL, EN ESTE TIPO DE BRAZOS PROVIENE DE LA GEOMETRÍA A REALIZAR DURANTE LA ESTAMPACIÓN

TABLA 17: MATERIALES Y MÉTODOS DE FABRICACIÓN DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL

4.1.3.2.- Rótula de Suspensión

La rótula de suspensión es una articulación cuya función principal es la de dotar a la unión del brazo de suspensión con la mangueta con de uno a tres grados de libertad y por tanto transmitir los movimientos y fuerzas desde ésta al brazo de suspensión y por consiguiente al sistema chasis.

Por regla general los brazos de suspensión en los ejes delanteros integran rótulas esféricas las cuales poseen tres grados de libertad estando la amplitud del movimiento en dos de ellos limitada. En ellas una pieza terminada en una bola está unida a una pieza terminada en una cavidad o casquillo de forma que permite un relativo movimiento dentro de cierto ángulo en todos los planos que pasan por una línea. En la siguiente imagen se muestran los movimientos posibles de una rótula de suspensión:

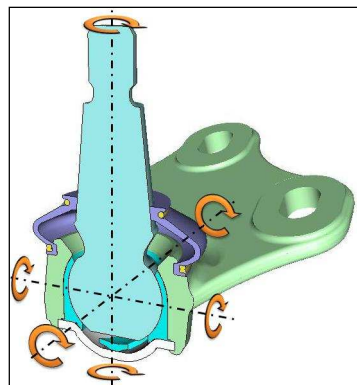


FIGURA 78: GRADOS DE LIBERTAD DE LA RÓTULA DE SUSPENSIÓN

Las rótulas de suspensión, de vital importancia en las suspensiones modernas, están concebidas como elementos de por vida y de su exacto ajuste y ausencia de holguras depende el mantenimiento correcto de las oscilaciones y ángulos de ataque de las ruedas.

Este tipo de rótula queda integrada o unida en la pieza que transmite las fuerzas elásticas del chasis a la rueda, el brazo de suspensión, soportando junto con él el peso estático del vehículo y, cuando el vehículo está en marcha, soportando las fuerzas dinámicas que pueden aumentar hasta varias veces el peso estático del vehículo.

4.1.3.2.1 Requisitos de la Rótula de Suspensión

Antes de diseñar una nueva rótula se confecciona un pliego de condiciones en estrecha colaboración entre fabricante y cliente. Los requisitos son muy elevados, puesto que las articulaciones de rótula son también elementos de seguridad en los vehículos de los que

depende literalmente la integridad de los ocupantes. A continuación se resumen los requisitos más importantes que debe cumplir este componente:

- ↪ Posición del centro de la bola en el espacio y ángulos de oscilación determinados
- ↪ Asegurar la conectividad entre los diferentes elementos contiguos
- ↪ Garantizar la resistencia frente a las cargas estáticas y dinámicas (fatiga) así como poseer la rigidez necesaria para el desempeño de su función (ensayos de extracción de perno por ventana. Pull-Out, ensayos de expulsión de perno por tapa. Push-Out, etc.)
- ↪ Buen comportamiento frente a desgaste. No debe de tener ninguna holgura durante su vida útil
- ↪ Mantener sus pares de giro y vuelco a lo largo de su vida útil. El lubricante, grasa, ha de mantener su capacidad de engrase en toda la banda de temperaturas y proporcionar una protección anticorrosiva contra el agua de condensación
- ↪ Resistencia a la corrosión ambiental y a otros agentes exteriores como impactos de piedras, resistencia a líquidos del motor, frenos, etc., y cambios de temperatura
- ↪ Capacidad de ser producido en grandes volúmenes con costes contenidos. El tiempo de ciclo para su fabricación debe ser corto
- ↪ Cumplir los requisitos medioambientales de reciclabilidad

4.1.3.2.2 Estructura de la Rótula de Suspensión

La rótula de suspensión está compuesta por los siguientes elementos:

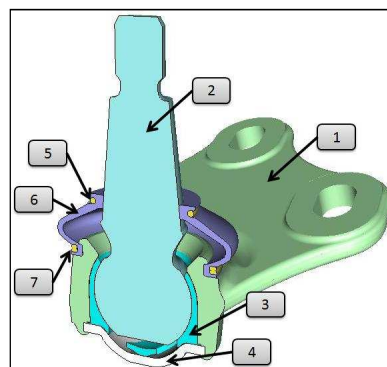


FIGURA 79: ELEMENTOS DE LA RÓTULA

- ↪ Carcasa (1): Sirve de “base-soporte” para el resto de componentes así como de medio de unión con el brazo de suspensión

- ↪ Perno (2): Sirve de conexión entre la mangueta y la carcasa y es la encargada de absorber las rotaciones alrededor del eje axial del perno y los movimientos de basculación en los otros dos ejes que se producen en la marcha del coche
- ↪ Casquillo (3): Evita el contacto metal con metal entre el perno y la carcasa así como facilita el deslizamiento de uno sobre otro
- ↪ Tapa (4): Asegura la estanqueidad de la rótula en su parte inferior
- ↪ Anillo de compresión superior (5): Comprime el guardapolvos contra el perno para asegurar la estanqueidad de la rótula
- ↪ Guardapolvos (6): Asegura la estanqueidad de la rótula y evita que entren cuerpos extraños que pueden producir el deterioro de la misma
- ↪ Anillo de compresión inferior (7): Comprime el guardapolvos contra el rebaje de la carcasa para asegurar la estanqueidad de la rótula

4.1.3.3.- Silentblocks

Los silentblocks son junto a las rótulas esféricas los elementos de articulación – unión más empleados en los sistemas de suspensión. Son en principio, por sus características funcionales, muy similares a las de la rótula esférica pudiendo considerarse que en rangos de pequeños movimientos alcanzan hasta 6 grados de libertad y en rangos de movimiento de utilización o grandes movimientos sólo poseen uno, la rotación alrededor de uno de sus ejes.

La función de este componente es la de conectar el brazo de suspensión con el subframe o bastidor proporcionando a la unión un grado de libertad así como la de absorber las vibraciones, ruidos etc. mejorando por tanto el comportamiento acústico y vibracional del vehículo automóvil.

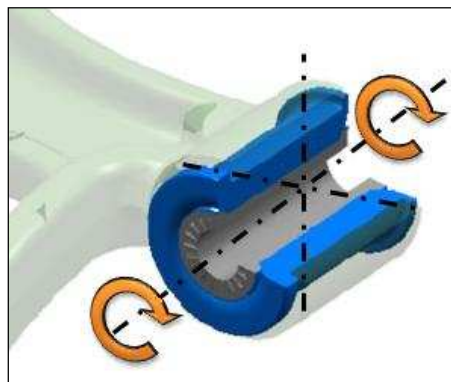


FIGURA 80: GRADOS DE LIBERTAD DEL SILENTBLOCK

4.1.3.3.1 *Requisitos de los Silentblocks*

Al igual que para la rotula de suspensión, antes de diseñar un nuevo silentblock se confecciona un pliego de condiciones en estrecha colaboración entre fabricante y cliente en el cual se especifica la dureza del mismo, los ángulos que debe permitir, etc., además de otra serie de requisitos los cuales se resumen a continuación:

- ↪ Proporcionar el ángulo de rotación adecuado para su aplicación (grado de libertad) así como garantizar las rigideces axiales, radiales y cardánica dentro de los rangos de funcionamiento establecidos
- ↪ Facilitar amortiguamiento en todas las direcciones
- ↪ Asegurar la conectividad entre los diferentes elementos contiguos
- ↪ Garantizar la resistencia frente a las cargas estáticas y dinámicas (fatiga) así como poseer la rigidez necesaria para el desempeño de su función
- ↪ Buen comportamiento frente a desgaste. No debe de tener ninguna holgura durante su vida útil
- ↪ Resistencia a la corrosión ambiental y a otros agentes exteriores como impactos de piedras, resistencia a líquidos del motor, frenos, etc., y cambios de temperatura
- ↪ Capacidad de ser producido en grandes volúmenes con costes contenidos. El tiempo de ciclo para su fabricación debe ser corto
- ↪ Cumplir los requisitos medioambientales de reciclabilidad

4.1.3.3.2 *Estructura de los Silentblocks*

Los silentblocks es un componente de un material flexible o elastómero, habitualmente un tipo de caucho, para absorber los choques y las vibraciones entre los componentes mecánicos y la estructura en la que se apoya o integra. Los elementos característicos de los silentblocks son:

- ↪ Carcasa o anillo exterior (1): Comprime la masa de elastómero o caucho y hace de elemento de unión con el brazo o elemento estructural. Suele estar fabricado en materiales como acero, aluminio y plástico, según los requisitos de carga a soportar
- ↪ Masa de elastómero o caucho (2): Encargado de conferir las propiedades de amortiguamiento, rigidez, etc.

↪ Casquillo interior (3): Sirve para facilitar la conexión con el subframe o bastidor. Al igual que el anillo exterior, suele estar fabricado en materiales como acero, aluminio y plástico, según los requisitos de carga a soportar, así como adoptar diferentes geometrías (cilíndrica, oval, cónica, etc.)

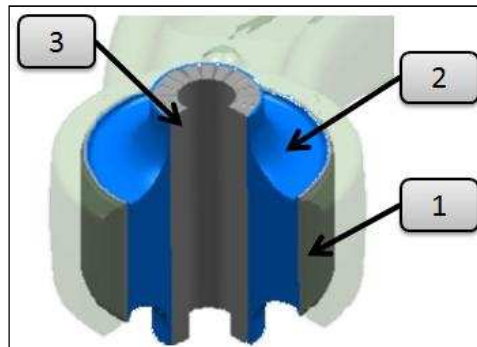


FIGURA 81: ELEMENTOS DEL SILENTBLOCK

4.2.- TIPOLOGÍA DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

Los brazos de suspensión se clasifican en dos grupos atendiendo a su comportamiento, flexible o rígido. Dentro de este primer grupo se diferencian dos tipos de componentes de suspensión en función del material con el que están fabricados mientras que en el segundo grupo se distingue, desde el punto de vista cinemático, entre brazos de suspensión de dos puntos, de tres y de cuatro. La siguiente figura muestra la tipología anteriormente descrita:

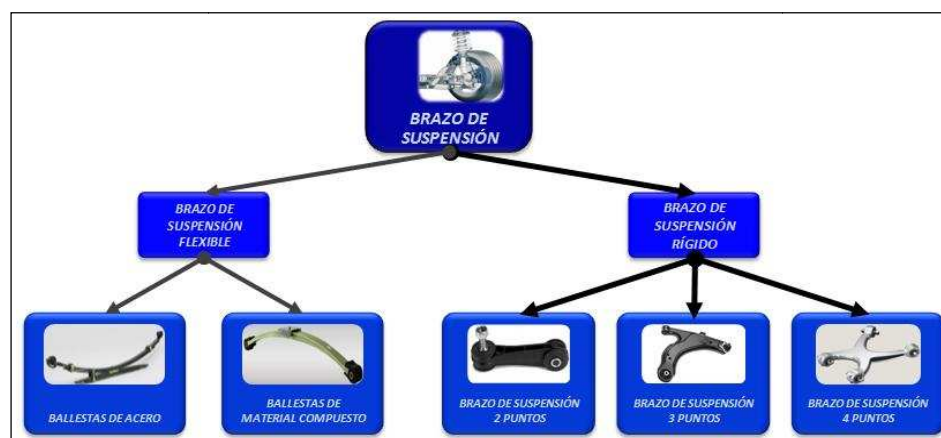


FIGURA 82: TIPOLOGÍA DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

4.2.1.- Brazo de Suspensión de 2 Puntos

El brazo de suspensión de 2 puntos, como su propio nombre indica, es un elemento de unión con dos extremos diseñado y fabricado para soportar esfuerzos en la dirección del propio brazo, en ambos sentidos (tracción o compresión). Por su forma y por el tipo de

articulaciones que tiene normalmente, no está hecho para soportar esfuerzos laterales (paralelos a los ejes de sus articulaciones).

Los brazos pueden ser rectos o curvos y suelen estar fabricados en materiales como chapa de acero estampada o fundición de hierro o aluminio. En la siguiente imagen se muestran dos brazos típicos de un eje trasero, el que se ve en primer término es de fundición y, en segundo término, hay uno de chapa estampada.

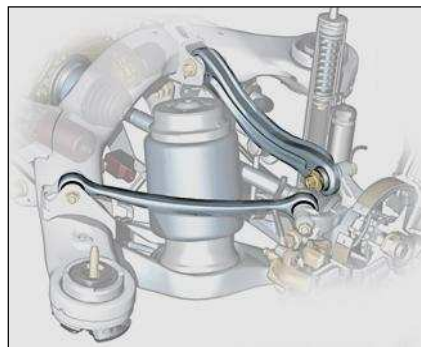


FIGURA 83: BRAZO DE SUSPENSIÓN DE 2 PUNTOS

Este tipo de brazos suelen integrar por regla general una rótula esférica en un extremo y un silentblock en el otro. No obstante cabe destacar que cuando los ángulos de articulación de la rótula no son muy grandes, ésta puede sustituirse por otro silentblock alojando por tanto el brazo sólo dos silentblocks de iguales o distintas características según los requisitos elastocinemáticos del eje donde se monten.

4.2.2.- Brazo de Suspensión de 3 Puntos

El brazo de suspensión de 3 puntos es un elemento de unión con tres extremos de los cuales normalmente dos aseguran la conexión con el bastidor y uno con la rueda. Generalmente los puntos de unión con el bastidor integran silentblocks mientras que la conexión con la mangueta – rueda se realiza a través de una rótula esférica.

Se pueden distinguir dos tipos de brazos de suspensión de 3 puntos, brazos en “L” y en “A” o “U”. En los que son en “L”, el triángulo teórico que forman las tres articulaciones tiene un ángulo recto y un lado paralelo (o casi) al eje de las ruedas mientras que en los brazos en “A” o “U” pueden tener formas y ubicaciones más variadas, por ejemplo en unos casos tienen la articulación de la rueda entre las dos articulaciones del bastidor y en otros, las dos articulaciones del bastidor están por delante de la de la rueda. Tanto los brazos con

geometría en forma de “L” como los de en forma de “A” o “U” están fabricados generalmente en materiales como chapa de acero estampada, fundición de hierro o aluminio o forja de hierro o aluminio. En la siguiente imagen se muestra en el lado izquierdo un brazo en “L” y en el derecho uno en “A” o “U”:



FIGURA 84: BRAZO DE SUSPENSIÓN DE 3 PUNTOS

Finalmente, cabe reseñar que la forma del brazo o triángulo depende principalmente del diseño de la suspensión, pero no necesariamente determina el funcionamiento del triángulo.

4.2.3.- Brazo de Suspensión de 4 Puntos

El brazo de suspensión de 4 puntos o trapecio es un elemento de unión con cuatro extremos apropiado para soportar grandes esfuerzos longitudinales y transversales de ahí su aplicación como elemento de suspensión en vehículos todo terreno. A diferencia de un brazo de dos puntos o de tres, un trapecio tiene necesariamente dos y solo dos ejes de giro, uno en el bastidor y otro en la rueda.



FIGURA 85: BRAZO DE SUSPENSIÓN DE 4 PUNTOS

Esta circunstancia es la que provoca que estos brazos integren en los puntos de conexión tanto con la mangueta como con el bastidor, por regla general, bien silentblocks o bien rótulas esféricas con un grado de libertad.

Por regla general este tipo de brazos están fabricados en fundición hueca de aluminio o chapas de acero estampadas y soldadas desechándose la fundición de hierro y la forja de hierro o aluminio por el peso elevado de las mismas.

4.3.- EL BRAZO DE SUSPENSIÓN EN EL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

Una vez llegados a este punto y habiendo analizado la estructura completa del vehículo automóvil haciendo especial hincapié en el sistema de chasis – suspensión se analiza, como muestra la imagen, la distribución del tipo de brazo de suspensión utilizado en función del segmento de vehículo automóvil y por consiguiente de sistema de suspensión:

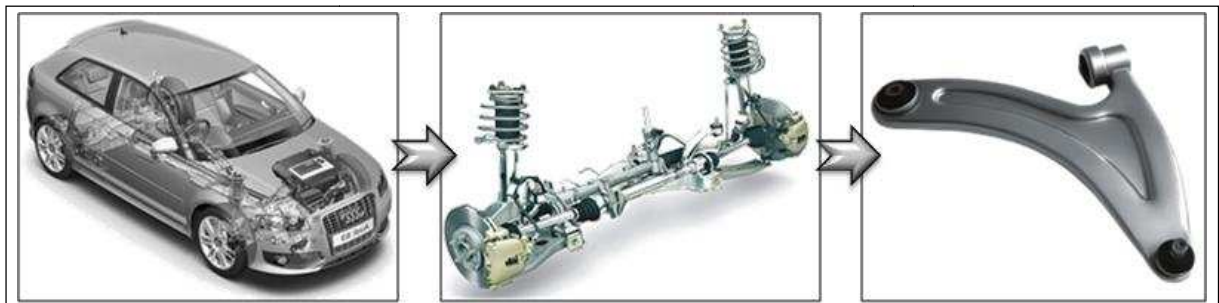


FIGURA 86: EL BRAZO DE SUSPENSIÓN EN EL VEHÍCULO AUTOMÓVIL

Las siguientes tablas presentan los resultados del análisis anteriormente mencionado:

DISTRIBUCIÓN DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN													
TIPO DE EJE	SISTEMA DE SUSPENSIÓN INDEPENDIENTE	TIPO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN	MATERIAL BRAZO DE SUSPENSIÓN	UTILIZACIÓN POR SEGMENTO									
				A	B	C	D	E	F	J	S		
EJE DELANTERO	♦ McPHERSON	♦ BRAZO DE 3 PUNTOS	♦ CHAPA DE ACERO	●	●	●							
			♦ FORJA DE HIERRO/ACERO	●	●	●							
			♦ FORJA DE ALUMINIO		●	●	●	●	●				
			♦ FUNDICIÓN DE ALUMINIO			●	●	●	●				
	♦ DOBLE BRAZO	♦ BRAZO DE 2 PUNTOS ♦ BRAZO DE 3 PUNTOS	♦ CHAPA DE ACERO			●	●	●	●				
			♦ FORJA DE HIERRO/ACERO			●	●	●					
			♦ FORJA DE ALUMINIO				●	●	●	●			
			♦ FUNDICIÓN DE ALUMINIO				●	●	●	●			
	♦ MULTIBRAZO	♦ BRAZO DE 2 PUNTOS ♦ BRAZO DE 3 PUNTOS	♦ CHAPA DE ACERO			●	●	●	●				
			♦ FORJA DE HIERRO/ACERO			●	●	●			●		
			♦ FORJA DE ALUMINIO				●	●	●	●			
			♦ FUNDICIÓN DE ALUMINIO				●	●	●	●			

TABLA 18: DISTRIBUCIÓN DE LOS TIPOS DE BRAZOS DE SUSPENSIÓN EN EL EJE DELANTERO

DISTRIBUCIÓN DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN														
TIPO DE EJE	SISTEMA DE SUSPENSIÓN INDEPENDIENTE	TIPO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN	MATERIAL BRAZO DE SUSPENSIÓN	UTILIZACIÓN POR SEGMENTO										
				A	B	C	D	E	F	J	S			
EJE TRASERO	♦ BRAZO TIRADO	♦ BRAZO DE 3 PUNTOS	♦ CHAPA DE ACERO		•	•	•	•						
			♦ FORJA DE HIERRO/ACERO	•	•	•	•	•				•		
			♦ FORJA DE ALUMINIO			•	•	•	•				•	
			♦ FUNDICIÓN DE ALUMINIO			•	•	•	•				•	
	♦ BRAZO SEMI-TIRADO	♦ BRAZO DE 3 PUNTOS	♦ CHAPA DE ACERO	•	•	•	•	•						
			♦ FORJA DE HIERRO/ACERO	•	•	•	•	•				•		
			♦ FORJA DE ALUMINIO			•	•	•	•				•	
			♦ FUNDICIÓN DE ALUMINIO			•	•	•	•				•	
	♦ MCPHERSON	♦ BRAZO DE 2 PUNTOS	♦ CHAPA DE ACERO		•	•	•	•						
			♦ FORJA DE HIERRO/ACERO		•	•	•	•						
		♦ BRAZO DE 3 PUNTOS	♦ FORJA DE ALUMINIO		•	•	•	•				•		
			♦ FUNDICIÓN DE ALUMINIO			•	•	•	•				•	
	♦ MULTIBRAZO	♦ BRAZO DE 2 PUNTOS	♦ CHAPA DE ACERO	•	•	•	•	•	•	•				
			♦ FORJA DE HIERRO/ACERO	•	•	•	•	•						
			♦ FORJA DE ALUMINIO			•	•	•	•	•	•		•	
			♦ FUNDICIÓN DE ALUMINIO			•	•	•	•					
♦ BRAZO DE 4 PUNTOS		♦ CHAPA DE ACERO				•	•	•	•					
		♦ FORJA DE HIERRO/ACERO					•	•						
		♦ FORJA DE ALUMINIO					•	•	•	•				
		♦ FUNDICIÓN DE ALUMINIO					•	•	•					

TABLA 19: DISTRIBUCIÓN DE LOS TIPOS DE BRAZOS DE SUSPENSIÓN EN EL EJE TRASERO

A la vista de estos resultados se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- ↪ Cada segmento de vehículo automóvil monta por regla general los mismos sistemas de suspensión y por tanto el mismo tipo de brazo de suspensión
- ↪ Debido a las propiedades y características particulares de cada segmento de vehículo automóvil (imagen, coste, prestaciones, etc.) aún para un mismo sistema de suspensión y para un mismo concepto de brazo son empleados diferentes materiales para su fabricación.
- ↪ En la actualidad los materiales para la fabricación de estos componentes está muy limitado, existiendo sólo componentes en acero y aluminio lo que provoca que no existan grandes evoluciones en este componente entre las diferentes generaciones de coches

5.- DETERMINACIÓN DE LOS REQUISITOS FUNCIONALES

Con el objetivo de poder contemplar todos los requisitos descritos en los puntos anteriores de una manera resumida y poder finalmente determinar los requisitos funcionales del componente a desarrollar se ha elaborado la siguiente tabla:

REQUISITOS FUNCIONALES
VEHÍCULO AUTOMÓVIL
<ul style="list-style-type: none"> ♦ GARANTIZAR EL TRANSPORTE DE PERSONAS Y DE SU EQUIPAJE DE UNA MANERA FIABLE Y SEGURA (INTEGRACIÓN DE ELEMENTOS DE SEGURIDAD ACTIVA Y PASIVA) ♦ TENER CAPACIDAD PARA DESPLAZARSE POR UNA VÍA ORDINARIA SIN NECESIDAD DE CARRILES ♦ BAJO CONSUMO ENERGÉTICO /COMBUSTIBLE CON REDUCIDAS EMISIONES CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA ♦ CUMPLIR LOS REQUISITOS MEDIOAMBIENTALES DE RECICLABILIDAD
SISTEMA CHASIS
<ul style="list-style-type: none"> ♦ INTEGRAR EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN UNIÉNDOLO CON EL SISTEMA DE PROPULSIÓN Y EL SISTEMA ESTRUCTURAL ♦ ASEGURAR LA CONEXIÓN DE LOS DIFERENTES COMPONENTES QUE EN ÉL SE INTEGRAN ♦ SOPORTAR Y RESPONDER FAVORABLEMENTE A LAS FUERZAS QUE LE LLEGAN DESDE EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN ♦ CUMPLIR LOS REQUISITOS MEDIOAMBIENTALES DE RECICLABILIDAD
SISTEMA SUSPENSIÓN
<ul style="list-style-type: none"> ♦ ASEGURAR EL MOVIMIENTO DEL VEHÍCULO Y MANTENER EN CONTACTO DE LOS NEUMÁTICOS CON EL PAVIMENTO ♦ MANTENER LAS RUEDAS ALINEADAS. EVITAR UNA INCLINACIÓN EXCESIVA DE LA CARROCERÍA DURANTE LOS VIRAJES Y UNA INCLINACIÓN EXCESIVA EN LA PARTE DELANTERA DURANTE EL FRENADO. ♦ COMPENSAR Y TRANSMITIR LAS FUERZAS INTERNAS DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL (TRANSMISIÓN DE MOMENTO DE ROTACIÓN DE LAS RUEDAS, FUERZAS DE FRENADO, GIRAR, ETC.) ♦ RESPONDER FAVORABLEMENTE A LAS FUERZAS EXTERNAS AL VEHÍCULO AUTOMÓVIL (VIENTO) Y A LAS FUERZAS GENERADAS DURANTE SU DESPLAZAMIENTO (FUERZAS DE ACELERACIÓN, FRENADO, GIRAR, ETC.) ♦ SOPORTAR EL PESO DEL VEHÍCULO, AMORTIGUARLO Y ABSORBER SUS OSCILACIONES ♦ ABSORBER LAS DESIGUALDADES DEL TERRENO Y LOS RUIDOS Y VIBRACIONES PRODUCIDAS ♦ CUMPLIR LOS REQUISITOS MEDIOAMBIENTALES DE RECICLABILIDAD
SISTEMA BRAZO DE SUSPENSIÓN
<ul style="list-style-type: none"> ♦ GARANTIZAR LA RESISTENCIA FRENTE A LAS CARGAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS (FATIGA) ASÍ COMO POSEER LA RIGIDEZ NECESARIA PARA EL DESEMPEÑO DE SU FUNCIÓN ♦ DEBE ABSORBER LA ENERGÍA FRUTO DE LAS CARGAS EXTRAORDINARIAS (IMPACTO POR ACCIDENTE, MAL USO) MEDIANTE SU DEFORMACIÓN SIN ROMPERSE ♦ ABSORBER Y AMORTIGUAR LOS RUIDOS Y LAS VIBRACIONES ♦ ASEGURAR BUEN COMPORTAMIENTO FRENTE A DESGASTE. NO TENER NINGUNA HOLGURA DURANTE SU VIDA ÚTIL ♦ SER RESISTENTE FRENTE A LA CORROSIÓN, CAMBIOS DE TEMPERATURA, HUMEDAD, LÍQUIDOS DEL AUTOMÓVIL (ACEITE, ANTI-CONGELANTE, ETC.) Y DE ORIGEN EXTERNO (SALES) ♦ NO COLISIONAR CON OTRAS PIEZAS DURANTE SU MOVIMIENTO O EL MOVIMIENTO DE LOS COMPONENTES ADYACENTES ♦ SU DISEÑO DEBER SER COMPACTO PARA CONDICIONAR LO MÍNIMO POSIBLE EL DISEÑO DE OTROS COMPONENTES Y SER CAPAZ DE INTEGRAR LOS COMPONENTES NECESARIOS PARA FACILITAR SU CONEXIÓN TANTO CON EL SISTEMA LLANTA-NEUMÁTICO COMO CON EL BASTIDOR ♦ DEBE SER ECONÓMICO, ROBUSTO Y LIGERO PARA REDUCIR EL PESO DE LA MASA NO SUSPENDIDA ♦ SU CICLO DE VIDA DEBE SER SIMILAR AL DEL VEHÍCULO COMPLETO O AL MENOS GARANTIZAR TRES AÑOS DE FUNCIONAMIENTO LIBRE DE MANTENIMIENTO/REPARACIÓN ♦ CUMPLIR LOS REQUISITOS MEDIOAMBIENTALES DE RECICLABILIDAD

SUBSISTEMAS INTEGRADOS EN EL BRAZO DE SUSPENSIÓN
FUNCIÓN ELEMENTO ESTRUCTURAL
<ul style="list-style-type: none"> ♦ CAPACIDAD DE INTEGRAR LOS COMPONENTES DE UNIÓN CON LOS SISTEMAS ADYACENTES (RÓTULAS Y SILENTBLOCKS) ♦ ALTO LÍMITE ELÁSTICO Y CAPACIDAD PARA SOPORTAR CARGAS DINÁMICAS ♦ ALTA CAPACIDAD DE DEFORMACIÓN SIN PRODUCIR LA ROTURA INSTANTÁNEA DEL MISMO. EN CASO DE CARGAS EXTRAORDINARIAS (IMPACTO) EL BRAZO DEBE CONSERVAR SU INTEGRIDAD ♦ PESO REDUCIDO PARA CONTRIBUIR A LA REDUCCIÓN DE LA MASA NO SUSPENDIDA DEL VEHÍCULO Y POR TANTO MEJORANDO EL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL MISMO ♦ DISEÑO COMPACTO PARA NO INTERFERIR CON LOS ELEMENTOS ADYACENTES ♦ RESISTENCIA A LA CORROSIÓN AMBIENTAL Y A OTROS AGENTES EXTERIORES COMO IMPACTOS DE PIEDRAS, RESISTENCIA A LÍQUIDOS DEL MOTOR, FRENOS, ETC., Y CAMBIOS DE TEMPERATURA ♦ CAPACIDAD DE SER PRODUCIDO EN GRANDES VOLÚMENES CON COSTES CONTENIDOS. EL TIEMPO DE CICLO PARA SU FABRICACIÓN DEBE SER CORTO ♦ COSTES DE FABRICACIÓN DEBEN SER CONTENIDOS, EVITANDO GRANDES TRABAJOS DE MECANIZADO CUANDO SEA POSIBLE
FUNCIÓN RÓTULA
<ul style="list-style-type: none"> ♦ POSICIÓN DEL CENTRO DE LA BOLA EN EL ESPACIO Y ÁNGULOS DE OSCILACIÓN DETERMINADOS ♦ ASEGURAR LA CONECTIVIDAD ENTRE LOS DIFERENTES ELEMENTOS CONTIGUOS ♦ GARANTIZAR LA RESISTENCIA FRENTE A LAS CARGAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS (FATIGA) ASÍ COMO POSEER LA RIGIDEZ NECESARIA PARA EL DESEMPEÑO DE SU FUNCIÓN (ENSAYOS DE EXTRACCIÓN DE PERNO POR VENTANA. PULL-OUT, ENSAYOS DE EXPULSIÓN DE PERNO POR TAPA. PUSH-OUT, ETC.) ♦ BUEN COMPORTAMIENTO FRENTE A DESGASTE. NO DEBE DE TENER NINGUNA HOLGURA DURANTE SU VIDA ÚTIL ♦ MANTENER SUS PARES DE GIRO Y VUELCO A LO LARGO DE SU VIDA ÚTIL. EL LUBRICANTE, GRASA, HA DE MANTENER SU CAPACIDAD DE ENGRASE EN TODA LA BANDA DE TEMPERATURAS Y PROPORCIONAR UNA PROTECCIÓN ANTICORROSIVA CONTRA EL AGUA DE CONDENSACIÓN ♦ RESISTENCIA A LA CORROSIÓN AMBIENTAL Y A OTROS AGENTES EXTERIORES COMO IMPACTOS DE PIEDRAS, RESISTENCIA A LÍQUIDOS DEL MOTOR, FRENOS, ETC., Y CAMBIOS DE TEMPERATURA ♦ CAPACIDAD DE SER PRODUCIDO EN GRANDES VOLÚMENES CON COSTES CONTENIDOS. EL TIEMPO DE CICLO PARA SU FABRICACIÓN DEBE SER CORTO ♦ CUMPLIR LOS REQUISITOS MEDIOAMBIENTALES DE RECICLABILIDAD
FUNCIÓN SILENTBLOCK
<ul style="list-style-type: none"> ♦ PROPORCIONAR EL ÁNGULO DE ROTACIÓN ADECUADO PARA SU APLICACIÓN (GRADO DE LIBERTAD) ASÍ COMO GARANTIZAR LAS RIGIDECEZ AXIALES, RADIALES Y CARDÁNICA DENTRO DE LOS RANGOS DE FUNCIONAMIENTO ESTABLECIDOS ♦ FACILITAR AMORTIGUAMIENTO EN TODAS LAS DIRECCIONES ♦ ASEGURAR LA CONECTIVIDAD ENTRE LOS DIFERENTES ELEMENTOS CONTIGUOS ♦ GARANTIZAR LA RESISTENCIA FRENTE A LAS CARGAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS (FATIGA) ASÍ COMO POSEER LA RIGIDEZ NECESARIA PARA EL DESEMPEÑO DE SU FUNCIÓN ♦ BUEN COMPORTAMIENTO FRENTE A DESGASTE. NO DEBE DE TENER NINGUNA HOLGURA DURANTE SU VIDA ÚTIL ♦ RESISTENCIA A LA CORROSIÓN AMBIENTAL Y A OTROS AGENTES EXTERIORES COMO IMPACTOS DE PIEDRAS, RESISTENCIA A LÍQUIDOS DEL MOTOR, FRENOS, ETC., Y CAMBIOS DE TEMPERATURA ♦ CAPACIDAD DE SER PRODUCIDO EN GRANDES VOLÚMENES CON COSTES CONTENIDOS. EL TIEMPO DE CICLO PARA SU FABRICACIÓN DEBE SER CORTO ♦ CUMPLIR LOS REQUISITOS MEDIOAMBIENTALES DE RECICLABILIDAD

TABLA 20: REQUISITOS FUNCIONALES DEL FUTURO BRAZO DE SUSPENSIÓN

ESTUDIO DE SOLUCIONES:

Después de definir los requisitos socioeconómicos así como los funcionales del componente a desarrollar se puede empezar con la fase de ideación de las posibles soluciones y el filtrado o evaluación de las mismas con el objetivo de definir cuál es la solución idónea.

En los puntos de este apartado se exponen la metodología empleada para la generación y filtrado de las ideas / soluciones, se definen los criterios de selección de ideas así como los de evaluación de las mismas en función de los requisitos determinados en los capítulos anteriores, se describen las variantes seleccionadas y por último se exponen los resultados de este proceso sistemático de evaluación estructurada y objetiva de las diferentes variantes.

Al final de este apartado quedará definida cual es la solución que mayor equilibrio y mejor sinergia encuentra con respecto a los requisitos expuestos comenzando a partir de este momento los trabajos de investigación y desarrollo del proyecto de innovación aquí presentado.

1.- DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA A UTILIZAR

La premisa fijada para la elección de las técnicas de creatividad fue que tanto la generación así como el filtrado de las ideas debían llevarse a cabo de una manera lo más estructurada y objetiva posible con el objetivo de poder determinar una solución final ecuánime, equilibrada y con la mejor sinergia entre los requisitos a cumplir.

Tras el mapeo y análisis de diferentes técnicas o métodos creativos que permitiesen llevar a cabo la generación y filtrado de las ideas / soluciones de esta manera, se tomó la decisión de emplear el *Método de la Tormenta de Ideas* o *Brainstorming* unido con el

En cuanto respecta al ámbito de aplicación de esta metodología, idónea para generar una gran cantidad de ideas en un corto periodo de tiempo, destaca su aplicación para:

- ↪ Nuevos productos o servicios o modificaciones a los que ya existen
- ↪ Aplicaciones para nuevos materiales
- ↪ Nuevos segmentos del mercado
- ↪ Nuevas formas de desarrollar una ventaja competitiva
- ↪ Identificación de oportunidades para la localización de nuevas unidades empresariales.
- ↪ Nuevas técnicas promocionales para productos y servicios

Finalmente, se resumen las principales características de este método o técnica de creatividad:

- ↪ Versatilidad en su aplicación, ya que puede ser aplicado a diversos sistemas y situaciones. Incluso, a través de la combinación de los componentes, se pueden establecer nuevos planteamientos para la innovación de los sistemas
- ↪ La provisión de nuevos conocimientos. El problema o sistema a menudo se presenta de tal manera que se logra un mayor entendimiento de un concepto. El análisis morfológico brinda conocimientos claves respecto de nuevas orientaciones de la investigación
- ↪ Abundancia de datos. El análisis morfológico puede ofrecer un gran número de combinaciones y permutaciones aún sin explorar
- ↪ Análisis sistemático. Esta técnica permite la realización de un análisis sistemático de la estructura actual y futura de un sistema y la identificación de vacíos claves
- ↪ Caos en la elección de los vínculos. Si bien el método del análisis morfológico facilita la producción amplia de la combinación de componentes, por esta misma razón se puede generar el caos en la elección de los vínculos y en las relaciones de los mismos
- ↪ El error humano. El desarrollo de las cajas morfológicas exige la formulación de opiniones críticas. Si los procesos de pensamiento subyacentes no son perspicaces, los resultados del método estarán incompletos

1.1.1.- Fases del Análisis Morfológico de Ideas o Método de Zwicky

En los siguientes puntos se exponen los cinco pasos fundamentales del Análisis Morfológico de Ideas que su autor, Fritz Zwicky, describe para su uso o aplicación: [22]

- ↪ *Fase 1:* La definición clara y precisa del problema que se quiere tratar, para así proceder a una formulación adecuada y correcta del mismo, así como la definición de los criterios de selección y evaluación de las soluciones
- ↪ *Fase 2:* Identificación de todos los parámetros y variables caracterizadores del problema en cuestión
- ↪ *Fase 3:* Construcción de la matriz multidimensional (Morphological Box), la cual debe contener todos los parámetros / variables identificados en el paso 2
- ↪ *Fase 4:* Todas las posibles soluciones de la caja morfológica multidimensional, deberán ser examinadas de la manera más objetiva posible en términos de su factibilidad; analizadas y evaluadas con respecto a los propósitos o requisitos, que deben ser alcanzados
- ↪ *Fase 5:* Las mejores soluciones identificadas en el paso 4 deberán ser analizadas en detalle en cuanto a su funcionalidad así como su factibilidad de ser materializada en términos de los recursos disponibles

La siguiente imagen se presenta esquemáticamente los pasos resumidos anteriormente:

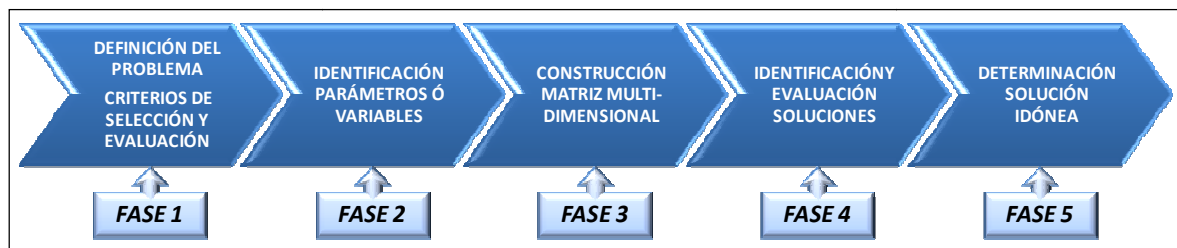


FIGURA 88: FASES DEL ANÁLISIS MORFOLÓGICO DE IDEAS O MÉTODO DE ZWICKY

1.2.- MÉTODO DE COMPARATIVA MATRICIAL DOS A DOS

Tal y como se exponía en el punto anterior, la aplicación del Análisis Morfológico de Ideas o Método de Zwicky permite la generación la producción de nuevos conceptos o ideas, las cuales deben ser evaluadas de manera objetiva y estructurada bajo criterios prefijados para determinar cuál de ellas es la solución que mejor sinergia encuentra frente a estos requisitos y por lo tanto en la que se debe trabajar con más profundidad.

Para llevar a cabo esta evaluación, pasos 4 y 5 de la técnica creativa anteriormente expuesta, se decidió emplear el *Método de Comparación Matricial Dos a Dos* o *Paarweiser Vergleich Methode* en el cual las variantes se comparan de manera objetiva una frente a otra, evaluando de esta manera cuál de ellas es mejor bajo un criterio especificado. [11]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7	Variante 8	Variante 9	Variante 10
1	Variante 1	2	3	1	5	1	1	9	10	
2		Variante 2	2	2	2	2	2	2	2	
3			Variante 3	3	5	3	3	9	3	
4				Variante 4	5	4	8	9	4	
5					Variante 5	5	5	5	5	
6						Variante 6	6	8	9	6
7							Variante 7	8	9	7
8								Variante 8	9	8
9									Variante 9	9
10										Variante 10

FIGURA 89: MÉTODO DE COMPARACIÓN MATRICIAL DOS A DOS

Las formas de evaluación de esta comparativa dos a dos suelen ser variadas destacando la diferenciación directa (qué solución es mejor que otra) y la evaluación mediante factores 0,1 y 2 (0 peor, 1 neutral, 2 mejor) o 0% a 100% (grado de importancia relativa). También cabe destacar que, como paso previo a la evaluación de las variantes, es posible utilizar esta metodología para determinar la importancia o criticidad de los requisitos o criterios de evaluación obteniendo de esta manera unos resultados más precisos en la misma.

Las principales características de esta técnica son:

- ↳ *Objetividad.* La comparativa directa entre las variantes bajo un criterio determinado no da lugar a evaluaciones subjetivas
- ↳ *Sencillez de manejo con potencial de analizar las variantes bajo numerosos criterios.* Se construyen tantas matrices de evaluación como criterios a evaluar en las cuales las diferentes variantes son evaluadas directamente
- ↳ *Capacidad para mostrar las diferencias pequeñas entre dos soluciones.* La comparativa directa identifica qué solución es mejor que otra de manera individual bajo un determinado criterio sin considerar los demás (por ejemplo, el peso de un componente)
- ↳ *Los requisitos no deben de estar interrelacionados entre sí.* Para lograr una evaluación lo más objetiva posible es necesario que los criterios sean independientes

2.- DETERMINACIÓN DE LA SOLUCIÓN IDÓNEA

Habiendo quedado descrita la metodología a utilizar y las fases de la misma en el punto anterior, se procede a continuación a la aplicación de ésta con el objetivo de generar las posibles soluciones al problema planteado, desarrollo de un nuevo concepto de brazo de suspensión para vehículos automóviles, evaluarlas y determinar cuál es la solución idónea en la que se profundizará en los siguientes capítulos de la Tesis Doctoral.

2.1.- FASE 1: ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE SOLUCIONES

2.1.1.- Análisis y Definición del Problema

En el apartado *Situación de Partida* de la Fase del proyecto de innovación *Análisis Pre-Innovación* se exponían los principales condicionantes socioeconómicos que afectan a día de hoy a la industria automovilística, haciendo especial hincapié en aquellos que afectan a la empresa ZF Lemförder GmbH y a sus productos en particular, quedando esta problemática resumida en la Tabla 11 del presente documento.

Posteriormente en el apartado *Necesidad de Innovación* de la misma Fase se hacía un análisis del ciclo de vida de los diferentes conceptos de brazos de suspensión ofertados en la actualidad por la misma empresa, en el que se concluía con la necesidad imperiosa de innovación para el brazo de suspensión.

Finalmente, y para completar el círculo, se estudiaban en el apartado *Estado del Conocimiento* de la Fase *Generación y Evaluación de Ideas & Soluciones* los requisitos funcionales del brazo de suspensión, los cuales se resumen en la Tabla 19 del mismo.

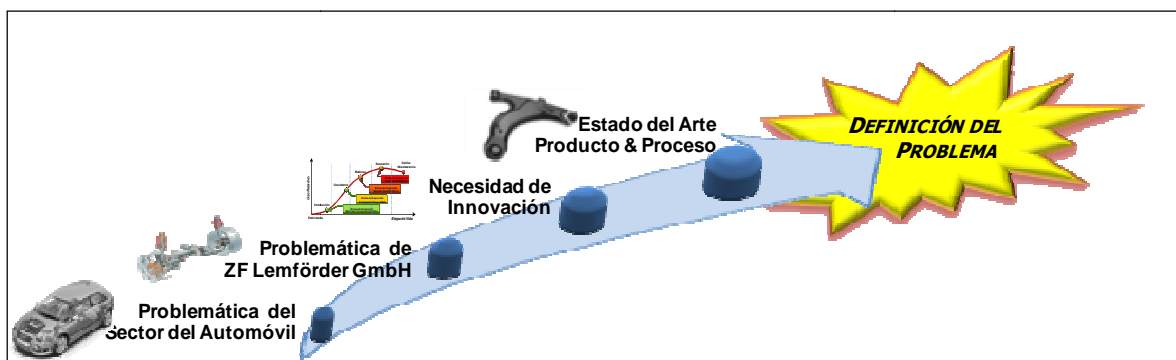


FIGURA 90: PROCESO PARA EL ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Tras este exhaustivo análisis del mercado, del producto y del proceso se determinaron las líneas básicas de investigación a emprender para el desarrollo del nuevo concepto de brazo de suspensión, las cuales quedan recogidas en la siguiente tabla:

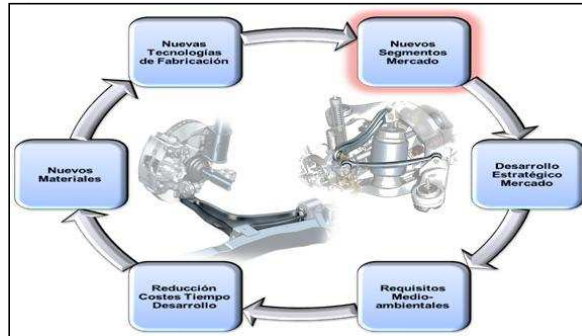


FIGURA 91: LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN PARA EL FUTURO BRAZO DE SUSPENSIÓN

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN PARA EL FUTURO BRAZO DE SUSPENSIÓN		
FACTOR CONDICIONANTE	SOLUCIÓN	
SOCIOECONÓMICOS	<ul style="list-style-type: none"> ♦ NUEVOS SEGMENTOS DE MERCADO Y DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS DE PROPULSIÓN 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DESARROLLO DE UN NUEVO CONCEPTO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN PARA EL EJE DELANTERO DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES, CONCRETAMENTE PARA LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES DE LOS SEGMENTOS A Y B → VEHÍCULO URBANO O CITY-CAR
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DESARROLLO ESTRATÉGICO DEL MERCADO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DESARROLLO DE UN NUEVO CONCEPTO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN DE DISEÑO VANGUARDISTA CON ALTO CONTENIDO TECNOLÓGICO PARA AUMENTAR EL VALOR AÑADIDO DEL PRODUCTO ♦ DESARROLLO DE NUEVOS PROCESOS PRODUCTIVOS PARA EL NUEVO CONCEPTO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN QUE PERMITAN LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE CICLO, INVERSIONES DE MÁQUINA, COSTES LOGÍSTICOS, ETC.
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ REQUISITOS MEDIOAMBIENTALES 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DESARROLLO DE UN NUEVO CONCEPTO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN DE PESO REDUCIDO PARA CONTRIBUIR A LA REDUCCIÓN DE PESO DEL VEHÍCULO AUTOMÓVIL EN SU CONJUNTO → EMPLEO DE NUEVOS MATERIALES ♦ DESARROLLO DE NUEVOS PROCESOS PRODUCTIVOS PARA EL NUEVO CONCEPTO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN QUE USEN LA ENERGÍA MÁS EFICIENTEMENTE ♦ DESARROLLO DE UN NUEVO CONCEPTO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN QUE CUMPLA CON LAS NORMATIVAS MEDIOAMBIENTALES DE RECICLABILIDAD
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ REDUCCIÓN DE TIEMPO Y COSTES DE DESARROLLO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DESARROLLO DE HERRAMIENTAS DE DISEÑO VIRTUAL PARA LA DEFINICIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA GEOMETRÍA ASÍ COMO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DEL NUEVO CONCEPTO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN → REDUCCIÓN NÚMERO DE PROTOTIPOS A FABRICAR, ENSAYOS EN PIEZA FÍSICA, ETC.
FUNCIONALES	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DESARROLLO DE UN NUEVO CONCEPTO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN CON ALTA CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN DE COMPONENTES → INTEGRACIÓN DE RÓTULA, SILENTBLOCKS, ETC. ♦ TANTO EL MATERIAL COMO EL PROCESO PRODUCTIVO DEBEN GARANTIZAR: <ul style="list-style-type: none"> > DISEÑO COMPACTO, ROBUSTO Y ECONÓMICO > FLEXIBILIDAD DE DISEÑO PARA PODER CONECTAR LOS PUNTOS CINEMÁTICOS > RESISTENCIA FRENTE A CARGAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS > RESISTENCIA A LA CORROSIÓN ♦ DESARROLLO DE NUEVOS PROCESOS PRODUCTIVOS PARA EL NUEVO CONCEPTO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN QUE PERMITAN LA INTEGRACIÓN DE SUS COMPONENTES 	

TABLA 21: LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN PARA EL FUTURO BRAZO DE SUSPENSIÓN

De entre todas las líneas de investigación expuestas hay una que condiciona especialmente al resto, el desarrollo de nuevos segmentos de vehículos automóviles. Esta situación se debe a que en función de la arquitectura o estructura de este vehículo se definirá un sistema de chasis, un sistema de suspensión y finalmente un concepto de brazo de suspensión (2 puntos, 3 puntos, etc.) con sus consiguientes requisitos en cuanto a geometría (packaging), peso, elementos a integrar, relación con los elementos adyacentes, etc.

Por este motivo es necesario profundizar en la definición del concepto de brazo de suspensión alojado en el eje delantero de los vehículos automóviles de los segmentos A y B y a partir de ésta construir nuestro escenario de generación y análisis de soluciones alternativas que sigan las líneas marcadas en la tabla anterior.

2.1.2.- Definición del Concepto de Brazo de Suspensión: Segmentos A & B

En el apartado *Estado del Conocimiento* de la Fase *Generación y Evaluación de Ideas & Soluciones* se expuso y analizó la estructura del vehículo automóvil desde el vehículo completo hasta el brazo de suspensión pasando por los sistemas chasis y sistema de suspensión, profundizando especialmente en este último sistema ya que en él queda integrado el brazo de suspensión, componente objeto de los trabajos de investigación aquí presentados.

En este estudio detallado se analizó la distribución de los sistemas de suspensión por segmento de vehículo automóvil, figuras 73 y 74, donde se observa que los segmentos A y B integran en su mayoría una suspensión independiente, suspensión Mc Pherson, en el eje delantero y una suspensión semiindependiente, suspensión de viga torsional, en el eje trasero.

Esto nos lleva a la necesidad de profundizar en el análisis de este sistema de suspensión independiente delantera estudiando los componentes que la integran haciendo especial hincapié en el brazo de suspensión para poder así tener una idea clara del concepto o conceptos de brazos de suspensión que ésta integra.

2.1.2.1.- El Sistema de Suspensión Mc Pherson

Esta suspensión, basada parcialmente en diseños creados por Guido Fornaca de FIAT a mediados de la década de 1920, fue desarrollada en 1949 por Earle Mc Pherson, ingeniero de Ford del cual recibe su nombre. ^[20]

El sistema Mc Pherson incorpora una conexión inferior entre la rueda y el chasis proporcionada de varias maneras diferentes, como un brazo transversal y otro longitudinal, o un brazo triangular de diferentes formas, cuya misión es la de soportar las fuerzas transversales y longitudinales. La figura inferior muestra un modelo detallado de una suspensión Mc Pherson con brazo inferior de tres puntos y barra estabilizadora.

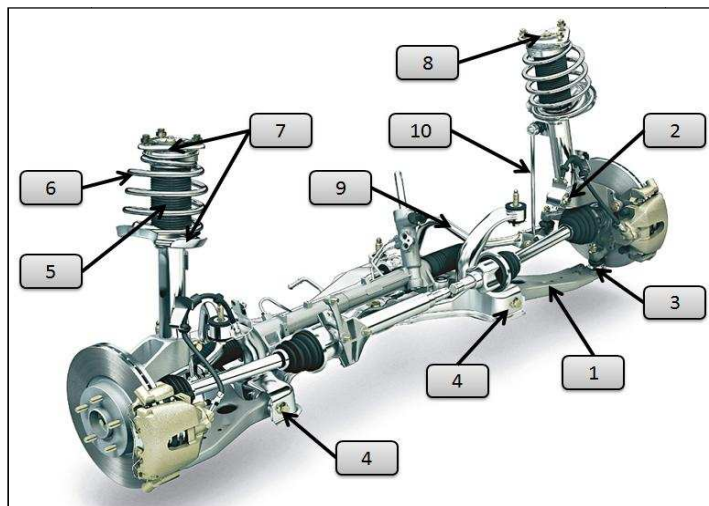


FIGURA 92: SISTEMA DE SUSPENSIÓN MCPHERSON

En este sistema de suspensión la mangueta va unida al bastidor a través de dos elementos característicos de toda suspensión McPherson:

- ↳ *El brazo de suspensión:* El brazo inferior (1) va unido a la mangueta (2) mediante una rótula esférica (3) y unido al bastidor mediante dos silentblocks (4).
- ↳ *El conjunto muelle helicoidal-amortiguador.* El amortiguador (5) va anclado de forma fija a la parte superior de la mangueta (2) y el muelle (6) es concéntrico al amortiguador y está sujeto mediante dos copelas una superior y otra inferior (7). El amortiguador está unido al bastidor por su parte superior mediante un cojinete de agujas y una placa de fijación (8) a través de la cual se transmiten todos los esfuerzos al chasis. Esta disposición hace necesario un dimensionado más rígido de la carrocería en la zona de apoyo de la placa de fijación con objeto de absorber los esfuerzos transmitidos por la suspensión. Finalmente cabe destacar que en las ruedas delanteras se hace necesaria la existencia de este cojinete axial ya que el amortiguador al ser solidario a la mangueta gira con ésta al actuar la dirección.
- ↳ Como elementos complementarios a esta suspensión se encuentra la barra estabilizadora (9) unida al conjunto muelle helicoidal-amortiguador mediante un estabilizador (10).

Todos estos elementos del sistema de suspensión Mc Pherson forman un sistema multifuncional que integra diferentes funciones tales como asegurar el control sobre el movimiento vertical y de balanceo, amortiguamiento y soporte del sistema llanta neumático, las cuales se resumen en la siguiente tabla:

COMPONENTES Y FUNCIONES SISTEMA DE SUSPENSIÓN MC PHERSON								
CONJUNTO -	COMPONENTES	FUNCIÓN						
		CONTROL VERTICAL	CONTROL BALANCEO	SOPORTE RUEDA	AMORTIGUAMIENTO BAJA FRECUENCIA	AMORTIGUAMIENTO ALTA FRECUENCIA	CARGAS DE IMPACTO	SOPORTE MONTAJE COMPONENTES
COLUMNA MC PHERSON	MUELLE	●	--	--	--	--	--	--
	AMORTIGUADOR	--	--	●	●	--	--	--
	COPELA SUPERIOR	--	--	--	--	●	--	●
	TOPES ELÁSTICOS	●	--	--	--	--	●	--
	MANGUETA	--	--	--	--	--	--	●
BRAZO DE SUSPENSIÓN	BRAZO	--	--	●	--	--	--	●
	RÓTULA	--	--	●	--	--	--	●
	SILENTBLOCKS	--	--	--	--	●	●	●
SISTEMA ESTABILIZADOR	BARRA ESTABILIZADORA	--	●	--	--	--	--	--
	ESTABILIZADOR	--	--	--	--	●	--	●
	SILENTBLOCKS/RÓTULA	--	--	--	--	●	--	●
SUBFRAME	SUBFRAME	--	--	--	--	--	--	●

TABLA 22: COMPONENTES Y FUNCIONES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

En cuanto respecta a la implementación de este concepto de suspensión en los vehículos automóviles se observa que este sistema ha tenido mucho éxito, sobre todo en vehículos más modestos (segmentos A, B y C), por su sencillez de fabricación y mantenimiento, el coste de producción y el poco espacio que ocupa en sentido lateral y longitudinal, lo que lo hace particularmente indicado para coches de tracción delantera y especialmente con construcción monocasco.

Sin embargo como aspecto negativo cabe destacar que requiere de mucho espacio en dirección vertical, lo que limita el diseño en la parte del capó cuando se implementa en el eje delantero y condiciona el espacio o volumen del maletero en el caso de implementarse en el eje trasero. Este hándicap es el que ha provocado que este sistema sea empleado mayoritariamente en el eje delantero existiendo pocos vehículos que lo hayan integrado en

el eje trasero. A continuación se exponen las características de este sistema de suspensión según el eje en el que esté instalado:

↪ *Mc Pherson en el eje delantero.* Cuando una suspensión de tipo Mc Pherson está en el eje de la dirección tiene como sujeción inferior bien un brazo de tres puntos o triángulo con forma de “A” o de “L” o bien dos brazos de dos puntos los cuales forman a su vez un triángulo. En la siguiente imagen se aprecia en la izquierda un sistema de suspensión Mc Pherson del primer tipo, triángulo con forma de “L” y en la derecha el compuesto por dos brazos:

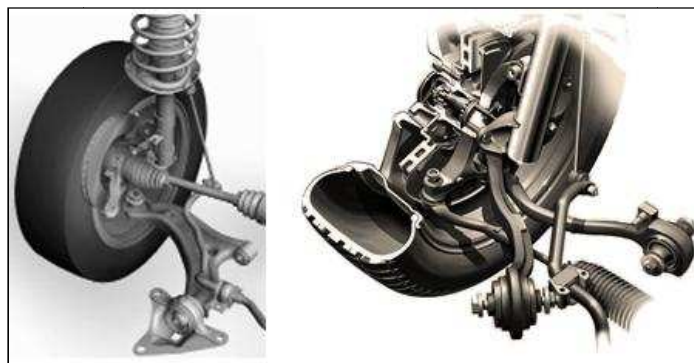


FIGURA 93: SISTEMA DE SUSPENSIÓN MC PHERSON EN EL EJE DELANTERO

↪ *Mc Pherson en el eje trasero.* Cuando hay una suspensión McPherson en un eje que no tiene dirección, lo normal es que haya tres elementos inferiores de unión: dos brazos transversales y uno oblicuo o longitudinal, tal y como se observa en la siguiente imagen.

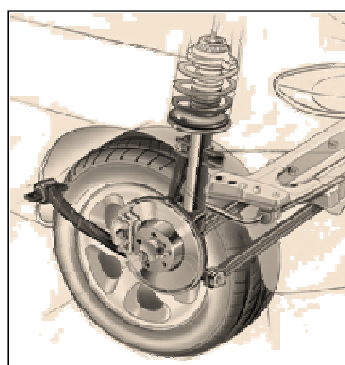


FIGURA 94: SISTEMA DE SUSPENSIÓN MC PHERSON EN EL EJE TRASERO

2.1.2.2.- El Brazo de Suspensión del Sistema de Suspensión Mc Pherson

Tal y como se exponía en el punto anterior la suspensión Mc Pherson del eje delantero de un vehículo automóvil puede montar brazos de tres puntos con forma de “A” o de “L” o brazos de dos puntos unidos entre sí formando un triángulo, los cuales están fabricados en la

actualidad en materiales como acero (forja o chapa) y en algunos casos especiales en aluminio (fundición o forja) como se recoge en la tabla 18.

La arquitectura del sistema de suspensión Mc Pherson para el eje delantero requiere que la unión entre el brazo de suspensión y la mangueta (sistema llanta-neumático) posea al menos tres grados de libertad para poder dotar al sistema del movimiento de rotación necesario para conseguir el segundo grado de libertad de la rueda, el giro de la dirección, y de uniones cilíndricas rígido-elásticas con al menos un grado de libertad con el bastidor/subframe para absorber las vibraciones así como los ruidos producidos durante la marcha del vehículo.

Por ello, tal y como se aprecia en la siguiente imagen, los brazos de suspensión de un sistema de suspensión Mc Pherson formado por un brazo de tres puntos en forma de “L” o “A” integran dos silentblocks en su unión con el bastidor o subframe y una rótula la unión con el sistema llanta-neumático, mientras que los brazos de suspensión de un sistema de suspensión Mc Pherson formado por dos brazos de dos puntos unidos entre sí integran un silentblock en su unión con el bastidor o subframe y una rótula la unión con el sistema llanta-neumático.

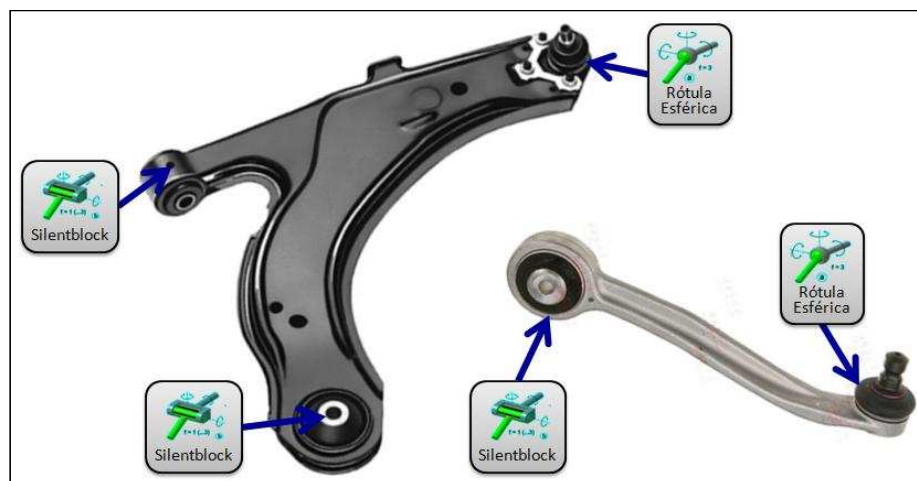


FIGURA 95: ESTRUCTURA DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN MC PHERSON

2.1.3.- Definición de los Campos de Investigación para la Generación de Soluciones

El nuevo concepto de brazo de suspensión para el sistema de suspensión Mc Pherson de los vehículos automóviles de los segmentos A y B debe ser desarrollado teniendo en cuenta todos los factores condicionantes resumidos en la tabla 21, pero haciendo especial hincapié en encontrar el mejor equilibrio en lo que respecta a su peso y los costes totales asociados al

mismo, los cuales resultan de la suma de los costes de material, de los costes de ingeniería de desarrollo del producto y del proceso productivo y de los costes de fabricación. [9]

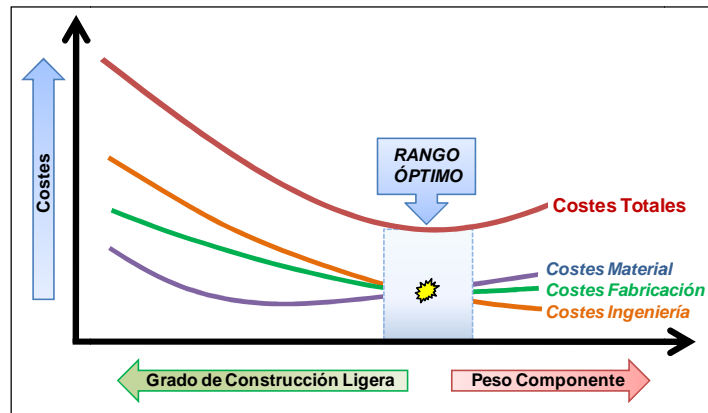


FIGURA 96: RELACIÓN ENTRE LOS COSTES Y EL PESO PARA EL NUEVO COMPONENTE

Analizando la gráfica anterior se observa que para lograr que nuestro componente encuentre la sinergia óptima en cuanto respecta a la relación de costes – peso/ligereza será necesario focalizar los esfuerzos durante la generación de las soluciones en tres campos estratégicos de investigación:

- ↳ *Ingeniería de Materiales:* Sustitución del material original por otro material con mejores propiedades específicas de peso. Esto se puede lograr mediante la sustitución de materiales convencionales, acero forjado por ejemplo, por nuevos aceros de mayor resistencia, aleaciones de aluminio, materiales híbridos, compuestos, etc.
- ↳ *Ingeniería de Diseño del Proceso Productivo:* Desarrollo de nuevos procesos de fabricación que permitan el empleo efectivo y flexible de los nuevos materiales así como la integración de funciones en el componente con la consiguiente reducción de piezas/uniones lo cual permitirá lograr un comportamiento más homogéneo del componente durante su vida útil. Además de todo esto, los nuevos procesos productivos deben ser económicos en cuanto respecta a las inversiones en maquinaria, mano de obra, consumo energético, etc. para lograr reducir los costes asociados a los mismos y por consiguiente los costes del componente.
- ↳ *Ingeniería de Diseño del Producto:* Capacidad de adaptación de la geometría del componente a las características y requisitos del nuevo material para lograr la utilización óptima de las propiedades del mismo. Para ello se estudiarán las propiedades del material junto con el estado tensional del componente durante su vida útil para finalmente ajustar la geometría del mismo mediante la utilización de refuerzos locales, geometrías en celosía para conseguir reducciones de peso, etc.

2.1.4.- Definición de los Criterios Evaluación de las Posibles Soluciones

Finalmente, una vez definidas los campos de investigación para la búsqueda y selección de las posibles soluciones, se establecen los criterios de evaluación con los que se examinarán las mismas.

En los siguientes puntos se definen estos criterios de evaluación, los cuales recogen por un lado los aspectos críticos globales de cada uno de los diferentes factores condicionantes expuestos en la tabla 10 de la fase *Análisis Pre-Innovación*, centrándose por otro lado en los aspectos críticos concretos del desarrollo de un nuevo concepto de brazo de suspensión resumidos en la tabla 21:

- ↪ *Flexibilidad*: Capacidad de adoptar diferentes geometrías para lograr conectar los puntos cinemáticos del sistema de suspensión
- ↪ *Innovación*: Determinación del grado de innovación de la solución. Posibilidad de proteger la nueva solución mediante una patente
- ↪ *Costes Material*: Evaluación de los costes de la materia prima. Determinación de la solución más económica (capacidad de empleo de materiales económicos)
- ↪ *Costes Proceso. Inversiones & Tiempo de Ciclo*: Evaluación de las inversiones necesarias para la posterior fabricación en serie del componente y de los tiempos ciclo asociados. Determinación de la solución más económica (inversiones & tiempos)
- ↪ *Reducción de Peso. Resistencia Específica*: Evaluación de la relación entre la densidad y la resistencia del material. Determinación de la solución con el mejor ratio en la relación ρ/σ
- ↪ *Integración de Componentes*: Capacidad de integración de los componentes que forman el brazo de suspensión (rotula, silentblocks, elementos electrónicos,...)
- ↪ *Eco-Producto & Proceso*: Evaluación de la reciclabilidad del producto una vez finalizada su vida útil y de los costes energéticos del proceso de fabricación

2.1.4.1.- Determinación del Peso Específico de los Criterios de Evaluación

Los criterios de evaluación definidos anteriormente no poseen la misma importancia o criticidad, por lo cual es necesario evaluar el peso específico de cada uno de ellos frente a los demás para determinar cuáles son los factores con mayor influencia. Gracias a esta evaluación se podrá establecer una jerarquía de los criterios de evaluación a la vez que se

obtendrán unos coeficientes de criticidad para cada uno de ellos los cuales se aplicarán como factores de corrección del análisis final de las posibles soluciones.

La estimación de la importancia relativa de estos criterios de evaluación se realizará mediante la técnica de comparación matricial dos a dos bajo las siguientes ponderaciones:

- ↪ 100%: Criterio A es más bastante más importante que el Criterio B
- ↪ 75%: Criterio A es más importante que el Criterio B
- ↪ 50%: Criterio A es igual de importante que el Criterio B
- ↪ 25%: Criterio A es menos importante que el Criterio B
- ↪ 0%: Criterio A es bastante menos importante que el Criterio B

La siguiente tabla recoge los resultados de la evaluación junto con los pesos específicos de los diferentes criterios de evaluación que como se indicaba anteriormente serán utilizados en la evaluación final de las soluciones generadas:

	Flexibilidad	Innovación	Costes Material	Costes Proceso (€ & t)	Peso. Resist. Especifica	Integración Comp.	Eco-Diseño	Suma Evaluación	Peso Específico %
1 Flexibilidad		25%	25%	25%	25%	25%	75%	200%	9,5%
2 Innovación	75%		50%	50%	25%	25%	75%	300%	14,3%
3 Costes Material	75%	50%		50%	25%	25%	75%	300%	14,3%
4 Costes Proceso (€ & t)	75%	50%	50%		50%	50%	75%	350%	16,7%
5 Peso. Resist. Especifica	75%	75%	75%	50%		50%	100%	425%	20,2%
6 Integración Comp.	75%	75%	75%	50%	50%		75%	400%	19,0%
7 Eco-Diseño	25%	25%	25%	25%	0%	25%		125%	6,0%
								2100%	100,0%

FIGURA 97: MATRIZ PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN

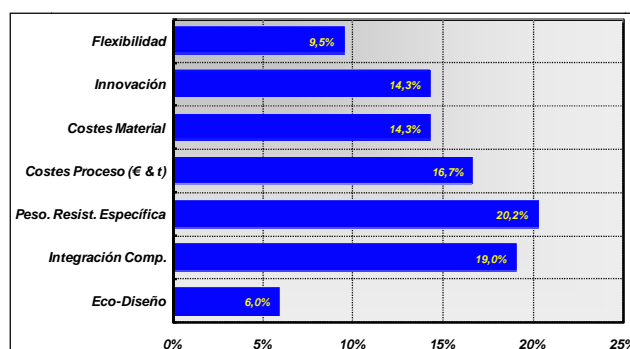


FIGURA 98: PESO ESPECÍFICO DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN

2.2.- FASE 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS Y VARIABLES

2.2.1.- Definición de los Parámetros Caracterizadores del Problema

El primer requisito a tener en cuenta cuando se definen los parámetros para la posterior generación de soluciones es el de que el nuevo concepto de brazo de suspensión para el sistema de suspensión Mc Pherson debe tener la misma funcionalidad global que el concepto actual, la conexión del sistema llanta-neumático, de la mangueta, con el sistema chasis, con el bastidor o subframe.

Asimismo, tal y como se exponía en los puntos anteriores, es preciso que este nuevo concepto alcance un equilibrio entre los costes y ligereza, por ello los parámetros caracterizadores del problema deben estar englobados dentro en los campos de investigación mostrados en la siguiente figura, los cuales, como en ésta se observa, se encuentran interrelacionados entre sí de manera que la modificación de uno de ellos afectará directamente a los otros:

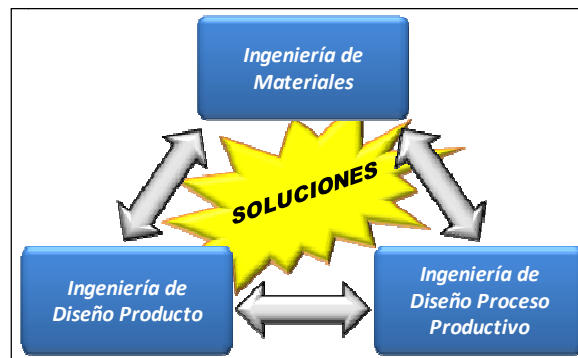


FIGURA 99: CAMPOS DE INVESTIGACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE SOLUCIONES

Estos condicionantes unidos a la complejidad del sistema conduce a tomar la decisión de descomponer el sistema brazo de suspensión en los subsistemas/funciones que lo integran para poder de esta manera determinar los parámetros de cada uno los subsistemas de manera individual y generar soluciones o variables particulares para los mismos, las cuales después se combinarían de manera conjunta en la matriz morfológica.

De esta manera se descompone el brazo de suspensión en los diferentes subsistemas o funciones que lo componen, ya detallados en los puntos anteriores, los cuales son:

- ↳ *Función Rótula:* Unión del brazo de suspensión con el sistema llanta-neumático, con la mangueta

↪ *Función Silentblock*: Unión del brazo de suspensión con el sistema chasis, con el bastidor o subframe. En el caso de un brazo de dos puntos sólo existirá uno mientras que para un brazo de tres puntos se podrá diferenciar entre un silentblock delantero y otro trasero

↪ *Función Estructural*: Elemento estructural que integra y une a la vez todas estas funciones

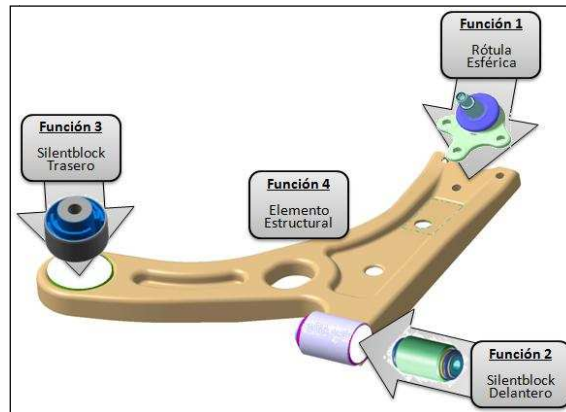


FIGURA 100: FUNCIONES QUE INTEGRAN EL BRAZO DE SUSPENSIÓN

Una vez definidos las funciones o subsistemas a estudiar se procedió a realizar una tormenta de ideas utilizando la técnica de los mapas mentales para generar los parámetros caracterizadores de cada uno de ellos, cuyos resultados se recogen a continuación:

↪ Mapa Mental Parámetros Caracterizadores y Variables de la función Elemento Estructural

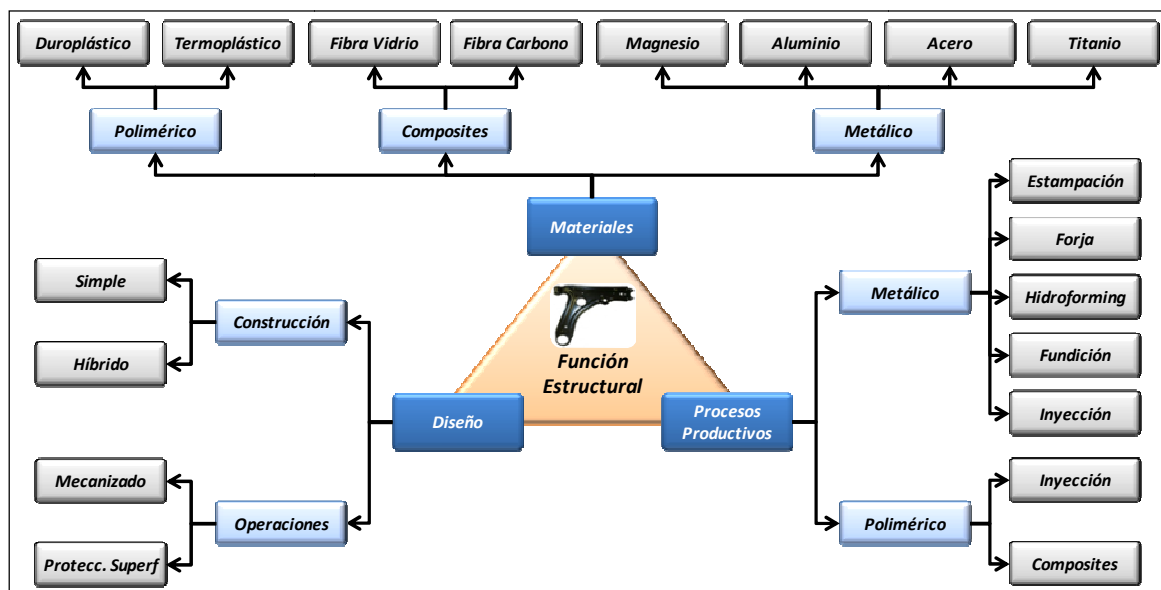


FIGURA 101: MAPA MENTAL PARÁMETROS CARACTERIZADORES Y VARIABLES DE LA FUNCIÓN ELEMENTO ESTRUCTURAL

↳ Mapa Mental Parámetros Caracterizadores y Variables de la Función Rótula

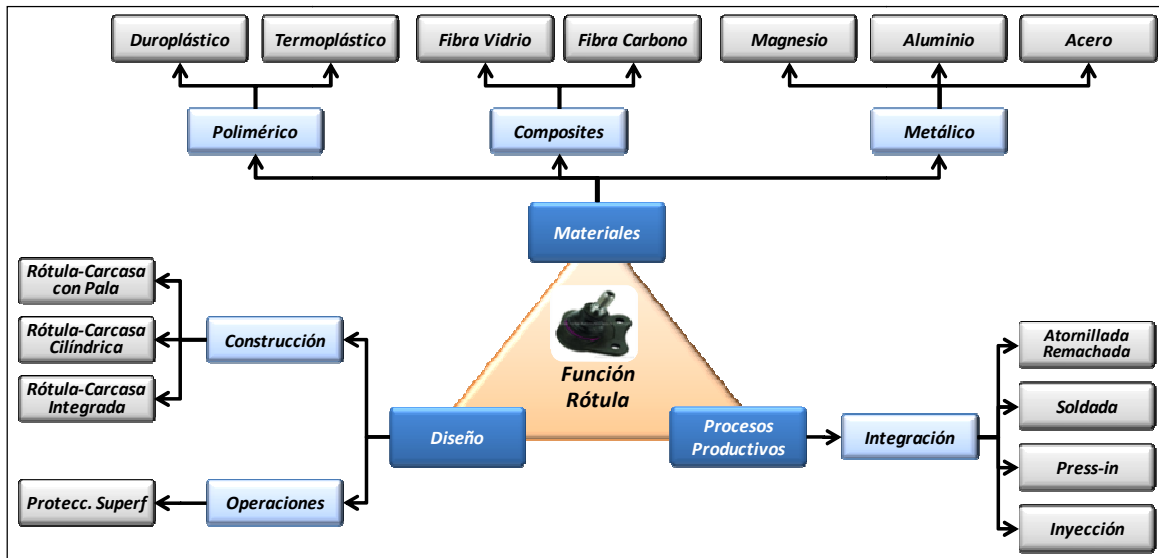


FIGURA 102: MAPA MENTAL PARÁMETROS CARACTERIZADORES Y VARIABLES DE LA FUNCIÓN RÓTULA

↳ Mapa Mental Parámetros Caracterizadores y Variables de la Función Silentblock

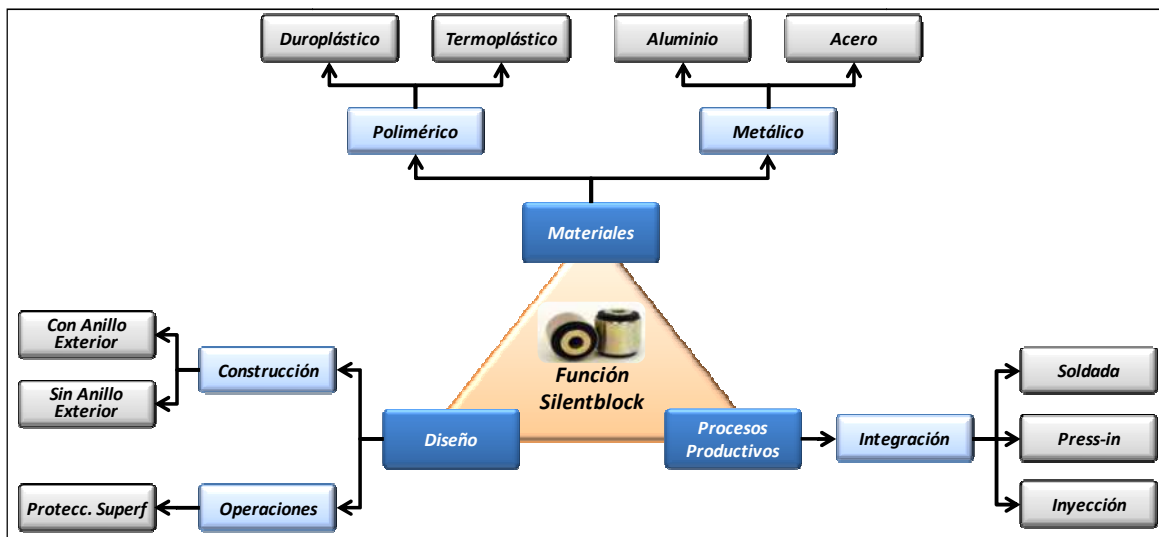


FIGURA 103: MAPA MENTAL PARÁMETROS CARACTERIZADORES Y VARIABLES DE LA FUNCIÓN SILENTBLOCK

2.2.2.- Descripción de los Parámetros y Variantes Caracterizadores del Problema

Con los parámetros caracterizadores del sistema así como las variables de los mismos para cada uno de los componentes ya definidos, se aborda en los siguientes puntos la descripción de cada uno de ellos con el objetivo por un lado, de detallar la idea esbozada en los mapas mentales, así como el de preparar la información necesaria para la posterior evaluación de soluciones.

2.2.2.1.- Parámetro Característico: Procesos Productivos

Un proceso productivo, también denominado proceso industrial o de fabricación, es el conjunto de operaciones necesarias para modificar las características de las materias primas. Dichas características pueden ser de naturaleza muy variada tales como la forma, la densidad, la resistencia, el tamaño, la estética, etc.

Para la obtención de un determinado producto serán necesarias multitud de operaciones individuales de modo que, dependiendo de la escala de observación, puede denominarse proceso tanto al conjunto de operaciones desde la extracción de los recursos naturales necesarios hasta la venta del producto como a las realizadas en un puesto de trabajo con una determinada máquina-herramienta.

Con el fin de definir conceptos universales para los procesos de producción, así como crear una visión general de la división en grupos y subgrupos de los mismos se redactó la norma alemana “*DIN 8580 Fertigungsverfahren: Begriffe, Einleitung*”. [3] [21]

PROCESOS DE FABRICACIÓN NORMA DIN 8580:2003-09					
CLASIFICACIÓN SEGÚN FENÓMENOS FÍSICOS					
CONFORMADO DEL CUERPO	CAMBIO DE LA GEOMETRÍA/FORMA DEL CUERPO				MODIFICACIÓN PROPIEDADES MATERIAL
CLASIFICACIÓN SEGÚN MODIFICACIÓN DE LA COHESIÓN DEL MATERIAL					
GENERACIÓN COHESIÓN	CONSERVACIÓN COHESIÓN	REDUCCIÓN COHESIÓN	INCREMENTO COHESIÓN		SIN CAMBIOS
GRUPO 1 URFORMEN	GRUPO 2 UMFORMEN	GRUPO 3 TRENEN	GRUPO 4 FÜGEN	GRUPO 5 BESCHICHTEN	GRUPO 6 STOFFEIGENSCHAFT ÄNDERN
CONFORMADO BÁSICO MOLDEO	CONFORMADO SIN ARRANQUE DE MATERIAL	CONFORMADO CON ARRANQUE DE MATERIAL	PROCESOS DE UNIÓN O MONTAJE	PROCESOS DE RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL	ALTERACIÓN CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL
♦ FABRICACIÓN DE UN CUERPO SÓLIDO A PARTIR DE MATERIAL SIN FORMA PREVIA	♦ MODIFICACIÓN PLÁSTICA DE LA FORMA DE UN CUERPO SÓLIDO MEDIANTE PROCESO MECÁNICO	♦ MODIFICACIÓN DE LA FORMA DE UN CUERPO SÓLIDO MEDIANTE LA ELIMINACIÓN LOCAL DE MATERIAL	♦ MODIFICACIÓN DE LA FORMA DE UN CUERPO SÓLIDO MEDIANTE LA UNIÓN CON OTRO CUERPOS	♦ MODIFICACIÓN CUERPO SÓLIDO MEDIANTE LA ADICCIÓN DE OTRO MATERIAL EN SUPERFICIE	♦ MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN MATERIAL MEDIANTE PROCESO TERMOQUÍMICO

TABLA 23: PROCESOS DE FABRICACIÓN SEGÚN NORMA DIN 8580:2003-09

Esta norma, tal y como se observa en la tabla anterior, clasifica los procesos de producción en seis grupos principales atendiendo a los fenómenos físicos que se producen en el material durante el proceso productivo y a la modificación de la cohesión interna del mismo que de ellos se deriva. De esta manera es posible distinguir en primer lugar entre

procesos de creación de forma, de cambio de la misma y de modificación de las propiedades del material y en un segundo nivel es posible clasificarlos en cuanto a la creación o generación de cohesión, conservación, reducción o incrementación de la misma.

Cada uno de estos seis grupos principales engloba otros grupos los cuales a su vez integran nuevos subgrupos. En la siguiente imagen se remarcan en diferentes colores los procesos productivos seleccionados en los mapas mentales de las diferentes funciones del brazo de suspensión, los cuales se analizarán en profundidad a continuación. [6]

1. Stelle Hauptgruppen					
1 Urformen	2 Umformen	3 Trennen	4 Fügen	5 Beschichten	6 Stoffeigenschaft ändern
Definitionen					
Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff	Plastisches Ändern der Form eines festen Körpers	Formändern eines festen Körpers durch örtliches Aufheben des Zusammenhaltes	Zusammenbringen von Werkstücken auch mit formlosem Stoff	Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff	Ändern der Eigenschaften des Werkstoffes, z. B. durch Diffusion, chem. Reaktion, Gitterversetzungen
Zusammenhalt der Teilchen bzw. Bestandteile wird					
geschaffen	beibehalten	vermindert oder aufgehoben	vermehrt		
2. Stelle Gruppen (mit Beispielen)					
1.1 aus dem flüssigen Zustand (Gießen)	2.1 Druckumformen (Walzen, Fließpressen, Schmieden)	3.1 Zerteilen (Scherschneiden)	4.1 Zusammensetzen (Einlegen)	5.1 aus dem flüssigen Zustand (Lackieren)	6.1 Verfestigen durch Umformen (Schmieden)
1.2 aus dem plastischen Zustand (Spritzgießen)	2.2 Zugdruckumformen (Drahtziehen, Tiefziehen)	3.2 bestimmten (Drehen, Bohren, Fräsen)	4.2 Füllen (Einfüllen)	5.2 aus dem plastischen Zustand (Spachteln)	6.2 Wärmebehandeln (Glühen, Härten)
1.3 aus dem breiigen Zustand (Gießen von Keramik)	2.3 Zugumformen (Längen, Weiten, Tiefen)	3.3 unbestimmten (Schleifen, Honen, Läppen)	4.3 An- und Einpressen (Schrumpfen)	5.3 aus dem breiigen Zustand (Verputzen)	6.3 Thermomechanisches Behandeln
1.4 aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand (Pressen, Sintern)	2.4 Biegeumformen (mit drehender Werkzeugbewegung)	3.4 Abtragen (thermisches Trennen, chem. Abtragen)	4.4 Fügen durch Urformen (Ausgießen, Umgießen mit Kunststoff)	5.4 aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand (Wirbelsintern)	6.4 Sintern, Brennen
1.5 aus dem span- oder faserförmigen Zustand	2.5 Schubumformen (Verdrehen)	3.5 Zerlegen (Lösen von Verbindungen)	4.5 Fügen durch Umformen (Nieten, Bördeln)		6.5 Magnetisieren
		3.6 Reinigen (Reinigungsstrahlen)	4.6 Fügen durch Schweißen (Schmelzverbindungs-schweißen)	5.6 durch Schweißen (Schmelzauftrag-schweißen)	6.6 Bestrahlen
			4.7 Fügen durch Löten (Weichlöten, Hartlöten)	5.7 durch Löten (Auftrag-weichlöten)	6.7 Photochemische Verfahren (Belichten)
1.8 aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand			4.8 Kleben	5.8 aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand (Vakuumbedampfen)	
1.9 aus dem ionisierten Zustand (elektrolytisches Abscheiden, Galvanoplastik)			4.9 Textiles Fügen	5.9 aus dem ionisierten Zustand (Galvanisieren)	
Kombinationen zwischen den Gruppen sind möglich					

FIGURA 104: PROCESOS DE FABRICACIÓN SEGÚN NORMA DIN 8580:2003-09

2.2.2.1.1 *Procesos Productivos para el Elemento Estructural*

Para la fabricación del elemento estructural se seleccionaron procesos productivos de dos grupos diferentes:

↳ *Grupo 1. Procesos de conformado básico:* En estos procesos, enmarcados en amarillo en la tabla 104, el cuerpo sólido es conformado a partir del material en estado líquido o granulado. En ocasiones es necesario que estos procesos finales precisen de procesos productivos de conformado con arranque de material para hacer viable la integración de otros componentes

↳ *Grupo 2. Procesos productivos de conformado sin arranque de material:* En estos procesos, enmarcados en azul en la tabla 104, el cuerpo sólido es conformado a partir del material en estado sólido mediante la aplicación de fuerzas mecánicas que producen la deformación plástica o irreversible del mismo. Al igual que en el caso anterior, en ocasiones es necesario que estos procesos finales precisen de procesos productivos de conformado con arranque de material para hacer viable la integración de otros componentes

↳ *Grupos Especiales.* Procesos productivos para la fabricación de materiales compuestos o combinaciones de procesos productivos de los grupos anteriores

A continuación se describen con más detalle los procesos de fabricación propuestos en los mapas mentales a la vez que se detallan sus características más importantes, las cuales nos servirán más adelante para la evaluación de las posibles soluciones:

2.2.2.1.1.1 *Subgrupo 1.1: Conformado a partir del Estado Líquido: Fundición*

Se denomina fundición al proceso de fabricación de piezas, comúnmente metálicas pero también de plástico, consistente en fundir un material, típicamente aleaciones de hierro, acero, bronce, latón y otros, e introducirlo en un molde de arena, madera, metálico, etc. dejarlo solidificar y posteriormente abrir o romper el molde para extraer la pieza fundida

El proceso tradicional es la fundición en arena, por ser ésta un material refractario muy abundante en la naturaleza y que, mezclada con arcilla, adquiere cohesión y moldeabilidad sin perder la permeabilidad que posibilita evacuar los gases del molde al tiempo que se vierte el metal fundido.

Debido a que la precisión y calidad de las piezas obtenida con esta metodología tradicional se encuentra limitada por el tipo de arena y el proceso de moldeo utilizado, se

han desarrollado nuevas soluciones, por un lado para el material del molde y por otro para la forma de introducir el material fundido en el mismo, cuyo objetivo no es otro que el de aumentar la calidad de las piezas resultantes así como la capacidad de producción de esta técnica. De las diferentes técnicas para la obtención del elemento estructural mediante un proceso de fundición se seleccionaron las siguientes:

↳ *Moldeo en arena químico.* Consiste en la elaboración del molde con arena preparada con una mezcla de resinas, el fraguado de estas resinas puede ser por un tercer componente líquido ó gaseoso, ó por autofraguado. De este modo se incrementa la rigidez del molde, lo que permite fundir piezas de mayor tamaño y mejor acabado superficial.

↳ *Moldeo en arena verde mecánico.* Consiste en la automatización del moldeo en arena verde. La generación del molde mediante prensas mecánicas o hidráulicas, permite obtener moldes densos y resistentes que subsanan las deficiencias del moldeo tradicional en arena verde. Se distingue:

↳ *Moldeo Horizontal.* A finales de los años 50 los sistemas de pistones alimentados hidráulicamente fueron usados para la compactación de la arena en los moldes. Estos métodos proporcionaban mayor estabilidad y precisión en los moldes. A finales de los años '60 se desarrolló la compactación de los moldes con aire a presión lanzado sobre el molde de arena pre-compactado

↳ *Moldeo vertical.* En 1962 la compañía danesa Dansk Industri Syndikat (DISA) implementó una ingeniosa idea de moldeo sin caja aplicando verticalmente presión. Las primeras líneas de este tipo podrían producir 240 moldes por hora y hoy en día las más modernas llegan a unos 550 moldes por hora. Aparte de la alta productividad, de los bajos requerimientos de mano de obra y de las precisiones en las dimensiones, este método es muy eficiente

↳ *Moldeo o fundición en coquilla o molde es metálico.* La fundición en moldes permanentes hechos de metal es utilizada para la producción masiva de piezas de mediano tamaño, de alta calidad y con metales de baja temperatura de fusión. Sus ventajas son que tienen gran precisión y son muy económicos, cuando se producen grandes cantidades. En este proceso el metal líquido se inyecta a presión en un molde metálico (matriz), la inyección se hace a una presión entre 10 y 14 MPa, las piezas logradas con este procedimiento son de gran calidad en lo que se refiere a su terminado y a sus dimensiones. Este procedimiento es uno de los más utilizados para la producción de grandes cantidades de piezas fundidas.

En las siguientes imágenes se muestran las técnicas detalladas anteriormente: [1] [17]

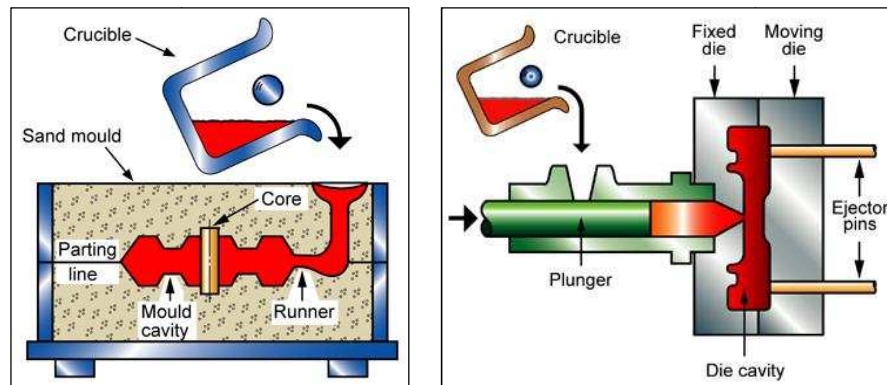


FIGURA 105: PROCESO DE FUNDICIÓN EN MOLDE DE ARENA Y EN MOLDE METÁLICO O COQUILLA

Finalmente se resumen las particularidades o características técnicas de este proceso productivo:

- ↪ Productividad: Rangos de producción entre 50 piezas/hora para el moldeo en arena y de 400 piezas/hora para el caso de moldeo en coquilla
- ↪ Inversiones:
- ↪ Fundición en arena: Bajas. Bajo grado de automatización
- ↪ Fundición en molde metálico: Altas. Posibilidad de automatizar el proceso completo
- ↪ Costes y tiempos de fabricación de utillaje:
- ↪ Fundición en arena: Cortos tiempos de fabricación de utillajes con costes también bajos lo cual los hace aptos para pequeños volúmenes de fabricación
- ↪ Fundición en molde metálico: Los costes así como los tiempos de fabricación son altos, lo cual limitan su flexibilidad de aplicación
- ↪ Calidad del Componente. Existencia de porosidad así como impurezas en la pieza lo cual limita su resistencia frente a cargas dinámicas
- ↪ Flexibilidad de diseño. Posibilidad de generar geometrías complejas gracias a la perfecta adaptación del material en estado líquido a la geometría del molde
- ↪ Precisan de procesos productivos de conformado con arranque de material para hacer viable la integración de otros componentes

2.2.2.1.1.2 Subgrupo 1.2: Conformado a partir del Estado Sólido: Moldeo por Inyección

Se denomina inyección al proceso de fabricación de piezas, comúnmente plásticas pero también de aleaciones metálicas ligeras, consistente en inyectar el material en estado fundido, visco plástico o ahulado en un molde cerrado a presión y temperado, a través de un orificio pequeño llamado compuerta, en el cual el material se solidifica. La pieza final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada. [11][17]

El moldeo por inyección es una técnica muy popular hoy en día para la fabricación de artículos muy diferentes y con diferentes materiales. Esta popularidad se debe a la evolución de esta técnica la cual ha ido acompañada de la evolución de los materiales poliméricos y el desarrollo de granulados de metales ligeros.

Fruto de la evolución conjunta de los materiales poliméricos así como de la técnica productiva se desprende el que estos materiales hayan logrado sustituir en la actualidad otros materiales como son la madera, los metales, las fibras naturales, las cerámicas y hasta las piedras preciosas.

En la siguiente imagen se muestra el funcionamiento de esta técnica:

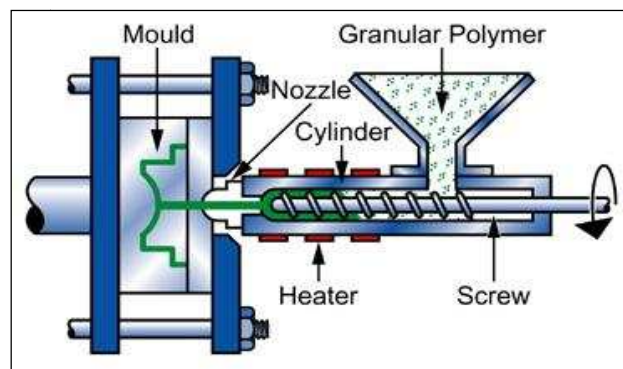


FIGURA 106: PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN

Finalmente se resumen las particularidades o características técnicas de este proceso productivo:

- ↪ Productividad: Rangos de producción de hasta 2500 piezas/hora dependiendo del tamaño de las mismas y cavidades del molde
- ↪ Inversiones: Medias-Altas dependiendo el volumen de fabricación y de la complejidad de la pieza la cual determinará la capacidad de la máquina. Posibilidad de automatizar totalmente el proceso completo

- ↪ Costes y tiempos de fabricación de utillaje: Medios-Altos dependiendo del número de cavidades del molde, sistema de atemperado utilizado, etc.
- ↪ Calidad del Componente. Cumpliendo los requisitos de diseño del molde es posible obtener muy buena calidad
- ↪ Flexibilidad de diseño. Posibilidad de generar geometrías complejas gracias a la perfecta adaptación del material en estado líquido – visco plástico a la geometría del molde
- ↪ No precisan de procesos productivos finales para hacer viable la integración de otros componentes. Es posible integrar componentes durante el proceso de inyección mediante la colocación de éstos en el molde

2.2.2.1.1.3 Subgrupo 2.1: Conformado por Deformación Plástica del Material: Forja

Se denomina forja al proceso de fabricación de piezas metálicas, consistente en modificar la forma de los metales por deformación plástica producida por presión o impacto. Esta deformación controlada del metal puede ser realizada en caliente (unos 1000°C), en semicaliente (entre 850°C y 1250°C) o en frío (temperatura ambiente), obteniendo una pieza con muy buena calidad metalúrgica y muy buenas propiedades mecánicas. [1] [17]

De las diferentes técnicas para la obtención del elemento estructural mediante un proceso de forja se seleccionó la forja por estampación en molde cerrado en la cual la fluencia del material queda limitada a la cavidad de la estampa. El material se coloca entre dos matrices que tienen huecos grabados con la forma de la pieza que se desea obtener. El metal llena completamente los huecos de la estampa por medio de golpes o presión empleando martillos o prensas. El proceso de estampado termina cuando las dos matrices llegan a ponerse prácticamente en contacto.

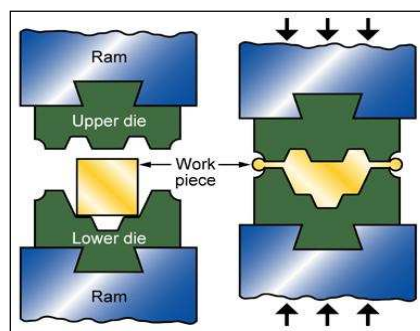


FIGURA 107: PROCESO DE CONFORMADO POR FORJA

Finalmente se resumen las particularidades o características técnicas de este proceso productivo:

- ↪ Productividad: Rangos de producción de hasta 300 piezas/hora dependiendo del tamaño de las mismas, de su geometría y de las propiedades mecánicas del material de partida
- ↪ Inversiones: Altas en función de la complejidad de la pieza la cual determina la capacidad de la máquina. Posibilidad de automatizar totalmente el proceso completo
- ↪ Costes y tiempos de fabricación de utillaje: Altos debido a los altos requisitos del material de los utillajes y a su gran desgaste lo que deriva en numerosas reparaciones
- ↪ Calidad del Componente. Los componentes poseen un índice de porosidad muy bajo lo cual incrementa su capacidad de resistencia frente a cargas dinámicas. Poseen además grandes resistencias derivadas del endurecimiento por deformación sufrido durante el proceso
- ↪ Flexibilidad de diseño. Limitación, en función del material empleado, para generar geometrías complejas debido a la dificultad de adaptación de la pieza sólida a la geometría del molde por conformación
- ↪ Precisan de procesos productivos de conformado con arranque de material para hacer viable la integración de otros componentes

2.2.2.1.1.4 Subgrupo 2.2: Conformado por Deformación Plástica del Material: Estampación

Se denomina estampación al proceso de fabricación de piezas metálicas, consistente en modificar la forma de una chapa metálica por deformación plástica, producida por presión o impacto, la cual puede ser ejercida por un componente mecánico o por un lecho presurizado de agua. En este proceso, llevado a cabo por regla general en frío, se transforma la chapa mediante doblado y corte en prensas hidráulicas o mecánicas, a una forma definida por un troquel o útil.

