



VNIVERSIDAD
D SALAMANCA



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ZAMORA

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA

Departamento y área de ingeniería mecánica

PROYECTO FIN DE CARRERA

“Adecuación del sistema de combustible para funcionar con
aceite vegetal. Caso práctico Opel Frontera 2.3 TD”

Octubre de 2013

TUTOR:

Roberto García Martín
Departamento de ingeniería mecánica

AUTORES:

Alberto Blanco del Amo
Raúl Martín Sampedro

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	8
1 INTRODUCCIÓN	9
1.1 OBJETIVOS Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....	10
2 EL MOTOR DIESEL	11
2.1 HISTORIA.....	11
2.2 EL CICLO DIESEL.....	12
2.3 PRINCIPALES COMPONENTES.....	16
2.4 SISTEMAS DE INYECCIÓN.....	18
2.4.1 SISTEMA DE BOMBA LINEAL.....	19
2.4.2 SISTEMA DE BOMBA ROTATIVA.....	20
2.4.3 SISTEMA COMMON RAIL.....	21
2.4.4 SISTEMA INYECTOR-BOMBA.....	22
3 ACEITES VEGETALES	24
3.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN.....	24
3.1.1 EXTRACCIÓN POR PRENSADO.....	24
3.1.2 EXTRACCIÓN POR SOLVENTES.....	25
3.2 PROPIEDADES A CONSIDERAR PARA SU USO COMO COMBUSTIBLE.....	25
3.2.1 PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS.....	25
3.2.2 PROPIEDADES VARIABLES.....	28

3.3 NORMALIZACIÓN ACEITES VEGETALES.....	29
3.4 TIPOS DE ACEITE COMBUSTIBLE Y PROPIEDADES.....	31
3.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL ACEITE VEGETAL COMBUSTIBL.....	34
4 CRITERIOS DE DISEÑO.....	37
4.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL VEHÍCULO.....	37
4.2 FACTORES DE USO.....	39
4.3 FACTORES AMBIENTALES.....	40
4.4 ELECCIÓN ACEITE COMBUSTIBLE.....	42
4.5 ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	42
4.5.1 SISTEMA MONOCOMBUSTIBLE.....	43
4.5.2 SISTEMA BICOMBUSTIBLE.....	45
4.6 ELECCIÓN DEL SISTEMA.....	47
5 DISEÑO Y CÁLCULO DE COMPONENTES.....	48
5.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	48
5.1.1 DEPÓSITO.....	49
5.1.2 PRE FILTRO.....	51
5.1.3 MANGUERAS DE COMBUSTIBLE.....	51
5.1.4 AISLANTE.....	54
5.1.5 BOMBA DE TRASIEGO.....	56
5.1.6 CONJUNTO INTERCAMBIADOR-FILTRO DE COMBUSTIBLE...	61
5.1.7 ELECTROVÁLVULAS.....	66
5.1.8 CALENTADOR TUBO DE SUCCIÓN.....	67
5.1.9 TUBERÍA CALEFACTADA.....	70
5.2 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.....	72

5.2.1 AUTÓMATA.....	74
5.2.2 ENTRADAS.....	77
5.2.3 SALIDAS.....	81
5.2.4 PROGRAMACIÓN AUTÓMATA.....	81
5.2.5 CÁLCULO SISTEMA ELÉCTRICO.....	86
6 PRESUPUESTO	91
7 CONCLUSIONES.....	92
8 BIBLIOGRAFÍA.....	93
9 ANEXO.....	96
9.1 TABLAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ACEITE DE COLZA.....	97
9.2 COEFICIENTE PÉRDIDA DE CARGA EN CODOS.....	99
9.3 COEFICIENTES TRANSFERENCIA DE CALOR INTERCAMBIADORES.....	100
9.4 PRUEBAS EN VEHÍCULO Y VIABILIDAD ECONÓMICA.....	101
10 PLANOS	
- Esquema de principio	
- Isométrico sistema alimentación	
- Despiece conjunto intercambiador-filtro	
- Esquema eléctrico	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Primer motor diesel de 1897.....	11
Figura 2.2. Diagrama presión volumen.....	13
Figura 2.3. Ciclo mixto diesel teórico.....	14
Figura 2.4. Ciclo mixto diesel real.....	15
Figura 2.5. Distintas partes de un motor diez.....	17
Figura 2.6. Diferentes cámaras de combustión en motores diesel.....	18
Figura 2.7. Aspecto exterior de una bomba lineal.....	19
Figura 2.8. Partes de una bomba rotativa.....	20
Figura 2.9. Componentes del sistema common-rail.....	22
Figura 2.10. Componentes y disposición del sistema bomba inyector.....	22
Figura 2.11. Conjunto bomba inyector.....	23
Figura 3.2. Viscosidad frente a temperatura aceites vegetales, gasoil y biodiesel.	31
Figura 3.3. Densidad frente a temperatura aceites vegetales, gasoil y biodiesel...	32
Figura 3.4. Ciclo del CO ₂	35
Figura 4.1. Opel Frontera 2.3 TD.....	37
Figura 4.2. Radio de acción habitual en torno a Zamora.....	39
Figura 4.3. Temperaturas mínimas en Zamora (último año).....	40
Figura 4.4. Temperaturas mínimas en León (último año).....	41
Figura 4.5. Temperaturas mínimas en Navacerrada (último año).....	41
Figura 4.6. Sistema monocombustible.....	43
Figura 4.7. Sistema bicombustible.....	46
Figura 5.1. Deposito de aceite vegetal.....	50

Figura 5.2. Kit de instalación depósito.....	50
Figura 5.3. Pre filtro de combustible.....	51
Figura 5.4. Armaflex aislante.....	54
Figura 5.5. Diagrama de altura de elevación de la bomba.....	58
Figura 5.6. Características de la bomba de cebado.....	61
Figura 5.7. Factor de corrección geometría intercambiadores.....	65
Figura 5.8. Conjunto intercambiador filtro.....	66
Figura 5.9. Electroválvula 3/2.....	67
Figura 5.10. Calentador del tubo de succión del depósito.....	69
Figura 5.11. Resistencia For Flex con cubierta de silicona.....	69
Figura 5.12. Conexión eléctrica resistencia.....	72
Figura 5.13. Secuencia de funcionamiento del autómata.....	73
Figura 5.14. Autómata Siemens LOGO.....	74
Figura 5.14. Características del autómata.....	75
Figura 5.16. Gráfica temperatura-resistencia de la sonda PT100 de platino.....	78
Figura 5.17. Sonda PT100.....	79
Figura 5.18. Distintos tipos de termostatos eléctricos (klixón).....	79
Figura 5.19. Sección de conductores eléctricos.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Contenidos en yodo.....	27
Tabla 3.2. Norma DIN 51605. Normalización de aceites vegetales combustibles.	30
Tabla 3.3. Comparativa viscosidad/densidad aceite-gasoil 90°C.....	34
Tabla 3.4. Comparativa viscosidad/densidad aceite-gasoil 100°C.....	34
Tabla 3.5. Poder calorífico de aceites frente el gasoil.....	35
Tabla 5.1. Condiciones de entrada-salida en el intercambiador.....	63
Tabla 5.2. Entradas automática.....	82
Tabla 5.3. Salidas automática.....	82

1- INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el medio de transporte más utilizado en el mundo es el automóvil, según un estudio realizado en 2010 por la consultora Wards Auto, se han superado los 1015 millones de unidades solamente contabilizando vehículos utilitarios, camiones y autobuses. Esto supuso un aumento con respecto al año anterior de un 3,6%, ocasionado en gran medida por los países emergentes véase China, Brasil, India etc.

La agencia internacional de la energía afirmó que en 2035 la población mundial de automóviles podría situarse en torno a 1700 millones de vehículos, si bien, otros estudios aumentan esa previsión.

Un porcentaje muy alto de este parque es movido gracias a combustibles fósiles, recurso no renovable que ante un aumento cada vez mayor de la demanda hace peligrar el abastecimiento en un futuro a corto plazo.

Por otro lado y aunque cada vez la legislación anticontaminación para automóviles es más exigente (La normativa Euro 6 se implantará en Europa el 1 de septiembre de 2014), surge un importante problema debido a la contaminación causada por estos vehículos.

Por todo esto, se hace necesaria la investigación en nuevas tecnologías en el sector de la automoción así como en combustibles alternativos que palien estos efectos adversos.

1.1 OBJETIVOS Y DESARROLLO DEL PROYECTO

Este proyecto presenta el estudio de la adecuación del sistema de combustible de un vehículo para funcionar con aceite vegetal como combustible, realizado como caso práctico en un Opel Frontera 2.3 TD.

La motivación para la realización de este proyecto surge como una oportunidad de desarrollar un sistema capaz de aprovechar aceites vegetales como combustible en vehículos diesel, ya sean extraídas del prensado o recicladas, intentando que el proceso desde la recolección de la planta en el campo hasta poder ser usadas en un automóvil sea lo más sencillo posible, lo que redundará en un aumento de la eficiencia energética global de todo el proceso.

Para su desarrollo se hará un breve repaso a la historia y funcionamiento de los motores de ciclo diesel así como sus diferentes evoluciones (inyección indirecta, common rail, inyector bomba etc.) y los aspectos más importantes a tener en cuenta en cada tipo de motor para realizar una modificación de este tipo.

Posteriormente se realizará una descripción de los diferentes tipos de aceites vegetales susceptibles de ser utilizados como combustible definiendo las características físico-químicas de cada uno para poder elegir el que mejor se adapte a nuestro proyecto y con la mayor rentabilidad posible.

Tras estos dos análisis que sentarán las bases del proyecto, definiremos y justificaremos el sistema ideado para nuestro vehículo. Una vez llevado a la práctica, se realizarán pruebas comparativas de opacidad, ruido y consumo para poder obtener las pertinentes conclusiones y realizar un estudio de viabilidad del sistema diseñado.

2- EL MOTOR DIESEL

2.1 HISTORIA

El 28 de febrero de 1892, Rudolf Diesel patentó el que sería su mayor logro, el motor diesel. Ingeniero Francés, hijo de inmigrantes alemanes durante la guerra franco-prusiana, dedicó gran parte de su vida al estudio de los motores de combustión interna y alto rendimiento con combustibles alternativos.

Estos estudios, surgieron como alternativa al motor de ciclo Otto o motor de gasolina, el cual, por aquel entonces tenía unos rendimientos sumamente bajos. Se centraron en la búsqueda de un combustible capaz de explotar sin necesidad de una chispa para iniciar la combustión, basados en los estudios termodinámicos de Sadi Carnott (1796-1832) que afirmaban que existía la posibilidad de que una mezcla de aire y combustible pudiera explotar si se comprimía lo suficiente. En un principio el combustible utilizado fue carbón pulverizado, que posteriormente evolucionó hasta aceites livianos como el de cacahuete y palma.

De esta forma, MAN (empresa en la que trabajaba Rudolf Diesel) fabricó el primer motor diesel en 1897 en el que se utilizaba como combustible fuel oil.



Fig. 2.1 Primer motor Diesel de 1897

Durante años, los motores diesel fueron utilizados para aplicaciones estáticas como generadores así como en barcos debido a su peso, vibraciones y ruidos generados

durante su funcionamiento. Aunque se llegaron a fabricar algunos motores destinados a la automoción, el gran desarrollo de este tipo de motores vino de la mano de Robert Bosch (ingeniero e industrial Alemán, 1861-1942), quién ideó un sistema de inyección mucho más preciso y compacto. Hasta entonces, la alimentación de combustible se hacía a través de un complejo sistema que consistía, básicamente, en soplar el combustible mediante aire comprimido. Así, en 1925 apareció la primera bomba de inyección y en 1927 ya eran producidas en serie.

La principal mejora en los motores diesel derivada de este avance, fue la posibilidad de dar una mayor velocidad de giro a los motores y por lo tanto mayor potencia, así como mejorar su consumo y emisiones debido a un mejor dosificado del combustible.

Otro de los grandes logros conseguidos por la industria fue el uso de turbocompresores, que mejoraron el llenado de los cilindros aumentando en gran medida el rendimiento alcanzado por los motores diesel.

Desde el primer motor ideado, hasta nuestros días, el avance en la técnica diesel ha supuesto el repunte de su utilización como combustible en vehículos a motor, que ya ha superado en algunos casos a la venta de vehículos con motor de gasolina.

2.2 EL CICLO DIESEL

Un ciclo de calor puede describirse como una secuencia de las condiciones de presión necesarias en el cilindro de un motor de combustión interna, para transformar de forma eficaz la energía química del combustible, en energía mecánica disponible en el volante motor.

Habitualmente, son representados a través de un gráfico presión/volumen dentro del cilindro, en el funcionamiento del motor.