La estampación permite conseguir piezas con altos niveles de precisión y reproducibilidad y gracias al empleo de chapas de alta resistencia permite a su vez la fabricación de piezas estructurales de alta responsabilidad y capaces de soportar grandes solicitaciones. Durante el proceso es importante controlar que la chapa no cambie sustancialmente de espesor ya que esto influiría negativamente en su comportamiento dinámico en uso.

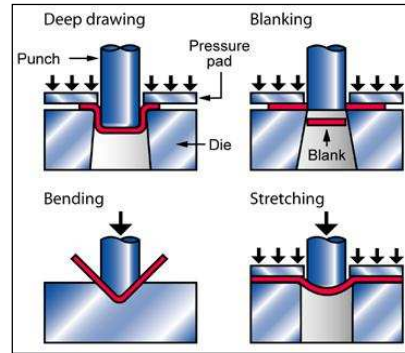


FIGURA 108: PROCESO DE CONFORMADO POR CONFORMADO DE CHAPA. ESTAMPACIÓN

Finalmente se resumen las particularidades o características técnicas de este proceso productivo:

- ↪ Productividad: Rangos de producción de hasta 2000 piezas/hora dependiendo del tamaño de las mismas y de su geometría
- ↪ Inversiones: Altas en función de la complejidad de la pieza la cual determina la capacidad de la máquina. Posibilidad de automatizar el proceso completo
- ↪ Costes y tiempos de fabricación de utillaje: Medio-altos debido a los altos requisitos del material de los utillajes y a desgaste
- ↪ Calidad del Componente. Los componentes poseen grandes resistencias derivadas del endurecimiento por deformación sufrido durante el proceso
- ↪ Flexibilidad de diseño. Posibilidad de generar geometrías medianamente complejas las cuales están limitadas por la resistencia del material de partida utilizado
- ↪ Precisan de procesos productivos finales para hacer viable la integración de otros componentes

2.2.2.1.1.5 Subgrupo Especial: Fabricación de Piezas en Materiales Compuestos: “RTM”

Se denomina proceso por moldeo por transferencia de resina, proceso RTM, al proceso de fabricación de piezas de materiales compuestos consistente en el conformado de piezas por consolidación de dos componentes, refuerzo de fibras de vidrio o carbono y matriz de resinas poliméricas, en un molde cerrado mediante procesos termoquímicos. ^{[11][17]}

Este método utiliza un molde que posee entradas mediante las cuales se inyecta la resina y salidas para la evacuación del aire al exterior. El tejido de fibras secas es colocado en el molde y este es cerrado. Posteriormente se procede a la inyección mediante bomba de la

resina que es absorbida por las fibras y rellena las cavidades del molde. Cuando se llena el molde se sellan tanto la entrada de la resina como la salida de aire y se aplica calor para el curado de la resina. Finalmente, una vez solidificada la matriz, se abre el molde y se retira la pieza final.

El proceso RTM puede utilizarse con fibras de refuerzo continuas y largas, para confeccionar piezas con formas complicadas en tiempos relativamente cortos. Este proceso se diferencia de otros en cuanto permite el moldeo de fibras en seco en el molde antes de la inyección de la resina con lo que conseguimos una mejor orientación de las fibras, de manera tal que se obtiene una mejora de las propiedades mecánicas. Adicionalmente, el proceso es más limpio, con menor emisión de partículas volátiles y menor tendencia a formar defectos.

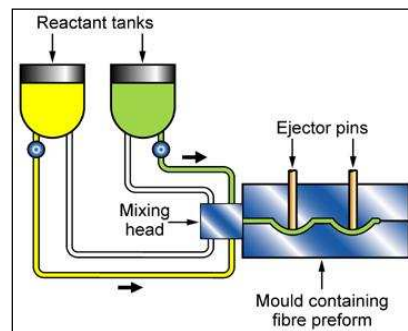


FIGURA 109: PROCESO POR MOLDEO POR TRANSFERENCIA DE RESINA (RTM)

Finalmente se resumen las particularidades o características técnicas de este proceso productivo:

- ↪ Productividad: Rangos de producción de hasta 10 piezas/hora dependiendo de las propiedades de la matriz polimérica empleada
- ↪ Inversiones: Muy altas. Posibilidad de automatizar totalmente el proceso completo
- ↪ Costes y tiempos de fabricación de utillaje: Altos debido a la preparación de los mismos para la inyección y el atemperado para solidificar el material
- ↪ Calidad del Componente. Los componentes poseen grandes resistencias derivadas de la acción conjunta del refuerzo y la matriz
- ↪ Flexibilidad de diseño. Posibilidad de generar geometrías medianamente complejas las cuales están limitadas por la infiltración de las fibras secas depositadas en el molde

↳ Precisan de procesos productivos finales para hacer viable la integración de otros componentes

2.2.2.1.1.6 Subgrupo Especial: Tecnología Híbrida. Combinación de los grupos 1.2. y 2.2.

Se denomina tecnología híbrida al proceso de fabricación de piezas de materiales compuestos, generalmente formados por un elemento de chapa metálica conformada o chapa de material compuestos obtenidas en procesos como RTM, reforzado puntualmente con material polimérico o aleación metálica ligera.

En este proceso se pueden combinar por tanto los grupos 1.2., 2.2., así como grupos especiales como el determinado para el proceso RTM, los cuales persiguen el objetivo de utilizar la mejor sinergia posible de cada uno de los procesos productivos individuales en un proceso conjunto.

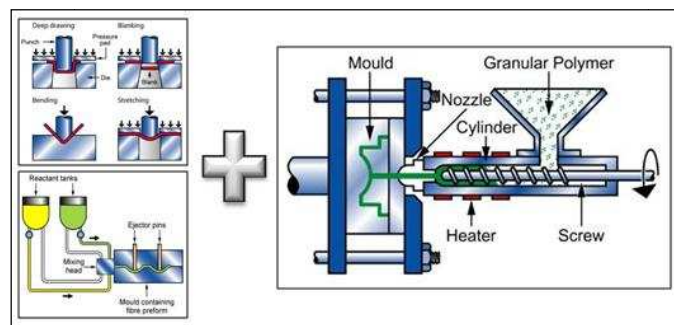


FIGURA 110: PROCESO DE FABRICACIÓN POR APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA

Esta técnica se basa en la fabricación de una preforma en material metálico, normalmente chapa metálica, o material compuesto, chapa de fibra de vidrio o carbono, que es introducida en el molde de inyección donde se sobre inyecta un material generalmente polimérico que cumplirá la función de refuerzo puntual de la estructura. La principal ventaja de esta tecnología es la alta capacidad de integración de funciones en el proceso de sobreinyección lo cual permite obtener piezas totalmente acabadas al abrir el molde.

Finalmente se resumen las particularidades o características técnicas de este proceso productivo:

↳ Productividad: Rangos de producción de hasta 2000 piezas/hora dependiendo de la buena combinación y solapamiento de los procesos empleados

↳ Inversiones: Altas. Posibilidad de automatizar totalmente el proceso completo y concatenar los diferentes procesos

- ↪ Costes y tiempos de fabricación de utillaje: Altos debido a la necesidad de preparación de dos utillajes
- ↪ Calidad del Componente. Los componentes poseen grandes resistencias derivadas de la acción conjunta del refuerzo y la matriz además de poseer una integridad como conjunto al eliminar las uniones con otros componentes o funciones
- ↪ Flexibilidad de diseño. Posibilidad de generar geometrías bastante complejas debido a la conformación de chapas de metálicas de menor espesor lo cual favorece el proceso de conformado por deformación de las mismas y a la aplicación de la inyección la cual absorbe los problemas de tolerancias existentes a la vez que integra los componentes en un sólido
- ↪ No precisan de procesos productivos finales, al final del proceso se obtiene una pieza apta completamente lista para su uso

2.2.2.1.2 *Procesos Productivos para la Integración de la Rótula y Silentblocks*

Con el objetivo de integrar las funciones rótula y silentblocks en el elemento estructural se seleccionaron cuatro procesos productivos, enmarcados en naranja en la tabla 104, pertenecientes al *Grupo 4. Procesos de Unión y Montaje* de la norma DIN 8580, los cuales quedan detallados en los diferentes apartados de la norma DIN 8593-0.

No obstante cabe reseñar que de los cuatro procesos seleccionados algunos de ellos tienen que ir acompañados de trabajos previos pertenecientes al grupo 3 de la misma norma, enmarcados en amarillo en la tabla 104, lo cual complica en gran medida el proceso de fabricación completo de la pieza.

A continuación se describen con más detalle los procesos de fabricación seleccionados a la vez que se detallan sus características más importantes, las cuales nos servirán más adelante para la evaluación de las posibles soluciones:

2.2.2.1.2.1 *Subgrupo 4.3.1: Integración por Compresión: Atornillado*

La integración por compresión mediante atornillado es un proceso de unión no permanente que se fundamenta, como su propio nombre indica, en el uso de tornillos y tuercas para la unión de dos o más componentes, los cuales se basan en el principio mecánico del plano inclinado para transmitir presión a las piezas que se han de ensamblar. Este tipo de unión requiere que los componentes a integrar estén previstos de los respectivos

agujeros a través de los cuales pasará el o los tornillos y de las tuercas para el aseguramiento de los mismos, las cuales pueden ser componentes separados o estar integradas en los componentes a unir. [1] [17]

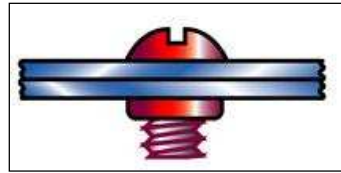


FIGURA 111: INTEGRACIÓN POR COMPRESIÓN: ATORNILLADO

A continuación se resumen las particularidades o características técnicas de este proceso productivo de unión de componentes:

- ↪ Los componentes a unir requieren de bastante espacio debido a la necesidad de ubicar los tornillos y las tuercas
- ↪ Poseen limitaciones de acceso debido a la exactitud requerida en la alineación de la herramienta
- ↪ El método de unión puede generar holguras a largo tiempo. La fuerza de amarre se relaja pasado un tiempo (aflojamiento de las tuercas)
- ↪ La necesidad de componentes externos, tornillos y tuercas, incrementa el peso y el coste del conjunto
- ↪ Bajo coste del proceso de atornillado

2.2.2.1.2.2 Subgrupo 4.3.4: Integración por Compresión: Unión por Ajuste Prensado

La unión por ajuste prensado es un procedimiento mecánico de unión no permanente basado en el efecto acción-reacción de presión que se produce al insertar un componente con un diámetro superior en un agujero con un diámetro inferior. [1] [17]

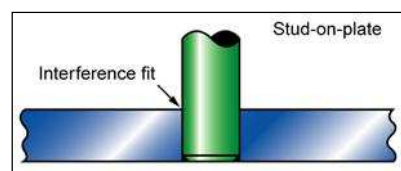


FIGURA 112: INTEGRACIÓN POR COMPRESIÓN: UNIÓN POR AJUSTE Prensado

Mediante este solapamiento entre los cuerpos o piezas a unir se producen tensiones en las superficies de ambos que son las responsables de asegurar la integridad de la unión. Es

importante un estudio de las propiedades mecánicas de los materiales de los elementos a unir para asegurar un estado tensional elástico en la unión sin entrar en el rango de deformación permanente, rango plástico, de los materiales.

A continuación se resumen las particularidades o características técnicas de este proceso productivo de unión de componentes:

- ↪ Los componentes a unir requieren de tolerancias bastante ajustadas para poder producir el solape perfecto entre los componentes sin dañarlos lo cual encarece su fabricación
- ↪ El diseño de los elementos es bastante compacto siendo normalmente cuerpos de revolución, lo cual permite un ahorro de espacio y peso
- ↪ Poseen limitaciones de acceso debido a la exactitud requerida en la alineación de la herramienta y utillajes
- ↪ El método de unión puede generar holguras a largo tiempo debido a la relajación de los materiales
- ↪ No precisa de componentes externos

2.2.2.1.2.3 Subgrupo 4.4.3: Integración por Conformación Básica: Moldeo por Inyección

Esta técnica de unión se basa en el uso del proceso productivo de moldeo por inyección para crear una unión permanente entre dos o más elementos. ^{[1][17]}

Mediante esta técnica los componentes son colocados y prefijados en el molde de inyección donde a continuación se inyectará el material matriz el cual creará un cuerpo sólido alrededor de los componentes a unir.

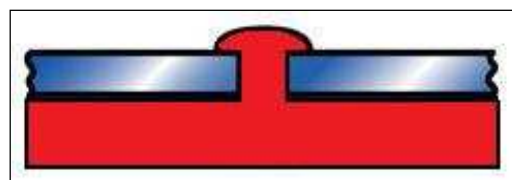


FIGURA 113: INTEGRACIÓN POR COMPRESIÓN: UNIÓN POR MOLDEO POR INYECCIÓN

A continuación se resumen las particularidades o características técnicas de este proceso productivo de unión de componentes:

- ↪ Los componentes a unir no requieren de tolerancias ajustadas

- ↪ El diseño de los elementos es bastante compacto. Ahorro de espacio y peso
- ↪ La capacidad de generar geometrías complejas gracias a la perfecta adaptación del material en estado líquido – visco plástico a la geometría del molde posibilita unir componentes que con otras técnicas no serían viables
- ↪ El método de unión no genera holguras, los componentes se encuentran embebidos en la matriz lo cual provoca que sea necesario romper la misma para lograr la separación de los mismos
- ↪ No precisa de componentes externos

2.2.2.1.2.4 Subgrupo 4.5.1: Integración por Deformación: Unión por Remaches

La integración por deformación de componentes mediante remaches es una técnica de unión permanente basada en el cambio irreversible de la geometría y forma de los elementos de unión, los remaches. [1] [17]

Mediante esta técnica los remaches son introducidos a través de los materiales a unir para posteriormente ser deformados plásticamente por la acción mecánica de un sistema punzón-matriz.

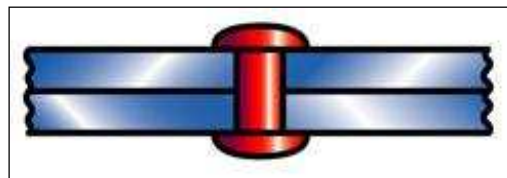


FIGURA 114: INTEGRACIÓN POR DEFORMACIÓN: UNIÓN POR REMACHES

A continuación se resumen las particularidades o características técnicas de este proceso productivo de unión de componentes:

- ↪ Los componentes a unir requieren de bastante espacio debido a la necesidad de ubicar los remaches
- ↪ Poseen limitaciones de acceso debido a la exactitud requerida en la alineación de la herramienta
- ↪ La necesidad de componentes externos, remaches, incrementa el peso y el coste del conjunto
- ↪ Bajo coste del proceso de remachado

2.2.2.1.2.5 Subgrupo 4.6: Integración por Soldadura: Soldadura Laser

La soldadura es un proceso de unión permanente de materiales logrado a través de la coalescencia o fusión de las piezas a unir y en algunos casos agregando un material de relleno fundido para conseguir un baño de material fundido que, al enfriarse, se convierte en una unión fija. [1][17]

Existe numerosas fuentes de energía que pueden ser usadas para la soldadura, como la llama de gas, el arco eléctrico, el láser, el rayo de electrones, los procesos de fricción o ultrasonido, etc. De entre todas ellas se seleccionó el proceso de soldadura laser debido por sus ventajas en cuanto a las zonas afectadas térmicamente tras la soldadura así como por ser el proceso estratégico implantado por la empresa para las uniones por soldadura de fusión.

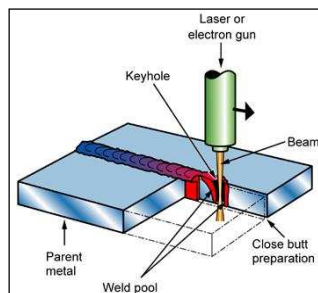


FIGURA 115: INTEGRACIÓN POR SOLDADURA: SOLDADURA LASER

A continuación se resumen las particularidades o características técnicas de este proceso productivo de unión de componentes:

- ↪ Debido al cambio de estado que sufren los materiales a unir es necesario tener en cuenta factores como la soldabilidad de los materiales de los compontes, la preparación de los mismos, tolerancias, etc.
- ↪ Los componentes a unir deben ser preparados, lavados, antes de la unión
- ↪ Poseen limitaciones de acceso debido a la exactitud requerida de la posición del haz laser con respecto a los componentes a soldar
- ↪ La unión puede soportar altas cargas sin generar holguras por lo tanto es idónea para componentes altamente solicitados
- ↪ Es necesario aislar la cabina de soldadura del resto de operaciones por razones de seguridad e higiene en el trabajo
- ↪ Coste elevado de la máquina de soldadura y por lo tanto del proceso de unión

2.2.2.2.- Parámetro Característico Materiales

Atendiendo a su composición química y estructura atómica los materiales se clasifican en tres grupos o familias: metales, cerámicas y polímeros. La mayoría de los materiales encajan en un grupo u otro aunque existen materiales intermedios o mixtos como son los materiales compuestos, los cuales constan de combinaciones de dos o más materiales diferentes, y los materiales semiconductores, cuya característica principal es la capacidad de poder controlar su conductividad eléctrica, lo cual les hace idóneos para su uso en dispositivos electrónicos.

Tras el análisis de los requisitos funcionales del brazo de suspensión resumidos en las tablas 20 y 21 se llegó a la conclusión de que sólo la familia de materiales metálicos, la de materiales poliméricos y la de materiales compuestos, por sus características estructurales así como por sus propiedades mecánicas, son susceptibles de ser empleados en el nuevo concepto de brazo de suspensión.

Debido a que los materiales de cada de estas familia tienen estructuras y propiedades distintas, conviene detenerse para resumir las mismas a la vez que detallar sus características más importantes, las cuales nos servirán más adelante para la evaluación de las posibles soluciones.

2.2.2.2.1 Descripción de los Materiales

2.2.2.2.1.1 Materiales Metálicos

Los materiales metálicos son sustancias inorgánicas que están formados por uno o más elementos metálicos como el hierro, aluminio, titanio, etc., y que pueden contener también algunos elementos no metálicos como el carbono, nitrógeno, oxígeno, etc. en pequeñas proporciones. Esta familia de materiales se caracteriza por tener una estructura cristalina en la que los átomos están colocados de una manera ordenada, y porque los electrones más externos en un átomo neutro son cedidos fácilmente. Estas características son las provocan que estos materiales posean una buena conductividad eléctrica y térmica, alta resistencia y rigidez, y buena ductilidad o maleabilidad. [2]

Dentro de esta familia es posible identificar dos subfamilias o subgrupos:

↳ *Metales Ferrosos*: Los metales ferrosos se caracterizan, como su nombre indica, porque su principal componente es el hierro.

Los principales productos representantes de los materiales metálicos ferrosos son:

- ↪ Hierro Puro. Concentración de carbono se sitúa entre el 0,008% y el 0,03%
- ↪ Acero. Concentración de carbono entre el 0,03% y el 2,1 %
- ↪ Fundición. Concentración de carbono entre el 2,1 % y el 6'67%

En la siguiente tabla se expone una aproximación a las principales características globales de algunos de estos materiales, las cuales nos servirán para la evaluación de las posibles soluciones:

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES NO FÉRRICOS						
MATERIAL	DENSIDAD G/CM ³	MÓDULO ELÁSTICO GPA	RESISTENCIA MECÁNICA MPA	ALARGAMIENTO ROTURA %	RESISTENCIA CORROSIÓN	RECICLABILIDAD
FUNDICIÓN	7,05 – 7,25	165 – 180	250 - 600	3 – 15	MALA	BUENA
ACERO	7,80 – 7,90	195 – 215	350 - 2000	10 – 25	MALA	BUENA

TABLA 24: CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LOS MATERIALES FÉRRICOS

↪ *Metales no Ferrosos:* Los metales ferrosos se caracterizan porque no poseen hierro como elemento principal. A la hora de establecer una clasificación de los metales no férricos, y teniendo en cuenta que entre ellos la diferencia más notable es su densidad, estos metales se engloban en tres grupos:

- Metales pesados. Cobre, Plomo, etc. Densidad superior a 5 g/cm³
- Metales ligeros. Titanio, Aluminio, etc. Densidad entre 2 y 5 g/cm³
- Metales ultraligeros. Magnesio. Densidad inferior a los 2 g/cm³

En la siguiente tabla se expone una aproximación a las principales características globales de algunos de estos materiales, las cuales nos servirán para la evaluación de las posibles soluciones:

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES NO FÉRRICOS						
MATERIAL	DENSIDAD G/CM ³	MÓDULO ELÁSTICO GPA	RESISTENCIA MECÁNICA MPA	ALARGAMIENTO ROTURA %	RESISTENCIA CORROSIÓN	RECICLABILIDAD
ALUMINIO	2,5 – 2,9	60 – 82	100 – 550	< 25	BUENA	BUENA
TITANIO	4,4 – 4,8	90 – 120	300 – 1400	< 25	BUENA	BUENA
MAGNESIO	1,7 – 1,9	42 – 47	150 – 450	< 15	MALA	BUENA

TABLA 25: CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LOS MATERIALES NO FÉRRICOS

2.2.2.2.1.2 Materiales Poliméricos

La palabra polímero significa muchas partes y por material sólido polimérico consideramos aquel que contiene muchas partes o unidades enlazadas entre sí químicamente. Estos materiales son grandes estructuras moleculares creadas a partir de moléculas orgánicas y se caracterizan por tener una baja conductividad eléctrica y térmica, reducida resistencia y debe evitarse su uso a temperaturas elevadas. Estructuralmente, la mayoría de los polímeros son no cristalinos pero algunos contienen mezclas de regiones cristalinas y amorfas. Dentro de esta familia es posible identificar tres subfamilias: [2]

↳ *Termoplásticos*. Se componen de largas cadenas producidas al unir moléculas pequeñas o monómeros y típicamente se comportan de una manera plástica y dúctil. Necesitan calor para hacerlos deformables y después de enfriarse mantienen la forma a la que fueron moldeados. Estos materiales pueden volver a ser calentados y moldeados un buen número de veces sin cambio significativo en sus propiedades.

↳ *Termoestables*. Están compuestos por largas cadenas de moléculas con fuertes enlaces cruzados entre las cadenas para formar estructuras de redes tridimensionales. Endurecen mediante una reacción química bajo la acción de calor y presión siendo su endurecimiento irreversible por haber sufrido una modificación en su estructura química, a nivel molecular. Esta circunstancia provoca que una vez moldeados no se pueden volver a moldear o ablandar, lo cual impide su reciclaje.

↳ *Elastómeros*. Tienen una estructura intermedia, en la cual se permite que ocurra una ligera transformación de enlaces cruzados entre las cadenas moleculares. Los elastómeros son capaces de deformarse elásticamente en grandes magnitudes sin cambiar de forma permanentemente.

En la siguiente tabla se expone una aproximación a las principales características de alguno de estos materiales, las cuales nos servirán para la evaluación de las soluciones:

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS							
MATERIAL	DENSIDAD G/CM ³	MÓDULO ELÁSTICO GPA	RESISTENCIA MECÁNICA MPA	ALARGAM. ROTURA %	RESISTENCIA		RECICLABILIDAD
					CORROSIÓN	TEMPERATURA °C	
TERMOPLÁSTICO NO REFORZADO	0,9 – 2,2	0,5 – 4,3	90 – 170	5 – 25	BUENA	< 200	BUENA
DUROPLÁSTICO NO REFORZADO	1,1 – 1,4	2,1 – 4,9	30 – 100	2 – 7	BUENA	< 250	MALA

TABLA 26: CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS

2.2.2.2.1.3 Materiales Compuestos. Composites

Este tipo de materiales se definen básicamente como la unión de dos materiales para conseguir una combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales de forma individual.

La mayor parte de los materiales compuestos consisten en un relleno escogido o materiales de refuerzo y un material matriz o resina compatible de unión para obtener unas características específicas y propiedades deseadas. Normalmente, los componentes no se disuelven uno en otro y pueden ser físicamente identificados por una interfase entre ellos. Se clasifican en tres categorías generales:

↳ *Reforzados con Partículas.* Dentro de estos podemos distinguir dos tipos: *los dispersoides*, que son materiales endurecidos por dispersión y contienen partículas de 10 a 250 nm de diámetro, que bloquean el movimiento en las dislocaciones y producen un marcado endurecimiento del material matriz; y *los verdaderos* que contienen grandes cantidades de partículas gruesas que no bloquean el deslizamiento con eficacia y son simplemente diseñados para obtener propiedades poco usuales, despreciando la resistencia en el material. Ciertas propiedades de un compuesto reforzado por partículas dependen sólo de sus constituyentes, de forma que se pueden predecir con exactitud mediante la llamada regla de las mezclas, que es la sumatoria de las propiedades (densidad, dureza, índice de refracción, etc.) por la fracción volumétrica del constituyente.

↳ *Reforzados con fibras.* Este tipo de compuestos consiguen mayor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia-peso, al incorporar fibras resistentes y rígidas, aunque frágiles, en una matriz más blanda y dúctil. El material matriz transmite la fuerza a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. Estas fibras pueden incorporarse en diferentes tamaños según los requisitos mecánicos del componente. La resistencia del compuesto puede resultar alta a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas. De forma semejante a los compuestos con partículas, la regla de las mezclas predice algunas de sus propiedades.

↳ *Laminares.* Incluyen recubrimientos delgados, superficies protectoras, revestimientos metálicos, laminados y todo un conjunto de materiales con aplicaciones específicas. Gran cantidad de compuestos laminares están diseñados para mejorar la resistencia a la corrosión conservando un bajo costo, alta resistencia o bajo peso. Otras características de importancia incluyen resistencia superior al desgaste o a la abrasión, mejor apariencia estética y algunas características de expansión térmica

poco usuales. Con la regla de las mezclas se pueden estimar algunas de las propiedades de los materiales compuestos laminares. También se pueden calcular con poco margen de error: la densidad y la conductividad eléctrica y térmica.

En la siguiente tabla se expone una aproximación a las principales características de alguno de los materiales compuestos aptos para ser utilizados en el brazo de suspensión, los materiales reforzados con fibras, las cuales nos servirán más adelante para la evaluación de las posibles soluciones:

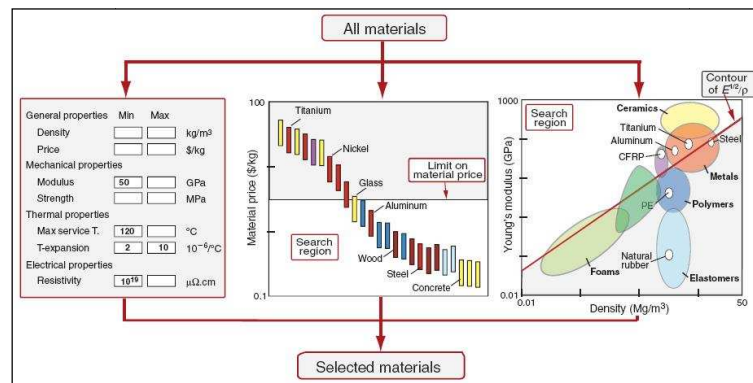
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS							
MATERIAL	DENSIDAD G/CM ³	MÓDULO ELÁSTICO GPA	RESISTENCIA MECÁNICA MPA	ALARGAM. ROTURA %	RESISTENCIA		RECICLABILIDAD
					CORROSIÓN	TEMPERATURA °C	
FIBRA VIDRIO LONGITUDINAL	1,7 – 3,2	15 – 38	150 – 550	3,5 – 4	BUENA	< 200	BUENA
FIBRA CARBONO LONGITUDINAL	1,4 – 2,1	70 – 150	500 – 2500	0,5 – 2	BUENA	< 250	MALA

..TABLA 27: CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

2.2.2.3.- Características de los Materiales. Selección con Diagramas Ashby

En los puntos anteriores se exponía globalmente los materiales resultantes de la tormenta de ideas susceptibles de ser utilizados en el brazo de suspensión. Tras este groso análisis se observó que para poder llevar a cabo una selección más adecuada de los materiales era necesario profundizar más en lo que se refiere a propiedades de los mismos, densidad, resistencia, costes, etc.

Por este motivo se decidió hacer uso de los mapas de materiales o diagramas de Ashby incluidos en el software CES-Selector, los cuales permiten relacionar por pares ciertas propiedades de los materiales o las clases de materiales. [1]



..FIGURA 116: METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES. DIAGRAMAS DE ASHBY - CES-SELECTOR

Este método, diseñado por M. F. Ashby para ser utilizado durante la etapa conceptual de la selección de materiales, nos permitirá hacer una valoración objetiva del material más adecuado para el brazo de suspensión con base en la relación de las propiedades más importantes que debe poseer el componente (ligereza, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, etc.)

En las siguientes imágenes se exponen algunos de los diagramas utilizados: [1]

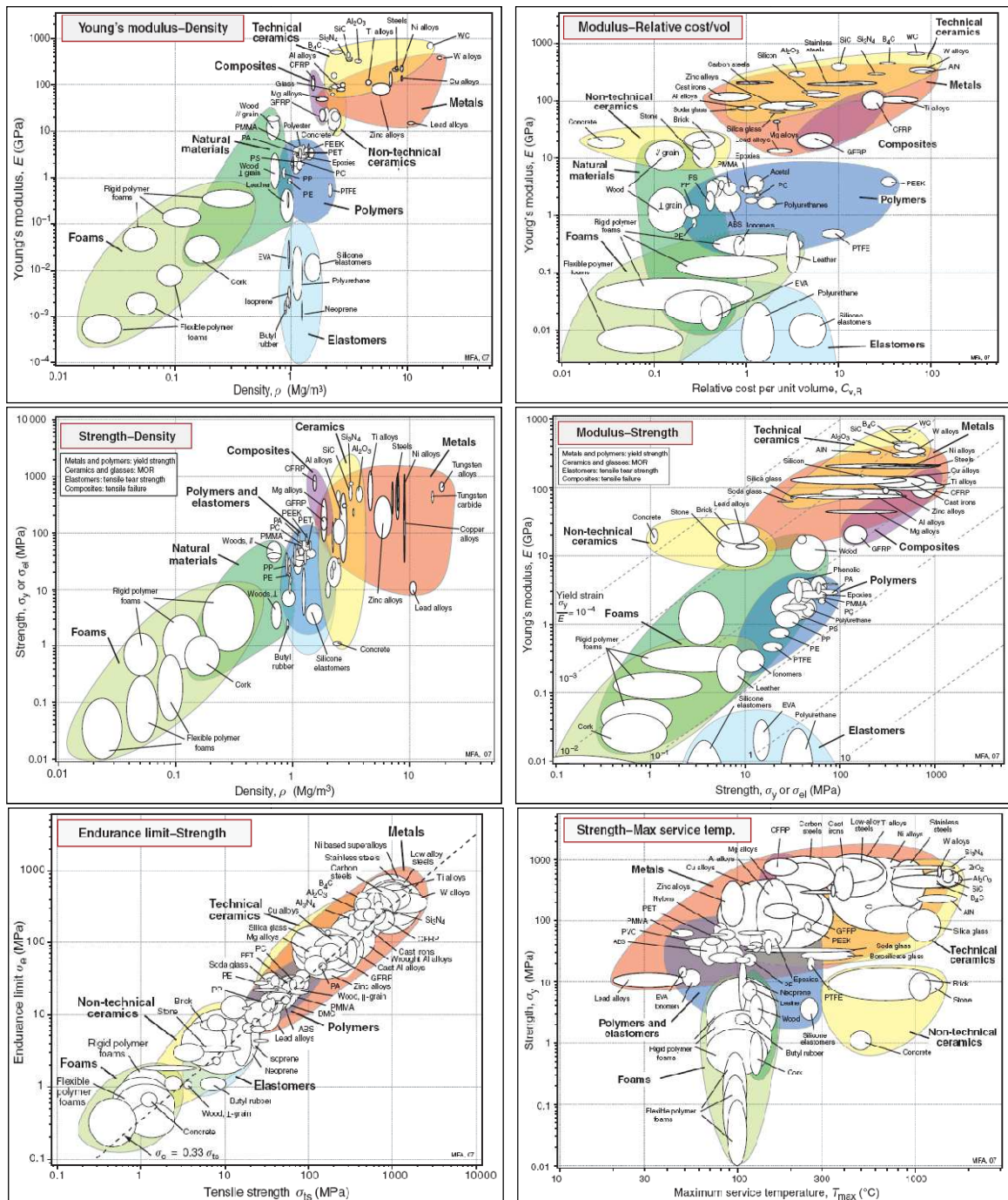


FIGURA 117: DIAGRAMAS DE ASHBY PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

2.2.2.4.- Parámetro Característico Diseño

Dentro del parámetro característico diseño se identificaron en los mapas mentales dos subgrupos, el grupo Construcción que describe el concepto de diseño para las diferentes funciones y el grupo Operaciones donde se recogen las operaciones finales necesarias para asegurar el correcto funcionamiento de cada una de las funciones.

A continuación se describen con más detalle los grupos propuestos a la vez que se detallan sus características más importantes, las cuales nos servirán más adelante para la evaluación de las posibles soluciones.

2.2.2.4.1 Construcción

2.2.2.4.1.1 Función Elemento Estructural

Atendiendo a los materiales y a los procesos productivos empleados se diferencian dos variables del parámetro de construcción para la función estructural:

↳ *Simple*. Bajo la construcción simple quedan recogidos los conceptos de elemento estructural en los que sólo es empleado un material y un proceso productivo que podrá ir acompañado o no de otro proceso final para facilitar la integración de componentes.

↳ *Híbrido o Compuesto*. La construcción de un elemento estructural híbrido o compuesto recoge aquellos conceptos en los que son empleados más de un material así como más de un proceso productivo.

Un ejemplo de esta familia son los brazos de suspensión en materiales compuestos típicos de los coches de formula 1. Al igual que en el caso anterior los procesos productivos podrán ir acompañados o no de otros procesos finales para facilitar la integración de componentes.



FIGURA 118: ELEMENTO ESTRUCTURAL DE CONSTRUCCIÓN SIMPLE (IZQDA.) Y COMPUESTA (DCHA.)

2.2.2.4.1.2 Función Rótula

Atendiendo a la geometría de la carcasa de la rótula se diferencia entre tres variables del parámetro de construcción para la función rótula:

↪ *Rótula – Carcasa con Pala.* Este concepto de carcasa está pensado para la posterior unión al elemento estructural mediante tornillos o remaches. El material utilizado varía desde aceros hasta aleaciones de aluminio de altas propiedades mecánicas debido a que las fuerzas se transmiten al elemento estructural a través de la pala.

Entre sus desventajas está el que de entre todos los conceptos existentes este es el más pesado debido al dimensionamiento de la pala, además de necesitar de elementos externos para su unión lo cual incrementa aún más el peso del conjunto. En la siguiente figura se muestra un concepto de rótula de este tipo:



FIGURA 119: CONCEPTO RÓTULA – CARCASA CON PALA

↪ *Rótula – Carcasa Cilíndrica.* La rótula con carcasa cilíndrica fueron desarrolladas para facilitar su integración en el elemento estructural la cual puede llevarse a cabo por inserción “Press-in”, por soldadura o por sobreinyección. El material utilizado puede ser acero, aleaciones de aluminio o magnesio, materiales compuestos, etc. En la siguiente figura se muestra un concepto de rótula de este tipo:



FIGURA 120: CONCEPTO RÓTULA – CARCASA CILÍNDRICA

↪ *Rótula – Carcasa Integrada.* Este diseño de rótula es característico de los elementos estructurales fabricados por fundición o forja en los cuales se practica, en la

zona de ubicación de la rótula, una operación de mecanizado la cual prepara la geometría para el alojamiento del conjunto perno-grasa-casquillo. Posteriormente se cerrará el agujero con una tapa mediante la deformación plástica del material del elemento estructural denominada rebordeado.

Esta operación de cierre final el material limita el empleo de este concepto de rótula haciendo posible su aplicación sólo en elementos estructurales fabricados con materiales con alta ductilidad como pueden ser el acero, aluminio, etc. y limitándolo en el caso de materiales como el magnesio. En la siguiente figura se muestra un concepto de rótula de este tipo:



FIGURA 121: CONCEPTO RÓTULA – CARCASA INTEGRADA

2.2.2.4.1.3 Función Silentblock

Atendiendo a la existencia o no del anillo de compresión exterior del silentblock se diferencia entre dos variables del parámetro de construcción para el silentblock:

↳ *Silentblock Con Anillo Exterior.* Este concepto de silentblock posee, como su propio nombre indica, un anillo exterior, normalmente en material metálico, que proporciona a la masa elastomérica (goma) un estado de compresión la cual determina las características finales del mismo.

Dependiendo de los requisitos cardánicos y torsionales es posible incorporar un anillo externo partido el cual permite, previo al montaje en el elemento estructural, una nueva operación de compresión del material elastómero ajustando de esta manera las propiedades elastocinemáticas del silentblock.



FIGURA 122: SILENTBLOCK CON ANILLO EXTERIOR

↳ *Silentblock Sin Anillo Exterior*. Este tipo de silentblock obvia el anillo exterior del concepto anterior, provocando un contacto directo del material elastomérico del mismo con la superficie del elemento estructural donde se integra, la cual hará las funciones de anillo exterior en cuanto se refiere a la generación de las propiedades cardánicas – torsionales requeridas.

La supresión de este anillo exterior implica una reducción de peso del mismo, pero condiciona notablemente el alojamiento del silentblock en el elemento estructural haciendo que las tolerancias geométricas y dimensionales requeridas para su ubicación y montaje sean todavía más estrechas.



FIGURA 123: SILENTBLOCK SIN ANILLO EXTERIOR

2.2.2.4.2 Operaciones: Protección Superficial

Tras el estudio de los materiales y procesos de fabricación surge la necesidad de buscar los medios de protección necesarios que aseguren la vida de los componentes a lo largo del tiempo. Con este propósito se expone a continuación en primer lugar el problema básico de la corrosión así como los requerimientos exigidos a los recubrimientos por parte de la industria del automóvil y, finalmente, se detallan los tratamientos superficiales de materiales susceptibles de ser aplicados hoy en día en el brazo de suspensión.

2.2.2.4.2.1 Problemática de la Corrosión

A pesar de la tendencia natural a la corrosión de diferentes metales como el acero, magnesio, etc. su uso continúa dominando la industria del automóvil, gracias al constante desarrollo de los tratamientos protectores.

Una protección insatisfactoria podría causar la sustitución prematura de las piezas dentro del periodo de garantía, con la consiguiente pérdida de dinero y reputación por parte del fabricante. Además debido a los actuales requerimientos a los que se someten los componentes de seguridad empleados en el automóvil, se necesitan nuevos medios de protección mejorados que permitan cumplir con las especificaciones impuestas. Por otro

lado la creciente tendencia de aplicación de aluminio en automoción, requiere a su vez un estudio de posibles tratamientos que inhiban su corrosión, cuando se encuentre en contacto con otros componentes de acero.

La corrosión puede definirse como el deterioro de los materiales a consecuencia de un ataque electroquímico producido por su entorno. Por razones termodinámicas, los metales obtenidos a partir de sus minerales en la naturaleza, tienden a volver a su estado combinado inicial en el transcurso de su vida útil. Así denominaremos corrosión, al fenómeno que conduce al deterioro progresivo de las propiedades metálicas de los materiales.

La corrosión es casi siempre de naturaleza electroquímica, circulando una corriente eléctrica entre zonas de la superficie del metal (ánodo y cátodo), a través de un medio acuoso conductor (electrolito). Este conjunto formará lo que se conoce como pila electroquímica (triángulo de la corrosión), donde el material que actúe como ánodo sufrirá los efectos de la corrosión. Cuando los átomos del ánodo se disuelven para formar iones, los electrones que dejan libres hacen al ánodo negativo con respecto a la solución. Sus electrones pasan al cátodo a través del metal y allí neutralizan a los iones positivos. La corrosión, por tanto es sostenida por procesos simultáneos anódicos y catódicos:

↳ *Reacciones Anódicas.* La reacción consiste en producir electrones a partir de un metal que tienen electrones libres. Por ejemplo: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$

↳ *Reacciones Catódicas.* La reacción consiste en el consumo de los electrones generados en la reacción anódica. Por ejemplo: $\text{Fe}^{n+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$

Para que exista corrosión deben de aparecer simultáneamente los tres brazos del citado triángulo: ánodo, cátodo y electrolito. De esta situación se deriva que para luchar contra la corrosión se requiere eliminar o separar de los otros dos al menos uno de los tres elementos.

En aplicaciones para automoción podremos encontrar los siguientes tipos de corrosión:

↳ *Uniforme:* Sólo ocurre en las superficies de metal sin recubrir expuestas a la atmósfera, causando a largo plazo disminuciones en el espesor de las piezas. Este tipo es sin embargo la menos común en la industria del automóvil.

↳ *Galvánica:* La corrosión galvánica o bimetálica tiene lugar entre dos metales o recubrimientos diferentes, que permanecen unidos en presencia de un electrolito. Debido a la diferencia de potenciales galvánicos de los metales presentes, el más

activo o anódico, se corroerá rápidamente, mientras que el más noble o catódico no se verá dañado.

↪ *Picadura*: La corrosión por picadura es un ataque localizado causado por los cloruros, denominándose picado a una grieta microscópica surgida en heterogeneidades del metal, rupturas de recubrimientos protectores existentes, defectos o imperfecciones.

↪ *Hendidura o Grieta*: La corrosión en grietas está asociada a pequeñas cantidades de líquido estancadas en grietas o hendiduras de la superficie del metal.

Para luchar contra la corrosión se necesita eliminar o en su defecto separar entre sí, los elementos de la pila electroquímica ánodo, cátodo y electrolito, existiendo al respecto diversas técnicas, entre las que destacan:

- ↪ Alteración del medio ambiente
- ↪ Selección del material
- ↪ Diseño de la geometría
- ↪ Recubrimientos

De entre todas estas técnicas se profundizará en la de recubrimiento protector, entendiéndose por éste aquel que intenta evitar el contacto directo entre el electrolito y la superficie del metal.

Estos recubrimientos son los procesos que están siendo investigados actualmente por las empresas del sector con el objeto de adaptarse a las especificaciones técnicas y medioambientales, las cuales están obligando a la revisión de los procesos actuales, para conseguir sustituir algunas de las sustancias químicas empleadas, por otras alternativas ecológicamente aceptables que minimicen el impacto ambiental generado por sus residuos.

Finalmente, se exponen en los siguientes puntos los requerimientos exigidos a los recubrimientos protectores por parte de la industria del automóvil:

- ↪ Mejora de la resistencia frente a la corrosión atmosférica
- ↪ Protección contra la corrosión galvánica del aluminio en contacto con acero
- ↪ Resistencia a los fluidos orgánicos típicos en automoción: líquido de frenos, etc.

- ↪ Resistencia a temperaturas extremas: choque térmico
- ↪ Resistencia frente a impacto de piedras
- ↪ Precio contenido

2.2.2.4.2.2 Tratamientos Superficiales para el Brazo de Suspensión

Dentro de los diferentes procesos para el recubrimiento superficial de componentes englobados en el grupo 5 de los procesos productivos según la norma DIN 8580, y teniendo en cuenta los requisitos formulados en el punto anterior, se seleccionaron para nuestra aplicación procesos productivos de dos subgrupos diferentes, el subgrupo 5.1 y el subgrupo 5.9, los cuales se enmarcaban en verde en la tabla 104.

A continuación se describen con más detalle los procesos de fabricación seleccionados a la vez que se detallan sus características más importantes, las cuales nos servirán más adelante para la evaluación de las posibles soluciones:

- ↪ Subgrupo 5.1.A: Recubrimiento superficial a partir de materiales protectores en estado líquido. Pintado por Cataforesis

La Cataforesis es un método de aplicar pintura, utilizando corriente eléctrica para depositarla. El proceso sigue el principio en el cual, "los opuestos se atraen".

El principio fundamental de la física de la cataforesis es que los materiales con cargas eléctricas opuestas se atraigan. Este sistema aplica una carga de corriente continua a una pieza metálica sumergida en un baño de pintura con partículas opuestamente cargadas. Las partículas de pintura son atraídas hacia la pieza metálica y la pintura es depositada en ésta formando una capa uniforme.

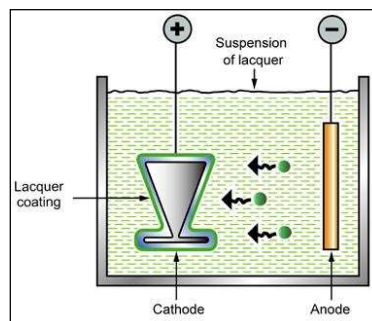


FIGURA 124: PROCESO DE PINTADO POR CATAFORESIS

El proceso continúa sobre cada superficie en cada hendidura y esquina hasta que la cobertura alcance el espesor deseado. Una vez obtenido el espesor deseado, la capa

aísla la pieza y la atracción cesa terminando el proceso de la cataforesis. Dependiendo de la polaridad de las cargas, la cataforesis se clasifica como anódica o catódica.

↳ Subgrupo 5.1.B: Recubrimiento superficial a partir de materiales protectores en estado líquido. Autodeposition Coating Technology Aquence® [7]

El autodeposition coating technology, Aquence®, es un recubrimiento orgánico que ofrece una elevada protección anticorrosión por medio de autodeposición, sin necesidad de uso de electricidad desarrollado y comercializado por Henkel Surface Technologies. Se trata de un proceso simple que no requiere el uso de rectificadores ni de sistemas de ultrafiltración necesarios en procesos electrolíticos, permitiendo un ahorro en la inversión (30-40 %), costes de operación y mantenimiento. Si se compara con procesos electrolíticos convencionales se observa que este proceso consigue reducir el número de operaciones, reduciendo por tanto el espacio necesario para las instalaciones. Otras ventajas que presenta este proceso son:

- Proceso libre de solventes orgánicos
- Libre de lodos con metales pesados y fosfatos
- Elevado poder cubriente. Se produce la deposición de todas las superficies que son mojadas por el baño
- Los materiales plásticos y de goma no se cubren ni se ven afectados, gracias a las bajas temperaturas de curado (<100°C)

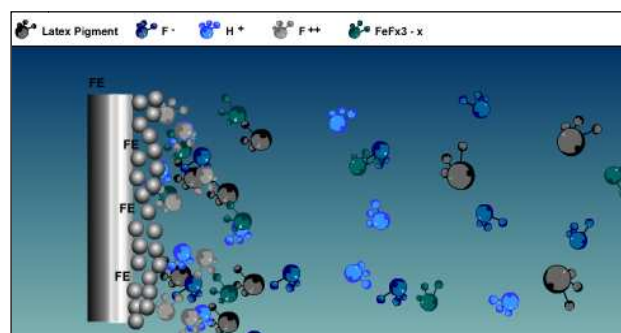


FIGURA 125: AUTODEPOSITION COATING TECHNOLOGY: AQUENCE®

El proceso acuoso depende de reacciones químicas para producir la deposición. El baño consiste en una disolución de látex (PVDC Polyvinylidene Chloride), agua desionizada y componentes sólidos (3-5 %). La viscosidad del baño es cercana a la del agua, con una cantidad muy pequeña de componentes no orgánicos. El proceso comienza cuando el baño ácido libera iones hierro de la superficie del metal (Fe²⁺). Estos iones interactúan con el látex disuelto en el baño, depositándose en la superficie

del metal el compuesto $Fe Fx3-x$. La capa orgánica depositada es porosa, permitiendo que los activos químicos se difundan rápidamente hacia la superficie del metal.

El espesor de la capa depositada está relacionado con el tiempo y temperatura del baño, creciendo mientras se sigan produciendo especies iónicas en la interfase metal-recubrimiento. El control del espesor depositado se realiza actuando sobre la difusión existente entre los reactivos del baño y el recubrimiento ya formado.

Al dejar el baño, el recubrimiento consta de dos capas. La primera se encuentra perfectamente adherida a la superficie de la pieza. En la segunda capa, compuesta por restos de polímero no depositado y de reactivos activadores, continuará la reacción una vez abandonado el baño, haciendo que incremente su espesor. Esta característica limita la pérdida de productos químicos en los baños de aclarado, reduciendo fuertemente el tratamiento de las aguas residuales.

↳ Subgrupo 5.9: Recubrimiento superficial a partir de materiales protectores en estado iónico. Galvanizado

Estos procesos metálicos consisten en la deposición por vía electrolítica de finas capas de metal, sobre la superficie de una pieza sumergida en una solución de iones metálicos (electrolito), mediante la aplicación de una corriente eléctrica entre el cátodo (metal a recubrir) y el ánodo apropiado. El electrolito por su parte estará formado por una solución salina, conteniendo sales del metal a recubrir y aditivos que mejoran la eficiencia y propiedades.

Los principales procesos de recubrimiento realizados por vía electrolítica son: zincado, niquelado, cobreado, cromado, anodizado y galvanizado. Los procesos de recubrimiento electrolítico principalmente se reducirán a reacciones de oxidación-reducción. En primer lugar se producirá la oxidación del metal del ánodo. A continuación los iones metálicos generados, se reducen o metalizan sobre las piezas a recubrir, que actúan como cátodos gracias a la corriente continua aplicada.

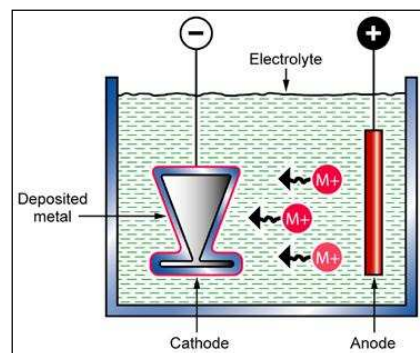


FIGURA 126: GALVANIZADO O ZINCADO ELECTROLÍTICO

La capa de metal depositada sobre la pieza formará cristales metálicos, de cuya estructura cristalina se derivarán las diferentes propiedades del depósito así como su campo de aplicación. Los resultados obtenidos dependerán en su mayor parte del control de una serie de parámetros físico químicos relacionados con el proceso: densidad de corriente, temperatura del baño, pH de la disolución, tipo y concentración de aditivos específicos añadidos y concentración de iones metálicos.

El método de aplicación empleado de forma más habitual se lleva a cabo mediante la inmersión de las piezas a tratar en un tanque con el electrolito y la aplicación posterior de corriente eléctrica entre el ánodo y el cátodo. Al extraer las piezas del baño se producirán el arrastre de una cantidad de electrolito sobre la superficie de la pieza, por la que se necesitarán una serie de operaciones de lavado que eviten la interferencia de la película sobrante, en las etapas posteriores del proceso.

Los procesos de recubrimiento electrolítico generan toda una serie de residuos y emisiones contaminantes, destacando por su volumen las aguas residuales procedentes de los sucesivos enjuagues. Las dos corrientes más importantes de residuos, están constituidas por los baños agotados y por los lodos galvánicos obtenidos tras la depuración de las aguas residuales.

Actualmente las normativas medioambientales obligan a un estricto control de los residuos y emisiones generadas, circunstancia que hace sólo viables a las empresas que adapten sus procesos productivos a los requisitos vigentes de mejora de la calidad ambiental.

2.3.- FASE 3: CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ MULTIDIMENSIONAL

Tras la identificación de los parámetros y sus variables llevada a cabo en el punto anterior se construye a continuación la matriz morfológica a partir de la cual se generarán las posibles soluciones mediante combinación de los elementos que la integran. La construcción de esta matriz, como se observa en la siguiente imagen, se realiza de la siguiente forma:

- ↪ En la primera columna se introducen las diferentes funciones que integran el brazo de suspensión (elemento estructural, rótula y silentblocks)
- ↪ En la segunda columna a continuación se introducen los parámetros (material, proceso productivo y diseño) de cada una de las funciones
- ↪ En la tercera columna se introducen las variables de los parámetros determinadas en los mapas mentales y, por último, las posibles variantes de estas variables




FUNCIONES DEL COMPONENTE	PARÁMETROS	VARIABLES	VARIANTES					
			A	B	C	D	E	
Función 1 Conexión Puntos Cinemáticos 	MATERIAL	METÁLICO	1	ACERO FUNDICIÓN	ALUMINIO	MAGNESIO	TITANIO	
		PLÁSTICO ORGÁNICO	2	TERMOPLÁSTICO PA66, PA6,...	DUROPLÁSTICO			
		COMPOSITES	3	FIBRA DE VIDRIO	FIBRA DE CARBONO			
	PROCESO PRODUCTIVO	METÁLICO	4	FUNDICIÓN	INYECCIÓN	ESTAMPACIÓN	HIDRO-FORMING	FORJA
		PLÁSTICO ORGÁNICO	5	INYECCIÓN	COMPOSITES			
	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	6	SIMPLE	HÍBRIDA COMPUESTA			
		MECANIZADO	7	MECANIZADO CNC				
		PROTECCIÓN SUPERFICIAL	8	GALVÁNICO	KTL			
Función 2 Conexión Rueda Rótula --> 3 DoF 	MATERIAL	METÁLICO	9	ACERO	ALUMINIO	MAGNESIO		
		PLÁSTICO ORGÁNICO	10	TERMOPLÁSTICO PA66, PA6,...	DUROPLÁSTICO			
		COMPOSITES	11	FIBRA DE VIDRIO	FIBRA DE CARBONO			
	PROCESO PRODUCTIVO	INTEGRACIÓN	12	PRENSADO PRESS IN	MECANIZADO REBORDEADO	ATORNILLADO REMACHES	SOLDADO Laser	INYECCIÓN
	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	13	RÓTULA STANDARD <small>Carcasa, Tapa, Perno, Casquillo</small>	RÓTULA CILÍNDRICA <small>Carcasa, Perno, Casquillo</small>	RÓTULA INTEGRADA <small>Tapa, Perno, Casquillo</small>		
		PROTECCIÓN SUPERFICIAL	14	GALVÁNICO	KTL			
Función 3 Conexión Chasis Amortiguamiento 	MATERIAL	METÁLICO	15	ACERO	ALUMINIO			
		PLÁSTICO ORGÁNICO	16	TERMOPLÁSTICO PA66, PA6,...	DUROPLÁSTICO			
	PROCESO PRODUCTIVO	INTEGRACIÓN	17	PRENSADO PRESS IN	INYECCIÓN			
	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	18	CON ANILLO EXTERIOR	SIN ANILLO EXTERIOR			
		PROTECCIÓN SUPERFICIAL	19	GALVÁNICO	KTL			

FIGURA 127: MATRIZ MORFOLÓGICA PARA EL BRAZO DE SUSPENSIÓN

2.4.- FASE 4: IDENTIFICACIÓN / GENERACIÓN DE SOLUCIONES

A partir de la matriz morfológica para el brazo de suspensión creada en la fase anterior se inicia la búsqueda morfológica de variantes, la cual se puede hacer de las siguientes dos maneras diferentes:

↪ Al azar escogiendo una variante de cada atributo. Una manera de llevar a cabo esta metodología es:

- Disponer tantos recipientes como parámetros y en cada uno poner papelitos con las variantes
- Se coge un papelito de cada recipiente y se analiza la combinación
- Después se vuelven a poner los papelitos en su recipiente de origen y se repite de nuevo la operación

↪ De manera ordenada, enumerando las variantes y analizar las posibles combinaciones sistemáticamente. El número total de combinaciones posibles se denomina "producto morfológico" y se puede obtener como se indica a continuación

- Supongamos que se encuentran 3 parámetros o atributos: A, B y C
- Supongamos que el atributo o parámetro A tiene 3 variantes (A1, A2 y A3), el B también tiene 3, (B1, B2 y B3) y el C tiene 2 (C1 y C2)
- El producto morfológico es el conjunto de todas las combinaciones posibles, las cuales son $3 \times 3 \times 2 = 18$

Cualquiera de estos métodos, debido al gran número de variantes considerados en la matriz, da lugar a numerosas combinaciones, lo cual hace la generación de soluciones inmanejable y conduce a la necesidad de eliminar las combinaciones consideradas inviables.

Para ello se fijaron dos criterios; por un lado, se evaluó y filtró la factibilidad técnica de los procesos productivos con los diferentes materiales y, por otro lado, se eliminaron las soluciones inviables para con los objetivos principales del proyecto, reducción de peso, integración de componentes, innovación, costes contenidos, etc.

En la siguiente imagen se expone gráficamente la forma de seleccionar las variantes teniendo en cuenta los criterios comentados en el párrafo anterior, los cuales nos garantizan la obtención de combinaciones factibles:




FUNCIONES DEL COMPONENTE	PARÁMETROS	VARIABLES	VARIANTES					
			A	B	C	D	E	
Función 1 Conexión Puntos Cinemáticos 	MATERIAL	METÁLICO	1	ACERO FUNDICIÓN	ALUMINIO	MAGNESIO	TITANIO	
		PLÁSTICO ORGÁNICO	2	TERMOPLÁSTICO PA66, PA6,...	DUROPLÁSTICO			
		COMPOSITES	3	FIBRA DE VIDRIO	FIBRA DE CARBONO			
	PROCESO PRODUCTIVO	METÁLICO	4	FUNDICIÓN	INYECCIÓN	ESTAMPACIÓN	HIDRO-FORMING	FORJA
		PLÁSTICO ORGÁNICO	5	INYECCIÓN	COMPOSITES			
	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	6	SIMPLE	HÍBRIDA COMPUETA			
		MECANIZADO	7	MECANIZADO CNC				
		PROTECCIÓN SUPERFICIAL	8	GALVÁNICO	KTL			
Función 2 Conexión Rueda Rótula --> 3 DoF 	MATERIAL	METÁLICO	9	ACERO	ALUMINIO	MAGNESIO		
		PLÁSTICO ORGÁNICO	10	TERMOPLÁSTICO PA66, PA6,...	DUROPLÁSTICO			
		COMPOSITES	11	FIBRA DE VIDRIO	FIBRA DE CARBONO			
	PROCESO PRODUCTIVO	INTEGRACIÓN	12	PRENSADO PRESS IN	MECANIZADO REBORDEADO	ATORNILLADO REMACHES	SOLDADO Laser	INYECCIÓN
	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	13	RÓTULA STANDARD <small>Carcasa, Tapa, Perno, Casquillo</small>	RÓTULA CILÍNDRICA <small>Carcasa, Perno, Casquillo</small>	RÓTULA INTEGRADA <small>Tapa, Perno, Casquillo</small>		
		PROTECCIÓN SUPERFICIAL	14	GALVÁNICO	KTL			
Función 3 Conexión Chasis Amortiguamiento 	MATERIAL	METÁLICO	15	ACERO	ALUMINIO			
		PLÁSTICO ORGÁNICO	16	TERMOPLÁSTICO PA66, PA6	DUROPLÁSTICO			
	PROCESO PRODUCTIVO	INTEGRACIÓN	17	PRENSADO PRESS IN	INYECCIÓN			
	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	18	CON ANILLO EXTERIOR	SIN ANILLO EXTERIOR			
		PROTECCIÓN SUPERFICIAL	19	GALVÁNICO	KTL			

FIGURA 128: PROCESO DE GENERACIÓN DE SOLUCIONES CON LA MATRIZ MORFOLÓGICA

Para poder llevar a cabo esta operación de filtrado de soluciones de una manera objetiva se hizo uso de los mapas de procesos productivos incluidos en el software CES-Selector, los cuales permiten relacionar éstos con los siguientes parámetros:

- ↪ Compatibilidad del material con el proceso productivo
- ↪ Forma geométrica final del componente a obtener
- ↪ Tolerancias y rugosidad obtenida en los diferentes procesos productivos
- ↪ Limitaciones en cuanto a la masa del material procesado , tamaño del componente
- ↪ Costes en función del volumen de fabricación

A continuación se muestra esquemáticamente la metodología a seguir para llevar a cabo el proceso de selección y/o eliminación de las variantes con procesos productivos no aptos:

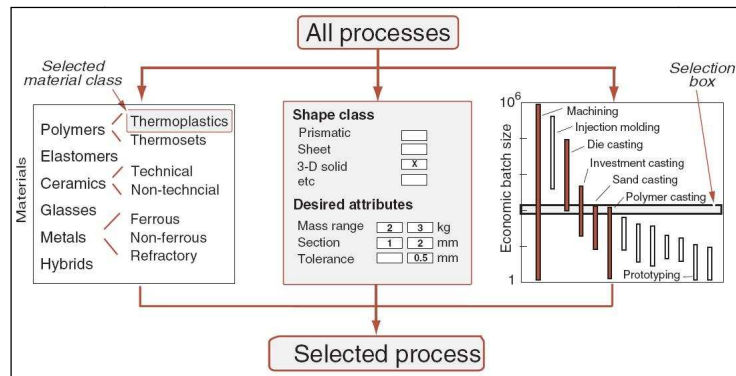


FIGURA 129: METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE PROCESOS PRODUCTIVOS - CES-SELECTOR

En las siguientes imágenes se exponen algunos de los diagramas globales utilizados:

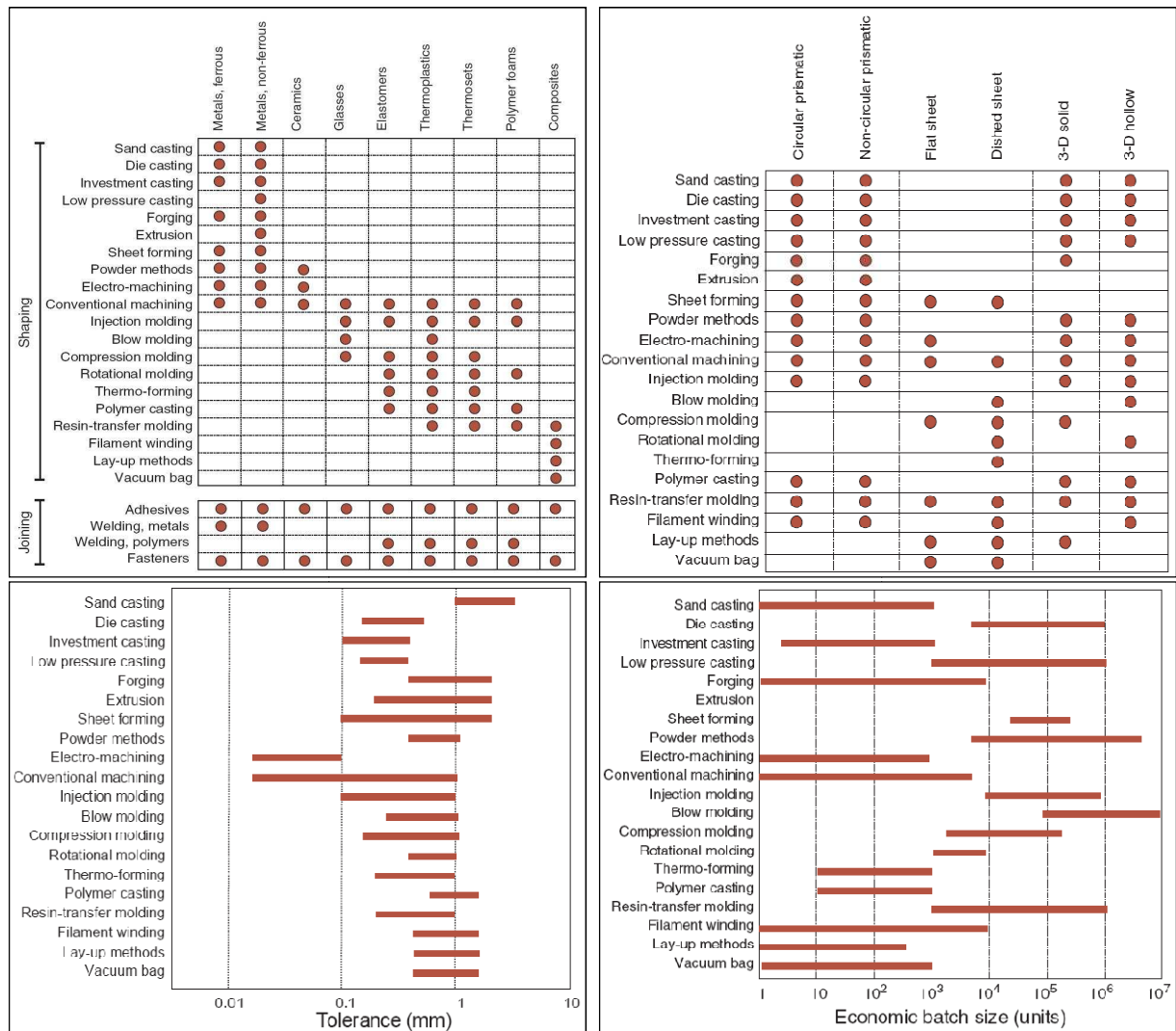


FIGURA 130: MAPAS DE PROCESOS PRODUCTIVOS PARA LA ELIMINACIÓN DE LAS SOLUCIONES INVIALES

Debido a que en la imagen anterior no se aprecian suficientemente bien las variables se presenta a continuación un ejemplo de ellas ampliado:

FUNCIONES DEL COMPONENTE	 Función 1 Conexión Puntos Cinemáticos Elemento Estructural						 Función 2 Conexión Rueda Rótula						 Función 3 Conexión Chasis Silenblocks														
	MATERIAL			PROCESO PRODUCTIVO			DISEÑO			MATERIAL			PROCESO PRODUCT.			DISEÑO			MATERIAL			PROCESO PRODUCT.			DISEÑO		
	METALICO	PLASTICO	COMPOSITE	METALICO	PLASTICO	CONSTRUCC	MICANIZADO	PROTECCION SUPERFICIAL	METALICO	PLASTICO	COMPOSITE	INTEGRACION	CONSTRUCC	PROTECCION SUPERFICIAL	METALICO	PLASTICO	INTEGRACION	CONSTRUCC	PROTECCION SUPERFICIAL	METALICO	PLASTICO	INTEGRACION	CONSTRUCC	PROTECCION SUPERFICIAL			
SOLUCIONES	1	ACERO	FUNDICION	---	---	FUNDICION	---	SMPLE	SI	GAUKTL	ACERO	---	---	PRESS-IN	ROT. CL.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	2	ACERO	FUNDICION	---	---	FUNDICION	---	SMPLE	SI	GAUKTL	ACERO	---	---	ATORNELL	ROT. STD.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	3	ACERO	FUNDICION	---	---	FUNDICION	---	SMPLE	SI	GAUKTL	ACERO	---	---	REBORD.	ROT. INT.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	4	ACERO	FUNDICION	---	---	FUNDICION	---	SMPLE	SI	GAUKTL	ACERO	---	---	SOLDADO	ROT. CL.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	5	ACERO	FUNDICION	---	---	ESTAMP.	---	SMPLE	NO	GAUKTL	ACERO	---	---	PRESS-IN	ROT. CL.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	6	ACERO	FUNDICION	---	---	ESTAMP.	---	SMPLE	NO	GAUKTL	ACERO	---	---	ATORNELL	ROT. STD.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	7	ACERO	FUNDICION	---	---	ESTAMP.	---	SMPLE	NO	GAUKTL	ACERO	---	---	SOLDADO	ROT. CL.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	8	ACERO	FUNDICION	---	---	HIROFOR.	---	SMPLE	NO	GAUKTL	ACERO	---	---	PRESS-IN	ROT. CL.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	9	ACERO	FUNDICION	---	---	HIROFOR.	---	SMPLE	NO	GAUKTL	ACERO	---	---	ATORNELL	ROT. STD.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	10	ACERO	FUNDICION	---	---	HIROFOR.	---	SMPLE	NO	GAUKTL	ACERO	---	---	SOLDADO	ROT. CL.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	11	ACERO	FUNDICION	---	---	FORJA	---	SMPLE	SI	GAUKTL	ACERO	---	---	PRESS-IN	ROT. CL.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	12	ACERO	FUNDICION	---	---	FORJA	---	SMPLE	SI	GAUKTL	ACERO	---	---	ATORNELL	ROT. STD.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	13	ACERO	FUNDICION	---	---	FORJA	---	SMPLE	SI	GAUKTL	ACERO	---	---	REBORD.	ROT. INT.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	14	ACERO	FUNDICION	---	---	FORJA	---	SMPLE	SI	GAUKTL	ACERO	---	---	SOLDADO	ROT. CL.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	15	ALUMINIO	---	---	FUNDICION	---	SMPLE	SI	NO	ALUMINIO	---	---	PRESS-IN	ROT. CL.	GAUKTL	NADA	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	16	ALUMINIO	---	---	FUNDICION	---	SMPLE	SI	NO	ALUMINIO	---	---	ATORNELL	ROT. STD.	GAUKTL	NADA	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	17	ALUMINIO	---	---	FUNDICION	---	SMPLE	SI	NO	ALUMINIO	---	---	REBORD.	ROT. INT.	GAUKTL	NADA	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	18	ALUMINIO	---	---	FUNDICION	---	SMPLE	SI	NO	ALUMINIO	---	---	SOLDADO	ROT. CL.	NO	ACERO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA						
	19	ALUMINIO	---	---	ESTAMP.	---	SMPLE	NO	NO	ALUMINIO	---	---	PRESS-IN	ROT. CL.	GAUKTL	NADA	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	20	ALUMINIO	---	---	ESTAMP.	---	SMPLE	NO	NO	ALUMINIO	---	---	ATORNELL	ROT. STD.	GAUKTL	NADA	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	21	ALUMINIO	---	---	ESTAMP.	---	SMPLE	NO	NO	ALUMINIO	---	---	SOLDADO	ROT. CL.	NO	ACERO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA						
	22	ALUMINIO	---	---	HIROFOR.	---	SMPLE	NO	NO	ALUMINIO	---	---	PRESS-IN	ROT. CL.	GAUKTL	NADA	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	23	ALUMINIO	---	---	HIROFOR.	---	SMPLE	NO	NO	ALUMINIO	---	---	ATORNELL	ROT. STD.	GAUKTL	NADA	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA				
	24	ALUMINIO	---	---	HIROFOR.	---	SMPLE	NO	NO	ALUMINIO	---	---	SOLDADO	ROT. CL.	NO	ACERO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA						
	25	ALUMINIO	---	---	FORJA	---	SMPLE	SI	NO	ALUMINIO	---	---	PRESS-IN	ROT. CL.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA					
	26	ALUMINIO	---	---	FORJA	---	SMPLE	SI	NO	ALUMINIO	---	---	ATORNELL	ROT. STD.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA					
	27	ALUMINIO	---	---	FORJA	---	SMPLE	SI	NO	ALUMINIO	---	---	REBORD.	ROT. INT.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA					
	28	ALUMINIO	---	---	FORJA	---	SMPLE	SI	NO	ALUMINIO	---	---	SOLDADO	ROT. CL.	GAUKTL	ACERO	ALUMINIO	---	PRESS-IN	CON ANILLO	GAUKTL	NADA					

FIGURA 132: DETALLE POSIBLES SOLUCIONES PARA EL NUEVO CONCEPTO DE BRAZO DE SUSPENSIÓN

2.5.- FASE 5: DETERMINACIÓN DE LA SOLUCIÓN IDÓNEA

2.5.1.- Evaluación de las Soluciones

Aun filtrando las soluciones posibles se obtuvieron, como se apreciaba en la imagen anterior, un número considerable de las mismas, lo cual complicaba en gran medida su evaluación mediante comparación matricial dos a dos debido a lo inmanejable que se vuelve el sistema matricial.

Esta circunstancia conduce a tomar la decisión de llevar a cabo el proceso de evaluación en las siguientes dos etapas:

↳ *Primera Etapa:* En la primera etapa se agrupan las diferentes soluciones por familias de materiales (acero, aluminio, poliméricos, compuestos, etc.) y se lleva a cabo una evaluación de soluciones por comparación de unas frente a otras para cada familia de material, evaluación comparativa mono-material.

↳ *Segunda Etapa:* A continuación, se estudian y seleccionan las soluciones con mejores resultados del primer análisis, las cuales son introducidas en una nueva matriz

para ser nuevamente comparadas y evaluadas unas frente a otras en una evaluación comparativa multi-material.

La metodología de evaluación empleada para las dos etapas fue la de la comparación dos a dos mediante diferenciación directa (determinación de qué solución es mejor que otra) de las posibles soluciones bajo los criterios expuestos y evaluados en la Fase 1.

En la siguiente imagen se muestran alguna de estas matrices de comparación dos a dos por diferenciación directa de soluciones:

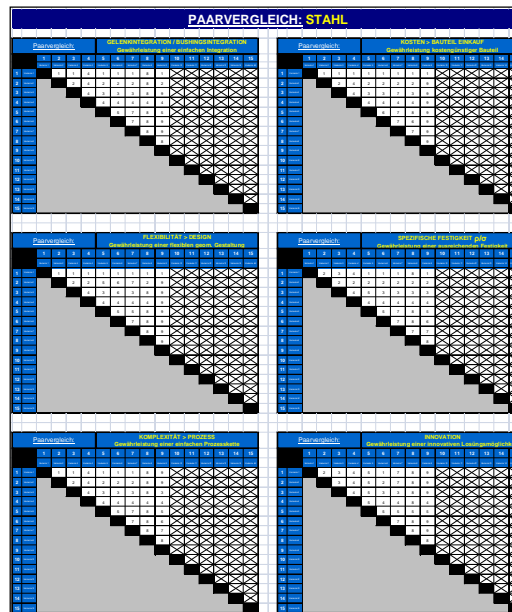


FIGURA 133: EJEMPLO: EVALUACIÓN DE LAS SOLUCIONES MEDIANTE COMPARACIÓN MATRICIAL DOS A DOS

Una vez determinada la metodología se procedió a la evaluación de las soluciones para las diferentes familias obteniéndose los siguientes resultados:

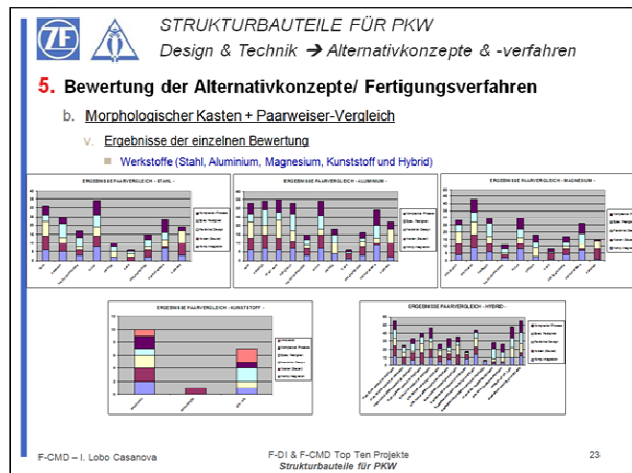


FIGURA 134: RESULTADOS ANÁLISIS SOLUCIÓN IDÓNEA PARA LOS DIFERENTES MATERIALES

Tras esta primera etapa de evaluación se seleccionaron las soluciones con mejores resultados las cuales se exponen en la siguiente tabla. Estas soluciones son introducidas en una nueva matriz para ser nuevamente comparadas y evaluadas, unas frente a otras, en una evaluación comparativa multi-material, bajo los mismos criterios que en la primera etapa.

En la siguiente imagen se muestran los resultados finales de la evaluación de soluciones de la matriz multimaterial:

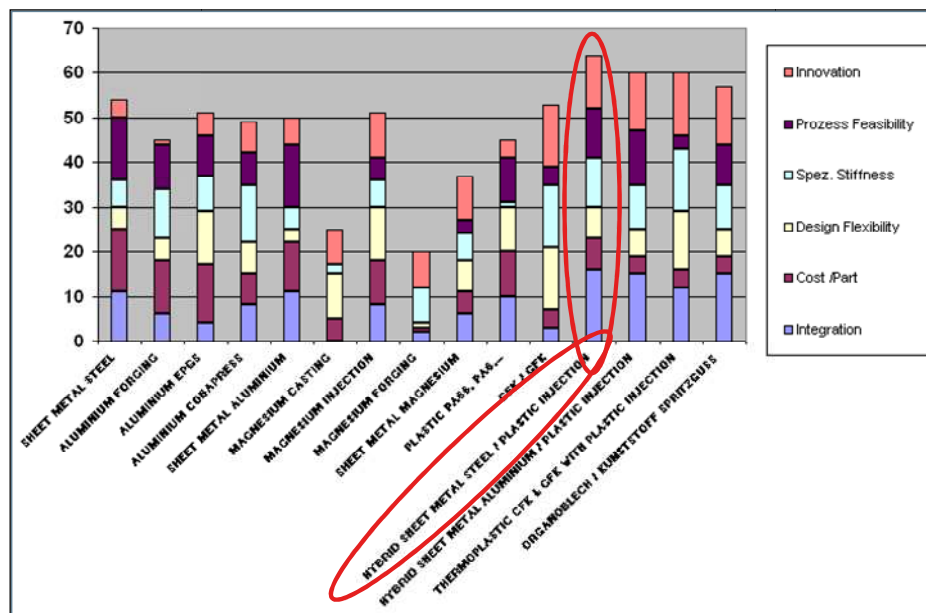


FIGURA 135: RESULTADOS DE LA COMPARATIVA MULTI-MATERIAL

2.5.2.- Análisis de los Resultados de la Evaluación Final

El estudio e interpretación de los resultados obtenidos en la evaluación objetiva final de las diferentes alternativas para el desarrollo de un brazo de suspensión dejaron patente que, la solución que mayor equilibrio y mejor sinergia encontraba entre las premisas expuestas anteriormente era la tecnología híbrida, consistente en la utilización de chapa de acero de alto límite elástico y material termoplástico técnico de altas prestaciones de forma conjunta, de tal manera que el material metálico asuma la función estructural del conjunto, mientras que el material termoplástico realice labores de refuerzo.



LITERATURA CITADA. BIBLIOGRAFÍA:

1.- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA:

1.1.- BLOQUE II: GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE IDEAS & SOLUCIONES

1.1.1.- Referencias

- [1] ASHBY, M.F.: *"MATERIALS SELECTION IN MECHANICAL DESIGN"*. BUTTERWORTH-HEINEMANN, OXFORD 2005
- [2] ASHBY, M.F.; SHERCLIFF, H.; CEBON, D.: *"MATERIALS: ENGINEERING, SCIENCE, PROCESSING AND DESIGN"*. BUTTERWORTH-HEINEMANN, OXFORD 2007
- [3] DIN: *"DIN 8580: FERTIGUNGSVERFAHREN – BEGRIFFE, EINTEILUNG"*. DIN 8580:2003-09, BEUTH VERLAG GMBH, BERLIN, 2003
- [4] FONT, J.; DOLS, J.: *"TRATADO SOBRE AUTOMÓVILES. TOMOS I Y II"*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, VALENCIA 2004
- [5] HEIBLING, B.; ERSOY, M.: *"FAHRWERKHANDBUCH: GRUNDLAGEN, FAHRDYNAMIK, KOMPONENTEN, SYSTEME, MECHATRONIK, PERSPEKTIVEN"*. VIEWEG & SOHN VERLAG, GWV FACHWERKLAGE GMBH, WIESBADEN, 2007
- [6] HERBERT FRITZ, A.; SCHULZE G.: *"FERTIGUNGSTECHNIK"*. SPRINGER-VERLAG BERLIN, HEIDELBERG, HEIDELBERG 2008
- [7] HENKEL: *"AQUENCE"* [HTTP://WWW.HENKEL.COM/AUTODEPOSITION-PROCESS12740.HTM](http://www.henkkel.com/AUTODEPOSITION-PROCESS12740.HTM)
- [8] ISO. NORMA ISO 8855: *"ROAD VEHICLES - VEHICLE DYNAMICS AND ROAD-HOLDING ABILITY"*. 1991
- [9] KLEIN, B.: *"LEICHTBAU-KONSTRUKTION BERECHNUNGSGRUNDLAGEN UND GESTALTUNG"*. VIEWEG & SOHN VERLAG, GWV FACHVERLAGE GMBH, WIESBADEN, 2007
- [10] MATSCHINSKY, W.: *"RADFÜHRUNGEN DER STRAßENFAHRZEUGE: KINEMATIK, ELASTO-KINEMATIK UND KONSTRUKTION"*. SPRINGER-VERLAG, BERLIN, HEIDELBERG, 1998
- [11] MÜLLER-HERBERS S.: *"METHODEN ZUR BEURTEILUNG VON VARIANTEN"*. INSTITUT FÜR GRUNDLAGEN DER PLANUNG, UNIVERSITÄT STUTTGART, STUTTGART 2007
- [12] MYRON S. A.: *"MORPHOLOGICAL CREATIVITY: THE MIRACLE OF YOUR HIDDEN BRAIN POWER"*. MYRON S. ALLEN, PRENTICE-HALL, INC., ENGLEWOOD CLIFFS, NJ, 1967

- [13] **PIEPEREIT, A.:** “FAHRWERK UND FAHR SICHERHEIT. VORLESUNGSUMDRUCK”. FACHHOCHSCHULE OSNABRÜCK, OSNABRÜCK 2003
- [14] **REAL ACADEMIA ESPAÑOLA:** “DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA”. VIGÉSIMO SEGUNDA EDICIÓN. MADRID. 2001
- [15] **REIMPELL, J.; STOLL, H.; BETZLER, J.:** “THE AUTOMOTIVE CHASSIS: ENGINEERING PRINCIPLES”. BUTTERWORTH-HEINEMANN, OXFORD 2001
- [16] **SAE. SAE J670:** “VEHICLE DYNAMICS TERMINOLOGY”. 2008
- [17] **SWIFT, K.G.; BOOKER J.D.:** “PROCESS SELECTION. FROM DESIGN TO MANUFACTURE”, BUTTERWORTH-HEINEMANN, OXFORD 2003
- [18] **WIKIPEDIA. LA ENCICLOPEDIA LIBRE:** “EURO CAR SEGMENT”. DIRECCIÓN WEB [HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/EURO_CAR_SEGMENT](http://en.wikipedia.org/wiki/EURO_CAR_SEGMENT)
- [19] **WIKIPEDIA. LA ENCICLOPEDIA LIBRE:** “CAR CLASSIFICATION”. DIRECCIÓN WEB [HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/CAR_CLASSIFICATION](http://en.wikipedia.org/wiki/CAR_CLASSIFICATION)
- [20] **WIKIPEDIA. LA ENCICLOPEDIA LIBRE:** “MC PHERSON STRUT”. DIRECCIÓN WEB [HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/MACPHERSON_STRUT](http://en.wikipedia.org/wiki/MACPHERSON_STRUT)
- [21] **WIKIPEDIA. LA ENCICLOPEDIA LIBRE:** “PROCESO DE FABRICACIÓN”. DIRECCIÓN WEB [HTTP://ES.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/PROCESO_DE_FABRICACION](http://es.wikipedia.org/wiki/PROCESO_DE_FABRICACION)
- [22] **ZWICKY F.:** “DISCOVERY, INVENTION, RESEARCH - THROUGH THE MORPHOLOGICAL APPROACH”. THE MACMILLAN COMPANY, TORONTO, 1969

1.1.2.- Bibliografía

1.1.2.1.- Libros y Artículos

- ❑ **AUDI AG:** “SELBSTSTUDIENPROGRAMM 362. AUDI Q7 – FAHRWERK”. TECHNISCHER STAND 11/05. INGOLSTADT, 2005
- ❑ **AUDI AG:** “SELBSTSTUDIENPROGRAMM 313. AUDI A3 – FAHRWERK”. TECHNISCHER STAND 02/03. INGOLSTADT, 2004
- ❑ **AUDI AG:** “SELBSTSTUDIENPROGRAMM 254. AUDI A4 – FAHRWERK”. TECHNISCHER STAND 10/00. INGOLSTADT, 2001
- ❑ **BRAESS H.H.; SEIFFERT U.:** “HANDBUCH KRAFTFAHRZEUGTECHNIK”, WIESBADEN: VIEWEG, 2001
- ❑ **CALVO, J.; MIRAVETE, A.:** “MECÁNICA DEL AUTOMÓVIL”, CENTRO POLITÉCNICO SUPERIOR. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA, ZARAGOZA 1997
- ❑ **GILLESPIE, T. D.:** “FUNDAMENTALS OF VEHICLE DYNAMICS”, WARRENDALE: SAE, 1992
- ❑ **MUÑOZ ADÁNEZ A.:** “MÉTODOS CREATIVOS PARA ORGANIZACIONES”. ED. EUEMA, MADRID, 1994
- ❑ **ZWICKY F., WILSON A.:** “NEW METHODS OF THOUGHT AND PROCEDURE: CONTRIBUTIONS TO THE SYMPOSIUM ON METHODOLOGIES”. SPRINGER, BERLIN, 1967

1.1.2.2.- Páginas WEB

- ❑ **A2MAC1:** DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.A2MAC1.COM/HOME/HOME.ASP](http://www.a2mac1.com/home/home.asp)
- ❑ **AUDI AG.** DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.AUDI.DE/DE/BRAND/DE.HTML](http://www.audi.de/de/brand/de.html)
- ❑ **MATBASE:** DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.MATBASE.COM/](http://www.matbase.com/)
- ❑ **MOVING GRAPHICS:** DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.MOVINGGRAPHICS.CA/INDEX.HTML](http://www.movinggraphics.ca/index.html)
- ❑ **SWEDISH MORPHOLOGICAL SOCIETY:** DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.SWEMORPH.COM/](http://www.swemorph.com/)
- ❑ **WIKIPEDIA:** LA ENCICLOPEDIA LIBRE. DIRECCIÓN WEB [HTTP://ES.WIKIPEDIA.ORG](http://es.wikipedia.org)
- ❑ **ZF FRIEDRICHSHAFEN AG.** DATOS, ENCUESTAS Y ESTUDIOS PUBLICADOS EN LA PÁGINA WEB DE ZF FRIEDRICHSHAFEN AG; DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.ZF.COM](http://www.zf.com)

DEFINICIÓN DEL CONCEPTO “PRODUCTO-PROCESO”:

Al finalizar la *Fase de Generación y Evaluación* quedó patente que la línea estratégica a seguir y desarrollar consistía en la investigación y aplicación de la tecnología híbrida para el desarrollo de un nuevo concepto de brazo de suspensión, al ser esta solución la que mejor equilibrio tenía entre los requisitos tanto socioeconómicos como funcionales.

Ahora bien, antes de iniciar la fase de diseño del componente final, es necesario detenerse para describir, determinar e investigar las bases y las particularidades de esta novedosa tecnología, las cuales ayudaran, por un lado, en la definición de la metodología de trabajo a seguir en el futuro, mientras que, por otro lado, permitirán realizar los primeros análisis de factibilidad del diseño y del proceso productivo. Como resultado final se obtendrán los parámetros básicos para la tecnología híbrida así como la definición de las pautas de diseño para la misma, las cuales se emplearán posteriormente en la fase de diseño final del brazo de suspensión.

Finalmente, una vez completadas las tareas científico-técnicas expuestas anteriormente, se preparará la documentación necesaria para la protección intelectual del concepto mediante una patente.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN IDÓNEA

1.- DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA

1.1.- CONCEPTO Y DEFINICIÓN DE TECNOLOGÍA HÍBRIDA

La Real Academia Española define el término híbrido, proveniente del término en latín *hybrīda* y del término griego *hybrid*, como “*todo lo que es producto de elementos de distinta naturaleza*”. [13]

Existen numerosas posibilidades de combinación de materiales (metálicos, poliméricos, cerámicos, compuestos, etc.) así como procesos productivos (soldadura, fundición, coextrusión, etc.) para la realización de componentes híbridos.

De entre todas ellas, en el ámbito del proyecto de innovación presentado en la Tesis Doctoral, por tecnología híbrida se entiende la combinación conjunta tanto de distintos materiales, metálicos (chapa metálica) y poliméricos (termoplástico reforzado), como la combinación de sus diferentes procesos productivos, el proceso de conformado por estampación de chapas metálicas y el de inyección de material polimérico.

En esta combinación la función estructural será soportada por el elemento metálico mientras que el material termoplástico realizará la función de refuerzo y unión consiguiendo por tanto una relación de masa, costo y resistencia muy ventajosa.

El principal motivo que por tanto impulsa estas combinaciones de distintos materiales y procesos productivos es la posibilidad que éstos otorgan de crear componentes económicos, resistentes y ligeros que no podrían ser producidos con los materiales y procesos productivos de manera individual.

Otros aspectos importantes, ventajas o fortalezas de esta tecnología son: [10]

- ↪ La tecnología híbrida metal – plástico produce estructuras con una interconexión mecánica entre ambos materiales, formando un único conjunto homogéneo
- ↪ Estabilidad dimensional muy ajustada y alta calidad de los componentes. El proceso de moldeo proporciona precisión geométrica, partes sin alabeos o deformaciones que resisten temperaturas y otras variables ambientales
- ↪ Integración de los elementos funcionales. La incorporación e integración del plástico con el componente metálico permite crear módulos de montaje rápido, eliminando costes antes y después del montaje; y eliminando costosos a la par que laboriosos procesos de soldadura, mecanizado, etc.
- ↪ Fácil reciclado. Un imán separador en un molino puede separar fácilmente los componentes de acero y de plástico para su reciclado. Los híbridos que no tengan acero se pueden separar basándose en métodos de densidad.

La siguiente imagen muestra el concepto de producto y el concepto de proceso productivo de la tecnología híbrida metal – plástico, así como los elementos integradores de un componente fabricado mediante la misma:

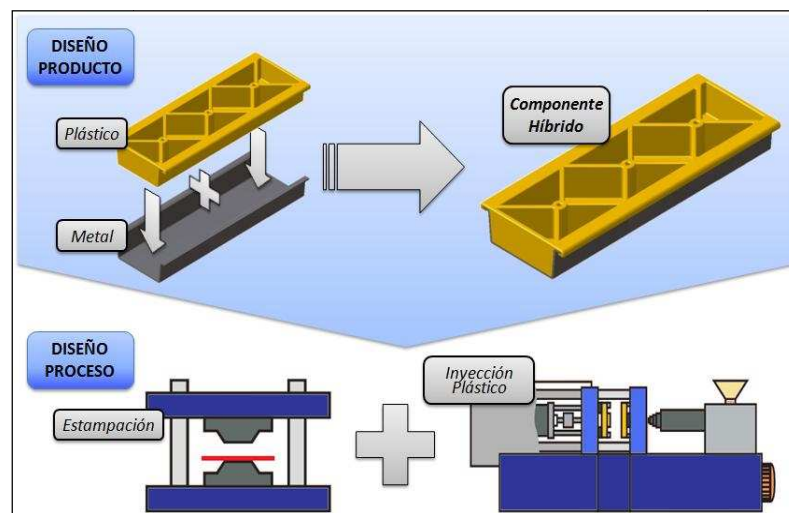


FIGURA 136: TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL - PLÁSTICO

Esta estructura, como se observa en la anterior imagen y se comentaba anteriormente, se compone de dos elementos con sus respectivos procesos productivos:

- ↪ *Elemento con función estructural o inserto.* La función de este componente es la de aportar rigidez, alta resistencia estructural así como resistencia a cambios de

temperatura al conjunto. Estos requisitos son los que provocan que por regla general se empleen chapas metálicas (de acero, aluminio, etc.) conformadas mediante un proceso de estampación

↳ *Elemento con función de refuerzo y unión.* Es una estructura plástica, normalmente en celosía, cuya función es la de dar soporte a la chapa metálica, integrar componentes, así como la de distribuir las cargas que le llegan al componente convenientemente para generar unos estados tensionales y de deformaciones uniformes a lo largo de todo el componente híbrido. Para su fabricación se emplea el proceso de inyección de plástico utilizando normalmente materiales termoplásticos reforzados con fibras cortas, de vidrio o carbono, las cuales confieren a la pieza debido a su baja densidad, una muy buena relación resistencia – peso así como resistencia frente a agentes externos (cambios de temperatura, líquidos, etc.)

A continuación, a modo de resumen, se exponen en la siguiente tabla las características, tanto de los elementos individuales como del conjunto, que confiere la tecnología híbrida:

CARACTERÍSTICAS Y REQUISITOS DE LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA		
		
ELEM. ESTRUCTURAL	ELEM. REFUERZO & UNIÓN	SOLUCIÓN HÍBRIDA METAL - PLÁSTICO
MATERIAL METÁLICO	MATERIAL POLIMÉRICO	
<ul style="list-style-type: none"> ♦ ALTO MÓDULO DE ELASTICIDAD ♦ ELEVADA RESISTENCIA JUNTO CON UNA GRAN ELONGACIÓN DE ROTURA ♦ COMPORTAMIENTO DÚCTIL FRENTE A CARGAS ELEVADAS ♦ BAJO COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA ♦ RECICLABLE 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ BAJA DENSIDAD ♦ FLEXIBILIDAD DE DISEÑO. ES POSIBLE REALIZAR DISEÑOS COMPLEJOS ♦ CAPACIDAD DE DISTRIBUIR CARGAS ♦ RESISTENCIA A LA CORROSIÓN Y A AGENTES QUÍMICOS ♦ RECICLABLE 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ ELEVADA RIGIDEZ ♦ MUY BUENA RELACIÓN RESISTENCIA - PESO ♦ DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DE TENSIONES Y DEFORMACIONES ♦ EXCELENTE COMPORTAMIENTO ANTE IMPACTOS CON ALTA CAPACIDAD DE ABSORBER ENERGÍA ♦ MUY BUENA ESTABILIDAD FRENTE A DEFORMACIONES. EVITAN EL PANDEO DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO DE PARED DELGADA ♦ TOLERANCIAS DIMENSIONALES MEJORADAS ♦ ALTA INTEGRACIÓN FUNCIONAL ♦ RECICLABLE
PROCESO ESTAMPACIÓN	PROCESO INYECCIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> ♦ PROCESO YA PROBADO Y ACEPTADO EN SERIE POR LOS FABRICANTES DE AUTOMÓVILES ♦ CAPACIDAD PARA FABRICAR PIEZAS DE ALTA RESISTENCIA (ACERO AHSS) ♦ FÁCILMENTE AUTOMATIZABLE 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ PROCESO YA PROBADO Y ACEPTADO EN SERIE POR LOS FABRICANTES DE AUTOMÓVILES ♦ CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN DE COMPONENTES ♦ FÁCILMENTE AUTOMATIZABLE 	

TABLA 28: CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA

Como conclusión final podemos destacar que la unión de plástico y metal mejora el comportamiento de ambos aportando una mayor estabilidad dimensional al conjunto, a la

vez que su sinergia otorga a los componentes mejores propiedades mecánicas como son una excelente resistencia a la flexión, compresión y cargas torsionales con un peso reducido.

En las siguientes imágenes podemos observar los resultados obtenidos para unas probetas y cómo influye el refuerzo de plástico en la estructura metálica bajo los tres casos de sollicitación anteriormente enumerados: [10]

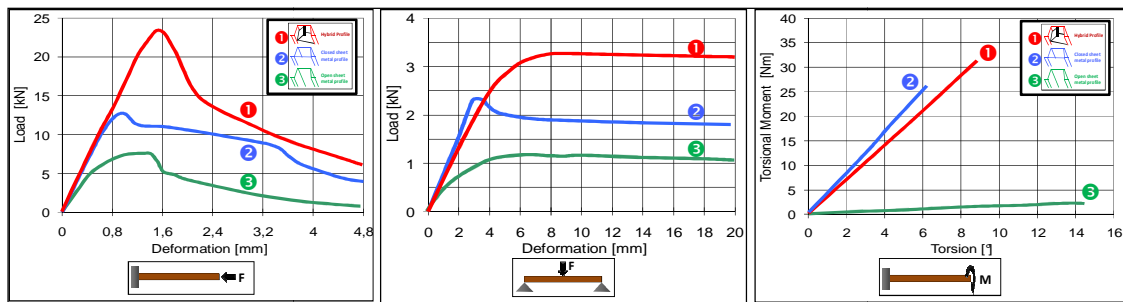


FIGURA 137: COMPARATIVA RESISTENCIA: TECNOLOGÍA HÍBRIDA, PERFIL DE METAL ABIERTO Y CERRADO

1.2.- UNIÓN DE ELEMENTOS/COMPONENTES EN LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA

Desde el punto de vista fisicoquímico, y tal y como se muestra en la imagen, el elemento estructural, chapa metálica estampada, y el elemento de refuerzo, la estructura termoplástica, pueden unirse de dos maneras diferentes, mecánicamente y, o por adhesión.

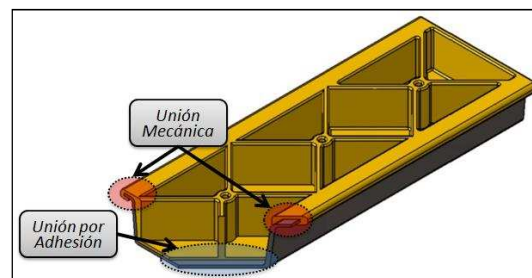


FIGURA 138: MECANISMOS DE UNIÓN DE COMPONENTES EN LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA

A continuación se detallan en qué consisten cada una de estas técnicas/mecanismos así como sus características y requisitos más destacados:

↳ *Mecánicamente:* La unión mecánica entre estos elementos se produce por medio de sobreinyección en el contorno, remaches plásticos termoconformados o termoconformables, tornillos, ribeteado, soldadura por ultrasonidos, etc. Para ello es necesario un diseño del componente metálico apropiado en el cual el contorno esté preparado para poder ser sobreinyectado, existan los agujeros con las tolerancias requeridas para el remachado, soldadura, etc.

↳ *Adhesión.* La unión por adhesión normalmente se produce en el contacto entre los dos materiales, metálico y polimérico. Debido a la diferente naturaleza de los materiales en cuestión, no existe ni se produce, sin tratamiento previo, una verdadera unión/adhesión entre los componentes. Esto conduce a la necesidad de incluir en el proceso de fabricación del inserto metálico, con el fin de mejorar la adhesión, operaciones como el lavado y desengrase, la protección superficial, adecuación de la temperatura, imprimación, etc.

Una vez explicados los diferentes mecanismos de unión para los elementos que integran un componente realizado mediante la tecnología híbrida se profundiza en los procesos productivos que hacen posible esta unión.

1.2.1.- Unión Directa en el Proceso de Inyección. In-Mold Assembly (IMA)

Bajo el término inglés “In-Mold Assembly (IMA)”, se designa el proceso productivo de unión de componentes metálicos y poliméricos mediante el propio proceso de inyección de estos últimos.

En este proceso productivo el inserto, chapa metálica estampada, es colocada y fijada en el molde de inyección. A continuación, a través del proceso de inyección, el material polimérico es inyectado/moldeado sobre el inserto metálico en el mismo molde, obteniéndose al finalizar el proceso un componente listo para su utilización.