Se pueden distinguir dos tipos de ciclos, el teórico, suponiendo un funcionamiento perfecto del motor con procesos reversibles y el práctico o real en el que se tienen en cuenta las peculiaridades que surgen en el motor, ya sean por su distribución, tiempos de inyección etc.

El funcionamiento teórico de un motor diesel de cuatro tiempos, responde al siguiente diagrama P-V (Ciclo diesel de presión constante).

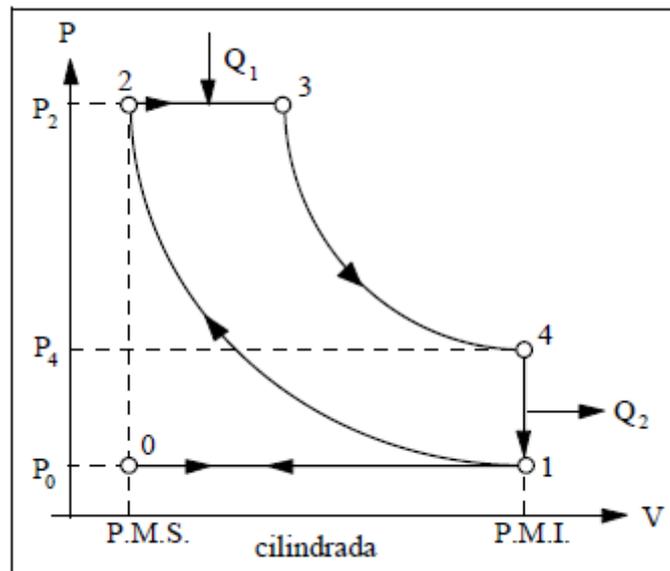


Fig. 2.2 Diagrama Presión-Volumen

0-1: Admisión isóbara, el pistón pasa del P.M.S al P.M.I llenando el cilindro con aire fresco que fluye a través de la válvula/s de admisión.

1-2: Compresión adiabática, durante ésta carrera el aire es comprimido alcanzando presiones del orden de 50 Kp/cm^2 y temperaturas alrededor de 600°C .

2-3: Inyección y combustión isóbara, el combustible es introducido a través del inyector, pulverizado a alta presión en la cámara de combustión donde debido a la alta temperatura de la misma comienza la combustión a la vez que el pistón comienza su carrera descendente.

3-4: Expansión adiabática, el pistón desciende hasta el P.M.I debido al empuje creado por la combustión del combustible.

4-1: Primera fase del escape (isocora), al abrirse la válvula de escape, parte de los gases quemados salen por ella sin movimiento del pistón debido a que la presión en el cilindro es superior a la atmosférica.

1-0: Segunda fase del escape (isóbara), los gases restantes que quedan en el cilindro, son expulsados en la carrera ascendente del pistón hasta el P.M.S.

Este ciclo a volumen constante, es válido para motores diesel con velocidades de rotación bajas. Hoy en día, con los avances en la técnica de inyección y materiales

más ligeros (menos inercias), los motores diesel gozan de una gran elasticidad y son capaces de girar a grandes revoluciones. Al aumentar las r.p.m. a las que gira el motor también lo hace la velocidad lineal del pistón, por lo que disminuye el tiempo disponible para la inyección de combustible, si esta se hace en el P.M.S, el pistón habrá bajado de este nivel un cierto recorrido antes de que se produzca la combustión. Para solucionar esta situación, el inicio de la inyección debe tener lugar un poco antes del P.M.S lo que da lugar al ciclo mixto.

La figura 2.3 muestra el diagrama P-V que podría tener el cilindro de un motor diesel de alta velocidad perfecto, funcionando en un ciclo ideal de calor del tipo mixto. Cuando el pistón sube desde el P.M.I hasta el P.M.S, se comprime el aire del interior del cilindro, con el consiguiente aumento de la temperatura y la presión. Esta fase de compresión se muestra en el diagrama mediante la línea curva CD. La carga de combustible no empieza a quemarse hasta un poco antes del P.M.S. (entre 3 y 6 grados del giro del cigüeñal), debido al retardo de la inflamación.

La inyección de combustible comienza en el punto D y en el caso del diagrama ideal P-V, se asume que la combustión es instantánea, aunque esto no sucede así en la práctica. Debido a la combustión hay un aumento instantáneo de la presión, que se muestra en la línea DP. Esta fase de combustión es isocora.

Cuando el pistón desciende desde el P.M.S, el resto de la carga de combustible se quema y los gases de la combustión se expanden en el interior del cilindro, haciendo descender al pistón, mientras que la presión permanece constante como se aprecia en la línea PE. El resto del ciclo no se diferencia en ningún punto del ciclo diesel teórico.

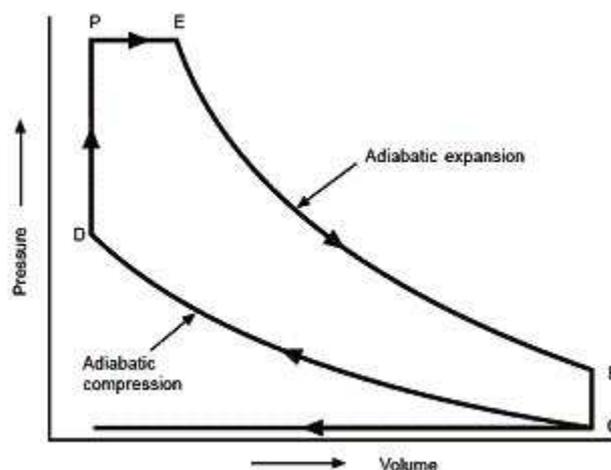


Fig. 2.3 Ciclo mixto Diesel teórico

El diagrama de ciclo mixto real (ciclo indicado) que siguen los motores diesel actuales se puede apreciar en la figura 2.4.

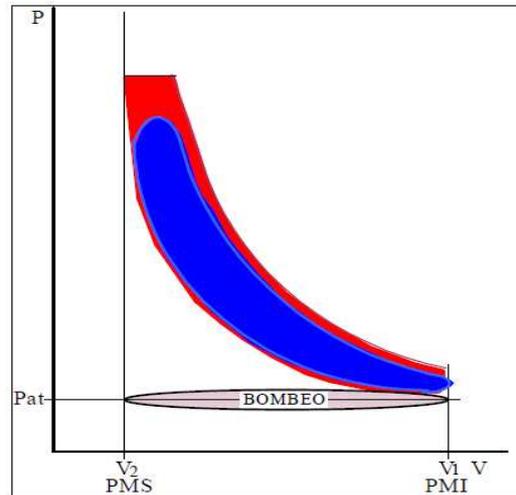


Fig. 2.4 Ciclo mixto diesel real

Las diferencias que surgen entre el ciclo real y el indicado, son principalmente producidas por:

Pérdidas de calor: Debidas a la cesión de calor del cilindro al refrigerante. Esto hace que las líneas de compresión y expansión se conviertan en poli trópicas.