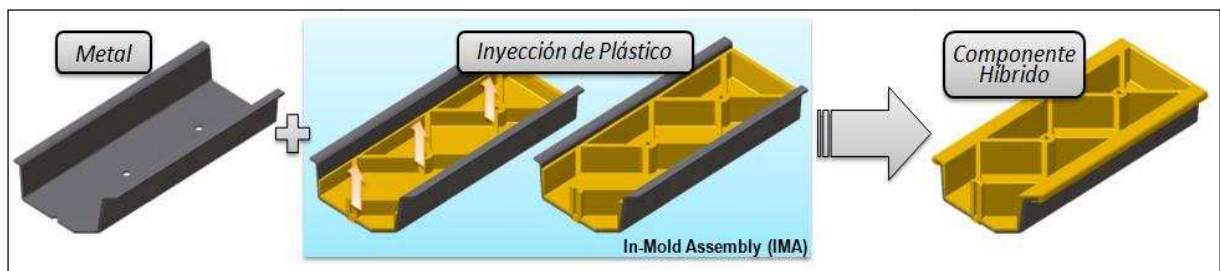


FIGURA 139: PROCESO PRODUCTIVO DE UNIÓN IN-MOLD ASSEMBLY. IMA

La principal ventaja de este proceso es la posibilidad de obtener componentes híbridos que combinan los dos mecanismos de unión, la unión mecánica, por medio de geometrías de ribeteado a través de agujeros realizados previamente en el inserto, así como la unión por adhesión, gracias al contacto directo de la masa polimérica fundida con la chapa metálica, siendo posible, mediante tratamiento de la misma, conseguir buenos valores de adhesión. Existen diferentes tipos de unión por In-Mold Assembly, las cuales quedan resumidas esquemáticamente en la siguiente figura: ^[19]

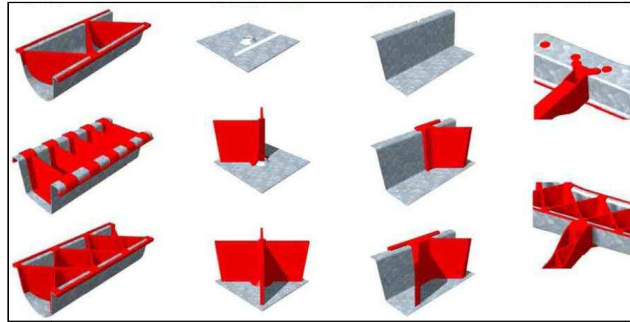


FIGURA 140: TIPOS DE UNIÓN PARA IN-MOLD ASSEMBLY

1.2.2.- Unión Posterior al Proceso de Inyección. Post-Mold Assembly. PMA

Bajo el término inglés “Post-Mold Assembly (PMA)”, se designa el proceso productivo de unión de componentes metálicos y poliméricos mediante acción mecánica posterior a los procesos de estampación y de de inyección.

En este proceso productivo el inserto, chapa metálica estampada, es colocada y fijada en un utillaje para a continuación “prensar” sobre ella una pieza plástica anteriormente fabricada. Tras esta operación de prensado/ensamblaje se obtiene un componente listo para su utilización.

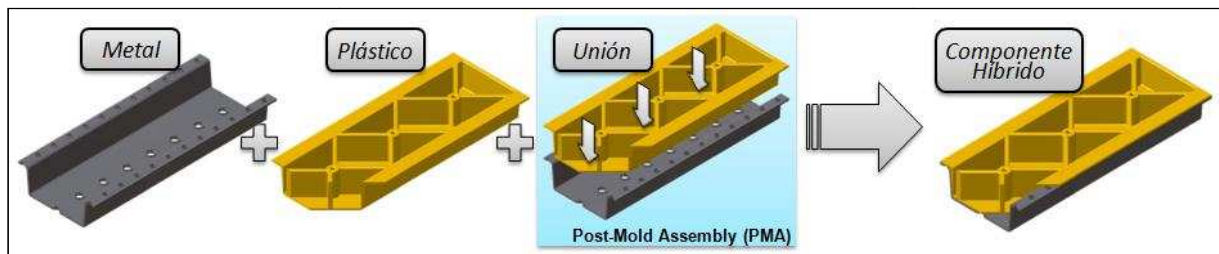


FIGURA 141: PROCESO PRODUCTIVO DE UNIÓN IN-MOLD ASSEMBLY. PMA

Mediante este proceso es posible obtener componentes híbridos con uniones mecánicas (remachado, soldadura, etc.) como único mecanismo de unión, debido a que no se produce una unión por adhesión.

No obstante cabe destacar que existen posibilidades especiales en los cuales mediante la aplicación de pegamentos, calentamiento del material termoplástico, etc. es posible para lograr un comportamiento parecido al de este mecanismo de unión.

Para poder llevar a cabo este tipo de unión tanto el inserto metálico como el elemento plástico deben poseer geometrías especiales que garanticen la perfecta unión así como la durabilidad de la misma.

En la siguiente imagen se presenta una de las técnicas de preparación y unión más destacadas en el Post-Mold Assembly: [19]

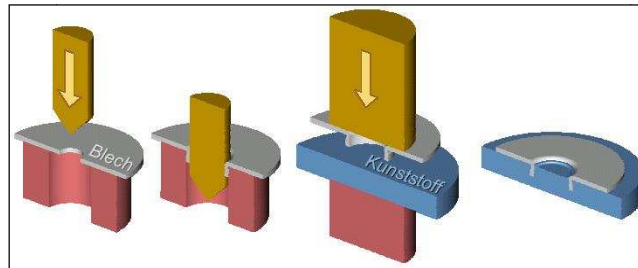


FIGURA 142: TIPO DE UNIÓN PARA POST-MOLD ASSEMBLY

2.- ANÁLISIS Y ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO

2.1.- ESTADO DEL ARTE: PROCESOS PRODUCTIVOS PARA COMPONENTES HÍBRIDOS METAL – PLÁSTICO EN EL AUTOMÓVIL

La asociación o combinación de diferentes materiales, metálicos y poliméricos, para la fabricación de componentes como tal, no es nueva y ya ha sido aplicada con anterioridad en la construcción de diversos dispositivos/piezas que se encuentran en la fabricación en serie desde hace años.

Dentro de los diferentes procesos productivos para la fabricación de componentes mediante esta combinación de materiales existen dos variantes, la técnica conocida como “Insert Molding” y la técnica “Outsert Molding”, las cuales se encuentran especialmente avanzadas en cuanto se refiere al estado de la técnica e introducción de productos con ella fabricados en el mercado.

Paralelamente existe otra nueva tecnología, la denominada “Tecnología Híbrida Metal Plástico” la cual se describía en el apartado anterior, que se está abriendo paso poco a poco en el mercado sustituyendo, en los casos en los que se requiere una resistencia elevada del componente final, a las dos anteriores.

En los siguientes puntos se detalla el estado del arte de estas tres variantes haciendo especial hincapié en la última de ellas ya que es la tecnología seleccionada para el desarrollo del nuevo concepto de brazo de suspensión.

2.1.1.- Insert Molding

Bajo el proceso productivo “Insert Molding”, se designa el proceso productivo de fabricación de componentes híbridos metálico-poliméricos en los cuales el material plástico hace las funciones de elemento resistente y de unión, mientras que los elementos metálicos son simplemente insertos funcionales para la integración de otro componente ajeno al primero, la conexión de éste con otro, etc. [5]

En este proceso productivo los insertos metálicos son colocados y fijados en el molde de inyección para a continuación, a través del proceso de inyección, quedar embebidos por el material polimérico inyectado/moldeado. En la siguiente imagen se muestra el concepto de esta tecnología así como un ejemplo de aplicación de la misma:

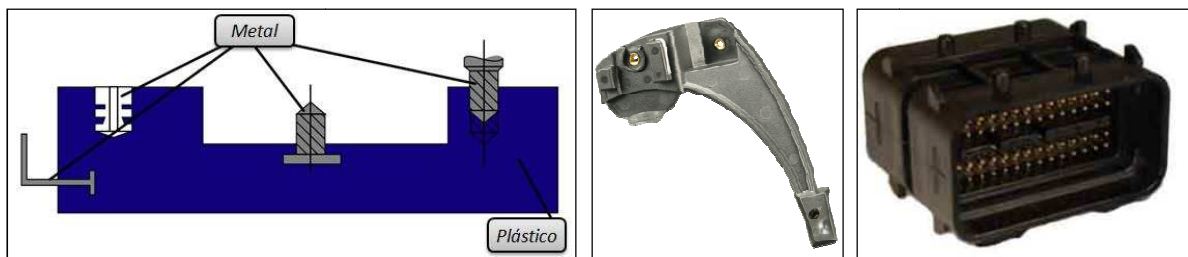


FIGURA 143: ESTADO DEL ARTE PROCESO PRODUCTIVO: INSERT MOLDING

Debido a que el material polimérico no posee altas propiedades mecánicas su aplicación se limita a componentes no muy solicitados, siendo sus utilidades más conocidas en el sector del automóvil la de sobreinyección de componentes eléctricos para su aislamiento y facilidad de manejo/conexión, la sobreinyección de casquillos metálicos roscados para facilitar y reforzar el montaje y desmontaje de piezas plásticas, etc.

2.1.2.- Outsert Molding

El proceso productivo “Outsert Molding” es una mejora del proceso anterior en cuanto se refiere a la resistencia de la pieza final. Este proceso permite la fabricación de componentes híbridos metálico-poliméricos en los cuales el material metálico hace las funciones de elemento resistente y de unión mientras que los elementos poliméricos son simplemente insertos funcionales para la unión con otro componente, integración, etc. [5]

En este proceso productivo el elemento metálico es colocado y fijado en el molde de inyección para a continuación, a través del proceso de inyección, crear la geometría de los componentes poliméricos, la cual será diseñada en función de la función a cumplir por el

mismo (componentes de Snap-Fit, remaches, etc.). En la siguiente imagen se muestra el concepto de esta tecnología así como un ejemplo de aplicación de la misma:

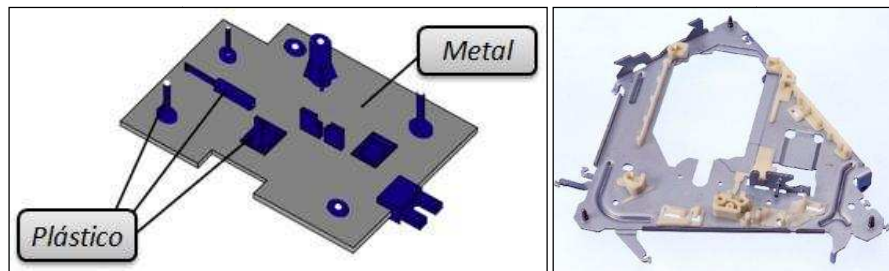


FIGURA 144: ESTADO DEL ARTE PROCESO PRODUCTIVO: INSERT MOLDING

La principal utilización de esta tecnología en el sector del automóvil reside en la función soporte para la integración de elementos electrónicos que requieren de mayor resistencia que la otorgada por el proceso Insert Molding, la fabricación de carcasas de componentes eléctricos, mecatrónicos, etc. que deben ser montados con rapidez, el aislamiento, etc.

2.1.3.- Tecnología Híbrida Metal – Plástico

La creciente exigencia de reducción de peso en los componentes de vehículos automóviles llevó a la utilización de estructuras metálicas de poco espesor, las cuales pueden presentar puntos débiles en impactos localizados por un insuficiente reparto de la absorción de energía. Otro problema que presentan estos componentes es el pandeo, que obliga en muchos casos a cerrarlas con otro elemento metálico soldado a la viga. De este modo se obtiene la rigidez suficiente pero con un incremento importante del peso y de las delicadas operaciones de transformación para mantener su precisión de cotas.

Detectado este problema surge la necesidad de investigar por un lado, en la aplicación conjunta de materiales, metálicos y poliméricos, y, por otro, en los procesos productivos asociados a esta combinación multimaterial que sean capaces de fabricar componentes lo suficientemente resistentes pero a la vez ligeros.

En este marco se desarrolla una nueva tecnología, la tecnología híbrida metal plástico, cuya intención es la de mejorar las tecnologías anteriores, Insert & Outsert Molding, en cuanto se refiere a la capacidad resistiva de los elementos con ella fabricados, así como a la intención de aumentar la funcionalidad del mismo vía la integración de funciones en el conjunto, todo ello con una gran precisión geométrica. ^{[5] [18]}

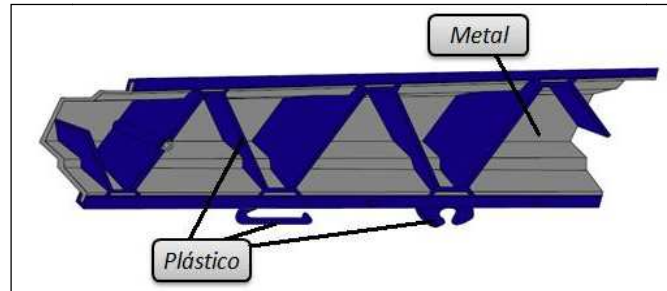


FIGURA 145: ESTADO DEL ARTE PROCESO PRODUCTIVO: TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO

Para llevar a la práctica este nuevo concepto y poder fabricar componentes mediante esta tecnología se desarrollaron dos procesos productivos, el proceso de unión directa en el proceso de inyección conocida como In-Mold Assembly, y el proceso de unión posterior al proceso de inyección conocida como Post-Mold Assembly, los cuales ya fueron detallados en los puntos anteriores.

Atendiendo a los productos fabricados mediante esta tecnología cabe destacar que hasta hace unos años no se había ni tan siquiera considerado la posibilidad de asociar los materiales poliméricos (termoplásticos reforzados) a elementos metálicos para aumentar sus prestaciones y menos la de construir elementos estructurales para el vehículo automóvil utilizando los mismos.

Estos recelos crecían aún más cuando se consideran los requisitos de seguridad en el automóvil frente a los choques, en los cuales se utiliza el criterio de deformación progresiva de las estructuras para que absorban la mayor parte posible de la energía cinética del impacto, ya que se creía que los materiales poliméricos, por su distinto comportamiento ante el impacto, no encajaban bien en una asociación con elementos metálicas.

Sin embargo, dos grandes empresas, Bayer AG, en su división destinada a los materiales poliméricos, y Dynamit Nobel Kunststoff GmbH no cesaron en su empeño llegando finalmente a desarrollar sistemas bien razonados que permiten obtener ventajas sustanciales en esta asociación multimaterial los cuales se convirtieron en los pilares de la tecnología híbrida que hoy en día conocemos la cual poco a poco se ha ido ganando la confianza y aceptación por parte del mercado.

Una de las primeras realizaciones fue el proyecto CARMAT, esfuerzo conjunto de Bayer AG y PSA, que desarrolló un módulo completo de puerta con un diseño híbrido que permitía cumplir todas las exigencias planteadas, incluyendo las de impacto. ^[10]

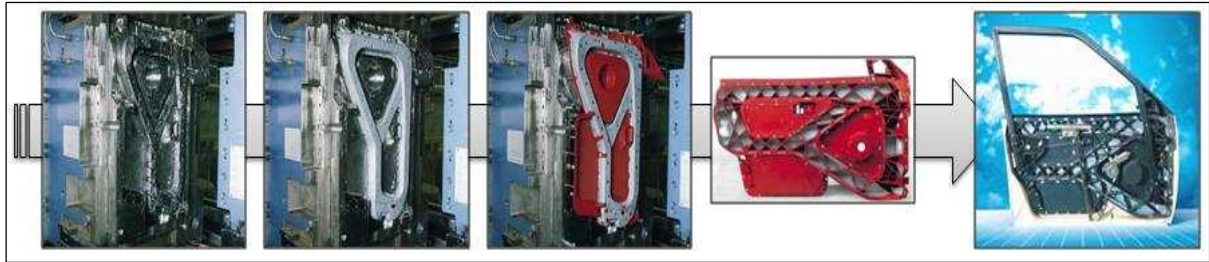


FIGURA 146: PROYECTO CARMAT: PUERTA FABRICADA CON TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO

A partir de esta idea se están realizando ya varias aplicaciones en serie; se trata de los frontales de diferentes automóviles, pilares soportes del techo, pedales, etc., en los cuales se ha demostrado que la tecnología híbrida metal plástico aporta ventajas en cuanto a peso, coste y prestaciones.

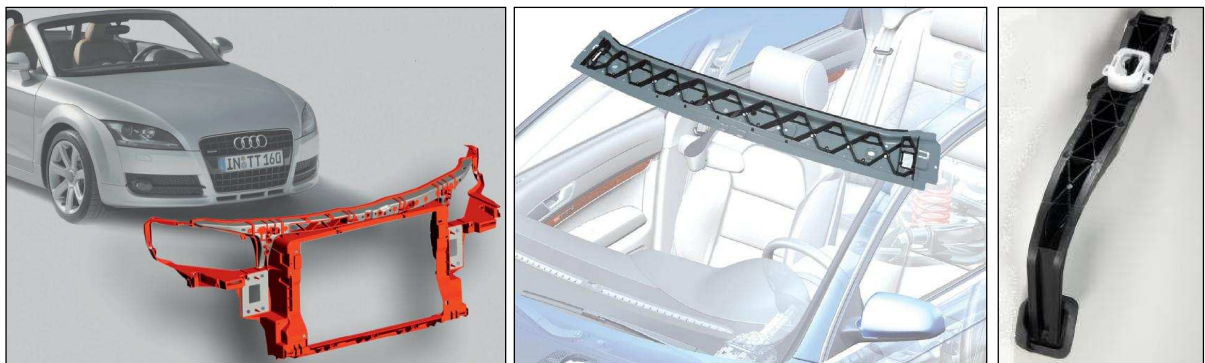


FIGURA 147: FRONTAL AUDI TT FABRICADO CON TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO

En cuanto respecta a la aplicación futura de esta tecnología cabe reseñar que actualmente se trabaja, por un lado, en la aplicación de nuevos materiales metálicos (chapa de aluminio, magnesio, etc.) y de nuevos materiales termoplásticos de altas prestaciones (PEEK, PPS, etc.) con el objetivo de poder reducir aún más el peso y mejorar así la relación resistencia – peso;, mientras que por otro lado, los fabricantes de automóviles y sus proveedores trabajan en el desarrollo de nuevos componentes para vehículos turismo que puedan ser fabricados con esta tecnología (elementos estructurales como son los pilares B, partes de la carrocería, etc.).

2.2.- ESTUDIO DE PATENTES: TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO

Tras el estudio del estado del arte de la tecnología híbrida metal – plástico se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda de patentes relacionadas con la misma con el objetivo de corroborar la innovación de la idea así como la de chequear si existe algún punto que pudiese contrariar y o limitar el desarrollo del componente.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las principales patentes encontradas a la vez que se describe brevemente el contenido de cada una de ellas: [12]

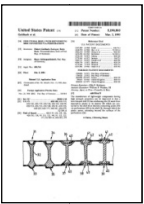
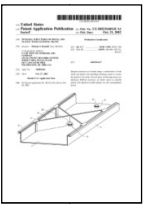
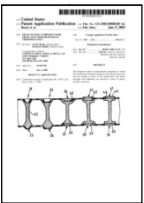
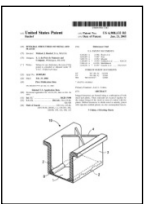

PATENTES TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO		
AÑO	VISTA PREVIA	TÍTULO Y RESUMEN
Nº DE PATENTE		NOTA: CON LA INTENCIÓN DE NO CAMBIAR EL OBJETO DE LA PATENTE SE HAN DEJADO LOS RESÚMENES DE LA MISMA EN INGLÉS TAL Y COMO EN ELLAS SE PUBLICAN
1993 US 5,190,803		STRUCTURAL SHELL WITH REINFORCING RIBS CONNECTED VIA PERFORATIONS ♦ THE MANUFACTURE OF LIGHTWEIGHT COMPONENTS HAVING HIGH STRENGTH PROPERTIES CAN BE IMPROVED IN THAT A BOWL-SHAPED SHELL HAS REINFORCING RIBS MADE FROM INJECTED-ON PLASTIC IN ITS INTERIOR WHICH ARE CONNECTED TO THE SHELL AT DISCRETE CONNECTING POINTS VIA PERFORATIONS IN THE SHELL, THROUGH WHICH THE PLASTIC PASSES, EXTENDING BEYOND THE SURFACES OF THE PERFORATIONS
2002 US 2002/0160145		INTEGRAL STRUCTURES ON METAL AND PLASTIC WITH FASTENING MEANS ♦ INTEGRAL STRUCTURES ARE FORMED USING A COMBINATION OF BOTH METAL AND PLASTIC AND INCLUDING FASTENING MEANS TO SECURE THE PLASTIC TO THE METAL. SEVERAL TYPES OF FASTENING MEANS ARE DISCLOSED. RIBBED STRUCTURES IN WHICH METAL IS SUITABLY JOINED WITH INJECTION MOLDED PLASTIC ARE ALSO CONTEMPLATED HEREIN
2003 US 2003/0008105		STRUCTURAL SHELL WITH REINFORCING RIBS CONNECTED VIA PERFORATIONS ♦ THE INVENTION RELATES TO METAL-PLASTIC COMPOSITES, IN WHICH THE COEFFICIENTS OF THERMAL EXPANSION OF THE PLASTIC STRUCTURES USED ARE SIMILAR TO THOSE OF THE METALS USED, AND WHOSE STRENGTHS AND STIFFNESS'S ARE SUPERIOR TO THOSE OF PURELY METALLIC STRUCTURES.
2005 US 6,908,132		INTEGRAL STRUCTURES ON METAL AND PLASTIC ♦ INTEGRAL STRUCTURES ARE FORMED USING A COMBINATION OF BOTH METAL AND PLASTIC. THESE MATERIALS ARE SECURED TOGETHER BY THE UNIQUE DESIGN OF THE METAL IN AREAS OF CONTACT WITH THE PLASTIC. RIBBED STRUCTURES IN WHICH METAL IS SUITABLY JOINED WITH INJECTION MOLDED PLASTIC ARE ALSO CONTEMPLATED HEREIN
2004 WO/2004/091886		METHOD FOR PRODUCING A PLASTIC-METAL COMPOSITE STRUCTURE THE INVENTION RELATES TO A METHOD FOR PRODUCING A PLASTIC-METAL COMPOSITE STRUCTURE CONSISTING OF AT LEAST ONE METALLIC OR PLASTIC MOLDED PART, SAID MOLDED PARTS BEING ASSEMBLED IN AN INJECTION MOULD AND CONNECTED IN A POSITIVELY ENGAGED MANNER BY MEANS OF A THERMOPLASTIC MATERIAL. THE INVENTIVE METHOD IS CHARACTERIZED IN THAT THE MOLDED PARTS ARE ASSEMBLED AS THE INJECTION MOULD IS CLOSED.

TABLA 29: PATENTES RELACIONADAS CON LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO

DEFINICIÓN DEL CONCEPTO “PRODUCTO Y PROCESO”

1.- DESCRIPCIÓN DEL CONCEPTO. INNOVACIÓN Y NOVEDAD

El ámbito del presente proyecto de innovación va encaminado a la investigación y desarrollo de nuevos conceptos para componentes de seguridad para vehículos automóviles, en este caso de brazos de suspensión fabricados con tecnología híbrida metal – plástico.

Este nuevo concepto conferirá a nuestro producto un gran valor añadido basado en la creación de un componente de menor peso con un precio contenido, todo ello gracias a la capacidad de integración de funciones que nos da el proceso de sobreinyección de material plástico sobre la chapa de acero. En la siguiente imagen se muestra el concepto planteado:

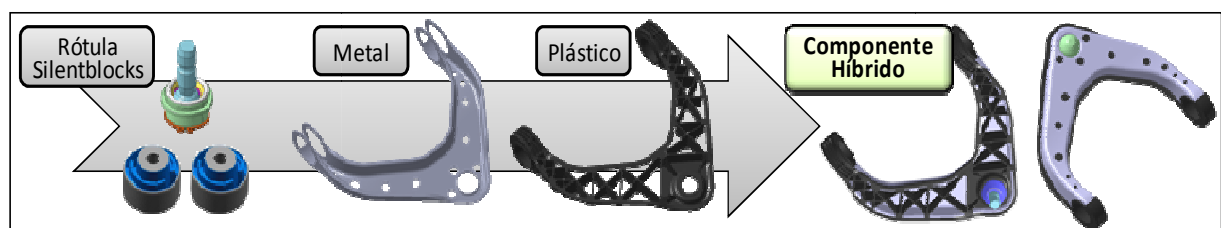


FIGURA 148: DEFINICIÓN CONCEPTO BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO METAL - PLÁSTICO

Como se comentaba en puntos anteriores la tecnología híbrida metal – plástico es una tecnología muy avanzada y con alto contenido tecnológico, que ya ha sido empleada anteriormente en el sector de automoción, pero nunca sobre componentes de seguridad como un brazo de suspensión.

Por lo tanto, para abordar este tipo de solución fue necesario trabajar en tres líneas de investigación y desarrollo; el estudio, selección y aplicación de nuevos materiales, el desarrollo, la implementación y puesta a punto de nuevos procesos productivos, y el estudio

y creación de nuevos conceptos de diseño adaptados a los nuevos materiales y a los nuevos procesos productivos.

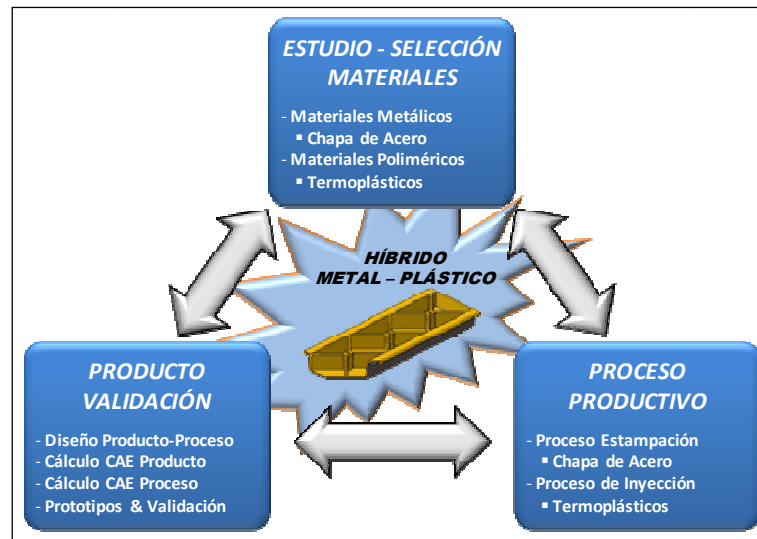


FIGURA 149: LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL - PLÁSTICO

En los siguientes puntos se detallan las líneas de investigación a seguir para la investigación, desarrollo y fabricación de brazos de suspensión híbridos metal – plástico:

↳ *Estudio, Selección y Aplicación de Nuevos Materiales*

En cuanto al estudio, selección y aplicación de nuevos materiales se propone una solución híbrida de chapa de acero de alto límite elástico y material polimérico termoplástico para la fabricación de un brazo de suspensión.

Mediante la aplicación de esta tecnología se persigue que la función estructural sea soportada por la parte metálica del componente mientras que el termoplástico sobreinyectado realizará la función de refuerzo, consiguiendo mediante la combinación de ambos materiales una relación de masa, costo y resistencia muy ventajosa.

Además el brazo de suspensión realizará sus funciones tradicionales, como son alojar los bushings delantero y trasero, responsables de la unión con el subframe, y al mismo tiempo, alojar la rótula de suspensión, cuya función es la unión entre el brazo y el sistema llanta-neumático a través de la mangueta.

Para llevar a cabo estas funciones se integrarán los componentes enumerados en el párrafo anterior dentro del brazo mediante el proceso de sobreinyección de material plástico aprovechando las bondades de este proceso productivo.

Estos requisitos estructurales, funcionales y productivos son los que llevan a la realización de un estudio de las dos familias de materiales en cuestión, cuyo objetivo principal es el de determinar cuáles son los materiales idóneos en cuanto a resistencia, coste, factibilidad productiva, etc. para el nuevo concepto de brazo de suspensión. A continuación se caracterizarán los materiales seleccionados estática y dinámicamente para profundizar aún más en el conocimiento de los mismos, conocimiento que servirá para ajustar/optimizar el diseño tanto del producto como de los procesos productivos.

↪ *Nuevos Procesos Productivos*

En cuanto a procesos productivos caben destacar dos novedades fundamentales: la estampación-embutición de aceros de alto límite elástico y la sobreinyección de material polimérico termoplástico de altas prestaciones:

- Proceso de Conformado por Estampación de Chapa de Acero:

Respecto al proceso de estampación-embutición es conveniente reseñar que la utilización de la chapa de acero en este tipo de componentes es relativamente novedosa pese a que durante los últimos años, en ZF Lemförder GmbH, se ha estado trabajando para fabricar brazos de suspensión en este tipo de materiales (sin refuerzo plástico). Una de las limitaciones que se ha encontrado, ha sido el proceso de conformado de la chapa, ya que al tratarse de aceros de alto límite elástico con geometría compleja es necesario recurrir a utillaje de gran calidad y prensas de capacidad muy elevada.

Con la solución híbrida se pretende simplificar en gran medida la geometría de la estructura, que será fabricada en chapa de menor espesor por lo que no será necesario recurrir a procesos de estampación de elevados requerimientos, todo ello gracias al posterior refuerzo del componente con material polimérico termoplástico, de tal forma que la acción conjunta de ambos materiales garantice la funcionalidad del conjunto.

- Proceso de Inyección de Material Termoplástico

El proceso de inyección de material termoplástico, ya empleado en otros componentes, permitirá una unión entre la chapa de acero y el material plástico, provocando así que ambos trabajen de manera conjunta. Mediante este proceso, como ya se indicaba anteriormente, se consigue la integración de los bushings delantero y trasero, responsables de la unión con el subframe, y al mismo tiempo, la integración de la rótula de suspensión, cuya función es la unión entre el brazo y la mangueta permitiendo el movimiento de giro según los tres ejes del espacio.

Como resultado se conseguirá que el conjunto que en la actualidad se encuentra formado por cuatro piezas que deben ser ensambladas posteriormente pase a estar compuesto por un único componente listo para ser integrado en el conjunto del eje delantero. Este extremo aporta un importante ahorro en cuanto a coste de montaje por lo que es una de las bazas fundamentales del nuevo producto.

↪ *Diseño del Nuevo Producto y su Validación*

La solución híbrida de chapa de acero de alto límite elástico y material polimérico termoplástico requiere de una nueva filosofía de diseño al combinar, en un mismo paso, familias de materiales con propiedades/comportamientos frente a sollicitaciones completamente diferentes, y procesos productivos encadenados que persiguen la integración de los dos materiales anteriores así como de otros componentes.

Debido a ello es necesario conocer por un lado las propiedades de los materiales y por otro las limitaciones y características de los procesos productivos para adaptar por un lado el nuevo diseño a las demandas de ambos y, por otro lado adaptar las herramientas de cálculo virtual a los mismos cuyos resultados serán correlacionados con los obtenidos de la validación de los prototipos fabricados.

Finalmente cabe destacar que el conocimiento alcanzado durante la realización de este proyecto de innovación será de aplicación para el resto de componentes de seguridad fabricados por la empresa, suponiendo un punto de inflexión muy importante dentro de la competitividad para la misma y colaborando de manera muy importante en el sostenimiento del empleo. Asimismo, gracias a este planteamiento, se conseguirá entrar en un círculo con la filosofía de trabajo “Conocimiento-Competitividad-Producción-Mantenimiento de Mercado-Investigación-Conocimiento” que se espera que repercuta positivamente en los resultados de la misma en el futuro.

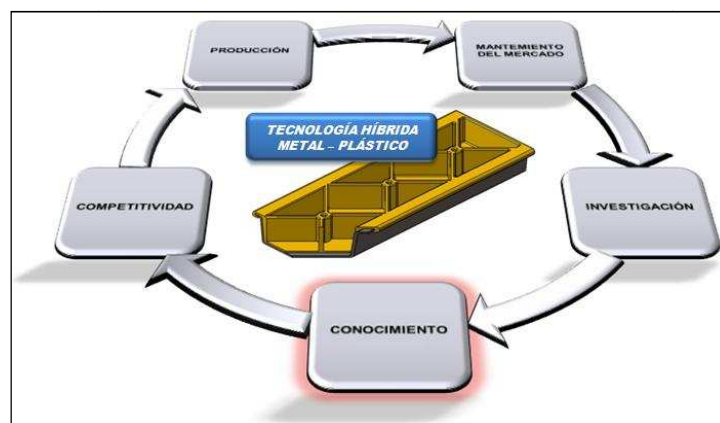


FIGURA 150: CONOCIMIENTO-COMPETITIVIDAD-PRODUCCIÓN- MERCADO-INVESTIGACIÓN-CONOCIMIENTO

1.1.- INNOVACIÓN Y NOVEDAD DEL PROYECTO

El presente proyecto se ha centrado en la realización de trabajos de investigación en campos relativos al desarrollo de nuevos productos mediante novedosos y vanguardistas procesos productivos, tratando de buscar nuevas tecnologías y nuevos procesos y adaptando el diseño de del nuevo concepto de producto a los mismos.

Trabajando en esta línea se persigue marcar un diferencial frente a la competencia de ZF Lemförder GmbH dentro del sector de los componentes de seguridad de chasis en automoción, y más concretamente dentro de los brazos de suspensión.



FIGURA 151: INNOVACIÓN Y NOVEDAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO METAL - PLÁSTICO

Las novedades que presenta el producto que surgirá de este proyecto son varias y responden a diferentes aspectos. Podemos indicar novedades en el proceso productivo y novedades tanto en las características técnicas como funcionales, las cuales se detallan en los siguientes puntos:

↳ *Novedades Técnicas:* Respecto a las novedades técnicas es importante reseñar la integración de funciones gracias a la tecnología de la sobreinyección de material termoplástico. La integración de funciones en componentes aporta una doble ventaja, por un lado la reducción de masa, ya que se eliminan tanto componentes propiamente dichos como los elementos necesarios para la unión, y por otro la simplificación del ensamblaje del componente en módulos de orden superior.

Si particularizamos el ahorro de componentes y elementos de unión al caso de nuestro componente, observamos que evitamos la utilización de todos los remaches o tornillos entre los bushings y la rótula con el brazo. Además en el caso de la rótula, el desarrollo de este proyecto conlleva el diseño de una nueva filosofía de unión esférica, que puede reducir a menos de la mitad la masa de este componente en particular.

↳ *Novedades Funcionales*: La principal novedad funcional que presenta el nuevo producto es el comportamiento más homogéneo que se obtendrá fruto de la perfecta sinergia entre los dos materiales empleados. Esta mejora del comportamiento se debe principalmente a la eliminación de uniones entre el elemento estructural y el resto de los componentes, rótula, silentblocks, etc.), lo cual conlleva la desaparición de posibles holguras entre distintos componentes.

↳ *Novedades del Proceso Productivo*: En lo que se refiere al proceso productivo destaca como novedad la utilización de la tecnología híbrida en un componente de seguridad como son los brazos de suspensión. La principal ventaja que aporta el uso de este tipo de tecnología es la sinergia que obtienen la chapa de acero y el plástico gracias a su acción conjunta que permite mejorar el comportamiento resistivo del conjunto con un peso muy reducido. Esto es, hasta el momento, algo que no se ha realizado para este tipo de componentes ya que presenta grandes complicaciones técnicas desde el punto de vista del proceso de producción.

1.2.- AVANCES CIENTÍFICOS Y TÉCNICOS QUE PROPONE EL PROYECTO

Los avances científicos y técnicos que se pretenden lograr en el proyecto de innovación aquí presentado, se pueden resumir en la investigación y desarrollo de la tecnología híbrida metal – plástico, tanto desde el punto de vista de desarrollo del producto como del proceso productivo, para su utilización en brazos de suspensión de vehículos automóviles.

Para poder alcanzar este objetivo han sido necesarios generar conocimientos científicos y técnicos en los siguientes campos:

↳ Aplicación de chapa de acero de alto límite elástico de pequeño espesor en la estampación de brazos de suspensión

Los aceros de alto límite elástico se emplean actualmente en multitud de piezas, sobre todo en elementos estructurales, que no requieren de una precisión en las dimensiones muy ajustada. La intención del proyecto es la de emplear este tipo de aceros, pero dentro de una aplicación que requiere unas dimensiones muy ajustadas.

Es decir, se plantea el aplicarlo a piezas con tolerancias dimensionales muy estrechas, así como tolerancias geométricas, de forma y posición, de la misma magnitud, todo ello unido a un reducido espesor con el objetivo de ahorrar peso. El motivo por el cual se trabaja en estos rangos de tolerancias tan estrechos reside, por un lado, en los requisitos de packaging que tienen estos componentes en su ubicación en

el vehículo, mientras que, por otro lado, residen en las tolerancias necesarias para que los brazos ajusten perfectamente en nuestros moldes de inyección de plástico para asegurar una operación de sobreinyección de material plástico correcta y de calidad.

Para ello será necesario conocer cómo se comportan los materiales de alto límite elástico cuando se les exige esta nueva condición y también deberemos de estudiar los procesos de fabricación de estampación hasta llegar al conocimiento necesario para poder obtener las citadas tolerancias.

↪ Aplicación de un proceso de sobreinyección de plástico para reforzar la chapa de acero a la vez que integrar componentes en el brazo de suspensión

La sobreinyección de plástico es una técnica ya empleada en otros sectores de la industria pero nunca para componentes de seguridad de chasis de vehículos automóviles. Nuestra intención es emplear materiales poliméricos termoplásticos de altas prestaciones los cuales, mediante un proceso de sobreinyección sobre la chapa metálica, nos aseguren una rigidez y resistencia adecuada del componente híbrido, así como la posibilidad de integrar funciones mediante el embebido de componentes tales como los silentblocks y la rótula en el material termoplástico.

El avance que presenta este proceso de inyección, respecto a los que existen hoy en día en otras piezas, reside en las estrechas tolerancias, que como ya se comentaba en el punto anterior, son necesarias en este tipo de componentes. Esto nos conduce a la necesidad de, para obtener un ajuste perfecto, como un guante, entre la chapa metálica y el utillaje, fabricar utillajes para la inyección con tolerancias muy ajustadas.

Para conseguir fabricar unos moldes con tolerancias tan estrechas y principalmente, para conseguir una perfecta sobreinyección y llenado del molde, será necesario conocer en primer lugar cómo se comportan los materiales poliméricos cuando se les exige esta condición de procesabilidad bajo inyección y, en segundo lugar, cuales son los parámetros de proceso (presión, temperatura,...) que nos aseguran un correcto procesado del material.

Finalmente, a modo de resumen final, cabe destacar que los dos avances aquí planteados son algo novedoso en el mercado y actualmente no se encuentra el conocimiento sobre este tema liberado para su uso. Esto nos lleva a la necesidad de buscar y generar ese conocimiento, en materiales y en procesos, para posteriormente aplicarlo.

2.- DEFINICIÓN DEL CONCEPTO

Tal y como se comentaba en el punto “Descripción del Concepto” de este mismo capítulo, para desarrollar un componente con la tecnología híbrida metal – plástico, en este caso un concepto de brazo de suspensión, es necesario trabajar en tres líneas de investigación y desarrollo:

- ↪ El estudio, selección y aplicación de nuevos materiales
- ↪ El estudio, implementación y puesta a punto de novedosos procesos productivos
- ↪ El estudio y generación de nuevos conceptos de diseño adaptados los nuevos materiales y procesos productivos

Debido a la complejidad del problema se decidió, en esta fase de concepto, trabajar con una geometría simplificada, perfil en U. Basándose en esta geometría se determinarán los materiales idóneos en cuanto a resistencia y coste, los riesgos, problemática y parámetros de los procesos productivos a emplear y por último, las reglas de diseño a tener en cuenta para el diseño del brazo de suspensión como pueden ser la geometría del material metálico y del nervado plástico, su disposición, métodos de unión entre ambos, etc.

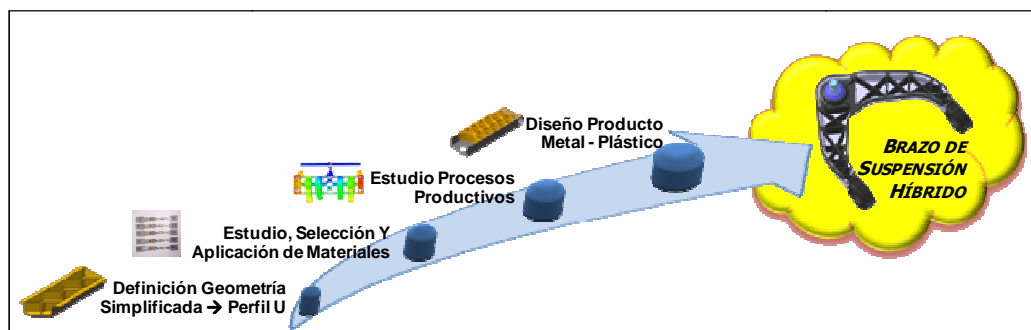


FIGURA 152: METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL CONCEPTO: TECNOLOGÍA HÍBRIDA METAL – PLÁSTICO

Al final de esta fase de investigación y desarrollo se obtendrá el conocimiento necesario para lograr encontrar un equilibrio entre las diferentes líneas de trabajo (materiales, producto y proceso), lo cual sentará las bases para poder, en la siguiente fase del proyecto alcanzar el objetivo marcado a principios de este bloque, “*desarrollar un nuevo concepto tecnológico para un componente de seguridad de un vehículo automóvil, en particular el desarrollo de un nuevo concepto tecnológico para un brazo de suspensión*”.

2.1.- ESTUDIO Y SELECCIÓN DE MATERIALES

En los siguientes puntos se estudian los materiales a emplear, el material metálico, chapa de acero de alto límite elástico y el material polimérico, material termoplástico reforzado.

2.1.1.- Material Metálico. Chapa de Acero

Para la fabricación de los diferentes componentes metálicos ferrosos que componen un vehículo, se emplea chapa de acero de todas las familias metalúrgicas principales, aceros de baja, alta y muy alta resistencia. A día de hoy, como se observa en la siguiente imagen, existen diferentes familias las cuales debido a las crecientes exigencias del mercado automovilístico no paran de crecer. [17]

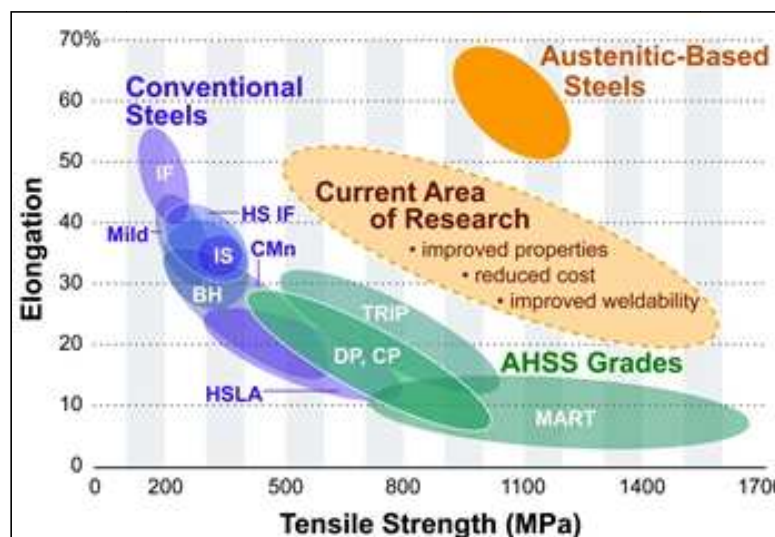


FIGURA 153: FAMILIAS METALÚRGICAS DE LOS ACEROS DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO

Con el objetivo de controlar este crecimiento se definen diferentes criterios para clasificar los aceros en las diferentes familias como son sus características mecánicas, el compromiso entre resistencia y ductilidad y los principios metalúrgicos empleados (composición química y procesos termomecánicos). Asimismo dentro de cada familia metalúrgica, las calidades se definen mediante clasificaciones por rangos del límite elástico (R_e o σ_Y) y de la resistencia a la tracción o a la rotura (R_m o σ_{UTS}).

En los siguientes puntos se profundiza en el estudio de estos criterios de ordenamiento con el objetivo de poder fijar las bases para la posterior clasificación detallada de las familias de aceros y la final selección del material más adecuado para la aplicación. [2]

2.1.1.1.- Propiedades Mecánicas de los Aceros

Las propiedades mecánicas de un acero son el resultado de combinar varios parámetros definidos a lo largo de todo el proceso de fabricación del acero, dos de ellos particularmente importantes:

- ↪ La composición química
- ↪ El proceso termomecánico.

2.1.1.1.1 La Composición Química

La composición de la aleación confiere al acero su nivel de resistencia mecánica. El arrabio, primera etapa en la fabricación del acero, es el mismo para todos los productos y es durante la etapa siguiente, en la acería, cuando se añaden o eliminan los elementos de aleación, proceso que define las grandes familias del acero, de las más resistentes a las más conformables. La proporción de carbono es fundamental en esta gradación, porque es el principal elemento endurecedor del hierro. Otros elementos, como el manganeso, el silicio o el fósforo, también intervienen en el ajuste del nivel de resistencia del acero.

Además se pueden añadir otros elementos de aleación de manera más selectiva, como titanio, niobio o vanadio, que confieren propiedades específicas de dureza. En tales casos se habla de aceros microaleados, ya que el efecto de estos elementos se manifiesta aunque se añadan en cantidades muy pequeñas en comparación con los restantes elementos de aleación. Cabe reseñar que en el caso de los aceros de fases múltiples (Dual Phase, TRIP, Complex Phase, etc.), la obtención de las fases duras puede requerir adiciones de cromo y de molibdeno.

El nitrógeno y el carbono son elementos químicos de átomos pequeños en comparación con los del hierro. Se denominan elementos intersticiales porque se sitúan con facilidad en el interior de la matriz cristalina del hierro. Al colocarse en los intersticios de la red cristalina, endurecen todo el cristal porque bloquean las posibilidades de deslizamiento de los planos atómicos entre sí. Su cantidad en la aleación es determinante para definir las propiedades mecánicas que tendrá el acero.

El contenido de carbono se ajusta principalmente inyectando oxígeno en el arrabio líquido, aunque luego se puede completar con una operación en vacío. En cuanto se refiere a la descarburación y la desnitruración, es decir, a la precipitación de los átomos de carbono y

de nitrógeno residuales en compuestos demasiado grandes para que puedan ocupar posiciones intersticiales, se puede hacer de dos maneras:

↪ La adición de titanio (aceros calmados con titanio). Este segundo método es el más eficaz para reducir al mínimo el nitrógeno y el carbono intersticiales y da lugar a los aceros dulces de tipo IF - sin elementos intersticiales (Interstitial Free)

↪ La adición de aluminio (aceros calmados al aluminio), que es el método elegido para los aceros normales y de alta resistencia

Finalmente, a modo de resumen, se presentan en la siguiente tabla la influencia de los elementos aleantes más utilizados en las propiedades del acero: [17]

INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS ALEANTES EN LAS PROPIEDADES DEL ACERO															
ELEMENTOS DE ALEACIÓN	PROPIEDADES MECÁNICAS								OTRAS CARACTERÍSTICAS						
	DUREZA	RESISTENCIA	LÍMITE ELÁSTICO	ALARGAMIENTO	REDUCCIÓN DE ÁREA	VALOR DE IMPACTO	ELASTICIDAD	ESTABILIDAD A ALTA TEMPERATURA	VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO	FORMACIÓN DE CARBUROS	RESISTENCIA AL DESGASTE	CONFORMABILIDAD	MAQUINABILIDAD	OXIDACIÓN A ALTA TEMPERATURA	RESISTENCIA A LA CORROSIÓN
SILICIO	↑	↑	↑↑	↓	→	↓	↑↑	→	↓	↓	↓↓	↓	↓	↓	∅
MANGANESO (A.PERLÍTICO)	↑	↑	↑	→	→	→	↑	→	↓	→	↓↓	→	↓	→	∅
MANGANESO (A.AUSTENÍTICO)	↓↓	↑	↓	↑↑	→	∅	∅	∅	↓↓	∅	∅	↓↓	↓↓	↓↓	∅
CROMO	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓↓	↑↑	↑	↓	∅	↓↓	↑↑
NÍQUEL (A.PERLÍTICO)	↑	↑	↑	→	→	→	∅	↑	↓↓	∅	↓↓	↓	↓	↓	∅
NÍQUEL (A.AUSTENÍTICO)	↓↓	↑	↓	↑↑	↑↑	↑↑	∅	↑↑	↓↓	∅	∅	↓↓	↓↓	↓↓	↑↑
ALUMINIO	∅	∅	∅	∅	↓	↓	∅	∅	∅	∅	∅	↓↓	∅	↓↓	∅
TUNGSTENO	↑	↑	↑	↓	↓	→	∅	↑↑	↓↓	↑↑	↑↑	↓↓	↓↓	↓↓	∅
VANADIO	↑	↑	↑	→	→	↑	↑	↑↑	↓↓	↑↑	↑↑	↑	∅	↓	↑
COBALTO	↑	↑	↑	↓	↓	↓	∅	↑↑	↑↑	∅	↑↑	↓	→	↓	∅
MOLIBDENO	↑	↑	↑	↓	↓	↑	∅	↑↑	↓↓	↑↑	↑↑	↓	↓	↑↑	∅
COBRE	↑	↑	↑↑	→	→	→	∅	↑	∅	∅	∅	↓↓	→	→	∅
AZUFRE	∅	∅	∅	↓	↓	↓	∅	∅	∅	∅	∅	↓↓	↑↑	∅	↓
FÓSFORO	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓	∅	∅	∅	∅	∅	↓	↑↑	∅	∅

↑ INCREMENTO ↓ REDUCCIÓN → CONSTANTE ∅ SIN CARACTERÍSTICAS

TABLA 30: INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS ALEANTES EN LAS PROPIEDADES DEL ACERO

2.1.1.1.2 El Proceso Termomecánico

El acero tiene una estructura granular que influye en el comportamiento mecánico de los aceros a dos niveles:

- ↪ A escala microscópica, debido a las irregularidades de alineación (dislocaciones) y a los elementos de aleación de inserción o de sustitución que tiene cada grano, que es a su vez un mono-cristal de hierro
- ↪ A escala más macroscópica, debido a la forma de los granos (alargados o equiaxiales) y a su tamaño

Para una composición química concreta, estas características guardan relación con los ciclos termomecánicos que atraviesa el metal a lo largo del proceso de fabricación:

- ↪ Solidificación en forma de planchón
- ↪ Laminado en caliente
- ↪ Laminado en frío
- ↪ Tratamientos Térmicos (Recocido)
- ↪ Laminación de endurecimiento

Las temperaturas de laminado y bobinado, las velocidades de enfriamiento, los porcentajes de reducción del espesor en el tren de laminación en frío, los ciclos de recocido y los niveles de laminación de endurecimiento son otros parámetros que permiten ajustar la estructura del acero y, por consiguiente, las propiedades finales de los productos.

2.1.1.2.- Estudio de las Propiedades Mecánicas del Acero

Al elegir un material para una determinada aplicación, se debe conseguir un compromiso de equilibrio entre las propiedades funcionales requeridas en la pieza y las de factibilidad de los procesos productivos asociados, en este caso la factibilidad del proceso de conformado por estampación. De esta situación se deriva la necesidad de conocer las propiedades mecánicas del material desde el punto de vista del producto (características que determinarán su funcionalidad) y del proceso productivo (que determinarán la factibilidad).

Con el objetivo de determinar de una manera precisa las propiedades mecánicas de la chapa de acero, comercializada actualmente como laminado en frío en espesores inferiores a

3 mm o como laminado en caliente espesores superiores a 2 mm, se optó por la caracterización del mismo mediante el ensayo de tracción, el comportamiento en fatiga y el análisis de la factibilidad de la transformación, la estampabilidad, mediante la utilización de las curvas límites de conformación.

2.1.1.2.1 Caracterización Mediante Ensayo de Tracción

El ensayo de tracción es el método más empleado para establecer las propiedades mecánicas de estos materiales metálicos. Este ensayo se caracteriza, por un lado, por ser fácil y rápido de aplicar y estar normalizado y, por otro lado, porque la curva de tracción resultante proporciona datos precisos y numerosos.

Este ensayo uni-axial descrito de forma precisa en la norma UNE-EN 10002-1:2002, consiste en someter a un esfuerzo de tracción creciente una probeta de la clase de acero que se desea caracterizar. La deformación se aplica en una sola dirección de la probeta, longitudinal o transversal. Se registran simultáneamente la carga necesaria para deformar la probeta hasta el punto de rotura y la deformación de la propia probeta, lo que permite trazar la curva de esfuerzo (carga dividida por sección inicial de la probeta) en función de la deformación (expresada como porcentaje del alargamiento respecto de la medida inicial de la probeta L_0). [14]

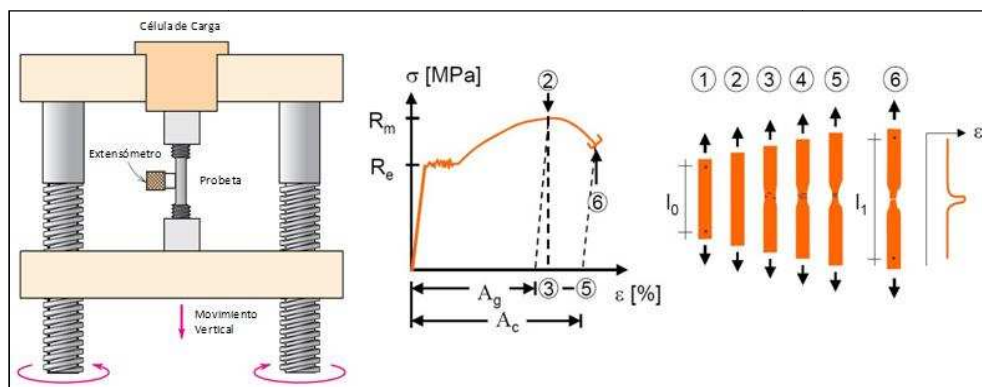


FIGURA 154: ENSAYO DE TRACCIÓN. CURVA DE TRACCIÓN. FORMA DE LA PROBETA DE TRACCIÓN

En cuanto se refiere al tamaño de estas probetas de tracción cabe destacar que el tamaño de las mismas variará en función del espesor del producto/chapa a ensayar. De esta manera se definen las siguientes dimensiones, las cuales pueden variar en función del país (normas ASTM en EEUU y normas JIS en Japón):

↪ Espesores inferiores a los 3 mm la anchura será de 20 mm y la longitud de 80 mm

↳ Espesores mayores a 3 mm la anchura pasará a ser de 30 mm y la longitud se determinará mediante la fórmula $5,65 \cdot S_0$, siendo S_0 igual al ancho por el espesor.

No obstante hay que tener en cuenta que todos los parámetros que se deducen del ensayo de tracción describen las propiedades del acero en una dirección determinada: la del ensayo. Los valores dependen, pues, de la dirección de extracción de la muestra para la probeta respecto de la dirección de laminado de la chapa.

Esto conduce a la necesidad de, al proporcionar las características mecánicas del acero, indicar la dirección de extracción respecto del sentido de laminado. De esta manera se indica sentido longitudinal SL (indicado por el índice 0°); sentido transversal ST (indicado por el índice 90°) y sentido oblicuo (indicado por el índice 45°).

La siguiente imagen muestra una curva característica obtenida mediante este ensayo. A continuación se detallan las magnitudes características del material que de ésta se extraen:

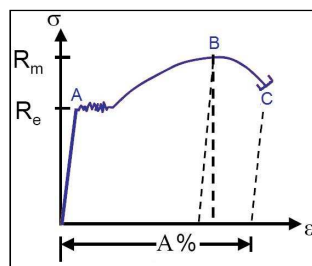


FIGURA 155: FORMA DE LA CURVA DE TENSIÓN-DEFORMACIÓN METALES

↳ *Límite Elástico: R_e*

Punto A de la curva de tracción. Es la carga que delimita el rango elástico en el cual las deformaciones son reversibles, respecto del rango plástico en el que comienzan las deformaciones irreversibles. Se pueden dar dos casos:

- La transición entre los rangos elástico y plástico provoca la aparición de un pico seguido de una meseta, es decir, un desplazamiento brusco del límite elástico. Se distingue el límite elástico superior R_{eH} , que corresponde al pico mencionado, y el límite elástico inferior R_{eL} , que corresponde a la meseta. La longitud de la meseta viene definida por la magnitud A_p .
- La transición es progresiva. En este caso, el límite elástico se define de la manera convencional, es decir, se mide para un valor de elongación del 0,2% y se denomina $R_{p0,2}$. Sea cual sea el caso, a lo largo del documento se utilizará la designación R_e .

↪ *Resistencia a la Tracción (Resistencia a la Rotura o Mecánica): R_m*

Punto B de la curva de tracción. Es la carga máxima alcanzada durante el ensayo de tracción. A partir de este punto, la deformación comienza a manifestarse en forma de estricción o cuello, lo que explica la disminución del esfuerzo necesario para la deformación una vez superado el punto B.

↪ *Alargamiento de Rotura: A %*

Es el valor remanente de alargamiento después de la rotura de la probeta, en el punto C de la curva de tracción.

↪ *Coefficiente de Acritud: n*

Este coeficiente caracteriza la propensión del acero a endurecerse durante la deformación dentro del rango plástico (cuanto mayor es n , más deprisa se endurece el acero), a soportar una deformación expansiva y a distribuir las deformaciones.

Durante el ensayo de tracción se miden los esfuerzos en relación con la sección inicial de la probeta. Si se calculan los esfuerzos en relación con la sección instantánea de la probeta utilizando las leyes de conservación de la materia, se obtienen las tensiones reales σ las deformaciones reales ϵ . La curva resultante de trazar $\sigma = f(\epsilon)$ se denomina curva racional de tracción, la cual se puede expresar según la ley de Hollomon $\sigma = k \cdot \epsilon^n$, donde n es el coeficiente de acritud.

↪ *Coefficiente de anisotropía: r*

Este coeficiente mide la tendencia del acero a resistir el adelgazamiento durante el ensayo de tracción. Expresa la relación entre la deformación en anchura y la deformación en espesor de la probeta. Por tanto, refleja la capacidad del acero para la estampación profunda mediante la absorción de la deformación por adelgazamiento.

Los valores usuales de r , cercanos a 1 en las chapas en caliente, pueden alcanzar valores cercanos a 3 en el caso de las chapas más favorables a la estampación.

↪ *Endurecimiento por Envejecimiento (Bake Hardening)*

Es la capacidad de endurecimiento de los aceros mediante un proceso térmico, la cual se aprovecha para provocar un aumento del límite elástico R_e en la pieza acabada. Así, estos aceros permiten combinar una buena capacidad de estampación y, tras el proceso térmico, por ejemplo el derivado de una protección superficial (secado pintura), una buena resistencia a la deformación plástica y una dureza elevada.

Este endurecimiento, denominado BH, se determina midiendo el aumento de R_e en un tratamiento térmico a 170°C durante 20 minutos después de una predeformación por tracción uni-axial del 2%.

↪ *Endurecimiento por Deformación (Work Hardening)*

Es el aumento del límite elástico respecto del nivel de referencia después de una deformación plástica. Está relacionado directamente con el coeficiente de acritud del acero.

2.1.1.2.2 *Caracterización Mediante Estudio del Comportamiento Cíclico*

Si el proceso de carga mostrado en el punto anterior se invierte y la probeta se descarga después de haber superado el límite elástico, la relación de la tensión-deformación seguirá una línea con una pendiente equivalente al módulo de elástico E , según lo ilustrado por el segmento A-B en la siguiente imagen. [7]

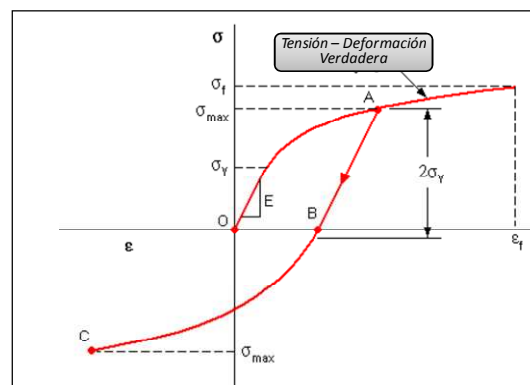


FIGURA 156: CURVA TENSION – DEFORMACIÓN TRAS DESCARGA

De la misma manera se observa que si se somete a la misma probeta a una carga de compresión $-\sigma_{\max}$, el material empieza a deformarse plásticamente a un nivel de carga menor que el límite elástico inicial R_e . En una primera aproximación de este comportamiento, se observa que la curva tensión – deformación entre los puntos A-C se podría obtener doblando los valores de la curva tensión – deformación del tramo O-A.

Si el proceso de carga y descarga mostrado en la figura anterior se repite en el rango de cargas σ_{\max} a $-\sigma_{\max}$ se produce un ciclo de histéresis como el que se muestra a continuación, el cual define un ciclo de fatiga en el método de la deformación vida (E-N), método que se estudiará en el siguiente punto. En este gráfico, el área dentro del ciclo o lazo de histéresis es la energía disipada por unidad de volumen durante un ciclo.

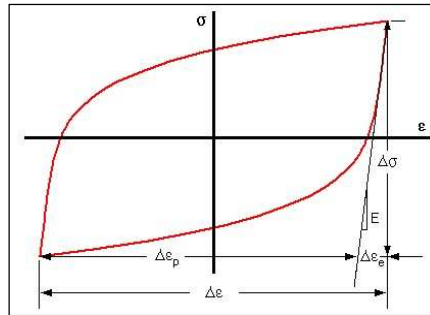


FIGURA 157: CICLO DE HISTÉRESIS CURVA TENSION – DEFORMACIÓN

Como se observa en la imagen anterior, esta curva cíclica de tensión – deformación define la relación entre la tensión y la deformación bajo condiciones de carga cíclicas la cual se puede comparar directamente con la curva de tensión – deformación verdadera para determinar los efectos de las cargas cíclicas en el material.

Como sucede en la curva de tensión verdadera – deformación de un material, la curva de tensión-deformación total cíclica es la suma de la deformación elástica y plástica.

$$\Delta\varepsilon = \Delta\varepsilon_e + \Delta\varepsilon_p = \frac{\bar{\sigma}}{E} + \left(\frac{\bar{\sigma}}{K'}\right)^{\frac{1}{n'}}$$

Donde $\bar{\sigma}$ es la tensión aplicada, E el módulo de elasticidad o módulo de Young, K' es el coeficiente de resistencia cíclica y n' es el exponente de endurecimiento cíclico.

2.1.1.2.3 Caracterización Mediante Ensayo de Comportamiento en Fatiga

Existen diferentes procedimientos para caracterizar el comportamiento en fatiga de un material, pero industrialmente existen tres que predominan frente al resto, los cuales se encuentran relacionados entre sí tal y como indica la figura: [3]

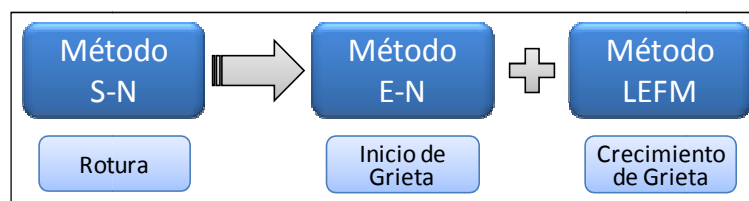


FIGURA 158: RELACIÓN MÉTODOS / ENFOQUES DEL CÁLCULO DE FATIGA

A continuación se detallan cada uno de estos métodos: [2] [9]

➤ *Método tensión vida (S-N) o de Wöhler:* Este método estima el número de ciclos de carga para el cual se produce la rotura total de la pieza a partir del historial de

tensiones. Fue el primer método que apareció, y sobre todo el que más se ha investigado, obteniendo así muchas leyes de materiales. Es un método de fácil utilización, ya que la estimación de las curvas del material es muy simple, y permite hacer una evaluación rápida. El inconveniente es que sólo es válido para niveles de tensiones en régimen elástico y está basado en las propiedades estáticas del material.

↳ *Método deformación vida (E-N) o de las deformadas locales:* Calcula el momento en el que aparece la grieta, a partir del historial de deformaciones. Este método requiere mayor complejidad numérica en la evaluación del daño, pero los resultados son bastante precisos. Es válido tanto para niveles de deformaciones elásticas como plásticas. Aunque requiere conocer el comportamiento cíclico del material.

↳ *Método LEFM (Linear Elastic Fracture Mechanics):* Con este método se obtiene la profundidad de grieta máxima para la que rompe la pieza. Por lo tanto conociendo la profundidad de una grieta, se puede estimar el número de ciclos que restan para la aparición de la fractura. Durante el proceso de crecimiento de la grieta la utilización de la pieza es segura.

De entre los tres métodos expuestos para el cálculo de fatiga se decidió utilizar el segundo de ellos, el método deformación vida (E-N) o de las deformadas locales, ya en el marco en el que queda recogida la Tesis, desarrollo de un componente de seguridad para un vehículo automóvil, un brazo de suspensión, no se permite la existencia de grietas, al depender de este componente la seguridad y control del vehículo completo.

2.1.1.2.3.1 Método Deformación Vida (E-N) o de las Deformadas Locales

Este método asume que el número de ciclos que transcurren hasta que aparece la grieta está determinado por la secuencia de deformaciones desarrolladas en la superficie.

Asimismo, está basado en la suposición de que el periodo que tarda en crearse una grieta depende de la historia de deformaciones que se producen en la superficie. Consecuentemente, si se produce la misma historia de deformación en dos piezas distintas, pero del mismo material y estado superficial, la grieta tardará lo mismo en aparecer.

Finalmente cabe destacar que el método de deformaciones locales estima el número de ciclos requeridos para la aparición de una grieta. Este momento se considera cuando la grieta tiene entre 1 y 2 mm de profundidad. No obstante cabe destacar que para poder evaluar el momento en el que se inicia la grieta es necesario conocer el comportamiento cíclico del material y el de fatiga.

Curva Deformación-Vida (E-N) a Fatiga

La relación existente entre la tensión superficial y el número de ciclos hasta que aparecía una grieta fue deducida por Basquin en 1910. Para ello sometió a una serie de probetas iguales a fuerzas de amplitud constante y radio de carga -1, es decir con tensión media nula. Posteriormente realizó una regresión entre el rango de tensiones y el número de alternancias hasta que se iniciaba la grieta, considerando que 2 alternancias formaban un ciclo. En esta regresión se apreció que si el rango de tensión y el número de alternancias se expresan en escala logarítmica, la relación entre ellos es lineal, como se observa en la siguiente imagen. [7]

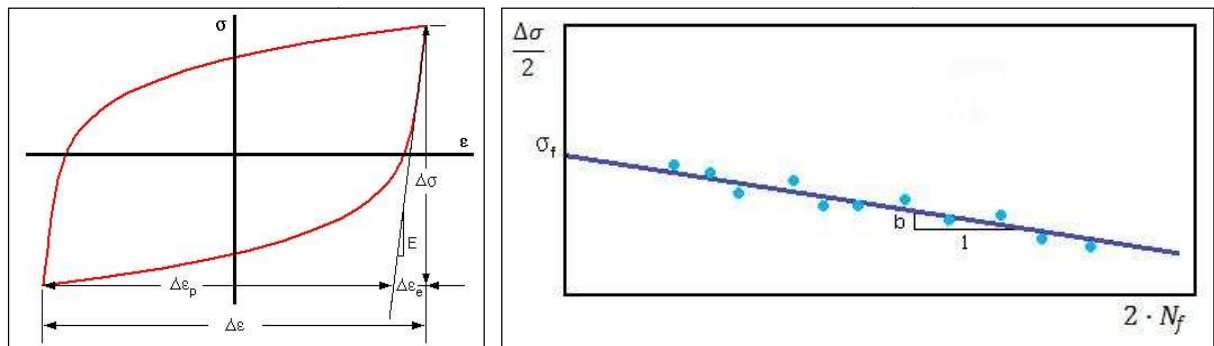


FIGURA 159: RELACIÓN/CURVA TENSION – VIDA

La expresión matemática que rige este fenómeno es:

$$\frac{\Delta\sigma}{2} = \sigma_f' \cdot (2 \cdot N_f)^b$$

Donde σ_f' es el coeficiente de resistencia a la fatiga y b es el exponente de resistencia a la fatiga o exponente de Basquin.

Esta relación es muy similar a la curva tensión-vida creada por Wöhler. Sin embargo, si las tensiones superan el límite elástico cíclico, esta relación pierde la linealidad y no se pueden extrapolar resultados, quedando por lo tanto su uso limitado a situaciones donde las tensiones no superen este límite.

Debido a que la medida experimental de las tensiones que existen en las entallas es complicada y no así la medida de las deformaciones, la cual se puede realizar mediante galgas extensiométricas, normalmente se representa la relación anterior en función de las deformaciones.

Esta conversión se realiza de la siguiente manera: [7]

$$\Delta \varepsilon_e = \frac{\Delta \sigma}{E}$$

$$\frac{\Delta \varepsilon_e}{2} = \frac{\sigma_f'}{E} \cdot (2 \cdot N_f)^b$$

Con el objetivo de completar el estudio de Basquin en el rango de deformaciones plásticas Coffin y Manson desarrollaron una relación entre la deformación plástica y el número de alternancias hasta inicio de grieta. Esta relación queda representada matemáticamente y gráficamente de la siguiente forma: [7]

$$\frac{\Delta \varepsilon_p}{2} = \varepsilon_f' \cdot (2 \cdot N_f)^c$$

Donde ε_f' y b son el coeficiente y exponente de ductilidad a la fatiga respectivamente.

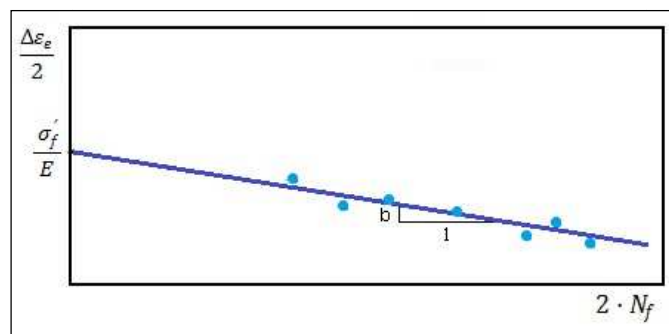


FIGURA 160: RELACIÓN/CURVA DEFORMACIÓN ELÁSTICA – VIDA

Con esta relación, representada gráficamente en la siguiente figura, se puede calcular la vida a inicio de grieta cuando el material está sometido a grandes deformaciones, ya que en esos puntos la deformación elástica es muy pequeña, y la mayor parte de la deformación es plástica.

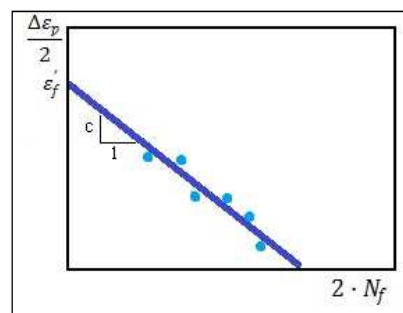


FIGURA 161: RELACIÓN/CURVA DEFORMACIÓN PLÁSTICA – VIDA

Ambos métodos por separado son capaces de calcular la vida a inicio de grieta para casos de deformación predominantemente elástica o predominantemente plástica, pero no cuando la deformación tiene ambas componentes del mismo orden de magnitud.

Debido a que la deformación total es la suma de la deformación elástica y plástica, si se suman las dos componentes anteriormente expuestas se puede conocer el número de alternancias necesarias para el inicio de grieta para cualquier valor de amplitud de deformación constante.

El método de las deformaciones locales queda por tanto expresado según la siguiente expresión matemática: [7]

$$\frac{\Delta\varepsilon}{2} = \frac{\Delta\varepsilon_e}{2} + \frac{\Delta\varepsilon_p}{2} = \frac{\sigma_f'}{E} \cdot (2 \cdot N_f)^b + \varepsilon_f' \cdot (2 \cdot N_f)^c$$

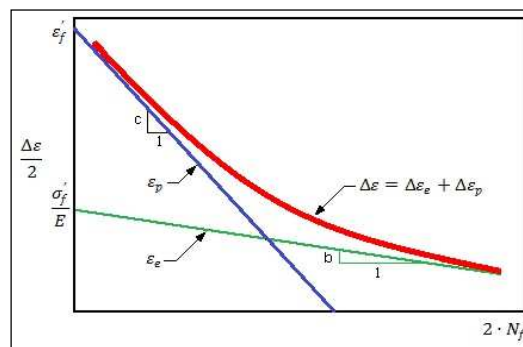


FIGURA 162: RELACIÓN/CURVA DEFORMACIÓN – VIDA

A partir de esta curva, conocida la amplitud de deformaciones del ciclo de histéresis formado por la medida de las deformaciones y tensiones superficiales, una vez estabilizado, se puede conocer cuántos ciclos tardará en aparecer una grieta. Para tener en cuenta el comportamiento cíclico del material, la amplitud de deformación se selecciona cuando el material ha estabilizado su comportamiento. Es cierto que el periodo transitorio inicial no es tenido en cuenta, pero esa parte se desprecia y se considera que se ha comportado en todo el tiempo en régimen estabilizado.

El inconveniente que presenta este método es que ha sido poco aplicado, por la dificultad de conocer las deformaciones que se producen en las entallas mediante galgas, zonas en las que normalmente se produce el fallo por fatiga. El cálculo manual de las deformaciones en zonas complejas, con concentradores de deformación está poco estudiado y existe muy poca bibliografía. El desarrollo que ha habido de los métodos de cálculo en los

últimos años, gracias a la utilización de la informática, permite que, mediante el estudio por elementos finitos, se puedan conocer estas deformaciones, haciendo por lo tanto factible la aplicación de este método de cálculo.

Finalmente cabe destacar que para materiales como el acero este método no presenta límite de fatiga, ya que a cualquier valor de deformación le corresponde un número de ciclos para el que se produce fallo, algo que no ocurría en las curvas tensión – deformación (S-N). En realidad, si el valor de la fuerza alternante fuese constante si existiría el concepto de límite de fatiga, pero el ámbito de aplicación de este método es más generalista. En el uso cotidiano de los componentes, además actúan fuerzas de amplitud variable, por lo que en este caso el límite de fatiga no se conserva, ya que alguno de los ciclos puede provocar plastificación en la superficie de la entalla, haciendo que varíe el límite de plasticidad y por tanto provocando que ciclos de menor amplitud que en un principio no eran dañinos, pasen a serlo. En resumen, la ausencia del límite de fatiga tiene por objeto recoger el efecto que acaba de ser descrito y dar una mayor generalidad al método.

De la misma forma, los factores de modificación de la vida a fatiga (factor de acabado superficial, tamaño, etc.) se aplican de forma diferente para las curvas de deformación elástica y plástica. En la curva de deformación elástica influye sobre todo el estado superficial de la pieza, ya que debido a imperfecciones en la superficie se pueden producir tensiones elásticas mucho más elevadas que en el resto de la superficie de la pieza, y que puede provocar una rotura cuando no está estimada. Sin embargo, en la curva de deformación plástica influye más el comportamiento plástico del material que el estado superficial. Esto se debe a que se producen tensiones plásticas que se crean por el acabado superficial y se reparten por la entalla, no generando un pico de tensión.

Por último cabe reseñar que la gran ventaja de este método reside en que se llega a conocer el momento en el cual se inicia una grieta, no el de la rotura de la pieza, y además se puede estudiar el comportamiento a fatiga en la zona en la que dominan las deformaciones plásticas.

Efecto de la Tensión Media en la Curva Deformación-Vida (E-N) a Fatiga

El método de las deformaciones locales se desarrolló para el cálculo con ciclos de amplitud de deformación constante. Si se ensaya con el mismo valor de amplitud de

deformación pero las tensiones de los picos son diferentes, es decir, existe una tensión media, no se puede aplicar directamente la Curva Deformación-Vida (E-N), ya que se estarían cometiendo errores de estimación. Esto se debe a que para la misma amplitud de deformación si $[\sigma_{max}] > [\sigma_{min}]$ el componente resistirá menos que si los dos tuviesen la misma tensión en valor absoluto. [3]

Con el objetivo de corregir este efecto se han propuesto varias relaciones, siendo las más importantes la relación de Morrow y la de Smith-Watson-Topper.

↪ *Corrección de Morrow.* Morrow dedujo que la tensión media afectaba especialmente a la región elástica y prácticamente nada a la plástica, por lo que en el método de las deformaciones locales modificó solamente la parte elástica. Esta modificación consiste en restar el coeficiente de resistencia a la fatiga la tensión media del ciclo. Como se observa en la siguiente figura la curva de deformación – vida y la de Morrow son iguales en la parte plástica, empezando a verse una diferencia entre ambas cuando la parte elástica toma una mayor importancia.

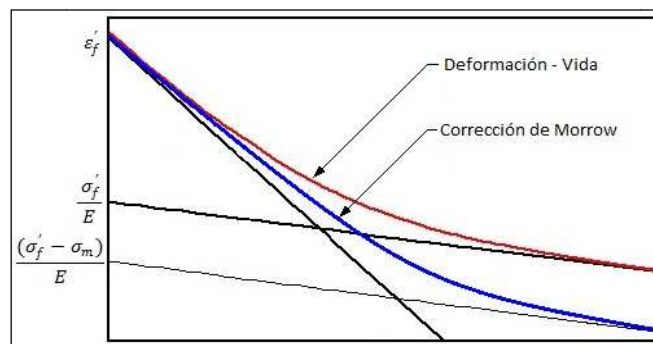


FIGURA.163: CORRECCIÓN DE MORROW CURVA DEFORMACIÓN – VIDA

A continuación se presenta la expresión matemática propuesta por Morrow:

$$\frac{\Delta \varepsilon}{2} = \frac{\Delta \varepsilon_e}{2} + \frac{\Delta \varepsilon_p}{2} = \frac{(\sigma'_f - \sigma_m)}{E} \cdot (2 \cdot N_f)^b + \varepsilon'_f \cdot (2 \cdot N_f)^c$$

↪ *Corrección de Smith-Watson-Topper.* Smith-Watson-Topper propusieron una expresión que tiene en cuenta la tensión media, al considerar que la vida a fatiga no es función únicamente de la amplitud de deformación, sino también de la tensión máxima del ciclo. La expresión matemática de esta corrección así como su representación gráfica se muestran a continuación:

$$\frac{\Delta \varepsilon}{2} \cdot \sigma_{max} = \frac{(\sigma'_f)^2}{E} \cdot (2 \cdot N_f)^{2b} + \sigma'_f \cdot \varepsilon'_f \cdot (2 \cdot N_f)^{b+c}$$

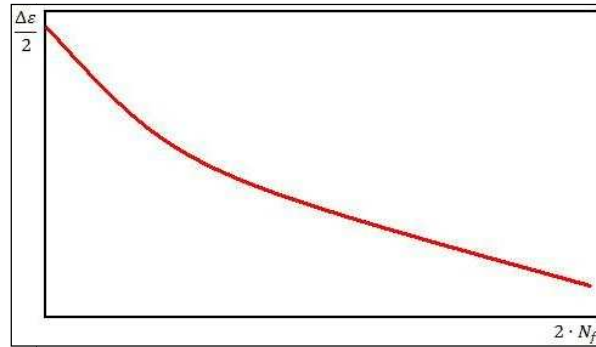


FIGURA 164: CORRECCIÓN DE SMITH-WATSON-TOPPER CURVA DEFORMACIÓN – VIDA

Esta última expresión ha sido ampliamente utilizada desde su publicación en 1970, dando resultados aceptables para diferentes tipos de piezas y formas de carga. El problema que plantea su utilización reside en que si la tensión máxima es de compresión, la ecuación queda indefinida. Este problema se suele resolver en los algoritmos matemáticos, considerando que en estos casos el daño que se produce es nulo. Asimismo también presenta el problema de que la tensión máxima se calcula por la ecuación de Basquin, que como se comentaba anteriormente, sólo es válida en la zona de comportamiento elástico.

Finalmente cabe destacar que según los resultados experimentales, estas ecuaciones dan resultados bastante aproximados a los reales, por lo que es difícil decir que una expresión da mejores resultados que otra. Sin embargo se observa que la expresión de Smith-Watson-Topper es algo más conservadora que la de Morrow, por lo que se suele utilizar más. No obstante, cuando la tensión máxima del ciclo sea de compresión, es preferible utilizar la expresión de Morrow ya que ésta proporciona resultados más realistas para este estado de carga.

2.1.1.2.4 Análisis Factibilidad del Conformado por Estampación/Embutición

La factibilidad del conformado por estampación/embutición de un componente se determina mediante la interpretación del *Diagrama Límite de Conformado*, en inglés *Forming Limit Diagrams (FLD)*, los cuales muestran la cantidad de deformación que, bajo ciertas condiciones dadas, puede soportar un material sin fracturar. ^[11]

El comportamiento de cada material se muestra en una gráfica similar a la siguiente, en la que se representan las deformaciones principales a las que se somete el componente durante el proceso de transformación, estando en el eje horizontal la menor principal y en el vertical la mayor principal. El límite de estampabilidad/embutibilidad está marcado por una

línea de dos tramos que forman una figura semejante a una V. Todos los estados de deformación que se encuentren por encima de esta línea darán lugar a problemas en el proceso de transformación, bien sea por presencia de arrugas o por riesgo de rotura del material. Sin embargo, todo estado de deformación que se encuentre por debajo indicará que el producto es factible. Cuanto más alejado se esté, por abajo del límite, menos problemático será el proceso de embutición.

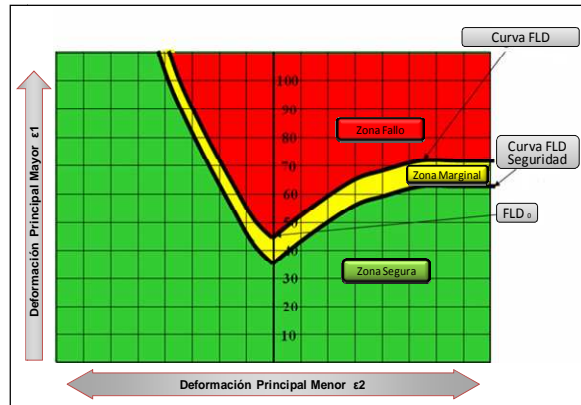


FIGURA 165: ANÁLISIS DEL DIAGRAMA LÍMITE DE CONFORMADO

Analizando los diagramas límite de conformado se puede determinar la facilidad de estampación de las diferentes familias de aceros. En la siguiente imagen se muestran los resultados de este estudio, los cuales se emplearán posteriormente en la selección de materiales para el brazo de suspensión: [17]

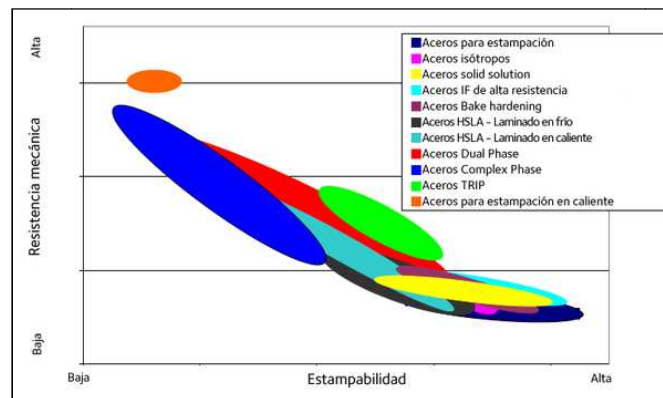


FIGURA 166: ANÁLISIS DE LA FACILIDAD DE ESTAMPACIÓN DE LAS DIFERENTES FAMILIAS DE ACEROS

Debido a que este análisis de factibilidad va más ligado al proceso productivo que a la caracterización propia del material se decidió profundizar en este punto, así como en el método de ensayo más adelante, en el análisis del diseño de los procesos productivos para el conformado por estampación.

2.1.1.3.- Clasificación de los Aceros para Estampación

Como se comentaba anteriormente, existen diferentes formas de clasificar los aceros, atendiendo a su composición metalúrgica, su resistencia elástica y de rotura o a propiedades mecánicas tales como la elongación, el índice de endurecimiento, etc.

De entre todas ellas en el presente documento se tomará la segunda, clasificación en función del límite elástico (R_e o σ_Y) y la resistencia a la tracción o resistencia a la rotura (R_m o σ_{UTS}), al ser ésta clasificación la más extendida en la bibliografía específica sobre estos materiales metálicos, por ejemplo las publicaciones de WorldAutoSteel, el programa ULSAB-AVC (Ultra Light Steel Auto Body – Advanced Vehicle Concepts), así como la más aceptada por los diferentes fabricantes de chapa de acero (ArcelorMittal, Thyssen Krupp Steel AG, etc.).

Atendiendo a este criterio las familias de acero se clasifican de la siguiente forma: [17]

- ↪ Aceros de baja resistencia: R_E o $\sigma_Y < 210$ MPa
- ↪ Aceros de alta resistencia: $210 \text{ MPa} < R_E$ o $\sigma_Y < 550$ MPa
- ↪ Aceros de muy alta resistencia: R_E o $\sigma_Y > 550$ MPa

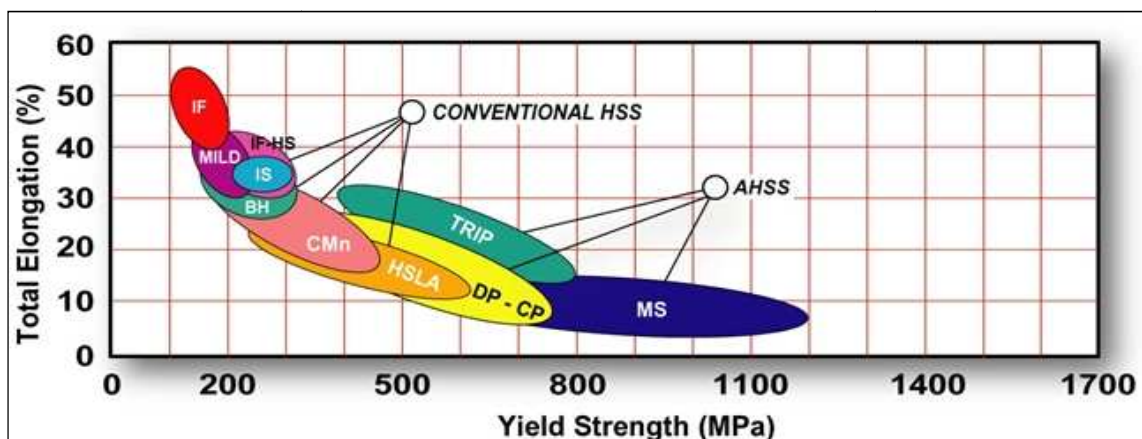


FIGURA 167: CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO

2.1.1.3.1 Aceros de Muy Alta Resistencia. Aceros de Alto Límite Elástico Avanzados (AHSS)

2.1.1.3.1.1 Aceros DP. Aceros de Fase Doble (Dual Phase Steel)

Los aceros DP, de fase doble o dual phase, se distinguen por un gran equilibrio entre resistencia y conformabilidad. Este equilibrio es obtenido gracias a la microestructura, que consiste en una fase dura (martensita o bainita) dispersa en una matriz ferrítica dúctil. [2]

La capacidad de consolidación inducida por la deformación de estos aceros es considerable. Esta característica les aporta no sólo una buena aptitud para la distribución de las deformaciones la cual favorece una buena estampabilidad, sino también unas características en piezas muy superiores a las del metal sin conformar. El elevado nivel de resistencia mecánica que se obtiene en las piezas se traduce en una resistencia a la fatiga excelente y una capacidad de absorción de la energía muy buena, lo que hace que estos aceros sean muy adecuados para piezas estructurales y de refuerzo.

Como se observa en la figura, su microestructura está formada por ferrita blanda y, dependiendo de la resistencia, entre un 10% y un 70% de fracción en volumen de fase dura, normalmente martensita. La fase de ferrita blanda es generalmente continua, otorgando a estos materiales una excelente ductilidad. Cuando se deforman estos aceros, la deformación se concentra en la fase más blanda, siendo estas zonas las que presentan un trabajo de endurecimiento por deformación plástica. Este trabajo de endurecimiento combinado con una excelente elongación, proporciona a este acero una resistencia última de tracción mucho mayor que la de aceros convencionales con similar punto de fluencia.

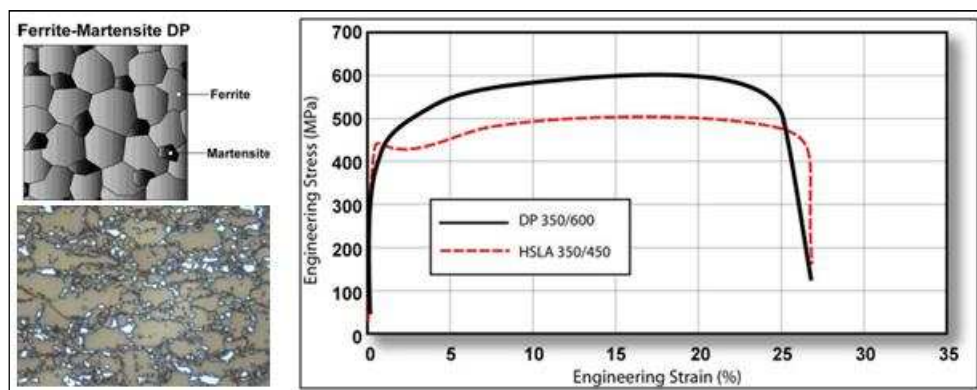


FIGURA 168: MICROESTRUCTURA Y CURVA DE TENSIÓN - DEFORMACIÓN DE UN ACERO DP

En cuanto se refiere a la conformación o estampabilidad cabe reseñar que debido a su gran ductilidad y su elevada capacidad de consolidación desde el principio de la deformación, se garantiza una distribución homogénea de las deformaciones reduciendo las pérdidas de espesor. Así, en el caso de un acero Dual Phase 600, el límite elástico o de fluencia puede aumentar en torno a 150 MPa después de una deformación plástica del 2% por tracción uni-axial, efecto conocido como endurecimiento por deformación. Asimismo, dependiendo de la composición química de estos aceros, es posible también aumentar aún más el límite elástico o de fluencia mediante endurecimiento por envejecimiento.

La gama de aceros Dual Phase se puede estampar en prensas clásicas optimizando los ajustes. Así, en el caso de un acero Dual Phase 600, los esfuerzos de estampación serán en torno a un 20% superiores a los de un acero de tipo microaleado (HSLA) del mismo espesor. Conviene indicar que estos aceros, sobre todo las mejores calidades, son sensibles al fenómeno conocido como “recuperación elástica” o “spring-back-effect”, motivo por el cual es preciso tener en cuenta el control de la geometría de la pieza durante el diseño (radios de matriz pequeños, refuerzos perpendiculares al pliegue para dar rigidez a las piezas abiertas, etc.) y también durante la definición de la gama de estampación (sobreplegado, calibrado, ataque de los radios, aplicación de fuerzas de retención más altas en la garra de sujeción, etc.).

Respecto a la composición química de este acero y los elementos aleantes añadidos es reseñable que en los aceros DP el carbono permite la formación de martensita a temperaturas prácticamente de enfriamiento, lo que hace que el acero endurezca. Manganeso, cromo, molibdeno, vanadio y níquel añadidos individualmente o en combinación también contribuyen al endurecimiento del material. El silicio por su parte fortalece la martensita ya que su presencia endurece la austenita y mejora la resistencia de la fase de martensita resultante. Sin embargo es importante tener en cuenta que la adicción de estos aleantes ha de ser en una proporción adecuada, no sólo para producir unas propiedades mecánicas homogéneas, sino también para minimizar cualquier problema que pueda surgir en la soldabilidad, la cual generalmente es buena.

Finalmente se exponen en las siguientes imágenes las características mecánicas más importantes a tener en cuenta en la posterior selección de materiales para el brazo de suspensión: [2]

	EN 10338 :2009	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%) LO = 80 mm e < 3 mm	Sentido	Laminado Frio Caliente
Dual Phase 450	HCT450X	280 - 340	450 - 530	? 27	ST	Frio
Dual Phase 500	HCT500X	300 - 380	500 - 600	? 25	SL	Frio
Dual Phase 600	HCT600X	330 - 410	600 - 700	? 21	SL	Frio
Dual Phase 780 Y450	HCT780X	450 - 550	780 - 900	? 15	SL	Frio
Dual Phase 780 LCE Y450	HCT780X	450 - 550	780 - 900	? 15	SL	Frio
Dual Phase 780 Y500		450 - 600	780 - 900	? 13	SL	Frio
Dual Phase 980 LCE Y600	HCT980X	600 - 750	980 - 1100	? 10	SL	Frio
Dual Phase 980 LCE Y660		660 - 830	980 - 1100	? 10	ST	Frio
Dual Phase 980 Y700		700 - 850	980 - 1100	? 8	ST	Frio
Dual Phase 980 LCE Y700		700 - 850	980 - 1200	? 8	SL	Frio
Dual Phase 1180		900 - 1100	? 1180	? 5	SL	Frio
Dual Phase 600	HDT580X	330 - 460	580 - 670	? 22	SL	Caliente
Dual Phase 780		? 450	? 750	? 15	SL	Caliente

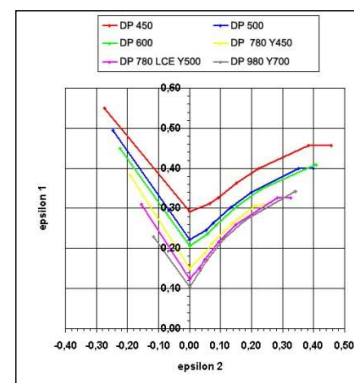


FIGURA 169: PROPIEDADES MECÁNICAS Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS DP

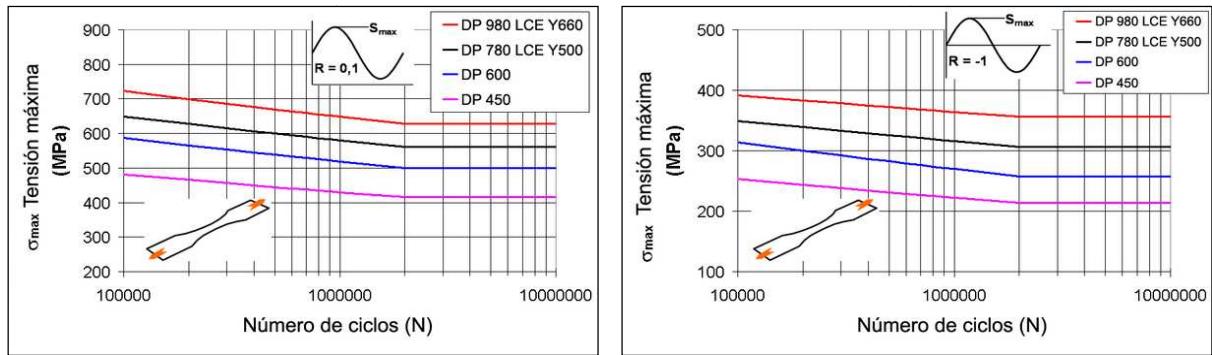


FIGURA 170: CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS DP

2.1.1.3.1.2 Aceros TRIP. Aceros de Transformación Inducida por Plasticidad (Transformation Induced Plasticity Steel)

Los aceros TRIP se caracterizan por poseer un equilibrio entre resistencia y ductilidad especialmente elevado, el cual se deriva de su microestructura, formada por una matriz ferrítica dúctil en la que se encuentran islotes de bainita dura y de austenita residual. Este tipo de microestructura permite obtener alargamientos elevados gracias a la transformación de dicha austenita residual en martensita por efecto de la deformación plástica (efecto TRIP: “Transformation Induced Plasticity”). Este efecto confiere a estos aceros un equilibrio excelente entre resistencia y ductilidad y es por esta razón, por la cual estos aceros son muy apreciados para la elaboración de piezas de estructura y de refuerzo de formas complejas. [2]

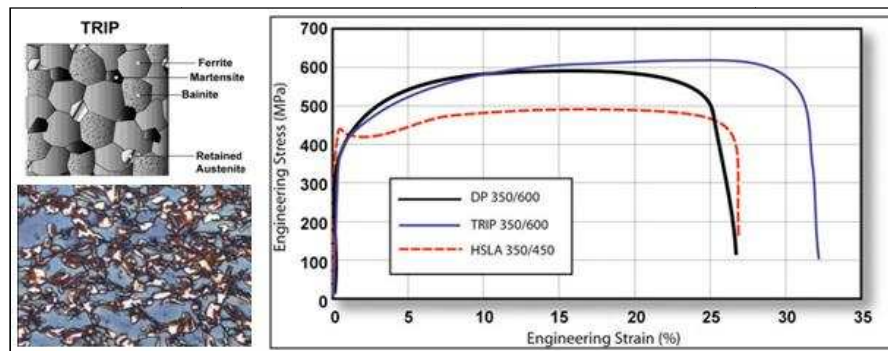


FIGURA 171: MICROESTRUCTURA Y CURVA DE TENSIÓN - DEFORMACIÓN DE UN ACERO TRIP

La capacidad de consolidación de estos aceros es considerable, lo que les confiere una buena aptitud para la distribución de las deformaciones y, por consiguiente, una buena estampabilidad. Este fuerte potencial de permite obtener también por un lado unas características mecánicas en las piezas, especialmente en cuanto al límite de elasticidad, mucho más elevadas que en el metal sin trabajar y, por otro lado este potencial unido a su elevada resistencia mecánica le confieren una excelente capacidad de absorción de la

energía. Además, los aceros TRIP presentan un efecto de endurecimiento por envejecimiento pronunciado tras la deformación, lo que mejora en consecuencia su comportamiento ante el choque.

En cuanto se refiere a la conformación o estampabilidad cabe reseñar que, al igual que los aceros DP, los aceros TRIP presentan, sobre todo las mejores calidades, el fenómeno conocido como “recuperación elástica” o “spring-back-effect”, motivo por el cual conviene tener en cuenta desde el diseño de las piezas las características del metal tras la conformación, y no las del metal sin trabajar.

Respecto a la composición química de este acero y los elementos aleantes añadidos es reseñable que los aceros TRIP usan mayores cantidades de carbono y silicio y/o aluminio que los aceros DP para disminuir la cantidad de martensita generada a temperaturas inferiores, formando una fase de austenita. El valor de deformación a partir del cual la austenita retenida se comienza a transformar en martensita puede ser diseñado ajustando el contenido de carbono. Para niveles bajos de carbono, la austenita retenida se comienza a transformar inmediatamente en cuanto el material se deforma, aumentando el endurecimiento y conformabilidad durante el proceso de embutición. Para altos contenidos de carbono, la austenita retenida es más estable y comienza a transformarse sólo para niveles de deformación más altos que los generados en los procesos de estampación. Para estos niveles de carbono la austenita se mantiene en la pieza resultante, transformándose ésta con sollicitaciones posteriores como pueden ser las provocadas por un impacto, contribuyendo positivamente en la absorción de energía. Es por este motivo por el cual estos aceros TRIP se emplean sobre todo piezas de seguridad de vehículos automóviles.