Diagrama de distribución: Es el que define el tiempo apertura y cierre de las válvulas, definiendo el carácter y rendimiento del motor. En el diagrama teórico, se suponen instantáneos los movimientos de las válvulas, puesto que esto es imposible, es necesario intervenir en el diagrama de distribución, el cual queda definido en función de los siguientes parámetros:

-Adelanto en la apertura de la admisión (AAA): La válvula de admisión se abre unos instantes antes de que el pistón llegue al P.M.S. favoreciendo la posterior entrada de gases frescos al interior del cilindro.

-Retraso en el cierre de la admisión (RCA): La válvula de admisión se cierra unos instantes después del P.M.I. ya que debido a la inercia de los gases estos siguen entrando al cilindro un tiempo después de la carrera ascendente del pistón, favoreciendo el llenado del mismo.

-Adelanto de la inyección (AI): Compensa el retraso que se produce en la combustión de los gases.

-Adelanto de la apertura del escape (AAE): Hace que disminuya antes la presión interior del cilindro y consigue un barrido más eficaz de los mismos.

-Retraso en el cierre del escape (RCE): Mejora la evacuación de los gases quemados ya que éstos al salir del cilindro generan una succión que hace que puedan seguir saliendo instantes después del P.M.S.

-Cruce de válvulas: Es el período en el que ambas válvulas están abiertas. Debido a la velocidad de los gases de escape al abandonar el cilindro, crean una succión que es aprovechada por los gases de admisión para entrar en la cámara.

Estos parámetros no son fijos y varían en función del diseño del motor en base al régimen de giro, potencia a desarrollar, consumo etc....

-Combustión no instantánea.

-Pérdidas por bombeo: Son debidas a los rozamientos surgidos durante el flujo de gases en los sistemas de admisión y escape.

Así, tenemos que en la actualidad con todas las mejoras introducidas en el tiempo, el rendimiento de un motor diesel de automoción está en torno a un 40%.

2.3 PRINCIPALES COMPONENTES DEL MOTOR DIESEL

-Bloque de cilindros: Es la pieza básica del motor, sobre la que se distribuyen el resto de componentes. Suelen estar fabricados en fundición o aluminio.

En su interior podemos encontrar los cilindros (camisas), que pueden estar mecanizados directamente en el bloque o tratarse de piezas desmontables (camisas húmedas).

-Cigüeñal: Pieza encargada de convertir el movimiento lineal alternativo de los pistones en un movimiento rotativo.

-Pistones: Componentes que se deslizan alternativamente en el interior de los cilindros, fabricados generalmente de aluminio, tienen unas entalladuras en las que se

alojan los segmentos, elementos encargados básicamente de ajustar el pistón al cilindro para conseguir un cierre estanco del mismo.

-Bielas: Son las encargadas de unir el pistón con el cigüeñal, están sometidas a grandes esfuerzos de compresión.

-Cárter: Recipiente instalado en la parte inferior del bloque, cuya función principal es contener el aceite lubricante necesario para el funcionamiento del motor en óptimas condiciones.

-Culata: Elemento que cierra el bloque por su parte superior. En ella van alojadas las válvulas de admisión y escape encargadas de abrir y cerrar el paso de los gases en el motor.

-Árbol de levas: Componente de la distribución del motor que actúa de mando sobre las válvulas.

-Turbocompresor: Elemento auxiliar del motor cuya función reside en mejorar el llenado del cilindro introduciendo aire a mayor presión que la atmosférica, gracias al aprovechamiento de la energía cinética de los gases de escape.

-Sistema de inyección: Son el conjunto de elementos encargados de proporcionar el combustible al motor en el momento preciso y con las condiciones de presión necesarias para su correcto funcionamiento.

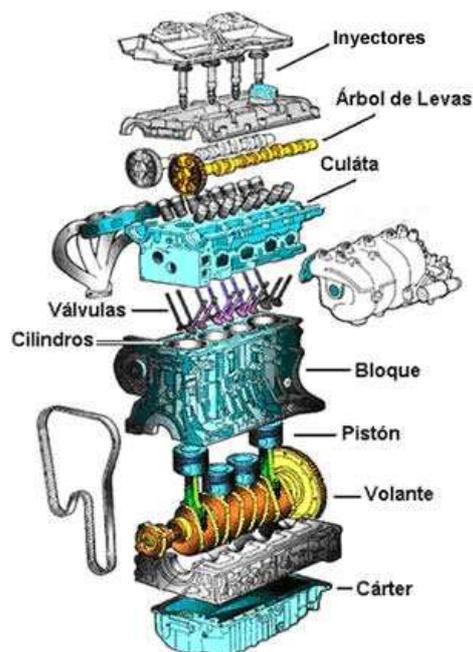


Fig. 2.5 Distintas partes de un motor diesel

2.4 SISTEMAS DE INYECCIÓN

Podemos distinguir dos grandes tipos de inyección, la directa y la indirecta.

La inyección directa se caracteriza por situar la punta del inyector dentro de la cámara de combustión de manera que el combustible es introducido directamente en ella, mientras que en la indirecta el combustible es inyectado en un pre cámara o cámara de turbulencia donde comienza la combustión.

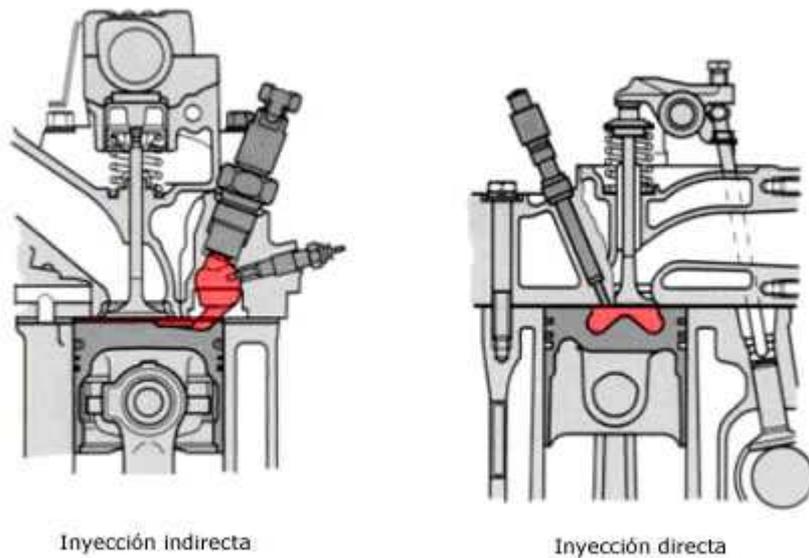


Fig. 2.6 Diferentes cámaras de combustión en motores Diesel

En los comienzos de la técnica diesel se utilizó la inyección directa pero tenía un problema, el gasoil tardaba mucho en arder dentro de la cámara de combustión lo que no permitía alcanzar grandes regímenes y además al hacerlo provocaba un “picado” sobre el pistón que generaba ruidos y la necesidad de realizar elementos más resistentes para soportar éstas fuerzas de choque.

Como consecuencia de estos problemas apareció la inyección indirecta en la que la inyección se produce en una pre cámara labrada en la culata con menor volumen que la cámara principal donde comienza la combustión y desde la que se distribuye posteriormente el frente de llama por todo el cilindro.

Gracias a que la combustión podía realizarse en menos tiempo se pudieron alcanzar regímenes más altos para los motores y se disminuyó el nivel de ruido.

Actualmente, los motores diesel son de inyección directa los cuáles consumen menos, tienen menos nivel de ruido y el régimen de giro es igual o superior a los motores de inyección indirecta. Esta vuelta a los inicios se ha conseguido principalmente a presiones de inyección mucho más elevadas, se ha pasado de presiones en torno a 170 Kg/cm^2 a más de 1400 Kg/cm^2 lo que provoca una mejor pulverización del gasoil mejorando el tiempo de combustión, y por otro lado al avance en la gestión electrónica que permite hacer pre-inyecciones con pequeñas cantidades de combustible que se asemejan a la función de la pre cámara.

2.4.1 Sistema de bomba lineal

Este tipo de bombas inyectoras fueron las pioneras de los sistemas de inyección diesel. Su construcción es muy robusta y por ello soportan muy bien el trabajo con aceite vegetal.

El funcionamiento básico de la misma es sencillo, el combustible llega a la bomba a través del tubo de alimentación del sistema de baja presión una vez filtrado. Allí, pasa a un colector común que alimenta a todas las salidas de la bomba (una por cada inyector del motor), ese combustible es comprimido, respetando el orden de encendido del motor, por un émbolo que a su vez es movido por un árbol de levas solidario a la distribución del motor. Cada émbolo comprime el combustible de un solo inyector, por lo que habrá tantos émbolos como cilindros posea el motor.



Fig. 2.7 Aspecto exterior de una bomba lineal

En cuanto al circuito de baja presión de este sistema, cabe decir que generalmente, adosada a la bomba inyectora principal, existe otra bomba de tipo membrana accionada por el árbol de levas de la propia bomba inyectora o del motor, que se encarga de suministrar el combustible.

2.4.2 Sistema de bomba rotativa

A diferencia de la bomba de inyección en línea, la rotativa posee un único émbolo distribuidor. Este émbolo distribuidor tiene dos movimientos, un movimiento de vaivén (lineal) generado por un disco de levas, que hace la función del árbol de levas en la bomba lineal, es decir, comprime el combustible y por otro lado posee un movimiento de rotación que permite gracias a unas ranuras (una por cada inyector) distribuir el combustible a alta presión a cada cilindro.

En el interior de la bomba rotativa, se encuentra la bomba de aletas (Bomba de baja presión BP) encargada de aspirar el combustible del depósito e introducirlo en la bomba inyectora. Su funcionamiento se basa en un rotor centrado en el cuerpo de la bomba, solidario al eje y un anillo excéntrico. En el interior del rotor tenemos cuatro aletas móviles que son empujadas contra el anillo excéntrico por la fuerza centrífuga del giro, el movimiento alternativo de las aletas siguiendo el perfil excéntrico del anillo, hace que el combustible sea succionado.

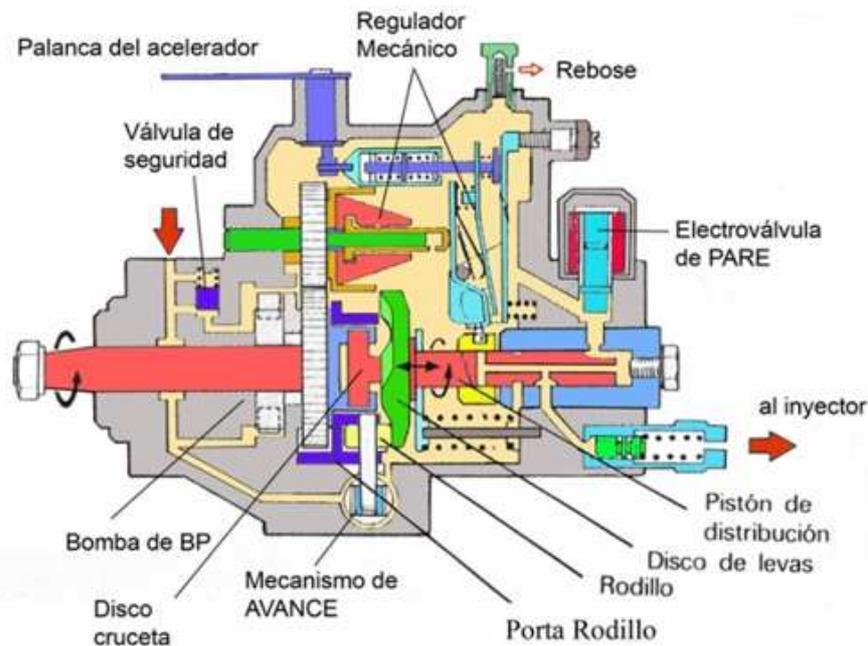


Fig. 2.8 Partes de una bomba rotativa

El funcionamiento de estas bombas con aceite vegetal plantea un problema, con el aceite frío, se crean sobrepresiones en ella y por un lado, la bomba de aletas no es capaz de elevar el combustible del depósito y por otro, se producen desgastes excesivos en el plato de levas que acortan la vida de la bomba. Para evitar estos inconvenientes, las posibles soluciones serían dotar al sistema de combustible de una bomba de cebado adicional y calentar el aceite para disminuir su viscosidad y densidad.