Finalmente se exponen en las características mecánicas más importantes a tener en cuenta en la posterior selección de materiales para el brazo de suspensión: [2]

	EN 10338 :2009	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%) L0 = 80 mm e < 3 mm	Sentido	Laminado Frío Caliente
TRIP 590		380 - 480	590 - 700	≥ 26	ST	Frío
TRIP 690	HCT690T	410 - 510	690 - 800	≥ 25	SL	Frío
TRIP 780	HCT780T	450 - 550	780 - 900	≥ 23	SL	Frío

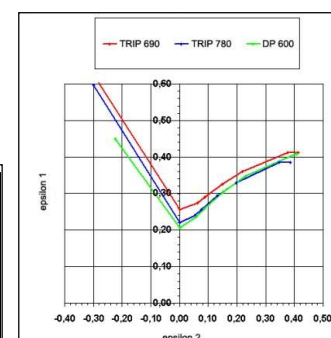


FIGURA 172: PROPIEDADES MECÁNICAS Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS TRIP

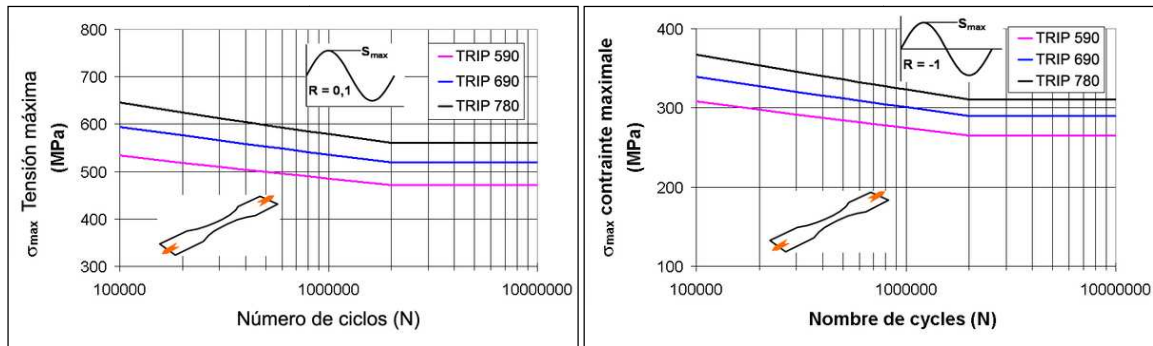


FIGURA 173: CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS TRIP

2.1.1.3.1.3 Aceros CP. Aceros de Fase Compleja (Complex Phase Steel)

Los aceros CP son aceros con un límite elástico muy elevado. Su microestructura posee pequeñas cantidades de martensita, austenita retenida y perlita en una matriz de ferrita y bainita. En comparación con los Dual Phase, los Complex Phase contienen un mayor límite elástico con una misma tensión de rotura en algunos casos superior a los 800 MPa. [2]



FIGURA 174: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO CP

Estos aceros se caracterizan por ser altamente deformables y por tener una alta capacidad de absorción al impacto con una alta capacidad de deformación residual. Este hecho provoca que se utilicen en componentes en los que se requiere una alta absorción de energía en régimen elástico o deformaciones plásticas muy bajas, como pueden ser los armazones o los refuerzos de puerta, los parachoques, etc.

En cuanto se refiere a la conformación o estampabilidad cabe reseñar que, al igual que los aceros DP y los aceros TRIP, presentan el fenómeno conocido como “recuperación elástica” o “spring-back-effect”, motivo por el cual conviene tener en cuenta desde el diseño de las piezas las características del metal tras la conformación, y no las del metal sin trabajar. Sin embargo, aunque tengan una capacidad de elongación inferior en comparación con las familias DP y TRIP, los aceros CP ofrecen buenas características de conformación gracias a sus altos niveles de resistencia.

Respecto a la composición química de este acero y los elementos aleantes añadidos, es reseñable que los aceros CP usan los mismos aleantes que los aceros DP y TRIP, a los que hay que añadir pequeñas cantidades de niobio, titanio y/o vanadio, elementos que ayudan a formar precipitado de grano fino.

Finalmente se exponen en las siguientes imágenes las características mecánicas más importantes a tener en cuenta en la posterior selección de materiales para el brazo de suspensión: [2]

	prEN 10338 :2009	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%) L0 = 80 mm e < 3 mm	Sentido	Laminado Frio Caliente
Complex Phase 600	HCT600C	360 - 440	600 - 700	≥ 19	SL	Frio
Complex Phase 800 Y500	HCT780C	500 - 650	780 - 900	≥ 13	SL	Frio
Complex Phase 800 Y600		600 - 700	780 - 900	≥ 13	SL	Frio
Complex Phase 1000	HCT980C	700 - 850	980 - 1200	≥ 8	SL	Frio
Complex Phase 1000 SF	HCT980C	750 - 950	980 - 1200	≥ 7	SL	Frio
Complex Phase 750	HDT750C	620 - 750	≥ 750	≥ 10	SL	Frio
Complex Phase 800	HDT780C	680 - 830	≥ 780	≥ 10	ST	Frio
Complex Phase 1000		800 - 950	≥ 950	≥ 10	SL	Caliente

FIGURA 175: PROPIEDADES MECÁNICAS: ACEROS CP

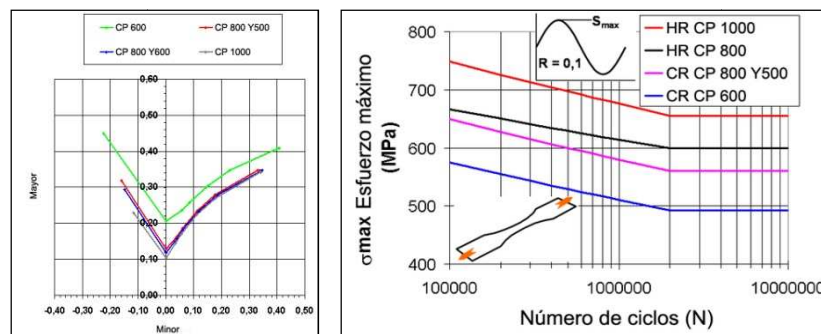


FIGURA 176: CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN/CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS CP

2.1.1.3.1.4 Aceros MS. Aceros Martensíticos (Martensitic Steel)

En los aceros MS, aceros martensíticos, la mayoría de la matriz de austenita que existe en el proceso de laminado en caliente se transforma en martensita durante el proceso de enfriamiento conteniendo también pequeñas cantidades de bainita y ferrita. [2]

Estos aceros son los que mayor resistencia mecánica poseen alcanzando valores de hasta incluso 1700 MPa. En frecuente someterles a un proceso de templeado para reducir su fragilidad y aumentar su conformabilidad ya que de esta forma aumentamos su ductilidad.

En cuanto se refiere a su composición química en estos aceros el carbono es el encargado del aumento de la resistencia mecánica, aunque elementos como el manganeso, silicio, cromo, molibdeno, boro, vanadio y níquel pueden aumentar también esta

característica. La fabricación es similar a la de los CP pero interviene una química más ajustada para producir una menor austenita retenida y formar precipitados.

2.1.1.3.1.5 Aceros FB. Aceros Ferríticos-Bainíticos (Ferritic Bainitic Steel)

Esta gama de aceros laminados en caliente de alta resistencia poseen una alta capacidad de elongación unida a una razonable resistencia mecánica. Su microestructura es de tipo ferrítica y bainítica, esta última será la encargada de darle una mayor resistencia mecánica junto con la morfología de grano fino. Su ventaja respecto a otros aceros es su gran capacidad para la conformación de geometrías curvadas y para el punzonado.

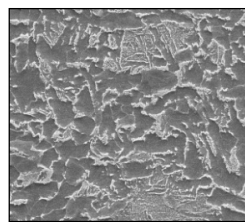


FIGURA 177: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO FB

Estos aceros están destinados a estampación en frío. Las principales aplicaciones son: piezas de estructura, ruedas, piezas de las mecánicas, etc.

Finalmente se exponen en las siguientes imágenes las características mecánicas más importantes a tener en cuenta en la posterior selección de materiales para el brazo de suspensión: [2]

	prEN 10338 :2009	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%) L0 = 80 mm e < 3 mm	Sentido	Laminado Frío Caliente
FB 450	HDT450F	300 - 380	450 - 510	≥ 25	SL	Caliente
FB 540		400 - 485	540 - 610	≥ 18	SL	Caliente
FB 560		450 - 530	560 - 640	≥ 17	SL	Caliente
FB 590	HDT590F	480 - 600	590 - 670	≥ 16	ST	Caliente

FIGURA 178: PROPIEDADES MECÁNICAS: ACEROS FB FERRÍTICOS-BAINÍTICOS

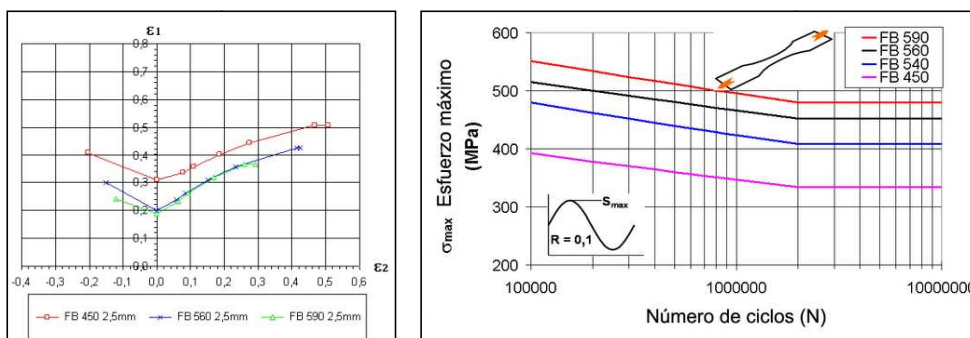


FIGURA 179: CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN/CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS FB

2.1.1.3.2 Aceros de Alta Resistencia. Aceros de Alto Límite Elástico (HSS)

2.1.1.3.2.1 Aceros HSLA. Aceros Microaleados (High Strength Low Alloy)

En los aceros de la familia HSLA el endurecimiento obtenido mediante precipitación y afinamiento del tamaño de los granos permite alcanzar altos niveles de resistencia, limitando al mismo tiempo la proporción de elementos de aleación, lo que favorece las propiedades funcionales como la soldabilidad y la elección del revestimiento. De esta forma estos aceros no presentan ablandamiento de las zonas soldadas ni engrosamiento de los granos. [2]

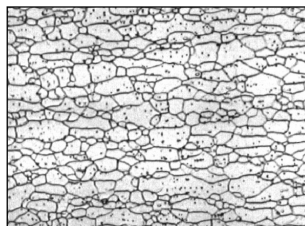


FIGURA 180: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO HSLA

Estos productos están especialmente destinados a las piezas de estructura como elementos de suspensión, piezas de bastidor o de refuerzo. Cada uno de ellos presenta, para su nivel de límite de elasticidad, excelentes propiedades de conformación en frío y de resistencia a la rotura por fragilidad a bajas temperaturas.

Estos aceros se caracterizan además por una buena resistencia a la fatiga y una buena resistencia a los choques lo que los hace idóneos para componentes estructurales (largueros, travesaños, refuerzos...) y para elementos de seguridad (brazos de suspensión, cúpula de amortiguador).

Finalmente se exponen en las siguientes imágenes las características mecánicas más importantes a tener en cuenta en la posterior selección de materiales para el brazo de suspensión: [2]

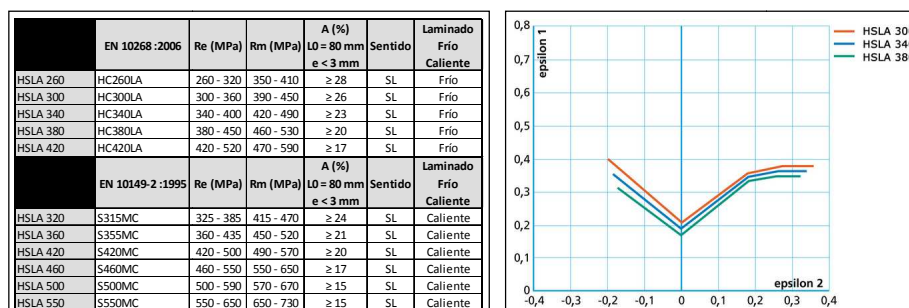


FIGURA 181: PROPIEDADES MECÁNICAS Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS HSLA

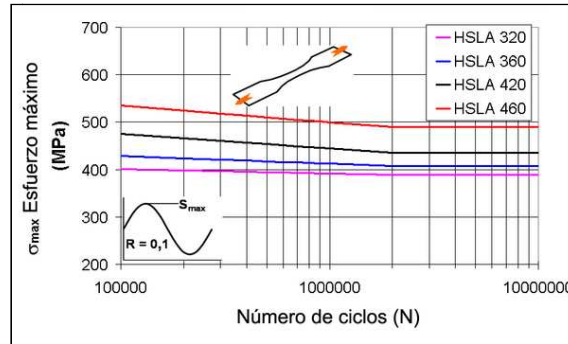


FIGURA 182: CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS HSLA

2.1.1.3.2.2 Aceros IF. Aceros de Intersticios Libres (Interstitial Free Steel)

Los aceros IF, con un contenido de carbono muy bajo, están pensados para obtener un excelente equilibrio entre la estampabilidad y la resistencia mecánica, gracias a una metalurgia específica sin elementos intersticiales. [2]

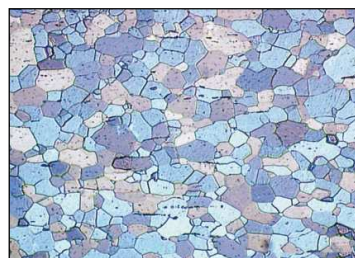


FIGURA 183: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO IF

El endurecimiento se deriva de la existencia de soluciones sólidas de manganeso, silicio y fósforo en la ferrita. La metalurgia de los aceros IF permite optimizar la estampabilidad debido a los siguientes factores:

- ↳ La relación R_e/R_m es baja y el coeficiente de endurecimiento n es elevado, lo que deriva en una excelente aptitud para la estampación profunda y una buena distribución de las deformaciones
- ↳ El elevado coeficiente de anisotropía r deriva en un buen comportamiento en constricción, también favorable a una estampación profunda.

Estos aceros están especialmente adaptados a las piezas complejas que requieren simultáneamente elevadas características mecánicas, como los pasos de rueda, los salpicaderos, los refuerzos, etc. Su fuerte potencial de consolidación durante la conformación les confiere una buena resistencia a la indentación en piezas profundamente estampadas (maleteros, portones, puertas, contraportas, pasos de rueda...).

Finalmente se exponen en las siguientes imágenes las características mecánicas más importantes a tener en cuenta en la posterior selección de materiales para el brazo de suspensión: [2]

	EN 10268 :2006	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%) L0 = 80 mm e < 3 mm	Sentido	Laminado	
						Frío	Caliente
IF 180	HC180Y	180 - 230	340 - 400	≥ 35	SL	Frío	
IF 220	HC220Y	220 - 260	340 - 400	≥ 33	SL	Frío	
IF 260	HC260Y	260 - 300	380 - 440	≥ 30	SL	Frío	
IF 300	HCT780X	300 - 340	400 - 460	≥ 28	SL	Frío	

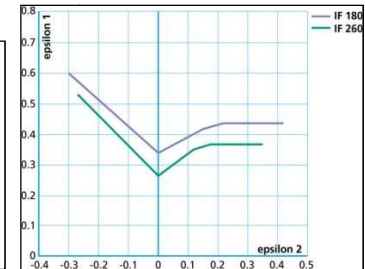


FIGURA 184: PROPIEDADES MECÁNICAS Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS IF

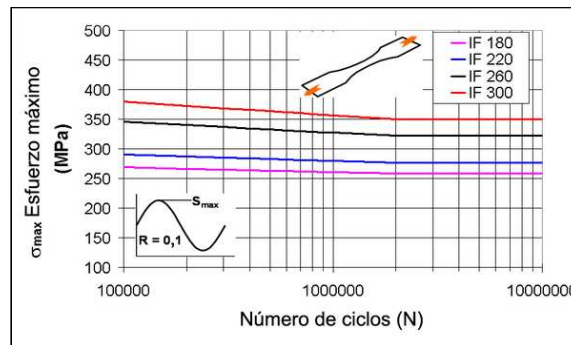


FIGURA 185: CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS IF

2.1.1.3.2.3 Aceros IF-HS. Aceros de Solución Sólida (High Strength Interstitial Free Steel)

Los aceros IF-HS, aceros de solución sólida, son aceros calmados con aluminio con menos prestaciones para estampación que los aceros de la gama IF pero diseñados para ofrecer unos niveles de resistencia más elevados, conservando al mismo tiempo una buena aptitud para la conformación mediante estampación. El endurecimiento se obtiene en particular gracias a la presencia de fósforo en solución sólida en la ferrita. [2]

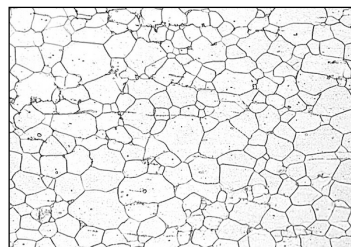


FIGURA 186: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO HS

Su equilibrio resistencia mecánica / estampabilidad los destina a múltiples usos. En particular, están recomendados para las piezas de estructura o de refuerzo (largueros,

travesaños, refuerzos centrales...) para los que se requiere buena resistencia a la fatiga o al choque.

Finalmente se exponen en las siguientes imágenes las características mecánicas más importantes a tener en cuenta en la posterior selección de materiales para el brazo de suspensión: [2]

	EN 10268 :2006	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%) L0 = 80 mm e < 3 mm	Sentido	Laminado Frío Caliente
H 220	HC220P	220 - 280	340 - 400	≥ 32	SL	Frío
H 260	HC260P	260 - 320	380 - 440	≥ 29	SL	Frío
H 300	HC300P	300 - 360	400 - 480	≥ 26	SL	Frío

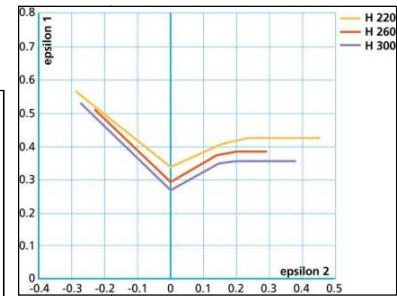


FIGURA 187: PROPIEDADES MECÁNICAS Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS HS

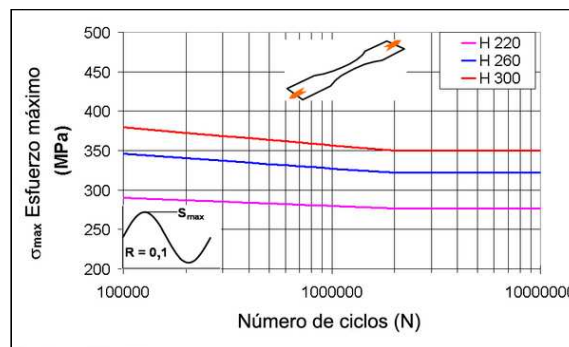


FIGURA 188: CURVAS DE WÖHLER O CURVAS SN: ACEROS HS

2.1.1.3.2.4 Aceros BH. Aceros Endurecidos por Envejecimiento (Bake Hardening Steel)

Los aceros BH, endurecidos por envejecimiento, presentan una microestructura ferrítica y son reforzados fundamentalmente a través de solución sólida. [2]

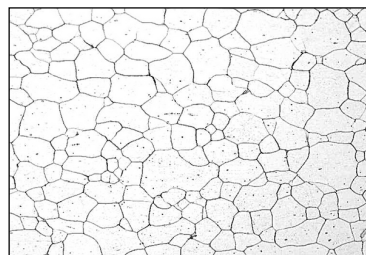


FIGURA 189: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO BH

Estos aceros se elaboran y se tratan para obtener un aumento significativo del límite de elasticidad en caso de tratamiento térmico a bajas temperaturas, en particular durante la

cocción o secado de la pintura aplicada para la protección superficial. Este fenómeno se debe a que el carbono de estos aceros, presentado inicialmente en solución sólida, deja de formar parte de esta solución durante el proceso de calentamiento. De esta forma, los aceros endurecidos por envejecimiento permiten alcanzar unos niveles de resistencia más elevados en piezas manufacturadas, conservando además unas prestaciones de conformado favorables. El aumento del límite elástico que aporta el tratamiento de endurecimiento por envejecimiento suele ser superior a 40 MPa.

Gracias a este efecto estos aceros ofrecen dos tipos de ventaja con respecto a una calidad de estampación clásica:

- ↳ Potencial de aligeramiento importante para una resistencia a la abolladura dada (compensación de la disminución de espesor mediante el aumento del límite de elasticidad durante el tratamiento térmico)
- ↳ Mejora la resistencia a la indentación en todas las piezas manufacturadas con bajas tasas de deformación (capó, techo, puertas y aletas)

Finalmente se exponen en las siguientes imágenes las características mecánicas más importantes a tener en cuenta en la posterior selección de materiales para el brazo de suspensión: [2]

	EN 10268 :2006	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%)	Sentido	Laminado
				L0 = 80 mm e < 3 mm		Frío Caliente
180 BH	HC180B	180 - 230	300 - 360	≥ 34	SL	Frío
195 BH		195 - 270	340 - 400	≥ 32	SL	Frío
220 BH	HC220B	220 - 270	340 - 400	≥ 32	SL	Frío
260 BH	HC260B	260 - 300	370 - 430	≥ 30	SL	Frío
300 BH	HC300B	300 - 360	420 - 480	≥ 28	SL	Frío

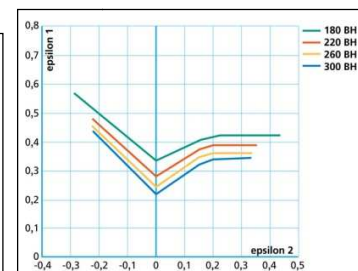


FIGURA 190: PROPIEDADES MECÁNICAS Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS BH

2.1.1.3.2.5 Aceros IS. Aceros Isótropos (Isotropic Steel)

Los aceros isotrópicos poseen una microestructura formada fundamentalmente por ferrita que se encuentra en forma de granos equiaxiales, confiriendo a estos aceros su propiedad de fuerte isotropía llegando a presentar un coeficiente de anisotropía igual a cero.

Su metalurgia está basada en añadir elementos endurecedores como el manganeso y el silicio a una composición de referencia de forma que se consigue alcanzar una ductilidad elevada.

Finalmente se exponen las características mecánicas más importantes a tener en cuenta en la posterior selección de materiales para el brazo de suspensión: [2]

	EN 10268 :2006	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%) L0 = 80 mm e < 3 mm	Sentido	Laminado Frío Caliente
E 220 i	HC220I	220 - 260	300 - 380	≥ 34	ST	Frío
E 260 i	HC260I	260 - 300	320 - 400	≥ 32	SL	Frío

FIGURA 191: PROPIEDADES MECÁNICAS ACERO IS

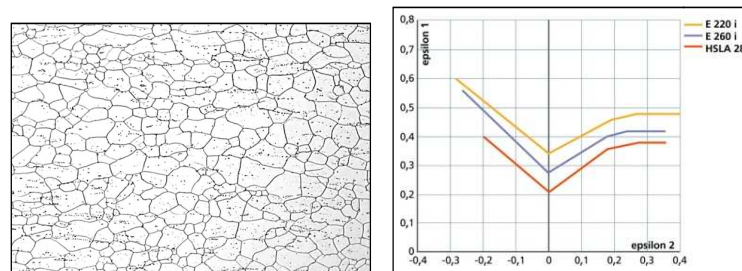


FIGURA 192: MICROESTRUCTURA Y CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN: ACEROS IS

2.1.1.3.2.6 Aceros CMn. Aceros al Carbono-Manganeso (Carbon Manganese Steel)

Estos aceros son endurecidos mediante soluciones sólidas durante el proceso de diseño.

2.1.1.3.3 Aceros de Alta Conformabilidad

2.1.1.3.3.1 Aceros Suaves. Aceros de Alta Conformabilidad para Estampación

Esta gama de chapas de acero dulce no aleado está destinada a la conformación mediante estampación profunda y extra-profunda. Estos productos se utilizan masivamente en la industria del automóvil, tanto para piezas de aspecto como para piezas de estructura. La garantía de horquillas reducidas de características mecánicas asegura un funcionamiento de las prensas de estampación en condiciones de productividad óptimas. Debido a su elevada o elevadísima estampabilidad en todas las modalidades de deformación (bajo límite de elasticidad, ductilidad y anisotropía normal elevadas) permiten la realización de piezas complejas integrando varias funciones que suponen ahorros económicos. [2]

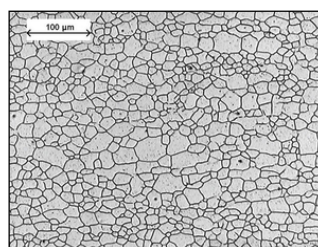


FIGURA 193: MICROESTRUCTURA DE UN ACERO ALTA CONFORMABILIDAD

2.1.1.4.- Selección del Material Metálico. Chapa de Acero

Tras el estudio de las propiedades mecánicas de los aceros de alto límite elástico y su clasificación se procede a determinar cuál es la familia o las familias que mejor se ajustan a los requisitos del componente metálico en los componentes fabricados mediante la tecnología híbrida.

Para tal fin, y con el objetivo de lograr una correcta selección del material así como de hacer ésta de una manera ordenada y estructura, se definieron una serie de pasos o fases, los cuales se presentan en los siguientes puntos:

↳ *Fase 1. Clasificación de los Aceros de Estampación.* Como paso previo a esta selección se resumieron las propiedades de las principales familias de aceros expuestas anteriormente en la siguiente tabla ^[2] [17]

CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS DE ESTAMPACIÓN					
FAMILIA			PRINCIPIO METALÚRGICO	RESISTENCIA TRACCIÓN [MPA]	ALARGAMIENTO ROTURA [%]
	FRÍO	CALIENTE			
ACEROS ALTA CONFORMABILIDAD	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ♦ ACEROS FERRÍTICOS CALMADOS AL ♦ ACEROS FERRÍTICOS IF 	270 – 340	29 – 42
ACEROS IF ALTA RESISTENCIA	●		♦ ACEROS FERRÍTICOS CALMADOS AL DE ESTRUCTURA EQUIAXIAL CONTROLADA	300 – 400	32 – 35
ACEROS IF-HS	●		♦ ACEROS FERRÍTICOS CALMADOS AL, ENDURECIMIENTO CON ELEMENTOS DE SUSTITUCIÓN: Mn, Si, P	340 – 460	28 – 40
ACEROS BH	●		♦ ACEROS FERRÍTICOS CALMADOS AL O ULTRA BAJO C CON ELEMENTOS INTERSTICIALES C Y N CONTROLADOS TRAS TRATAMIENTO TÉRMICO	300 – 480	28 – 38
ACEROS HSLA	●		♦ ACEROS FERRÍTICOS ENDURECIDOS POR PRECIPITACIÓN FINA Y DISPERSA DE CARBUROS DE Ti o Nb	330 – 590	18 – 33
		●		370 – 900	14 – 30
ACEROS DP	●	●	♦ ACEROS FERRÍTICOS + MARTENSITA	450 – 1200	6 – 30
ACEROS FB		●	♦ ACEROS FERRÍTICOS + BAINITA	450 – 670	20 – 33
ACEROS CP		●	♦ ACEROS FERRÍTICOS (FERRITA ENDURECIDA), MARTENSITA, BAINITA	600 – 1300	5 – 19
ACEROS TRIP	●	●	♦ ACEROS FERRÍTICOS, BAINITA, AUSTENITA RESIDUAL (TRANSFORMACIÓN DE LA AUSTENITA EN MARTENSITA POR DEFORMACIÓN)	590 – 900	21 – 30

TABLA 31: CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS ACEROS PARA ESTAMPACIÓN

↪ *Fase 2. Definición de los Requisitos.* A continuación se definen los requisitos que debe cumplir el componente metálico en los componentes fabricados mediante la tecnología híbrida:

- Reducción de Peso: Para poder alcanzar la deseada reducción de peso y teniendo en cuenta el espesor de la chapa de los brazos de suspensión fabricados monocasco que actualmente se encuentran en el mercado, se determinó que el espesor debería ser inferior a 2 mm $\rightarrow e \leq 2 \text{ mm}$
- Alta Resistencia y Gran Elongación de Rotura: Basándonos en experiencias previas en el desarrollo de brazos de suspensión mediante chapa de acero estampada (Proyecto SMiCA), se determinó que, para que este elemento lograra soportar las sollicitaciones típicas de este componente sin problemas y a la vez presentase un comportamiento dúctil frente a cargas elevadas, su límite elástico o de fluencia debía ser superior a los 400 MPa y la resistencia a la rotura a los 500 MPa con un alargamiento de rotura de por lo menos un 15% $\rightarrow R_e > 400 \text{ MPa} // R_m > 500 \text{ MPa} // A > 15 \%$
- Conformabilidad/Factibilidad del proceso de estampación: En cuanto respecta a este requisito, unido estrechamente con el anterior, se determinó, basándonos también en las experiencias previas del proyecto SMiCA y las curvas FLD (Forming Limit Diagram) de los materiales propuestos, que para garantizar la factibilidad el conformado de la pieza el acero debía tener un alargamiento de rotura de por lo menos un 15% $\rightarrow A > 15 \%$
- Coste de Material: Este factor, clave en los objetivos globales del proyecto, determina el límite superior del rango de aceros para estampación en el que se debe trabajar. Como se observa en la siguiente imagen la relación entre los costes y la resistencia es exponencial, debido a ello se limitó el límite superior de la resistencia a la tracción en los 750 MPa, ya que a partir de este límite el proyecto sería inviable en cuanto a los costes del material, no se conseguiría obtener un componente de coste contenido. $R_m < 750 \text{ MPa}$

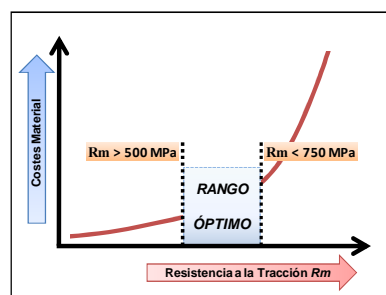


FIGURA 194: RELACIÓN COSTES – RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ACEROS PARA ESTAMPACIÓN

➤ Fase 3. Selección de la Chapa de Acero:

En último lugar se llevó a cabo la evaluación de las variantes, familias de chapa de acero para estampación, bajo los requisitos indicados en el punto anterior. Tras ésta se obtuvieron los siguientes resultados:

SELECCIÓN DE MATERIAL METÁLICO. CHAPA DE ACERO					
FAMILIA		PESO E ≤ 2 MM	RESISTENCIA	FACTIBILIDAD	COSTES
ACEROS ALTA CONFORMABILIDAD		<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> NO CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE
ACEROS IF		<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> NO CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE
ACEROS IF-HS		<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> NO CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE
ACEROS BH		<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> NO CUMPLE *	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> NO CUMPLE *
ACEROS HSLA	FRÍO	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE
	CALIENTE	<input checked="" type="checkbox"/> NO CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE
ACEROS DP	FRÍO	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE*	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE
	CALIENTE	<input checked="" type="checkbox"/> NO CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE*	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE
ACEROS FB		<input checked="" type="checkbox"/> NO CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE
ACEROS CP		<input checked="" type="checkbox"/> NO CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> NO CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> NO CUMPLE
ACEROS TRIP		<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> NO CUMPLE
<p>NOTAS SOBRE LA EVALUACIÓN:</p> <p>1) CRITERIO PESO: ESTE CRITERIO SE DEFINIÓ EN FUNCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD EN EL MERCADO DE CHAPA INFERIOR A 2 MM. ACTUALMENTE SE COMERCIALIZA CHAPA DE ACERO LAMINADO EN FRÍO EN ESPESORES INFERIORES A 3 MM O COMO LAMINADO EN CALIENTE ESPESORES SUPERIORES A 2 MM. POR ELLO TODOS LOS PRODUCTOS LAMINADOS EN CALIENTE QUEDARON DESCARTADOS</p> <p>2) COSTES: LOS ACEROS BH SE DESCARTARON EN CUANTO A SUS COSTES POR LA NECESIDAD DE TRATAMIENTO POSTERIOR, LO CUAL INCREMENTABA LOS COSTES PRODUCTIVOS ASÍ COMO LOGÍSTICOS</p> <p>3) FACTIBILIDAD: LOS ACEROS DP PUEDEN PRESENTAR PROBLEMAS EN LA ESTAMPACIÓN DEBIDO AL EFECTO "RECUPERACIÓN ELÁSTICA" O "SPRING-BACK-EFFECT"</p>					

TABLA 32: SELECCIÓN DE LA CHAPA DE ACERO PARA EL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

Finalmente, tras el estudio y análisis de los resultados obtenidos en la evaluación se observó que sólo dos materiales viables para la aplicación. Estos materiales son:

➤ Aceros de la familia HSLA (aceros microaleados) laminados en frío

➤ Aceros de la familia DP (aceros de fase doble) laminados en frío

2.1.2.- Material Polimérico Termoplástico

Los polímeros termoplásticos son polímeros lineales, que pueden ser ramificados o no, los cuales se componen de largas cadenas producidas al unir moléculas pequeñas o monómeros y típicamente se comportan de una manera plástica y dúctil. Estos materiales se pueden clasificar, al igual que sucedía con la chapa de acero para estampación, en diferentes familias bajo diferentes criterios. [6]

Generalmente en la industria se utiliza, para la categorización de estos materiales en las diferentes familias, en primer lugar el criterio de clasificación según su ordenamiento molecular y a continuación se diferencia en cuanto a las propiedades mecánicas de estos materiales (resistencia, temperaturas de transición, de trabajo, etc.).

En los siguientes puntos se profundiza en el estudio de estos criterios de ordenamiento con el objetivo de poder fijar las bases para la posterior clasificación detallada de las familias de polímeros termoplásticos y la final selección del material más adecuado para la aplicación.

2.1.2.1.- Estructuras de Macromoléculas. Estado Amorfo y Estado Cristalino

El proceso de solidificación de los polímeros termoplásticos se puede llevar a cabo de diferentes maneras, según la forma de la molécula (tacticidad, ramificaciones) obteniendo así polímeros amorfos y cristalinos. [6]

↳ *Termoplásticos Amorfos.* Los polímeros amorfos son aquellos que en su proceso de solidificación no generan ningún tipo de arreglo o estructura molecular, las cadenas poliméricas se ubican aleatoriamente. Debido a su estructura aleatoria, el tamaño característico de la región ordenada más larga es del orden del enlace C-C (0,154 nm). Es longitud es mucho menor que la longitud de onda de la luz visible y por lo general los termoplásticos amorfos son transparentes

↳ *Termoplásticos Semi-Cristalinos.* En los termoplásticos cristalinos, las moléculas se organizan en zonas con arreglos tridimensionales ordenados. Puede formar redes gracias a las interacciones entre moléculas. En comparación con los termoplásticos amorfos, los cristalinos tienen cierto ordenamiento molecular generado por la regularidad de las moléculas. Esta regularidad facilita que las moléculas se organicen y formen estructuras cristalinas. Las estructuras cristalinas forman parte de las lamelas, que a su vez forman parte de los esferulitos. Las estructuras esferulíticas

tienen tamaños que van desde 50 hasta 500 nm. Este tamaño es mucho mayor que la longitud de onda de la luz visible, por lo que los termoplásticos cristalinos pueden ser translúcidos u opacos

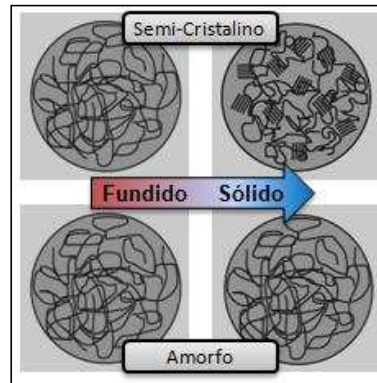


FIGURA 195: CLASIFICACIÓN DE LOS TERMOPLÁSTICOS SEGÚN SU ORDENAMIENTO MOLECULAR

2.1.2.2.- Propiedades de los Materiales Poliméricos Termoplásticos

Las propiedades fundamentales de los materiales poliméricos termoplásticos pueden deducirse de su estructura interna. Estos materiales son, por ejemplo, malos conductores del calor y de la electricidad, aislantes, porque aparte de los enlaces por pares de electrones no disponen de ningún electrón libre como en el caso de los materiales metálicos. Asimismo la baja densidad de estos materiales en comparación con otros se debe a que su estructura es relativamente más suelta. Por otro lado esta estructura provoca que la estabilidad al calor esté limitada, ya que la descomposición o reblandecimiento de estos materiales se produce a temperaturas más bien bajas al no existir unas fuertes fuerzas de cohesión como en otros materiales.

Finalmente es importante destacar que los materiales poliméricos termoplásticos se diferencian claramente en sus propiedades, mecánicas y térmicas, según su constitución, amorfa o semi-cristalina.

2.1.2.2.1 Propiedades Mecánicas

La constitución peculiar de los materiales poliméricos termoplásticos, su aleatoriedad y la índole de las fuerzas de unión explica que tengan una estructura menos compacta que el perfecto empaquetamiento del cristal metálico. De esta situación se desprende que estos materiales posean una resistencia mecánica relativamente menor, un módulo de elasticidad/rigidez también menor y que éstos posean una dependencia con respecto al tiempo (fluencia y relajación) y con respecto a las temperaturas.

Para conocer el comportamiento mecánico de estos materiales se realizan habitualmente ensayos de tracción, compresión o flexión, donde se evalúa la resistencia del mismo a ser deformado y la magnitud de esa deformación en el punto donde se rompe el material, si es el caso, y en el punto donde cambia su comportamiento, pasando de un comportamiento elástico a plástico. También obtenemos información de su módulo de elasticidad, el cual indica si el material es rígido o flexible.

2.1.2.2.1.1 Caracterización Mediante Ensayo de Tracción

Al igual que en los materiales metálicos, el ensayo de tracción es el método más empleado para establecer las propiedades mecánicas de estos materiales. Este ensayo se caracteriza, por un lado, por ser fácil y rápido de aplicar y estar normalizado y, por otro lado, porque la curva de tracción resultante proporciona datos precisos y numerosos. [6]

Este ensayo uni-axial se describe en la norma ISO 527-1y ISO 527-2, y consiste en someter a un esfuerzo de tracción creciente una probeta del material termoplástico que se desea caracterizar. Se registran simultáneamente la carga necesaria para deformar la probeta hasta el punto de rotura y la deformación de la propia probeta, lo que permite trazar la curva de esfuerzo (carga dividida por sección inicial de la probeta) en función de la deformación (expresada como porcentaje del alargamiento respecto de la medida inicial de la probeta L_0).

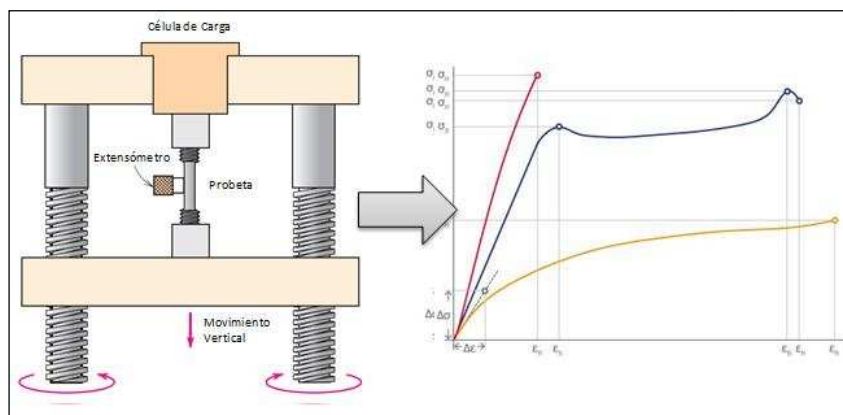


FIGURA 196: ENSAYO DE TRACCIÓN. CURVA DE TRACCIÓN. FORMA DE LA PROBETA DE TRACCIÓN

En cuanto se refiere al tamaño de estas probetas de tracción cabe destacar que el tamaño así como la geometría de las mismas se rigen por la norma ISO 3167:2002. Dentro de esta norma se distinguen diferentes geometrías de probetas con diferentes espesores, las cuales varían en función de la obtención de las mismas ya sea por inyección directa o mecanizada a partir de una placa de material previamente inyectado. El espesor de la probeta será de 3 o 4

mm si se obtiene a partir de masas de moldeo pudiendo alcanzar un máximo de 10 mm si se extrae de planchas o láminas.

En la siguiente imagen muestra una curva característica obtenida mediante el ensayo de tracción para, a continuación, detallar las magnitudes características del material que de ésta se pueden extraer:

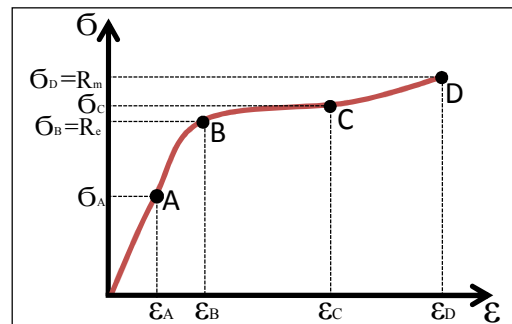


FIGURA 197: FORMA DE LA CURVA DE TENSIÓN-DEFORMACIÓN POLÍMEROS

↳ Límite Elástico: R_e ó σ_Y

Punto B de la curva de tracción. Es la carga que delimita el rango elástico en el cual las deformaciones son reversibles, respecto del rango plástico en el que comienzan las deformaciones irreversibles. Hasta el final de este comportamiento elástico se diferencian dos fases:

- Hasta el punto A: Las deformaciones son relativamente pequeñas y se asocian con la extensión de los enlaces existentes entre los átomos de las moléculas de plástico. En esta fase no se produce deslizamiento de unas moléculas frente a otras
 - Módulo de Young: Debido al comportamiento lineal del material hasta el punto A, se determina calculando la pendiente de este tramo
- Desde el punto A hasta el punto B: La deformación que tiene lugar en este tramo es consecuencia del estiramiento de moléculas que se encuentran enrolladas sobre sí mismas. Tampoco en este caso hay desplazamiento de unas moléculas respecto a otras, por lo tanto la deformación es recuperables aunque no de forma instantánea

↳ Resistencia a la Tracción (Resistencia a la Rotura o Mecánica): R_m ó σ_{UTS}

Punto D de la curva de tracción. Es la carga máxima alcanzada durante el ensayo de tracción y en la cual se produce la rotura del material

↪ *Alargamiento de Rotura:*

Es el valor remanente de alargamiento después de la rotura de la probeta, en el punto D de la curva de tracción

2.1.2.2.2 *Propiedades Térmicas*

Dada la gran sensibilidad que presentan los materiales poliméricos termoplásticos frente a la temperatura, la caracterización térmica es tan importante como la mecánica.

Como recoge la siguiente imagen, cuando se estudia la solidificación y enfriamiento lento de termoplásticos amorfos y semi-cristalinos se observa que se produce un descenso del volumen específico con la disminución de temperatura. Este efecto presenta un cambio de pendiente a una temperatura característica del material que recibe el nombre de temperatura de transición vítrea (T_G). [6]

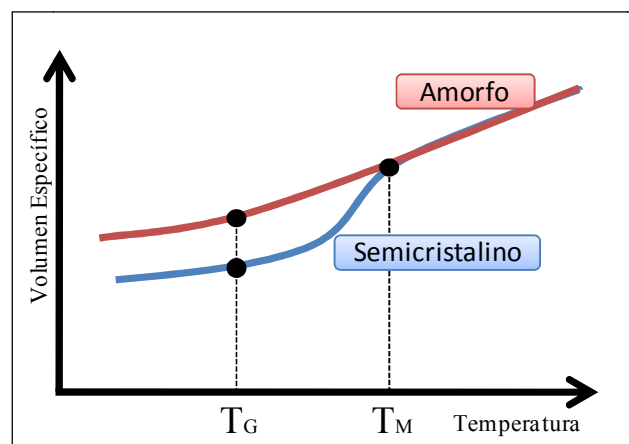


FIGURA 198: CAMBIO DE VOLUMEN ESPECÍFICO CON LA TEMPERATURA. MATERIALES TERMOPLÁSTICOS

Por debajo de la temperatura de transición vítrea (T_G), el material se encuentra en un estado sólido vítreo a menudo muy frágil. Por encima de esta temperatura, el material pasa a un estado viscoelástico de aspecto gomoso. En el estado vítreo no existe prácticamente movilidad únicamente pueden existir movimientos vibracionales parecidos a los existentes en materiales cristalinos, mientras que en el estado viscoelástico las cadenas pueden moverse libremente. Por eso, la transición vítrea implica un cambio desde una situación de no movilidad a un estado de movilidad.

Esta transición se puede traducir en un cambio brusco en muchas propiedades del material: módulo de Young, resistencia a tracción, coeficiente de dilatación, la constante dieléctrica, el volumen específico, la capacidad calorífica, etc.

Además de la temperatura de transición vítrea existe otra temperatura de gran interés sobre todo para los materiales poliméricos termoplásticos semi-cristalinos, esta temperatura es la temperatura de fusión T_M , la cual marca la transición desde el estado sólido al fundido.

En las siguientes imágenes se muestra como los materiales termoplásticos, amorfos y semi-cristalinos, presentan, por encima y por debajo de la temperatura de transición vítrea, propiedades perfectamente diferenciadas. [6]

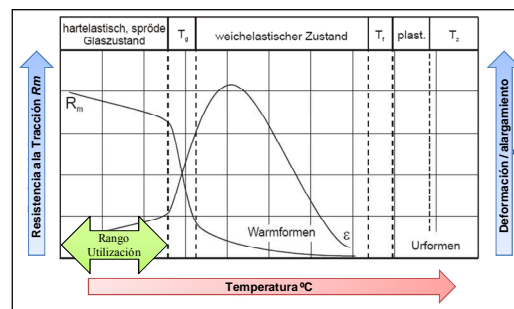


FIGURA 199: PROPIEDADES MATERIALES TERMOPLÁSTICOS AMORFOS – TEMPERATURA (T_G)

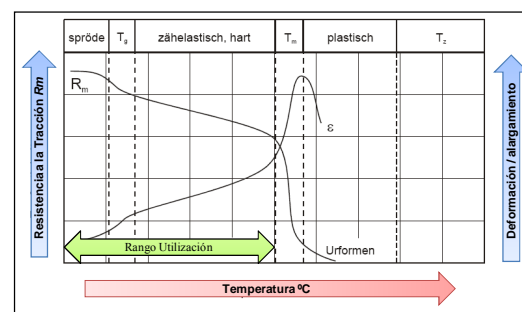


FIGURA 200: PROPIEDADES MATERIALES TERMOPLÁSTICOS AMORFOS – TEMPERATURA (T_G)

2.1.2.2.2.1 Medición de la Transición Vítrea

El fenómeno de la transición vítrea no ocurre de forma instantánea a una temperatura determinada, sino que tiene lugar en un cierto intervalo de temperaturas. Tal como se ha dicho, si durante la transición vítrea existe un cambio brusco de propiedades, la T_G puede medirse como la temperatura a la cual se produce un cambio brusco en alguna propiedad.

Así, cuando se da la T_G , es necesario especificar con que método ha sido medida y bajo qué condiciones. De entre las técnicas existentes, quizás la más usual es la *Calorimetría Diferencial de Barrido*, en inglés *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).

En esta técnica se mide el cambio que experimenta la capacidad calorífica de la muestra cuando, por calentamiento o enfriamiento de ésta, el material llega a la temperatura de

transición vítrea. En ausencia de procesos endotérmicos o exotérmicos, la señal calorimétrica es directamente proporcional a la capacidad calorífica, por lo que la T_G puede determinarse a partir del cambio brusco que experimenta la señal calorimétrica. Si existen reacciones que se solapan con el fenómeno de la transición vítrea, entonces es necesario hacer dos barridos dinámicos. En el primer barrido, el proceso reactivo puede enmascarar la T_G , mientras que en el segundo ya no hay proceso reactivo y puede determinarse la transición vítrea.

En la siguiente imagen se muestran los resultados que se obtienen mediante la calorimetría diferencial de barrido

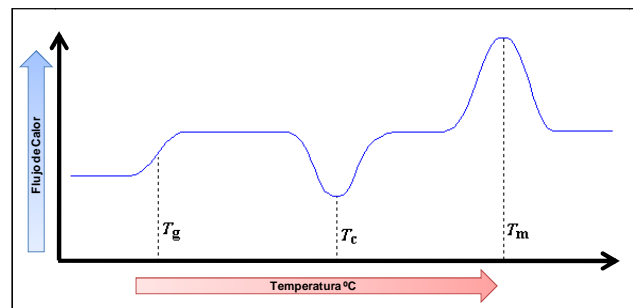


FIGURA 201: RESULTADOS DE LA CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO – DSC –

2.1.2.2.3 Índice de Fluidez

El índice de fluidez es una prueba básica que se realiza a un polímero para conocer su fluidez en la que se define la cantidad de material que fluye a través del orificio de un capilar en 10 minutos, manteniendo constantes presión y temperatura.

El índice de fluidez consiste en tomar una cantidad de polímero a una temperatura conocida arriba de su T_G y obligarlo con la fuerza de gravedad y un peso dado a través de un orificio por un tiempo determinado. Este índice es de vital importancia para el moldeo por inyección ya que ofrece información acerca de la facilidad de llenado del molde, el tiempo requerido, temperatura del molde y de inyección, etc.

La prueba no dura diez minutos, sino que puede durar un minuto o menos, pero de forma continua y luego se ajusta el valor a las unidades adecuadas. Este índice es de vital importancia para el moldeo por inyección ya que marca la facilidad de llenado del molde.

Finalmente cabe reseñar que la fluidez del polímero es función de la presión utilizada, del diámetro del orificio y de la viscosidad del material.

2.1.2.3.- Clasificación de los Materiales Poliméricos Termoplásticos

Existen diferentes formas de clasificar los materiales poliméricos termoplásticos, atendiendo a su estructura física, su resistencia mecánica, temperatura que aguantan en uso, utilización, etc.

De entre todas ellas en el presente documento se tomará la referente a sus propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, resistencia a temperaturas, etc.). De esta manera los materiales termoplásticos estos se pueden clasificar en tres familias: [6]

- ↪ Materiales poliméricos termoplásticos de baja resistencia
- ↪ Materiales poliméricos termoplásticos de alta resistencia
- ↪ Materiales poliméricos termoplásticos de muy alta resistencia

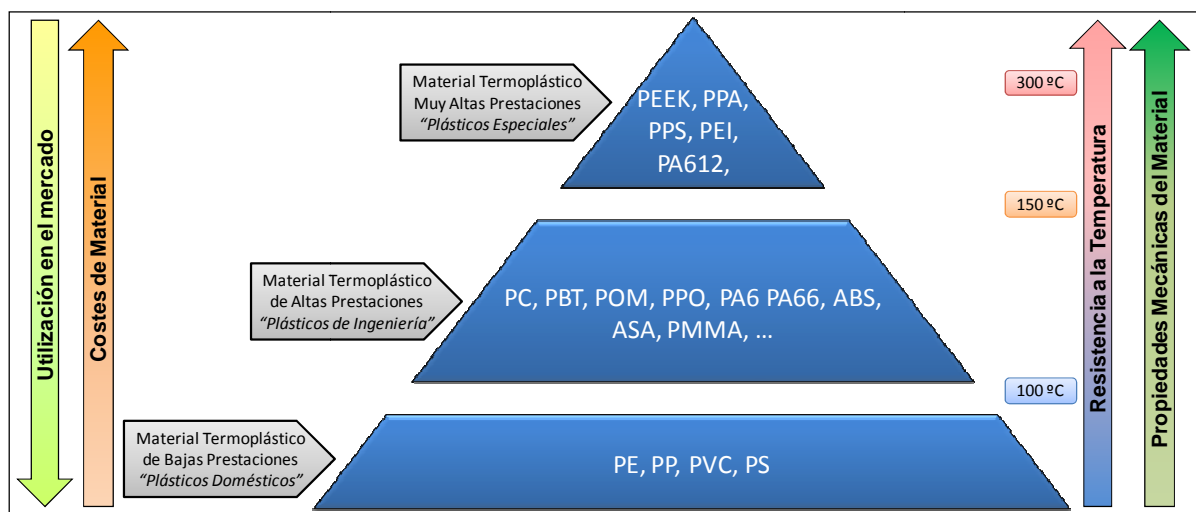


FIGURA 202: FAMILIAS DE MATERIALES POLIMÉRICOS TERMOPLÁSTICOS

Esta clasificación también contiene, como se muestra en las flechas de la izquierda, información en cuanto a los costes y a la utilización de estos materiales, la cual será de gran ayuda en la posterior selección del material idóneo.

2.1.2.3.1 Materiales Poliméricos Termoplásticos de Muy Altas Prestaciones

2.1.2.3.1.1 PEEK. Poliariletercetonas

En los siguientes puntos se resumen las principales características de este material, las cuales serán de gran ayuda para la posterior comparación/selección:

- ↪ Densidad: 1,33 g/cm³ hasta 1,45 g/cm³

↪ Estructura: Amorfo o semi-cristalino. Poca absorción de agua

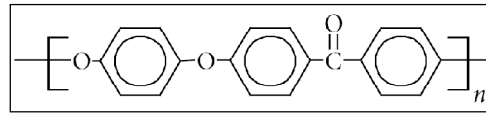


FIGURA 203: MATERIAL TERMOPLÁSTICO PEEK

↪ Materiales de refuerzo: Fibra de vidrio y carbono

↪ Color: Amorfo en lámina muy transparente. Semi-cristalino opaco

↪ Propiedades Mecánicas: Resistencia elevada a la tracción y a la flexión, que se mantienen casi invariable hasta los 143 °C (T_G). Gran resistencia al impacto y gran resistencia dinámica. Tenaz y resistente a la abrasión hasta 250° C

↪ Propiedades térmicas: Temperatura de uso hasta 250 °C, por breve tiempo puede llegar incluso hasta los 300 °C

↪ Transformación por inyección:

- Secado: Secado previo 3 horas a 150 °C
- Temperatura de inyección: Para no reforzados de 350 °C a 380 °C y para reforzados de 370 °C a 400 °C
- Temperatura de molde: 150 °C a 180 °C
- Contracción: 1% en tipos sin refuerzo y 0,1 – 0,4 % en reforzados

2.1.2.3.1.2 PPS. Polisulfuro de fenileno

En los siguientes puntos se resumen las principales características de este material, las cuales serán de gran ayuda para la posterior comparación/selección:

↪ Densidad: 1,34 g/cm³ hasta 1,80 g/cm³

↪ Estructura: Semi-cristalino no polar con poca absorción de agua

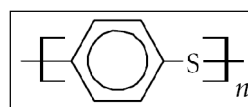


FIGURA 204: MATERIAL TERMOPLÁSTICO PPS

↪ Materiales de refuerzo: Fibra de vidrio, carbono y aramida hasta un 70 % de volumen en forma de esferas, fibras cortas o mats de fibras

- ↪ Color: Pardo oscuro
- ↪ Propiedades Mecánicas: El PPS sólo se utiliza reforzado, estado en el que presenta una gran resistencia y rigidez, incluso a temperaturas elevadas. Muy poca tendencia al flujo en frío y buena resistencia a la abrasión. Aproximadamente a partir de los 90 °C (T_G) su resistencia tiene un claro declive, pero sigue manteniendo un nivel alto gracias al material del refuerzo
- ↪ Propiedades térmicas: Temperatura de uso hasta 240 °C, por breve tiempo puede llegar incluso hasta los 300 °C
- ↪ Transformación por inyección:
 - Secado: Secado previo con aire forzado desde 150 °C a 170 °C
 - Temperatura de inyección: 315 °C a 385 °C
 - Temperatura de molde: 150 °C a 180 °C
 - Contracción: 0,15 a 0,3 %

2.1.2.3.1.3 PP. Polipropileno

En los siguientes puntos se resumen las principales características de este material, las cuales serán de gran ayuda para la posterior comparación/selección:

- ↪ Densidad: 0,9 g/cm³ hasta 1,24 g/cm³
- ↪ Estructura: Semi-cristalino no polar con un grado de cristalinidad de hasta un 60%

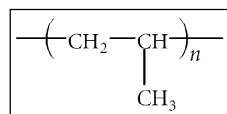


FIGURA 205: MATERIAL TERMOPLÁSTICO PP

- ↪ Materiales de refuerzo: Fibra de vidrio, mats de fibra de vidrio
- ↪ Color: Amorfo transparente. Semi-cristalino opaco y blanco
- ↪ Propiedades Mecánicas: Tiene una alta dureza, rigidez y resistencia pero baja resistencia al impacto
- ↪ Propiedades térmicas: Temperatura de uso 110 °C
- ↪ Transformación por inyección:

- Secado: Secado previo 3 a 4 horas a 90 °C
- Temperatura de inyección: 200 °C a 300 °C
- Temperatura de molde: 20 °C a 100 °C
- Contracción: 1 – 2,5 %

2.1.2.3.1.4 PA 6. Poliamida 6

En los siguientes puntos se resumen las principales características de este material, las cuales serán de gran ayuda para la posterior comparación/selección:

- ↗ Densidad: 1,0 g/cm³ hasta 1,17 g/cm³
- ↗ Estructura: Semi-cristalino con un grado de cristalinidad no superior al 60%

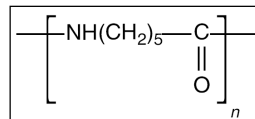


FIGURA 206: MATERIAL TERMOPLÁSTICO PA 6

- ↗ Materiales de refuerzo: Fibra de vidrio cortas y largas, mats de fibra de vidrio, fibra de carbono, esferillas de vidrio
- ↗ Color: Opaco
- ↗ Propiedades Mecánicas: Dependen del tipo, de la cristalinidad y del contenido en agua. Si se aumenta la cristalinidad se hacen rígidas y duras, después de ser acondicionadas son muy tenaces. Poseen a la vez una gran resistencia a la fatiga y buena resistencia al impacto, abrasión y deslizamiento. Todas estas propiedades se pueden mejorar mediante la adicción de refuerzos
- ↗ Propiedades térmicas: Temperatura de uso hasta 180 °C
- ↗ Transformación por inyección:
 - Secado: Secado previo 2 a 4 horas a 80 °C
 - Temperatura de inyección: 210 °C a 290 °C
 - Temperatura de molde: 80 °C a 120 °C
 - Contracción: 1 – 2 % con refuerzo contrae menos

2.1.2.3.1.5 PA 66. Poliamida 6

En los siguientes puntos se resumen las principales características de este material, las cuales serán de gran ayuda para la posterior comparación/selección:

- ↗ Densidad: 1,03 g/cm³ hasta 1,16 g/cm³
- ↗ Estructura: Semi-cristalino no polar con un grado de cristalinidad de hasta un 60%

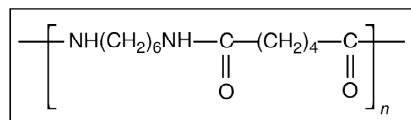


FIGURA 207: MATERIAL TERMOPLÁSTICO PA 66

- ↗ Materiales de refuerzo: Fibra de vidrio cortas y largas, mats de fibra de vidrio, fibra de carbono, esferillas de vidrio
- ↗ Color: Opaco
- ↗ Propiedades Mecánicas: Sus propiedades son superiores a las de la poliamida 6 y siguen dependiendo de la cristalinidad y del contenido en agua. Si aumenta la cristalinidad se hacen rígidas y duras, después de ser acondicionadas son muy tenaces. Poseen a la vez una gran resistencia a la fatiga y buena resistencia al impacto, abrasión y deslizamiento. Todas estas propiedades se pueden mejorar mediante la adicción de refuerzos.
- ↗ Propiedades térmicas: Temperatura de uso hasta 220 °C
- ↗ Transformación por inyección:
 - Secado: Secado previo 2 a 4 horas a 80 °C
 - Temperatura de inyección: 240 °C a 290 °C
 - Temperatura de molde: 80 °C a 120 °C
 - Contracción: 1 – 2 % con refuerzo contrae menos

2.1.2.4.- Selección del Material Polimérico Termoplástico. Refuerzo

Tras el estudio de las propiedades de los materiales poliméricos termoplásticos y su clasificación se procede a determinar cuál de ellos es el que mejor se ajustan a los requisitos del componente plástico en los componentes fabricados mediante la tecnología híbrida. Para tal fin, y con el objetivo de lograr una correcta selección del material así como de hacer ésta

de una manera ordenada y estructurada, se definieron una serie de pasos o fases, los cuales se presentan en los siguientes puntos:

↪ *Fase 1. Clasificación de los Materiales Poliméricos Termoplásticos.* Como paso previo a esta selección se resumieron las propiedades de los materiales poliméricos termoplásticos expuestos anteriormente en la siguiente tabla ^[1] [6]

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS TERMOPLÁSTICOS					
PROPIEDADES	PEEK	PPS	PP	PA 6	PA 66
DENSIDAD	1,33 – 1,45	1,34 – 1,80	0,90 – 1,24	1,00 – 1,17	1,03 – 1,16
MÓDULO YOUNG [GPA]	3.1 – 8.3	2.2 – 5.5	0.5 – 7.6	0.3 – 4	0.7 – 3.3
RESISTENCIA ÚLTIMA TRACCIÓN [MPa]	90 – 150	69 – 124	20 – 90	12 – 100	20 – 150
TEMPERATURA TRANSICIÓN VÍTREA [°C]	140 – 200	75 – 90	-25 - -15	50 – 60	50 – 60
TEMPERATURA MÁXIMA DE UTILIZACIÓN [°C]	154 – 315	104 – 240	44 – 110	60 – 180	70 - 220

TABLA 33: CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS TERMOPLÁSTICOS

↪ *Fase 2. Definición de los Requisitos.* A continuación se definen los requisitos que debe cumplir el componente plástico en los componentes fabricados mediante la tecnología híbrida:

- Resistencia a Temperaturas Elevadas: Debido a la localización del componente y de los elementos colindantes el material plástico debe asegurar su funcionamiento a temperaturas entorno a los 100 °C con picos de hasta 120°C desprendidos por el disco de freno.
- Alta Resistencia: Basándonos en experiencias previas en el desarrollo de estabilizadores mediante materiales poliméricos termoplásticos, se determinó por extrapolación que, para que este elemento lograra soportar las sollicitaciones típicas de este componente sin problemas y a la vez presentase un comportamiento dúctil frente a cargas elevadas, su resistencia a la rotura a los 90 MPa → R_m ó $\sigma_{UTS} > 90 \text{ MPa}$
- Coste de Material: Este factor, clave en los objetivos globales del proyecto, determina el límite superior del rango de los materiales poliméricos termoplásticos. Según se observaba en gráficas anteriores los materiales de

altas prestaciones como son el PEEK y el PPS tienen un precio en algunos casos, dependiendo del refuerzo de hasta un factor 5 y 10 veces superior al de materiales poliméricos termoplásticos usados en ingeniería (PA, PP, etc.)

↪ Fase 3. Selección del Material Polimérico Termoplástico:

En último lugar se llevó a cabo la evaluación de las variantes, familias de chapa de acero para estampación, bajo los requisitos indicados en el punto anterior. Tras ésta se obtuvieron los siguientes resultados:

SELECCIÓN DE MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO			
MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO	RESISTENCIA A TEMPERATURA	RESISTENCIA TRACCIÓN	COSTES
PEEK	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> No CUMPLE
PPS	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> No CUMPLE
PP	<input checked="" type="checkbox"/> No CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> No CUMPLE *	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE
PA 6	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE
PA 66	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE	<input checked="" type="checkbox"/> CUMPLE

TABLA 34: SELECCIÓN DEL MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO PARA EL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

Finalmente, tras el estudio y análisis de los resultados obtenidos en la evaluación se observó que sólo dos familias de materiales viables para la aplicación. Estos materiales son:

↪ Poliamida 6

↪ Poliamida 6-6

Esta decisión coincide además con las tendencias del mercado donde la poliamida, debido a su correcto funcionamiento, su factibilidad para crear geometrías complejas mediante el proceso de inyección, se ha convertido en el material polimérico termoplástico más empleado y por lo tanto el más importante.

No obstante es importante reseñar que estos materiales no suelen emplearse en su estado natural, sino que pueden ser reforzados fibras de carácter orgánico o inorgánico con el objetivo de mejorar sus propiedades tanto mecánicas como térmicas y con aditivos que facilitan su transformación.

2.1.3.- Material de Refuerzo para el Material Polimérico Termoplástico

Durante el proceso de confeccionado y formulación posterior para convertir los materiales poliméricos termoplásticos en granulados listos para su utilización en un proceso de moldeo por inyección, extrusión, etc., a éstos se les suele añadir otros materiales así como aditivos cuya función es la de mejorar las propiedades del material natural. [4]

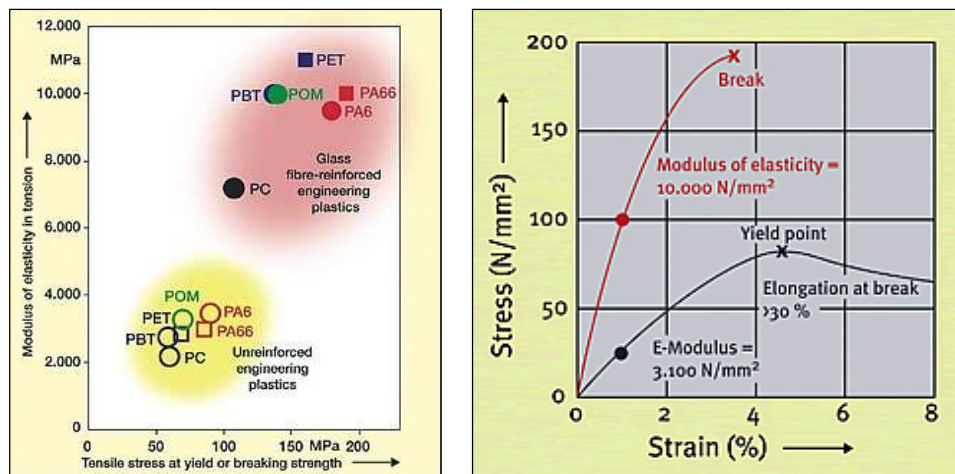


FIGURA 208: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS CON Y SIN REFUERZO

Entre los aditivos más utilizados destacan:

- ↪ Lubricantes como auxiliares de transformación para facilitar el flujo de llenado del molde
- ↪ Estabilizantes contra la degradación térmica durante la transformación y para protección contra el envejecimiento y la radiación UV
- ↪ Ignifugantes para reducir la combustibilidad
- ↪ Plastificantes y flexibilizantes para mejorar la resistencia al impacto
- ↪ Cargas minerales y fibras de refuerzo para modificaciones concretas del conjunto de propiedades mecánicas

A continuación se profundiza en el último de ellos debido a que estos aditivos son los que mayor influencia tienen en el comportamiento del material final.

2.1.3.1.- Tipos de Refuerzo para el Material Polimérico Termoplástico

Dentro de los refuerzos añadidos a los materiales poliméricos para mejorar sus propiedades mecánicas destacan las fibras cortas, largas o en forma de esferas de materiales

inorgánicos (fibras de vidrio, carbono, aramida). En la siguiente tabla se resumen las principales características de estos materiales de refuerzo: [1]

TIPOS DE REFUERZO PARA EL MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO							
PROPIEDADES	FIBRA DE VIDRIO		FIBRA DE CARBONO			FIBRA DE ARAMIDA	
	E	S	CARBON	GRAFITO	THORNEL	KEVLAR 29	KEVLAR 49
DENSIDAD	2,54	2,49	1,74	1,80	2,15	1,44	1,45
RESISTENCIA ÚLTIMA TRACCIÓN [MPa]	2000–3500	4570	2800–3000	2100–2300	1750	3000	2700
MÓDULO YOUNG [GPa]	70	86	220 – 240	280 – 300	500	63 – 67	130 – 132
ALARGAMIENTO ROTURA	2,5	2,8	1,2 – 1,5	0,5	0,5	3,6 – 3,7	2,0 – 2,5
COSTES MATERIAL	↑		↑↑↑			↑↑	

TABLA 35: CARACTERÍSTICAS DE LOS REFUERZOS PARA EL MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO

De entre todos estos, la fibra de vidrio es la más utilizada por su buena relación precio – propiedades mecánicas en comparación con las fibras de carbono y aramida donde los costes se disparan enormemente.

Esta situación provoca que para los materiales termoplásticos seleccionados, las poliamidas 6 y 6-6 sólo se contemplen, en la selección final de material para el concepto, las variantes reforzadas con fibra de vidrio, larga o corta, en los diferentes porcentajes disponibles en el mercado 30%, 40%, 60%, etc.

Finalmente, a modo de resumen se presenta en el siguiente gráfico como cambian las principales propiedades mecánicas de un material polimérico termoplástico al ser reforzado con fibra de vidrio, en este caso se estudia una poliamida 6-6: [4]

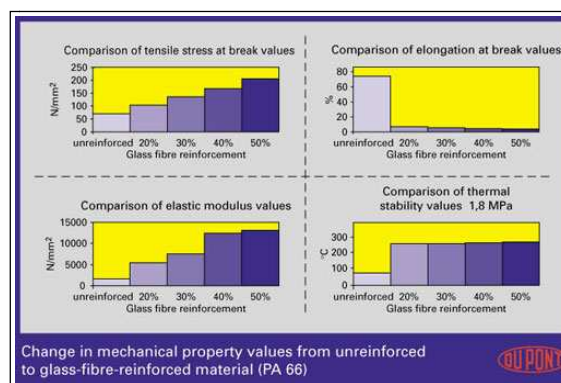


FIGURA 209: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES POLIMÉRICOS TERMOPLÁSTICOS REFORZADOS

2.2.- DISEÑO DEL PRODUCTO

Tras el estudio de los materiales a emplear se procede a profundizar en la definición de la geometría del componente. Para ello se estudia y define la disposición óptima del nervado en material termoplástico, responsable de otorgar la rigidez al inserto de chapa de acero, que posteriormente se empleará en el diseño del brazo de suspensión.

Como modelo se definió un perfil en U, como se muestra en la imagen, el cual se asemeja a un brazo de suspensión de dos puntos o a los extremos de uno de 3 puntos.

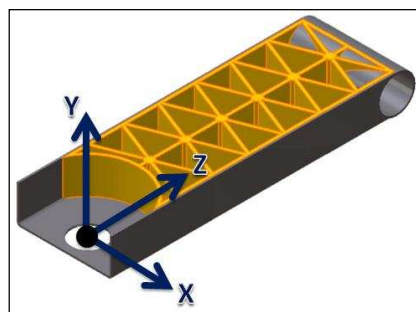


FIGURA 210: PERFIL EN U PARA EL ESTUDIO DEL CONCEPTO

2.2.1.- Definición de la Construcción Geométrica del Nervado Plástico

Para lograr la rigidez y resistencia requerida por el componente a desarrollar y a la vez mantener los requisitos en cuanto a su peso es necesario encontrar un equilibrio entre las propiedades de los materiales y las geometrías que con ellos se pueden realizar.

En esta relación cobra especial interés el estudio de las rigideces a flexión y torsión del nuevo componente. Estas rigideces son proporcionales al módulo de Young “E” y módulo de rigidez a torsión “G” y a los momentos de inercia de las secciones transversales donde se determinan o calculan.

A continuación se exponen las expresiones matemáticas para el cálculo de las rigideces a flexión y a torsión: ^[5]

↪ Rigidez a flexión:

- Eje Y = $E \cdot I_y$

- Eje Z = $E \cdot I_z$

↪ Rigidez a Torsión = $G \cdot I_t$

Con estas premisas se realizó en primer lugar, con la ayuda de herramientas CAE, un estudio relativo de rigideces para diferentes construcciones realizadas con material termoplástico.

Los resultados de este estudio se presentan en la siguiente tabla: [5]

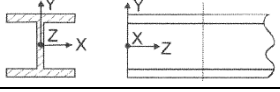
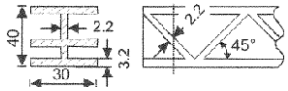



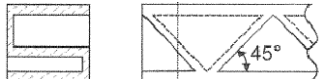

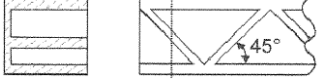
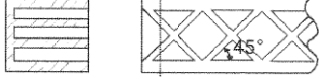

SELECCIÓN DE MATERIAL METÁLICO. CHAPA DE ACERO				
GEOMETRÍA	RIGIDEZ			
	TORSIÓN Z	FLEXIÓN Y	FLEXIÓN Z	
	1	1	1	
	7	0.9	0.9	
	11	0.7	0.8	
	18	0.7	0.7	
	14	1.1	0.9	
	27	1.3	0.8	
	1	1.9	1.0	
	25	1.6	0.8	
	35	1.3	0.7	
	54	2.7	0.8	

TABLA 36: RIGIDEZ PARA DIFERENTES CONSTRUCCIONES GEOMÉTRICAS – TORSIÓN Y FLEXIÓN –

Estudiando los resultados de este primer análisis teórico se observa que las construcciones que disponen los nervios de manera longitudinal presentan muy buenas rigideces a la flexión mientras que la disposición diagonal presenta los mejores resultados en cuanto respecta a la rigidez en flexión.

En la siguiente imagen se observan los resultados de este estudio de rigideces para diferentes geometrías: [10]

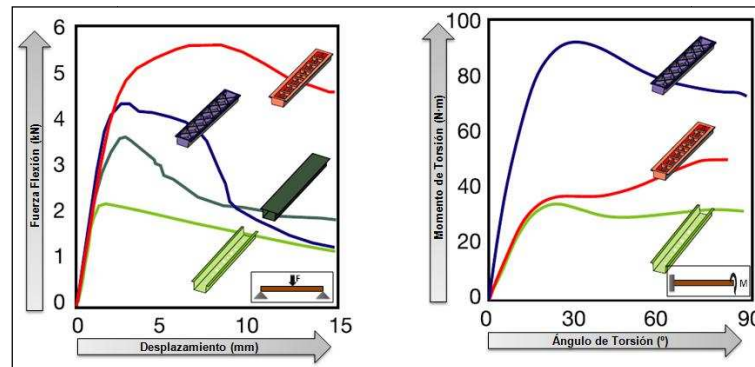


FIGURA 211: ESTUDIO DE RIGIDECES A FLEXIÓN Y TORSIÓN

Sin embargo el brazo de suspensión sufre durante su funcionamiento esfuerzos que provocan su flexión y torsión simultáneamente, por lo tanto es necesario buscar una solución intermedia que asegure el buen funcionamiento del componente en todos los casos del cuaderno de cargas al que se ve sometido.

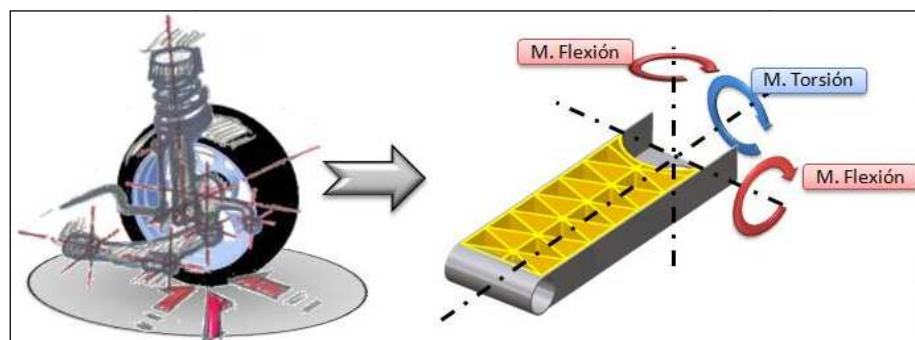


FIGURA 212: MOMENTOS DE FLEXIÓN Y TORSIÓN GENERADOS EN EL BRAZO DE SUSPENSIÓN

Para tal fin se construyeron diferentes modelos de cálculo mediante simulación por el método de los elementos finitos en los que se evaluaron diferentes disposiciones, longitudinales y oblicuas, de los nervios de material termoplástico reforzado en función de las cargas que le llegan al vehículo por la aceleración y frenada, las cuales provocan los momentos de torsión y flexión más críticos. En el siguiente punto se describen los cálculos realizados así como los resultados obtenidos.

2.2.1.1.- Estudio Mediante MEF de la Construcción Geométrica del Nervado Plástico

En este apartado se estudiaron mediante simulación por elementos finitos diferentes configuraciones de nervios de plástico sobre el modelo de chapa en forma de U.

Con el objetivo de poder determinar cuál era la solución que mejor se adaptaba en cuanto a resistencia y a material empleado se construyeron seis modelos diferentes con dos diferentes espaciados, 35 mm y 70 mm, resultando un total de doce modelos a simular. En la siguiente imagen se exponen las diferentes configuraciones de espaciado de los nervios:

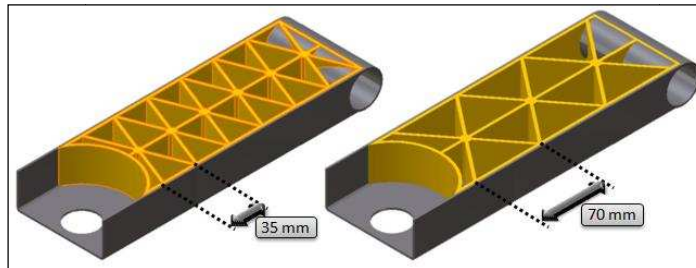


FIGURA 213: MODELOS CAD DE SIMULACIÓN MEF ESPACIADO 35 MM Y 70 MM

A partir de estas dos variantes de espaciado se construyeron los siguientes doce modelos CAD para ser analizados mediante MEF:



FIGURA 214: MODELOS CAD DE SIMULACIÓN MEF – DISPOSICIÓN NERVADO PLÁSTICO –

Como se comentaba anteriormente, el ensayo elegido para determinar qué geometría presentaba la mejor relación resistencia/ peso fue el relativo a las cargas de aceleración y

frenada. Para ello se llevó a cabo un ensayo de deformación según el eje X consistente en la aplicación de una carga estática creciente hasta que se produce el colapso del componente, siendo el resultado más representativo la curva fuerza – desplazamiento. El modelo de simulación se definió de la siguiente manera, tal y como se representa en la siguiente figura:

- ↪ Unión fija en el extremo que simula la unión al bastidor. Carga aplicada en la rótula en la dirección del eje -X (ejes globales del vehículo Norma ISO 8855)
- ↪ Elementos de contacto entre el metal y el plástico
- ↪ Materiales chapa de acero de la familia HSLA con un límite elástico de 355 MPa (S355MC) y una poliamida reforzada con 30% de fibra de vidrio para el plástico

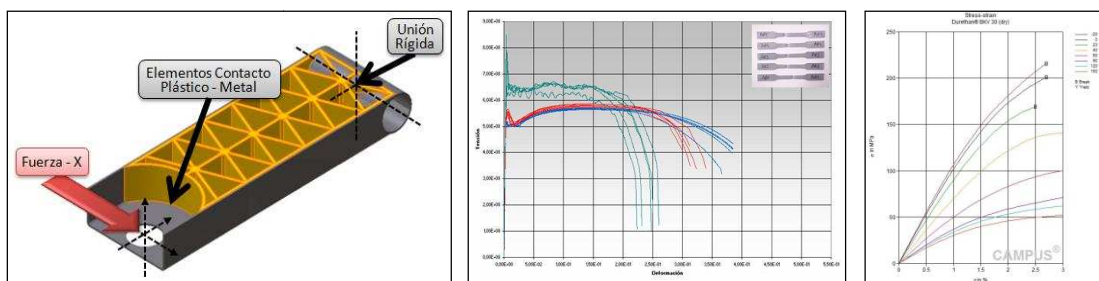


FIGURA 215: MODELO DE SIMULACIÓN MEF – DISPOSICIÓN NERVADO PLÁSTICO –

Una vez definidos los modelos CAD y MEF se realizaron en primer lugar dos simulaciones del perfil en U con la chapa metálica con espesores de 2mm y 3 mm pero sin nervado plástico para tener unos valores de referencia contra los cuales posteriormente contrastar la influencia de las diferentes configuraciones de nervios de plástico. El resultado de esta simulación, diagrama fuerza – desplazamiento se muestra en la siguiente gráfica:

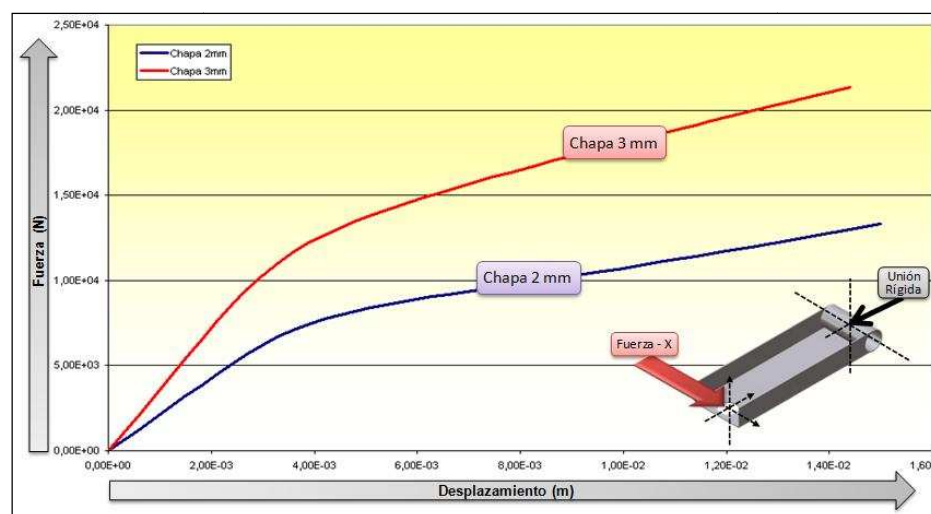


FIGURA 216: RESULTADOS SIMULACIÓN MEF – COMPARATIVA ESPESORES DE CHAPA SIN NERVIOS PLÁSTICO –

A continuación se realizaron las simulaciones para el resto de los doce modelos para posteriormente recoger los resultados de todas ellas en las siguientes gráficas:

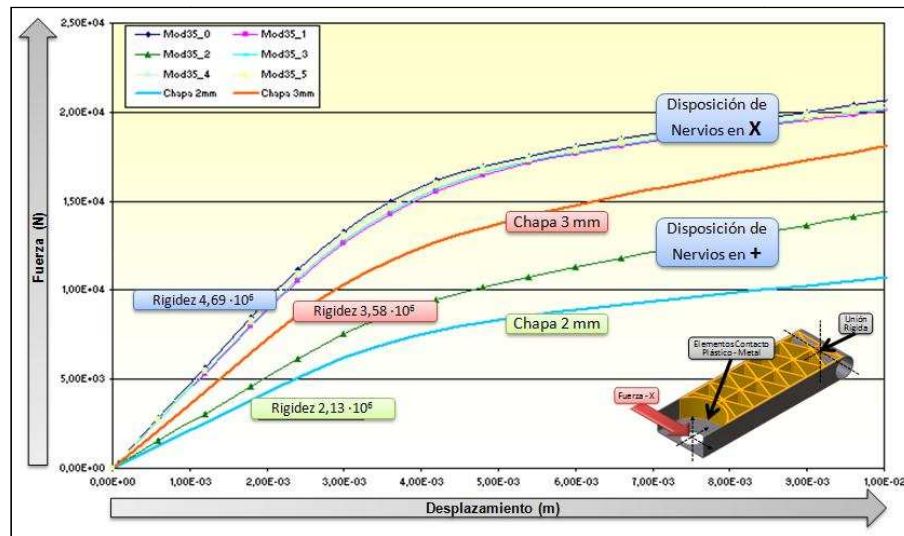


FIGURA 217: RESULTADOS SIMULACIÓN MEF – ESTUDIO DISPOSICIÓN NERVIOS DE PLÁSTICO ESPACIADO 35 MM –

Se puede observar que la única geometría de refuerzo que no supera el comportamiento de la chapa de 3mm de espesor es el modelo 2, en el que los nervios se han dispuesto formando una cuadrícula, sin utilizar refuerzos en sentido diagonal. Otra conclusión importante es que en el resto de las geometrías el comportamiento mecánico es muy semejante, independientemente de la distribución de los nervios

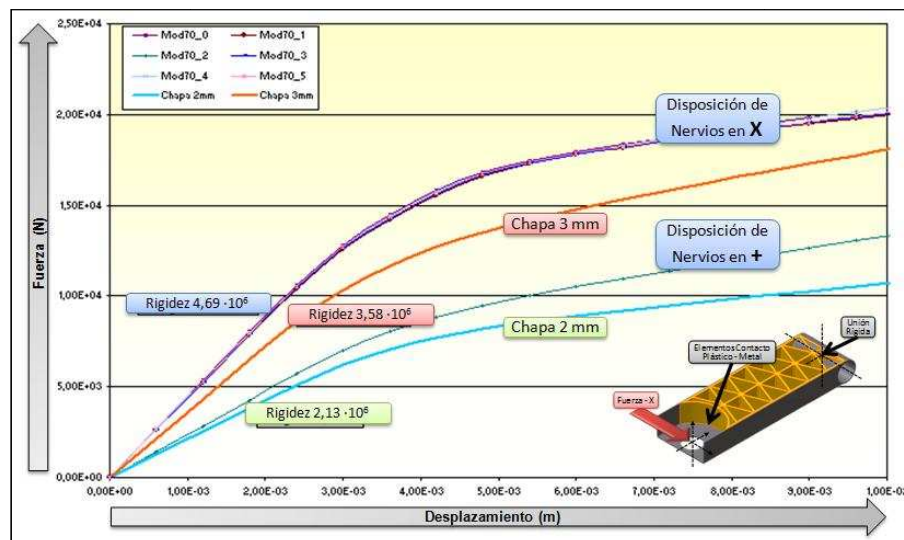


FIGURA 218: RESULTADOS SIMULACIÓN MEF – ESTUDIO DISPOSICIÓN NERVIOS DE PLÁSTICO ESPACIADO 70 MM –

Las conclusiones que se extraen son exactamente las mismas que en el caso anterior. El único parámetro que quedaría por evaluar por tanto es la influencia de la separación de los

nervios en el comportamiento mecánico del componente. Para ello se presentan todos los resultados obtenidos en un mismo gráfico:

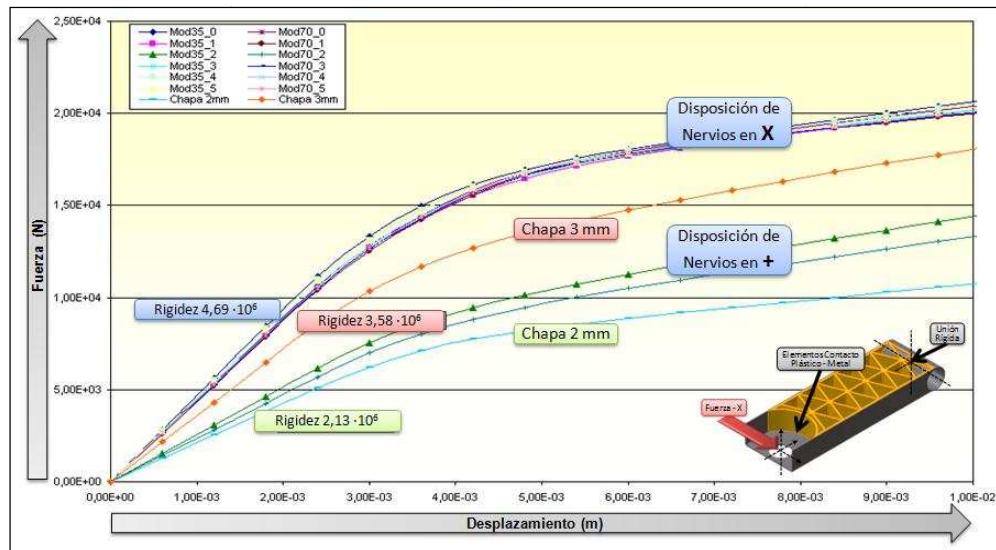


FIGURA 219: RESULTADOS SIMULACIÓN MEF – ESTUDIO DISPOSICIÓN NERVIOS DE PLÁSTICO –

A partir de los resultados de estos estudios de simulación mediante MEF se sacan las siguientes conclusiones:

- ↪ No hay una gran diferencia entre las diferentes configuraciones, se observa que cualquier disposición de nervios cruzados formando un ángulo diferente de 90° con las paredes de la chapa, disposición en X, da unos resultados similares
- ↪ El añadir nervios de plástico en una chapa de 2mm se mejora el comportamiento de esta en comparación con los resultados obtenidos con chapa de 3mm en un 30%. Como muestra de ello se recogen en la siguiente tabla las rigideces que se obtienen con las diferentes soluciones:

COMPARATIVA CÁLCULO DE RIGIDECES MEDIANTE M.E.F. PARA LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA		
CHAPA DE ACERO 2MM	CHAPA DE ACERO 3MM	PERFIL HÍBRIDO CHAPA DE ACERO 2MM NERVIOS PLÁSTICO
2,13 · 10 ⁶ N/M	3,58 · 10 ⁶ N/M	4,69 · 10 ⁶ N/M

TABLA 37: COMPARATIVA DE RIGIDECES OBTENIDAS MEDIANTE CÁLCULO MEF PARA EL PERFIL EN U

- ↪ Es factible a la vista de los resultados trabajar con un brazo de suspensión real pensando en conseguir una mejora adecuada en comportamiento consiguiendo una reducción de peso considerable

Finalmente analizando el estudio de simulación en detalle se llegó a la conclusión de que la mejor relación en cuanto a peso, resistencia y factibilidad la ofrecía la solución del modelo 35-3 ya que combina nervios en diagonal, que aportan rigidez en el comportamiento del componente a torsión, con nervios longitudinales, que ayudan tanto en comportamiento del componente a flexión como en la factibilidad del proceso de inyección haciendo de canales para la distribución de la masa de material termoplástico fundida. En la siguiente imagen se muestra el modelo seleccionado.

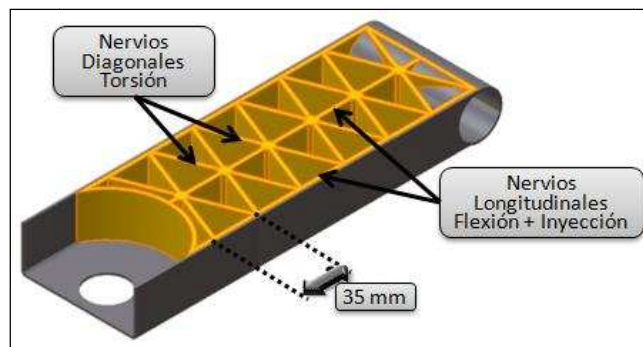


FIGURA 220: DISPOSICIÓN NERVIOS DE PLÁSTICO A IMPLEMENTAR EN EL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

2.3.- DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO

2.3.1.- Proceso de Conformado por Estampación/Embutición

El conformado por estampación de chapas metálicas es el proceso mediante el cual una chapa plana se convierte en una pieza de forma deseada sin que se produzca la fractura de la misma ni un adelgazamiento localizado excesivo que pudiese acarrear problemas durante la vida útil del producto. [15]

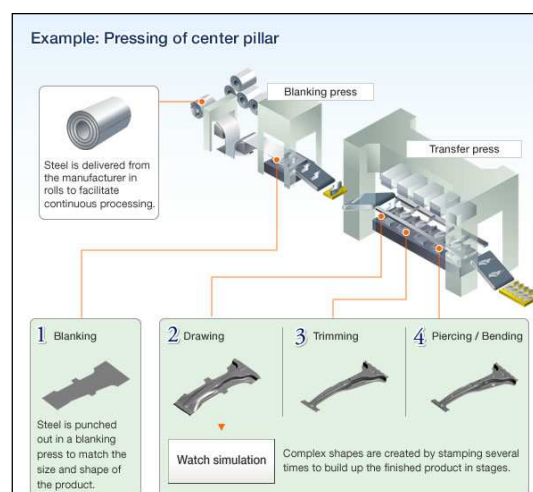


FIGURA 221: PROCESO DE CONFORMADO POR ESTAMPACIÓN/EMBUTICIÓN

Para lograr una conformabilidad óptima el material a estampar debería ser capaz de distribuir las deformaciones de manera uniforme y alcanzar altos niveles de deformación sin presentar estricción o romperse. En este proceso productivo intervienen diferentes factores que a su vez dependen de diversos parámetros, los cuales interactúan simultáneamente durante el proceso de conformado de una pieza aumentando así aún más su complejidad. A continuación se enumeran estos factores junto con alguno de sus parámetros profundizando en los siguientes puntos en cada uno de ellos:

- ↪ *Material*: Propiedades mecánicas, químicas y metalúrgicas
- ↪ *Proceso Productivo*: Estado de tensiones y deformaciones, temperatura, lubricación, etc.
- ↪ *Diseño Producto - Acabado*: Recuperación elástica del material, acabado superficial, arrugas, fisuras, deformación localizada, etc.

2.3.1.1.- Factor Material

En cuanto respecta a la influencia de este factor en el proceso de conformado por estampación cabe reseñar que tres propiedades de los materiales determinan la distribución de las deformaciones en una operación de conformado: ^[11]

- ↪ El coeficiente de endurecimiento por deformación
- ↪ La sensibilidad a la velocidad de deformación
- ↪ La relaciones de deformaciones plásticas, o factor de anisotropía

La acción conjunto de las dos primeras determina la capacidad de distribuir la deformación de manera uniforme que tiene el material. Por otro lado la capacidad de alcanzar altos niveles de deformación total depende de muchos factores, tales como el material base, los elementos de aleación, el grado de endurecimiento, el coeficiente de endurecimiento por deformación, sensibilidad a la velocidad de deformación, la anisotropía, el espesor y la uniformidad y limpieza de defectos e inclusiones.

Cada tipo de acero puede ser deformado sólo hasta un cierto nivel antes de que se produzca un adelgazamiento en forma de estricción localizada y fractura. Este nivel depende principalmente de la combinación de las deformaciones impuestas, o sea de la relación entre las deformaciones mayor y menor que sufre el material durante el proceso.

La vinculación entre las relaciones de deformación y los niveles máximos de deformación se analiza mediante los llamados *Diagramas Límite de Conformado*, en inglés *Forming Limit Diagrams (FLD)*. Estos diagramas representan gráficamente los límites de las deformaciones unitarias principales donde puede surgir el fallo por deformación plástica durante un proceso de conformado, o en otras palabras, determinan la cantidad de deformación que, bajo ciertas condiciones dadas, puede soportar un material sin fracturar. Los criterios de fallo en este diagrama son:

- ↪ Estricción/deformación localizada y arrugamiento
- ↪ Fractura

En la siguiente figura se ilustran los modos de deformación que pueden aparecer en un proceso de conformado: [11]

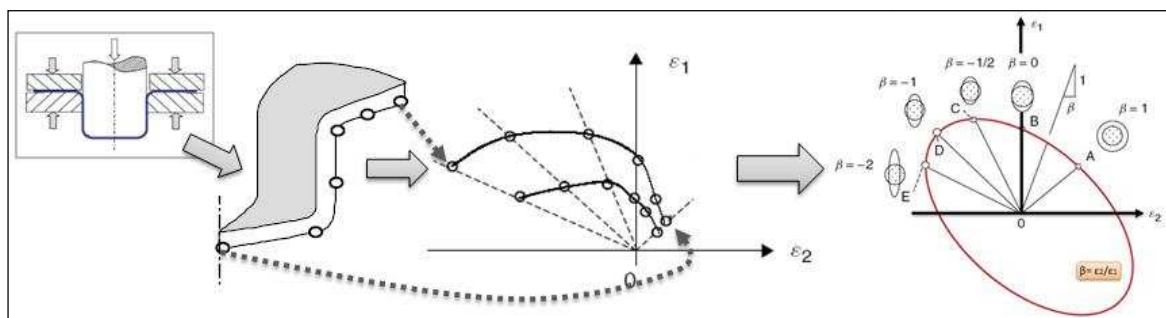


FIGURA 222: MODOS DE DEFORMACIÓN DURANTE EL PROCESO DE ESTAMPACIÓN

Existen diferentes métodos para determinar el diagrama límite de conformado (FLD) de un acero, los más destacados son:

- ↪ La realización de ensayos de tracción simple, tracción plana, embutido, estirado, embutido con estirado, etc., con los cuales se logran las diferentes relaciones de deformaciones necesarias
- ↪ Los métodos Nakazima y Marciniak en el cual se realizan ensayos en probetas rectangulares de chapa con diferentes anchuras a fin de obtener las vías de deformación para estiramiento biaxial, deformación plana, embutición profunda y vías de deformación intermedias

2.3.1.1.1 Determinación de la Curva FLD mediante el Método Nakazima

El método Nakazima es en la actualidad el más extendido para la determinación de los diagramas límite de conformado para chapas de acero.

En los siguientes puntos se describen los pasos que plantea este método para la obtención del deseado diagrama: [11]

- ↪ *Primer paso:* Se cortan las probetas según la geometría especificada
- ↪ *Segundo paso:* Se dibuja en la chapa de las probetas un enrejado o malla (normalmente circular) con medidas normalizadas
- ↪ *Tercer paso:* Se conforman las probetas por estiramiento hasta la fractura o estricción local por una herramienta hemisférica
- ↪ *Cuarto paso:* Se miden las deformaciones sufridas en las probetas. Las deformaciones, mayor y menor, que se presentan direcciones perpendiculares.
- ↪ *Quinto paso:* Los valores de estas combinaciones de deformaciones se representan en un sistema ortogonal, donde el eje horizontal representa la deformación unitaria menor, y el eje vertical la deformación unitaria mayor.

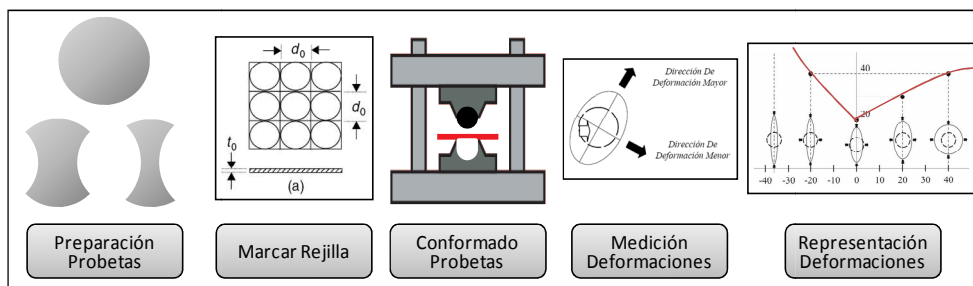


FIGURA 223: OBTENCIÓN DE LA CURVA FLD SEGÚN ENSAYO NAKAZIMA

2.3.1.2.- Factor Diseño Producto - Acabado

El aspecto más importante a tener en cuenta en el diseño y posterior acabado de las piezas de aceros de alto límite elástico conformadas por estampación/embutición es la recuperación elástica del material o spring-back-effect., entendiéndose por este efecto el grado en el que un material vuelve a su forma original después de ser conformado. [17]

Esta recuperación tiene su origen en que todo material, al ser sometido a un esfuerzo, sufre una deformación, la cual está constituida por una parte elástica y una plástica, alcanzando esta última sólo cuando se supera el límite elástico.