2.4.3 Sistema common rail

La mayor diferencia con respecto al resto de sistemas, es que la presurización y la inyección, son procesos totalmente diferentes ya que se trata de un sistema de acumulación. Este hecho representa una gran ventaja, ya que tiene la capacidad de realizar múltiples inyecciones y modificar cada inyección en función de los requerimientos del motor, proporcionando una estupenda economía de combustible, así como una gran suavidad de marcha.

El funcionamiento básico de este sistema es el siguiente:

La bomba de alta presión eleva la presión del combustible proveniente del depósito en torno a 1500 bar (actualmente, se alcanzan presiones de hasta 2000bar), este combustible presurizado pasa al rail, desde donde está disponible para la inyección en los diferentes cilindros.

Estas inyecciones, son gestionadas por la unidad electrónica, la cual, a través de los parámetros medidos en el vehículo, las adecúa a las demandas del conductor.

Gracias a esa disponibilidad de presión en cualquier instante, éste sistema es capaz de realizar hasta 5 pre inyecciones así como aumentar o disminuir el tiempo de inyección.

El circuito de baja presión, generalmente, está formado por una bomba eléctrica que eleva el combustible hasta la bomba de alta presión a través de las canalizaciones, aunque en algunos sistemas, la propia bomba de alta es la encargada de succionarlo.

El principal problema que puede surgir al adaptar este sistema al aceite vegetal surge en el filtrado del mismo, debido en gran parte a la utilización de inyectores con toberas de cinco o más agujeros dispuestos radialmente en la punta del inyector, los cuales son muy susceptibles de sufrir taponamientos en los mismos.

Por otro lado, se hace imprescindible calentar el aceite antes de introducirlo en el sistema de inyección, ya que la bomba de alta presión puede sufrir daños debido a la diferencia de densidad y viscosidad con respecto al combustible fósil.

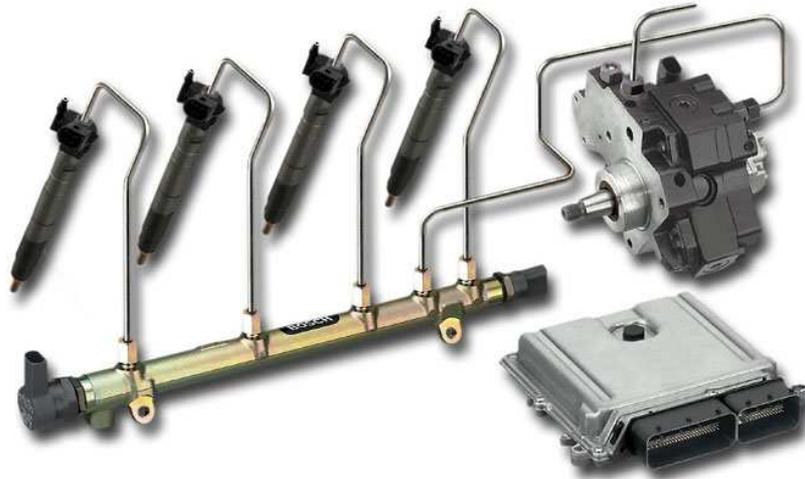


Fig. 2.9 Componentes del sistema "Common rail"

2.4.4 Sistema bomba-inyector

Este sistema de inyección es el que puede alcanzar mayores presiones de inyección, hasta 2050 bar, lo que redonda en motores más eficaces y menos contaminantes.

Es un sistema con regulación electrónica que a través de diferentes sensores y actuadores regula tanto el caudal de combustible, el avance, las preinyecciones etc....

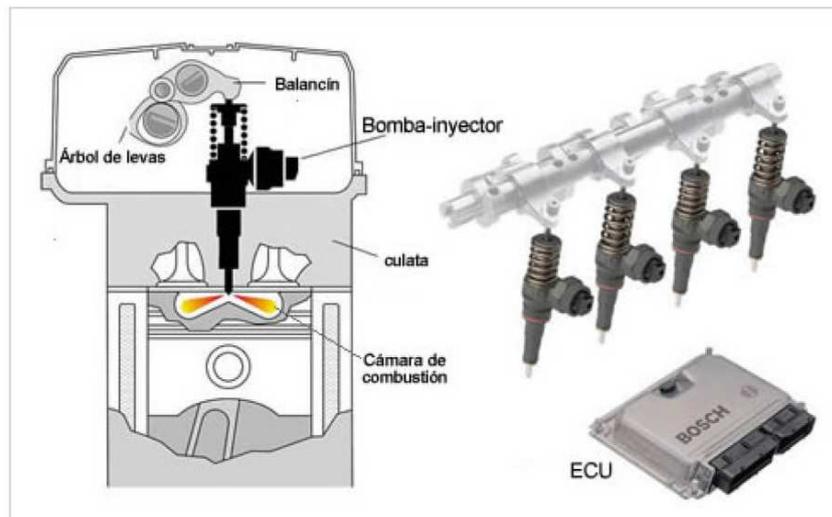


Fig. 2.10 Componentes y disposición del sistema bomba-inyector

La parte de alta presión está compuesta por la unidad bomba-inyector. Por cada cilindro del motor hay una unidad de bomba-inyector montada directamente en la culata. El inyector, integrado en la unidad, penetra en la cámara de combustión. El árbol de levas del motor tiene para cada unidad de bomba-inyector una leva de accionamiento. La carrera de leva es transmitida por un balancín al émbolo de la bomba, en consecuencia, éste sube y baja comprimiendo el combustible.

El comienzo de la inyección y la duración de la misma lo marca la gestión electrónica excitando una bobina, en función de los parámetros medidos en el motor, permitiendo que el combustible sea inyectado en la cámara de combustión.



Fig. 2.11 Conjunto bomba-inyector

En cuanto a la parte de baja presión, en este sistema es necesaria una bomba de baja que asegure el suministro y el llenado de la parte de alta presión en cualquier circunstancia. Generalmente se emplean bombas de aletas movidas por el giro del árbol de levas, algunos constructores aprovechan ésta bomba para crear la depresión necesaria para el servofreno y algunos actuadores del motor, ésta disposición de bomba se denomina bomba tándem.

El principal inconveniente de la utilización de aceite vegetal en estos sistemas, son las grandes presiones de inyección alcanzadas que obtienen una gran pulverización del combustible por lo que es necesario un filtrado concienzudo del aceite para prevenir obstrucciones en los orificios de salida del inyector y en los conductos de la unidad bomba-inyector.