Esta circunstancia es la que provoca que al deformar un cuerpo haya una determinada cantidad de deformación que al cesar el esfuerzo desaparece, generando entonces el efecto anteriormente mencionado.

En la siguiente imagen se muestra gráficamente como este efecto se ve aún más acentuado en los aceros de alto y muy alto límite elástico en comparación con los aceros normales utilizados hasta la fecha. [17]

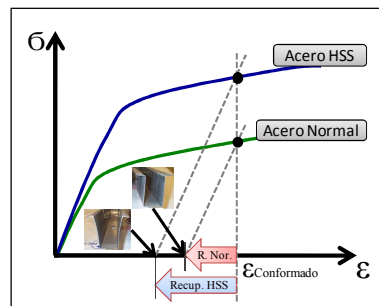


FIGURA 224: EFECTO RECUPERACIÓN ELÁSTICA DEL MATERIAL O SPRING-BACK-EFFECT

Centrándonos en la fabricación del producto en cuestión, el brazo de suspensión, se observa que se produce el mismo proceso. De esta manera, cuando se presiona una chapa de acero para conformar un brazo de suspensión el acero se deforma a la forma requerida con una deformación que es mezcla de deformación elástica y plástica, lo que finalmente produce que al retirar la carga el material tienda a recuperar parte de esta deformación, la parte elástica de la misma.

El cálculo de esta recuperación elástica es muy complejo ya que depende de varios factores como la resistencia del acero, el espesor de la chapa, el ángulo de doblado o embutido, los radios aplicados en la matriz, el espacio entre el punzón y la matriz, la lubricación, etc. No obstante para evaluar el fenómeno de la recuperación elástica se define un parámetro denominado *tasa de recuperación elástica* – K – el cual relaciona los radios de curvatura de la plancha con y sin carga, es decir, indica el ángulo que ha recuperado elásticamente la placa a través de la expresión:

$$K = \frac{\theta_f}{\theta_0} = \frac{(R_0 + t/2)}{(R_f + t/2)}$$

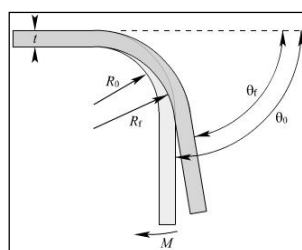


FIGURA 225: CÁLCULO DE LA TASA DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA – K –

A modo de ejemplo se presenta en las siguientes imágenes cómo el hecho de aumentar la resistencia del acero y reducir el espesor para poder conseguir un brazo de suspensión más ligero pero con la misma funcionalidad produce un incremento de la recuperación elástica del material. De aquí deriva la necesidad de cambiar las geometrías de la matriz y el punzón, aumentar el ángulo de conformado, etc. respecto a los usados para el acero de menor resistencia y mayor espesor. [17]

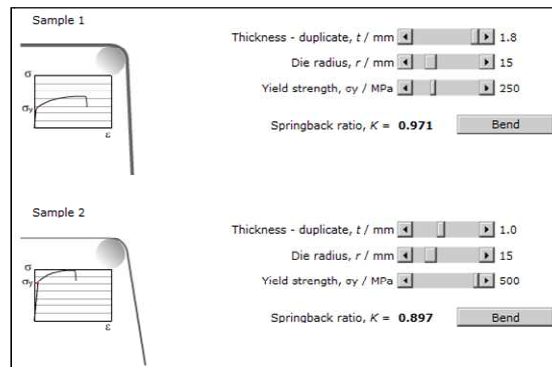


FIGURA 226: COMPARACIÓN RECUPERACIÓN ELÁSTICA. PARÁMETROS ESPESOR Y LÍMITE ELÁSTICO

2.3.1.3.- Factor Proceso Productivo

En lo que concierne al factor proceso productivo es importante reseñar que el empleo de nuevos aceros de alto límite elástico que, por un lado debido a sus buenas características proporcionan obvios beneficios a los productos finales, por otro crean nuevos desafíos en los procesos de conformado por estampación/embutición, destacando entre todos el problema derivado de la durabilidad de los utillajes y el de la lubricación durante el proceso de conformado.

Con frecuencia los estampadores de chapa eligen el material para el utillaje y el tipo de lubricante a utilizar tomando como base la resistencia del acero, el espesor de la chapa y la severidad en el tipo de embutido o del estampado. Tradicionalmente, los aceros convencionales de elevado espesor y geometrías complejas exigían el uso de utillajes fabricados con materiales de altas prestaciones y lubricantes especiales, mientras que por otro lado, los aceros de espesores más delgados y de geometrías más moderadas requerían de utillajes y lubricantes menos robustos para formar las partes satisfactoriamente.

El empleo de chapa de acero de alta resistencia puede afectar este criterio. La resistencia mecánica (límite elástico), las características de dureza inicial y el endurecimiento de trabajo requieren que el tipo de material para el utillaje y lubricante que vaya a ser utilizado,

sea tan robusto como cualquier otro tipo de material y lubricante usado en los aceros de elevado grosor convencionales.

Centrándonos en los requisitos de estos dos sistemas cabe destacar que un utillaje para estampación de aceros de alto límite elástico debe ser fabricado en acero con un alto contenido en carbono y cromo, aleado con tungsteno, que le confiera una gran resistencia al desgaste y una alta resistencia a la compresión mientras que un lubricante para estampados con un buen desempeño debe proteger al utillaje, a su superficie y a la pieza en proceso, de los efectos abrasivos causados por la fricción, los cuales se presentan a medida que se le da forma o se corta el acero.

Asimismo el lubricante debe también permitir un flujo controlado en la alimentación del acero hacia la zona de conformado y así evitar la formación de cuellos y de arrugas. En operaciones sencillas, el lubricante no requiere más que una leve película de separación o de agentes de deslizamiento sin embargo las operaciones de mayor dificultad requieren del uso de aditivos para presiones extremas.

El acero de alta resistencia presenta algunas de las situaciones más complejas en el conformado de metales, y para lograr los mejores resultados en los procesos, requiere de un tipo de lubricación de tecnología avanzada. Por ello se han desarrollado lubricantes sintéticos que contienen diferentes aditivos con límites mejorados que muestran una buena funcionalidad al ser expuestos en aplicaciones de estampado severas a la vez que garantizan el cumplimiento de las normas medioambientales y de seguridad. Con el objetivo de lograr una correcta elección de este lubricante se resumen en la siguiente tabla las características más importantes de las familias de aceros de alto límite elástico y se determinan los requisitos que debe cumplir el lubricante en función de cada una de ellas:

SELECCIÓN DEL LUBRICANTE PARA EL PROCESO DE ESTAMPACIÓN/EMBUTICIÓN	
CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEROS DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO	REQUISITOS DEL LUBRICANTE
ENDURECIMIENTO POR DEFORMACIÓN	PROTECCIÓN EN LAS DIFERENTES FASES DE TRANSFORMACIÓN
INCREMENTO DE LA PRESIÓN DE CONFORMADO	ENGRASE/LUBRICACIÓN ADECUADA A LA FRICCIÓN ASOCIADA
INCREMENTO DE LA PRESIÓN DE PISADO	PROPICIAR UN FLUJO CONSISTENTE DEL MATERIAL
CORROSIÓN	OFRECER PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

TABLA 38: SELECCIÓN DE LUBRICANTE PARA EL PROCESO DE ESTAMPACIÓN/EMBUTICIÓN

2.3.1.4.- Conclusiones Proceso de Conformado por Estampación/Embutición

Finalmente cabe destacar que con el objetivo de poder determinar de una manera teórica aproximada la geometría de los utillajes de estampación así como la factibilidad del proceso y del producto reduciendo el efecto recuperación elástica del material o spring-back-effect y asegurando la capacidad del material para ser conformado, se recurre al estudio de estos procesos de conformado mediante simulaciones aplicando el método de los elementos finitos con software comerciales específicos para este tema.

Estos primeros cálculos teóricos por simulación, aunque no definitivos, permiten dar una idea de las líneas de trabajo y modificaciones a seguir y/o implementar, tanto en el producto como en el proceso, a la vez que aportan los siguientes beneficios:

- ↪ Reduce sustancialmente el tiempo y los costes en ingeniería y ensayos prueba/error
- ↪ Mejora la fiabilidad de la planificación en el desarrollo de los utillajes matriz y punzón así como de la prensa
- ↪ Mejora la calidad de la pieza y de la herramienta
- ↪ Previene y corrige los efectos indeseados derivados de la recuperación elástica del material así como zonas de posible rotura o arrugas

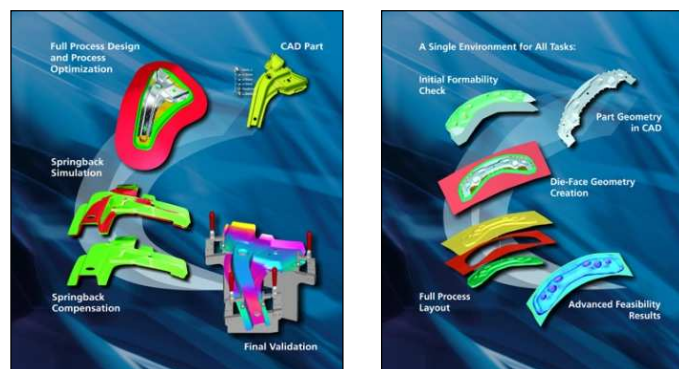


FIGURA 227: SIMULACIÓN CAE PROCESO ESTAMPACIÓN – AUTOFORM –

2.3.2.- Proceso de Moldeo por Inyección

El proceso de moldeo por inyección consiste en inyectar un polímero en estado fundido en un molde cerrado a presión y atemperado, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica obteniéndose al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada. [16]

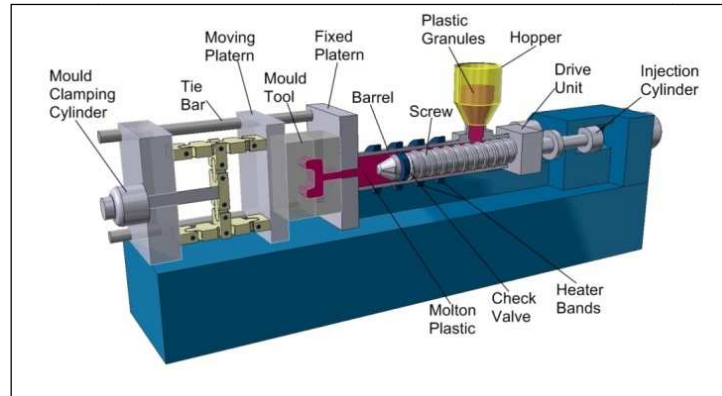


FIGURA 228: PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN

Para lograr una conformabilidad óptima el material a estampar debería ser capaz de distribuir las deformaciones de manera uniforme y alcanzar altos niveles de deformación sin presentar estricción o romperse

Al igual que sucedía con el proceso de conformado, en el proceso de moldeo por inyección de material polimérico termoplástico en componentes híbridos intervienen diferentes factores que a su vez dependen de diversos parámetros, los cuales interactúan simultáneamente durante el proceso de llenado del molde y creación de la pieza física aumentando así aún más su complejidad. A continuación se enumeran estos factores junto con alguno de sus parámetros profundizando en los siguientes puntos en cada uno de ellos:

- ↪ *Material*: Temperatura de inyección, acondicionado, etc.
- ↪ *Diseño del Componente*: Geometría de los nervios de plástico, grosor, ángulos de desmoldeo, etc.
- ↪ *Proceso Productivo*: Fuerza de cierre, Temperatura del molde, temperatura del inserto metálico, presión de inyección, etc.

2.3.2.1.- Factor Material

Los parámetros principales que marcan este factor son el acondicionado previo del material, mediante el cual se elimina cualquier resto de humedad que pudiese influenciar negativamente la calidad y propiedades mecánicas de la pieza final, y la temperatura de inyección, la cual además de determinar la factibilidad del proceso, llenado total del molde o no, influirá también en las propiedades mecánicas y la calidad del componente final debido a la degradación que puede sufrir un material polimérico termoplástico al no ser calentado/fundido correctamente.

2.3.2.1.1 *Acondicionado del Material Polimérico Termoplástico*

La mayoría de los materiales poliméricos termoplásticos de la categoría plásticos de ingeniería requieren que la humedad del granulado esté por debajo de un cierto nivel máximo para su procesamiento.

Ahora bien, esta necesidad de secado depende principalmente de la sensibilidad o facilidad de la materia prima para absorber agua y, naturalmente también de otros factores como el contenido y tipos de aditivos incorporados al material, las condiciones de entrega en cuanto a humedad, el tipo de embalaje, el período de almacenamiento, etc.

En el caso concreto del material seleccionado para el brazo de suspensión, la familia de las poliamidas, cabe reseñar que este material, por su formulación química absorbe y despidе humedad, lo cual implica una alteración de sus propiedades mecánicas.

De esta situación se deriva el que por un lado exista una necesidad en cuanto se refiere a su suministro, necesidad de empaquetarlo en bolsas con una capa de barrera de aluminio que haga de aislante con el exterior, y por otro lado una necesidad en cuanto a su procesado, que exige una operación de secado previamente al proceso de inyección la cual se suele llevar a cabo en máquinas especiales como la expuesta en la siguiente imagen a una temperatura de unos 80°C durante unas 2 o 4 horas. [4]



FIGURA 229: EQUIPO ACONDICIONADO MATERIALES POLIMÉRICOS TERMOPLÁSTICOS

2.3.2.1.2 *Temperatura de Inyección*

Elegir la temperatura de fusión correcta tiene una gran importancia e influencia en la calidad final de los componentes fabricados mediante moldeo por inyección en materiales poliméricos termoplásticos semicristalinos. [4]

Este proceso de fundición, llevado a cabo en la unidad de inyección, puede presentar dos anomalías o problemas, bien que la temperatura de fusión sea demasiado alta o demasiado baja. Asimismo es importante tener en cuenta la distribución de la temperatura en la masa termoplástica, la cual debe ser uniforme ya que ésta es también un factor que influye enormemente en la calidad de las piezas inyectadas. Si se profundiza en los dos primeros problemas se observa que:

- ↪ Cuando la temperatura es demasiado baja el termoplástico es demasiado viscoso y la estructura es incapaz de lograr la necesaria homogeneidad y llenar el molde. Esto conduce a una reducción drástica de la resistencia al impacto y en la mayoría de los casos a variaciones considerables en las propiedades mecánicas del material y por consiguiente del componente
- ↪ Cuando por el contrario la temperatura es demasiado alta, ésta degrada el polímero, es decir, destruye las cadenas moleculares y aumenta el tiempo de ciclo ya que se requiere más tiempo para la solidificación. Otra consecuencia puede ser que los aditivos en el material termoplástico, como pigmentos, modificadores de impacto, etc., también se descompongan. Los resultados son propiedades mecánicas reducidas (como resultado de las cadenas moleculares más cortas), defectos superficiales (causados por la descomposición de diferentes aditivos presentes en el material) y olores desagradables

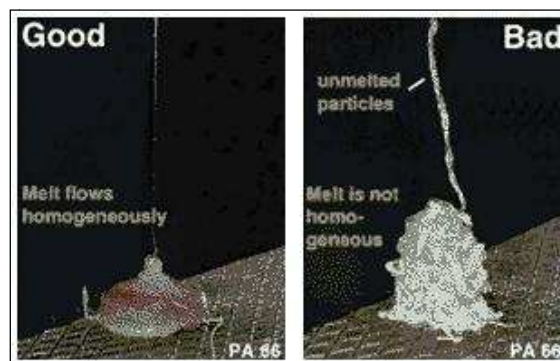


FIGURA 230: EFECTOS TEMPERATURA DE INYECCIÓN DE LA MASA TERMOPLÁSTICA

Aparte de la temperatura de fusión, otro factor a tener en cuenta es el tiempo de permanencia del polímero en la unidad de inyección también desempeña un papel importante. La experiencia ha demostrado que los tiempos de permanencia de entre dos y nueve minutos son normales. Si el tiempo de permanencia es más largo, se puede producir una descomposición térmica en ciertas circunstancias, incluso si la temperatura de fusión es correcta. Si el tiempo de permanencia es muy corto, la masa fundida por lo general no tiene

tiempo para ser totalmente homogénea dificultando entonces el proceso de inyección como ya se comentaba anteriormente.

Las hojas de datos de características técnicas y parámetros de procesado de los materiales poliméricos termoplásticos indican el rango de temperatura de fusión óptima para cada uno. En general, el ajuste de la temperatura en la unidad de inyección, concretamente en el husillo de plastificación, no es muy fiable porque, aparte del aumento de la temperatura producido por las bandas calefactoras que éste posee, existe un fenómeno de fricción provocado por la rotación de husillo que también genera calor, lo cual puede alterar la medición dando lugar a errores de ajuste en los parámetros del proceso. Por este motivo, para determinar si la temperatura es la correcta o no, se mide la temperatura del plástico fundido a salida de la unidad de inyección con un pirómetro.

Finalmente, cuando se ajustan los parámetros de inyección tras tomar las mediciones de la temperatura anteriormente comentadas, es importante seleccionar un perfil de temperatura que sea de entre 10 a 15 ° C por encima del punto de fusión en la sección de alimentación del molde y alrededor de 5 a 10 ° C por debajo de ésta en el husillo de plastificación.

Aplicando estos conocimientos al material seleccionado para el brazo de suspensión, la familia de las poliamidas se para las poliamida 6 el rango de temperatura idóneo para la inyección está comprendido entre los 270 °C y los 290 °C mientras que en el caso de utilizar poliamida 6-6 el rango de temperaturas será de entre 280 °C y 300°C.

2.3.2.2.- Factor Diseño del Componente

El factor diseño en las piezas realizadas mediante moldeo por inyección gira en torno a las consideraciones a tener en cuenta para el correcto dimensionamiento de los componentes con ella realizados, para los cuales, más que en cualquier otro proceso de fabricación, es imperioso alcanzar un equilibrio entre la funcionalidad del producto y la factibilidad del proceso productivo.

Para lograr tal fin los fabricantes de granulados de material polimérico termoplástico para el moldeo por inyección facilitan guías de diseño en las que se describen los ángulos idóneos, orientaciones geométricas, etc. en función del material a emplear y de las propiedades/funciones finales del componente, como pueden ser aportar rigidez a una estructura, poseer una buena resistencia a impacto, una buena estética, etc. De la misma

manera estas recomendaciones están estudiadas y dirigidas para garantizar en último lugar la factibilidad del proceso de llenado y el aseguramiento de la correcta distribución y orientación de las fibras de refuerzo, aspecto que tiene una gran importancia en los componentes diseñados y fabricados con este tipo de materiales.

En lo que respecta al diseño de un brazo de suspensión híbrido en el que, como se comentaba anteriormente, el material plástico tiene como función principal el dar soporte a la chapa metálica y el distribuir las fuerzas que le llegan de manera uniforme, se tuvieron en cuenta las consideraciones referentes a la construcción de estructuras nervadas en celosía en las que se hace especial hincapié en las recomendaciones referentes al espesor de los nervios, la unión entre ellos, los ángulos y radios de redondeo, etc.

2.3.2.2.1 Recomendaciones sobre Espesores de Pared

En la definición del espesor de pared de un componente fabricado en material termoplástico prima la filosofía de trabajo en la cual se aboga por aportar tanto espesor como sea necesario pero a la vez tan pequeño como sea posible. No obstante cuando se procede a diseñar un componente nervado o a cambiar el espesor de la pared de los nervios del mismo, es importante considerar el efecto que este tiene sobre las siguientes propiedades o parámetros: [4]

- ↪ Peso de componente final
- ↪ Longitud de flujo alcanzables/ longitudes factibles de ser llenadas en el molde
- ↪ Tiempo de ciclo para la fabricación del componente
- ↪ Rigidez del componente moldeada
- ↪ Tolerancias
- ↪ Calidad del componente moldeado en términos de calidad superficial, deformaciones y vacíos

De entre todos los parámetros expuestos anteriormente en el caso del diseño de un componente híbrido, en este caso un brazo de suspensión, cobra especial interés la necesidad de examinar, desde el inicio del diseño, si los espesores de pared requeridos pueden lograrse con el material deseado, es decir si el material inyectado puede llenar correctamente la geometría planteada.

Para ello se evalúa la relación espesor de pared – longitud lineal a ser llenada ya que esta tiene una influencia crítica en el llenado del molde en el proceso de moldeo por inyección. De esta manera longitudes largas unidas con geometrías complejas combinadas a su vez con un espesor de pared bajo sólo puedan lograrse con un polímero con viscosidad relativamente baja en el estado fundido, tal y como se observa en la figura:

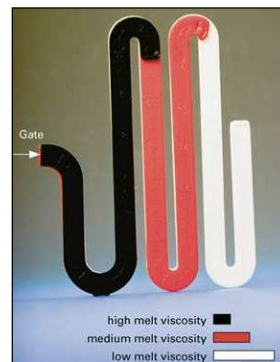


FIGURA 231: RELACIÓN VISCOSIDAD DEL MATERIAL – LONGITUD – ESPESOR

Para corregir/compensar este efecto se debe procurar que el espesor y las longitudes a ser llenadas guarden un equilibrio con la viscosidad del material en estado fundido y con la temperatura tanto del molde como de la chapa metálica, inserto, ya que, como se verá en el siguiente punto, éstas también influyen notablemente en el proceso de llenado.

Por otro lado, atendiendo al requisito de rigidez exigido al componente plástico del brazo de suspensión híbrido, es importante reseñar que aumentando el espesor de pared del material plástico se consigue un incremento de la rigidez de la estructura, debido a la relación directa que esta tiene entre el módulo elástico del material y el momento de inercia de la sección transversal donde se calcula.

Ahora bien, si este incremento de espesor no se hace de una manera controlada puede llevar a graves problemas, sobre todo cuando se inyectan materiales semicristalinos y más aún cuando estos se encuentran reforzados, por ejemplo con fibras de vidrio, tal y como es el caso aquí presentado.

En este caso el cambio del espesor de la pared también influye en la orientación de las fibras de vidrio provocando que las fibras cercanas a la pared de molde se orientan en la dirección del flujo mientras que las que permanecen en el centro de la pared de la sección se orientan de manera aleatoria ya que se produce como resultado de un flujo turbulento. Asimismo, tal y como se observa en la siguiente imagen, al aumentar el espesor se observa

que sólo se aumenta la sección con fibras distribuidas aleatoriamente, permaneciendo la sección de fibras orientadas prácticamente constante. Este hecho provoca que aunque teóricamente el incremento de espesor incrementaba la rigidez esto no sea así ya que debido a la aleatoriedad de la orientación de las fibras disminuye el módulo elástico del material en relación a la sección con fibras orientadas. [4]



FIGURA 232: EFECTO DE VARIACIÓN DEL ESPESOR DE LOS NERVIOS EN LA ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS

De esta situación se deriva la necesidad de evitar diseñar estructuras con secciones de elevado espesor sustituyéndolas, cuando sea posible, por una estructura con nervios, tal y como se detalla en el siguiente punto.

2.3.2.2 Recomendaciones sobre Estructuras Nervadas

Como se comentaba en el punto anterior para incrementar la rigidez de una estructura o componente se puede aumentar el espesor de la pared, aumentar el módulo elástico o incorporar nervios en el diseño de la misma.

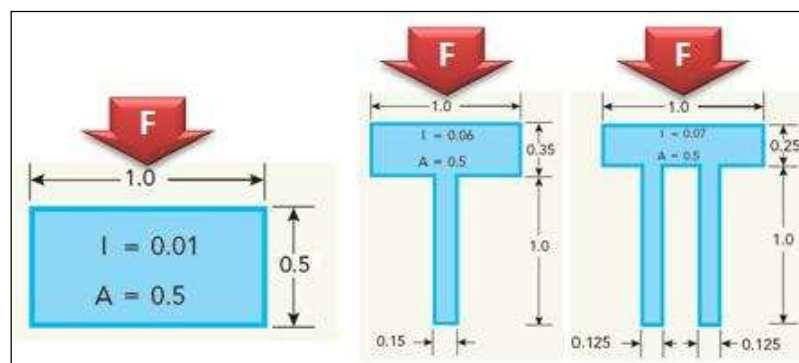


FIGURA 233: INCREMENTO DE LA RIGIDEZ MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE NERVIOS

A continuación nos centraremos en esta última solución en la cual generalmente es necesario tener en cuenta no sólo las consideraciones de diseño de ingeniería, sino también a factores técnicos relativos a aspectos de la producción ya comentados en puntos anteriores.

Cuando se diseña una estructura nervada, un momento de inercia elevado puede lograrse fácilmente al proporcionar más altura a los nervios y más espesor. Sin embargo, como veíamos anteriormente, al trabajar con materiales termoplásticos reforzados, este enfoque normalmente crea graves problemas tales como vacíos por no llenado, porosidad, distribución no uniforme de las fibras y deformaciones. Además, si la altura de costilla es demasiado grande, existe el riesgo de que la estructura del nervio pandee bajo la acción de una carga longitudinal. Por esta razón, se hace absolutamente necesario mantener las cotas de los nervios en proporciones razonables, las cuales se muestran en la siguiente figura. [4]

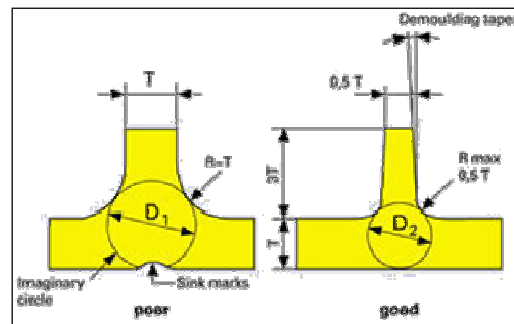


FIGURA 234: REGLAS DE DISEÑO PARA NERVIOS EN MATERIAL TERMOPLÁSTICO REFORZADO

Asimismo, en estructuras con nervios cruzados hay que tener en cuenta los puntos de cruce de los mismos y diseñarlos consecuentemente para evitar los efectos derivados de las estructuras de pared gruesa que se veían en el punto anterior. Para ello se diseñan puntos o nodos de unión como los que se indican en la siguiente imagen en los cuales se prevee un agujero cilíndrico en el medio que disminuye el espesor de pared favoreciendo de esta manera la correcta distribución y orientación de las fibras de vidrio.

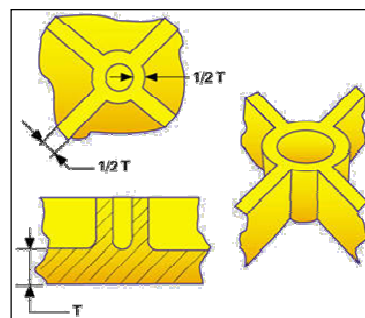


FIGURA 235: REGLAS DE DISEÑO PARA NODOS EN ESTRUCTURAS NERVADAS

Finalmente, cabe reseñar que todas estas consideraciones o directrices serán tenidas en cuenta en la construcción del nervado del brazo de suspensión híbrido para asegurar la factibilidad del proceso de inyección y la robustez del diseño.

2.3.2.3.- Factor Proceso Productivo

De entre todos los parámetros que influyen en el proceso productivo de moldeo por inyección en la tecnología híbrida, los más importantes y por consiguiente los que más influencia tienen en el resultado final de la pieza, son los relacionados con la temperatura del molde y la del inserto metálico, chapa de acero de alto límite elástico, en él introducido.

2.3.2.3.1 Temperatura del Molde

Cuando se inyectan materiales poliméricos termoplásticos de la categoría plásticos de ingeniería, es importante asegurarse de que la temperatura de la superficie del molde sea la correcta ya que ésta tiene un gran peso específico en el resultado final de las piezas y en la calidad de las mismas. De esta situación se deriva la necesidad de estudiar en profundidad el diseño del molde y de su sistema calefactor para lograr el mejor equilibrio entre ambos a fin de evitar problemas de producción en una etapa posterior.

El efecto más fácil de identificar cuando la temperatura del molde no es la correcta es el imperfecto acabado superficial de las piezas moldeadas debido a la no correcta cristalización del material. Generalmente este problema suele ser causado por la baja temperatura de la superficie del molde o por la inhomogeneidad de ésta.

La medición de la temperatura del molde se puede realizar mediante termopares con los cuales se mide la temperatura de las superficies del molde en contacto directo con el plástico (lectura a 2 mm desde la superficie del molde) o más comúnmente mediante un pirómetro portátil. Asimismo existen diferentes métodos para determinar si la temperatura del molde es la correcta o no a partir de piezas físicas ya moldeadas, entre los que destacan medio los métodos analíticos tales como el análisis estructural y el examen mediante calorimetría diferencial de barrido – Análisis DSC –. [4]

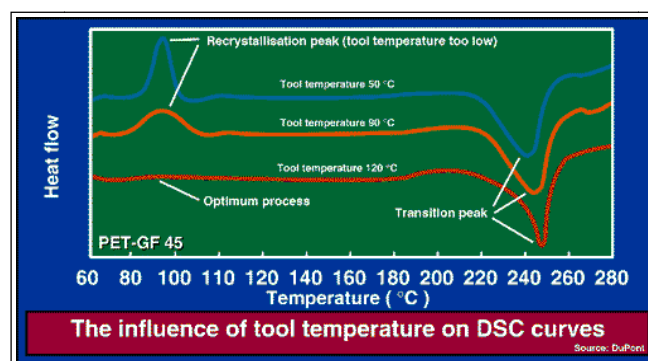


FIGURA 236: DETERMINACIÓN DE LA CORRECTA TEMPERATURA DEL MOLDE MEDIANTE DSC

Debido a la creciente complejidad de los moldes y al desarrollo y empleo de nuevos materiales termoplásticos, cada vez se hace más difícil crear y controlar las condiciones óptimas de temperatura en el molde que, a la postre, hagan que el proceso productivo sea más seguro y eficiente. Por esta razón los expertos en la materia recomiendan trabajar en las siguientes líneas: [4]

- ↪ El control de la temperatura de la geometría a ser moldeada debe ser tenido en cuenta en la etapa de diseño del molde
- ↪ Utilizar, si es posible, agua presurizada como medio de control de temperatura. Proporcionar tuberías flexibles que sean capaces de resistir altas presiones y temperaturas
- ↪ Utilizar placas de aislamiento térmico entre ambas mitades del molde y las placas de fijación de la máquina
- ↪ Al diseñar moldes que tienen un bajo peso de disparo y el molde de grandes dimensiones, es importante permitir la transferencia térmica buena en la construcción
- ↪ Ser generoso en el diseño de los canales de atemperado. No utilizar accesorios que puedan causar una restricción importante en el flujo del líquido y por consiguiente en la temperatura del molde
- ↪ En moldes complejos utilizar sistemas de control de temperatura independiente para las diferentes partes del molde, con el objetivo de poder trabajar con diferentes perfiles de temperaturas
- ↪ Utilizar las hojas de datos de características técnicas y parámetros de procesamiento de los materiales provistas por los proveedores ya que dan un rango para la temperatura del molde que representa el mejor compromiso posible entre un buen acabado superficial, propiedades mecánicas, tiempos de ciclo y comportamiento de contracción

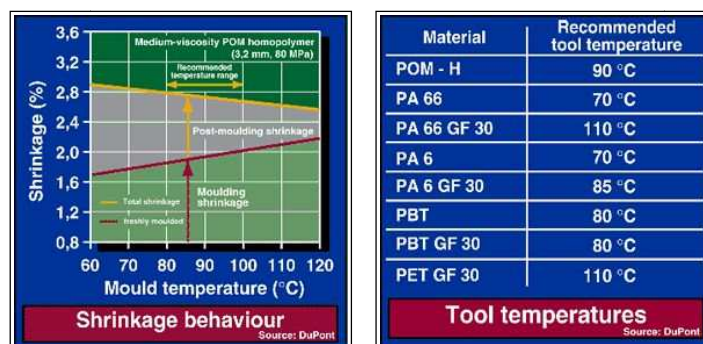


FIGURA 237: TEMPERATURAS DE MOLDE RECOMENDADAS Y SU EFECTO EN LA CONTRACCIÓN

Finalmente cabe destacar que el equilibrio térmico en el molde se suele alcanzar después de una serie de ciclos de inyección, normalmente un mínimo de 10, dependiendo este número de muchos factores como el material del molde, la temperatura ambiente, etc. los cuales deben tenerse en cuenta de cara al arranque de la fabricación en series.

A modo de conclusión, después del estudio teórico acerca de la temperatura del molde y tras consultar numerosas especificaciones de diferentes fabricantes de granulados de material termoplástico para el material seleccionado para el brazo de suspensión, la familia de las poliamidas se definió que para las poliamida 6 el molde debía ser atemperado a una temperatura cercana a los 80 °C mientras que en el caso de utilizar poliamida 6-6 el rango de temperaturas será algo superior rondando los 100 °C.

2.3.2.3.2 Temperatura del Inserto Metálico

A la problemática anteriormente descrita sobre la temperatura del molde, en la tecnología híbrida hay que sumar la problemática derivada de introducir en el mismo un inserto metálico, el cual puede afectar a los parámetros de temperatura anteriormente fijados llegando a provocar variaciones importantes en los mismos.

Tal y como reflejan los resultados de diferentes estudios realizados sobre la adhesión entre metales y materiales poliméricos termoplásticos, cuando se pretende lograr una buena conexión – unión entre estos materiales mediante un proceso de moldeo por inyección, es necesario, entre otros requisitos, que el inserto se encuentre a una temperatura similar a la definida para el molde con el objetivo de facilitar así su cristalización en la interfase metal – plástico ayudando de esta manera a crear una unión cuasi-física entre la chapa metálica y el material polimérico. [8]

A la vista de estos resultados teóricos se determinó que en los primeros prototipos el inserto metálico se precalentaría homogéneamente, antes de ser introducido en el molde, hasta que alcanzase una temperatura cercana a la del molde de inyección ya que de esta forma se aseguraba, teóricamente, una mejor unión entre los materiales.

Posteriormente, a la vista de los resultados obtenidos en estos primeros ensayos, se estudiará la posibilidad de realizar ensayos con diferentes combinaciones de temperaturas en el inserto metálico, temperaturas del utillaje y temperaturas de la masa de material termoplástico fundido.

2.3.2.4.- Conclusiones Proceso de Moldeo por Inyección

Finalmente cabe destacar que, al igual que se hizo con el proceso de conformado por estampación, y con el objetivo de poder determinar de una manera teórica aproximada la factibilidad del proceso de inyección y la robustez e idoneidad del producto con ella fabricado, se recurre al estudio de estos procesos de moldeo por inyección de materiales termoplásticos mediante simulaciones aplicando el método de los elementos finitos con software comerciales específicos para este tema.

Gracias al uso de estos software de ingeniería CAE se consigue abordar los puntos críticos expuestos en los puntos anteriores, ya que se logra optimizar el diseño de los componentes para que éstos sean factibles de cara a su fabricación, se reducen los riesgos de problemas en la misma derivados de problemas en el llenado del molde, distribución y orientación de las fibras, problemas de temperaturas, etc. y se determina la geometría de los utillajes de inyección en cuanto respecta a ángulos de desmoldeo, punto de inyección, etc.

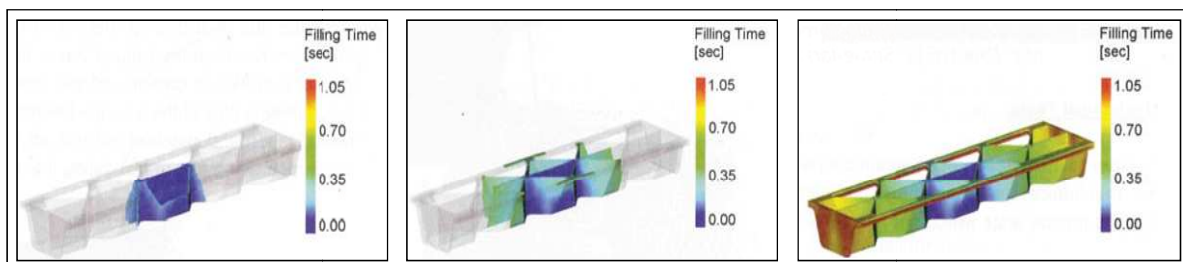


FIGURA 238: SIMULACIÓN CAE PROCESO MOLDEO POR INYECCIÓN – MOLDFLOW –

Los resultados de estos primeros cálculos teóricos por simulación permiten dar una idea de las líneas de trabajo y modificaciones a seguir y/o implementar, tanto en el producto como en el proceso, a la vez que aportan los siguientes beneficios:

- ↪ Beneficios en la concepción del producto
 - Optimización del diseño del componente teniendo en cuenta las limitaciones del proceso productivo desde el principio del desarrollo del producto
 - Identificación de líneas de soldadura, problemas de llenado, deformaciones
 - Probar diferentes materiales y estudiar la idoneidad de estos
- ↪ Beneficios en la concepción de los moldes y herramientas
 - Se ahorra tiempo y dinero en la fabricación y optimización de los moldes

- Reducir el número de moldes prototipos y las modificaciones de los mismos ya que se pueden probar diferentes ideas de manera virtual
- Definir las ubicaciones óptimas de los puntos de inyección para asegurar un correcto llenado del molde
- Optimizar los canales de refrigeración y la eficiencia térmica del sistema

3.- FACTIBILIDAD CONCEPTO: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

Una vez descrito el concepto de tecnología híbrida y habiendo analizado las características así como el estado de la técnica en relación a la misma se decidió, como paso previo a profundizar en el desarrollo completo de un brazo de suspensión híbrido metal – plástico, realizar en primer lugar algunos estudios sobre la factibilidad del concepto que corroborasen las ventajas de la tecnología anteriormente expuestas.

Para ello se tomó como referencia el brazo de suspensión de 3 puntos de la suspensión delantera con concepto Mc Pherson del SMART ForTwo, el cual ya era conocido en la empresa ZF Lemförder GmbH por haberse desarrollado para él una solución en chapa de acero de alto límite elástico con integración de componentes mediante soldadura láser (tecnología SMiCA – Sheet Metal Integrated Control Arm).

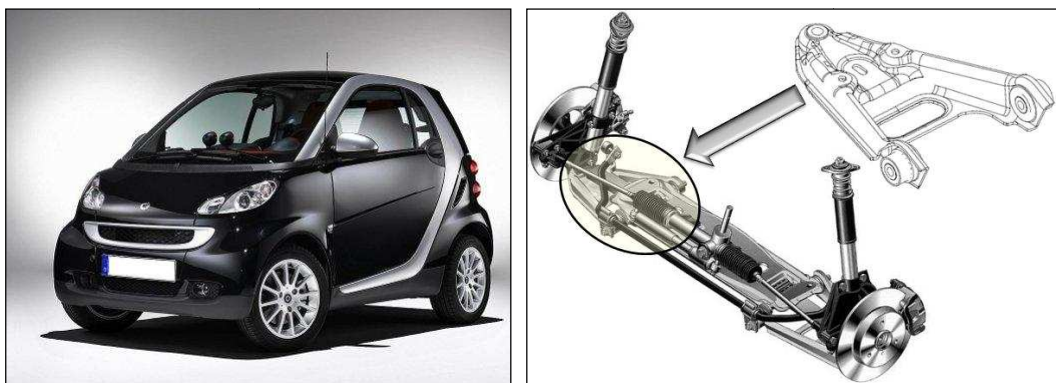


FIGURA 239: EJE DELANTERO Mc PHERSON Y BRAZO DE SUSPENSIÓN SMART FORTWO

En este brazo se estudió la influencia que tiene el incorporar a la chapa de acero una estructura nervada de material termoplástico en el comportamiento mecánico del brazo, con el objetivo de ver si se consigue una mejora en su comportamiento partiendo de los resultados obtenidos anteriormente sobre el modelo de referencia en chapa embutida.

En los siguientes puntos se exponen las actividades llevadas a cabo en este estudio de factibilidad de la tecnología híbrida.

3.1.- FACTIBILIDAD DISEÑO PRODUCTO: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

3.1.1.- Definición de la Geometría CAD

En este apartado se construyeron, con ayuda del software de diseño CAD Catia V.4 los modelos que se pretendían analizar.

En total se construyeron en un primer momento tres modelos además del de referencia, dos de chapa de acero con espesor de 2 mm y 3 mm respectivamente y un modelo de brazo híbrido con una estructura de chapa de 2 mm de espesor y una estructura de nervios de material termoplástico. En la siguiente imagen se muestran los modelos

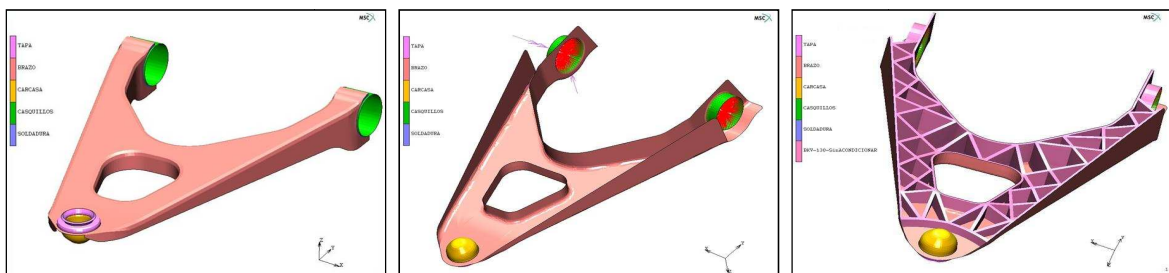


FIGURA 240: MODELOS CAD: ESTUDIO FACTIBILIDAD DEL CONCEPTO – BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO –

3.1.1.1.- Definición de las Propiedades de los Silentblocks

El brazo de suspensión propuesto incorpora dos silentblocks en la unión entre éste y el bastidor o subframe y una unión mediante rótula esférica con la mangueta.

Las propiedades o comportamiento de estos silentblocks, las cuales se exponen en las siguientes gráficas, fueron tomadas del proyecto SMART-SMiCA, proyecto en el cual se llevo a cabo una profunda caracterización de los mismos.

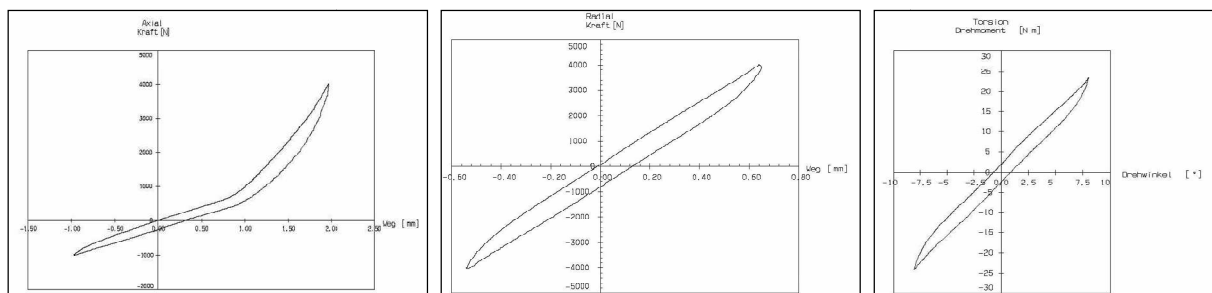


FIGURA 241: PROPIEDADES DE LOS SILENTBLOCKS BRAZO DE SUSPENSIÓN SMART FOR TWO

3.1.2.- Selección de Materiales

Debido a que este análisis de factibilidad era un simple estudio de aproximación se decidió trabajar con los mismo materiales utilizados en el estudio de la disposición del nervado plástico. Estos materiales son:

- ↪ *Materiales Metálico*: Chapa de acero de la familia HSLA con un límite elástico de 355 MPa
- ↪ *Materiales Plástico*: Poliamida reforzada con 30% de fibra de vidrio

Las propiedades del material se sacaron de otros proyectos anteriormente realizados en los cuales se había empleado este material (Proyecto SMiCA) mientras que las propiedades del material polimérico termoplástico se obtuvieron de la literatura.

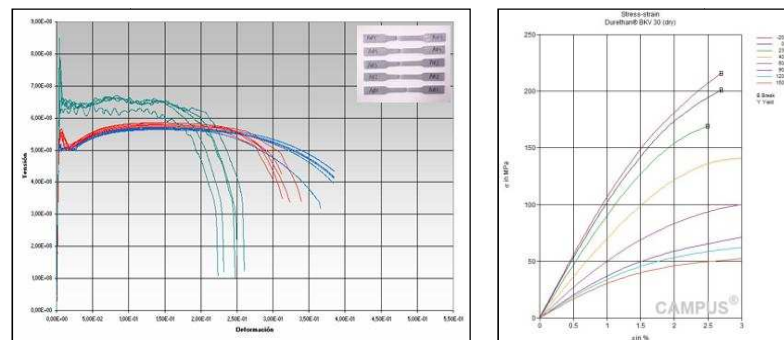


FIGURA 242: MATERIALES PARA LA SIMULACIÓN MEF DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN DEL SMART FORTWO

3.1.3.- Definición del Modelo para Cálculo MEF

El ensayo para determinar la viabilidad del brazo de suspensión construido con la tecnología híbrida metal – plástico fue el ensayo de deformación según el eje X del vehículo automóvil consistente en la aplicación de una carga estática creciente hasta que se produce el colapso del componente. En los siguientes puntos se describen las condiciones del ensayo de deformación según el eje X en detalle, las cuales se aplicarán posteriormente en el modelo de cálculo MEF:

- ↪ Aplicación de carga: 40mm en 5 min, en dirección X
- ↪ Los grados de libertad en Z y en Y de la rótula de suspensión están restringidas en el ensayo
- ↪ Se toma como referencia la curva Fuerza Aplicada-Desplazamiento en X del centro de bola de la rótula de suspensión

➤ Para simular la conexión del brazo de suspensión con el bastidor-subframe se introdujeron las propiedades de los silentblocks expuestas anteriormente

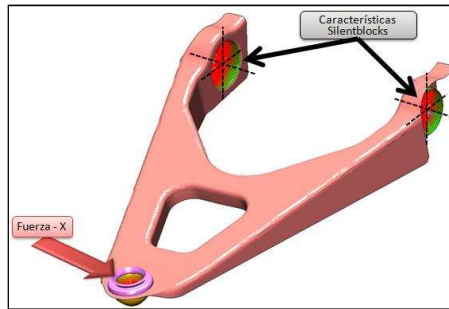


FIGURA 243: MODELO CÁLCULO MEF: BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO

En el modelo expuesto en la anterior imagen se creó una malla en hexaedros tanto para la chapa como para los nervios de material termoplásticos en el caso híbrido. En este último caso se implementaron condiciones de contacto entre la chapa y el plástico.

3.1.4.- Resultados Cálculo MEF

Una vez definidos los modelos CAD y MEF se realizaron en primer lugar dos simulaciones del brazo de chapa metálica con espesores de 2mm y 3 mm pero sin nervado plástico para tener unos valores de referencia contra los cuales posteriormente contrastar la influencia del nervado plástico. El resultado de esta simulación, diagrama fuerza – desplazamiento, así como el estado tensional de los dos brazos se muestran en las siguientes gráficas/imágenes:

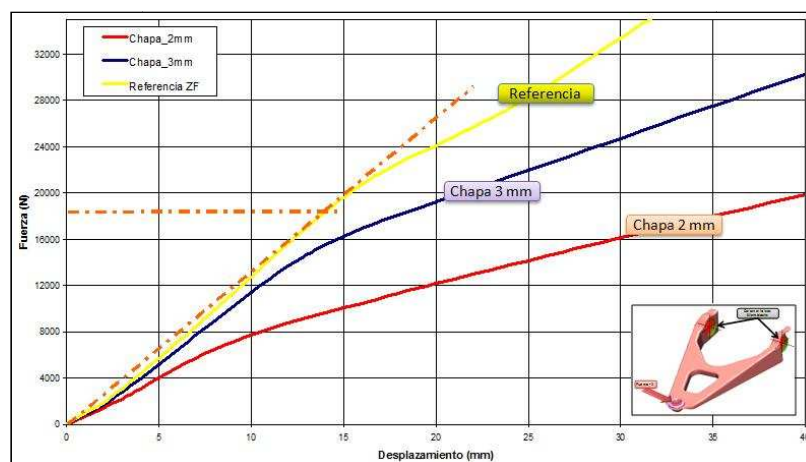


FIGURA 244: RESULTADOS MEF: FUERZA-DESPLAZAMIENTO BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO EN CHAPA DE ACERO

Como se observa en la gráfica los dos modelos se encuentran por debajo del modelo de referencia, el cual está fabricado en acero de la misma calidad pero con un espesor de 4 mm.

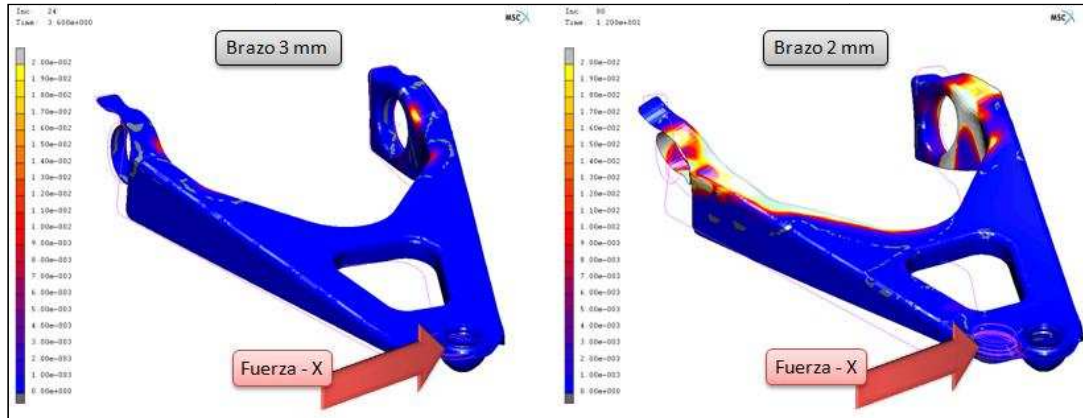


FIGURA 245: RESULTADOS MEF: ESTADO TENSIONAL BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO EN CHAPA ACERO

A continuación se realizó la misma simulación MEF para el diseño híbrido metal – plástico propuesto inicialmente para conocer el comportamiento de este brazo ante la carga de deformación en X. Como resultado se obtuvo la siguiente curva fuerza desplazamiento y las tensiones en el componente que se muestran a continuación:

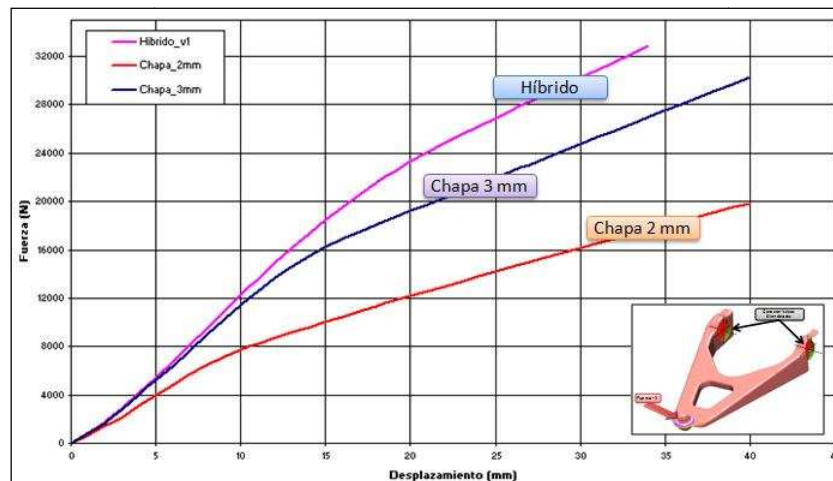


FIGURA 246: RESULTADOS MEF: FUERZA-DESPLAZAMIENTO BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO – HÍBRIDO –

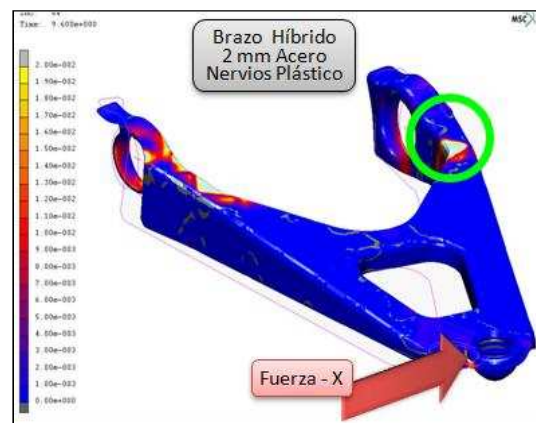


FIGURA 247: RESULTADOS MEF: ESTADO TENSIONAL BRAZO SUSPENSIÓN SMART FORTWO – HÍBRIDO –

La interpretación de los resultados nos indica que se mejora notablemente el comportamiento incluso hasta para el componente únicamente metálico de 3 mm de espesor. Sin embargo existe una zona muy localizada, indicada con un círculo verde, en la que se concentran las tensiones de forma muy puntual, por lo que se produce la aparición de una rótula plástica.

Analizando el comportamiento de forma pormenorizada se llegó a la conclusión de que optimizando la geometría del refuerzo de material plástico se podía conseguir prolongar el comportamiento lineal y conseguir una zona de colapso más amplia consiguiendo de esta manera un comportamiento más seguro del componente.

Con este objetivo se procedió a realizar el segundo ciclo de diseño del componente, cuyo aspecto se puede apreciar a continuación:

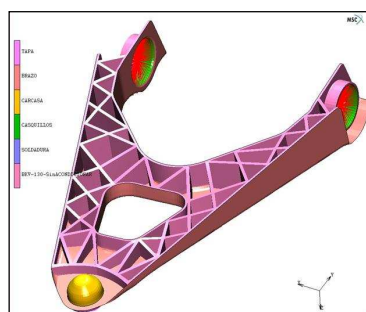


FIGURA 248: MODELOS CAD: BRAZO SUSPENSIÓN SMART ForTwo – HÍBRIDO V.2 –

Las modificaciones realizadas son muy sutiles, variación del punto de intersección de algunos nervios y ligeros incrementos de espesor en los refuerzos que están más solicitados. Los resultados obtenidos al aplicar la carga de deformación en el eje X son los siguientes:

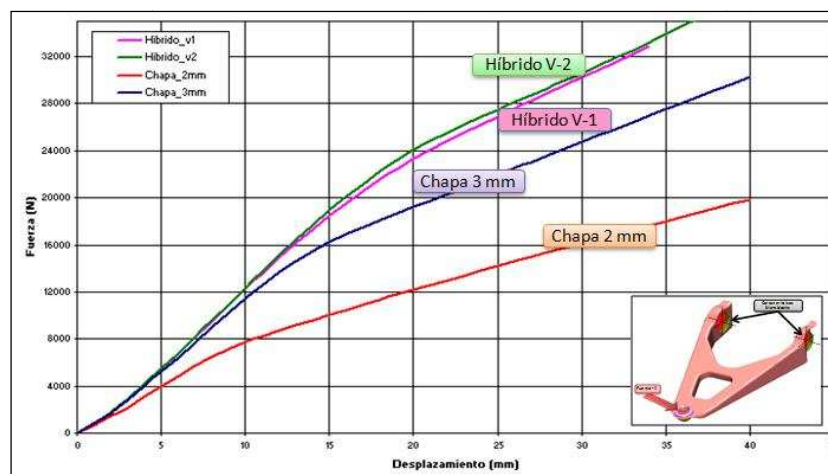


FIGURA 249: RESULTADOS MEF: FUERZA-DESPLAZAMIENTO BRAZO SUSPENSIÓN SMART ForTwo – HÍBRIDO V.2 –

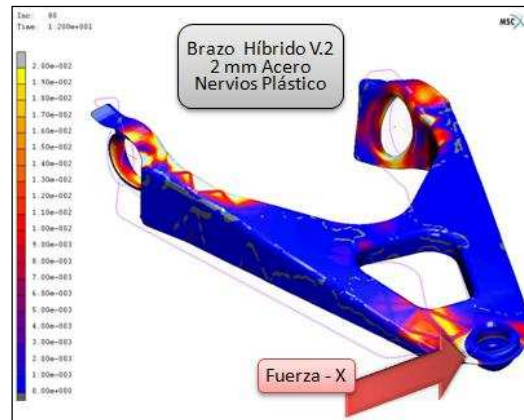


FIGURA 250: RESULTADOS MEF: ESTADO TENSIONAL BRAZO SUSPENSIÓN SMART ForTwo – HÍBRIDO V.2 –

Aparentemente las curvas de comportamiento de las versiones híbridas 1 y 2 son muy similares, sin embargo existe una diferencia importante y es que la pérdida de linealidad se retrasa de forma notable en el caso del segundo diseño, lo que permite que el componente recupere totalmente su geometría inicial en un rango superior de carga.

Otra ventaja importante a favor del segundo diseño y la aparición del colapso en una zona más amplia del material, lo que conlleva una mayor absorción de energía en caso de cargas de impacto y un retardo en la rotura del componente.

Finalmente, se resumen en la siguiente gráfica todos los resultados de los estudios/simulaciones MEF llevados a cabo:

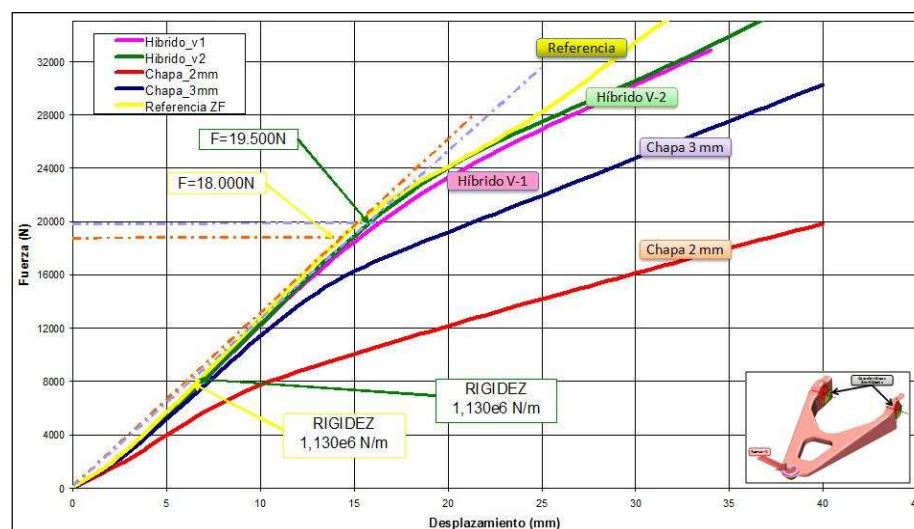


FIGURA 251: RESULTADOS MEF: FUERZA-DESPLAZAMIENTO BRAZO SUSPENSIÓN SMART ForTwo TOTAL

Analizando los resultados obtenidos se observa que la construcción de un brazo híbrido metal – plástico es factible y que mediante la utilización del método de los elementos finitos

se puede obtener de forma rápida y económica un diseño que cumple con creces con los requerimientos mecánicos establecidos. Asimismo queda patente una de las grandes ventajas de la utilización de este tipo de herramientas, la posibilidad de adelantarse, en la fase de diseño, a futuros problemas, que en caso de aparecer en fases posteriores supondrían la utilización de un gran número de recursos y tiempo para su solución, tal y como ocurría en la evolución desde el diseño híbrido de la versión inicial a la final.

3.1.5.- Discusión de los Resultados Obtenidos

En cuanto respecta a los resultados obtenidos cabe destacar que el brazo de suspensión híbrido versión 2 presenta el mismo comportamiento que el brazo que se ha tomado como referencia en lo que respecta a la rigidez en la dirección longitudinal del vehículo.

Si a esta situación se le añade la reducción de peso obtenida, resumida en la siguiente tabla, se vuelve a corroborar que la solución híbrida puede ser factible y competitiva para el desarrollo de un brazo de suspensión en este segmento de vehículos automóviles.

COMPARATIVA DE PESOS BRAZO DE SUSPENSIÓN SMART FORTWO				
BRAZO DE REFERENCIA	CHAPA ACERO 2 MM	CHAPA ACERO 3 MM	BRAZO HÍBRIDO VERSIÓN 1	BRAZO HÍBRIDO VERSIÓN 2
1,930 Kg	1,032 Kg	1,517 Kg	1,264 Kg	1,280 Kg

TABLA 39: *COMPARATIVA DE PESOS BRAZO DE SUSPENSIÓN SMART FORTWO*

Profundizando en el estudio comparativo de las soluciones se observa lo siguiente:

↳ Al comparar el diseño híbrido con el diseño de chapa de 2 mm de espesor el incremento de masa es del 20%, mientras que el de rigidez es del 63%, aumentando también el límite de comportamiento elástico un 200%

↳ Si lo comparamos con el de 3 mm de espesor, el incremento de rigidez es del 17%, el límite de comportamiento elástico aumenta un 39% y todo ello con una reducción del 17% en masa.

Por último cabe reseñar que en el diseño expuesto no se han considerado aspectos importantes de los procesos productivos asociados a la fabricación de componentes mediante la tecnología híbrida como son el estado final del componente metálico después de la estampación, en lo que se refiere a variaciones de espesores, deformaciones plásticas, etc. y la capacidad de integración de componentes mediante el proceso de sobreinyección de

material termoplástico como puede ser la integración de la rótula y los silentblocks, aspectos obviados en este primer estudio.

Esta situación deriva en la necesidad de profundizar en el siguiente apartado en el estudio de las posibilidades existentes en el mercado para la simulación y ajuste de estos procesos productivos, con el objetivo de poder determinar a groso modo, si es factible el poder desarrollar una herramienta de simulación para tal fin que, unida a la anterior, permita acortar los tiempos y los costes de desarrollo de un brazo de suspensión o de cualquier otro componente fabricado con la tecnología híbrida.

3.2.- FACTIBILIDAD PROCESO PRODUCTIVO: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

Como se comentaba anteriormente, en la fabricación de un brazo de suspensión mediante la tecnología híbrida están involucrados dos procesos productivos que implican cierto grado de innovación. Estos procesos son la estampación/embutición y la sobreinyección de material termoplástico. Debido a que ambos son fundamentales para el desarrollo del proyecto serán analizados en apartados o tareas específicas.

3.2.1.- Factibilidad Proceso de Conformado por Estampación/Embutición

Para analizar la viabilidad del proceso de conformado por estampación/embutición se recurre a la utilización de herramientas de simulación mediante la utilización del método de los elementos finitos.

Para abordar esta tarea se distinguen dos etapas, la primera de ellas ha consistido en la elección y puesta a punto de la herramienta o software de simulación, mientras que la segunda ha servido para estudiar la embutición de la pieza que ha sido objeto de estudio, el brazo de suspensión para el SMART ForTwo.

A continuación se detalla cada una de ellas:

↳ *Primera Etapa. Elección y puesta a punto de la herramienta de simulación:* Dentro de la primera etapa se pueden destacar labores como el conocimiento de los softwares comerciales destinados a este tipo de simulación Hyperform y Autoform.

En esta tarea se han determinado los datos de entrada comunes necesarios para la simulación del proceso de embutición, que son la geometría final del componente, el diagramas límite de conformado (Forming Limit Diagrams – FLD) y el espesor de la

chapa a conformar. De igual forma se ha trabajado para determinar cuáles son las salidas que aportan más información sobre el proceso.

Tras la realización de este análisis se ha determinado que la información más importante es el mapa de variación de espesor del componente, la deformación plástica y el mapa que indica los posibles riesgos que se producen durante la transformación del componente. Dentro de este último mapa se distinguen cinco tipos de zonas:

- La primera de ellas es aquella en la que puede aparecer rotura del componente durante la embutición por excesiva deformación del material. Este tipo de defectos es inadmisibles y se debe trabajar sobre la geometría del componente hasta su eliminación
- La segunda zona identifica aquellos lugares en que el material está sufriendo un nivel de deformación elevado, lo que conlleva una importante reducción de espesor. Las regiones del componente que se encuentren dentro de esta zona deben ser analizadas con especial detalle. De hecho, la metodología que se pretende seguir con el desarrollo de este proyecto arrastra toda la información obtenida de la simulación del proceso de embutición a la simulación del comportamiento del componente en servicio, de tal manera que este tipo de circunstancias sean tenidas en cuenta en todo momento
- La tercera de las regiones es aquella en la que el proceso de transformación apenas modifica las propiedades del material, por lo que no presenta ningún tipo de dificultad en el proceso de embutición
- La cuarta región identifica aquellas zonas en las que existe tendencia de aparición de arrugas. En principio no son zonas que deban presentar problemas, pero sirven como señal de alarma para evitar entrar de forma amplia en la quinta región que es aquella en la que la aparición de arrugas es bastante probable
- La quinta y última región no es tan problemática como la primera en la que se podía producir la rotura del componente, aunque sí es recomendable evitar la aparición de arruga ya que afecta a la calidad visual del conjunto

↪ *Segunda Etapa. Estudio de la embutición de la pieza:* Una vez determinada y puesta a punto la metodología para analizar la viabilidad del proceso de conformado por estampación/embutición se procede al análisis del componente objeto de estudio. Como se ha indicado anteriormente el primer paso ha sido la introducción de la

geometría con el espesor y el diagrama límite de conformado del material, el cual en este primer estudio se obtuvo a partir de datos de literatura.

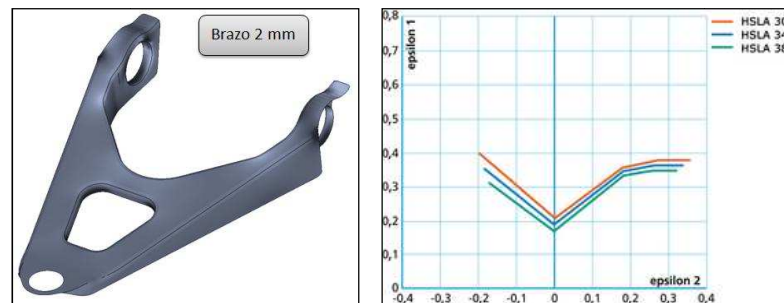


FIGURA 252: DATOS DE ENTRADA SIMULACIÓN PROCESO DE CONFORMADO POR ESTAMPACIÓN

A continuación se ha procedido a la simulación del proceso de estampación/embutición y en las siguientes imágenes se muestran los resultados que aportan información más interesante, tanto sobre el proceso de transformación como para la determinación del comportamiento del componente durante su vida en servicio.

La primera de las imágenes es el mapa de componente que muestra lugares en los que pueden aparecer dificultades en el proceso de transformación.

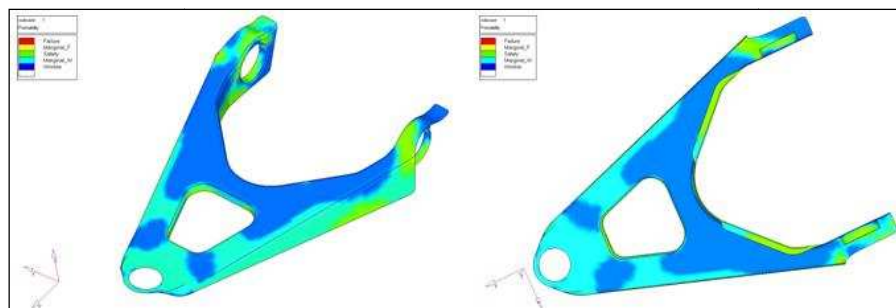


FIGURA 253: ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL PROCESO DE CONFORMADO

En las imágenes anteriores se muestran los resultados sobre el componente desde la parte superior y desde la parte inferior del brazo. Se observa cómo no existe ninguna zona crítica en la que se pueda producir riesgo de rotura durante la embutición. Sin embargo sí aparecen zonas en las que es posible que se generen arrugas lo cual requiere de la realización del proceso de embutición en más etapas para asegurar el correcto estirado del material. Por lo tanto, y a la vista de estos resultados, se concluye que la geometría es procesable.

Como se indicaba anteriormente existen otros parámetros que tienen gran importancia para el comportamiento en servicio del componente, como son la variación del espesor y la existencia de deformación plástica.

En las siguientes imágenes se muestran los resultados obtenidos en referencia a esos parámetros.

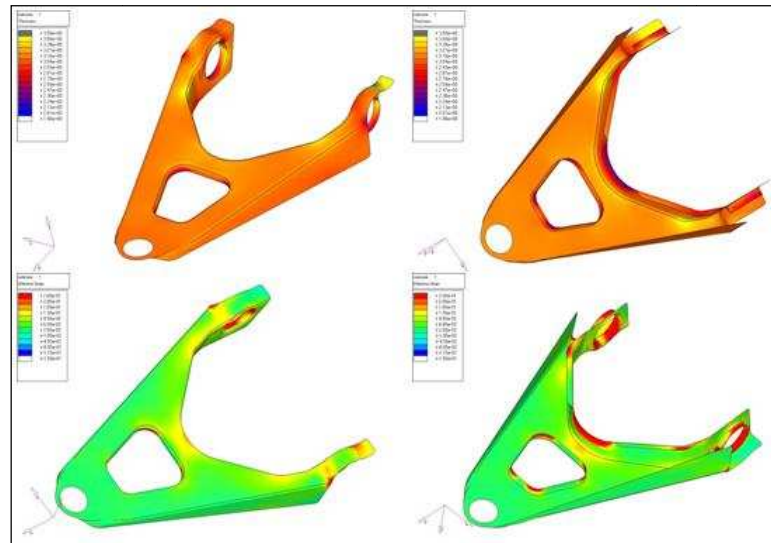


FIGURA 254: VARIACIÓN DEL ESPESOR Y DISTRIBUCIÓN DE LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA EN EL COMPONENTE

Analizando de forma conjunta todos los resultados mostrados en esta imagen se observa que existe una estrecha relación entre ellos. Los lugares donde se produce una reducción del espesor más importante se corresponden con aquellos en que la deformación plástica es mayor y al mismo tiempo son los que tienen un comportamiento más crítico en cuanto a la posible aparición de rotura. Por el contrario, aquellas zonas en las que se incrementa el espesor, no se produce deformación plástica y existe tendencia a la presencia de arrugas por el excedente de material.

Gracias al desarrollo de esta tarea se ha determinado la viabilidad de simular los procesos de estampación de brazos de suspensión de reducido espesor de chapa y se ha puesto a punto una herramienta que nos ha permitido determinar la viabilidad del proceso de embutición al mismo tiempo que cuantificamos la variación de espesor de la chapa y la aparición de tensiones residuales debido a la presencia de deformación plástica.

3.2.2.- Factibilidad Proceso de Moldeo por Inyección

Siguiendo la línea de trabajo del apartado anterior, el objetivo que hemos perseguido en esta tarea es poner a punto una herramienta que nos permita determinar la viabilidad del proceso, en este caso el moldeo por inyección. Para ello se han planeado dos etapas, la primera de ellas ha consistido en la elección y puesta a punto de la herramienta o software de simulación, mientras que la segunda ha servido para estudiar el proceso de inyección.

Debido a que al abordar esta tarea no se conocía aún la geometría definitiva del refuerzo del brazo de suspensión, se ha diseñado una probeta con nervios de material termoplástico inyectados sobre la chapa metálica para poner a punto dicha herramienta. La geometría de los nervios de la probeta se asemeja en gran medida a los que se emplearán en el brazo de suspensión, los cuales fueron determinados anteriormente, con el objetivo de que el trabajo de puesta a punto de la herramienta fuese aprovechado en la mayor medida posible para el desarrollo del componente.

↳ *Primera Etapa. Elección y puesta a punto de la herramienta de simulación:* Dentro de la primera etapa se pueden destacar labores como el conocimiento de los softwares comerciales destinados a este tipo de simulación MoldFlow, Moldex3D, etc. y la elección del más adecuado a las características del proyecto.

El software elegido para este análisis es MoldFlow, el cual se caracteriza por su amplio reconocimiento en la industria y un alto grado de aproximación con la realidad. Las entradas necesarias para alimentar el programa son la geometría de la cavidad a inyectar, las propiedades del material que condicionan el proceso de inyección y su dependencia con la temperatura.

Gracias a la utilización de esta herramienta obtenemos cuáles son los parámetros del proceso óptimos para garantizar el correcto llenado del molde de inyección, pudiendo determinar además si el proceso es viable o no.

↳ *Segunda Etapa. Estudio del proceso de inyección:* Una vez determinada y puesta a punto la metodología para analizar la viabilidad del proceso de moldeo por inyección se procede al análisis del componente objeto de estudio.

A continuación se muestran algunas imágenes del proceso de simulación del llenado de la probeta para poner a punto esta herramienta:

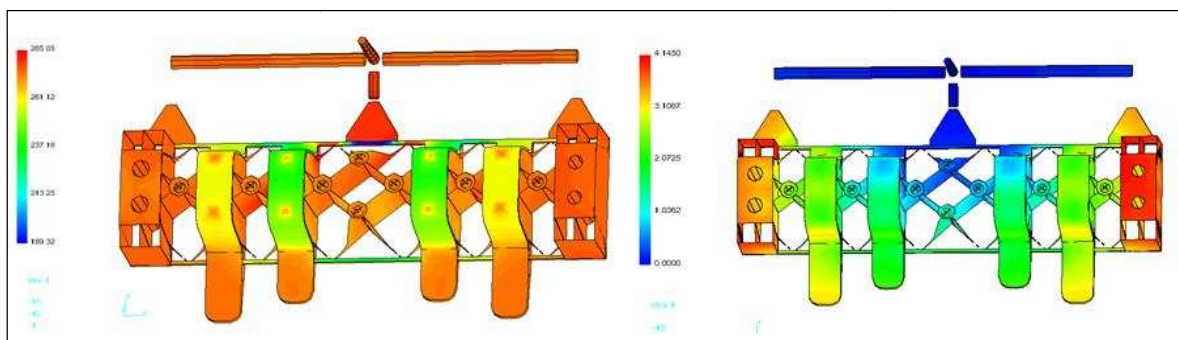


FIGURA 255: DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA (IZQDA.) Y EVOLUCIÓN DEL LLENADO DEL MOLDE (DCHA.)

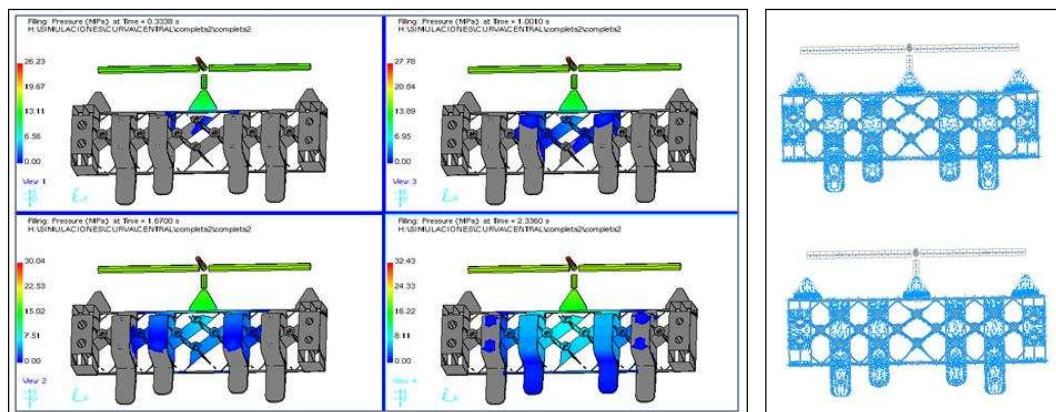


FIGURA 256: AVANCE DE LA PRESIÓN DE INYECCIÓN (IZQDA.) Y ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS (DCHA.)

La realización de este tipo de simulaciones nos permite conocer como se distribuye el material al entrar en el molde, cuál es la velocidad del material fundido en cada momento y en cada punto, cómo evoluciona la temperatura, cuál es la orientación de fibra predominante en cada punto del componente, la velocidad de enfriamiento y en definitiva cualquier parámetro que pueda dar información sobre el modo en que se está produciendo el proceso de inyección. Asimismo la puesta a punto de esta herramienta permite conocer cuál es el rango de presión y temperatura óptimo para la inyección del material polimérico termoplástico a emplear.

3.3.- CONCLUSIONES ANÁLISIS FACTIBILIDAD DISEÑO PRODUCTO-PROCESO PRODUCTIVO: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

En los siguientes puntos se resumen las principales conclusiones de los estudios de factibilidad realizados en cuanto se refiere al diseño del producto y al proceso productivo asociado para su fabricación:

- ✎ *Diseño del Producto:* A continuación se exponen las conclusiones sacadas de las actividades realizadas en esta tarea:
 - La realización de un brazo híbrido metal – plástico (chapa de acero de alto límite elástico – material polimérico termoplástico reforzado) es factible, consiguiendo mediante la acción conjunta de ambos materiales resultados positivos en cuanto se refiere a los requisitos mecánicos que el brazo de suspensión debe cumplir
 - La utilización del método de los elementos finitos en el diseño y optimización de la geometría permite obtener de forma rápida y económica

un diseño viable desde el punto de vista de los requisitos funcionales de comportamiento en vehículo

- Quedan patentes las ventajas de la utilización herramientas de diseño y cálculo CAE, como son la posibilidad de adelantarse, en la fase de diseño, a futuros problemas, que en caso de aparecer en fases posteriores supondrían la utilización de un gran número de recursos y tiempo para su solución

↪ *Diseño del Proceso Productivo:* A continuación se exponen las conclusiones sacadas de las actividades realizadas en esta tarea:

- La utilización de herramientas CAE para la simulación del proceso de conformado por estampación/embutición permite conocer, de una manera rápida y económica, los puntos críticos de éste así como el estado del componente final obtenido, en cuanto se refiere a distribuciones de espesores, zonas plásticas, arrugas, grietas, etc. que pudiesen influenciar negativamente en el comportamiento en uso del producto, sin la necesidad de fabricar prototipos para su validación
- La utilización de herramientas CAE para la simulación del proceso de inyección permite conocer, de una manera rápida y económica, como se distribuye el material al entrar en el molde, cuál es la velocidad del material fundido en cada momento y en cada punto, cómo evoluciona la temperatura, cuál es la orientación de fibra predominante en cada punto del componente, la velocidad de enfriamiento y en definitiva cualquier parámetro que pueda dar información sobre el modo en que se está produciendo el proceso de inyección. Gracias a esta información se logran ajustar los parámetros productivos de manera teórica rápida, económica y cómodamente sin la realización de prototipos
- La puesta a punto de las herramientas de simulación para los diferentes procesos productivos, proceso de conformado por estampación/embutición y proceso de moldeo por inyección, llevada a cabo en esta tarea, permitirá ahorrar tiempo en el desarrollo del componente para producción en serie que se expone en la siguiente fase del proyecto de innovación

PROTECCIÓN DE LA PROPIEDAD INTELLECTUAL DE LOS RESULTADOS

Cuando se desarrolla un producto nuevo o proceso se debe tener en cuenta la opción de protegerlo/patentarlo, considerando este proceso una parte de la estrategia de innovación.

Este hecho supone una de las cuestiones clave para la posterior explotación exitosa de estos productos y/o procesos, ya que constituye la forma en que la empresa protege los resultados de sus innovaciones, es decir, cómo evitar que otras empresas se puedan aprovechar gratuitamente de los esfuerzos realizados por la empresa innovadora.

En general a las empresas se le presentan varias alternativas para la protección de sus inversiones en innovación. Una de ellas consiste en mantener los resultados en secreto, dando lugar al llamado "secreto industrial". La otra alternativa consiste en ampararse en la protección que ofrecen las leyes de propiedad industrial: patentes y modelos de utilidad.

En el marco de esta Tesis Doctoral se optó por la segunda de ellas, la protección mediante una patente ya que es la única forma de proteger el concepto de cara a la producción en series y su posterior introducción en el mercado.

1.- PROTECCIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL

Después de todo el conocimiento desarrollado en este proyecto de innovación, la intención de la empresa es la de la realización de las medidas necesarias para la protección del mismo.

Para ello se ha registrado una patente a nivel mundial que nos permitirá proteger el conocimiento desarrollado, para mantener ese diferencial con nuestros competidores que

hemos obtenido por medio de la investigación generada en este proyecto. Esta patente fue depositada en 2007 en la “Deutsches Patent- und Markenamt” bajo el nombre “Verbindungsstück zum gelenkigen Verbinden von im Fahrwerk eines Fahrzeugs angeordneten Bauelementen” en inglés “Connector piece for the articulated connection of components located in the suspension of a vehicle”.

Las siguientes imágenes muestran la portada de la patente presentada en la oficina de patentes en Alemania y en los Estados Unidos de América:

(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2007 015 616 A1 2008.10.09

(12) Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2007 015 616 A
(22) Anmeldetag: 29.03.2007
(43) Offenlegungstag: 09.10.2008

(51) Int. Cl.: **B60G 7/00** (2006.01)
F16S 3/02 (2006.01)

(71) Anmelder:
ZF Friedrichshafen AG, 88046 Friedrichshafen, DE

(72) Erfinder:
Lobo Casanova, Ignacio, Burgos, ES; Miguel Pérez, Jesus Santiago, Burgos, ES; Izquierdo Nunez, José Ramón, Burgos, ES; Canibano Alvarez, Esteban, Villalino, León, ES; Nachbar, Frank, 49448 Lemförde, DE; Budde, Frank, 49439 Steinfeld, DE; Grube, Volker, 49356 Diepholz, DE; Kallwass, Karl-Heinz, 31867 Hilsede, DE; Ersoy, Mein, Prof. Dr., 65396 Walluf, DE; Bladt, Ulrich, 49479 Ibbenbüren, DE; Lohfink, Günter, Dr., 38667 Bad Harzburg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 198 32 956 C2
DE 58 39 855 A1
EP 12 17 233 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: Verbindungsstück zum gelenkigen Verbinden von im Fahrwerk eines Fahrzeugs angeordneten Bauelementen

(57) Zusammenfassung: Verbindungsstück zum gelenkigen Verbinden von im Fahrwerk eines Fahrzeugs angeordneten Bauelementen, mit einem aus Metallblech gebildeten Grundkörper (1), in dem wenigstens ein durchgehendes Loch (3) vorgesehen ist, einem fest mit dem Grundkörper (1) verbundenen Kunststoffteil (13), wenigstens einem Gelenk (5), das ein fest mit dem Grundkörper (1) verbundenes Gehäuse (4) aufweist, wobei das Gehäuse (4) in einer axialen Richtung (24) in das Loch (3) eingeschoben ist und einen außerhalb des Lochs (3) angeordneten und in das Kunststoffteil (13) angebrachten Gehäuseabschnitt (22) mit einer radialen Schulter (23) aufweist, mittels welcher der fest mit dem Gehäuse (4) verbundene Gehäuseabschnitt (22) axial an dem Grundkörper (1) abgestützt ist.

(19) United States
(12) Patent Application Publication
Ersoy et al.

(10) Pub. No.: US 2010/008434 A1
(45) Pub. Date: Apr. 8, 2010

(54) CONNECTOR PIECE FOR THE ARTICULATED CONNECTION OF COMPONENTS LOCATED IN THE SUSPENSION OF A VEHICLE

(75) Inventors: Mein Ersoy, Walluf (DE); Volker Grube, Diepholz (DE); Frank Nachbar, Lemförde (DE); Frank Budde, Steinfeld-Mahlen (DE); Karl-Heinz Kallwass, Hilsede (DE); Ulrich Bladt, Ibbenbüren (DE); Günter Lohfink, Bad Harzburg (DE); Jose Ramon Izquierdo Nunez, Burgos (ES); Jesus Santiago Miguel Perez, Burgos (ES); Esteban Canibano Alvarez, Villalino (ES); Ignacio Lobo Casanova, Burgos (ES)

(86) PCT No.: PCT/DE2008/05006
§ 371 (c)(1), Nov. 23, 2009
(2), (4) Date: Mar. 29, 2007 (DE) 10 2007 015 616 A

(30) Foreign Application Priority Data

(51) Int. Cl. **B60G 7/00** (2006.01)
F16G 1/04 (2006.01)
F16C 11/06 (2006.01)
B21D 53/88 (2006.01)

(52) U.S. Cl. **289/124.1**; 403/119; 405/122; 29/397.2

(57) ABSTRACT
A connecting piece for the articulated connection of components disposed in the chassis of a vehicle. The connecting piece comprises a base body (1) made out of sheet metal in which at least one through hole (3) is provided, a plastic part (13) is rigidly connected to the base body (1), and at least one articulated joint (5), comprising a housing (4), rigidly connected to the base body (1). The housing (4) is inserted into the through hole (3), in an axial direction (24), and has a housing section (22) with a radial shoulder (23) disposed outside the hole (3) and embedded in the plastic part (13), by which the housing section (22), rigidly connected to the housing (4), is axially supported on the base body (1).

Correspondence Address: DAVIS & BUOLD, P.L.L.C., 112 PLEASANT STREET CONCORD, NH 03301 (US)

(73) Assignee: ZF FRIEDRICHSHAFEN AG, Friedrichshafen (DE)

(21) Appl. No.: 12/629,591
(22) PCT Filed: Mar. 11, 2008

FIGURA 257: PATENTE BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

El proceso se encuentra finalizado por el momento para la primera de las patentes que se pretendían generar y estamos en curso de las otras 3. Por tanto, y dado que el proceso no se encuentra cerrado para éstas, se prefiere no describir las otras dos patentes dentro de este apartado, con el fin de salvaguardar el conocimiento adquirido.

LITERATURA CITADA. BIBLIOGRAFÍA:

1.- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA:

1.1.- BLOQUE II: DEFINICIÓN DEL CONCEPTO “PRODUCTO – PROCESO”

1.1.1.- Referencias

- [1] ASHBY, M.F.: “*MATERIALS SELECTION IN MECHANICAL DESIGN*”. BUTTERWORTH-HEINEMANN, OXFORD 2005
- [2] ARCELOR-MITTAL: “*CATÁLOGO ON-LINE DE PRODUCTOS DE ACERO PARA EL AUTOMÓVIL*”, DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.ARCELORMITTAL.COM/AUTOMOTIVE/](http://www.arcelormittal.com/automotive/)
- [3] CAÑIBANO ÁLVAREZ, E.: “*TESIS DOCTORAL: DESARROLLO DE MODELOS DE COMPORTAMIENTO A FATIGA PARA LOS ACEROS DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO*”. UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, VALLADOLID 2006
- [4] DUPONT PLASTICS : “*CATÁLOGO ON-LINE DE PRODUCTOS Y AYUDA TÉCNICA: WHAT CAN PLASTICS DO?, THE TOP-TEN MOLDING PROBLEMS, THE TOP TEN DESIGN TIPS*”, DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.ENGINEERINGPOLYMERS.COM/EPBB/](http://www.engineeringpolymers.com/epbb/)
- [5] EHRENSTEIN, G. W. : “*MIT KUNSTSTOFFEN KONSTRUIEREN*”. CARL HANSER VERLAG, MÜNCHEN, 1995
- [6] EHRENSTEIN, G. W. : “*POLYMER WERKSTOFFE STRUKTUR EIGENSCHAFTEN ANWENDUNG*”. CARL HANSER VERLAG, MÜNCHEN, 1999

- [7] ENGINEERS-TOOLBOX: “*ETBX STRAIN-LIFE FATIGUE ANALYSIS MODULE*”. DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.ENGRASP.COM/](http://www.egrasp.com/)
- [8] GIESE, V. M.: “*DISSERTATION: ADHÄSIVE KUNSRSTOFF-METALL- UND KUNSTSTOFF-KUNSTSTOFF – VERBINDUNGEN IM HINBLICK AUF DIE SPRITZGIESSVERARBEITUNG*”.. UNIVERSITÄT ERLANGEN – NÜRNBERG, ERLANGEN 1995
- [9] HAIBACH, E.: “*BETRIEBSFESTIGKEIT: VERFAHREN UND DATEN ZUR BAUTEILBERECHNUNG*”. SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG, HEIDELBERG 2002
- [10] LANXESS DEUTSCHLAND GMBH : “*PLASTIC/METAL HYBRID TECHNOLOGY: INNOVATIVE DESIGN SOLUTIONS FOR STRUCTURAL PERFORMANCE WITH WEIGHT AND COST REDUCTION*” DIRECCIÓN WEB [HTTP://TECHCENTER.LANXESS.COM/](http://techcenter.lanxess.com/)
- [11] MARCINIAK, Z.; DUNCAN, J.L.; HU, S.J.: “*MECHANICS OF SHEET METAL FORMING*”. BUTTERWORTH-HEINEMANN, OXFORD 2002
- [12] PATENTS-ONLINE: DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.FREEPATENTSONLINE.COM/](http://www.freepatentsonline.com/)
- [13] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: “*DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA*”. VIGÉSIMO SEGUNDA EDICIÓN. MADRID. 2001
- [14] UNE-EN 10002-1:2002: “*MATERIALES METÁLICOS. ENSAYOS DE TRACCIÓN. PARTE I: MÉTODO DE ENSAYO A TEMPERATURA AMBIENTE*”. 2002
- [15] WIKIPEDIA: LA ENCICLOPEDIA LIBRE. “*ESTAMPACIÓN DE METALES*”. DIRECCIÓN WEB [HTTP://ES.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/ESTAMPACION_DE_METALES](http://es.wikipedia.org/wiki/Estampacion_de_metales)
- [16] WIKIPEDIA: LA ENCICLOPEDIA LIBRE. “*MOLDEO POR INYECCIÓN*”. DIRECCIÓN WEB [HTTP://ES.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/MOLDEO_POR_INYECCION](http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyeccion)
- [17] WORLD AUTO STEEL : “*ADVANCED HIGH STRENGTH STEEL – AHSS – APPLICATION GUIDELINES*”, JUNE 2009
- [18] ZHAO, G.: “*DISSERTATION: SPRITZGEGOSSENE, TRAGENDE KUNSTSTOFF-METALL-HYBRIDSTRUKTUREN*”, UNIVERSITÄT ERLANGEN – NÜRNBERG, ERLANGEN 2002
- [19] ZHAO, G.; EHRENSTEIN, G. W.: “*KUNSTSTOFF-METALL-HYBRIDSTRUKTUREN. VORTRAG*”, ERLANGER KUNSTSTOFFTAGE 2001, ERLANGEN 2001

1.1.2.- Bibliografía

1.1.2.1.- Libros y Artículos

- ❑ NORMAS ISO 527 -1,-2: “*CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS A TRACCIÓN*”
- ❑ SAE: “*FATIGUE DESIGN HANDBOOK*” 1997
- ❑ SCHULER: “*METAL FORMING HANDBOOK*”. SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG 1998

1.1.2.2.- Páginas WEB

- ❑ AUTOFORM: DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.AUTOFORM.COM/](http://www.autoform.com/)
- ❑ FATIGUE DESIGN AND EVALUATION COMMITTEE: WEB [HTTP://WWW.FATIGUE.ORG/](http://www.fatigue.org/)
- ❑ IDES: “*THE PLASTIC WEB*” DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.IDES.COM/](http://www.ides.com/)

- ❑ **MOLDEX-3D**: DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.MOLDEX3D.COM/](http://www.moldex3d.com/)
- ❑ **MOLDFLOW**: DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.MOLDFLOW.COM/](http://www.moldflow.com/)
- ❑ **SSAB STEEL**: DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.SSAB.COM/](http://www.ssab.com/)
- ❑ **STEEL UNIVERSITY**: DIRECCIÓN WEB [HTTP://WWW.STEELUNIVERSITY.ORG/](http://www.steeluniversity.org/)

DEFINICIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO “PRODUCTO & PROCESO”:

INTRODUCCIÓN

Tras los trabajos realizados en la *Fase de Generación y Evaluación* quedó patente que la línea estratégica a seguir consistía en la investigación y aplicación de la tecnología híbrida para el desarrollo de un nuevo concepto de brazo de suspensión, al ser esta solución la que mejor equilibrio tenía entre los requisitos tanto socioeconómicos como funcionales.

A continuación, en la *Fase de Definición del Concepto “Producto & Proceso”* se analizó la tecnología híbrida en detalle y se investigaron y determinaron las bases y particularidades de la misma, las cuales fueron a la postre utilizadas para la definición de un concepto de brazo de suspensión híbrido. Al final de esta fase, se estudió y comprobó la viabilidad así como la factibilidad de este concepto de brazo de suspensión tanto desde el punto de vista del diseño del producto como desde el punto de vista de los procesos productivos asociados a su fabricación.

En el primer apartado se chequeó la funcionalidad de este concepto en cuanto se refiere a las cargas que debe soportar en funcionamiento mediante la utilización de herramientas de diseño CAE (cálculo del comportamiento del brazo de suspensión mediante estudios MEF), y en el segundo se comprobó la factibilidad de los procesos productivos a la vez que se pusieron a punto unas herramientas de simulación para estos, que permiten reducir los tiempos y los costes de desarrollo de las nuevas tecnologías productivas, vía la validación virtual de las mismas y consecuente reducción de la necesidad de fabricación de prototipos para su validación mediante ensayos.

A la vista de los positivos resultados obtenidos hasta este momento se decidió iniciar un proyecto que tenía como objetivo la definición y el desarrollo de un brazo de suspensión híbrido de una manera más detallada y concisa que permitiese en el futuro su fabricación en serie y comercialización.

En este capítulo de la Tesis Doctoral se presentan los trabajos que conducen a tal fin, entre las que quedan recogidos las actividades que conducen a la definición de un producto seguro y robusto en lo que se refiere a su funcionalidad, y por otro, las que conducen a la definición de un proceso productivo fiable, factible y reproducible en lo que respecta a su posterior fabricación en serie. Para ello será necesario, como se comentaba anteriormente realizar trabajos de investigación científico técnicos en las siguientes líneas:

- ↪ Determinación del cuaderno de cargas que le llegan al componente
- ↪ Estudio, selección y caracterización estática y dinámica de materiales
- ↪ Diseño y optimización del nuevo concepto de brazo de suspensión mediante el empleo de herramientas de diseño y cálculo CAE
- ↪ Diseño y optimización de los procesos productivos asociados al nuevo concepto de brazo de suspensión mediante el empleo de herramientas de cálculo CAM
- ↪ Fabricación de prototipos
- ↪ Validación/Ensayos de los prototipos
- ↪ Correlación de los resultados de los ensayos con los modelos de simulación
- ↪ Determinación del concepto de fabricación de cara a la producción en serie

1.- ESTRUCTURA Y PLAN DE TRABAJO. FASES DEL PROYECTO

Como se veía anteriormente, para lograr el objetivo marcado, la definición de un brazo de suspensión híbrido viable desde el punto de vista funcional (definición del producto) y factible desde el punto de vista de su posterior fabricación en serie (proceso productivo), es necesario realizar trabajos de investigación y desarrollo en diferentes campos. Con el fin de hacerlo de la manera más estructurada posible, el proyecto de innovación aquí presentado ha sido dividido en siete tareas o bloques. De ellas las primeras se centran en el desarrollo teórico del componente, mientras que en las últimas se realizaron por un lado los trabajos destinados al desarrollo de los utillajes de cara a la fabricación de prototipos para su posterior validación y, por otro lado la búsqueda y generación del conocimiento necesario para poder realizar la industrialización del producto con la mayor seguridad posible.

En la siguiente figura se muestra un flujograma con las actividades realizadas para el desarrollo del proyecto completo y su estructura dentro del mismo:

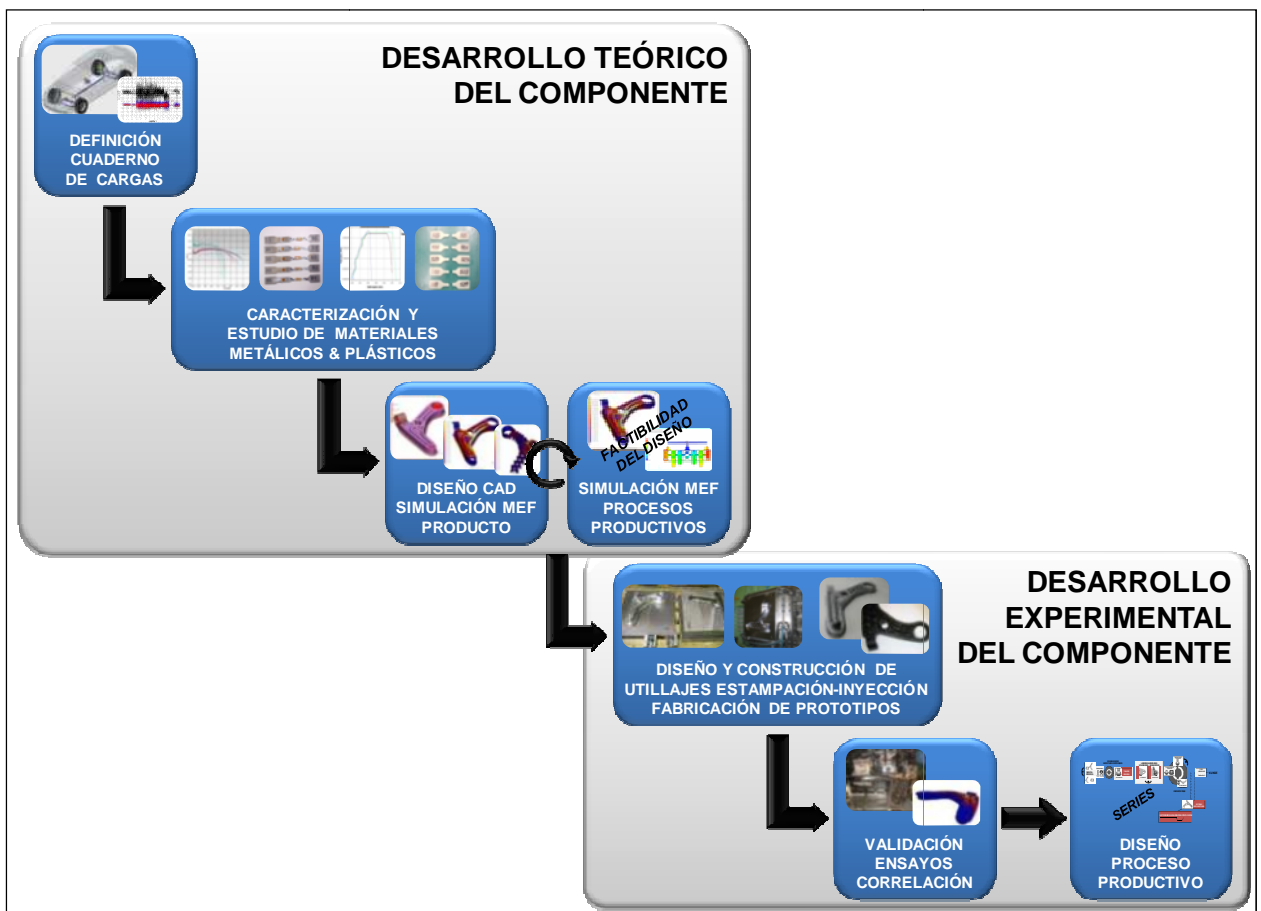


FIGURA 258: FLUJOGRAMA ACTIVIDADES FASE DE DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROCESO PRODUCTIVO

2.- RESUMEN DE LAS FASES DEL PROYECTO

En primer lugar, antes de empezar con las actividades de investigación y desarrollo del brazo de suspensión híbrido se procede a la selección de un coche piloto para el cual basar el diseño del mismo. Tras la definición de éste, se estudia la cinemática de su sistema de suspensión, su distribución de pesos y la definición actual del brazo de suspensión del mismo, definición contra la cual se comparará al final la nueva solución desarrollada.

A partir de informaciones como son los datos cinemáticos del vehículo, la distribución de pesos, la posición del centro de masas/gravedad, etc., se realiza un ejercicio de simulación consistente en la determinación de las cargas a las que el brazo de suspensión va a estar sometido durante su utilización en el vehículo. Los resultados de este ejercicio, el cuaderno de cargas, se empleará posteriormente en la simulación del comportamiento en servicio del componente para la definición de su diseño y optimización del mismo. Para la realización de esta tarea se emplean herramientas de simulación de multicuerpos, las cuales permiten realizar un modelo de un vehículo completo sobre el que se aplican una serie de maniobras representativas de su uso cotidiano (frenada, aceleración, cambio de carril, etc.)

A continuación se procede a la selección de los materiales metálicos y poliméricos termoplásticos que por características mecánicas y precio mejor se ajustan en mayor medida a las necesidades del componente. En este bloque, a partir de los resultados obtenidos en la *Fase de Definición del Concepto* donde se fijaban las familias de materiales, tanto metálicos como poliméricos termoplásticos, que debían ser estudiadas en detalle, familia de aceros HSLA y DP y familia de Poliamidas 6 y 6-6 reforzadas con fibra de vidrio, se determinan los materiales concretos a utilizar y por lo tanto a caracterizar.

Mediante la caracterización de los materiales en cuestión se pretende conocer el comportamiento estático, dinámico y a fatiga de los mismos, información que a la postre será implementada en el software de cálculo MEF, para la validación del diseño del producto y de la factibilidad de los procesos productivos, con el objetivo de obtener unos resultados más reales que los obtenidos con bibliotecas de material estándar.

Llegados a este punto comienza un bucle de cálculo mediante el método de los elementos finitos a través del cual se define y optimiza el diseño del brazo de suspensión

híbrido teniendo en cuenta los procesos productivos asociados al mismo. Para ello, y de nuevo utilizando el conocimiento generado en la *Fase de Definición del Concepto*, se implementan en el ciclo de cálculo las herramientas de simulación en ella definidas, las cuales permiten estudiar los procesos de fabricación de cara a la determinación la procesabilidad/factibilidad de la geometría CAD definida, así como la influencia de éstos sobre el futuro comportamiento del componente en servicio. Dentro de esta última característica, tal y como se veía en la fase anterior, adquieren especial importancia dos parámetros del proceso de proceso de conformado por estampación/embutición que condicionan el comportamiento del componente en servicio, estos son la variación de espesor de la chapa y la deformación plástica en ella producida.

En la siguiente imagen se presenta la metodología de cálculo MEF planteada, la cual permite arrastrar los resultados de la simulación del proceso de transformación hasta la simulación del comportamiento en servicio del componente, mejorando de esta manera los resultados teóricos considerablemente.



FIGURA 259: METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO MEF DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

Una vez definida la geometría y los parámetros de los procesos productivos se procede al desarrollo y fabricación de los útiles y herramientas tanto para el conformado de la chapa de acero de alto límite elástico como para la inyección del material termoplástico.

Cuando están disponibles todos los utillajes se inicia el proceso de fabricación de los prototipos. En primer lugar se fabrica la rótula de suspensión, la cual asegura la conexión con el sistema llanta–neumático, a continuación los silentblocks, los cuales harán de unión con el subframe o bastidor, posteriormente se procede a la fabricación del elemento estructural metálico, la chapa de acero estampada para finalmente, incorporando todos los elementos en la máquina de inyección de plástico, proceder al proceso de sobreinyección de material termoplástico que hará las funciones de refuerzo así como de unión – integración de todos los componentes anteriormente mencionados.

Con esta última operación de fabricación el componente está preparado para la realización del contraste teórico-experimental/práctico. Para llevar a cabo esta validación se es necesario diseñar y fabricar el utillaje necesario para fijar el brazo de suspensión al banco de ensayos para a continuación proceder a la realización de los primeros ensayos sobre pieza física.

Mediante estos ensayos se validará el comportamiento del componente frente a requisitos como por ejemplo el ensayo estático de deformación en diferentes ejes, el cual permite comprobar tanto los requerimientos de rigidez del brazo de suspensión así como correlacionar los resultados experimentales con los alcanzados mediante simulación MEF. Tras la conclusión de este primer ensayo se procede a experimentar el resto de cargas habituales a las que se encuentra sometido el brazo durante su vida útil para finalmente realizar los ensayos de fatiga.

3.- OBJETIVOS E HITOS DE LAS FASES–TAREAS DEL PROYECTO

En la siguiente tabla se resumen los objetivos e hitos fundamentales que se pretenden alcanzar en cada una de las fases–tareas:

OBJETIVOS E HITOS DE LAS FASES–TAREAS DEL PROYECTO		
FASE-TAREA	OBJETIVOS	HITOS
DEFINICIÓN CUADERNO DE CARGAS	<ul style="list-style-type: none"> ♦ SELECCIONAR EL COCHE PILOTO ♦ PONER A PUNTO UNA HERRAMIENTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS QUE SOPORTA CUALQUIER BRAZO DE CUALQUIER VEHÍCULO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ ESTUDIO DE LOS REQUISITOS DEL COCHE PILOTO ♦ GENERAR UN MODELO VIRTUAL DE VEHÍCULO COMPLETO ♦ SELECCIONAR LAS MANIOBRAS A SIMULAR ♦ EXTRAER LAS CARGAS A APLICAR AL COMPONENTE
CARACTERIZACIÓN Y ESTUDIO DE MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ♦ SELECCIONAR EL MATERIAL METÁLICO A EMPLEAR ♦ ADQUIRIR UN PROFUNDO CONOCIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO ESTÁTICO, DINÁMICO Y A FATIGA DE LA CHAPA DE ACERO DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO SELECCIONADA 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ SELECCIÓN DE LA CHAPA DE ACERO MÁS ADECUADA ♦ CARACTERIZACIÓN ESTÁTICA EN DIFERENTES DIRECCIONES ♦ CARACTERIZACIÓN DINÁMICA ♦ CARACTERIZACIÓN A FATIGA
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ SELECCIONAR EL MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO A EMPLEAR ♦ ADQUIRIR UN PROFUNDO CONOCIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO ESTÁTICO, Y DINÁMICO DEL MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO SELECCIONADO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ SELECCIÓN DEL MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO MÁS ADECUADO ♦ CARACTERIZACIÓN ESTÁTICA ♦ CARACTERIZACIÓN DINÁMICA

TABLA 40: *OBJETIVOS E HITOS DE LAS FASES PARA LA DEFINICIÓN DEL PRODUCTO – PROCESO*

OBJETIVOS E HITOS DE LAS FASES-TAREAS DEL PROYECTO		
FASE-TAREA	OBJETIVOS	HITOS
DISEÑO CAD SIMULACIÓN MEF	<ul style="list-style-type: none"> ♦ PONER A PUNTO UNA METODOLOGÍA DE DISEÑO DE NUEVOS COMPONENTES DE SEGURIDAD DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES MEDIANTE LA UTILIZACIÓN INTENSIVA DEL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ GENERAR UN DISEÑO INICIAL ♦ DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LA EMBUTICIÓN ♦ ANALIZAR LA VIABILIDAD DE LOS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN PARA UNA GEOMETRÍA CONCRETA ♦ DETERMINAR EL CAMPO DE TENSIÓN Y DEFORMACIÓN CUANDO EL COMPONENTE SOPORTA LAS CARGAS
PRODUCTO & PROCESOS PRODUCTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> ♦ CONOCER LAS PARTICULARIDADES DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS QUE SE EMPLEAN EN LA OBTENCIÓN DEL COMPONENTE ♦ PONER A PUNTO UNA METODOLOGÍA DE DISEÑO DE NUEVOS COMPONENTES DE SEGURIDAD DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES MEDIANTE LA UTILIZACIÓN INTENSIVA DEL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ ANALIZAR LA VIABILIDAD DEL PROCESO DE EMBUTICIÓN ♦ OBTENER PROPIEDADES DE LA PRENSA NECESARIA ♦ DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE ESPESOR Y DE LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LAS PIEZAS EMBUTIDAS ♦ ANALIZAR LA VIABILIDAD DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO ♦ OBTENER PROPIEDADES DE LA INYECTORA NECESARIA ♦ DETERMINAR LOS PARÁMETROS ADECUADOS PARA EL LLENADO DEL MOLDE
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UTILLAJES	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DESARROLLAR Y FABRICAR LOS ÚTILES Y HERRAMIENTAS PARA LA FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DISEÑO DE UTILLAJE PARA PROCESO DE ESTAMPACIÓN ♦ DISEÑO DE UTILLAJE MODULAR PARA PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN ♦ AJUSTE DE UTILLAJES
FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ♦ OBTENER COMPONENTES CON LA GEOMETRÍA DEL DISEÑO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ FABRICACIÓN RÓTULA ♦ ESTAMPACIÓN BRAZOS CON LA GEOMETRÍA DEFINITIVA ♦ MONTAJE RÓTULA-BRAZO ESTAMPADO ♦ INYECCIÓN MATERIAL PLÁSTICO BRAZOS
VALIDACIÓN CORRELACIÓN MODELOS	<ul style="list-style-type: none"> ♦ VALIDAR EL COMPONENTE MEDIANTE ENSAYO EN PIEZA FÍSICA 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ ESTABLECER EL GRADO DE CORRELACIÓN CON SIMULACIÓN ♦ VALIDAR EL COMPONENTE
DISEÑO PROCESO PRODUCTIVO PARA SERIES	<ul style="list-style-type: none"> ♦ DEFINICIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO PARA LA INDUSTRIALIZACIÓN DEL CONCEPTO 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIAL ♦ CÁLCULO DE INVERSIONES ♦ LAY-OUT DE LOS MEDIOS PRODUCTIVOS

TABLA 41: OBJETIVOS E HITOS DE LAS FASES PARA LA DEFINICIÓN DEL PRODUCTO – PROCESO

DESARROLLO TEÓRICO DEL COMPONENTE

1.- DEFINICIÓN DEL CUADERNO DE CARGAS

1.1.- DEFINICIÓN DEL COCHE PILOTO

Como se determinó en capítulos anteriores de la Tesis Doctoral, el brazo de suspensión híbrido es una solución para coches de reducido tamaño, segmentos A y B, los cuales están pensados para un uso fundamentalmente urbano.

De entre los diferentes vehículos que forman este segmento destacan, por su gran volumen de ventas el cual está relacionado principalmente motivado por la buena relación calidad precio, el Opel Corsa, el FIAT Punto, el Ford Ka, etc. en cuanto se refiere a una solución económica y el Volkswagen Polo y el SMART ForTwo para aquellos clientes que exigen alguna prestación más.

El grupo ZF Lemförder GmbH es proveedor de componentes de seguridad, rótulas de suspensión y dirección, de casi todos los fabricantes de los vehículos y de los modelos mencionados en el párrafo anterior, por ello se disponía de alguna información técnica para el desarrollo de un brazo de suspensión para los mismos.

No obstante, en el momento de tomar la decisión sobre qué vehículo escoger como coche piloto, surgió una oportunidad externa a la empresa, la cual al final decantaría la elección. Este hecho fue el acuerdo entre los fabricantes de automóviles GM - OPEL y FIAT para el desarrollo conjunto de un sistema de suspensión común para los dos vehículos primeramente mencionados, el Opel Corsa y el FIAT Punto.

Esta coyuntura permitiría a la empresa ZF Lemförder GmbH desarrollar un concepto de brazo de suspensión híbrido que podría ser validado con y por dos grandes fabricantes de

vehículos automóviles paralelamente, lo cual daría prestigio a la solución y levantaría el interés de otros fabricantes. Debido a esto, y partiendo además del conocimiento que sobre estos automóviles se había generado gracias al proyecto SMiCA (Sheet Metal Integrated Control Arm), se decidió adoptar estos vehículos como coche piloto para el desarrollo del brazo de suspensión híbrido. En la siguiente imagen se muestra el coche piloto elegido, el FIAT Grande Punto del año 2006:



FIGURA 260: COCHE PILOTO: FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006)

1.1.1.- Características del Coche Piloto

En este punto se profundiza en la descripción de las características técnicas del vehículo elegido, el FIAT Grande Punto, presentado en noviembre de 2005 en el salón del automóvil de Frankfurt y en producción en serie desde entonces.

Este modelo de vehículo es ofertado con diferentes configuraciones y motores que van desde un modelo con un motor de 1.200 cm³ y 65 CV de gasolina hasta uno de 1.600 cm³ y 120 CV, variando por consiguiente el peso del vehículo en su conjunto.

Para el desarrollo del brazo de suspensión híbrido se tomó la versión más ligera, la cual es la que más exigencias marca en cuanto a la reducción de pesos de los diferentes componentes. Esta versión alcanza un peso de 1.015 Kg los cuales se encuentran distribuidos tal y como se indica en la siguiente imagen:

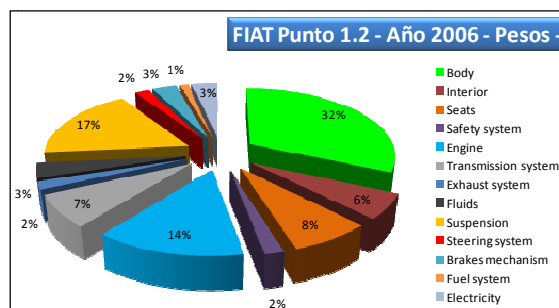


FIGURA 261: DISTRIBUCIÓN DE PESOS COCHE PILOTO: FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006)

En cuanto respecta a los materiales empleados en la construcción del mismo se observa, tal y como muestra la figura, que el vehículo está fabricado mayormente en materiales metálicos férricos con un gran porcentaje de materiales plásticos en comparación con otros coches de la misma categoría.

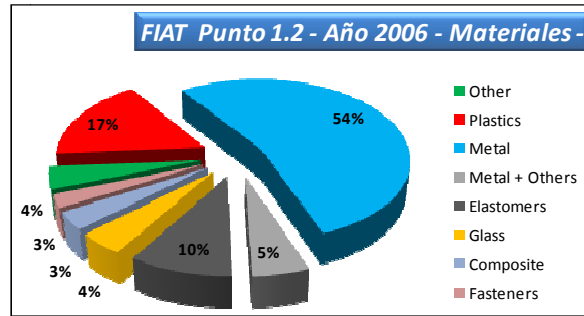


FIGURA 262: DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES COCHE PILOTO: FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006)

Centrándonos en el sistema de suspensión el FIAT Grande Punto incorpora un sistema de suspensión independiente con configuración Mc Pherson en el eje delantero y un sistema semirrígido de viga torsional en el eje trasero. En la siguiente imagen se muestra el sistema de suspensión delantero, la ubicación del brazo de suspensión objeto del estudio aquí presentado y el reparto de pesos de este sistema:



FIGURA 263: EJE DELANTERO COCHE PILOTO: FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006)

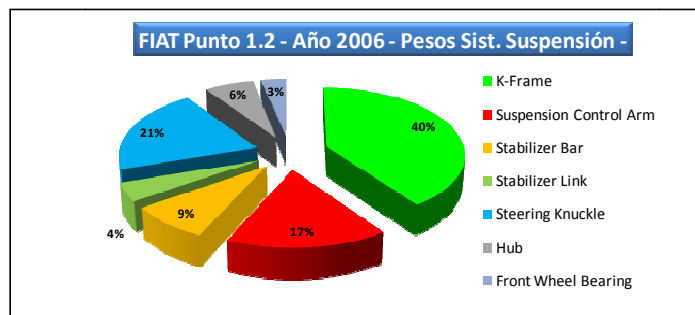


FIGURA 264: DISTRIBUCIÓN DE PESOS SISTEMA SUSPENSIÓN COCHE PILOTO: FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006)

En el reparto de pesos del sistema de suspensión anteriormente expuesto cabe destacar el elevado porcentaje que acumulan los brazos de suspensión, alcanzando el 17 % del peso total del conjunto del eje delantero. Esto provoca que cualquier reducción de peso en este componente sea vista con buenos ojos por los fabricantes de automóviles ya que supondría además de un positivo efecto ecológico, por la contribución en la reducción del peso del vehículo completo, un efecto en el comportamiento dinámico del vehículo también positivo, por la reducción de masas no suspendidas.

Finalmente, analizando la solución para el brazo de suspensión actual, se observa que éste está fabricado en chapa de acero de unos 2 mm de espesor en una construcción doble capa de chapa de acero soldadas entre sí mediante soldadura MIG-MAG, donde la rótula se integra en el elemento estructural mediante tres remaches. El peso de este concepto de brazo de suspensión es de 3,050 Kg siendo las dimensiones de éste unos 420 mm de largo y 335 mm de ancho, tal y como se aprecia en las siguientes imágenes:



FIGURA 265: BRAZO DE SUSPENSIÓN COCHE PILOTO: FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006)

1.1.2.- Cuaderno de Cargas del Coche Piloto

La coyuntura relativa al desarrollo conjunto del vehículo automóvil entre FIAT y GM-Opel propició la definición de un cuaderno de cargas mixto en el cual existían requisitos propios de los criterios de evaluación de FIAT y de los GM-Opel.

Esta situación provocaba cierto grado de incertidumbre en ZF Lemförder GmbH en cuanto respecta, por un lado, a la determinación de que cargas habría que tomar para validar el concepto con el menor número de ensayos posible y, por otro lado, de cómo hacerlo de la manera más universal, de cara a poder defender y presentar el concepto a otros fabricantes de automóviles.

Con el objetivo de adoptar una situación lo más neutral posible pero que a la vez ofreciese resultados que se pudiesen contrastar con los del coche piloto, se decidió,

partiendo de los requisitos generales propios de los coches del segmento B y considerando algunos de los requisitos particulares del coche piloto, construir un modelo de simulación multicuerpos para determinar el cuaderno de cargas para el brazo de suspensión híbrido.

No obstante existe un ensayo que es universal para todos los fabricantes, salvo pequeñas modificaciones, y que por lo tanto no hace falta simularlo mediante simulación multicuerpos descrita en el párrafo anterior. Este ensayo consiste en la medición de la rigidez del brazo en la dirección longitudinal y transversal, ejes X e Y respectivamente, en los diferentes sentidos de estos ejes (+/- X // +/- Y), mediante la aplicación de una carga estática creciente o un desplazamiento a velocidad controlada hasta que se produce el colapso del componente, siendo el resultado más representativo la curva fuerza – desplazamiento.

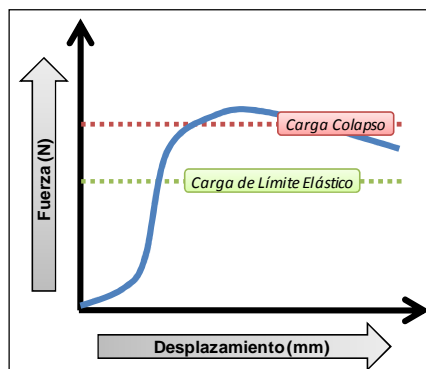


FIGURA 266: ENSAYO DE DEFORMACIÓN BRAZO DE SUSPENSIÓN. RIGIDEZES LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL

De estos cuatro ensayos los clientes fijan valores de cargas objetivo, por regla general, sólo para la dirección + X, la cual determina el comportamiento de rigidez en frenada, y para la dirección +Y la cual hace lo propio frente a cargas laterales. Los otros dos ensayos, en las direcciones -X y -Y, sirven únicamente para completar el estudio de rigideces del componente, las cuales influyen en el comportamiento frente a carga cíclica en fatiga.

Las cargas objetivo que se deben alcanzar en el ensayo en el eje X positivo se definen en función del peso del vehículo (Q) tal y como se expone a continuación:

↪ *Carga de límite elástico:* $C_{\text{Límite Elástico}} = 1,2 \cdot Q \cdot g$

↪ *Carga de colapso:* $C_{\text{Colapso}} = 1,4 \cdot Q \cdot g$

Los valores de carga objetivo que se deben alcanzar en el ensayo en la dirección positiva del eje Y (+Y) se definen en función de reparto del peso del vehículo (Q) entre el eje delantero y trasero el cual para vehículos de este segmento es de aproximadamente un

55% para el eje delantero y 45% para el trasero. A partir de este reparto de pesos se calculan las cargas límite tal y como se expone a continuación:

$$\Rightarrow \text{Carga de límite elástico:} \quad C_{\text{Límite Elástico}} = 4 \cdot Q_{\text{Del}} \cdot g$$

$$\Rightarrow \text{Carga de colapso:} \quad C_{\text{Colapso}} = 4,5 \cdot Q_{\text{Del}} \cdot g$$

Finalmente, debido a que en el vehículo automóvil las cargas no actúan una sola vez sino que se suceden repetida- y aleatoriamente en el tiempo con diferentes magnitudes y frecuencias, es necesario evaluar el comportamiento del componente frente a fatiga.

Para ello, y siguiendo en línea con el objetivo de realizar unos ensayos lo más neutrales posibles, se decidió validar el componente frente a diferentes cargas cíclicas para construir una curva de tensión – vida, una curva Wöhler, con la que posteriormente se pudiese chequear de manera aproximada el comportamiento del componente frente a los bloques de carga que normalmente suministran los clientes en la fase de desarrollo de este tipo de componentes de seguridad.

1.2.- DETERMINACIÓN DEL CUADERNO DE CARGAS MEDIANTE SIMULACIÓN MULTICUERPOS

Para poder desarrollar cualquier componente de cualquier ámbito de la industria es necesario conocer cuál es la naturaleza y la magnitud de las sollicitaciones a las que se va a estar sometido.

Con el desarrollo de esta tarea se consigue determinar la magnitud de las cargas mecánicas que deberá soportar el componente durante su vida útil. Para ello se construye un modelo virtual del vehículo y se introduce en un software de simulación de multicuerpos, en concreto ADAMS-Car, que permite conocer las fuerzas y momentos que están soportando cada uno de los puntos cinemáticos del vehículo en función de la maniobra que está realizando el automóvil.

Como se comentaba anteriormente, durante el desarrollo de esta tarea se pretende crear un modelo virtual de un vehículo del segmento B con el objetivo de poder establecer un procedimiento general para la determinación del cuaderno de cargas para los componentes de su sistema de suspensión. Las partes fundamentales de este modelo, las cuales se muestran en las siguientes imágenes y son un sistema de suspensión McPherson para el eje

delantero, un sistema de suspensión de brazos tirados o un sistema de viga torsional para el eje trasero, una barra de torsión para el eje delantero, un sistema de dirección de cremallera, un sistema de frenos con cuatro discos y cuatro neumáticos con formulación de Pajetka. Además se añaden parámetros como la masa y el centro de gravedad del conjunto.

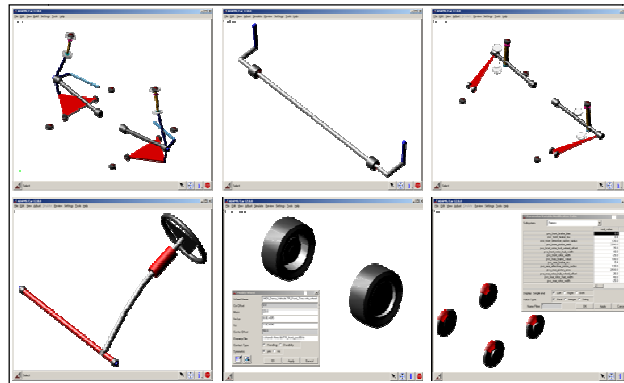


FIGURA 267: COMPONENTES DEL MODELO DE SIMULACIÓN MULTICUERPOS ADAMS-CAR

El software de simulación multicuerpos ADAMS-Car dispone de diferentes plantillas para la construcción de este modelo donde paso a paso se van introduciendo las informaciones necesarias para su modelado. En el caso concreto que nos concierne se emplearon los siguientes datos:

- ↳ Datos característicos del FIAT Grande Punto (Suspensión delantera y trasera) en la que se incluye información referente a los puntos cinemáticos, batalla, vía y ángulo de caída, desplazamiento máximo de la cremallera de dirección, características de los muelles y de los topes rebote, características y geometría de la barra estabilizadora y medidas del neumático

SCCS		MC PHERSON FRONT SUSPENSION										Draw
		CAR FIAT 199 REFERENCE SYSTEM BODY 4 CALC ENGINE: 12714 199 240.57 -384.85 -72.39 188 -32.19 -296.38 20.00 2514.69 AC176H 4 -6.37 400.88 92.00 180 -32.19 11.65 20.00 2514.69 5 -21.20 703.70 98.50 17 13.54 -293.00 340.45 1446.787 10 28.74 356.92 248.89 19 27.57 457.00 118.23 2226.88 11 -11.00 -274.00 28.56 21 11.00 274.00 28.56 21 15 116.00 -658.00 21.00 44 151.00 -309.00 24.00 240.00										1009400
WHEEL TOE @ T.A.P. (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WHEEL CASTER @ T.A.P. (°)	-0.50											
BUMP TRAVEL (mm)	70	REBOUND TRAVEL (mm)	70	OPT.								
WHEELING (mm)	6	2511										
WHEEL STEERING	DIR./EL. STEERING	X										
TAU (mm/deg)	47	ST. TRAVEL (mm)	47.72	UP	XZ:							
STEERING DIAMETER (inch to curb) (in)	19.149	DOWN	XZ:									
STRUT MOUNT TYPE		SHOCK PATH		STEERING AXLE ANGLES (RD-SET)								
STEERING AXLE OFFSET (mm)	21.5	CASTER (°)	21.5	SPIN	4.5	WHEELING	13.2					
SPRING		BUMP STOP		ANTIROLL-BAR								
BLEK (mm/deg)	0.81	LENGTH (mm)	75	SLAM (mm)	17							
Static Load (kN)	400	CLEARANCE (mm)	6	STRAW								
W-draw		W-ground (kg/cm)	2.857 (MAX = 0.33)									
W-draw (mm/deg)		W-draw (mm)	179									
W-draw (mm/deg)		W-draw (mm)	17									
W-draw (mm/deg)		W-draw (mm)	45									

FIGURA 268: DATOS CARACTERÍSTICOS SUSPENSIÓN MC PHERSON DEL FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006)

Asimismo para poder llevar a cabo la simulación es necesario conocer:

- ↪ Masa suspendida en orden de marcha y en carga máxima
- ↪ Posición del centro de masas
- ↪ Coeficiente de amortiguamiento de la columna McPherson
- ↪ Rigidez y amortiguamiento del tren trasero
- ↪ Reparto de frenada
- ↪ Capacidad del sistema de freno
- ↪ Posición de la barra estabilizadora y coordenadas de los puntos de anclaje

Con todos estos datos se construye un vehículo como el presentado en la imagen el cual se encuentra listo para la simulación de las diferentes maniobras.

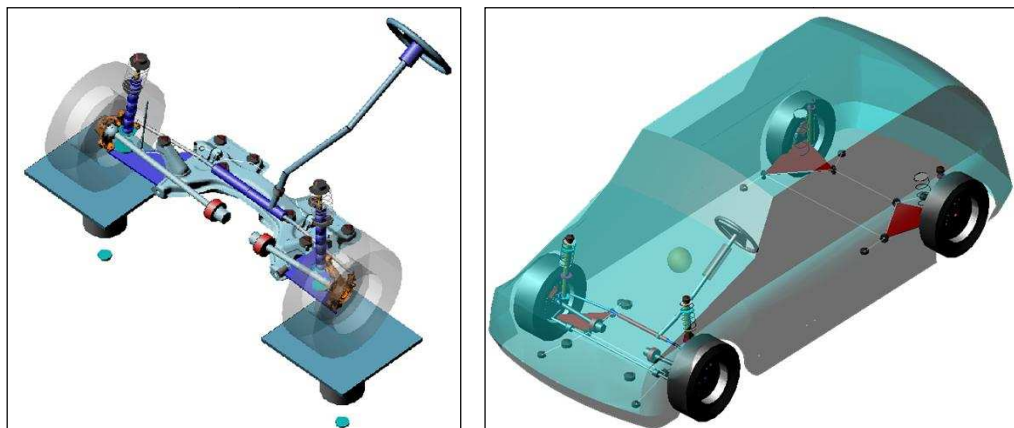


FIGURA 269: *MODELO DE VEHÍCULO PARA LA SIMULACIÓN MULTICUERPOS ADAMS-CAR*

Una vez construido el modelo se trabaja en la definición de las maniobras a las que iba a ser sometido con objeto de tener un orden de magnitud de las fuerzas que va a soportar el brazo de suspensión delantera durante su vida útil. Las maniobras elegidas son las que se enuncian a continuación, se hace una breve descripción de las mismas para facilitar su entendimiento.

- ↪ *Frenada:* Se hace circular el vehículo a 100 km/h y se aplica la totalidad de la fuerza de frenado disponible en el vehículo hasta la total detención
- ↪ *Frenada en curva:* Se hace circular el vehículo por una pista redonda de 25 metros de radio y entrada recta de 5 metros hasta que se alcanza un máximo de aceleración

lateral. En ese instante se aplica la totalidad de la fuerza de frenado disponible en el vehículo hasta la detención total

↪ *Bache-resalte con todas las ruedas*: Se hace circular el vehículo a 50 km/h por una pista recta que contiene un cambio de nivel en toda la anchura de la vía de 50x1000 mm

↪ *Doble cambio de carril*: Maniobra de doble cambio de carril definida según norma ISO, efectuada a 80 km/h

↪ *Volantazo*: Se hace circular el vehículo a una velocidad de 70 km/h y se efectúa un giro de 90° de volante entre el segundo 1 y el segundo 4 de la simulación

↪ *Ensayo de radio constante*: Se hace circular el vehículo por una pista redonda de 25 metros de radio y entrada recta de 5 metros incrementando su aceleración lateral desde 0.1 g hasta 1 g en 10 segundos

↪ *Aceleración*: Se acelera el vehículo desde parado con el 100% de las prestaciones del mismo.

Cuando se somete al modelo virtual a cada una de las maniobras que acaban de ser indicadas se obtiene una respuesta del siguiente tipo:

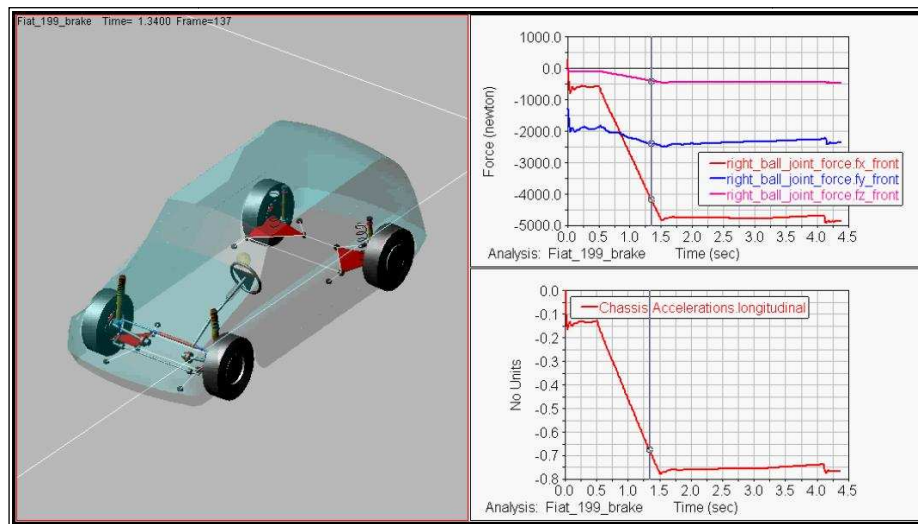


FIGURA 270: RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN MULTICUERPOS ADAMS-CAR

Analizando la evolución de las fuerzas según las tres direcciones del espacio podemos conocer cuál es el estado de cargas más crítico al que está siendo sometido el componente en cada maniobra y utilizarlo para simular su comportamiento mediante el método de los elementos finitos, tal y como se hará más adelante.

Tras el análisis de todas las maniobras realizadas se obtuvieron una serie de valores que representan el caso de sollicitación más crítico para cada una de ellas. Estos valores, los cuales se exponen en la siguiente tabla, son los que configurarán el cuaderno de cargas del brazo de suspensión híbrido.

RESULTADOS SIMULACIÓN MULTICUERPOS VEHÍCULO AUTOMÓVIL SEGMENTO "B"			
MANIOBRA	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]
FRENADA	4923	-2590	765
FRENADA EN CURVA	8248	-5931	1275
BACHE RESALTE	-1275	-5512	283
DOBLE CAMBIO DE CARRIL	-840	6449	-137
VOLANTAZO	-984	7042	-545
ENSAYO DE RADIO CONSTANTE	-814	5022	-111
ACELERACIÓN	-1455	-1319	-116

TABLA 42: RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN MULTICUERPOS ADAMS-CAR

1.3.- CONCLUSIONES DE LA SIMULACIÓN MULTICUERPOS

Una vez concluidas las actividades de esta primera fase para la definición y optimización del diseño del producto y del proceso, en la cual se utilizaba y se ponía a punto la herramienta de simulación multicuerpos para determinar el cuaderno de cargas de un vehículo automóvil, se sacaron las siguientes conclusiones:

- ↪ Gracias a la herramienta puesta a punto en esta tarea se estará en condiciones de predecir, siempre que se disponga de los datos necesarios, el comportamiento cinemático y dinámico del vehículo, de los subsistemas que lo componen (sistema chasis, suspensión, etc.) y finalmente se podrán conocer las sollicitaciones a que se ve sometido cada componente (brazo de suspensión, bieletas de dirección, etc.)
- ↪ Con la utilización de una herramienta de simulación de multicuerpos se pueden determinar las cargas a las que va a estar sometido el componente objeto de estudio sin necesidad de tener que fabricar ningún prototipo, con el consiguiente ahorro tanto de tiempo como de dinero, que ello supone.
- ↪ Finalmente cabe reseñar que todas las maniobras simuladas se basan en parámetros que se fijan antes del ensayo, tales como velocidad, radio de giro, estado del firme, etc. En éste cálculo se han utilizado unos valores pero cabe la posibilidad de utilizar otros e incluso estudiar la influencia de esos parámetros en la respuesta

2.- ESTUDIO, SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

2.1.- MATERIAL METÁLICO. CHAPA DE ACERO DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO

Como se veía en la *Fase de Definición del Concepto*, sobre la parte metálica del brazo de suspensión híbrido recae la función estructural.

En los estudios realizados en este mismo capítulo se observaron, a partir del estudio de las propiedades mecánicas obtenidos en la bibliografía (el módulo de Young, el límite de elasticidad, la tensión máxima de rotura o resistencia a la tracción y el alargamiento máximo en rotura), de la factibilidad de su transformación mediante conformado por estampación/embutición (diagramas límite de conformado) y de la relación costes – resistencia del material, dos tendencias claramente marcadas:

- ↳ Los materiales que resultan más fácilmente transformables tienen propiedades mecánicas más bajas y precios contenidos
- ↳ A medida que se incrementan las propiedades mecánicas del material lo hace también la dificultad para su transformación y el precio

Tras estos estudios previos se determinó que los aceros que mejor relación de compromiso alcanzaban entre los tres factores arriba mencionados eran las familias de materiales HSLA y DP. Dentro de estas familias, y dados los requerimientos de conformado por estampación/ embutición, los de cargas en servicio y sin olvidar en ningún momento el precio de los mismos, se determinó que los aceros que alcanzan al menos los 400-500 MPa de límite elástico eran los más indicados para ser aplicados en este componente.

Dentro de esa horquilla de valores se encuentran numerosos productos pero estudiando el diagrama límite de conformado en detalle se observa que son especialmente interesantes el HC420LA y el DP 600, aunque este último, como se estudiaba anteriormente, podría causar problemas durante el proceso de transformación debido al efecto de recuperación elástica o spring-back-effect. Por este motivo se decidió empezar caracterizando el acero HC420LA para a continuación hacer lo propio para el DP 600.

Con objeto de conocer el comportamiento de estos materiales se decidió realizar una caracterización estática a tracción sobre tres tipos de probetas diferentes, cada una de ellas

extraídas con un ángulo determinado respecto a la dirección de laminación. En concreto los ángulos estudiados han sido 0°, 45° y 90°. Gracias a este estudio se puede determinar el grado de anisotropía que presenta el material debido al proceso de transformación para la obtención de las láminas, que serán el punto de partida para la futura fabricación del componente.

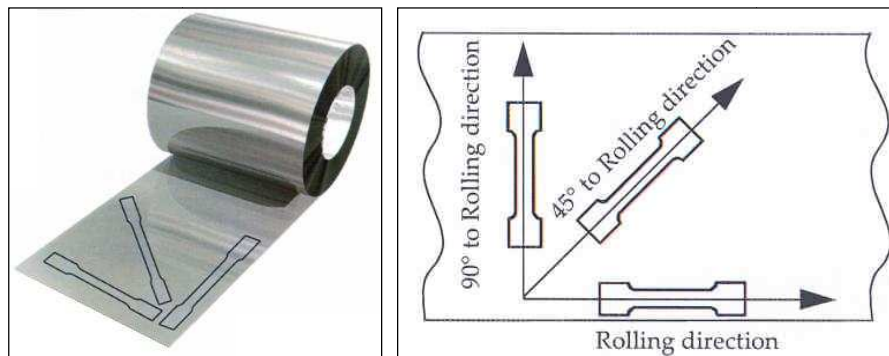


FIGURA 271: *PROBETAS PARA CARACTRIZACIÓN DE LA CHAPA DE ACERO 0° / 45° / 90°*

Para cada una de las direcciones indicadas se han caracterizado cinco probetas. Las dos primeras han sido llevadas hasta rotura, lo que supone someterlas a una deformación bastante alta e impide la utilización del extensómetro y por tanto la determinación del módulo de Young y del límite de elasticidad. Por este motivo las otras tres probetas han sido ensayadas hasta una deformación menor, sirviendo estos resultados para determinar los parámetros anteriormente indicados.

El ensayo realizado permite determinar las propiedades de materiales metálicos mediante la aplicación de fuerza de tracción sobre una muestra de material, según la norma UNE-EN 10002-1:2002. El ensayo se lleva a cabo bajo unas condiciones de temperatura y humedad controladas, en concreto 23 ± 2 °C y $50 \pm 10\%$ de humedad relativa.

El tipo de probeta empleado ha sido la 6*10 con un espesor de 2.87 mm. Para la caracterización estática se ha aplicado una velocidad de ensayo de 10 mm/min y una longitud de calibración inicial de 25mm.

Las medidas realizadas tienen garantizada su trazabilidad a través de patrones de referencia nacionales o internacionales calibrados periódicamente. Los instrumentos que se han empleado en el ensayo son una máquina de ensayos universales MTS con célula de carga y sensor de desplazamiento, adicionalmente se ha empleado un extensómetro INSTRON para la medida de deformación.

2.1.1.- Caracterización Chapa de Acero HC420LA

2.1.1.1.- Caracterización Mediante Ensayo de Tracción

Los resultados obtenidos para el ensayo de las cinco probetas extraídas en la dirección longitudinal, es decir, en la que forma 0° con la dirección del laminado son:

RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS LONGITUDINALES 0°						
PROPIEDAD MECÁNICA	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4	PROBETA 5	MEDIA
MÓDULO DE YOUNG (MPa)	---	---	207.000	199.000	199.000	201.667
LÍMITE ELÁSTICO (MPa)	---	---	510	511	509	510,0
TENSIÓN ÚLTIMA (MPa)	602	609	596	601	599	601,4
DEFORMACIÓN A ROTURA (%)	28,67	29,58	---	---	---	29,13

TABLA 43: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS LONGITUDINALES 0° – HC420LA –

Los resultados obtenidos para el ensayo de las cinco probetas extraídas en la dirección oblicua, es decir, en la que forma 45° con la dirección del laminado son:

RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS OBLICUAS 45°						
PROPIEDAD MECÁNICA	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4	PROBETA 5	MEDIA
MÓDULO DE YOUNG (MPa)	---	---	209.000	187.000	191.000	195.667
LÍMITE ELÁSTICO (MPa)	---	---	554	518	516	529,3
TENSIÓN ÚLTIMA (MPa)	581	581	581	574	572	577,8
DEFORMACIÓN A ROTURA (%)	31,93	31,45	---	---	---	31,69

TABLA 44: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS OBLICUAS 45° – HC420LA –

Los resultados obtenidos para el ensayo de las cinco probetas extraídas en la dirección transversal, es decir, en la que forma 90° con la dirección del laminado son:

RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS TRANSVERSALES 45°						
PROPIEDAD MECÁNICA	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4	PROBETA 5	MEDIA
MÓDULO DE YOUNG (MPa)	---	---	210.000	203.000	208.000	207.000
LÍMITE ELÁSTICO (MPa)	---	---	551	552	548	550,3
TENSIÓN ÚLTIMA (MPa)	620	622	611	612	610	615,0
DEFORMACIÓN A ROTURA (%)	26,98	25,62	---	---	---	

TABLA 45: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS TRANSVERSALES 90° – HC420LA –

Si representamos la curva tensión deformación de cada una de las probetas extraídas en dirección longitudinal (0° respecto a la dirección de laminado) se obtiene lo siguiente:

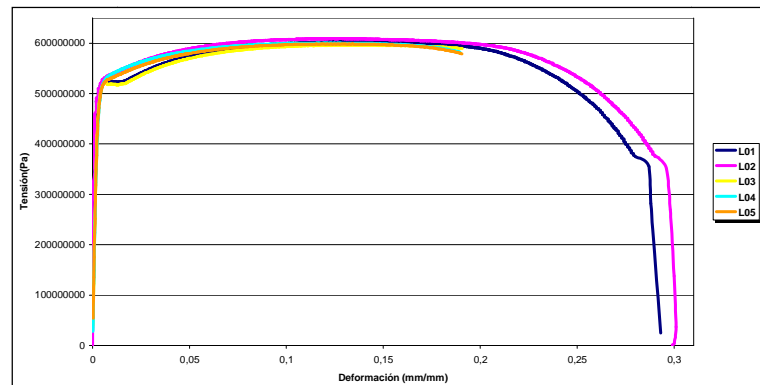


FIGURA 272: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS LONGITUDINALES 0° – HC420LA –

Si representamos la curva tensión deformación de cada una de las probetas extraídas en dirección oblicua (45° respecto a la dirección de laminado) se obtiene lo siguiente:

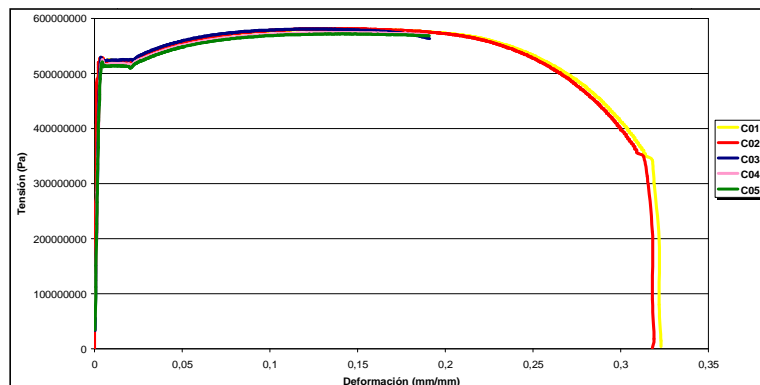


FIGURA 273: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS OBLICUAS 45° – HC420LA –

Si representamos la curva tensión deformación de cada una de las probetas extraídas en dirección transversal (90° respecto a la dirección de laminado) se obtiene lo siguiente:

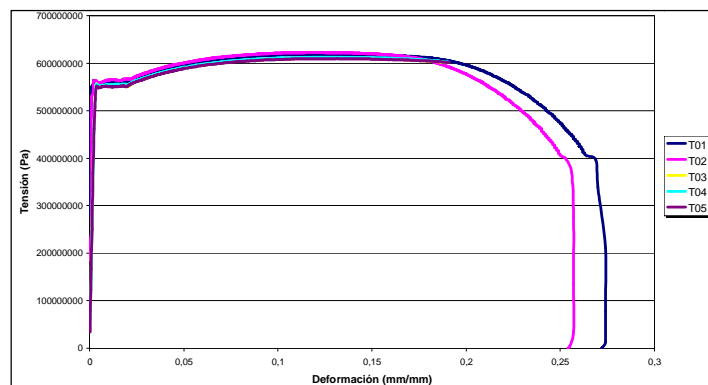


FIGURA 274: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS TRANSVERSALES 90° – HC420LA –

Analizando todos los resultados obtenidos y tomando como base el material en dirección longitudinal observamos que las variaciones de las diferentes propiedades son muy bajas, para el caso del módulo de Young menores del 3%, para el límite elástico menores del 8%, para la tensión última menores del 4% y para la deformación a rotura menores del 10%. Esto nos permite considerar el comportamiento del material como isotrópico, es decir, tiene propiedades mecánicas homogéneas según las diferentes direcciones del espacio.

Dados los valores obtenidos tomaremos como referencia para realizar los diferentes cálculos las propiedades del material según la dirección longitudinal, ya que para el caso del módulo de Young y de la tensión última representa un valor promedio más crítico respecto a las otras dos direcciones y en el caso del límite de elasticidad presenta el valor más bajo, lo que nos permitirá realizar estimaciones del lado de la seguridad.

Para demostrar que la dirección de laminado apenas influye en el comportamiento del material en la siguiente imagen se muestran todas las curvas de comportamiento obtenidas durante el proceso de caracterización estática.

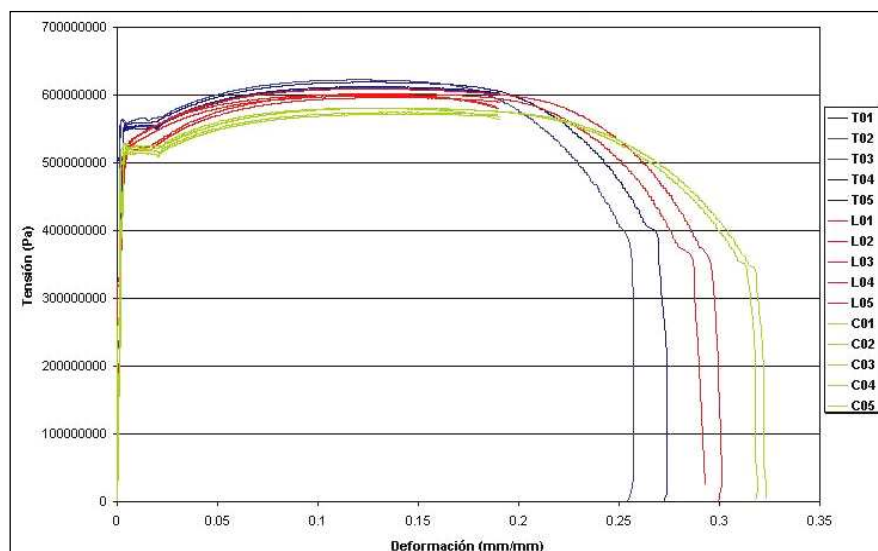


FIGURA 275: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS 0° / 45° / 90° – HC420LA –

Una vez que se ha visto que la dirección de laminado no influye de manera determinante sobre el comportamiento del material se ha procedido a realizar el estudio del comportamiento dinámico del material. El primer paso es determinar cuál es la velocidad de deformación a la cuál va a estar sometido el componente en caso de impacto. Obviamente la casuística de impacto que puede soportar un componente de este tipo es muy amplia, por lo

tanto se han analizado las especificaciones de varios fabricantes de automóviles para saber cómo son los ensayos que reproducen este tipo de circunstancias. En concreto se ha trabajado con especificaciones del Grupo PSA, la Alianza Renault-Nissan y el grupo Fiat.

Las especificaciones difieren ligeramente en la forma pero son bastante semejantes en el fondo, definiendo ensayos de impacto de baja y alta velocidad. Una vez realizados los cálculos oportunos se obtiene que la velocidad más adecuada para la determinación de las propiedades dinámicas del material son 500mm/min y 6m/s. Por lo tanto, éstas han sido los parámetros empleados para la caracterización dinámica del material.

Las especificaciones del ensayo son prácticamente las mismas que las señaladas en el caso estático con la salvedad de la velocidad de deformación de las probetas y la geometría de las mismas. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo del tipo de probetas empleado para este tipo de caracterización.

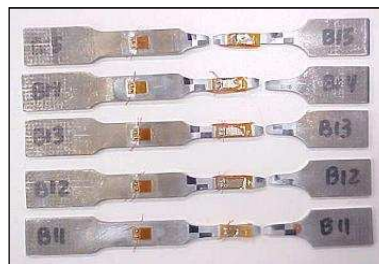


FIGURA 276: PROBETAS EMPLEADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DINÁMICA

Los resultados obtenidos sobre cinco probetas para la velocidad de deformación de 500mm/min son los siguientes:

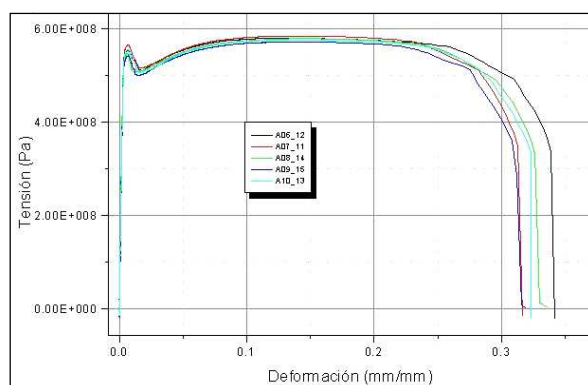


FIGURA 277: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN 500 MM/MIN – HC420LA –

La velocidad empleada para esta caracterización no es excesivamente alta, por lo que la variación en los parámetros fundamentales que caracterizan el comportamiento del material

no es excesivamente marcado. El límite de elasticidad se incrementa hasta 564 MPa, la tensión última pasa a ser 577 MPa y la deformación en rotura 32,3%.

Representando los resultados para el caso en que la velocidad de deformación es de 6 m/s se obtiene la siguiente curva de comportamiento tensión deformación:

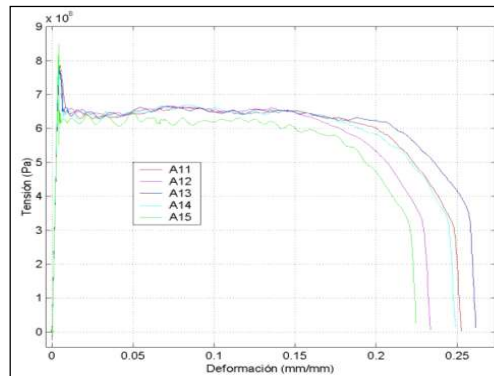


FIGURA 278: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN 6 M/S – HC420LA –

En este caso, y como cabía esperar, la variación en las propiedades es más notable. El límite de elasticidad se incrementa hasta 744 MPa, la tensión última hasta 772 MPa y la deformación en rotura baja hasta el 22,8%.

Con objeto de tener una visión más intuitiva de la variación del comportamiento del material en función de la velocidad a la que estamos solicitando a la probeta se va a representar en una misma gráfica la curva de comportamiento media para cada una de las velocidades.

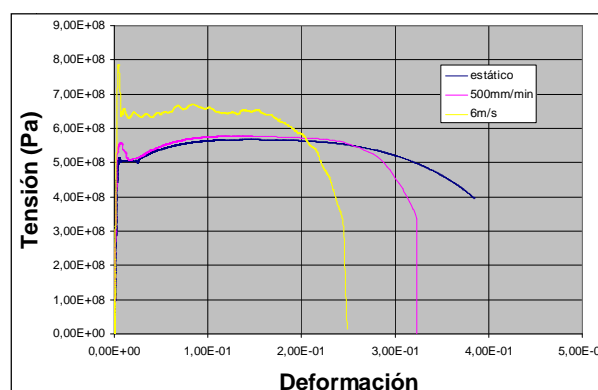


FIGURA 279: COMPARATIVA RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN CON DIFERENTES VELOCIDADES – HC420LA –

En esta representación se observa cómo a medida que se incrementa la velocidad a la que se solicita al material se produce un incremento en el límite de plasticidad y en la tensión última, mientras que se reduce la deformación máxima en rotura.

2.1.1.2.- Caracterización Mediante Ensayo de Comportamiento en Fatiga

Una vez finalizada la caracterización mediante el ensayo de tracción con diferentes velocidades se procede a su caracterización a fatiga. En este caso, al igual que en la caracterización anterior, todas las probetas han sido extraídas según la dirección longitudinal del material, con un ángulo de 0° respecto a la dirección de laminación.

Para la obtención de la curva de comportamiento a fatiga del material se han caracterizado cíclicamente 19 probetas. Dado que se trata de un componente de seguridad para automoción se opta por realizar dicha caracterización controlando la deformación de la probeta, de tal forma que la curva que hemos obtenido ha sido la curva deformación vida. En concreto la caracterización se ha realizado para ocho niveles diferentes de deformación.

A continuación se muestra una tabla resumen con la denominación de las probetas ensayadas, el valor de deformación aplicado para cada una de ellas y el número de ciclos de carga soportados antes de la aparición de la grieta:

RESULTADOS CARACTERIZACIÓN COMPORTAMIENTO A FATIGA			
PROBETA		DEFORMACIÓN	VIDA
1	V-106	0.003	1.180.907
2	V-107	0.0035	211.147
3	V-108	0.0035	128.369
4	V-103	0.004	70.105
5	V-104	0.004	40.278
6	V-105	0.004	53.323
7	V-01	0.0045	38.461
8	V-102	0.005	27.706
9	V-101	0.005	37.384
10	V-100	0.005	22.939
11	V-08	0.006	10.530
12	V-09	0.006	10.513
13	V-10	0.006	9.841
14	V-05	0.007	7.091
15	V-06	0.007	8.070
16	V-07	0.007	7.228
17	V-02	0.008	4.896
18	V-03	0.008	4.578
19	V-04	0.008	4.172

TABLA 46: RESULTADOS CARACTERIZACIÓN COMPORTAMIENTO A FATIGA "DEFORMACIÓN – VIDA" – HC420LA –

Si se representan los resultados indicados en la tabla anterior en una gráfica en escala logarítmica de deformación frente a número de ciclos obtenemos lo siguiente:

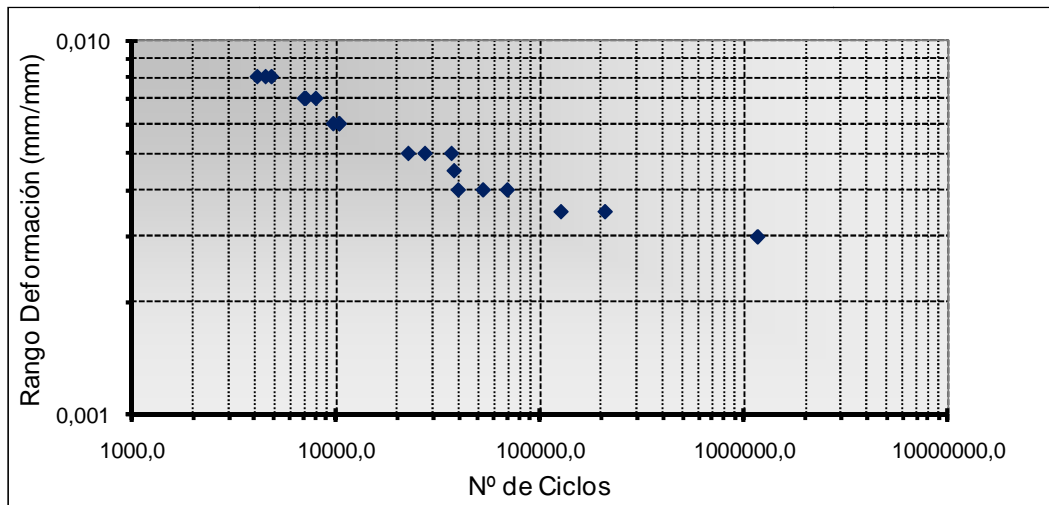


FIGURA 280: RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN A FATIGA – HC420LA –

Trabajando sobre los datos obtenidos para la generación de la gráfica anterior se puede obtener fácilmente la curva de comportamiento cíclico del material, la cual se muestra en la siguiente gráfica:

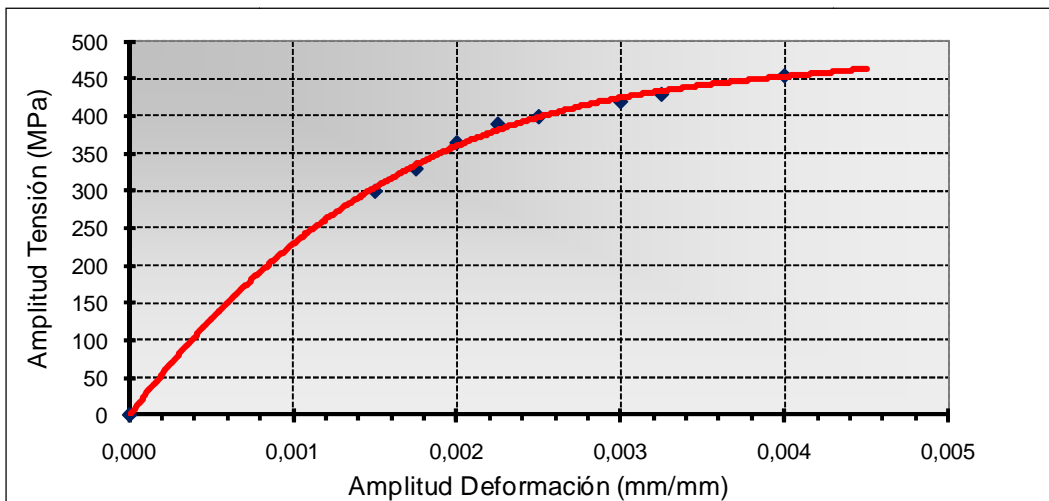


FIGURA 281: CURVA CÍCLICA DEL MATERIAL – HC420LA –

Una vez realizados los ensayos cíclicos sobre cada una de las probetas se ha procedido al análisis de dichos resultados para poder establecer la curva que determina la vida del material en función de la deformación a la que es sometido.

Para realizar este análisis es necesario diferenciar entre la deformación elástica y la deformación plástica que ha sufrido cada una de las probetas durante la caracterización.

Como ya se exponía en la *Fase de Definición del Concepto*, Basquin demostró que existe una relación logarítmica entre la deformación elástica que sufre el material y el número de ciclos de carga que soporta hasta la aparición de la grieta. Dicha relación, en función de las deformaciones, se rige por la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta \varepsilon_e}{2} = \frac{\sigma_f'}{E} \cdot (2 \cdot N_f)^b$$

En concreto, si realizamos las operaciones oportunas para este caso se obtiene la siguiente representación y los siguientes parámetros:

$$\sigma_f': 1146,48$$

$$b: -0,09553$$

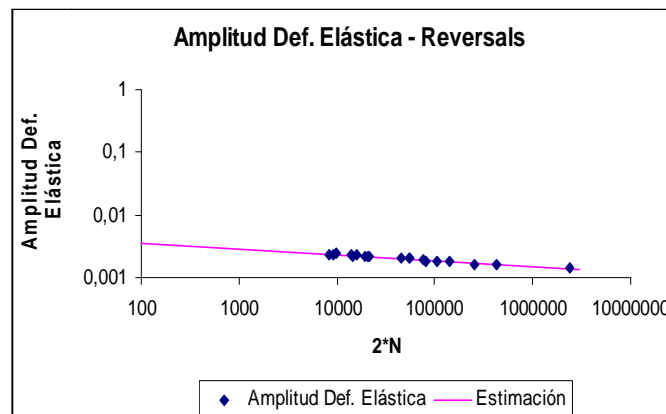


FIGURA 282: AJUSTE DE LA CURVA ELÁSTICA DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA – HC420LA –

La obtención de la curva rosa de la gráfica anterior se hace mediante análisis estadístico de los resultados y teniendo en cuenta en todo momento las directrices marcadas por la norma ASTM E606-92 “Standard Practice for Strain-Controlled Fatigue Testing”. Se puede observar que existe un ajuste muy bueno entre el comportamiento elástico y la curva de tendencia obtenida.

De forma análoga a como sucede con la deformación elástica, Coffin y Manson establecieron una relación logarítmica entre la deformación plástica y el número de ciclos que soporta el material hasta la aparición de la grieta. La expresión matemática de esta relación, también presentada en la *Fase de Definición del Concepto* es la siguiente:

$$\frac{\Delta \varepsilon_p}{2} = \varepsilon_f' \cdot (2 \cdot N_f)^c$$

En concreto, si realizamos las operaciones oportunas para este caso se obtiene la siguiente representación y los siguientes parámetros:

$$\Rightarrow \varepsilon_f': 1,4375$$

$$\Rightarrow c: -0,74535$$

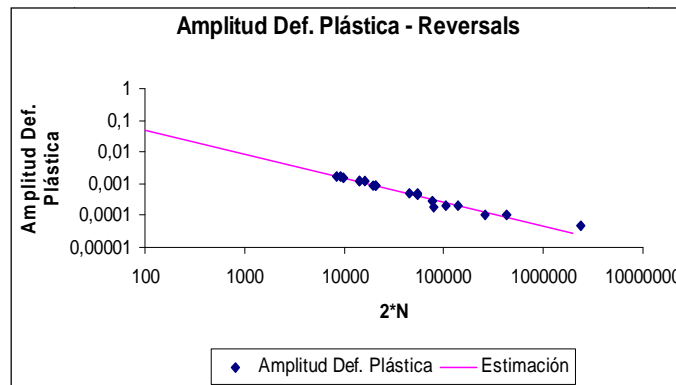


FIGURA 283: AJUSTE DE LA CURVA PLÁSTICA DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA – HC420LA –

Nuevamente para la obtención de esta curva se han tenido en cuenta las indicaciones realizadas por la norma ASTM E606-92. Al igual de cómo sucedía con la deformación elástica, se observa que el ajuste existente entre los datos experimentales y la curva obtenida es muy alta. Este hecho corrobora la calidad de la caracterización cíclica realizada.

Una vez que se han obtenido las curvas que representan el comportamiento elástico y plástico de forma separada, basta sumar ambas expresiones para conseguir la ecuación que vincula la deformación y la vida a fatiga.

$$\frac{\Delta\varepsilon}{2} = \frac{\Delta\varepsilon_e}{2} + \frac{\Delta\varepsilon_p}{2} = \frac{\sigma_f'}{E} \cdot (2 \cdot N_f)^b + \varepsilon_f' \cdot (2 \cdot N_f)^c$$

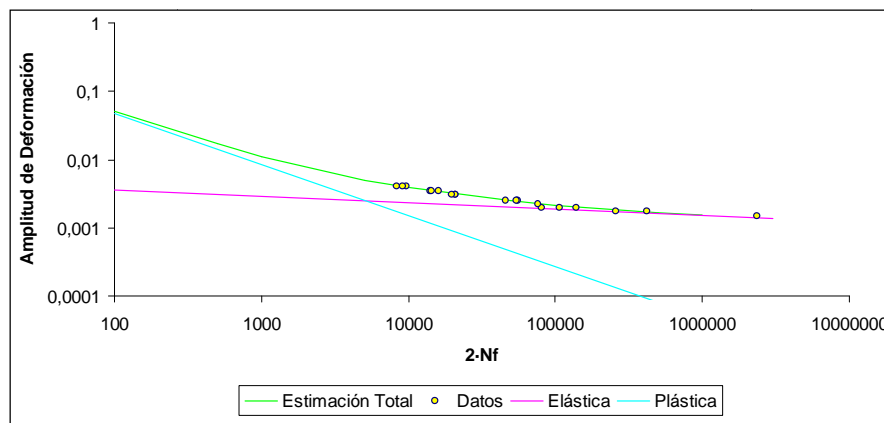


FIGURA 284: CURVA COMPORTAMIENTO "DEFORMACIÓN – VIDA" – HC420LA –

2.1.1.3.- Determinación del la Curva FLD

Tras la caracterización del comportamiento mecánico del material se procede a conocer su comportamiento durante el proceso de conformado por estampación/embutición.

Para ello, siguiendo el método del ensayo de Nakazima ya expuesto en la *Fase de Definición del Concepto* se procedió a la determinación del diagrama límite de conformado, curva FLD, para este acero.

En la siguiente imagen se muestra el diagrama límite de conformado (curva FLD) obtenido. Asimismo se presentan alguno de los resultados de la medición de las deformaciones principales de los diferentes puntos del mallado realizado en las probetas, en los cuales se observan puntos que se ubican en la región segura, puntos verdes por debajo de la curva FLD y puntos en los cuales se presentan problemas por la relación de deformaciones, puntos amarillos por encima de la curva FLD.

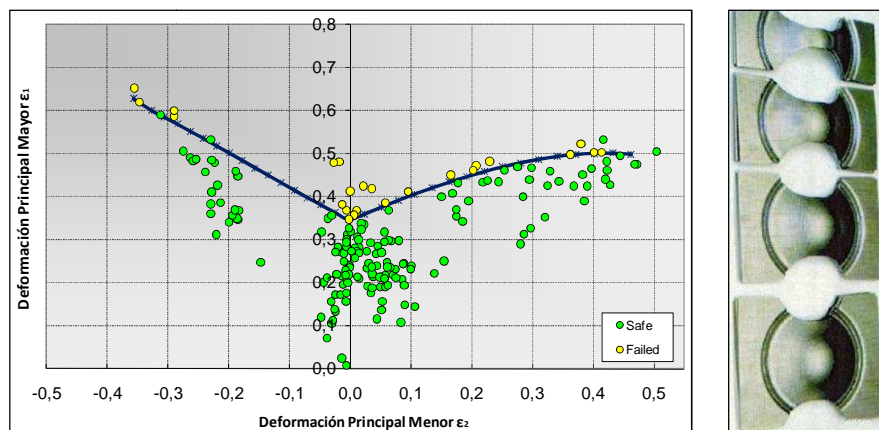


FIGURA 285: DIAGRAMA LÍMITE DE CONFORMADO - CURVA FLD – HC420LA –

Como se observa en la imagen, las deformaciones máximas admisibles de este material son elevadas, aspecto muy positivo de cara a la factibilidad del proceso de conformado por estampación/embutición.

2.1.2.- Caracterización Chapa de Acero DP600

Debido a que la chapa de acero DP podría causar problemas durante el proceso de conformado por estampación/embutición originados por al efecto de recuperación elástica o spring-back-effect asociado a este material, se decidió reducir al mínimo el número de ensayos para su caracterización. Por este motivo se realizaron solamente ensayos de tracción en una longitud y no se realizaron ensayos de tracción con diferentes velocidades.

2.1.2.1.- Caracterización Mediante Ensayo de Tracción

Los resultados que se han obtenido para el ensayo de las cinco probetas extraídas en la dirección longitudinal, es decir, en la que forma 0° con la dirección del laminado son:

RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS LONGITUDINALES 0°						
PROPIEDAD MECÁNICA	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4	PROBETA 5	MEDIA
MÓDULO DE YOUNG (MPa)	---	---	203.000	201.000	199.000	201.000
LÍMITE ELÁSTICO (MPa)	---	---	415	412	413	413,3
TENSIÓN ÚLTIMA (MPa)	665	657	658	663	661	660,8
DEFORMACIÓN A ROTURA (%)	22,37	22,02	---	---	---	22,19

TABLA 47: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS LONGITUDINALES 0° – DP600 –

Si representamos la curva tensión deformación de cada una de las probetas extraídas en dirección longitudinal (0° respecto a la dirección de laminado) se obtiene lo siguiente:

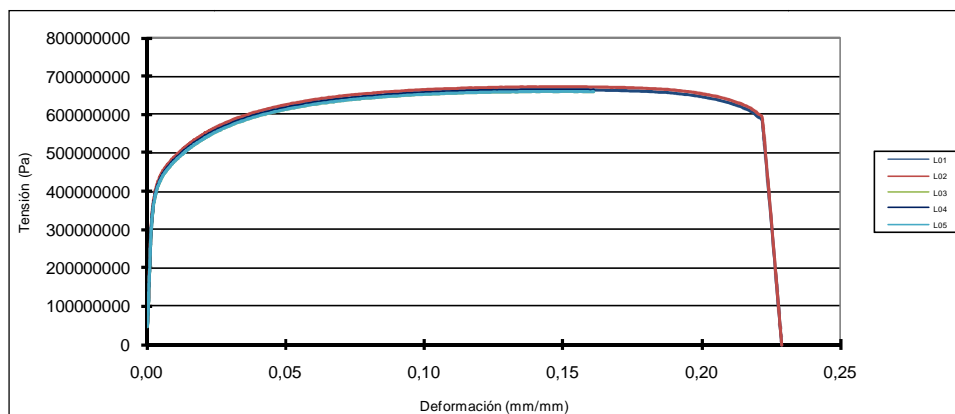


FIGURA 286: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS LONGITUDINALES 0° – DP600 –

2.1.2.2.- Caracterización Mediante Ensayo de Comportamiento en Fatiga

Al igual que se hizo para la chapa de acero HC420LA, una vez finalizada la caracterización mediante el ensayo de tracción, se procede a la caracterización a fatiga del material. Cabe reseñar que para esta caracterización todas las probetas han sido extraídas según la dirección longitudinal del material, con un ángulo de 0° respecto a la dirección de laminación.

Para la obtención de la curva de comportamiento a fatiga del material se han caracterizado cíclicamente 12 probetas. Dado que se trata de un componente de seguridad para automoción se opta por realizar dicha caracterización controlando la deformación de la

probeta, de tal forma que la curva que hemos obtenido ha sido la curva deformación vida. En concreto la caracterización se ha realizado para ocho niveles diferentes de deformación.

A continuación se muestra una tabla resumen con la denominación de las probetas ensayadas, el valor de deformación aplicado para cada una de ellas y el número de ciclos de carga soportados antes de la aparición de la grieta:

RESULTADOS CARACTERIZACIÓN COMPORTAMIENTO A FATIGA			
PROBETA		DEFORMACIÓN	VIDA
1	W-03	0,0015	1230502
2	W-04	0,002	281968
3	W-01	0,002	224936
4	W-02	0,002	298436
5	W-03	0,004	20372
6	W-06	0,004	23920
7	W-07	0,004	27444
8	W-08	0,006	6740
9	W-23	0,006	6244
10	W-27	0,006	6280
11	W-16	0,008	1922
12	W-15	0,008	2082

TABLA 48: RESULTADOS CARACTERIZACIÓN COMPORTAMIENTO A FATIGA "DEFORMACIÓN – VIDA" – DP600 –

Si se representan los resultados indicados en la tabla anterior en una gráfica en escala logarítmica de deformación frente a número de ciclos obtenemos lo siguiente:

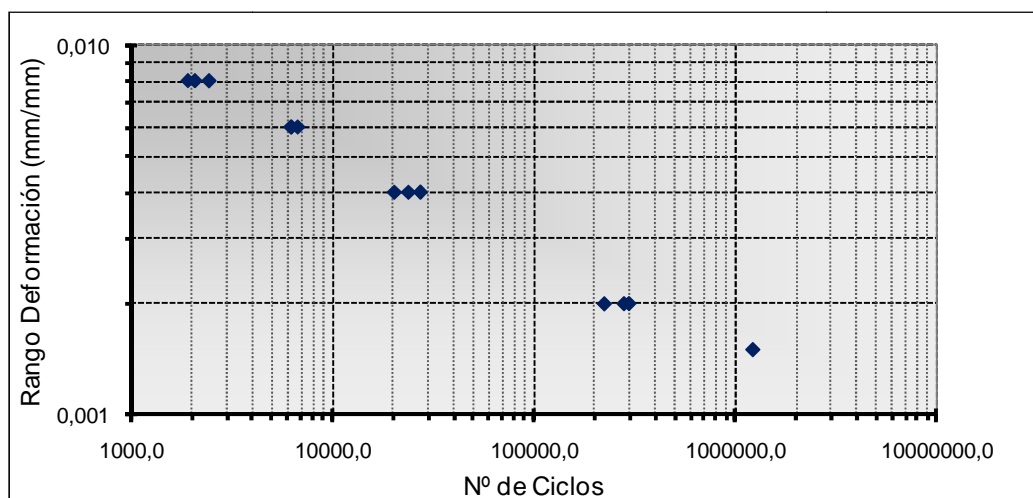


FIGURA 287: RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN A FATIGA – DP600 –

Trabajando sobre los datos obtenidos para la generación de la gráfica anterior se puede obtener fácilmente la curva de comportamiento cíclico del material, la cual se muestra en la siguiente gráfica:

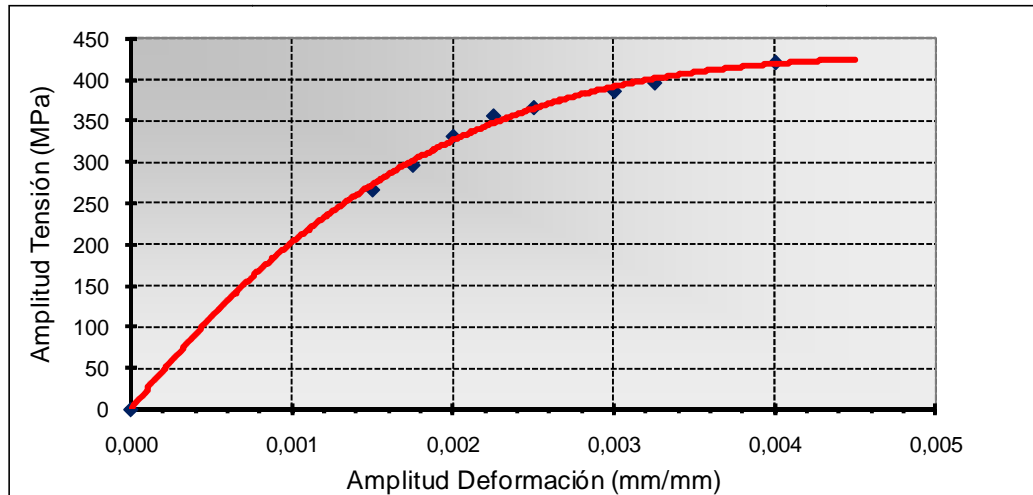


FIGURA 288: CURVA CÍCLICA DEL MATERIAL – DP600 –

Una vez realizados los ensayos cíclicos sobre cada una de las probetas se ha procedido al análisis de dichos resultados para poder establecer la curva que determina la vida del material en función de la deformación a la que es sometido.

Siguiendo la metodología expuesta en el punto anterior se determinan en primer lugar los parámetros de la curva elástica del comportamiento a fatiga a partir de la aproximación de Basquin la cual demuestra que existe una relación logarítmica entre la deformación elástica que sufre el material y el número de ciclos de carga que soporta hasta la aparición de la grieta.

Dicha relación, en función de las deformaciones, se rige por la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta \varepsilon_e}{2} = \frac{\sigma_f'}{E} \cdot (2 \cdot N_f)^b$$

En concreto, si realizamos las operaciones oportunas para este caso se obtiene la siguiente representación y los siguientes parámetros:

$$\sigma_f': 806,21$$

$$b: -0,0984$$

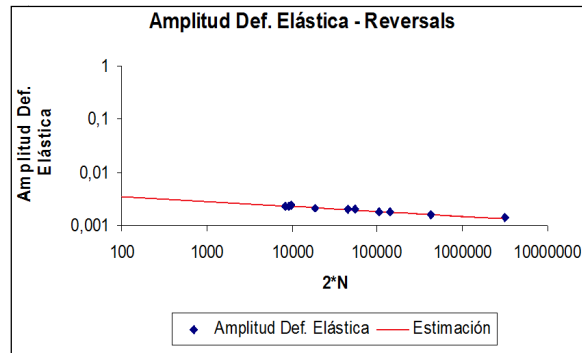


FIGURA 289: AJUSTE DE LA CURVA ELÁSTICA DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA – DP600 –

La obtención de la curva roja de la gráfica anterior se hace mediante análisis estadístico de los resultados y teniendo en cuenta en todo momento las directrices marcadas por la norma ASTM E606-92 “Standard Practice for Strain-Controlled Fatigue Testing”. Se puede observar que existe un ajuste muy bueno entre el comportamiento elástico y la curva de tendencia obtenida.

De forma análoga a como sucede con la deformación elástica, Coffin y Manson establecieron una relación logarítmica entre la deformación plástica y el número de ciclos que soporta el material hasta la aparición de la grieta. La expresión matemática de esta relación, también presentada en la *Fase de Definición del Concepto* es la siguiente:

$$\frac{\Delta \varepsilon_p}{2} = \varepsilon'_f \cdot (2 \cdot N_f)^c$$

En concreto, si realizamos las operaciones oportunas para este caso se obtiene la siguiente representación y los siguientes parámetros:

↪ $\varepsilon'_f: 1,9202$

↪ $c: -0,6687$

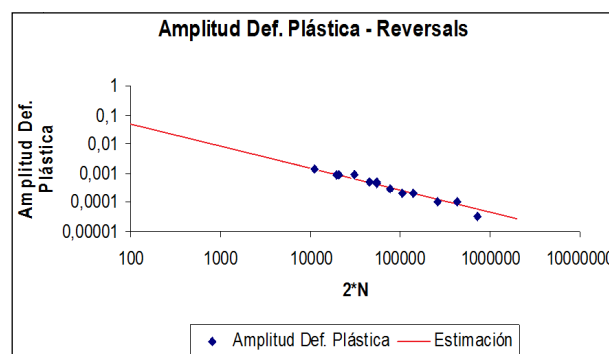


FIGURA 290: AJUSTE DE LA CURVA PLÁSTICA DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA – DP600 –

Nuevamente para la obtención de esta curva se han tenido en cuenta las indicaciones realizadas por la norma ASTM E606-92. Al igual de cómo sucedía con la deformación elástica, se observa que el ajuste existente entre los datos experimentales y la curva obtenida es muy alta. Este hecho corrobora la calidad de la caracterización cíclica realizada.

Una vez que se han obtenido las curvas que representan el comportamiento elástico y plástico de forma separada, basta sumar ambas expresiones para conseguir la ecuación que vincula la deformación y la vida a fatiga.

$$\frac{\Delta \varepsilon}{2} = \frac{\Delta \varepsilon_e}{2} + \frac{\Delta \varepsilon_p}{2} = \frac{\sigma_f'}{E} \cdot (2 \cdot N_f)^b + \varepsilon_f' \cdot (2 \cdot N_f)^c$$

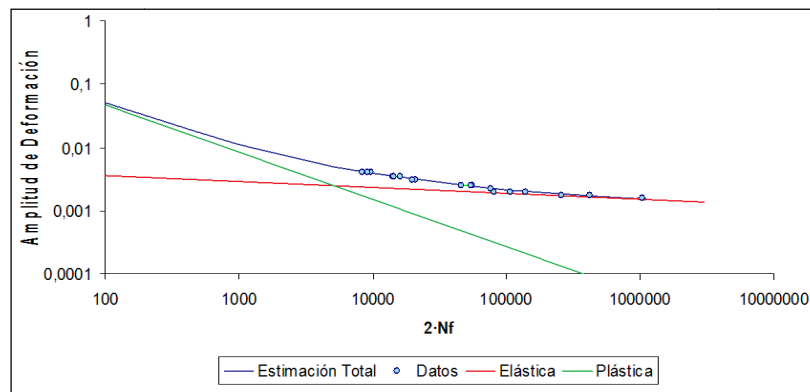


FIGURA 291: CURVA COMPORTAMIENTO "DEFORMACIÓN – VIDA" – DP600 –

2.1.2.3.- Determinación del la Curva FLD

Tal y como se hizo en el caso anterior, tras la caracterización del comportamiento mecánico del material se procede a conocer su comportamiento durante el proceso de conformado por estampación/embutición.

Para ello, siguiendo el método del ensayo de Nakazima ya expuesto en la *Fase de Definición del Concepto* se procedió a la determinación del diagrama límite de conformado, curva FLD, para este acero.

En la siguiente imagen se muestra el diagrama límite de conformado (curva FLD) obtenido. Asimismo se presentan alguno de los resultados de la medición de las deformaciones principales de los diferentes puntos del mallado realizado en las probetas, en los cuales se observan puntos que se ubican en la región segura, puntos verdes por debajo de la curva FLD y puntos en los cuales se presentan problemas por la relación de deformaciones, puntos amarillos por encima de la curva FLD.

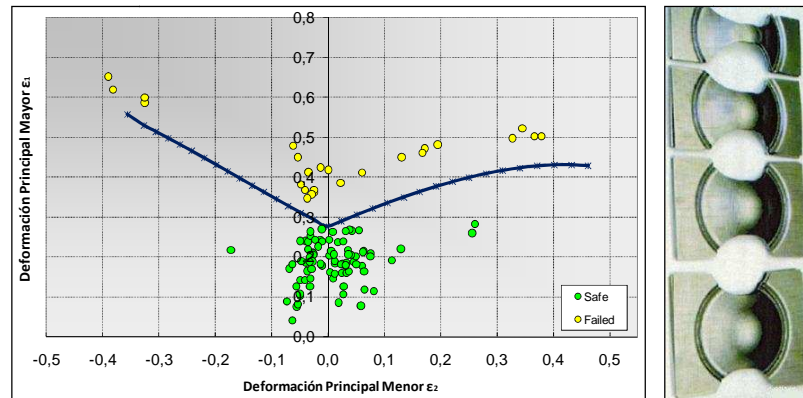


FIGURA 292: DIAGRAMA LÍMITE DE CONFORMADO - CURVA FLD – DP600 –

Como se observa en la imagen, las deformaciones máximas admisibles de este material son menores que las del HC420LA, lo cual implica que este material será más crítico en lo que se refiere a la factibilidad del conformado por estampación/embutición.

2.2.- MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO

Una vez caracterizada la chapa de acero, se profundiza en el conocimiento del material polimérico termoplástico, el cual, tal y como se veía en la *Fase de Definición del Concepto*, hace las funciones de refuerzo, de distribución de cargas, así como de elemento integrador del resto de los componentes del brazo de suspensión híbrido

En los estudios realizados en este mismo capítulo se determinó, a partir del estudio de las propiedades mecánicas obtenidos en la bibliografía (el módulo de Young, la tensión máxima de rotura o resistencia a la tracción, la temperatura de transición vítrea y la temperatura máxima de utilización) que los polímeros termoplásticos que mejor relación de compromiso alcanzaban entre los factores anteriormente mencionados eran las familias de las poliamidas, concretamente la PA 6 y la PA 6-6.

Asimismo en esta fase quedó patente que estos materiales poliméricos termoplásticos, con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas, deben ser reforzados siendo el material de refuerzo más adecuado a las necesidades del proyecto la fibra de vidrio.

Ahora bien, antes de abordar esta tarea de estudio, selección y caracterización del material polimérico termoplástico es necesario analizar la situación del mercado para estos tipos poliamidas con el objetivo de determinar qué proveedores existían y lo más importante, cual eran las tendencias de desarrollo y ventas de estos materiales de cara al

futuro. En línea con este último aspecto, se observa que el proceso químico para la obtención de la PA 6-6 es más complicado que el de la PA 6, circunstancia que determina que sólo existan dos grandes fabricantes/proveedores de grandes volúmenes en el mundo para la misma. De esta situación deriva la problemática existente en el panorama actual, donde la capacidad productiva de PA 6-6 de estos fabricantes está llegando a su límite.

Este condicionante conduce a tomar la decisión de trabajar primeramente con PA 6 caracterizando la misma y dejar la variante de la PA 6-6 en un segundo lugar hasta que la situación del mercado se aclare.

Centrándonos ahora en la selección del material plástico, cabe destacar que dentro de la familia de la PA 6, a la hora de seleccionar el material termoplástico que mejor se adapta a las necesidades del proyecto, se ha de tener en cuenta que éste trabaja de forma conjunta con el material metálico. Por lo tanto al comportamiento del material termoplástico se le han pedido una serie de características dependientes de las características de la chapa de acero de alto límite elástico.

Al contrario de cómo sucede con los materiales metálicos, en los materiales termoplásticos no se puede distinguir claramente entre una zona de comportamiento elástico y otra de comportamiento plástico. Sin embargo, sí existe una zona en la que el comportamiento es casi lineal, es decir, existe una relación directa entre la tensión y la deformación. Además dentro de esa zona la recuperación de la deformación del material termoplástico es prácticamente total.

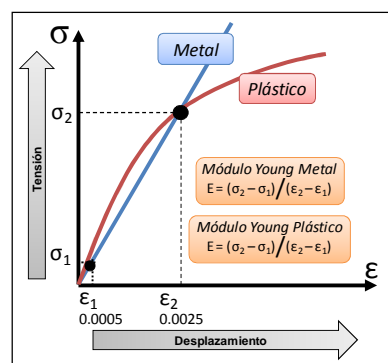


FIGURA 293: COMPORTAMIENTO ELÁSTICO DEL MATERIAL METÁLICO Y EL MATERIAL POLIMÉRICO

Basados en este comportamiento del material termoplástico, se busca una variedad de materiales, que además de ser compatibles con el proceso de sobreinyección, tengan una zona de comportamiento proporcional semejante a la zona de comportamiento lineal de la

chapa de acero de alto límite elástico. Es decir, que exista un valor de deformación por debajo del cual tanto la chapa como el material termoplástico recuperen su deformación sin dar lugar a tensiones residuales o deformación plástica de valor importante.

Por lo tanto, lo primero que se hace es ver cuál es el valor de deformación a partir del cual la chapa de acero de alto límite elástico pierde su comportamiento lineal. En la siguiente tabla se muestra dicho valor para cada una de las velocidades de deformación consideradas y los materiales en cuestión:

RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN CHAPA ACERO				
PROPIEDAD MECÁNICA	ENSAYO ESTÁTICO	ENSAYO 500 MM/MIN	ENSAYO 6 M/S	ENSAYO ESTÁTICO
	HC 420 LA			DP 600
MÓDULO DE YOUNG (MPa)	201.667	201.667	201.667	201.000
LÍMITE ELÁSTICO (MPa)	510	564	744	413
DEFORMACIÓN A ROTURA (%)	29,1	32,3	22,8	22,8

TABLA 49: RESUMEN PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA CHAPA DE ACERO DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO

Una vez determinado el valor de deformación hasta el cual el comportamiento del plástico debía permanecer prácticamente lineal, y además teniendo en cuenta que la función estructural encomendada al material polimérico termoplástico exigía unas propiedades mecánicas elevadas, se procedió a una búsqueda preliminar de materiales. Fruto de esta búsqueda se seleccionaron cuatro materiales cuyas características principales son:

- ↪ Los cuatro materiales son poliamidas reforzadas PA 6
- ↪ Poseen unas propiedades mecánicas elevadas, que mantienen en el rango de temperatura de uso del componente
- ↪ Su formulación está orientada especialmente para su procesado mediante sobreinyección
- ↪ El rango de comportamiento lineal es similar a los límites indicados en la tabla anterior

En concreto, los materiales seleccionados son poliamidas PA 6 con un 30 % de refuerzo de fibra de vidrio de la empresa Lanxess Deutschland GmbH. La denominación de los cuatro materiales seleccionados para su caracterización son: DURETHAN BKV 30 sin

acondicionar, DURETHAN BKV 30 acondicionado, DURETHAN BKV 130 sin acondicionar y DURETHAN BKV 130 acondicionado.

La principal diferencia entre un material sin acondicionar y uno acondicionado es que este último ha sido saturado en humedad. Mientras que la principal diferencia entre el 30 y el 130 es que el segundo de ellos incorpora elastómero en la formulación que ayuda/facilita el proceso de moldeo por inyección.

Se han inyectado probetas de los cuatro materiales indicados y se ha procedido a su caracterización a tracción según las mismas tres velocidades de deformación consideradas en el caso de la chapa de acero de alto límite elástico.

2.2.1.- Caracterización Mediante Ensayo de Tracción

A continuación se muestran los datos más importantes de los ensayos realizados.

↪ Los resultados obtenidos para el ensayo de las cinco probetas extraídas para el DURETHAN BKV 30 sin acondicionar son:

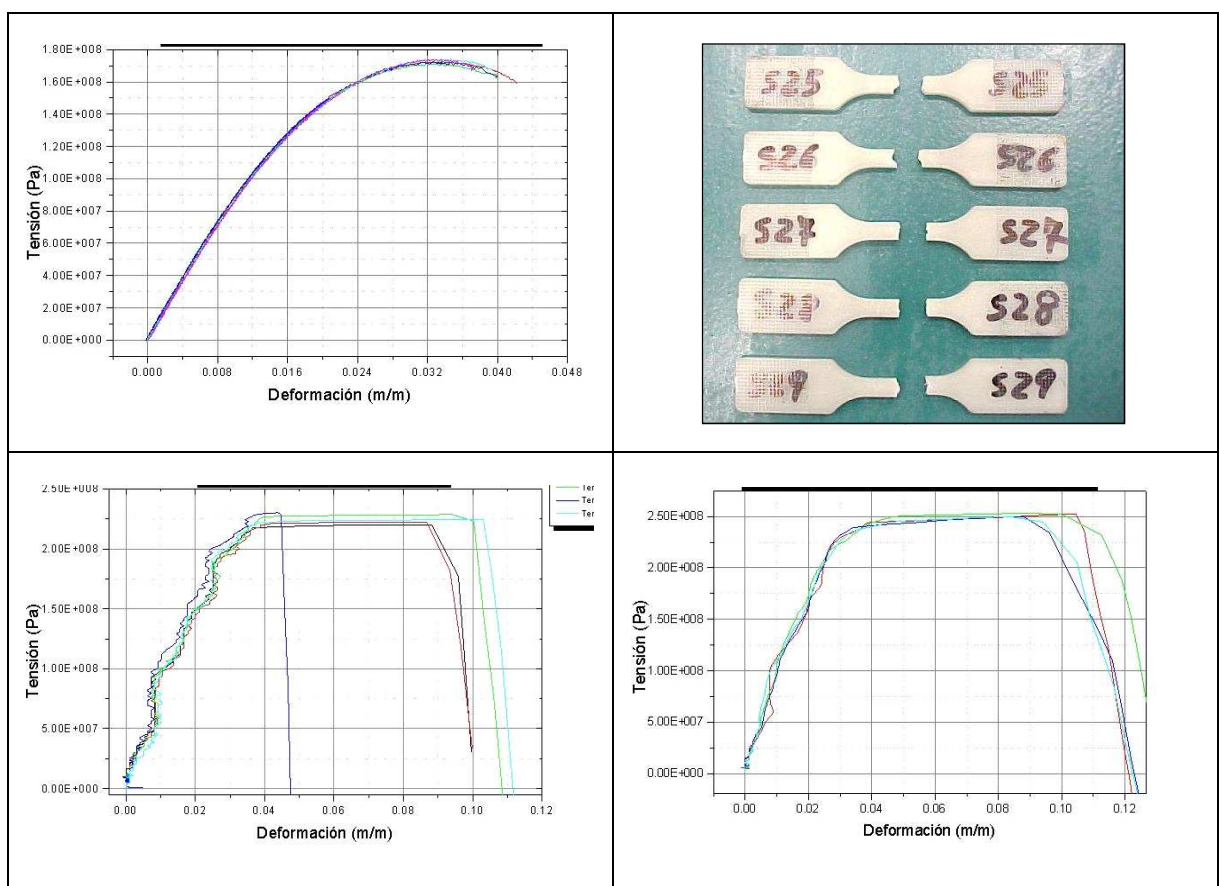


TABLA 50: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN ESTÁTICO // 500 MM/MIN // 6 M/S – DURETHAN BKV 30 A. –

Para este material la pendiente de la curva en la zona de comportamiento lineal es 9310MPa, y permanece prácticamente invariable en función de la velocidad de sollicitación del ensayo. Lo que sí varía es la deformación para la cual el comportamiento tensión deformación conserva una relación cercana a la linealidad. En el caso de la curva estática se extiende más allá del 1%, mientras que para ambas caracterizaciones dinámicas se aproxima al 2%. Por lo que en cualquier caso supera los rangos necesarios para acompañar al material metálico.

↪ Los resultados obtenidos para el ensayo de las cinco probetas extraídas para el DURETHAN BKV 30 acondicionado son:

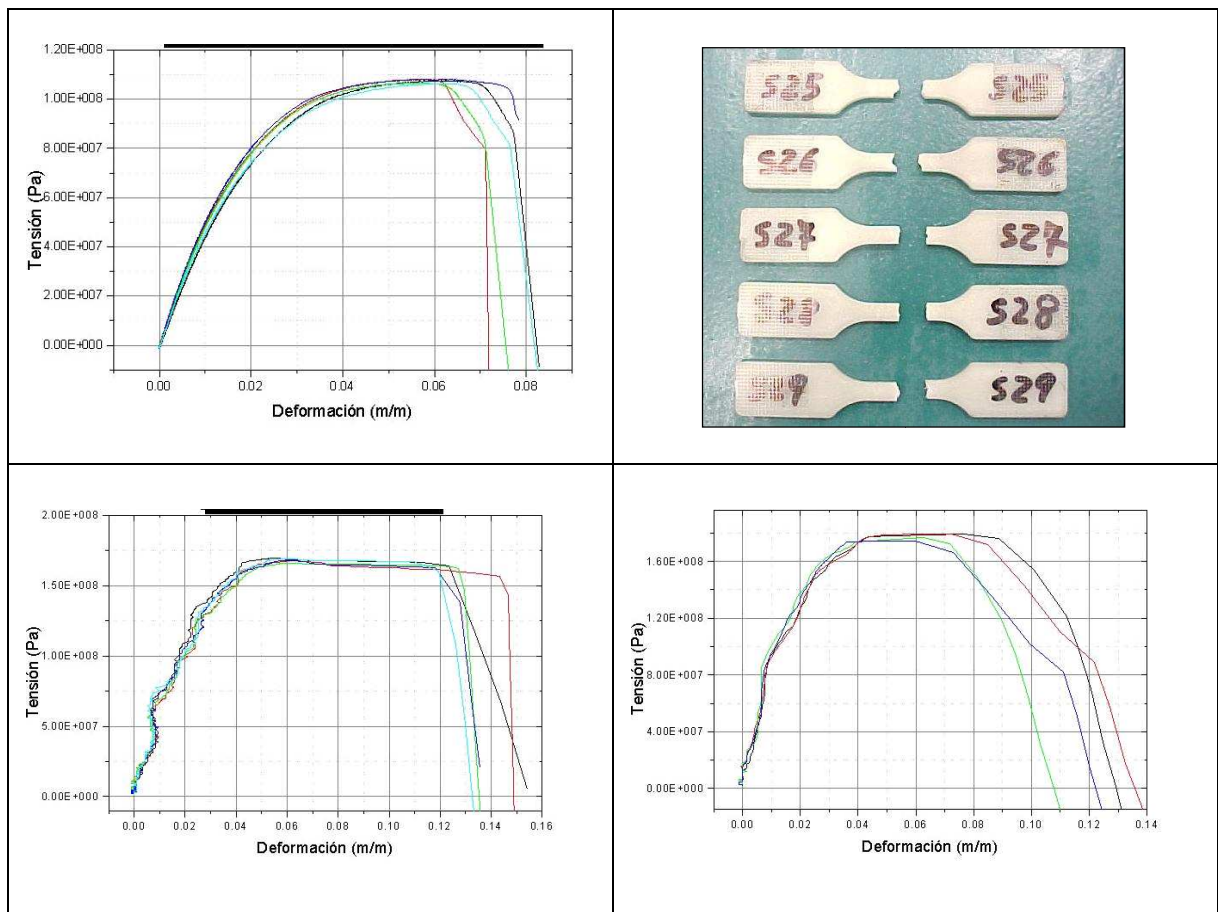


TABLA 51: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN ESTÁTICO // 500 MM/MIN // 6 M/S – DURETHAN BKV 30 S.A. –

Para este material la pendiente de la curva en la zona de comportamiento lineal es 4990MPa, y también permanece prácticamente invariable en función de la velocidad de sollicitación del ensayo. Al igual de cómo sucedía en el material sin acondicionar, los valores de deformación para los cuales la relación tensión deformación es prácticamente lineal, es suficiente.

↪ Los resultados obtenidos para el ensayo de las cinco probetas extraídas para el DURETHAN BKV 130 sin acondicionar son:

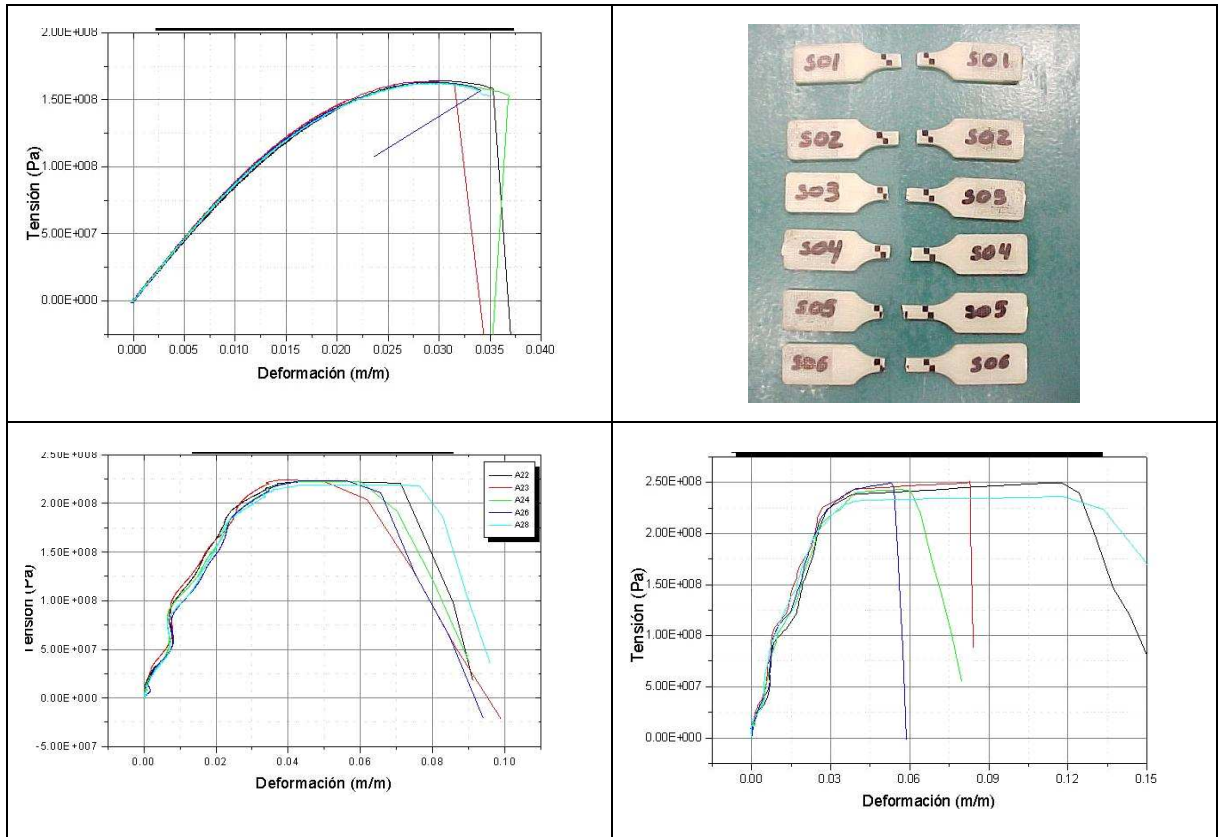
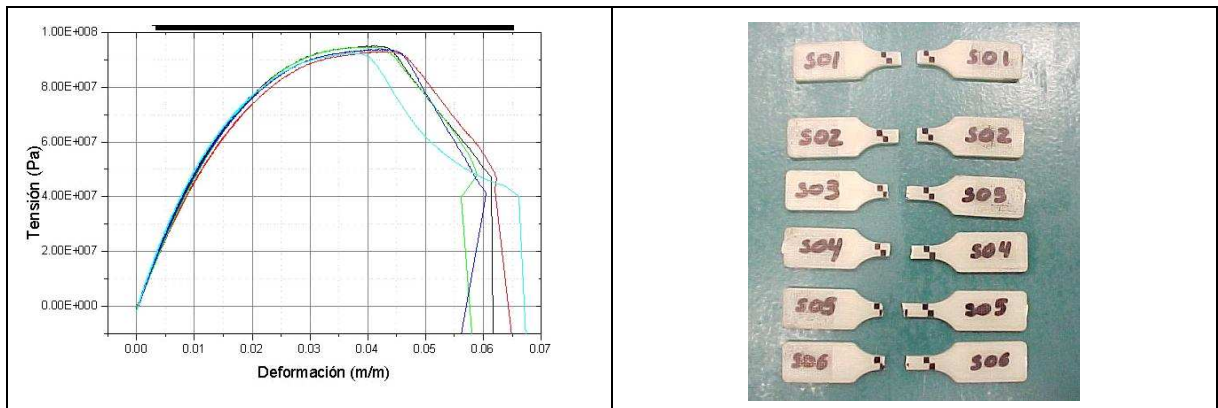


TABLA 52: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN ESTÁTICO // 500 MM/MIN // 6 M/S – DURETHAN BKV 130 S.A. –

En la caracterización estática la pendiente de la zona de comportamiento lineal es 9400MPa y es prácticamente independiente de la velocidad de sollicitación. Los valores de deformación para los que se mantiene esta relación lineal superan ampliamente los que se han establecido como mínimos.