Por otro lado, con temperaturas bajas, surgen problemas de arranque debido a la alta viscosidad y densidad del aceite.

3- ACEITES VEGETALES

Son compuestos orgánicos provenientes de plantas, ya sean de sus semillas o de otras partes de las mismas. En realidad, todas las semillas y frutos contienen aceite pero sólo los llamados oleaginosos sirven para producción industrial de aceite.

Las semillas de plantas cultivadas para producción de aceite son el cacahuete, soja, colza, ricino y girasol. En cuanto a los frutos oleaginosos los más habituales son el cocotero, el nogal, la palma de aceite y el olivo.

3.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN

El proceso de extracción es la manera en que transformamos las semillas, plantas, frutos etc. en aceite vegetal.

3.1.1 Extracción por prensado

El primer paso para la extracción mediante prensado es la molienda de la semilla con el objetivo de colapsar las estructuras vegetales a fin de que el aceite sea liberado de la semilla.

Posteriormente se obtiene una masa homogénea en un acondicionador para ser prensada en una prensa de tornillo, obteniéndose, aceite y una “torta proteínica” que puede ser utilizada como alimento de animales.

El aceite obtenido es filtrado en un primer paso a través de un tamiz y posteriormente con filtros dando lugar al aceite crudo filtrado.

Cabe destacar que este es un método de extracción en frío ya que no se alcanzan temperaturas superiores a 60-80°C, aspecto éste muy importante como veremos en el punto 4.2.

3.1.2 Extracción por solventes

La primera parte del proceso es compartida con la extracción por prensado, molienda y homogenización, posteriormente se realiza una segunda molienda para conseguir partes muy finas, las cuales son llevadas a un extractor y sometidas a la acción de un disolvente de materias grasas (habitualmente hexano) que arrastra las grasas a un evaporador donde son separadas de la harina que pasa a un separador del disolvente para eliminarlo.

3.2 PROPIEDADES A CONSIDERAR PARA SU USO COMO COMBUSTIBLE

Como hemos visto, la variedad de aceites vegetales que se pueden obtener es muy amplia, pero cualquier aceite no puede ser utilizado como combustible para motores diesel. Es necesario tener en cuenta una serie de parámetros para evitar funcionamientos anómalos del motor y averías a largo plazo.

Puesto que los motores están ideados para su utilización con diesel, todo aceite cuyas propiedades se alejen en gran medida de las del gasoil, harán más difícil la conversión.

Podemos distinguir dos tipos de propiedades para los aceites vegetales, las propiedades características, que únicamente dependen de la naturaleza de las semillas y las propiedades variables, que pueden variar en función del proceso que haya seguido el aceite para su extracción.

3.2.1 Propiedades características

-Densidad: Habitualmente, la densidad de los aceites vegetales no suele diferir más de un 10% con respecto a la del gasoil, así en principio y salvo excepciones, ésta no es una propiedad excluyente.

-Punto de ignición o inflamación: Es el punto más bajo de temperatura de un combustible en el que puede formarse una mezcla inflamable en contacto con el aire. Es mayor en los aceites vegetales que en el gasoil lo que facilita su transporte haciéndolo más seguro. Habitualmente, el punto de inflamación de los aceites vegetales se encuentra en unos márgenes adecuados.

-Poder calorífico: Es menor en el caso de los aceites vegetales, aunque cabe destacar que debido a su mayor densidad el contenido volumétrico del valor del calor es prácticamente el mismo.

-Viscosidad cinemática: Define la resistencia a fluir de un líquido. Ha de tener una viscosidad mínima para evitar fugas en la bomba de inyección y en los inyectores y su valor máximo también ha de estar definido para evitar obstrucciones en el sistema.

-Comportamiento a baja temperatura (Cold Filter Plug Point o temperatura de obstrucción de filtro): Nos define la temperatura a la que los cristales de cera creados en el combustible hacen que el filtro se obstruya.

-Número de Cetano: Físicamente, representa el retardo en la ignición del combustible, es decir, con un índice de cetano mayor, el retraso en la ignición es menor. El número de cetano es menor en los aceites vegetales aunque cabe destacar que los análisis empleados para determinarlo no son suficientes debido a que se realizan para motores diesel estandarizados.

-Residuo de Carbón: Nos aporta una aproximación de la tendencia del combustible a formar depósitos carbonosos. Son los causantes, entre otros, de la acumulación de “carbonilla” en los órganos internos del motor como pistones, segmentos, válvulas... etc. por lo que deben permanecer lo más bajos posibles.

-Número de Iodo (IV): Es un indicador de los enlaces dobles en la estructura de la molécula e influye directamente en la estabilidad de las propiedades a largo plazo lo que influye en el almacenaje.

Algunos aceites vegetales se “secan” en contacto con el aire, esto es debido a que los enlaces dobles se rompen en contacto con el oxígeno y se convierten en peróxidos, generándose moléculas largas y estables de polímeros (plásticos). Este efecto se ve incrementado en la cámara de combustión, además otro efecto indeseable es el ataque a los elastómeros que componen algunas tuberías de combustible.

Una forma de medir la “cantidad” de enlaces dobles es añadiendo Iodo a una muestra de 100 ml de aceite, la cantidad en gramos absorbida es el índice IV. Con un índice IV alto más puede polimerizar el aceite.

En motores sin ninguna modificación del sistema de combustible para funcionar con aceite vegetal sin problemas, el límite de Iodo máximo está en 50 a partir de ahí y hasta 120 la vida de la bomba inyectora y los inyectores puede verse afectada.

El exceso de Iodo puede reducirse a través de un proceso químico (hidrogenación). Hay aceites como el de coco con un índice IV muy bajo pero tienen un punto de fusión muy alto (25°C) por lo que su aplicación directa (sin mezclar con otros combustibles o aditivos) presenta dificultades.

En la tabla siguiente se pueden ver los contenidos en Iodo de algunas sustancias.

Aceites / Puntos de fusión / Número de Iodo (IV)		
Aceite	Punto de fusión aprox. (°C)	IV
Coco	25	10
Nuez de palma	24	37
Sebo de oveja	42	40
Sebo de vaca	-	50
Palma	35	54
Oliva	-6	81
Higuerilla	-18	85
Cacahuete	3	93
Colza	-10	98
Algodón	-1	105
Girasol	--17	125
Soja	-16	130

Tabla 3.1. Contenidos en Iodo.