↪ Los resultados obtenidos para el ensayo de las cinco probetas extraídas para el DURETHAN BKV 130 acondicionado son:



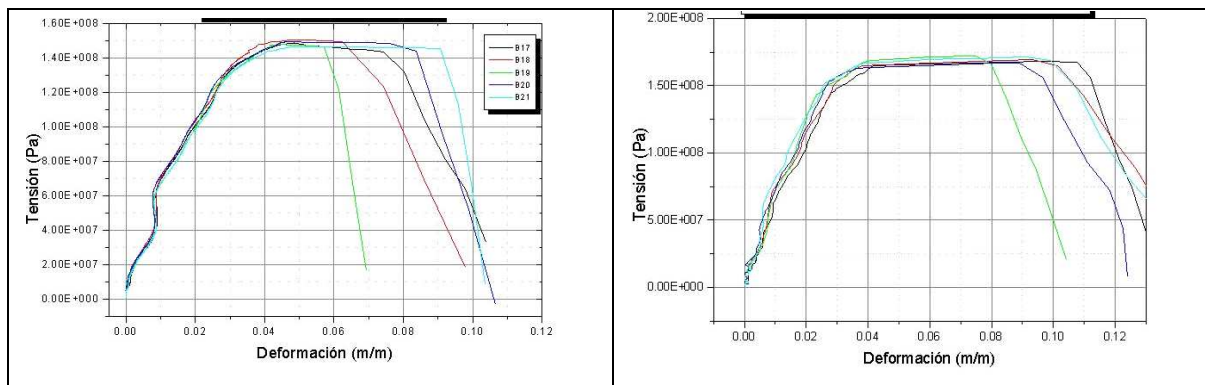


TABLA 53: RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN ESTÁTICO // 500 MM/MIN // 6 M/S – DURETHAN BKV 130 A. –

La pendiente de la zona proporcional es 5670MPa y nuevamente el rango en el que la relación entre la tensión y la deformación es prácticamente lineal es suficientemente amplio.

2.2.2.- Selección del Material Polimérico Termoplástico

Una vez conocida toda la información sobre el comportamiento mecánico, tanto estático como dinámico, de los diferentes materiales y analizando los parámetros que condicionan su procesado llegamos a las siguientes conclusiones:

- ↪ El comportamiento mecánico de los materiales sin acondicionar es superior al de los acondicionados, lo cual se refleja en la mayor pendiente que presenta la curva tensión deformación
- ↪ La ventaja que presentan las poliamidas acondicionadas es que se encuentran saturados en humedad, por lo que la variación de sus propiedades a largo tiempo debería ser menor. Sin embargo, los materiales analizados tienen carga de fibra, lo que implica que su tendencia a absorber humedad es muy baja, por lo que esta ventaja de los materiales acondicionados tiene una incidencia mínima.

Por los motivos indicados en este párrafo se opta por la utilización de un material sin acondicionar, el DURETHAN BKV 30 o el DURETHAN BKV 130.

Llegados a este punto era necesario decidir entre estos dos materiales, el DURETHAN BKV 30 o el DURETHAN BKV 130. A la vista de las curvas obtenidas mediante caracterización mecánica se puede observar que las diferencias de comportamiento son mínimas. Sin embargo, la presencia de elastómero en el BVK 130 favorece el proceso de llenado de molde permitiendo obtener geometrías más complejas que aportan flexibilidad en el diseño, que como se verá es un factor muy importante en el presente proyecto.

Finalmente se resumen en la siguiente tabla las características de los materiales analizados y los criterios de selección:

SELECCIÓN DE MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO				
REQUISITO	PA 6 GF30 → DURETHAN			
	BKV 30 SIN ACOND.	BKV 30 ACOND.	BKV 130 SIN ACOND.	BKV 130 ACOND.
COMPORTAMIENTO LINEAL	↑	↑	↑	↑
FACILIDAD PROC. INYECCIÓN	↑↑	↑↑	↑↑↑	↑↑↑
TENSIÓN ÚLTIMA (MPA)	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	↑↑
MÓDULO DE YOUNG (MPA)	9310	4990	9400	5670

TABLA 54: SELECCIÓN DEL MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO PARA EL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

2.3.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO, SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Una vez concluidas las actividades de esta segunda fase para la definición y optimización del diseño del producto y del proceso, en la cual se seleccionaban y caracterizaban los materiales a emplear en la definición del brazo de suspensión, se sacaron las siguientes conclusiones:

↪ *Material Metálico. Chapa de acero de Alto Límite Elástico:* Mediante el análisis de la procesabilidad, el comportamiento mecánico y el costo se ha elegido el material que mejor se ajusta a las necesidades del componente a desarrollar. Una vez determinado el material se ha procedido a un profundo análisis de sus propiedades estáticas, dinámicas y a fatiga. El conjunto de todas las actividades realizadas han permitido alcanzar un exhaustivo conocimiento del material metálico que se empleará en el componente final

↪ *Material Polimérico Termoplástico:* El desarrollo de esta segunda tarea ha permitido conocer en profundidad el comportamiento mecánico de cuatro materiales poliméricos termoplásticos. Este conocimiento, así como el análisis de sus propiedades de procesado, nos han permitido determinar cuál es el material polimérico termoplástico que mejor se ajusta a las necesidades del proyecto. El material elegido se caracteriza por sus elevadas propiedades mecánicas y por una alta recuperación de la deformación adquirida en el rango de utilización del brazo de suspensión.

3.- DISEÑO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

Llegados a este punto, haciendo uso de todo el conocimiento generado en la *Fase de Definición del Concepto* en cuanto se refiere a la metodología para el diseño de brazos de suspensión fabricados en tecnología híbrida metal – plástico, y una vez determinadas las cargas que le llegan al brazo de suspensión híbrido en funcionamiento además de haber seleccionado y caracterizado los materiales a emplear, comienza un bucle de cálculo mediante el método de los elementos finitos a través del cual se define y optimiza el diseño de dicho brazo teniendo en cuenta los procesos productivos asociados.

En los siguientes apartados se exponen las actividades llevadas a cabo en este bucle de “diseño CAD – construcción del modelo MEF – análisis de factibilidad de los procesos productivos – cálculo MEF – optimización del diseño CAD – nuevo análisis de factibilidad de los procesos productivos – nuevo cálculo MEF” que conducen a la definición final de un concepto de brazo de suspensión viable desde el punto de vista del producto y factible desde el punto de vista de los procesos productivos. En el gráfico se muestra el diagrama de flujo del proceso de cálculo / ciclo o bucle de optimización del diseño:

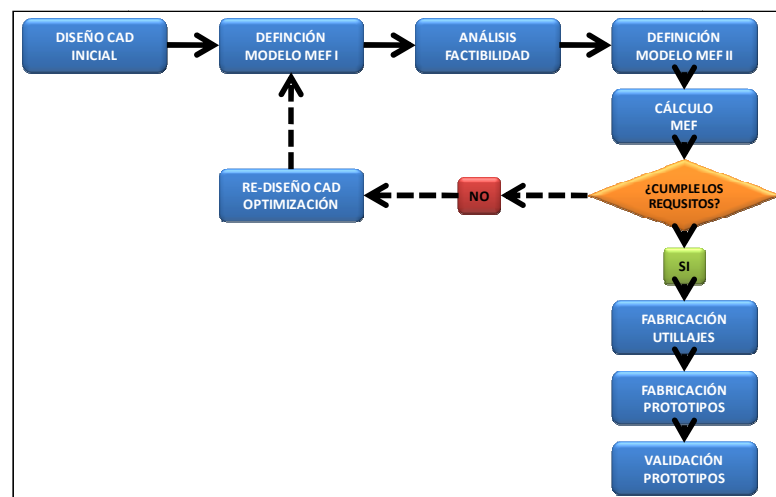


FIGURA 294: DIAGRAMA DE FLUJO DEL CICLO DE OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO

Finalmente cabe reseñar que, debido al carácter público de la Tesis Doctoral, no se han incluido en la parte escrita de ésta algunas informaciones relativas al diseño CAD, a la creación del modelo MEF, etc., al considerarse éstas Know-How generado por la empresa que debe permanecer en ella. No obstante, una explicación más detallada de las mismas, así como una respuesta a las preguntas que sobre el tema les pudiesen surgir a los miembros del

Tribunal durante su lectura, serán expuestas y/o contestadas por el doctorando durante la defensa de la presente Tesis Doctoral.

3.1.- DEFINICIÓN DE LA GEOMETRÍA CAD

En primer lugar, cabe reseñar que para el diseño de la geometría CAD del brazo de suspensión del coche piloto, el FIAT Grande Punto, se utiliza el software de diseño CATIA en sus versiones 4 y 5, ya que es un software de gran prestigio y altamente reconocido y empleado en el sector del automóvil.

Para llevar a cabo los primeros diseños del brazo de suspensión híbrido se parte de la información de cliente, en este caso FIAT – GM-Opel, relativa a:

- ↪ Definición CAD para el brazo de suspensión actual
- ↪ Puntos cinemáticos del sistema de suspensión y más concretamente los tres puntos cinemáticos del brazo de suspensión delantero del sistema Mc Pherson de este vehículo (punto cinemático rótula, silentblock delantero y silentblock trasero)
- ↪ Información referente a las condiciones de distancias mínimas para evitar la colisión con los elementos colindantes durante su movimiento o el de éstos (barra estabilizadora, disco de freno, etc.)

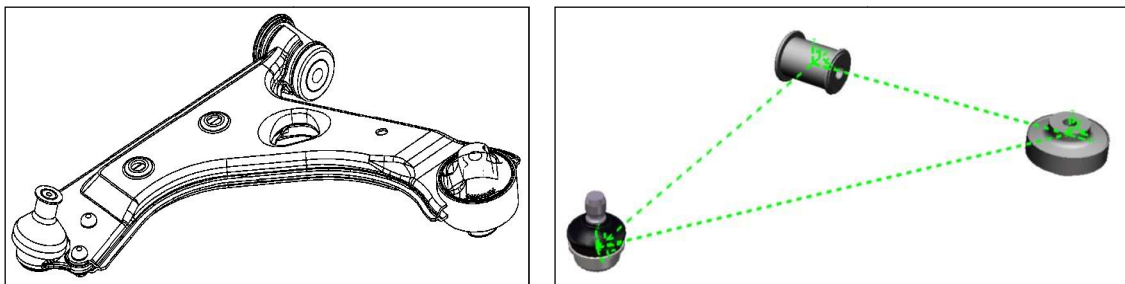


FIGURA 295: DATOS DE PARTIDA: DISEÑO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –

De estos tres datos de entrada son especialmente importantes los segundos ya que el nuevo concepto de suspensión, para asegurar su correcto funcionamiento en vehículo, debe conservar los tres puntos cinemáticos de la plataforma/vehículo actual. Esta circunstancia deriva en la necesidad de mantener la misma geometría del perno de la rótula de suspensión, ya que este elemento garantiza el mantener la misma conexión con la mangueta, así como la misma geometría y características de los silentblocks, ya que estos hacen lo propio en la unión del brazo con el bastidor/subframe.

A partir de estas informaciones, fijando como objetivo interno el de construir un brazo de suspensión al menos un 15 % más ligero que la solución actual y, teniendo en cuenta los aspectos relativos al diseño de la chapa de acero y del material polimérico termoplástico estudiados en la *Fase de Definición del Concepto*, como son la disposición de los nervios plásticos (espaciado, espesores, ángulo de desmoldeo, etc.), los estudios de rigideces, etc., se construye el primer modelo CAD para el brazo de suspensión híbrido. Este modelo CAD, el cual se muestra en la imagen está compuesto los siguientes elementos:

- ↪ Chapa de acero de alto límite elástico conformada por estampación/embutición
- ↪ Estructura de nervios de material polimérico termoplástico inyectado
- ↪ Rótula de suspensión
- ↪ Silentblock delantero
- ↪ Silentblock trasero



FIGURA 296: LISTA DE COMPONENTES DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –

En los siguientes apartados se profundiza en el estudio del diseño de los modelos CAD de los diferentes elementos que componen el brazo de suspensión híbrido así como en las propiedades y características de los mismos, haciendo especial hincapié en el diseño de los componentes propios de la tecnología híbrida, la chapa de acero de alto límite elástico y la estructura nervada de material termoplástico.

Para los otros componentes, silentblocks y rótula, se analiza su diseño de una manera más general ya que, como se comentaba anteriormente, se implementan en gran medida los conceptos que se montan en el brazo de suspensión que se produce actualmente en serie.

3.1.1.- Modelo CAD Rótula de Suspensión

Tal y como se veía en la imagen anterior y como se describía en la *Fase de Definición del Concepto*, la rótula de suspensión se compone de diferentes elementos (perno, casquillo, carcasa, guardapolvos, etc.).

Para la definición de la geometría de los diferentes componentes de la rótula de suspensión del brazo híbrido se parte del diseño de la rótula de suspensión del FIAT Grande Punto, de la que ZF Lemförder GmbH es proveedor.

De esta solución fabricada actualmente en series se toman, con el objetivo de primero asegurar las mismas condiciones de conexión con la mangueta y segundo con el objetivo de reducir costes de desarrollo/prototipado y destinar estos ahorros al desarrollo/prototipado de la chapa de acero y la estructura de plástico, el perno y el casquillo y guardapolvos definiéndose a partir de éstos se la geometría de la carcasa y de la tapa.

Para la carcasa se define una geometría cilíndrica, la cual puede ser insertada sin excesivas complicaciones en la chapa metálica previamente al proceso de sobreinyección del material termoplástico, facilitando así la integración de ésta en el brazo de suspensión. Asimismo con esta solución se reducen los costes y el peso frente a la actual solución de series. En el caso de la tapa se define una geometría estándar simplemente adaptada a los diámetros y espesor requeridos para la solución.

En cuanto al concepto de fabricación para esta rótula, el proceso de montaje previsto es el siguiente: En primer lugar se procede al pre-montaje del conjunto perno-casquillo-grasa el cual se introduce a continuación en la carcasa para finalmente ser cerrada mediante un proceso de rebordeado del material de la misma sobre una tapa metálica. En las siguientes imágenes se aprecia el diseño de la rótula así como el proceso de montaje descrito en el párrafo anterior:

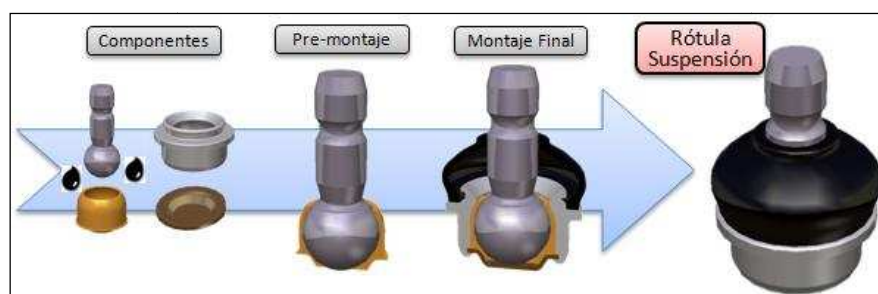


FIGURA 297: DEFINICIÓN MODELO CAD RÓTULA DE SUSPENSIÓN – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –

3.1.2.- Modelo CAD Silentblocks Delantero y Trasero

Los silentblocks delantero y trasero se toman del concepto del brazo de suspensión para el FIAT Grande Punto que actualmente se fabrica en series. Por este motivo simplemente se estudian sus características mecánicas, las cuales se introducirán posteriormente en el software de cálculo MEF y sus dimensiones (diámetros exteriores, altura y posición del punto cinemático), las cuales condicionan el dimensionado de la chapa de acero y de la estructura de plástico. En las siguientes imágenes se muestran las características de ambos:

CARACTERÍSTICAS SILENTBLOCK DELANTERO					
Unidades		Amortiguamiento			
Longitud	mm	Fx	0,806	Tx	0,357
Ángulo	°	Fx	0,307	Ty	0,357
Fuerza	Newton	Fz	0,117	Tz	1,425
CURVA Fx		CURVA Fy		CURVA Fz	
Desplaz. X	Fuerza X	Desplaz. Y	Fuerza Y	Desplaz. Z	Fuerza Z
-0,92	-10000,0	-0,92	-10000,0	-5,32	-7000,0
-0,80	-8000,0	-0,80	-8000,0	-5,00	-4730,0
-0,60	-5400,0	-0,60	-5400,0	-4,00	-2740,0
-0,40	-3500,0	-0,40	-3500,0	-3,00	-1790,0
-0,20	-1690,0	-0,20	-1690,0	-2,00	-1060,0
0,00	0,0	0,00	0,0	-1,00	-530,0
0,20	1690,0	0,20	1690,0	0,00	0,0
0,40	3500,0	0,40	3500,0	1,00	530,0
0,60	5400,0	0,60	5400,0	2,00	1140,0
0,80	8000,0	0,80	8000,0	3,00	1930,0
0,92	10000,0	0,92	10000,0	4,00	3080,0
				4,64	7000,0
TORSIÓN Tx		TORSIÓN Ty		TORSIÓN Tz	
Ángulo X	Torsión X	Ángulo Y	Torsión Y	Ángulo Z	Torsión Z
-3,00	-65600,0	-3,00	-65600,0	-10,00	-28000,0
-2,00	-39000,0	-2,00	-39000,0	-1,00	-2800,0
-1,00	-18500,0	-1,00	-18500,0	0,00	0,0
0,00	0,0	0,00	0,0	1,00	2800,0
1,00	18500,0	1,00	18500,0	10,00	28000,0
2,00	39000,0	2,00	39000,0		
3,00	65600,0	3,00	65600,0		

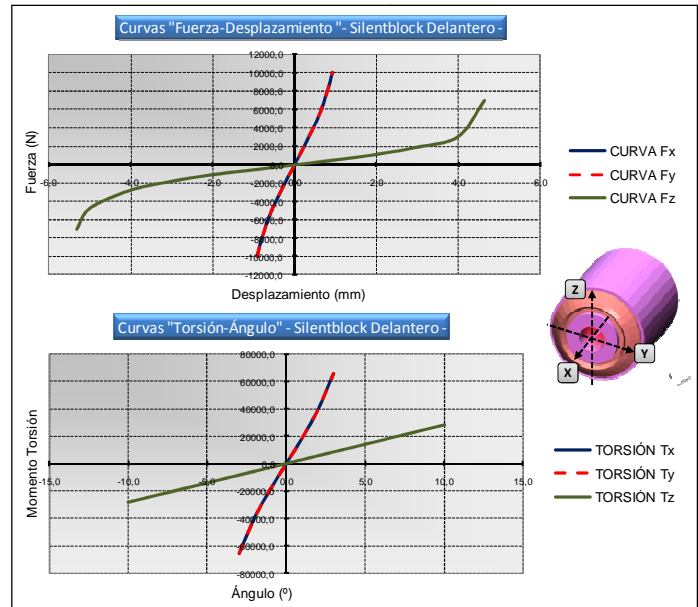


FIGURA 298: CARACTERÍSTICAS SILENTBLOCK DELANTERO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –

CARACTERÍSTICAS SILENTBLOCK TRASERO					
Unidades		Amortiguamiento			
Longitud	mm	Fx	0,806	Tx	0,357
Ángulo	°	Fx	0,307	Ty	0,357
Fuerza	Newton	Fz	0,117	Tz	1,425
CURVA Fx		CURVA Fy		CURVA Fz	
Desplaz. X	Fuerza X	Desplaz. Y	Fuerza Y	Desplaz. Z	Fuerza Z
-7,485	-8000,0	-7,255	-8000,0	-16,865	-1500,0
-6,675	-6000,0	-6,670	-6000,0	-11,650	-1000,0
-5,250	-4000,0	-5,710	-4000,0	-5,045	-500,0
-2,830	-2000,0	-4,075	-2000,0	-2,140	-250,0
-2,075	-1500,0	-3,460	-1500,0	0,000	0,0
-1,320	-1000,0	-2,680	-1000,0	2,140	250,0
-0,620	-500,0	-1,630	-500,0	5,045	500,0
0,000	0,0	0,000	0,0	11,650	1000,0
0,620	500,0	1,630	500,0	16,865	1500,0
1,320	1000,0	2,680	1000,0		
2,075	1500,0	3,460	1500,0		
2,830	2000,0	4,075	2000,0		
5,250	4000,0	5,710	4000,0		
6,675	6000,0	6,670	6000,0		
7,485	8000,0	7,255	8000,0		
TORSIÓN Tx		TORSIÓN Ty		TORSIÓN Tz	
Ángulo X	Torsión X	Ángulo Y	Torsión Y	Ángulo Z	Torsión Z
-10	-3229	-10	-3229	-10	-12926
-5	-1787	-5	-1787	-5	-7126
0	0	0	0	0	0
5	1787	5	1787	5	7126
10	3229	10	3229	10	12926

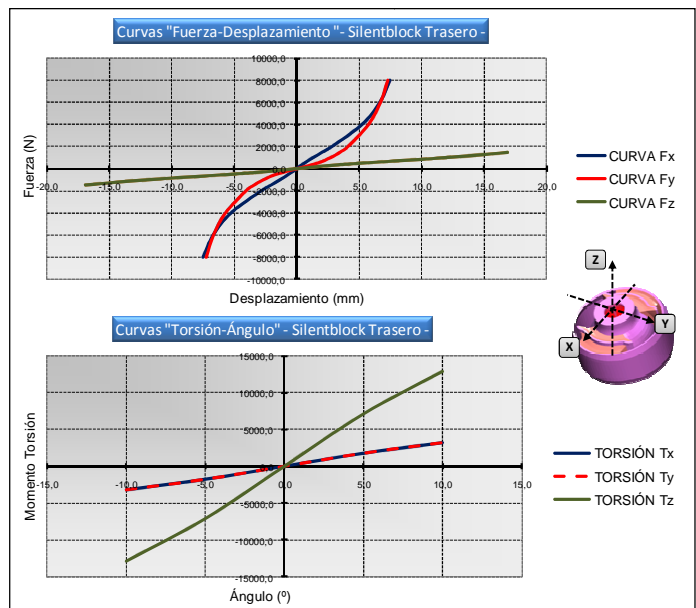


FIGURA 299: CARACTERÍSTICAS SILENTBLOCK TRASERO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –

Tras el estudio de las características de los silentblocks delantero y trasero expuestos en las tablas y gráficas anteriores, se procede a la creación del modelo CAD para estos elementos, donde es importante definir el diámetro mayor del silentblock, su altura y condiciones de montaje en cuanto se refiere a la localización del centro o punto cinemático del mismo, el cual debe coincidir tras el montaje con el punto cinemático del conjunto.

En la siguiente imagen se muestran los modelos CAD creados:

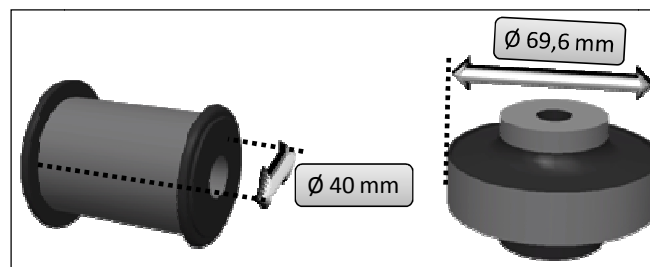


FIGURA 300: DEFINICIÓN MODELO CAD SILENTBLOCK DELANTERO Y TRASERO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –

3.1.3.- Modelo CAD Chapa de Acero Estampada/Embutida

Cuando se describían en puntos anteriores las características/requisitos de los elementos de un componente fabricado mediante la tecnología híbrida, se exponía que la función de la chapa de acero es la de aportar la rigidez, alta resistencia estructural así como resistencia a cambios de temperatura al conjunto.

De estos tres requisitos/objetivos los dos últimos se pueden alcanzar de una manera relativamente fácil gracias a la utilización de una chapa de acero de alto límite elástico, ya que esta ofrece una alta resistencia estructural gracias a su elevado límite elástico y su elevada tensión de rotura, y un buen comportamiento frente a cambios de temperatura gracias a las propiedades intrínsecas de los materiales metálicos.

En cuando se refiere al requisito sobre la rigidez existen dos caminos para alcanzarlo. Por un lado se puede lograr mediante el incremento del módulo de Young (cambio de calidad de la chapa de acero) y, por otro lado, también se puede mediante el aumento del espesor de la chapa de acero o mediante la definición de geometrías (huellas embutidas) que incrementen el momento de inercia de ésta.

De las dos soluciones expuestas en el párrafo anterior se trabaja en la segunda, ya que el material a emplear ya había sido seleccionado en la etapa anterior y por consiguiente el módulo de Young era ya fijo. Para ello se definen unas huellas a conformar en el proceso de

estampación/embutición y unas alas exteriores alrededor de toda la geometría las cuales además de aportar rigidez como hacen las huellas, ayudarán a la colocación y sellado del molde en el proceso de sobreinyección de plástico.

En la siguiente imagen se aprecian las geometrías realizadas para incrementar el momento de inercia de la sección del brazo comentadas en el párrafo anterior:

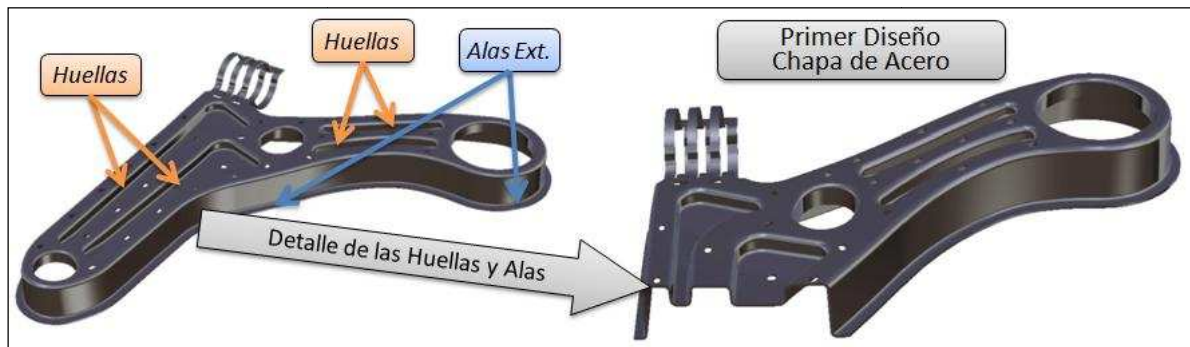


FIGURA 301: DEFINICIÓN MODELO CAD CHAPA DE ACERO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –

Una vez definida la primera geometría para el brazo con las mencionadas huellas y alas exteriores se procede a investigar cómo y en qué grado influía el cambio de espesor de la chapa de acero en el comportamiento del brazo de suspensión.

Para ello se lleva a cabo un estudio del comportamiento frente al ensayo de deformación según el eje X del vehículo automóvil consistente, como ya se comentaba anteriormente, en la aplicación de una carga estática creciente o un desplazamiento hasta que se produce el colapso del componente.

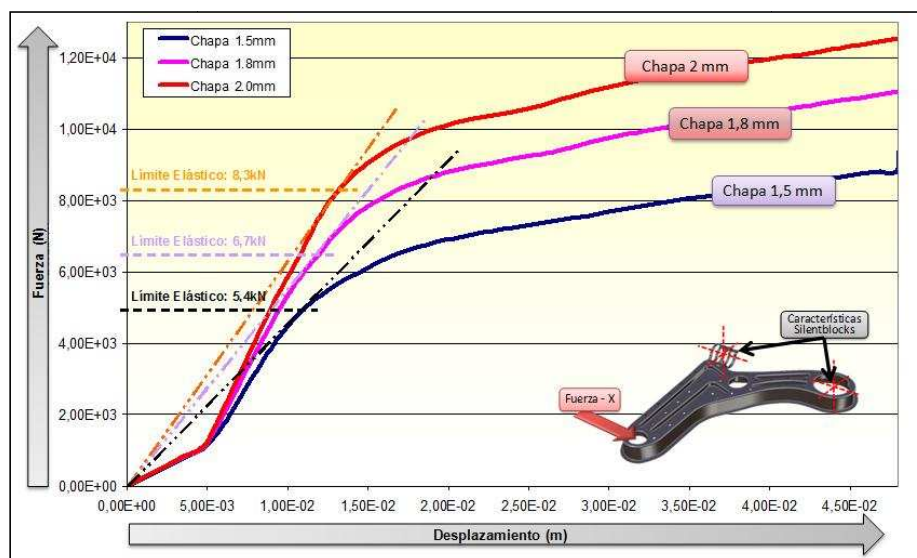


FIGURA 302: ESTUDIO INFLUENCIA DEL ESPESOR EN LA RIGIDEZ DE LA CHAPA DE ACERO

Analizando detenidamente los resultados del estudio, los cuales se reflejan en la siguiente tabla, se observa que el simple hecho de incrementar el espesor de la chapa 0,5mm conlleva un aumento del límite elástico de casi un 50%, sin embargo, este incremento de rigidez va asociado a un incremento de peso de un 35% con un efecto muy negativo de cara a lograr la deseada reducción de un 15% del peso respecto al concepto actual.

INFLUENCIA ESPESOR EN LA RIGIDEZ Y PESO DE LA CHAPA DE ACERO			
PROPIEDADES	CHAPA ACERO 1,5 MM	CHAPA ACERO 1,8 MM	CHAPA ACERO 2 MM
LÍMITE ELÁSTICO [KN]	5,4	6,7	8,3
PESO [KG]	1,250	1,550	1,750

TABLA 55: ESTUDIO INFLUENCIA DEL ESPESOR EN LA RIGIDEZ Y EL PESO DE LA CHAPA DE ACERO

Además, no se puede olvidar que el incremento de espesor puede provocar problemas en la estampación/embutición de la geometría planteada ya que, como se estudiaba anteriormente, el aumento del espesor de las chapas de acero de alto límite elástico provoca un aumento de la criticidad del fenómeno de recuperación elástica o spring-back-effect así como unas necesidades especiales en la fabricación de utillajes y lubricación durante el proceso de conformado incrementando de esta manera los costes del mismo y afectando por lo tanto a la viabilidad del proyecto total.

En este marco de búsqueda de equilibrio entre la reducción de peso, la factibilidad del proceso y los costes asociados al mismo se decide utilizar chapa de acero de 1,5 mm de espesor e intentar suplir el hueco o gap hasta los resultados de la chapa de 2 mm de espesor mediante el diseño de una estructura nervada de material plástico más densa.

Finalmente es importante reseñar que tanto la geometría de las embuticiones/huellas, en cuanto se refiere a su anchura y profundidad, así como los radios, curvaturas, etc. dadas en el modelo CAD a la chapa de acero de alto límite elástico deberán ser estudiadas en la simulación del proceso de estampación, con el objetivo de determinar la viabilidad de las mismas y en caso necesario ajustarla a las demandas/características del material.

3.1.4.- Modelo CAD Estructura Nervada de Material Plástico

A continuación, habiendo ya definido la geometría de la rótula, de los silentblocks delantero y trasero así como de la chapa, es necesario hacer lo propio para la estructura de material plástico.

Este componente, como se exponía anteriormente, tiene una doble función, por un lado debe dar soporte a la chapa metálica y distribuir las cargas que le llegan al componente convenientemente para generar unos estados tensionales y de deformaciones uniformes a lo largo de todo el componente híbrido y, por otro lado, debe hacer de elemento integrador de los componentes mencionados.

Para lograr cumplir la primera de las funciones enunciadas en el párrafo anterior, se estudiaron en la *Fase de Definición del Concepto* diferentes construcciones geométricas para la estructura nervada del material plástico, resultando de este análisis un concepto de construcción la cual está formada por nervios cruzados en forma de X para soportar los momentos de torsión y nervios en las direcciones longitudinales para soportar los momentos de flexión, los cuales se encuentran espaciados 35 mm entre sí. Asimismo en esta misma fase se estudiaban los requisitos geométricos que deben tener estos nervios en función del proceso productivo, el proceso de moldeo por inyección, determinando en esta fase las reglas de diseño relativas a las relaciones anchura-altura del nervio, la geometría de los puntos o nodos de cruce en la estructura, etc.

Aplicando todo el conocimiento generado hasta el momento, se procede a construir una primera geometría CAD para la estructura de material plástico, la cual se muestra en la siguiente imagen:

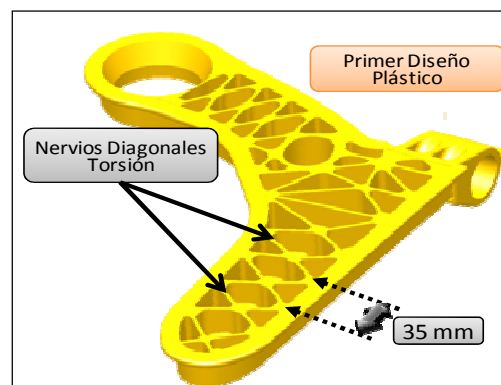


FIGURA 303: DEFINICIÓN MODELO CAD ESTRUCTURA NERVIOS PLÁSTICO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –

Finalmente es importante reseñar que, al igual que sucedía con el modelo CAD de la chapa de acero, el modelo CAD de la estructura de plástico deberá ser estudiado en la simulación mediante MEF para determinar la viabilidad de la geometría de los nervios y su disposición en cuanto se refiere a las tensiones y deformaciones producidas al aplicar el cuaderno de cargas definido anteriormente.

3.2.- DEFINICIÓN DEL MODELO PARA CÁLCULO MEF: DISEÑO PRODUCTO

El siguiente paso tras la definición del primer modelo CAD para el brazo de suspensión híbrido es el de chequear mediante cálculo por el método de los elementos finitos si éste cumple con los requisitos o no. Ahora bien, el cálculo MEF no es tan trivial como introducir el modelo CAD en el software MEF, mallarlo y obtener resultados, si no que, para lograr obtener unos buenos resultados es necesario preparar el modelo CAD de una manera detallada y estructurada (elementos para la malla, condiciones de contorno, cargas, etc.).

En este punto de la fase de diseño del brazo de suspensión híbrido se exponen los requisitos para el análisis MEF de este componente, en inglés “Summary of FEA Requirements – SOFEAR –” los cuales fueron acordados a su vez con cliente para asegurar una perfecta correlación entre los cálculos internos y los externos.

3.2.1.- Definición de los Puntos Cinemáticos y Ejes Coordinados de Referencia

Con el objetivo de poder aplicar las condiciones de contorno y de cargas en los puntos y con las direcciones adecuadas es necesario definir en primer lugar la ubicación de los puntos cinemáticos así como la de los ejes de referencia del brazo de suspensión en el vehículo.

En la siguiente imagen y tabla se observa la definición de los ejes de referencia adoptada por FIAT y GM-Opel para este vehículo así como las coordenadas de los puntos cinemáticos del brazo de suspensión híbrido:

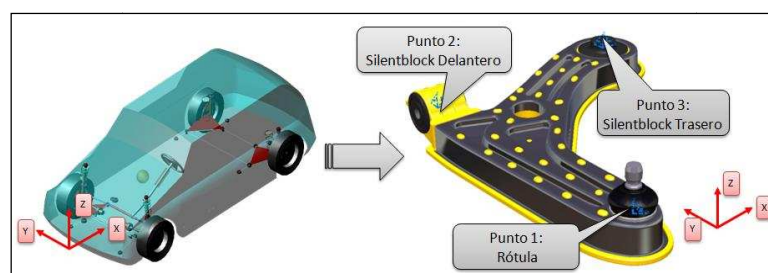


FIGURA 304: DEFINICIÓN PUNTOS CINEMÁTICOS Y EJES DE REFERENCIA BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO

PUNTOS CINEMÁTICOS BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO			
PROPIEDADES	X	Y	Z
RÓTULA	-21,10	-707,58	-98,49
SILENTBLOCK DELANTERO	-21,58	-367,70	-84,06
SILENTBLOCK TRASERO	240,57	-384,85	-72,39

TABLA 56: PUNTOS CINEMÁTICOS DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –

3.2.2.- Definición del Cuaderno de Cargas a Simular y Condiciones de Contorno

Una vez determinados la posición y dirección de los ejes de referencia así como la posición y denominación de los puntos cinemáticos se define el cuaderno de cargas que será evaluado mediante el cálculo MEF.

3.2.2.1.- Rigidez Longitudinal (Eje X) y Transversal (Eje Y) del Brazo de Suspensión Híbrido Metal – Plástico

Para determinar la rigidez del brazo de suspensión en los ejes X e Y se aplica una carga estática creciente o un desplazamiento a velocidad controlada hasta que se produce el colapso del componente en los diferentes sentidos de estos ejes (+/- X // +/- Y) obteniendo como resultado una curva fuerza – desplazamiento.

Debido a que de estos cuatro ensayos sólo existen valores de carga objetivo para dos de ellos, para la dirección + X (comportamiento de rigidez en frenada), y para la dirección +Y (comportamiento frente a cargas laterales), en la simulación MEF sólo se estudia la respuesta del componente frente a estas sollicitaciones.

A continuación se especifican los valores de carga objetivo definidos para el proyecto:

↪ En el ensayo en la dirección positiva del eje X (+X) se definen en función del peso del vehículo (Q), en este caso 1.015Kg, tal y como se expone a continuación:

○ Carga de límite elástico:

$$C_{\text{Límite Elástico}} = 1,2 \cdot Q \cdot g = 1,2 \cdot 1015 \cdot 9,8 = 11,95 \text{ kN}$$

○ Carga de colapso:

$$C_{\text{Colapso}} = 1,4 \cdot Q \cdot g = 1,4 \cdot 1015 \cdot 9,8 = 13,95 \text{ kN}$$

↪ En el ensayo en la dirección positiva del eje Y (+Y) se definen en función de reparto del peso del vehículo (Q), en este caso 1.015Kg, entre el eje delantero (55%) y el trasero (45%) tal y como se expone a continuación:

○ Carga de límite elástico:

$$C_{\text{Límite Elástico}} = 4 \cdot Q_{\text{Del}} \cdot g = 4 \cdot 1015 \cdot 0,55 \cdot 9,8 = 21,90 \text{ kN}$$

○ Carga de colapso:

$$C_{\text{Colapso}} = 4,5 \cdot Q_{\text{Del}} \cdot g = 4,5 \cdot 1015 \cdot 0,55 \cdot 9,8 = 24,60 \text{ kN}$$

En la siguiente imagen se muestra una gráfica tipo del ensayo de deformación en el eje X positivo, así como la definición de las condiciones de contorno que se aplican en el modelo CAD.

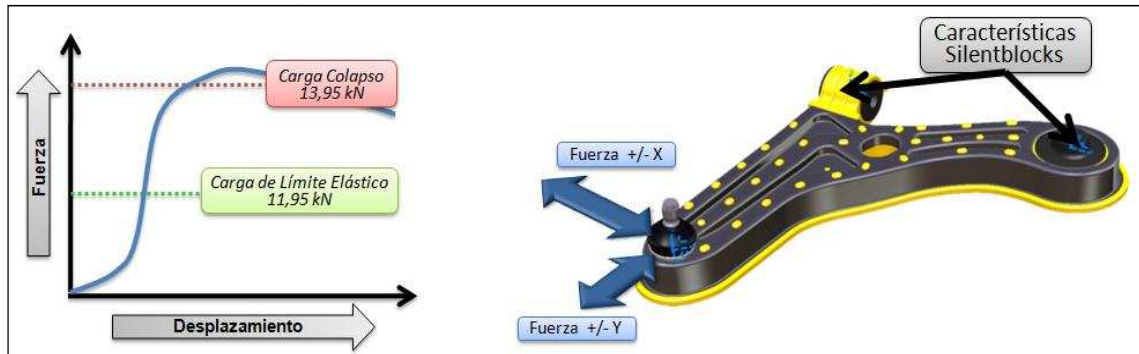


FIGURA 305: CONDICIONES DE CONTORNO / REQUISITOS ENSAYO DEFORMACIÓN BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

En este ensayo de deformación, en cuanto se refiere a las condiciones de contorno / restricciones de los grados de libertad se procede de la siguiente manera:

- ↪ Aplicación de carga: 50mm en 5 min, en dirección + X definida por cliente FIAT y GM-OPEL
- ↪ Rótula: Grado de libertad Z de la rótula restringido durante el ensayo en la dirección X y en la dirección Y
- ↪ Silentblock Delantero: Todos los grados de libertad restringidos introduciendo las características del silentblock delantero
- ↪ Silentblock Trasero: Todos los grados de libertad restringidos introduciendo las características del silentblock trasero

3.2.2.2.- Cargas en Servicio/Funcionamiento

Tras el análisis de la rigidez en los ejes +X e +Y se procede al análisis del comportamiento del brazo de suspensión híbrido cuando se le aplica el cuaderno de cargas de servicio o funcionamiento, las cuales fueron determinadas previamente en la simulación multicuerpos.

Este cuaderno de cargas, como se comentaba en el apartado anterior, contiene las cargas típicas que se producen durante la conducción como son cargas de frenado, aceleración, cambio de carril, etc. En la siguiente tabla se resumen las cargas obtenidas en la simulación multicuerpos:

CARGAS SIMULACIÓN BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO			
MANIOBRA	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]
FRENADA	4923	-2590	765
FRENADA EN CURVA	8248	-5931	1275
BACHE RESALTE	-1275	-5512	283
DOBLE CAMBIO DE CARRIL	-840	6449	-137
VOLANTAZO	-984	7042	-545
ENSAYO DE RADIO CONSTANTE	-814	5022	-111
ACELERACIÓN	-1455	-1319	-116

TABLA 57: CUADERNO DE CARGAS EN SERVICIO PARA EL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

Para llevar a cabo este análisis se definen las mismas condiciones de contorno para todas las cargas a simular, estas condiciones son:

- ↪ *Rótula:* Grado de libertad Z de la rótula restringido
- ↪ *Silentblock Delantero:* Todos los grados de libertad restringidos introduciendo las características del silentblock delantero
- ↪ *Silentblock Trasero:* Todos los grados de libertad restringidos introduciendo las características del silentblock trasero

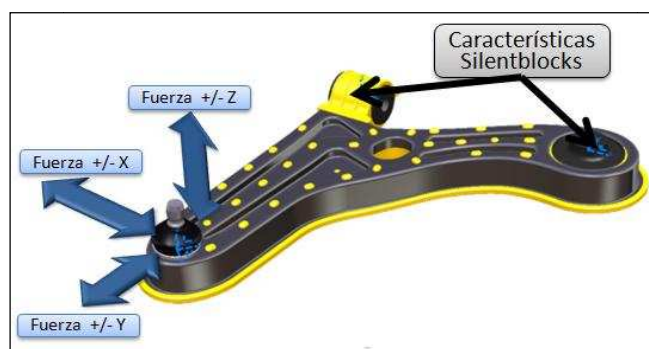


FIGURA 306: CONDICIONES DE CONTOURNO SIMULACIÓN CARGAS EN SERVICIO BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

Para la evaluación de los resultados obtenidos en la simulación de las diferentes cargas se definen los siguientes criterios:

- ↪ Distribución de Tensiones: $\sigma_{max} / \sigma_{VM} < 0,8 * \sigma_Y * CS$
 - CS = 1,25 para los casos de frenada
 - CS = 1,0 para el resto de cargas

Aplicando este criterio a los materiales metálicos empleados, el HC420La y el DP 600 se obtiene:

- ↪ HC420LA: $\sigma_Y = 510$ MPa
 - $\sigma_{\max} / \sigma_{VM} < 510$ MPa (frenada)
 - $\sigma_{\max} / \sigma_{VM} < 410$ MPa (resto de casos)
- ↪ DP 600: $\sigma_Y = 414$ MPa
 - $\sigma_{\max} / \sigma_{VM} < 414$ MPa (frenada)
 - $\sigma_{\max} / \sigma_{VM} < 330$ MPa (resto de casos)

3.2.3.- Definición del Mallado

Debido a que este punto es considerado Know-How generado en la empresa que no debe salir de ella, no se exponen muchos detalles del mismo. No obstante las preguntas que puedan surgir serán contestadas personalmente por el doctorando durante la Defensa de la presente Tesis Doctoral.

Inicialmente se empleó para las primeras simulaciones de los ensayos de deformación longitudinal y lateral una malla en hexaedros tanto para la chapa como para la estructura de nervios de plástico simulando también los contactos entre la chapa y el plástico. Estos elementos dan unos resultados aceptables pero causan problemas en el mallado de la chapa metálica debido al pequeño espesor de ésta (1,5 mm).

La razón de esta problemática reside en que, tal y como reflejan estudios internos en la empresa obtenidos de otros proyectos, para obtener buenos resultados en chapas de acero malladas con hexaedros es necesario disponer de al menos 3 o 4 elementos en el espesor del componente, lo cual se traduce en una malla muy densa ralentizando enormemente el proceso de cálculo.

Con el objetivo de solucionar esta problemática se decide mallar la chapa de acero en la superficie media con elementos “Quad4” para “Shell Parts” y utilizar tetraedros de 10 nodos “Tet10” para la estructura de nervios de plástico y simular los contactos entre la chapa de acero y el plástico también con elementos “Quad4” para “Shell Parts”. En la siguiente figura se muestra la segunda solución adoptada para el mallado:

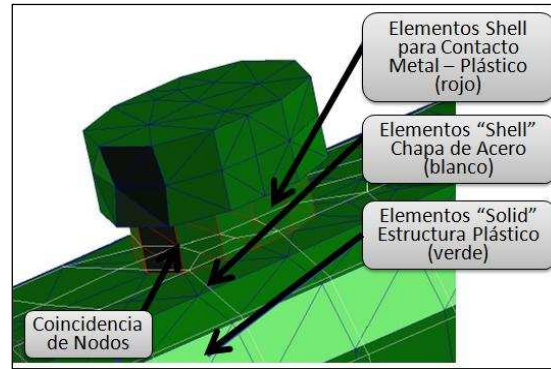


FIGURA 307: DETALLE MALLADO BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

3.2.4.- Definición del Software a Emplear

Finalmente cabe reseñar que los cálculos MEF se realizaron conjuntamente con el Departamento de Seguridad Activa de la Fundación CIDAUT en el marco de los proyectos de colaboración presentados en el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica, proyectos CDTI – IDI20060322 y PROFIT – 030000200580.

La decisión de trabajar conjuntamente con un centro tecnológico como CIDAUT y de presentar este proyecto a las Administraciones Públicas radica en la intención de promover las interacciones entre los factores externos a la empresa ZF Lemförder GmbH (Universidades - Administraciones Públicas - Empresas Proveedoras y/o Competidoras - Centros Tecnológicos) y el proyecto de innovación por ella promovido, tal y como se exponía en el Bloque I de la presente Tesis Doctoral cuando se definía el Modelo del Proceso de Innovación para el Bloque II.

Los objetivos finales que se persiguen con este trabajos conjuntos son el de aumentar el conocimiento de la empresa sin aumentar el capital personal de manera permanente, el de promover proyectos de interés común y de actuación conjunta que a la larga marquen generen ventajas competitivas a todas las partes implicadas y el de solucionar alguno de los problemas científicos o tecnológicos de carácter teórico que se den durante la ejecución del proyecto de innovación.

Retomando el tema del software elegido para el cálculo MEF, cabe reseñar que para los cálculos de las curvas de deformación y del comportamiento del componente en vehículo se elige MSC. Marc/Mentat en las versiones de 2005 y 2007 y para el análisis en fatiga se opta por el software FE-Safe, software con el que CIDAUT ya se encuentra bastante familiarizado gracias a su aplicación previa en el desarrollo de brazos de suspensión con

tecnología SMiCA, también desarrollado en un proyecto conjunto entre CIDAUT y la empresa ZF Lemförder GmbH.

Además de estos cálculos realizados por CIDAUT también se realizaron cálculos en ZF Lemförder GmbH de carácter interno, en los cuales se utilizó Abaqus. Estos cálculos sirvieron para observar las diferencias entre los resultados de los diferentes softwares, comprobando finalmente que ambos coincidían en las predicciones de comportamiento del brazo de suspensión híbrido.

3.3.- RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS MEF

Una vez definida la geometría CAD y el modelo para el cálculo MEF se procede a la realización de las diferentes simulaciones, aquellas que tienen como objetivo el determinar la viabilidad del producto y las que se utilizan para determinar la factibilidad de los procesos productivos. De estos últimos se estudia en detalle el proceso de conformado por estampación/embutición de la chapa de acero, al ser este proceso el que más influencia tiene en el comportamiento en servicio del futuro componente.

Al igual que sucede con la Definición del Mallado, y como ya se exponía anteriormente, debido al carácter público de este documento y, con el objetivo de proteger el Know-How de la empresa y por lo tanto la ventaja competitiva obtenida con la realización de este proyecto, no se presentan en él la totalidad del cálculos MEF realizados para la definición y optimización de la geometría, mostrando únicamente los ensayos de deformación en el eje X positivo. No obstante, una explicación más detallada de todos los cálculos MEF realizados, así como una respuesta a las preguntas que sobre este tema les pudiesen surgir a los miembros del Tribunal serán expuestas y/o contestadas por el doctorando durante la defensa de la presente Tesis Doctoral.

El primer paso para la validación virtual del concepto de brazo de suspensión híbrido metal – plástico consiste en determinar si el modelo CAD planteado cumple los requisitos de deformación en el eje +X, el ensayo más estricto de todos los planteados. A continuación una vez optimizada la geometría de una manera global en función de este requisito, y siguiendo la metodología expuesta al principio de este punto, se procede al análisis de la factibilidad de los procesos de fabricación asociados a la tecnología híbrida, el conformado de la chapa de acero y la inyección del material termoplástico, centrándose principalmente

en el estudio del primero, ya que es el que mayor influencia tiene en el comportamiento final del componente.

Mediante este estudio de los procesos productivos se pretende comprobar la viabilidad de los mismos, concretar las correcciones necesarias a implementar (radios, espesores, etc.) y en definitiva definir si es posible seguir adelante de cara a la fase de prototipos con los materiales planteados o no, concretamente con las dos calidades de acero de alto límite elástico debido a la problemática que puede surgir durante su proceso de conformado.

Finalmente, con la información obtenida en esta simulación del proceso de conformado, la distribución del mapa de espesores y la existencia de deformación plástica, se generará un nuevo modelo MEF para la chapa de acero, el cual será validado frente al resto de cargas en nuevas simulaciones MEF, obteniendo de esta manera unos resultados más ajustados al comportamiento real del mismo.

3.3.1.- Cálculo de la Rigidez Longitudinal del Brazo de Suspensión Híbrido Metal – Plástico

Como se comentaba en puntos anteriores, el ensayo para determinar la viabilidad del brazo de suspensión construido con la tecnología híbrida metal – plástico fue el ensayo de deformación según el eje X del vehículo automóvil consistente en la aplicación de una carga estática creciente o un desplazamiento a velocidad controlada hasta que se produce el colapso del componente.

A continuación se resumen las informaciones necesarias para llevar a cabo este cálculo MEF, las cuales ya fueron detalladas en los apartados anteriores:

3.3.1.1.- Materiales Empleados

↪ Chapa de Acero de Alto Límite Elástico

PROPIEDADES MECÁNICAS CHAPA DE ACERO		
PROPIEDAD MECÁNICA	HC420LA	DP600
MÓDULO DE YOUNG (MPa)	201.667	201.000
LÍMITE ELÁSTICO (MPa)	510	413
TENSIÓN ÚLTIMA (MPa)	601	660
DEFORMACIÓN A ROTURA (%)	29,1	22,8

TABLA 58: PROPIEDADES MECÁNICAS CHAPA DE ACERO DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO PARA CÁLCULO MEF

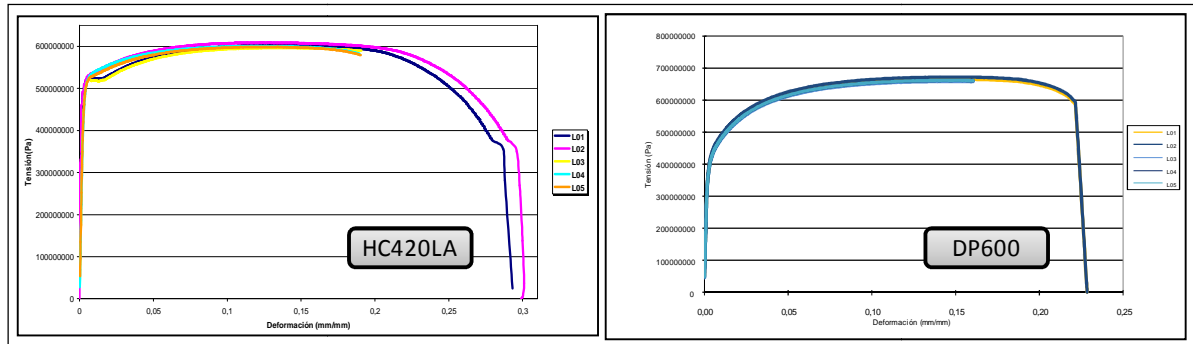


FIGURA 308: CURVAS TENSION – DEFORMACIÓN CHAPA DE ACERO PARA CÁLCULO MEF

↪ Material Polimérico Termoplástico

PROPIEDADES MECÁNICAS MATERIAL POLIMÉRICO	
PROPIEDAD MECÁNICA	DURETHAN BKV 130 SIN ACONDICIONAR
MÓDULO DE YOUNG (MPA)	9.400
LÍMITE ELÁSTICO (MPA)	≈ 100
MÁXIMA DEFORMACIÓN LINEAL (M/M)	0,0125
TENSIÓN ÚLTIMA (MPA)	≈ 160
DEFORMACIÓN A ROTURA (%)	0,035

TABLA 59: PROPIEDADES MECÁNICAS MATERIAL POLIMÉRICO TERMOPLÁSTICO PARA CÁLCULO MEF

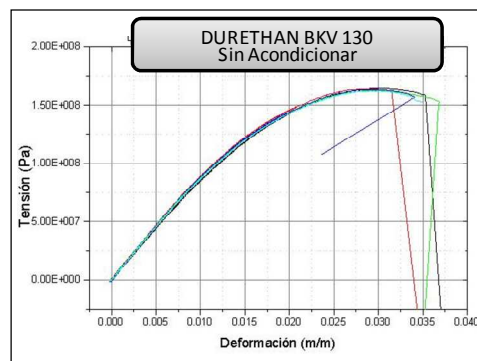


FIGURA 309: CURVA TENSION – DEFORMACIÓN MATERIAL TERMOPLÁSTICO PARA CÁLCULO MEF

3.3.1.2.- Condiciones de Contorno

↪ Para las condiciones de contorno de este ensayo de deformación según el eje X positivo se aplican las ya definidas anteriormente.

↪ Los valores de carga objetivo definidos para el ensayo en la dirección positiva del eje X (+X) en función del peso del vehículo $Q = 1.015\text{Kg}$ son:

- Carga de límite elástico = 11,95 kN / Carga de colapso = 13,95 kN

Para simular la conexión del brazo de suspensión con el bastidor-subframe se introdujeron las propiedades de los silentblocks expuestas anteriormente

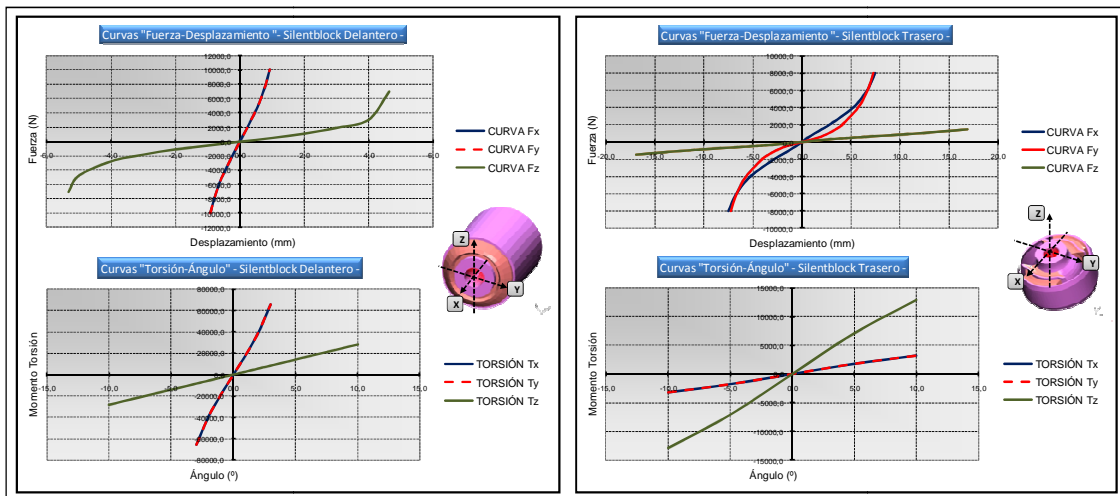


FIGURA 310: PROPIEDADES DE LOS SILENTBLOCKS PARA CÁLCULO MEF

3.3.1.3.- Diseño del Componente Versión 1

En las siguientes imágenes se expone el primer modelo diseñado para el brazo de suspensión híbrido:



FIGURA 311: MODELO CAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 1

En la siguiente tabla se resumen los pesos de los componentes de la primera versión del modelo CAD para el Brazo de Suspensión Híbrido del FIAT Grande Punto:

PESOS VERSIÓN 1 BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO		
PROPIEDADES	CHAPA ACERO 1,5 MM	ESTRUCTURA PLÁSTICO
DENSIDAD [G/CM ³]	7,85	1,35
PESO [Kg]	1,250	0,980

TABLA 60: PESOS MODELO CAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 1

3.3.1.4.- Mallado del modelo CAD

Para el modelo expuesto en la anterior imagen, se crea una malla en hexaedros tanto para la chapa de acero como para los nervios de material termoplástico a la vez que se implementan condiciones de contacto entre la chapa de acero y el material termoplástico.

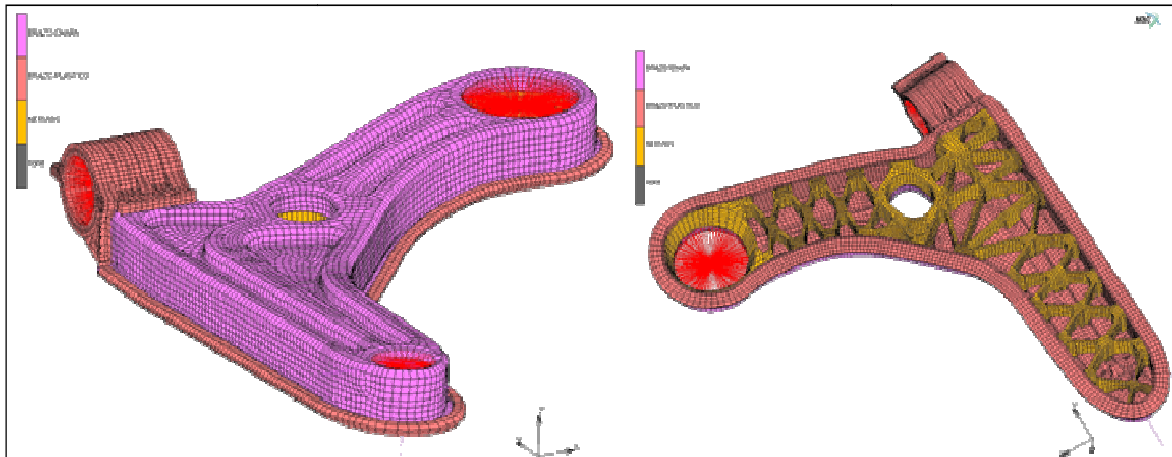


FIGURA 312: MODELO CÁLCULO MEF: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 1

3.3.1.5.- Resultados Obtenidos

Una vez definido el modelo MEF se procede a la realización de la simulación del ensayo de deformación en el software elegido. Los resultados obtenidos para el acero HC420LA en esta simulación se recogen en la siguiente gráfica e imágenes:

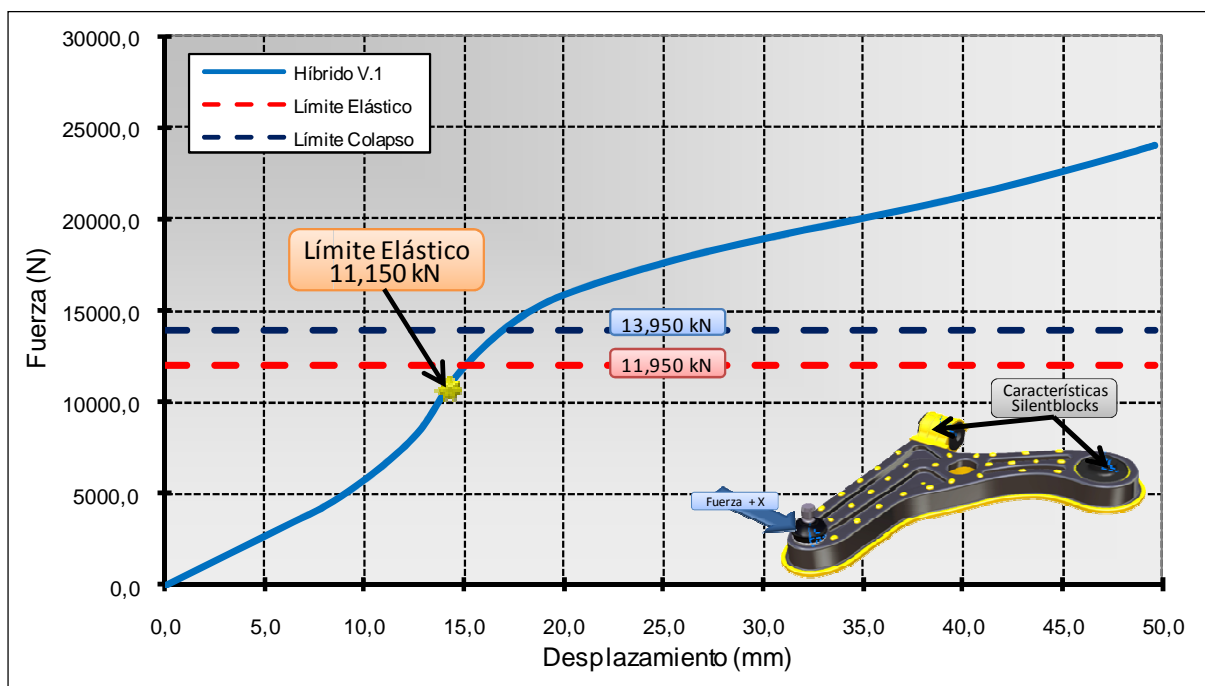


FIGURA 313: RESULTADOS MEF: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 1 (HC420LA)

En las siguientes imágenes se muestran algunos detalles del estado tensional y de la deformación de las diferentes partes que configuran el componente en el momento en el que se pierde la linealidad.

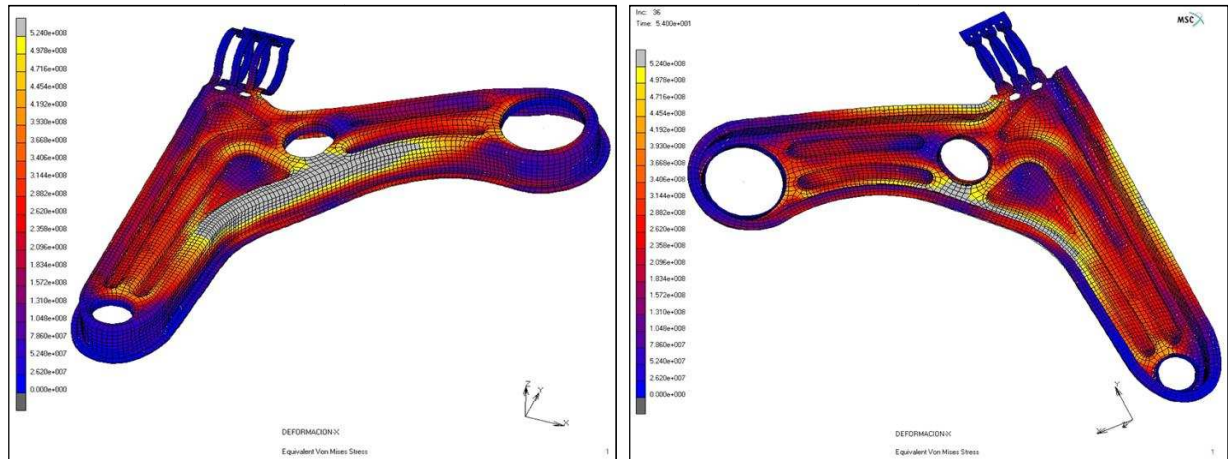


FIGURA 314: TENSIONES DE VON MISES CHAPA DE ACERO: MOMENTO DE PÉRDIDA DE LA LINEALIDAD. VERSIÓN 1

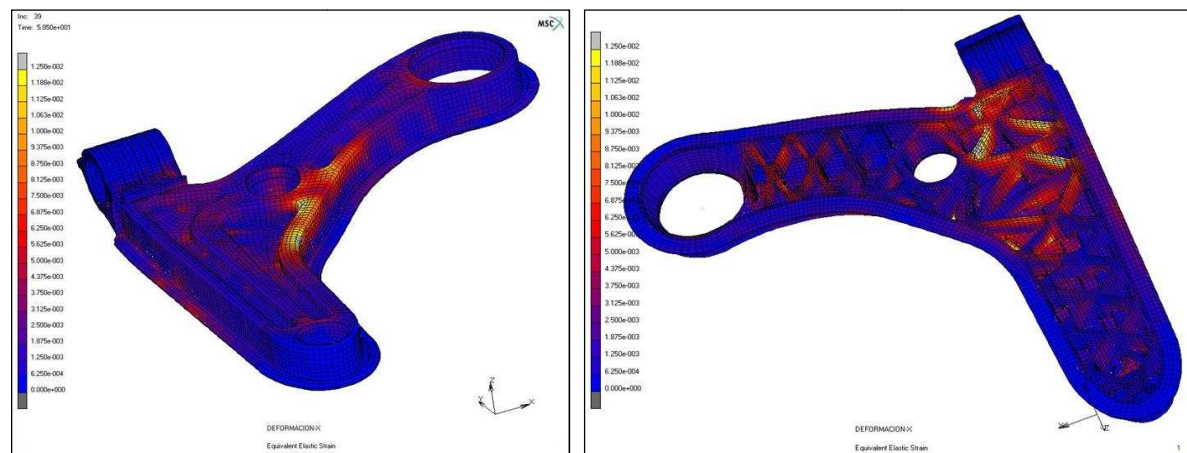


FIGURA 315: DEFORMACIÓN DE LOS NERVIOS DE PLÁSTICO: MOMENTO DE PÉRDIDA DE LA LINEALIDAD VERSIÓN 1

Tras el estudio detallado de los resultados obtenidos en la simulación se sacan las siguientes conclusiones:

- ↪ La versión 1.0 del modelo CAD para el brazo de suspensión híbrido del FIAT Grande Punto no cumple las especificaciones. Para mejorar los resultados se decide:
- ↪ Modificar la chapa de acero, tratando de suavizar más la curvatura de la cara interior en el punto en el cuál el brazo comienza a plastificar
- ↪ Disponer los nervios entre el silentblock delantero y la curva interna de la chapa de otra forma con el fin de que los nervios trabajen al tiempo que la chapa de acero

3.3.1.6.- Diseño del Componente Versión 2

A partir de las directrices marcadas anteriormente se crea una segunda versión para el brazo de suspensión híbrido, la cual se muestra en la siguiente imagen:



FIGURA 316: *MODELO CAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 2*

En la siguiente tabla se resumen los pesos de los componentes de la segunda versión del modelo CAD para el Brazo de Suspensión Híbrido del FIAT Grande Punto:

PESOS VERSIÓN 2 BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO		
PROPIEDADES	CHAPA ACERO 1,5 MM	ESTRUCTURA PLÁSTICO
DENSIDAD [G/CM ³]	7,85	1,35
PESO [KG]	1,270	1,030

TABLA 61: *PESOS MODELO CAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 2*

3.3.1.7.- Mallado del modelo CAD Versión 2

Para el modelo expuesto en la anterior imagen, se crea una malla en hexaedros tanto para la chapa de acero como para los nervios de material termoplásticos a la vez que se implementan condiciones de contacto entre la chapa de acero y el material termoplástico.

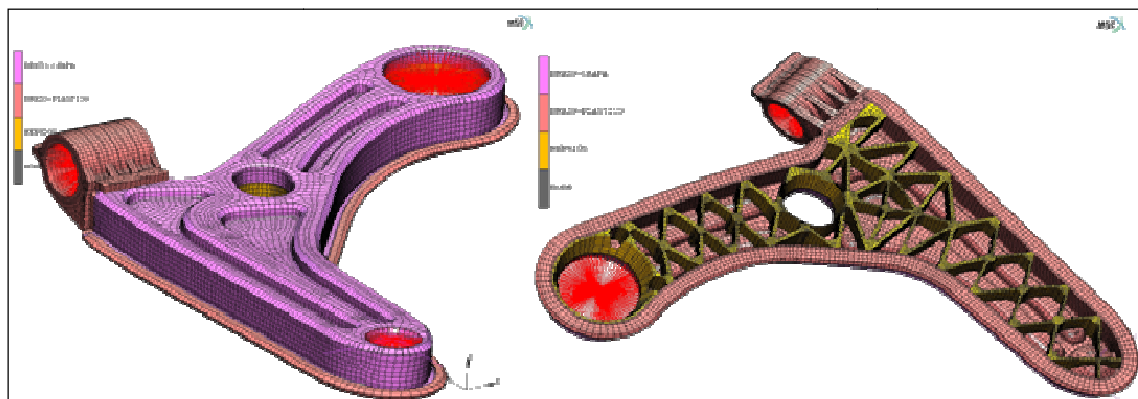


FIGURA 317: *MODELO CÁLCULO MEF: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 2*

Una vez definido el modelo MEF se procede a la realización de la simulación del ensayo de deformación en el software elegido. Los resultados obtenidos para el acero HC420LA en esta simulación se recogen en la siguiente gráfica e imágenes:

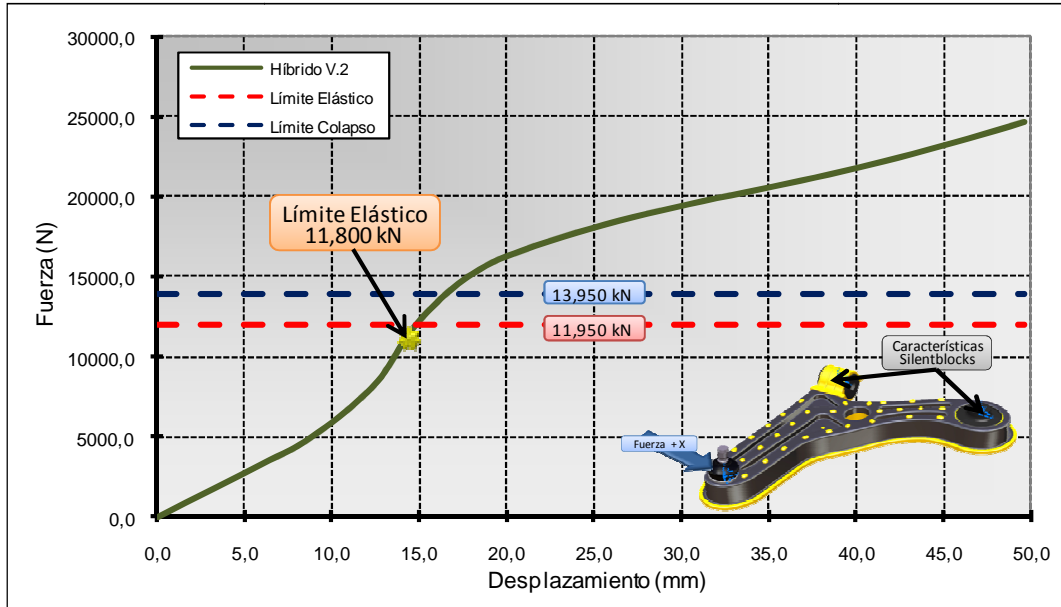


FIGURA 318: RESULTADOS MEF: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 2 (HC420LA)

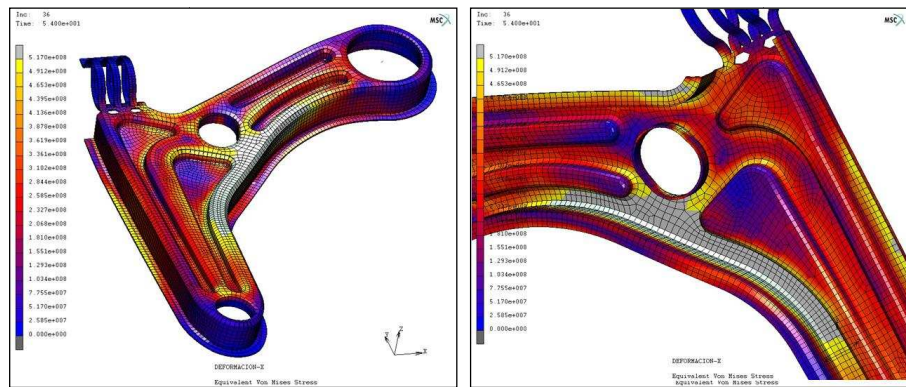


FIGURA 319: TENSIONES DE VON MISES CHAPA DE ACERO: MOMENTO DE PÉRDIDA DE LA LINEALIDAD. VERSIÓN 2

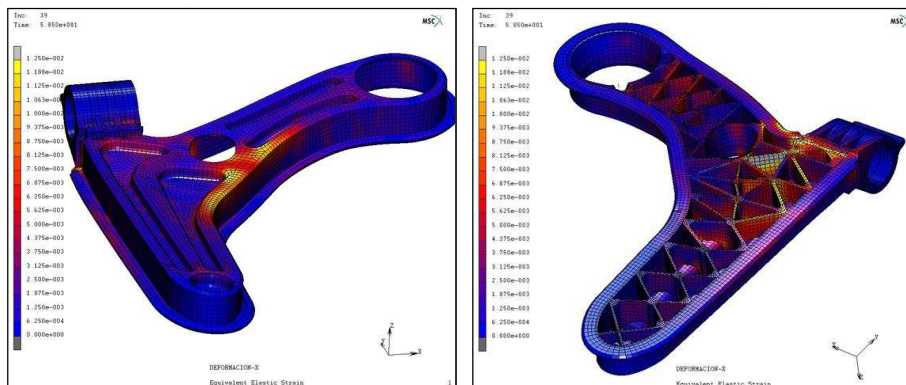


FIGURA 320: DEFORMACIÓN DE LOS NERVIOS DE PLÁSTICO: MOMENTO DE PÉRDIDA DE LA LINEALIDAD VERSIÓN 2

Tras el estudio detallado de los resultados obtenidos en la simulación se sacan las siguientes conclusiones:

- ↪ Las mejoras introducidas en la versión 1 han mejorado el comportamiento del brazo de suspensión considerablemente, observándose por ejemplo que en la chapa de acero el mapa tensional está más distribuido que en la versión inicial
- ↪ La versión 2.0 del modelo CAD para el brazo de suspensión híbrido del FIAT Grande Punto está muy cerca de cumplir las especificaciones. Para mejorar los resultados se decide:
 - ↪ Modificar la chapa de acero, tratando de suavizar más la curvatura en la zona cercana al silentblock delantero y en la curvatura de la cara interior en el punto en el cuál el brazo comienza a plastificar
 - ↪ Optimizar el diseño de los nervios añadiendo nervios en el sentido longitudinal para ayudar en el comportamiento a flexión del brazo así como estudiar la disposición de los mismos de cara al proceso productivo de inyección (diseño de nodos de unión según especificado en la Fase de Definición del Concepto)
 - ↪ Para el nuevo diseño se debe iniciar un bucle de simulación producto – proceso de moldeo por inyección con el objetivo de comprobar la viabilidad de este último así como concretar las correcciones necesarias a implementar (radios, espesores, etc.)

3.3.1.8.- Diseño del Componente Versión 3

A partir de las directrices marcadas anteriormente se crea una tercera versión para el brazo de suspensión híbrido, la cual es validada mediante simulación del proceso de inyección con el software MoldFlow:

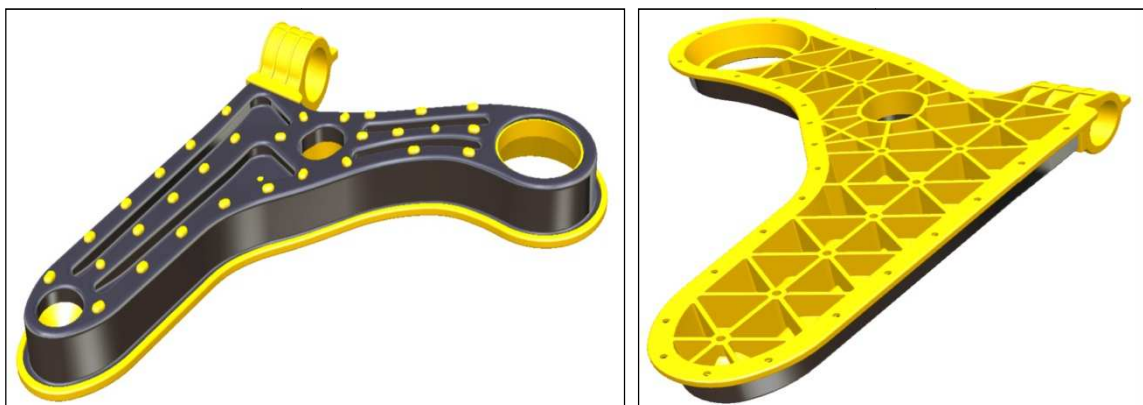


FIGURA 321: MODELO CAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 3

En la siguiente tabla se resumen los pesos de los componentes de la tercera versión del modelo CAD para el Brazo de Suspensión Híbrido del FIAT Grande Punto:

PESOS VERSIÓN 3 BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO		
PROPIEDADES	CHAPA ACERO 1,5 MM	ESTRUCTURA PLÁSTICO
DENSIDAD [G/CM ³]	7,85	1,35
PESO [KG]	1,250	1,100

TABLA 62: PESOS MODELO CAD: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 2

3.3.1.9.- Mallado del modelo CAD Versión 3

Para el modelo expuesto en la anterior imagen, se crea una malla en hexaedros tanto para la chapa de acero como para los nervios de material termoplásticos a la vez que se implementan condiciones de contacto entre la chapa de acero y el material termoplástico.

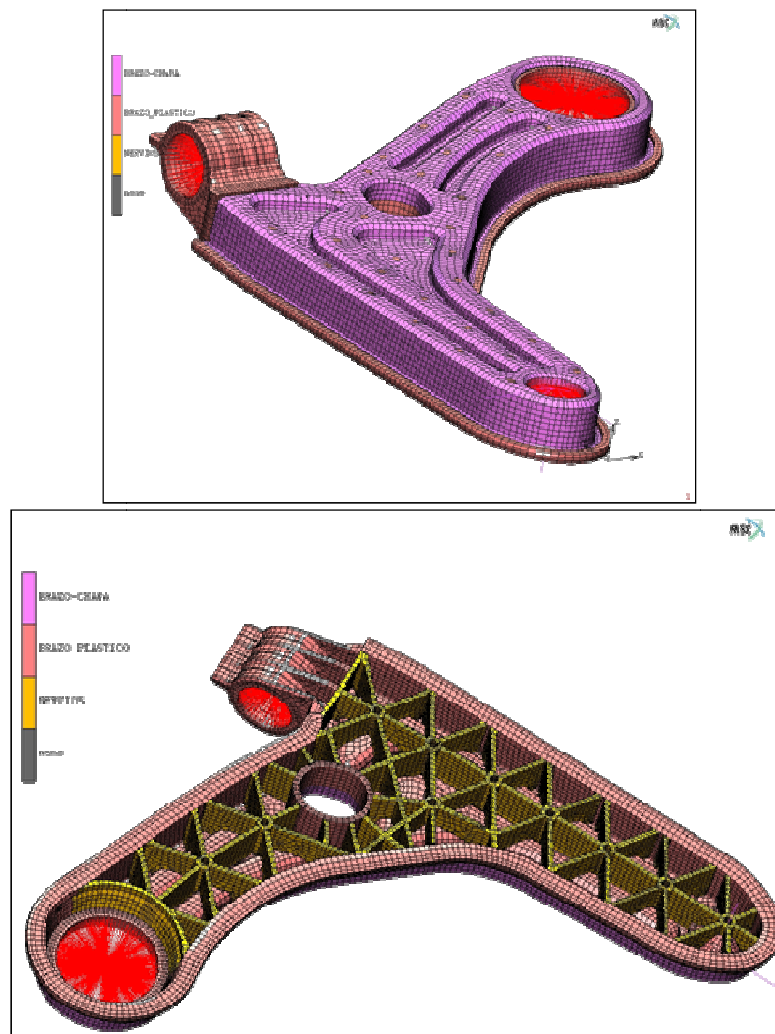


FIGURA 322: MODELO CÁLCULO MEF: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 3

Una vez definido el modelo MEF se procede a la realización de la simulación del ensayo de deformación en el software elegido. Los resultados obtenidos para el acero HC420LA en esta simulación se recogen en la siguiente gráfica e imágenes:

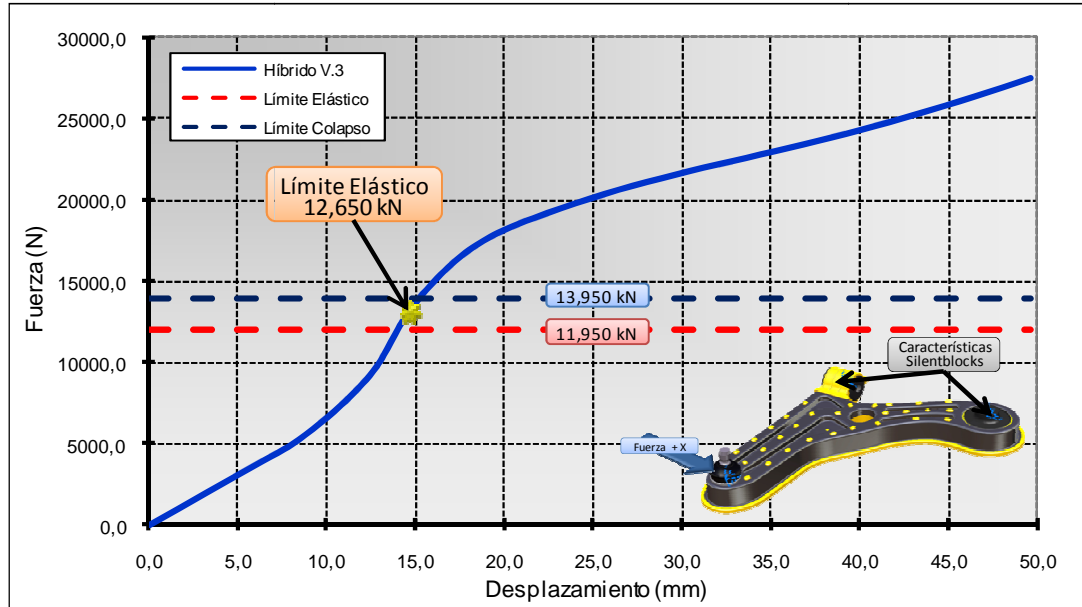


FIGURA 323: RESULTADOS MEF: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO VERSIÓN 3 (HC420LA)

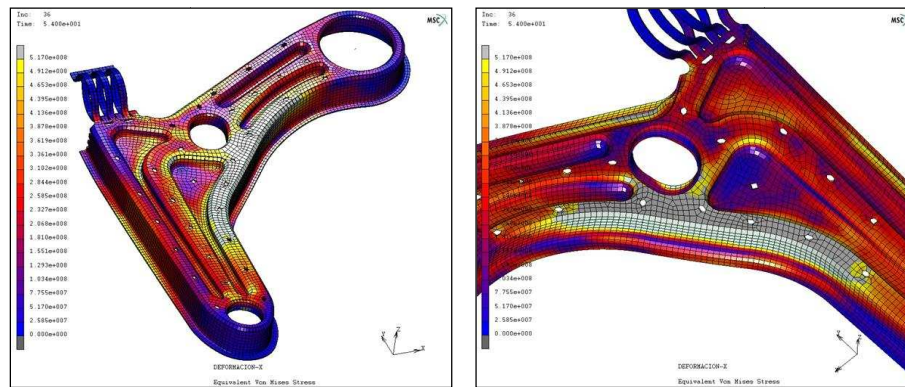


FIGURA 324: TENSIONES DE VON MISES CHAPA DE ACERO: MOMENTO DE PÉRDIDA DE LA LINEALIDAD. VERSIÓN 3

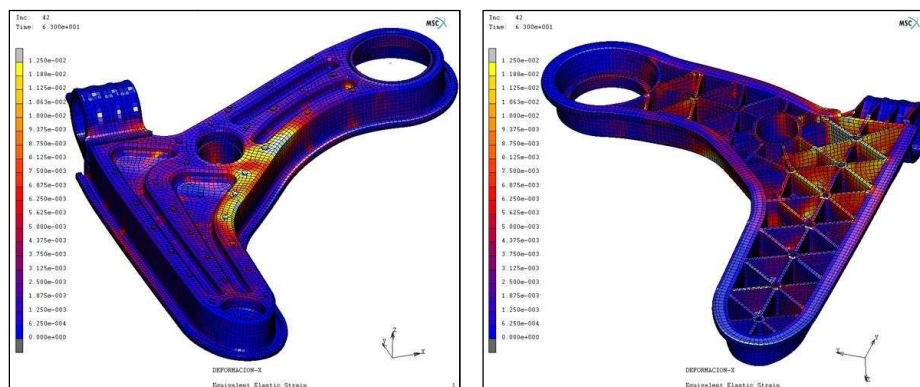


FIGURA 325: DEFORMACIÓN DE LOS NERVIOS DE PLÁSTICO: MOMENTO DE PÉRDIDA DE LA LINEALIDAD VERSIÓN 3

Tras el estudio detallado de los resultados obtenidos en la simulación se sacan las siguientes conclusiones:

- ↪ La versión 3.0 del modelo CAD para el brazo de suspensión híbrido del FIAT Grande Punto cumple las especificaciones de cliente.
- ↪ Las mejoras introducidas con respecto a la versión 2 han mejorado el comportamiento del brazo de suspensión considerablemente tanto para la chapa de acero como principalmente para la estructura nervada de material termoplástico donde se observa una mejor distribución de las deformaciones
- ↪ Tras los resultados de las siguientes simulaciones (ensayo en +Y y cargas en servicio) se estudiará la posibilidad de reducir el nervado en la zona de la rotula y del silentblock trasero ya que no trabaja, con lo que se conseguiría una reducción de la masa de material polimérico termoplástico y por tanto del conjunto
- ↪ Se ha definido una geometría para la combinación híbrida chapa de acero de alto límite elástico HC420LA y el material termoplástico DURETHAN BKV 130 sin acondicionar que cumple los requisitos y una solución para la combinación híbrida chapa de acero de alto límite elástico DP600 y el material termoplástico DURETHAN BKV 130 sin acondicionar a partir de la versión 3 de la primera, la cual presenta, como era de esperar, peor comportamiento en el ensayo de deformación
- ↪ Se ha estudiado la factibilidad del conformado de la chapa de acero mediante la herramienta de simulación Autoform-OneStep. Este software permite realizar rápidas aproximaciones sobre los puntos críticos que se pueden encontrar durante el proceso de estampación/embutición ayudando por tanto a optimizar el diseño del componente adaptándolo a las necesidades del proceso de conformado
- ↪ A la vista de los resultados obtenidos con el software de simulación Autoform-OneStep se observa que el acero HC420LA presenta pequeños problemas en los radios de fondo de las huellas embutidas mientras que el DP600 presenta grandes problemas debido a la recuperación elástica del material. Esto conduce a la necesidad de estudiar profundamente la factibilidad del proceso de conformado para las distintas calidades de chapa de acero y en función de ésta, determinar si es viable o no buscar una solución para el brazo de suspensión híbrido con la chapa de acero DP600
- ↪ Con el objetivo de optimizar el diseño de la estructura de nervios de material termoplástico y a la vez estudiar la viabilidad del proceso productivo se han llevado a cabo simulaciones con MoldFlow en la versión 3 del diseño las cuales han ayudado a

dimensionar el espesor final de las paredes de los nervios, radios de redondeo, geometrías de los nodos de unión, etc.

Finalmente se presentan en la siguiente gráfica una comparativa de los resultados de los cálculos MEF para las tres versiones y las dos familias de materiales:

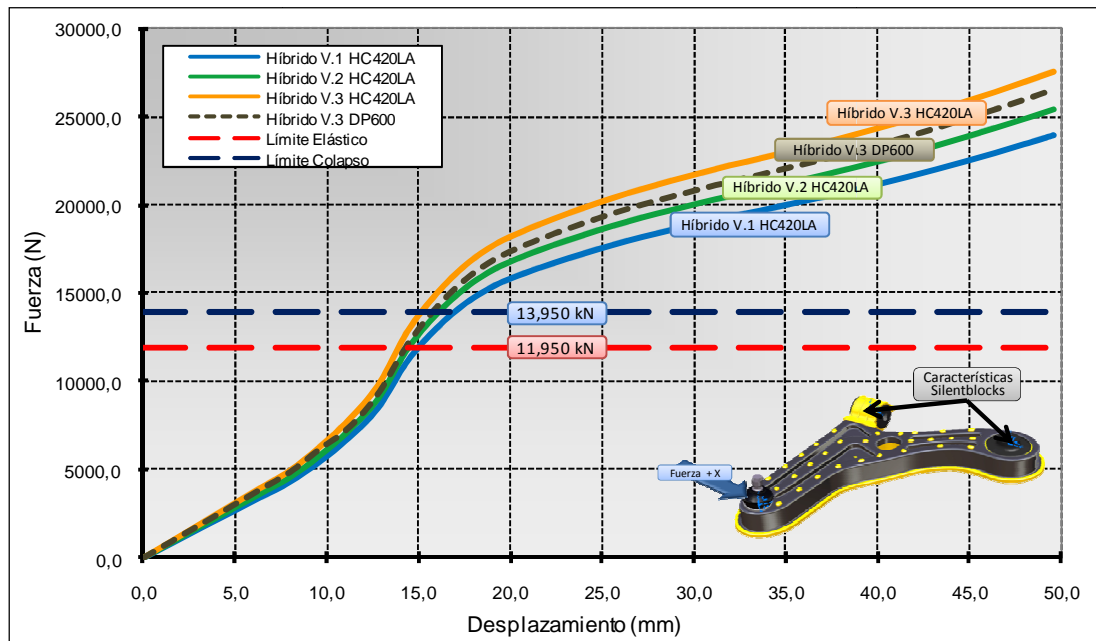


FIGURA 326: RESULTADOS MEF TOTALES: BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO FIAT GRANDE PUNTO

3.3.2.- Resultados Estudio MEF del Proceso de Conformado de la Chapa de Acero

Una de las conclusiones o tareas que se desprendían del punto anterior es la necesidad de estudiar profundamente el proceso de conformado para las dos calidades de chapa de acero, el HC420La y el DP600.

Este estudio cobra una gran importancia en el desarrollo de un componente, en nuestro caso un brazo de suspensión, fabricado mediante la tecnología híbrida metal – plástico ya que, como se exponía en los apartados anteriores, de los dos procesos productivos que integran esta tecnología, el proceso de conformado por estampación/embutición es el más crítico. Esta criticidad se deriva de los requisitos de comportamiento del producto y de los requisitos de los procesos productivos que sobre este componente recaen, los cuales se exponen a continuación

↪ *El comportamiento del componente en funcionamiento en vehículo:* Ya que reducciones de espesores en puntos críticos pueden derivar en fisuras que se propagan hasta producir la fractura súbita del componente

↳ *La viabilidad del proceso de moldeo por inyección:* Factores del acabado final de la pieza metálica conformada, como por ejemplo los derivados de la recuperación elástica o spring-back-effect, pueden hacer que la pieza no pueda ser introducida correctamente en el utillaje moldeo por inyección de material termoplástico

Para llevar a cabo este estudio de simulación del proceso de conformado de la chapa de acero por estampación/embutición se utiliza el conocimiento generado en la *Fase de Definición del Concepto*, fase en la que se seleccionaba, ajustaba y ponía a punto una herramienta de simulación para tal fin, el software Autoform.

En este software se introducen como datos de partida el modelo CAD generado en CATIA, en el cual queda definida la geometría y el espesor de la pieza, y las propiedades mecánicas del material, en concreto los resultados del ensayo de tracción y del diagrama límite de conformado (curva FLD), datos que se obtuvieron en la caracterización de los materiales metálicos llevada a cabo anteriormente.

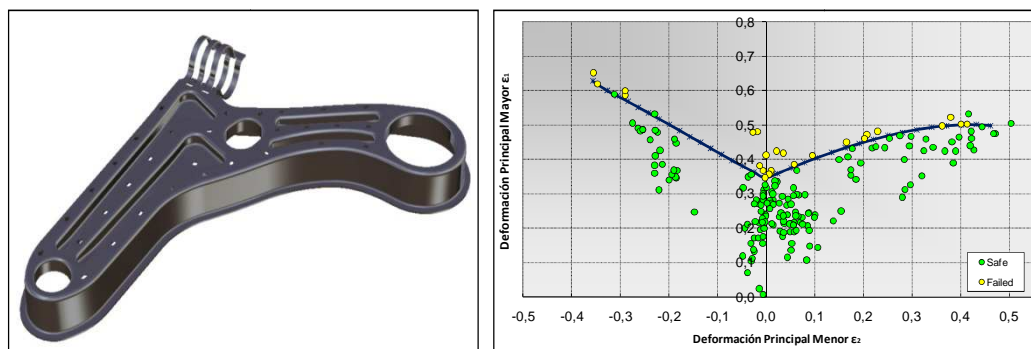


FIGURA 327: DATOS DE ENTRADA SIMULACIÓN PROCESO DE CONFORMADO POR ESTAMPACIÓN – MATERIAL HC420LA –

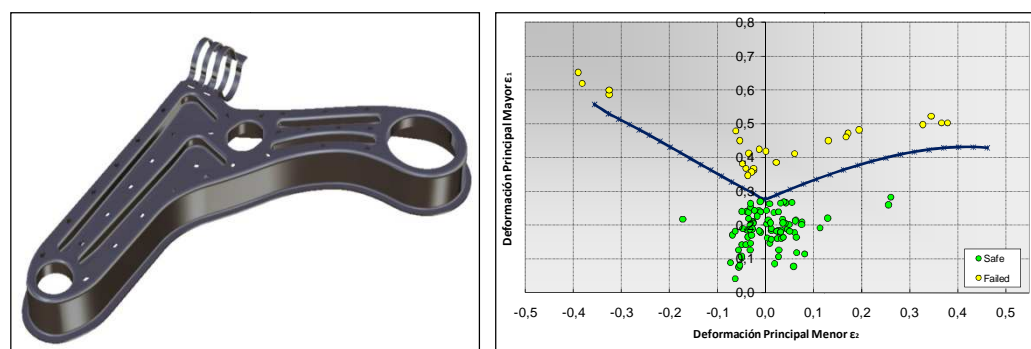


FIGURA 328: DATOS DE ENTRADA SIMULACIÓN PROCESO DE CONFORMADO POR ESTAMPACIÓN – MATERIAL DP600 –

Una vez definidos los datos de entrada y los parámetros se procede a la simulación del proceso de estampación/embutición para los diferentes materiales siguiendo la metodología definida en las fases anteriores. A continuación se muestran los resultados de esta

simulación, los cuales aportan información muy interesante, tanto sobre el proceso de transformación como para la determinación del comportamiento del componente durante su vida en servicio.

El primer resultado que se obtiene, como se observa en la siguiente imagen, son los lugares en los que pueden aparecer dificultades en los diferentes pasos del proceso de transformación para el material HC420LA:

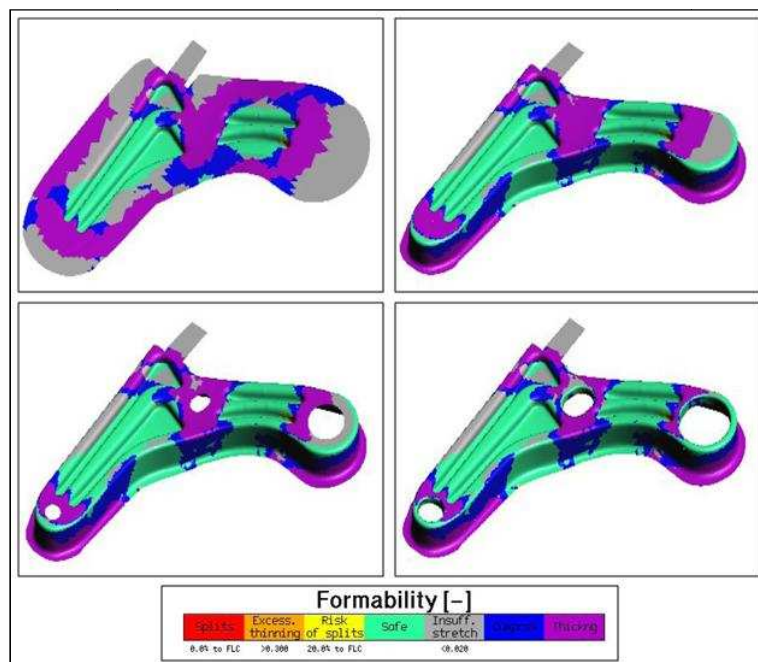


FIGURA 329: ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL PROCESO DE CONFORMADO – MATERIAL HC420LA –

Analizando las imágenes anteriores se observa que para el material HC420LA no existe ninguna zona crítica en la que se pueda producir riesgo de rotura durante la embutición. Sin embargo sí aparecen zonas en las que es posible que se generen arrugas lo cual requiere de la realización del proceso de embutición en más etapas para asegurar el correcto estirado del material. Por lo tanto, y a la vista de estos resultados, se concluye que la geometría es procesable con este material.

Por otro lado, analizando los resultados obtenidos para el DP 600 se observa que estos son prácticamente idénticos a los que se obtienen para el HC420LA. No obstante, tal y como se esperaba tras las pruebas que condujeron a la obtención de la curva FLD, presenta una recuperación elástica mayor, produciendo cambios en la geometría y dimensiones finales del componente, así como zonas donde se pueden producir roturas, las cuales se encuentran en los cuellos embutidos para la ubicación del silentblock trasero y de la rótula,

en las huellas embutidas para incrementar la rigidez del brazo y en la zona cercana al silentblock delantero, tal y como se muestra en las siguientes imágenes:

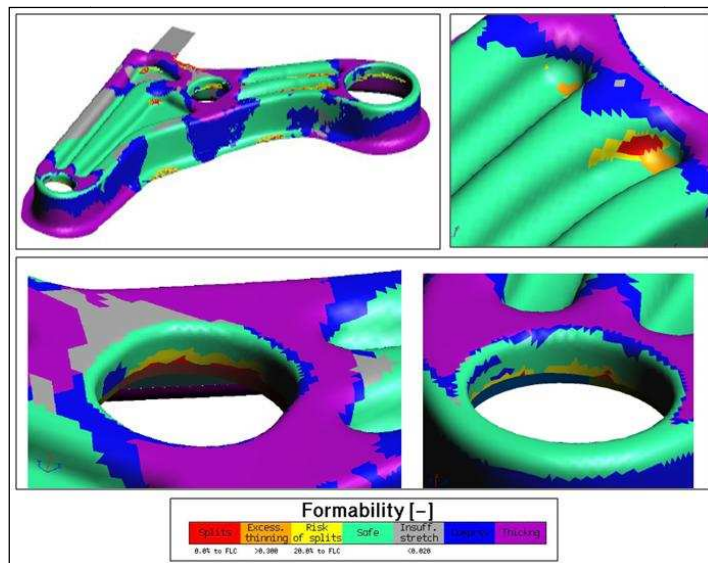


FIGURA 330: ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL PROCESO DE CONFORMADO – MATERIAL DP600–

En la siguiente imagen se presenta la problemática debida al efecto de recuperación elástica para las dos calidades de acero:



FIGURA 331: FENÓMENO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA DEL MATERIAL (GRIS HC420LA – ROJO DP600)

Debido a la problemática detectada en el material DP600 se decide continuar el desarrollo del brazo de suspensión con el material HC420LA pero sin olvidar completamente el primero, ya que se decide, una vez estén listos los utillajes de estampación, llevar a cabo alguna prueba con este material y observar si los resultados de la simulación son del todo correctos o no.

Además del estudio de la viabilidad o no del conformado de chapa presentado en los párrafos anteriores, mediante la simulación MEF del proceso de conformado se pueden analizar otros parámetros de gran importancia para el comportamiento en servicio del componente, como son la variación del espesor y la existencia de deformación plástica.

En la siguiente imagen se muestran los resultados obtenidos en referencia al primero de estos parámetros:

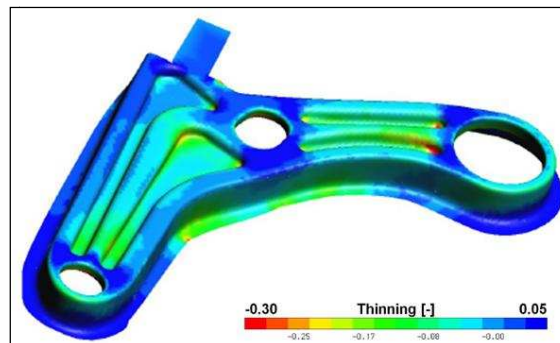


FIGURA 332: VARIACIÓN DEL ESPESOR EN LA CHAPA DE ACERO – MATERIAL HC420LA –

Analizando los resultados mostrados en esta imagen se observa que los lugares donde se produce una reducción del espesor más importante se corresponden con aquellos en que la deformación plástica es mayor y al mismo tiempo son los que tienen un comportamiento más crítico en cuanto a la posible aparición de rotura. Por el contrario, aquellas zonas en las que se incrementa el espesor, no se produce deformación plástica y existe tendencia a la presencia de arrugas por el excedente de material.

3.4.- DISEÑO FINAL DEL COMPONENTE: FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS

Tras el análisis de factibilidad del proceso de conformado de la chapa de acero se implementa el mapa de espesores en el modelo MEF y se simula el comportamiento del componente frente al cuaderno de cargas determinado en la simulación multicuerpos, en el cual se recogen contiene las cargas típicas que se producen durante la conducción como son cargas de frenado, aceleración, cambio de carril, etc.

Los resultados que se obtienen en estos análisis, para el componente diseñado en la versión 3 expuesta anteriormente, son totalmente satisfactorios ya que en ninguno de los casos de carga indicados se produce plasticidad, siendo simplemente necesario corregir/optimizar la disposición del nervado plástico en cuanto se refiere al espesor de los nervios y puntos de unión con el brazo para mejorar el comportamiento total del brazo de suspensión híbrido.

Este éxito en la fase de desarrollo teórico del componente conduce a la congelación del diseño y a la creación de planos para iniciar a continuación la fase de desarrollo y

construcción de los utillajes para la final fabricación de los prototipos, los cuales serán validados en el banco de ensayos para correlacionar los resultados teóricos y corregir, si es necesario, alguno de los modelos paramétricos de simulación creados.

En las siguientes imágenes se muestra el diseño del brazo híbrido congelado para la fabricación de los primeros prototipos:

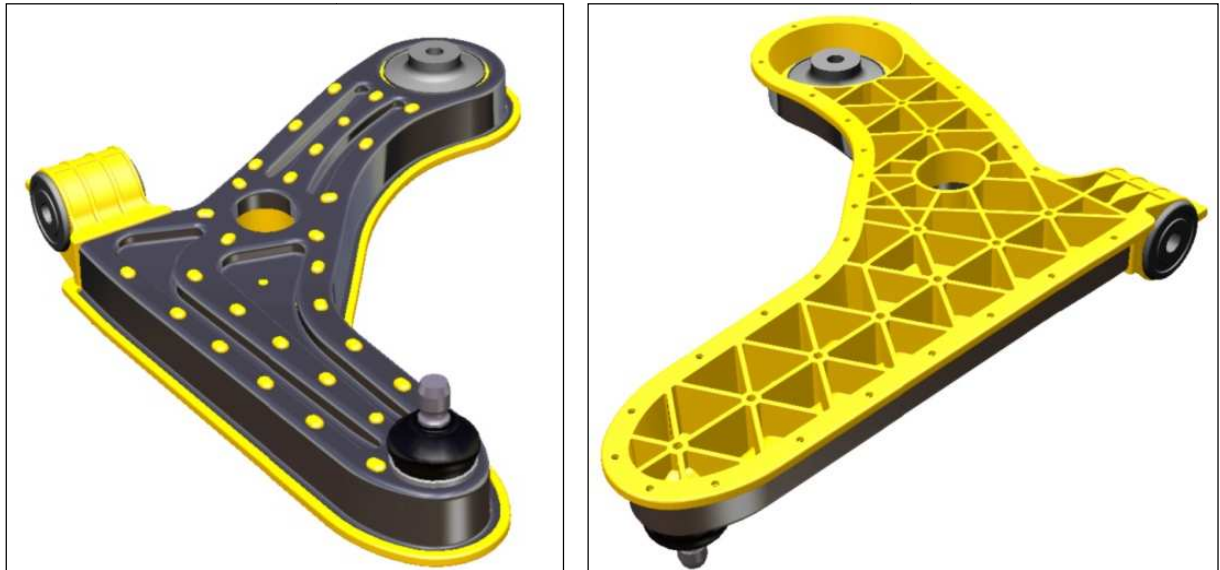


FIGURA 333: DISEÑO FINAL DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO – FIAT GRANDE PUNTO (AÑO 2006) –

3.5.- CONCLUSIONES DEL DISEÑO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

Una vez concluidas las actividades de esta tercera fase para la definición y optimización del diseño del producto y del proceso, en la cual se definían los modelos CAD para los diferentes componentes del brazo de suspensión, se creaban los modelos MEF para la validación teórica de los mismos con herramientas de simulación mediante el método de los elementos finitos y finalmente se realizaban estos cálculos tanto para determinar la viabilidad del producto como la del proceso, se sacaron las siguientes conclusiones:

- ↪ El conocimiento generado en las fases anteriores del proyecto de innovación presentado en la Tesis Doctoral han sido de gran ayuda de cara al diseño de los modelos CAD de los diferentes componentes ya que se conocía perfectamente los requisitos de cada uno de ellos, su criticidad, así como las reglas de diseño a seguir
- ↪ Asimismo, la puesta a punto de las herramientas de simulación MEF realizada en la Fase de Definición del Concepto han permitido acortar los plazos de tiempo en el desarrollo del componente ofreciendo además una buena calidad de resultados

- ↳ La metodología creada para la validación del comportamiento del componente en vehículo mediante las simulaciones MEF en las que se tiene en cuenta la información referente a los procesos productivos permiten ajustar el diseño del brazo de suspensión híbrido de manera teórica sin la necesidad de fabricar prototipos, reduciendo así los costes y tiempos de desarrollo del proyecto, aspectos que mejoran sustancialmente la competitividad de la empresa
- ↳ La metodología creada para el desarrollo del brazo de suspensión híbrido puede aplicarse al desarrollo de otros componentes de la empresa como pueden ser rótulas de suspensión, manguetas, etc.

DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL COMPONENTE

1.- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UTILLAJES PARA LA FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS

Una vez desarrollada la metodología de diseño de brazos de suspensión en tecnología híbrida de metal – plástico y habiendo creado y validado teóricamente mediante estudios de simulación MEF de producto, comportamiento de un brazo de suspensión en vehículo, y de procesos productivos, viabilidad o no de los mismos, se procede en esta etapa del proyecto a desarrollar y fabricar los útiles y herramientas necesarias para la posterior fabricación de los primeros prototipos.

Estos prototipos, como se verá en los siguientes capítulos de la Tesis serán destinados a la validación experimental del componente, la cual se utilizará finalmente para la correlación y ajuste de los resultados teóricos. Fruto de esta coyuntura se deriva la necesidad de fabricar unos utillajes modulares con postizos, que permitan ser fácilmente modificados sin la necesidad de hacer un gran desembolso económico, permitiendo así reducir tiempos y costes de las modificaciones de los mismos, si se diese el caso de que se encontrase necesario tras la fase de validación de la solución modificar la geometría inicial.

En este proceso de desarrollo y fabricación de utillajes se diferencian claramente dos fases, las cuales se detallan en los siguientes puntos de este capítulo:

- ↪ Desarrollo y construcción diseño de los utillajes para el conformado por estampación/ embutición de la chapa de acero de alto límite elástico
- ↪ Desarrollo y diseño de los utillajes para el moldeo por inyección de material polimérico termoplástico

1.1.- DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UTILLAJES PARA EL CONFORMADO DE LA CHAPA DE ACERO

En esta fase del proyecto se define todo lo referente al proceso conformado por estampación/embutición de la chapa de acero de alto límite elástico.

Cabe destacar que gracias al trabajo realizado en los apartados anteriores se llegó a esta altura del proyecto con un gran conocimiento teórico de los parámetros del procesado al que se tenía que ver sometida la chapa de cara a la consecución de las piezas prototipos, con lo cual se facilitó en gran medida el diseño y desarrollo de los utillajes.

Debido a la complejidad de las operaciones posteriores que hay que realizar sobre el brazo de suspensión conformado en chapa, era un requisito imprescindible, para evitar problemas futuros en la inyección de material termoplástico, obtener un brazo estampado con unas tolerancias muy ajustadas, ya que el éxito o el fracaso de la unión entre plástico y metal radicaba aquí, con lo cual, tanto los troqueles del proceso de conformado de la chapa como el propio proceso se complicó sustancialmente.

De esta circunstancia se desprende la necesidad de utilizar una prensa hidráulica para el proceso de estampación/embutición de la chapa de acero, ya que ésta ofrece una gran flexibilidad así como la posibilidad de contemplar gradualmente la deformación que va sufriendo la chapa a lo largo del proceso de conformado. Este último aspecto tiene una gran importancia, ya que facilita las posibles correcciones en los troqueles y herramientas de conformado de cara a evitar adelgazamientos excesivos, arrugas y hasta roturas.

Para el desarrollo del utillaje de esta operación se toman como datos de entrada el modelo CAD dibujado en CATIA y los resultados de las simulaciones del proceso de conformado realizadas con Autoform. A partir de estos se definió un troquel de 7 pasos siendo el último un paso de calibrado para asegurar que todas las cotas están dentro de las tolerancias requeridas para el proceso de inyección.

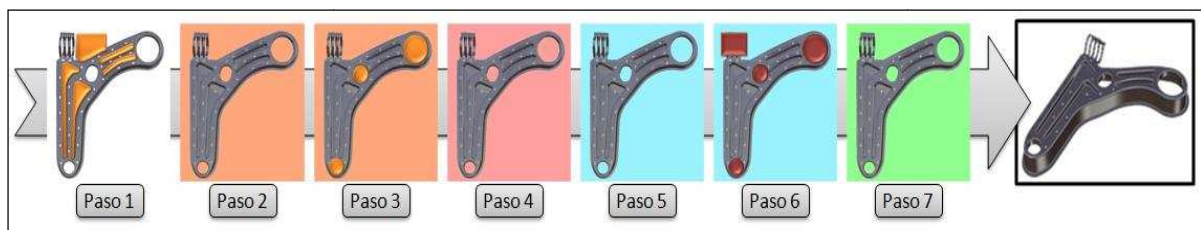


FIGURA 334: PASOS PROCESO DE CONFORMADO BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO

En las siguientes fotografías se pueden observar algunos de los troqueles desarrollados y construidos, los cuales serán empleados para la fabricación de los prototipos:



FIGURA 335: *UTILLAJES PARA EL CONFORMADO DE LA CHAPA DE ACERO DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO*

1.2.- DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UTILLAJES PARA EL CONFORMADO DE LA CHAPA DE ACERO

Una vez definido el proceso conformado por estampación/embutición de la chapa de acero de alto límite elástico según los requisitos marcados por el proceso de la inyección de plástico, se procede a desarrollar y fabricar el utillaje necesario para la operación mencionada.

La operación de inyección de plástico, como ya se comentaba anteriormente, y que aunque a simple vista parece sencilla, se complica bastante debido a los requisitos de ajuste entre la pieza conformada de chapa metálica y el utillaje o molde en el que se completará la inyección de plástico.

De cara al desarrollo del utillaje de esta operación se utilizan como datos de entrada los procedentes los resultados de las simulaciones del proceso de moldeo por inyección realizadas con MoldFlow, el modelo CAD dibujado en CATIA y los informes dimensionales estadísticos de los primeros brazos de suspensión estampados. Estos últimos datos son muy importantes ya que se correlacionan con los datos del CAD para conseguir que el utillaje desarrollado encaje “como un guante” en nuestra pieza metálica y así evitar fugas del material plástico inyectado, consiguiendo finalmente una perfecta unión entre los dos componentes y garantizando de esta forma el buen comportamiento estático y dinámico del componente híbrido en el posterior proceso de validación.

El concepto de utillaje elegido fue un utillaje de postizos con el objetivo de poder modificar fácilmente las geometrías y disposición de los nervios de plástico que refuerzan la chapa de acero en un futuro, si se diese el caso de que se encontrase necesario tras la fase de validación de la solución. Este tipo de utillaje nos garantiza la posibilidad de modificar determinadas áreas del mismo sin la necesidad de crear un molde completamente nuevo para tal efecto.

El utillaje desarrollado consiste en sí mismo de una cama hembra mecanizada según el contorno exterior del brazo de chapa a partir del modelo CAD y con la información de los informes dimensionales, como se comentaba anteriormente, que lo envuelve completamente ajustando perfectamente en todo el contorno exterior y a través de la cual se realiza la inyección, y una cama macho con la geometría de los nervios que refuerzan la chapa. El

cierre de la cama macho con la hembra asegura la perfecta unión entre ambos materiales después del proceso de inyección así como la estanqueidad para evitar filtraciones de material plástico a zonas no deseadas. En las fotografías se puede observar el molde-utilillaje utilizado

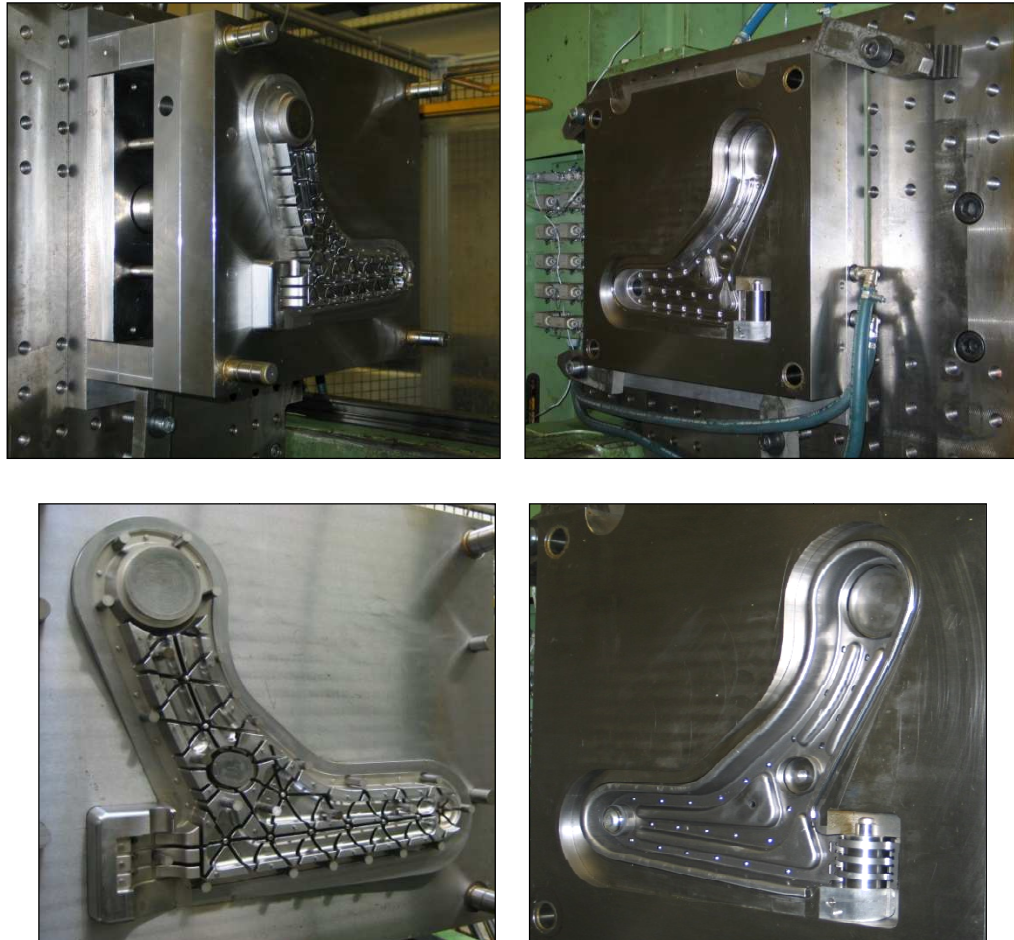


FIGURA 336: *UTILIAJES PARA EL MOLDEO POR INYECCIÓN DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO*

2.- FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS

Habiendo finalizado y realizado las pruebas pertinentes para determinar que la fase anterior estaba cerrada se pasa a la construcción de los prototipos para la fase de validación de la solución del producto mediante ensayos experimentales. Esta tarea de construcción se dividió en cuatro fases:

- ↳ Conformado por estampación/embutición de la chapa de acero de alto límite elástico para la creación del inserto metálico

- ↪ Fabricación de la rótula de suspensión
- ↪ Moldeo por inyección del material termoplástico
- ↪ Montaje final

2.1.- CONFORMADO DE LA CHAPA DE ACERO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

En esta fase del proyecto se procede a estampar los brazos en la prensa hidráulica equipada con el troquel de 7 pasos creado para tal fin.

En la operación partimos de una bobina de chapa de material HC420LA de la cual se corta mediante “corte láser” el desarrollo necesario para nuestro proceso de estampación-embutición que previamente fue determinado gracias a la simulación y análisis de los procesos de estampación llevados a cabo en las etapas anteriores del proyecto.

A continuación este desarrollo es introducido en la prensa donde sucesivamente se van realizando las diferentes operaciones de conformado de la chapa en los troqueles fabricados para dicho proceso.

En la imagen se puede apreciar el aspecto de alguno de los componentes durante una fase intermedia del proceso de estampación:

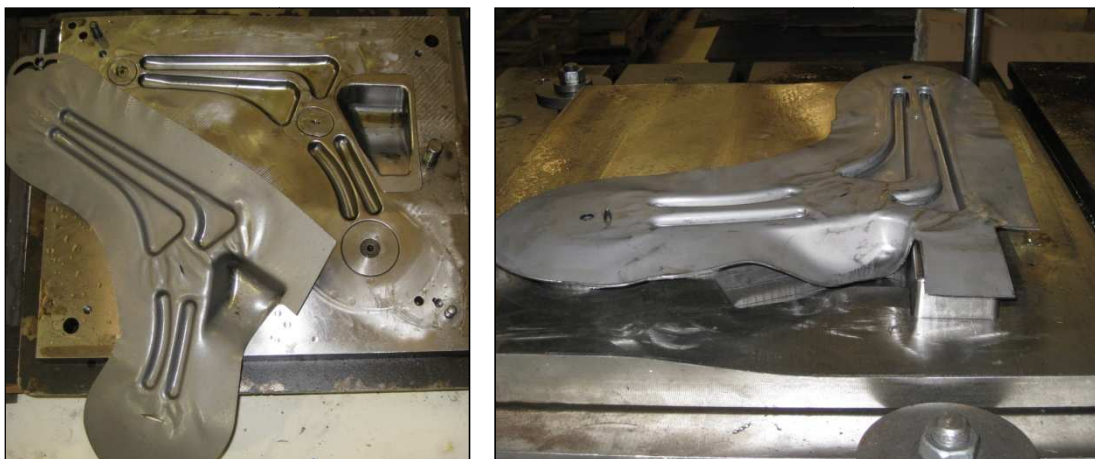


FIGURA 337: CHAPA DE ACERO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO DURANTE EL PROCESO CONFORMADO

Posteriormente, estos prototipos serán medidos en una máquina de medición tridimensional para comprobar si las dimensiones finales de la pieza conformada coinciden con las especificadas en el modelo CAD y en los planos de definición del producto.

Para ello se definen unos puntos de referencia en el modelo CAD los cuales son chequeados uno a uno en la pieza física. Es importante destacar que esta actividad, aunque se presenta aquí, fue realizada previamente a la construcción final del utillaje de inyección con el objetivo de realimentar la definición a partir del modelo CAD de este con los resultados reales obtenidos.

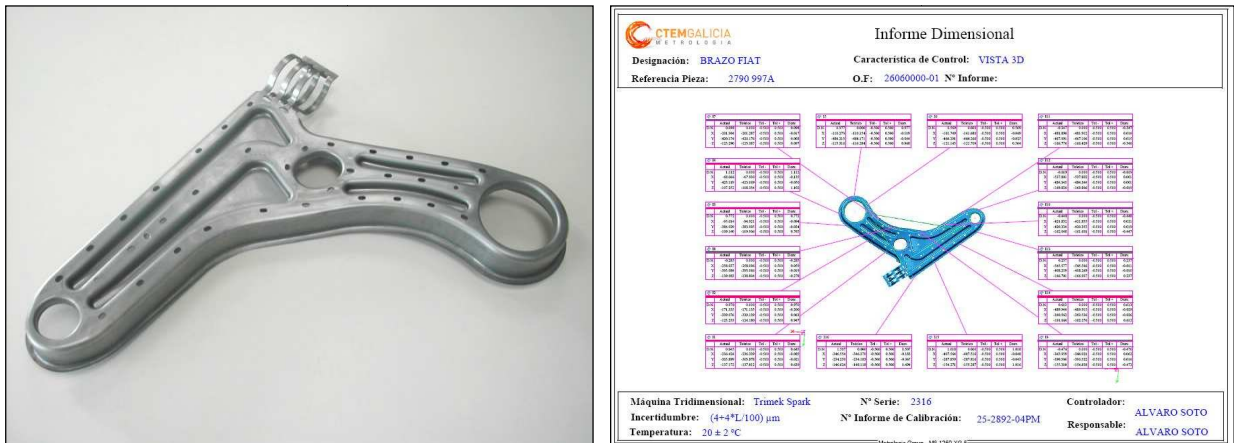


FIGURA 338: CONTROL DIMENSIONAL CHAPA DE ACERO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO – HC420LA –

Por último, una vez conformados todos los brazos con el material HC420LA se procede, como se indicaba anteriormente, a intentar conformar otros con la chapa de acero DP600 y observar si los resultados/problemática detectada en la simulación MEF es real o no.



FIGURA 339: RESULTADOS CONFORMADO CHAPA DE ACERO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO – DP 600 –

A la vista de los resultados obtenidos en el conformado de brazos de chapa de acero DP600, los cuales se muestran en la anterior imagen, queda patente que los resultados de la simulación MEF del proceso de conformado eran totalmente correctos, ya que predecían perfectamente una posible rotura en la zona cercana al silentblock delantero así como la problemática de las huellas embutidas.

2.2.- FABRICACIÓN DE LA RÓTULA DE SUSPENSIÓN

Como se comentaba en la definición del modelo CAD, la rótula empleada para los primeros prototipos es una adaptación de la actual rótula de series, la cual queda fijada al brazo mediante una unión metálica tipo Press-In entre la carcasa de la rótula y el brazo, la cual posteriormente se verá reforzada por la inyección de plástico.



FIGURA 340: *PROTOTIPOS DE LA RÓTULA DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO*

Finalizado el ensamblaje de la rótula se procede al estufado o atemperado de la misma con objeto de alcanzar los valores de pares y holguras establecidos en los cuadernos de carga de este tipo de componentes.

Una vez que se dispone de la rótula y del brazo de chapa de acero estampado protegido superficialmente con un recubrimiento de pintura por cataforesis negra, se procede a realizar el pre-montaje del componente rótula en el mismo.

En la siguiente imagen se observa el resultado final de esta operación:



FIGURA 341: *PROTOTIPOS BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO PRE-MONTADO PARA INYECCIÓN*

2.3.- MOLDEO POR INYECCIÓN DEL MATERIAL TERMOPLÁSTICO

Concluida ya las fases 1 y 2, y con el brazo de chapa conformado y la rótula encastrada, se puede empezar la operación de inyección de plástico según la geometría creada y validada mediante simulación cuyo objetivo es, como ya se comentó, otorgar al brazo una mayor rigidez con el mínimo peso a la vez que hacer de elemento integrador. Cabe reseñar que con el objetivo de simplificar este primer utillaje se decidió incorporar los silentblocks al conjunto en una operación final y no en el proceso de inyección como se planteaba inicialmente.

El proceso de moldeo por inyección se lleva a cabo en una máquina de inyección de material termoplástico con una presión de inyección de unos 70 MPa y una temperatura de unos 280°C, tal y como se determinó en la simulación del proceso de inyección con MoldFlow, la cual sirvió para determinar los principales parámetros de este proceso de inyección pudiendo así optimizar el proceso de manera virtual ahorrando tiempo y dinero.

En esta operación se parte del conjunto rótula-brazo de chapa, la cual fue conformada y calibrada en la fase anterior para asegurar el perfecto ajuste entre el molde de inyección y la chapa. Este conjunto es introducido en el molde de inyección para a continuación, una vez cerrado y sellado, proceder al propio proceso de inyección en el cual el plástico llena las cavidades mecanizadas en el molde según las geometrías dispuestas en el modelo CAD.

Una vez finalizado el proceso de inyección y habiéndose enfriado del todo el molde se procede a la extracción de nuestro brazo híbrido del mismo, que ya estará listo para la última operación, montaje de los silentblocks.

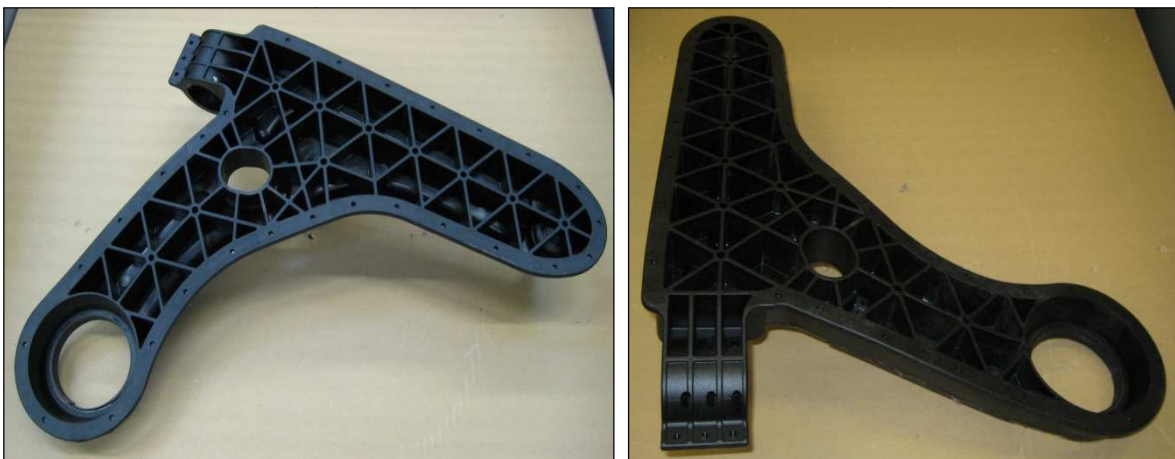


FIGURA 342: *PROTOTIPOS BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO METAL – PLÁSTICO*

2.4.- MONTAJE FINAL

Cuando se dispone del modelo híbrido de chapa metálica y material plástico con la rótula incorporada y perfectamente fijada se puede empezar con la última operación para la fabricación de los prototipos, la cual consiste en la inserción de los silentblocks delantero y trasero en el brazo de suspensión.

El proceso de montaje de los silentblocks es un simple proceso Press-In en el cual los bushing son insertados en el brazo en las zonas dispuestas para tal efecto. Para algunos de los ensayos se ha decidido emplear silentblocks rígidos, fabricados en PA, ya que permiten conocer mejor el comportamiento del brazo al observarse directamente como trabajan conjuntamente el metal y el plástico sin ninguna influencia externa.

En las siguientes imágenes se observa un brazo de suspensión híbrido metal – plástico con este tipo de silentblocks:



FIGURA 343: *PROTOTIPOS BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO METAL – PLÁSTICO CON SILENTBLOCKS*

2.5.- CONCLUSIONES DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UTILLAJES Y LA FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS

Una vez concluidas las actividades de esta cuarta fase, en la cual se desarrollaban y construían los utillajes para la obtención de prototipos para finalmente proceder a la fabricación de los mismos, se sacaron las siguientes conclusiones:

- ↪ El conocimiento generado en las fases anteriores del proyecto de innovación presentado en la Tesis Doctoral, especialmente el referente a los procesos de simulación de los procesos productivos, ha sido de gran ayuda de cara al diseño de los utillajes tanto para el conformado de la chapa de acero como para el moldeo por

inyección de material termoplástico, permitiendo ahorrar tiempo y dinero tanto en la fase de desarrollo como en la de construcción de los mismos

↪ En cuanto se refiere a los parámetros obtenidos teóricamente para los dos procesos productivos, cabe destacar que en estos también se ha alcanzado un resultado positivo en la correlación. Estos resultados se observan especialmente en el proceso de conformado de la chapa de acero de material DP600 donde los resultados teóricos así como el tipo y localización del fallo coinciden casi al 100% con la realidad y en los parámetros calculados para la inyección de material termoplástico, los cuales también coinciden con los utilizados en la máquina de inyección (presión, temperatura de inyección, etc.)

↪ La metodología propuesta de simulación de los diferentes procesos productivos para su validación teórica permite en definitiva optimizar los tiempos de desarrollo así como los costes asociados a los mismos, aspectos que de nuevo mejoran sustancialmente la competitividad de la empresa

3.- VALIDACIÓN DE LOS PROTOTIPOS

Llegados a este punto se dispone ya de los prototipos del brazo de suspensión híbrido metal – plástico listos para la fase de validación de la solución, la cual se expone a continuación.

Esta tarea se descompone en las siguientes cuatro etapas:

- ↪ Diseño y fabricación de los utillajes para la validación de los prototipos
- ↪ Contraste de los resultados teóricos con los resultados experimentales
- ↪ Ajuste de los modelos de simulación MEF
- ↪ Realización de los ensayos de validación

3.1.- DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LOS UTILLAJES PARA LA VALIDACIÓN DE LOS PROTOTIPOS

Para la realización de las labores de validación ZF Lemförder GmbH dispone de un banco específico para el ensayo de brazos de suspensión. Dicho banco ha sido desarrollado

recientemente y durante su diseño se tuvo en cuenta que la geometría de los componentes a ensayar podía ser muy diversa, por lo que la flexibilidad de uso fue una premisa fundamental. Para alcanzar esta flexibilidad se optó utilizar una bancada sobre la que se podían fijar diversos actuadores y elementos de sujeción cuya posición podía variar en función de la geometría y el tamaño del componente a ensayar, tal y como se muestra en la siguiente imagen

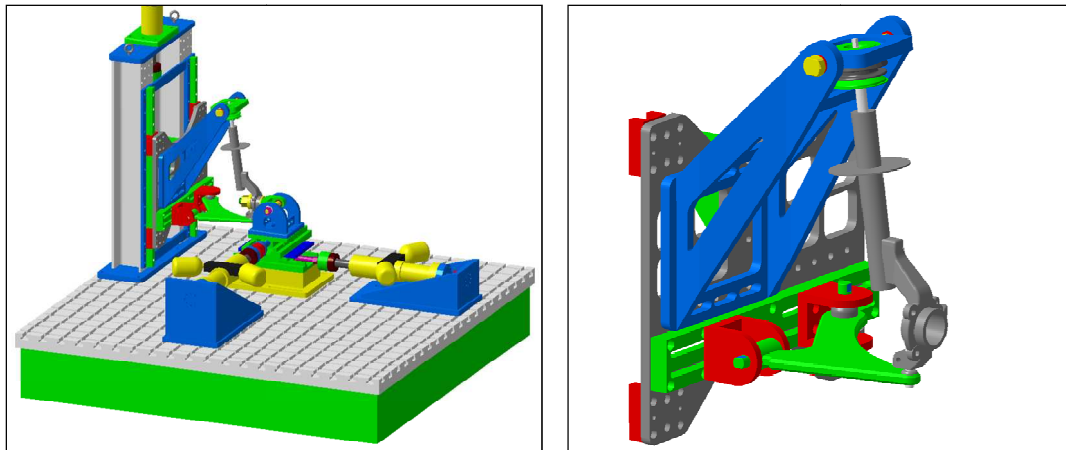


FIGURA 344: BANCO DE ENSAYOS PARA BRAZOS DE SUSPENSIÓN

El canon que hubo que pagar por esta gran flexibilidad es que la fijación de cada nuevo diseño de brazo con los actuadores y con los elementos de fijación debe ser diseñada y materializada. En cualquier caso son utillajes de pequeño tamaño y escasa dificultad técnica lo cual no acarrea grandes problemas ni complicaciones.

En las siguientes imágenes se muestran algunos ejemplos de las piezas desarrolladas para el brazo objeto del proyecto y la colocación de estas en el banco de ensayos para la validación:

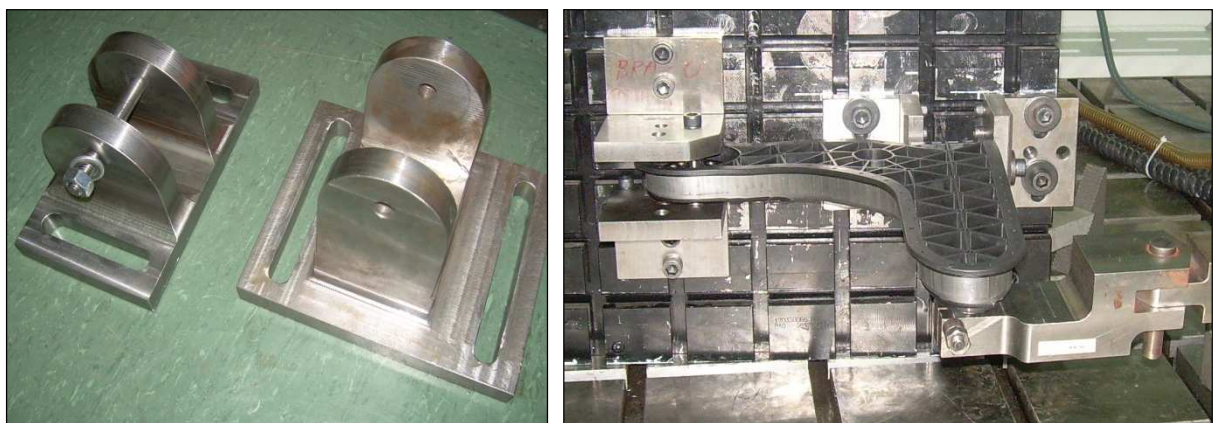


FIGURA 345: UTILLAJE PARA LA FIJACIÓN DEL BRAZO AL BANCO DE ENSAYOS

3.2.- CONTRASTE DE LOS RESULTADOS TEÓRICOS CON LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

En esta tarea se completaron unos ensayos estáticos de deformación en la dirección longitudinal (eje X positivo) del vehículo automóvil sobre los prototipos fabricados en la fase anterior. En ellos se instrumentó el brazo adecuadamente con el objetivo de medir los parámetros fundamentales del ensayo y contrastarlos con los resultados obtenidos en los cálculos mediante el método de los elementos finitos.

Para llevar a cabo este ensayo se utiliza el banco de ensayos para la validación de brazos de suspensión expuesto en el punto anterior, donde se dispone el brazo de suspensión híbrido respetando los ángulos e inclinación en vehículo, tal y como se muestra en la imagen. A continuación se aplica una fuerza creciente en la dirección X hasta que se produce primero la pérdida del comportamiento lineal del brazo de suspensión y posteriormente el colapso.

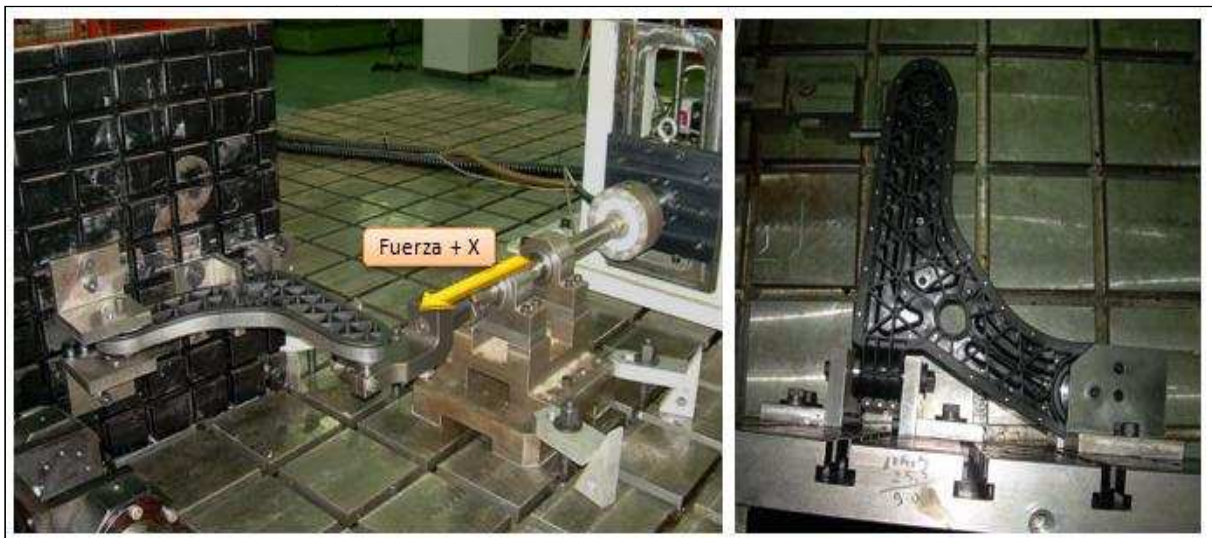


FIGURA 346: DISPOSICIÓN PARA EL ENSAYO EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL (EJE X POSITIVO)

Para este ensayo el objetivo es que el comportamiento lineal de este componente alcanzase al menos los 11,95 kN de carga, mientras que el colapso del componente debía tener lugar después de los 13,95 kN. Los resultados alcanzados mediante las simulaciones de cálculo MEF indicaban un comportamiento lineal hasta 12,65 kN y, analizando los resultados vimos que para cargas cercanas a los 15 kN el material termoplástico del refuerzo alcanzaba el límite máximo de alargamiento, por lo que para esta carga era previsible la rotura del componente.

Si analizamos ahora los resultados alcanzados mediante los ensayos experimentales podemos ver como el comportamiento elástico se mantiene hasta los 12,2 kN, es decir prácticamente se iguala el requerimiento del cuaderno de cargas y un 4% aproximadamente por debajo de lo calculado teóricamente. Para el colapso observamos en la gráfica que se produce para un valor de 15,7 kN, lo que supone prácticamente igualar el requerimiento del cuaderno de cargas y quedar un 4,5 % por encima del predicho mediante simulación.

Como se puede observar en ambos casos la desviación entre simulación y experimentación se encuentra en torno al 4 %. Sin embargo existe una diferencia, en el caso del límite de comportamiento elástico la simulación ha sido ligeramente optimista mientras que en el caso del colapso la predicción se encuentra del lado de la seguridad, es decir, el componente resiste algo más de lo calculado. En cualquier caso, la gran exactitud de los cálculos MEF hacen que el modelo utilizado sea perfectamente representativo de lo que sucede en la realidad.

Analizando en una misma gráfica de fuerza frente a desplazamiento los resultados obtenidos experimentalmente y los resultados obtenidos por simulación obtenemos los siguientes resultados.

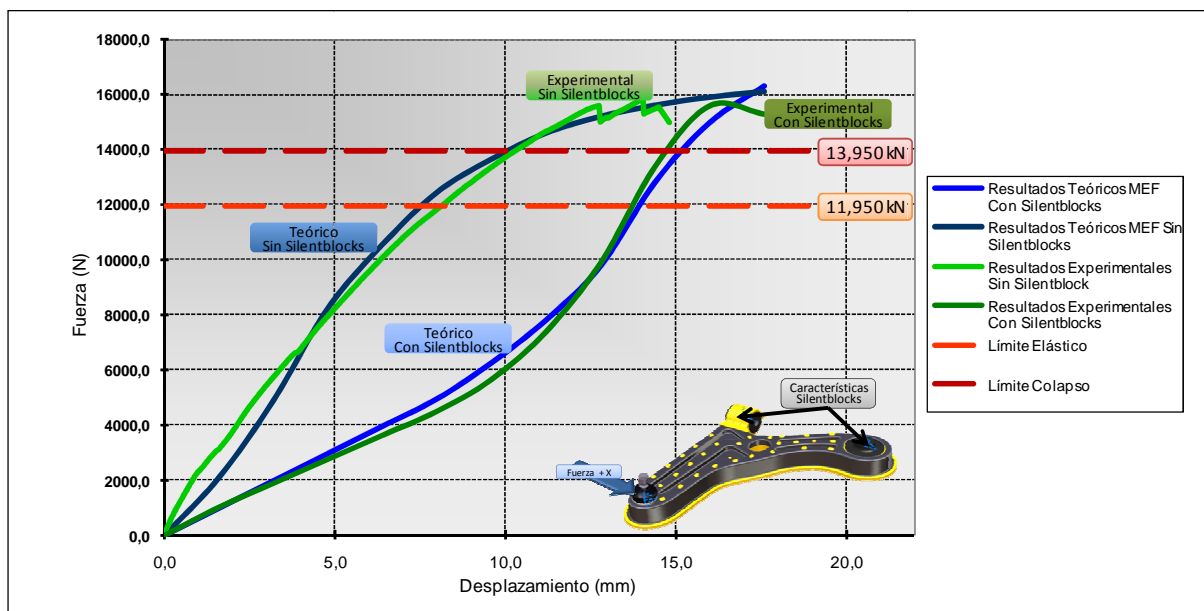


FIGURA 347: CORRELACIÓN RESULTADO EXPERIMENTAL VS. TEÓRICO-MEF ENSAYO DEFORMACIÓN LONGITUDINAL

Otro factor importante a analizar para saber el grado de exactitud del cálculo es comparar el modo de fallo. Para ello en las siguientes imágenes se muestran fotografías del componente una vez ensayado e imágenes del fallo del componente por simulación.

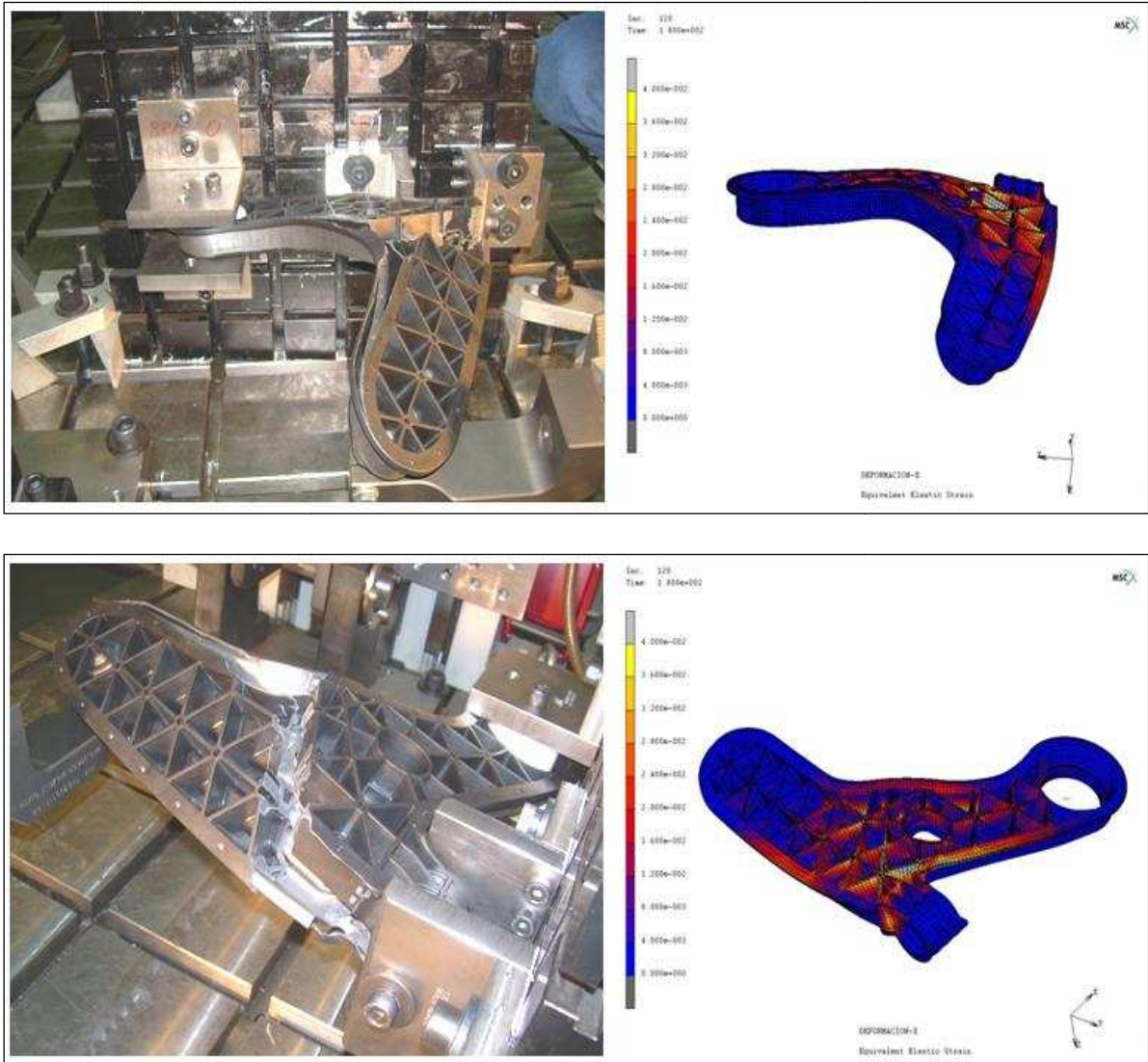


FIGURA 348: MODO DE FALLO RESULTADO EXPERIMENTAL VS. TEÓRICO-MEF ENSAYO DEFORMACIÓN LONGITUDINAL

3.3.- AJUSTE DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN MEF

Como se ha podido observar en el punto anterior el grado de correlación entre el modelo calculado mediante el método de los elementos finitos y los resultados alcanzados experimentalmente ha sido muy elevado, reproduciéndose además el modo de fallo y la deformada final del componente.

Por todos estos motivos se considera que el modelo empleado para el cálculo de la rigidez longitudinal, ensayo de deformación según el eje X del vehículo automóvil, reproduce con la suficiente exactitud el comportamiento del componente no siendo necesaria la realización de ningún tipo de ajuste.

3.4.- REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN

Una vez realizado el primer ensayo estático de deformación en dirección longitudinal, según el eje X, y de haber demostrado la validez del modelo de cálculo MEF empleado, se ha procedido a la realización del resto de los ensayos.

En primer lugar se realizan los ensayos de rigideces longitudinal y transversal. Para el primero se completan los ensayos de deformación en la dirección longitudinal ya realizados con la realización de los mismos pero en el sentido negativo (eje $-X$). En el caso de los ensayos en dirección transversal se completan los ensayos de deformaciones en los sentidos positivo y negativo de este eje ($+Y$ // $-Y$). Tras la realización de estos ensayos se observa que el brazo de suspensión híbrido cumple todos los requisitos marcados llamando la atención la gran resistencia que presenta en la dirección transversal positiva ($+Y$), la cual es debida a la actuación conjunta de la chapa con la estructura nervada. En las imágenes se muestran los resultados de alguno de estos ensayos:



FIGURA 349: RESULTADOS ENSAYO DE RIGIDECES LONGITUDINAL ($-X$) Y TRANSVERSAL ($+Y$ // $-Y$)

A continuación se somete al brazo de suspensión a las cargas determinadas en la simulación multicuerpos del vehículo completo, vinculadas a la realización de las maniobras más habituales en conducción. En concreto han sido el ensayo de frenada, de frenada en curva, de bache resalte, de doble cambio de carril, de volantazo, el ensayo de radio constante y de aceleración

Para la introducción de la carga de forma adecuada y garantizando la sincronización de los actuadores se ha utilizado software específico de control, en concreto RPC-Pro. Dicho software es el más utilizado para aplicar sobre los diferentes componentes cargas semejantes a las que se obtienen en una medición de carretera.

Los requerimientos que debía sufrir el componente para todas las cargas enumeradas anteriormente era no alcanzar en ningún momento el régimen plástico, es decir, que tras la aplicación de las cargas no existiese ninguna deformación permanente. Con objeto de comprobar esta especificación del cuaderno de cargas, tras la aplicación de las cargas se procedía a eliminar la presión de los actuadores, de tal forma que la fuerza aplicada por éstos fuese nula y se comprobaba que en estas circunstancias el desplazamiento de los puntos cinemáticos del brazo de suspensión fuesen nulos. Cabe destacar que el componente ha superado con éxito todas las sollicitaciones de cargas recogidas en el cuaderno de requerimientos.

Finalmente el brazo de suspensión híbrido es sometido a los ensayos de fatiga tanto en la dirección longitudinal, en la que la fuerza resultante tiene dirección paralela al eje X como en la transversal, en la que es paralela al eje Y.

En primer lugar se decide validar el componente frente a diferentes cargas cíclicas para construir una curva de tensión – vida, una curva Wöhler, con la que posteriormente se pudiese chequear de manera aproximada el comportamiento del componente frente a los bloques de carga que normalmente suministran los clientes en la fase de desarrollo de este tipo de componentes de seguridad.

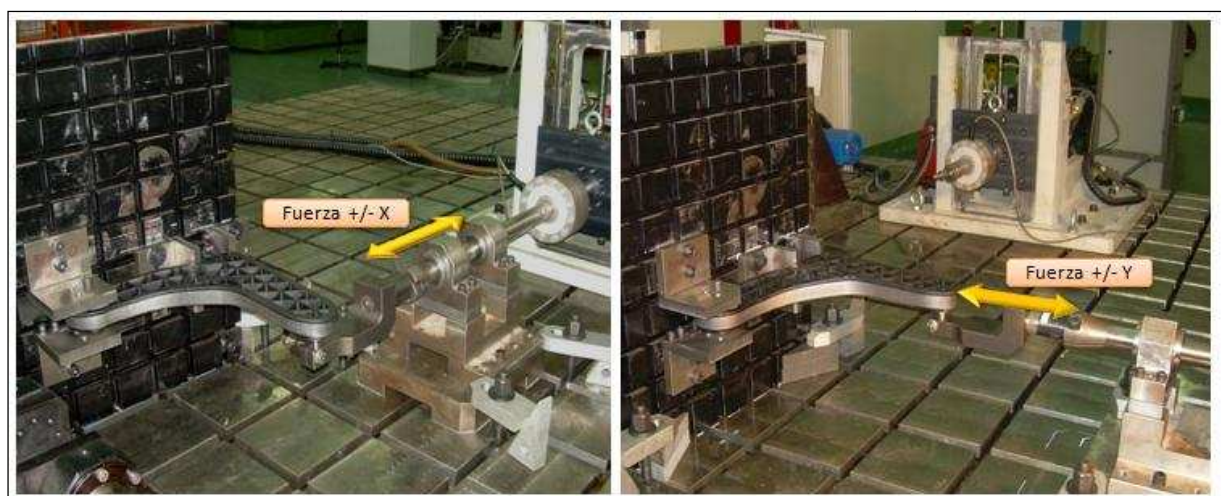


FIGURA 350: MONTAJE PARA ENSAYO DE FATIGA EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL

Por último se valida el concepto frente a la especificación de FIAT y GM-Opel en el cual se exigen alcanzar 500.000 ciclos de carga en dirección longitudinal y transversal sin que aparezca grieta.

Para obtener el primer ciclo de cargas se ha procedido a aplicar secuencialmente una carga de aceleración y otra de frenado, mientras que para el segundo caso se ha introducido la evolución temporal de la señal obtenida en la simulación de doble cambio de carril. Nuevamente se ha empleado el software RPC-Pro para garantizar la correcta aplicación de las cargas.

Tras la realización completa de los ensayos se realizó una inspección ocular para el caso de la zona plástica del componente y una prueba de líquidos penetrantes para el caso de la parte metálica, no localizándose ningún indicio de nucleación de grieta en ninguno de los brazos de suspensión híbridos ensayados.

En las siguientes imágenes se muestran algunos de los múltiples componentes ensayados durante esta fase del proyecto:



FIGURA 351: BRAZOS DE SUSPENSIÓN HÍBRIDOS ENSAYADOS

3.5.- CONCLUSIONES DE LA VALIDACIÓN DE LOS PROTOTIPOS

Una vez concluidas las actividades de esta quinta fase en la cual se abordaba la validación de los prototipos y la correlación de los modelos teóricos de cálculo MEF se sacaron las siguientes conclusiones:

- ↪ El grado de correlación obtenido entre los cálculos MEF y los resultados experimentales es muy elevado. Este aspecto es especialmente meritorio si tenemos en

cuenta que los resultados de unos cálculos MEF son utilizados como punto de partida de otros, lo que podría dar lugar a que pequeñas desviaciones iniciales repercutiesen en una importante desviación final

↪ La batería de ensayos realizados sobre el brazo de suspensión híbrido demuestran el cumplimiento del cuaderno de especificaciones y su potencial como órgano de seguridad en futuros automóviles de prestaciones reducidas, vehículos de uso especialmente urbano, objetivo que se fijaba al inicio del proyecto

↪ Por motivos de confidencialidad y con el objetivo de proteger el Know-How generado, no se exponen los resultados de todos los ensayos de validación. No obstante, durante la Defensa de la presente Tesis Doctoral se hará una exposición detallada de los resultados obtenidos, a la vez que se contestarán personalmente las preguntas que sobre el tema pudiesen surgirles a los miembros del Tribunal

4.- DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO

Los estudios realizados previamente han permitido definir y validar un nuevo concepto de brazo de suspensión fabricado mediante la tecnología híbrida primero de manera teórica y posteriormente experimental.

En el marco de las tareas completadas para lograr tal objetivo se estudian los procesos productivos que permiten la obtención del componente híbrido, el proceso de conformado por estampación de chapa de acero de alto límite elástico y reducido espesor y el de moldeo por inyección de material polimérico termoplástico, además de otros procesos asociados como son el mecanizado de componentes metálicos, carcasa y perno de la rótula de suspensión, los procesos de montaje para ésta, y la automatización del proceso de montaje del conjunto total.

Cabe destacar que alguno de los procesos productivos enumerados anteriormente fueron analizados de manera más profunda, concretamente los procesos de conformado por estampación/embutición y el de moldeo por inyección, procesos característicos de la construcción de componentes híbridos, creando modelos de simulación MEF para los mismos cuyas predicciones fueron comprobados en la fase de fabricación de prototipos obteniendo unos resultados muy positivos.

A la vista de los resultados alcanzados hasta este punto del proyecto, se decide estudiar en detalle el concepto para el proceso productivo de cara a la posible industrialización del nuevo concepto de brazo de suspensión.

Finalmente cabe reseñar que, debido al carácter público de la Tesis Doctoral, no se han incluido en la parte escrita de ésta algunas informaciones relativas a los tiempos de ciclo de fabricación de los componentes, inversiones de maquinaria, necesidad de personal, etc., al considerarse éstas Know-How generado por la empresa que debe permanecer en ella. No obstante, una explicación más detallada de los aspectos relativos al diseño del proceso productivo, así como una respuesta a las preguntas que sobre el tema les pudiesen surgir a los miembros del Tribunal durante su lectura, serán expuestas y/o contestadas por el doctorando durante la defensa de la presente Tesis Doctoral.

4.1.- DEFINICIÓN DEL CONCEPTO PARA EL PROCESO PRODUCTIVO

El primer paso para definir un concepto de fabricación es el de estudiar los diferentes procesos productivos que conducen a la consecución del componente final, en nuestro caso el brazo de suspensión híbrido, así como su concatenación. En esta línea se detectan dos variantes para la fabricación de este concepto de brazo de suspensión:

↪ *Fabricación del brazo de suspensión híbrido con montaje final de los silentblocks en una operación extra.* Esta opción, materializada en la fabricación de prototipos, ofrece la ventaja de simplificar el utillaje para el moldeo por inyección del material termoplástico. Por contra presenta unas mayores inversiones al igual que es necesario una mayor superficie en la planta productiva para la fabricación del componente

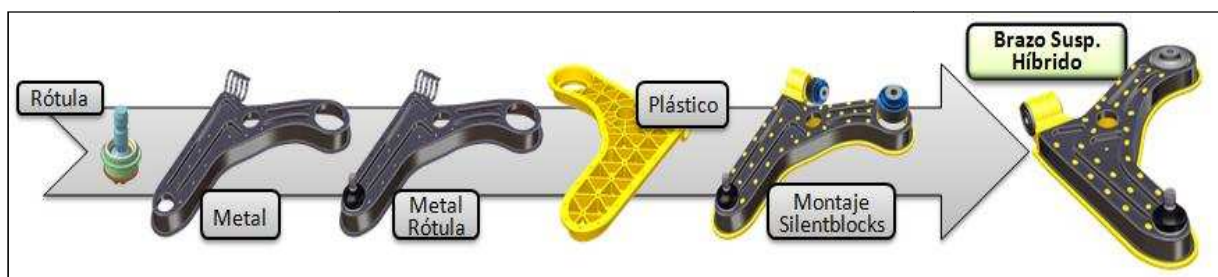


FIGURA 352: FABRICACIÓN DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO EN SERIES: OPCIÓN 1

↪ *Fabricación del brazo de suspensión híbrido con montaje final de los silentblocks integrado en la operación de moldeo por inyección.* Esta solución, fijada inicialmente como objetivo final, presenta dificultades en la automatización del proceso de

inserción/colocación de los componentes en el utillaje de moldeo por inyección, pero tiene aspectos muy positivos como son la reducción de inversiones así como el espacio necesario para la fabricación del componente



FIGURA 353: FABRICACIÓN DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO EN SERIES: OPCIÓN 2

Tras este primer análisis, se realiza un estudio en detalle del flujo de materiales durante el proceso de fabricación en el cual se pueden evaluar y/o detectar los siguientes aspectos:

- ↪ Tiempos de ciclo de cada uno de los procesos productivos
- ↪ Inversiones necesarias
- ↪ Riesgos u operaciones críticas
- ↪ Posibilidades de optimización
- ↪ Etc.

En la siguiente imagen se muestran alguno de los diagramas de flujo de material realizados para el brazo de suspensión híbrido:

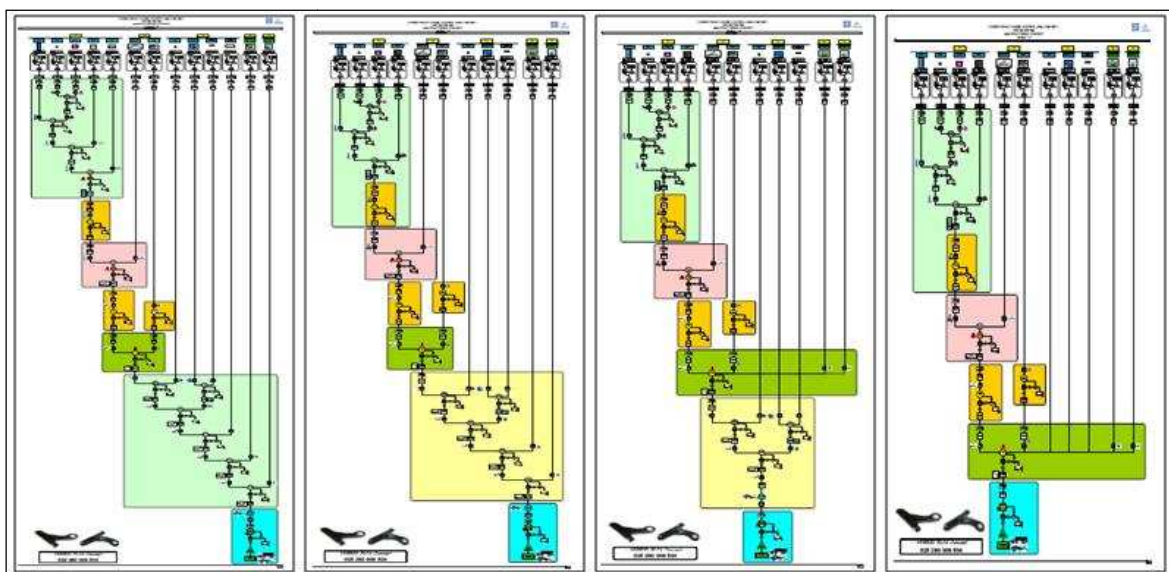


FIGURA 354: VARIANTES DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE MATERIAL FABRICACIÓN BRAZO SUSPENSIÓN HÍBRIDO

4.2.- ESCENARIOS PARA LA PRODUCCIÓN

Una vez definido el concepto de fabricación y analizados los tiempos de ciclo de cada una de las operaciones se estiman los diferentes escenarios de volúmenes de fabricación calculados considerando la producción anual de vehículos pertenecientes a los segmentos A y B, en concreto a los denominados City-Car.

A partir de estos escenarios, se procede a calcular cada cuanto tiempo necesita el cliente un componente, “Takt-Time”, para en función de éste estudiar el grado de automatización de la línea de producción que se debe implementar en cada uno de los escenarios. A continuación se presentan los tres escenarios de producción planteados:

ESCENARIOS PRODUCCIÓN DE BRAZOS DE SUSPENSIÓN HÍBRIDOS						
ESCENARIO	DEMANDA [COCHES/AÑO]	DÍAS TRABAJO/AÑO	HORA TRABAJO/DIA	TAKT-TIME CLIENTE [SEGUNDOS]	OEE [%]	TAKT-TIME INTERNO [SEGUNDOS]
1	50.000	240	7,50	130	80	104
2	250.000	240	7,50	26	80	20
3	500.000	240	7,50	13	80	10

TABLA 63: VOLÚMENES DE FABRICACIÓN Y TAKT-TIME BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

Los escenarios indicados en la anterior tabla, pequeño, mediano y gran volumen de fabricación, se asocian con diferentes requisitos a la hora de fijar el concepto de diseño de la línea de producción. La siguiente tabla muestra estos requisitos así como una evaluación de cada uno de ellos para los diferentes escenarios:

REQUISITOS DE LOS DIFERENTES ESCENARIOS DE PRODUCCIÓN PARA BRAZOS DE SUSPENSIÓN HÍBRIDOS			
ESCENARIO	50.000 [COCHES/AÑO]	250.000 [COCHES/AÑO]	500.000 [COCHES/AÑO]
REQUISITO			
AUTOMATIZACIÓN	BAJO	MEDIO	ALTO
FLEXIBILIDAD	ALTO	ALTO	BAJO
INVERSIONES	BAJO	MEDIO	ALTO
NECESIDAD DE PERSONAL	MEDIO	MEDIO	BAJO
CUALIFICACIÓN DEL PERSONAL	ALTO	MEDIO	BAJO
RIESGOS DE CALIDAD	ALTO	MEDIO	BAJO
CAPACIDAD PRODUCTIVA	BAJO	MEDIO	ALTO
PROBLEMAS CON MÁQUINAS	BAJO	MEDIO	ALTO

TABLA 64: REQUISITOS DE LA LÍNEA DE FABRICACIÓN PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS

Finalmente, a partir de los tiempos de ciclo y los Takt-Time de cliente se calculan los cuellos de botella del concepto de producción y se estima el número de máquinas que hay que comprar para cada escenario, el grado de automatización de cada estación de la línea de montaje y la necesidad de personal asociada.

4.3.- DEFINICIÓN DEL LAY-OUT PARA EL CONCEPTO DE FABRICACIÓN

Llegados a este punto ya se dispone de la información suficiente para la definición del Lay-Out de la línea de fabricación, información que proviene tanto de las actividades o tareas llevadas a cabo en el proyecto anteriormente como de proveedores de equipos especiales, en este caso de las máquinas de moldeo por inyección de material termoplástico.

A continuación se expone en primer lugar el Lay-Out fijado para la opción 1 del concepto del proceso productivo, inserción de los silentblocks en la pieza acabada tras el proceso de moldeo por inyección del material plástico, y posteriormente para la opción 2, integración de todos los componentes en el proceso de moldeo por inyección y por tanto la deseada:

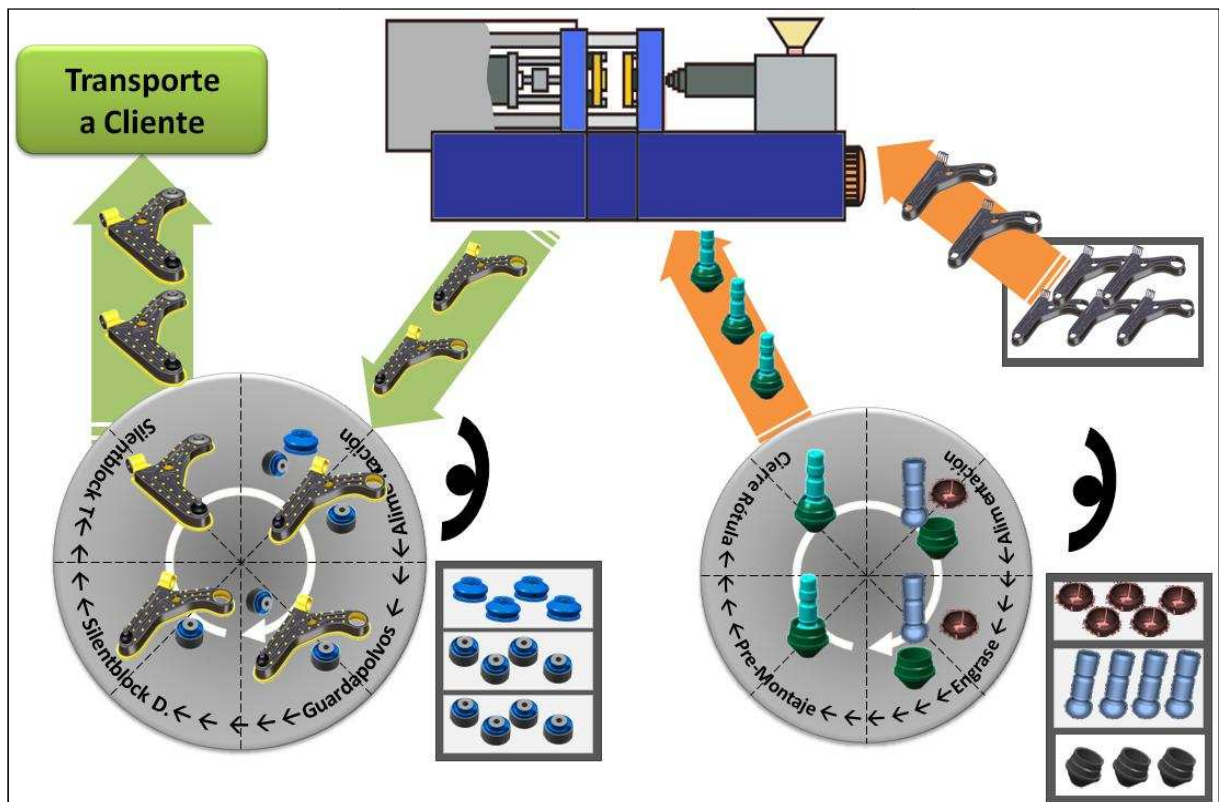


FIGURA 355: FABRICACIÓN DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO EN SERIES: LAY-OUT OPCIÓN 1

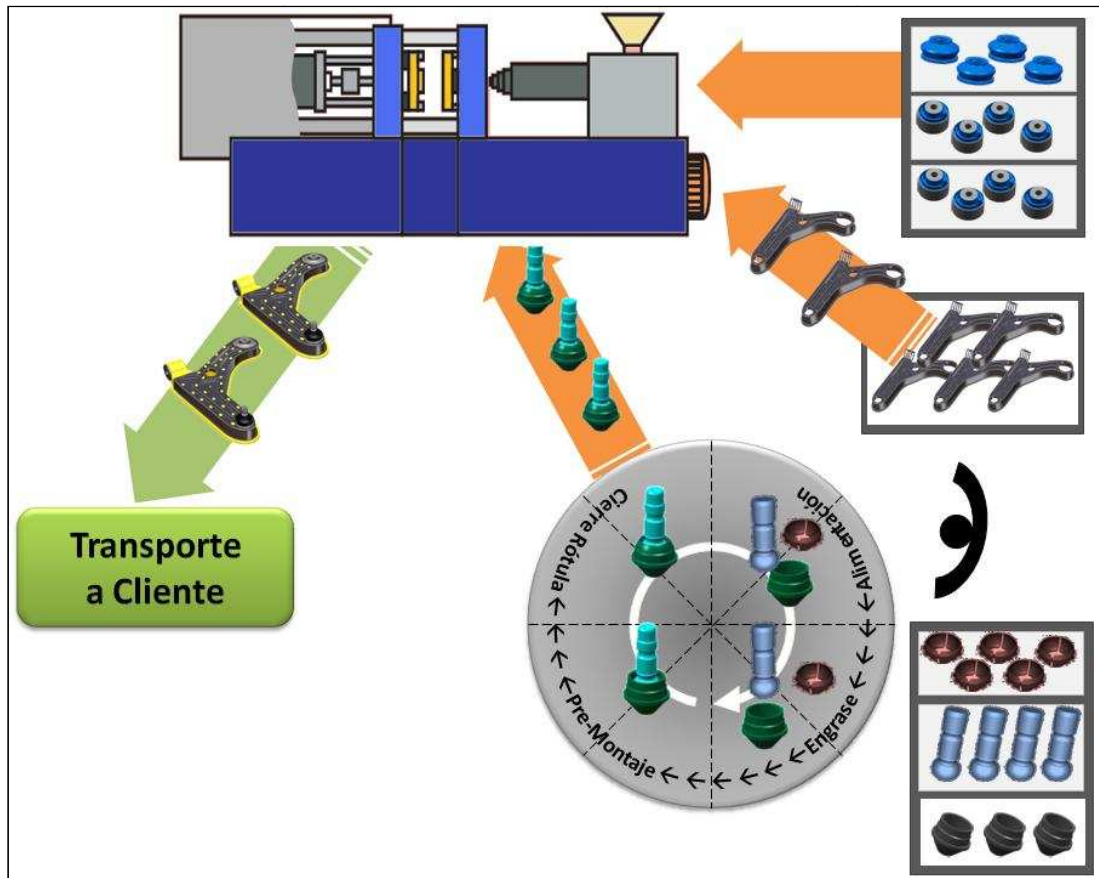


FIGURA 356: FABRICACIÓN DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO EN SERIES: LAY-OUT OPCIÓN 2

Tal y como se aprecia en los Lay-Out la opción 2, además de ser más compacta es más económica, pese a los costes más elevados del utillaje para el moldeo por inyección que ésta tiene en comparación con la opción 1. Por lo tanto, a la vista de estos resultados, de las inversiones y de la necesidad de personal, se decide seguir adelante con la opción 2 de cara a la fabricación del concepto en series.

4.4.- CONCLUSIONES DEL DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO

Una vez concluidas las actividades de esta última fase en la cual se abordaba el diseño del proceso productivo para la fabricación en series del brazo de suspensión híbrido se sacaron las siguientes conclusiones:

- ↪ Se han definido dos conceptos para el proceso productivo del brazo de suspensión híbrido los cuales se diferencian en la operación para la integración de los silentblocks
- ↪ Se han evaluado las soluciones de cara al grado de automatización a implementar en función del volumen de brazos de suspensión híbridos a fabricar

- ↳ El análisis de los diferentes conceptos para el proceso productivo planteados junto con el estudio de las inversiones necesarias a realizar, la distribución de los equipos de fabricación en la planta productiva y la necesidad de personal conducen a determinar que la solución denominada opción 2 es la más adecuada y la que más ventajas ofrece
- ↳ Es necesario trabajar en la definición de los utillajes para el moldeo por inyección de la opción 2 para lograr reducir sus costes y la problemática intrínseca a los mismos, aspectos que mejorarían aún mas esta solución haciéndola más competitiva
- ↳ Los dos conceptos para el proceso productivo se ajustan a la filosofía Lemförder Production System “LPS” de ZF Lemförder GmbH, la cual se basa en el concepto de fabricación de Toyota TPS y en la filosofía Lean Manufacturing

CONCLUSIONES

En este segundo Bloque se han completado los trabajos de investigación científico-técnicos del proyecto de innovación presentado en la Tesis Doctoral, los cuales tienen como objetivo final el desarrollar un nuevo concepto para un componente de seguridad para vehículos automóviles.

El carácter multidisciplinar así como la naturaleza y complejidad de las actividades a realizar en este tipo de proyecto de innovación exigía de la definición de un modelo de gestión para el mismo, el cual fue determinado en el Bloque I de la Tesis Doctoral. A partir de este modelo de gestión, se definió la metodología a seguir y estructura de los trabajos a realizar en el Bloque II para la consecución del objetivo inicialmente marcado:

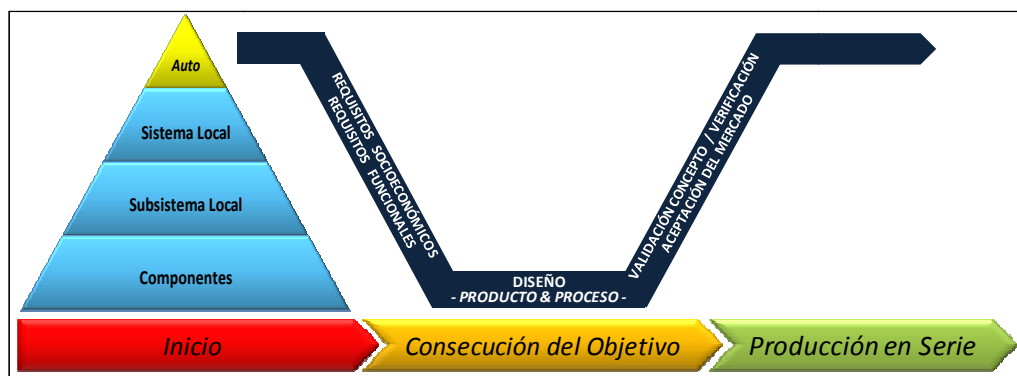


FIGURA 357: METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTA EN EL BLOQUE II

En esta línea se observó que, para que un proyecto de innovación como el aquí presentado sea aceptado por el mercado y por lo tanto tenga éxito, éste debe encontrar un equilibrio entre los requisitos que actualmente condicionan la sociedad y el mercado, requisitos socioeconómicos, y los requisitos propios del componente, requisitos funcionales. Esta coyuntura derivó en la necesidad de estudiar detenidamente estos condicionantes con el fin de poder determinar el cuaderno de requisitos que debe cumplir el nuevo concepto de brazo de suspensión.

A partir de los resultados del anterior análisis se definió y aplicó una sistemática que permitiese llevar a cabo un proceso de generación y filtrado de las ideas/soluciones de una manera estructurada y objetiva, obteniendo como resultado final que la solución brazo de suspensión híbrido metal – plástico era la que mayor equilibrio y mejor sinergia encontraba con respecto al cuaderno de requisitos fijado en la etapa anterior.

Llegados a este punto, una vez definido el concepto de la solución idónea, se profundiza en el estudio de ésta con el objetivo de poder establecer de una manera más concisa y precisa la filosofía de trabajo a seguir y de determinar las tareas a realizar para el desarrollo de componentes con esta novedosa tecnología.

Para ello se realizaron estudios teóricos para identificar los puntos clave de la tecnología a emplear y de los productos con ella fabricados, obteniéndose como resultado de esta fase los primeros bocetos del componente, un análisis detallado de la factibilidad del diseño y del proceso productivo, información que resultó posteriormente de gran ayuda para la definición del concepto final de brazo de suspensión híbrido, y la documentación necesaria para la protección del concepto mediante una patente.

Tras los positivos resultados obtenidos en la etapa anterior, se decidió iniciar las actividades necesarias para la definición y el desarrollo de un concepto de brazo de suspensión híbrido de una manera más detallada y concisa que permitiese en el futuro su fabricación en serie y comercialización. Para tal fin se definió una nueva metodología de desarrollo en la cual se contemplan y combinan aspectos del diseño del producto y del diseño del proceso productivo conjuntamente, permitiendo finalmente obtener, por un lado, un producto seguro y robusto en lo que se refiere a su funcionalidad, y por otro, un producto fiable, factible y reproducible en lo que respecta a los procesos productivos asociados a su fabricación futura en serie.

Entre las líneas de trabajo de investigación científico técnicas que plantea esta nueva metodología para el desarrollo de componentes de seguridad fabricados mediante la tecnología híbrida, en concreto para la definición del nuevo concepto de brazo de suspensión híbrido, destacan:

- ↪ Determinación del cuaderno de cargas que le llegan al componente mediante el empleo de herramientas de diseño y cálculo CAE
- ↪ Estudio, selección y caracterización estática y dinámica de materiales
- ↪ Diseño y optimización del nuevo concepto de brazo de suspensión mediante el empleo de herramientas de diseño y cálculo CAE
- ↪ Diseño y optimización de los procesos productivos asociados al nuevo concepto de brazo de suspensión mediante el empleo de herramientas de cálculo CAM
- ↪ Fabricación de prototipos
- ↪ Validación/Ensayos de los prototipos
- ↪ Correlación de los resultados de los ensayos con los modelos de simulación
- ↪ Determinación del concepto de fabricación de cara a la producción en serie

A continuación se exponen las conclusiones sacadas una vez concluidas las actividades expuestas anteriormente.

1.- CONCLUSIONES DE LA FASE PRE - INNOVACIÓN

Una vez concluidas las actividades de la fase Pre – Innovación en la cual se realizaba un estudio de prospección de las demandas o necesidades globales del mercado que condicionan a los grandes fabricantes del sector del automóvil, así como de las demandas intrínsecas o locales de la empresa ZF Lemförder GmbH y como ésta se ve afectada y/o condicionada por ellas, se sacaron las siguientes conclusiones:

- ↪ El análisis de la problemática global que afecta a los grandes fabricantes del sector del automóvil permitió detectar cuales son los factores que hoy en día les condicionan y que por tanto marcan sus estrategias de futuro

- ↪ Por su parte el estudio del efecto cascada de la problemática, desde la problemática global hasta la problemática intrínseca a ZF Lemförder GmbH, permitió detectar cuales son los vectores estratégicos en los cuales esta última debe focalizar la estrategia de sus proyectos de innovación. Estos vectores/factores son el diseño de componentes vanguardistas donde se incremente el valor añadido, el desarrollo de nuevos componentes para nuevos segmentos, la reducción de peso (requisitos medioambientales) y la necesidad de reducción de tiempos y costes de desarrollo.
- ↪ Gracias al estudio detallado de cada uno de los factores condicionantes de la industria automovilística enumerados anteriormente, se consiguieron finalmente determinar las líneas de investigación a emprender para el desarrollo de los nuevos componentes de seguridad de vehículos automóviles, determinando de esta manera el cuaderno de requisitos socioeconómicos que deben cumplir los mismos
- ↪ Finalmente, se analizó la situación que los componentes de seguridad de chasis que actualmente forman la paleta de productos de ZF Lemförder GmbH tienen en el mercado, de donde se extrajeron las razones de la pérdida de competitividad de alguno de estos productos en el mercado, en concreto para el brazo de suspensión
- ↪ Concretado el brazo de suspensión como componente en peligro, se analizó el ciclo de vida de los conceptos actualmente ofertados por la empresa, quedando patente la obsolescencia de alguno de ellos y la imperiosa necesidad de innovación asociada al mismo si se quiere garantizar el futuro de la empresa en este campo

2.- CONCLUSIONES DE LA FASE DE GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE IDEAS

Una vez concluidas las actividades de la fase de generación y evaluación de ideas en la cual se profundizaba en primer lugar en el estudio del componente en cuestión, el brazo de suspensión para lograr determinar el cuaderno de requisitos funcionales para el mismo para a continuación llevar a cabo un proceso estructurado y sistemático de generación y evaluación de ideas que concluyó con la determinación de la solución idónea, se sacaron las siguientes conclusiones:

- ↪ El análisis en profundidad del brazo de suspensión desde el concepto global donde está integrado, el vehículo automóvil, pasando por los sistemas y subsistemas locales para terminar en los componentes por el integrado permitió conocer perfectamente la

funcionalidad del mismo, pudiendo determinar de esta manera el cuaderno de requisitos funcionales para el componente

↪ Asimismo se determinaron otros aspectos interesantes relacionados con el mismo como son su interacción con los elementos colindantes, su tipología (2, 3 o 4 puntos), la distribución en función de los segmentos de vehículo, soluciones actuales en el mercado, etc., los cuales es necesario tener en cuenta cuando se decide desarrollar un componente de este tipo

↪ Con la definición del cuaderno de requisitos socioeconómicos y funcionales ya completada se procedió a la búsqueda y definición de una metodología que permitiese llevar a cabo la generación y filtrado de ideas/soluciones de una manera lo más estructurada y objetiva posible, resultando elegidos los métodos creativos del *Análisis Morfológico de Ideas* o *Método de Zwicky* para la fase de generación de ideas combinado con el *Método de Comparativa Matricial Dos a Dos* para la posterior evaluación de las mismas

↪ El empleo de la metodología planteada mostró la sencillez del mismo así como la posibilidad de generar y evaluar una gran cantidad de ideas en un corto periodo de tiempo, efectos que condujeron a la implementación de la misma en la estrategia de innovación de la empresa para su aplicación en otros proyectos

↪ Los resultados obtenidos dejaron patente que la solución brazo de suspensión híbrido metal – plástico era la que mayor equilibrio y mejor sinergia encontraba con respecto al cuaderno de requisitos socioeconómicos y funcionales siendo esta solución la elegida para el desarrollo del nuevo concepto de brazo de suspensión.

↪ No obstante cabe destacar que los resultados obtenidos fueron contrastados con diferentes clientes para conocer si la solución obtenida tenía la aceptación de los mismos, resultando todas las respuestas a tal efecto positivas lo cual corroboraba las decisiones tomadas así como las tareas llevadas a cabo hasta este punto del proyecto

3.- CONCLUSIONES DE LA FASE DE DEFINICIÓN DEL CONCEPTO DEL PRODUCTO/PROCESO

Una vez concluidas las actividades de la fase de definición del concepto en la cual se profundizaba en el estudio de la solución obtenida en la fase anterior, la investigación y aplicación de la tecnología híbrida para el desarrollo de un nuevo concepto de brazo de

suspensión, y se realizan los primeros análisis de factibilidad del diseño y del proceso productivo, se sacaron las siguientes conclusiones:

↪ El estudio detallado inicial de la tecnología híbrida permitió conocer el funcionamiento de la misma, determinar las funciones de cada uno de los componentes que la integran así como conocer el estado del arte sobre la misma incluido un estudio de soluciones patentadas con esta tecnología, aspecto que dejó patente lo vanguardista que es la solución adoptada

↪ La relativa juventud de esta tecnología unida a lo novedosa que es su aplicación en el sector del automóvil y la escasa información disponible sobre el tema conducían a la necesidad de generar todo el conocimiento en la empresa, a base de ensayos, prototipos, pruebas, etc., en inglés “learning by doing”. Este aspecto, lejos de ser negativo, resulto todo lo contrario ya que permitió a la empresa adquirir un gran conocimiento en el uso y aplicación de esta tecnología confiriéndola una posición avanzada con respecto a la competencia

↪ Las actividades llevadas a cabo para la definición de los aspectos claves de la tecnología híbrida materiales – diseño del producto – proceso productivo ayudaron a determinar en una fase temprana del desarrollo del brazo de suspensión los siguientes aspectos:

- Idoneidad de los materiales a emplear. En esta línea se determinaron que ensayos era necesario llevar a cabo para determinar las familias de materiales metálicos y poliméricos termoplásticos a emplear. A continuación se estudiaron las diferentes familias de los diferentes materiales en detalle para determinar finalmente cuál de ellas era la que mejor encajaba dentro de los requisitos del proyecto (costes, resistencia mecánica, etc.) y que por lo tanto debían ser estudiadas en detalle en la siguiente fase
- Definición del diseño. Mediante simulaciones empleando el método de los elementos finitos se logró determinar cuál era la estructura de nervios idónea para el componente, ahorrando de esta manera tiempo y dinero en el desarrollo del componente híbrido
- Estudio de los procesos productivos. El análisis de los procesos productivos asociados a la tecnología híbrida permitió conocer las características y particularidades de los mismos así como sus criticidades, aspectos que fueron de gran ayuda en la definición final del componente

3.1.- CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS FACTIBILIDAD DISEÑO PRODUCTO– PROCESO: BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

Tras los estudios teóricos anteriores se decidió realizar algunos estudios sobre la factibilidad del concepto que corroborasen las ventajas de la tecnología anteriormente expuestas. En los siguientes puntos se resumen las principales conclusiones de los estudios de factibilidad realizados en cuanto se refiere al diseño del producto y al proceso productivo asociado para su fabricación, las cuales ya fueron comentadas anteriormente:

↪ Diseño del Producto:

- La realización de un brazo híbrido metal – plástico (chapa de acero de alto límite elástico – material polimérico termoplástico reforzado) es factible, consiguiendo mediante la acción conjunta de ambos materiales resultados positivos en cuanto se refiere a los requisitos mecánicos que el brazo de suspensión debe cumplir
- La utilización del método de los elementos finitos en el diseño y optimización de la geometría permite obtener de forma rápida y económica un diseño viable desde el punto de vista de los requisitos funcionales de comportamiento en vehículo
- Quedan patentes las ventajas de la utilización herramientas de diseño y cálculo CAE, como son la posibilidad de adelantarse, en la fase de diseño, a futuros problemas, que en caso de aparecer en fases posteriores supondrían la utilización de un gran número de recursos y tiempo para su solución

↪ Diseño del Proceso Productivo:

- La utilización de herramientas CAE para la simulación del proceso de conformado por estampación/embutición permite conocer, de una manera rápida y económica, los puntos críticos de éste así como el estado del componente final obtenido, en cuanto se refiere a distribuciones de espesores, zonas plásticas, arrugas, grietas, etc. que pudiesen influenciar negativamente en el comportamiento en uso del producto, sin la necesidad de fabricar prototipos para su validación
- La utilización de herramientas CAE para la simulación del proceso de inyección permite conocer, de una manera rápida y económica, como se distribuye el material al entrar en el molde, cuál es la velocidad del material

fundido en cada momento y en cada punto, cómo evoluciona la temperatura, cuál es la orientación de fibra predominante en cada punto del componente, la velocidad de enfriamiento y en definitiva cualquier parámetro que pueda dar información sobre el modo en que se está produciendo el proceso de inyección. Gracias a esta información se logran ajustar los parámetros productivos de manera teórica rápida, económica y cómodamente sin la realización de prototipos

- La puesta a punto de las herramientas de simulación para los diferentes procesos productivos, proceso de conformado por estampación/embutición y proceso de moldeo por inyección, llevada a cabo en esta tarea, permitirá ahorrar tiempo en el desarrollo del componente para producción en serie que se expone en la siguiente fase del proyecto de innovación

4.- CONCLUSIONES DE LA FASE DE DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL PRODUCTO/PROCESO

A continuación se exponen las conclusiones sacadas una vez concluidas las actividades de la fase de diseño y optimización del producto/proceso, las cuales ya fueron expuestas individualmente en puntos anteriores presentándose de nuevo aquí tan sólo para facilitar su lectura conjunta.

En esta fase del proyecto se presenta una nueva metodología para la definición y el desarrollo de un brazo de suspensión híbrido en la cual se contemplan y combinan aspectos del diseño del producto y del diseño del proceso productivo conjuntamente, permitiendo finalmente obtener, por un lado, un producto seguro y robusto en lo que se refiere a su funcionalidad, y por otro, un producto fiable, factible y reproducible en lo que respecta a los procesos productivos asociados a su fabricación futura en serie.

4.1.- CONCLUSIONES DE LA DETERMINACIÓN DEL CUADERNO DE CARGAS

Una vez concluidas las actividades de esta primera fase para la definición y optimización del diseño del producto y del proceso, en la cual se utilizaba y se ponía a punto la herramienta de simulación multicuerpos para determinar el cuaderno de cargas de un vehículo automóvil, se sacaron las siguientes conclusiones:

- ↪ Gracias a la herramienta puesta a punto en esta tarea se estará en condiciones de predecir, siempre que se disponga de los datos necesarios, el comportamiento cinemático y dinámico del vehículo, de los subsistemas que lo componen (sistema chasis, suspensión, etc.) y finalmente se podrán conocer las solicitaciones a que se ve sometido cada componente (brazo de suspensión, bieletas de dirección, etc.)
- ↪ Con la utilización de una herramienta de simulación de multicuerpos se pueden determinar las cargas a las que va a estar sometido el componente objeto de estudio sin necesidad de tener que fabricar ningún prototipo, con el consiguiente ahorro tanto de tiempo como de dinero, que ello supone.
- ↪ Finalmente cabe reseñar que todas las maniobras simuladas se basan en parámetros que se fijan antes del ensayo, tales como velocidad, radio de giro, estado del firme, etc. En éste cálculo se han utilizado unos valores pero cabe la posibilidad de utilizar otros e incluso estudiar la influencia de esos parámetros en la respuesta

4.2.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO, SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Una vez concluidas las actividades de esta segunda fase para la definición y optimización del diseño del producto y del proceso, en la cual se seleccionaban y caracterizaban los materiales a emplear en la definición del brazo de suspensión, se sacaron las siguientes conclusiones:

- ↪ **Material Metálico.** Chapa de acero de Alto Límite Elástico: Mediante el análisis de la procesabilidad, el comportamiento mecánico y el costo se ha elegido el material que mejor se ajusta a las necesidades del componente a desarrollar. Una vez determinado el material se ha procedido a un profundo análisis de sus propiedades estáticas, dinámicas y a fatiga. El conjunto de todas las actividades realizadas han permitido alcanzar un exhaustivo conocimiento del material metálico que se empleará en el componente final
- ↪ **Material Polimérico Termoplástico:** El desarrollo de esta segunda tarea ha permitido conocer en profundidad el comportamiento mecánico de cuatro materiales poliméricos termoplásticos. Este conocimiento, así como el análisis de sus propiedades de procesado, nos han permitido determinar cuál es el material polimérico termoplástico que mejor se ajusta a las necesidades del proyecto. El material elegido se caracteriza por sus elevadas propiedades mecánicas y por una alta recuperación de la deformación adquirida en el rango de utilización del brazo de suspensión.

4.3.- CONCLUSIONES DEL DISEÑO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN HÍBRIDO

Una vez concluidas las actividades de esta tercera fase para la definición y optimización del diseño del producto y del proceso, en la cual se definían los modelos CAD para los diferentes componentes del brazo de suspensión, se creaban los modelos MEF para la validación teórica de los mismos con herramientas de simulación mediante el método de los elementos finitos y finalmente se realizaban estos cálculos tanto para determinar la viabilidad del producto como la del proceso, se sacaron las siguientes conclusiones:

- ↳ El conocimiento generado en las fases anteriores del proyecto de innovación presentado en la Tesis Doctoral han sido de gran ayuda de cara al diseño de los modelos CAD de los diferentes componentes ya que se conocía perfectamente los requisitos de cada uno de ellos, su criticidad, así como las reglas de diseño a seguir
- ↳ Asimismo, la puesta a punto de las herramientas de simulación MEF realizada en la Fase de Definición del Concepto han permitido acortar los plazos de tiempo en el desarrollo del componente ofreciendo además una buena calidad de resultados
- ↳ La metodología creada para la validación del comportamiento del componente en vehículo mediante las simulaciones MEF en las que se tiene en cuenta la información referente a los procesos productivos permiten ajustar el diseño del brazo de suspensión híbrido de manera teórica sin la necesidad de fabricar prototipos, reduciendo así los costes y tiempos de desarrollo del proyecto, aspectos que mejoran sustancialmente la competitividad de la empresa
- ↳ La metodología creada para el desarrollo del brazo de suspensión híbrido puede aplicarse al desarrollo de otros componentes de la empresa como pueden ser rótulas de suspensión, manguetas, etc.

4.4.- CONCLUSIONES DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UTILLAJES Y LA FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS

Una vez concluidas las actividades de esta cuarta fase, en la cual se desarrollaban y construían los utillajes para la obtención de prototipos para finalmente proceder a la fabricación de los mismos, se sacaron las siguientes conclusiones:

- ↳ El conocimiento generado en las fases anteriores del proyecto de innovación presentado en la Tesis Doctoral, especialmente el referente a los procesos de

simulación de los procesos productivos, ha sido de gran ayuda de cara al diseño de los utillajes tanto para el conformado de la chapa de acero como para el moldeo por inyección de material termoplástico, permitiendo ahorrar tiempo y dinero tanto en la fase de desarrollo como en la de construcción de los mismos

↳ En cuanto se refiere a los parámetros obtenidos teóricamente para los dos procesos productivos, cabe destacar que en estos también se ha alcanzado un resultado positivo en la correlación. Estos resultados se observan especialmente en el proceso de conformado de la chapa de acero de material DP600 donde los resultados teóricos así como el tipo y localización del fallo coinciden casi al 100% con la realidad y en los parámetros calculados para la inyección de material termoplástico, los cuales también coinciden con los utilizados en la máquina de inyección (presión, temperatura de inyección, etc.)

↳ La metodología propuesta de simulación de los diferentes procesos productivos para su validación teórica permite en definitiva optimizar los tiempos de desarrollo así como los costes asociados a los mismos, aspectos que de nuevo mejoran sustancialmente la competitividad de la empresa

4.5.- CONCLUSIONES DE LA VALIDACIÓN DE LOS PROTOTIPOS

Una vez concluidas las actividades de esta quinta fase en la cual se abordaba la validación de los prototipos y la correlación de los modelos teóricos de cálculo MEF se sacaron las siguientes conclusiones:

↳ El grado de correlación obtenido entre los cálculos MEF y los resultados experimentales es muy elevado. Este aspecto es especialmente meritorio si tenemos en cuenta que los resultados de unos cálculos MEF son utilizados como punto de partida de otros, lo que podría dar lugar a que pequeñas desviaciones iniciales repercutiesen en una importante desviación final

↳ La batería de ensayos realizados sobre el brazo de suspensión híbrido demuestran el cumplimiento del cuaderno de especificaciones y su potencial como órgano de seguridad en futuros automóviles de prestaciones reducidas, vehículos de uso especialmente urbano, objetivo que se fijaba al inicio del proyecto

↳ Por motivos de confidencialidad y con el objetivo de proteger el Know-How generado, no se exponen los resultados de todos los ensayos de validación. No obstante, durante la Defensa de la presente Tesis Doctoral se hará una exposición

detallada de los resultados obtenidos, a la vez que se contestarán personalmente las preguntas que sobre el tema pudiesen surgirles a los miembros del Tribunal

4.6.- CONCLUSIONES DEL DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO

Una vez concluidas las actividades de esta última fase en la cual se abordaba el diseño del proceso productivo para la fabricación en series del brazo de suspensión híbrido se sacaron las siguientes conclusiones:

- ↪ Se han definido dos conceptos para el proceso productivo del brazo de suspensión híbrido los cuales se diferencian en la operación para la integración de los silentblocks
- ↪ Se han evaluado las soluciones de cara al grado de automatización a implementar en función del volumen de brazos de suspensión híbridos a fabricar
- ↪ El análisis de los diferentes conceptos para el proceso productivo planteados junto con el estudio de las inversiones necesarias a realizar, la distribución de los equipos de fabricación en la planta productiva y la necesidad de personal conducen a determinar que la solución denominada opción 2 es la más adecuada y la que más ventajas ofrece
- ↪ Es necesario trabajar en la definición de los utillajes para el moldeo por inyección de la opción 2 para lograr reducir sus costes y la problemática intrínseca a los mismos, aspectos que mejorarían aún mas esta solución haciéndola más competitiva
- ↪ Los dos conceptos para el proceso productivo se ajustan a la filosofía Lemförder Production System “LPS” de ZF Lemförder GmbH, la cual se basa en el concepto de fabricación de Toyota TPS y en la filosofía Lean Manufacturing