-Contenido en azufre: Todos los combustibles fósiles contienen azufre, en la UE el límite establecido en 2005 fue de 50ppm. Este azufre, es expulsado del motor en forma de sulfuros (SOx) que contribuyen a la lluvia ácida. Por otro lado, en el interior del motor las partes mecánicas como válvulas, guías de válvulas, bomba inyectora etc. también se ven atacadas por éstos compuestos.

En la actualidad se tiende a reducir el contenido en azufre de los combustibles fósiles. El aceite vegetal supone una ventaja en este sentido ya que en su estado puro no contiene azufre.

3.2.2 Propiedades variables

-Contaminación: Se entiende por contaminación, cualquier partícula ajena al combustible. Del mayor o menor grado de contaminación dependerá la vida del filtro de combustible.

Los filtros de combustible habituales son capaces de retener partículas de hasta 10 micras, por ello, es conveniente filtrar el aceite por debajo de ese número para evitar problemas en el sistema de inyección.

-Valor ácido: Característica que muestra el valor de ácidos grasos libres, éstos aceleran la degradación del aceite y generalmente su aparición se debe a un mal almacenaje (contacto con la luz solar, con el aire, calor etc.).

Si grandes cantidades alcanzan el aceite lubricante pueden modificar sus propiedades, poniendo en peligro la vida del motor.

-Estabilidad a la oxidación: Depende de la composición de los ácidos grasos libres y marca la degradación del aceite a lo largo del tiempo sometido a altas temperaturas. Cuanto más estable sea a la oxidación, mejor comportamiento tendrá como combustible.

-Contenido en fósforo: El fósforo contenido en el combustible, plantea varios problemas, los fosfolípidos, obstruyen el filtro de combustible y producen la oxidación de la cámara de combustión que se acentúa por encontrarse a altas temperaturas y atacan los elastómeros presentes en algunos conductos de goma, hinchándolos.

Por otro lado, la combustión con fósforo plantea otro problema añadido. Debido a que es un elemento extraño en la reacción de combustión, la cual sólo necesita de Carbono, Oxígeno e Hidrógeno, hace que la temperatura de la reacción disminuya favoreciendo la aparición de capas de fósforo en el motor y por otro lado, con una temperatura menor, parte del combustible no es quemado produciéndose mayores emisiones.

Estos dos efectos combinados provocan la aparición de carbón en el motor, lo que ocasiona un desgaste prematuro del mismo.

Los aceites prensados en frío y refinados (procedimientos en los que básicamente se eliminan los ácidos grasos libres y los fosfolípidos), con un filtrado eficaz de hasta

medio micrón, contienen proporciones muy bajas de fósforo que no comprometen el comportamiento del motor.

-Contenido en cenizas: Representan la cantidad de material sin quemar después de la combustión de aceite en el motor. La mayoría son causadas por sales presentes en el aceite.

-Contenido en agua: El agua puede formarse por el almacenamiento en tanques o provenir del prensado, puesto que el vegetal la contiene.

Debe ser baja ya que puede causar problemas en el sistema de inyección por mala lubricación y estropear el filtro de combustible.

3.3 NORMALIZACIÓN ACEITES VEGETALES

La norma Alemana (DIN51605) fija los valores máximos y mínimos para las propiedades descritas anteriormente del aceite de colza en su utilización como combustible y define los métodos exactos para medirlas.

El origen de la norma se remonta a la norma RK-2000 o estándar Weihenstephan del año 96, actualmente los valores de fósforo están siendo revisados debido en gran medida a los modernos motores de inyección directa pero no existe unanimidad en la cantidad máxima a admitir.

A pesar de que la norma DIN 51605 está realizada para aceite de colza, los valores límites de las propiedades pueden ser asumidos para cualquier otro tipo de aceite vegetal, puesto que están definidos para motores de combustión interna. Esto es especialmente cierto para las propiedades variables de los aceites. Han sido probados y utilizados con éxito otros aceites como el de girasol o jatropha.

Propiedades/ Constituyentes	Unidades	Estándares
Densidad a 15°C	900 – 930 Kg/m ³	Acorde con DIN EN ISO 3675 o Acorde con DIN EN ISO 12185
Punto flash: mínimo	220 °C	Acorde con DIN EN ISO 2719
Viscosidad Cinemática a 40°C máximo.	36.0 mm ² /s	Acorde con DIN EN ISO 3104
Valor calorífico mínimo	36,000	Acorde con DIN 51900-1, -2, -3
Ignición mínima	39	
Carbon máximo	0.40%	Acorde con DIN EN ISO 10370
Propiedades Variables		
Contaminación total	24 mg/ kg	Acorde con DIN EN 12662
Número acido	2.0 mg KOH/g	Acorde con DIN EN 14104
Estabilidad de oxidación a 110 °C mínimo	6.0 h	Acorde con DIN EN 14112
Contenido de fósforo máximo	12 mg/ kg	Acorde con DIN EN 14107
Monto total de magnesio y calcio máximo	20 mg/ kg	Acorde con DIN EN 14538
Contenido de cenizas (oxidasche) máximo	0.01%	Acorde con DIN EN ISO 6245
Agua máxima	0.08%	Acorde con DIN EN ISO 12937
Valor Iodine	95-125g g Iodine/100	Acorde con DIN EN 14111
Contenido de sulfuro	10 mg/ kg	Acorde con DIN EN ISO 20846 o Acorde con DIN EN ISO 20884

Tabla 3.2. Norma DIN 51605. Normalización aceites vegetales para uso como combustible

3.4 TIPOS DE ACEITE COMBUSTIBLE Y PROPIEDADES

Como hemos visto existen un gran número de plantas y semillas de las que se puede obtener aceite, vamos a analizar las más susceptibles para ser usadas como combustible. Para ello, compararemos la densidad y la viscosidad de algunas de ellas con la del gasoil y el biodiesel B100 (combustible alternativo proveniente de la esterificación de aceites vegetales) y realizar así una primera clasificación de las más idóneas.

En la gráfica 3.2 podemos apreciar la variación de la viscosidad con la temperatura. La zona marcada en verde define la viscosidad a temperatura de trabajo a la que circula normalmente el gasoil y el B100 por el sistema de combustible, la zona coloreada de amarillo nos define la temperatura necesaria a la que tiene que estar el aceite para que la viscosidad sea lo más parecida posible a la del gasoil.

Asimismo, en la gráfica 3.3 podemos hacer la misma lectura para la densidad.

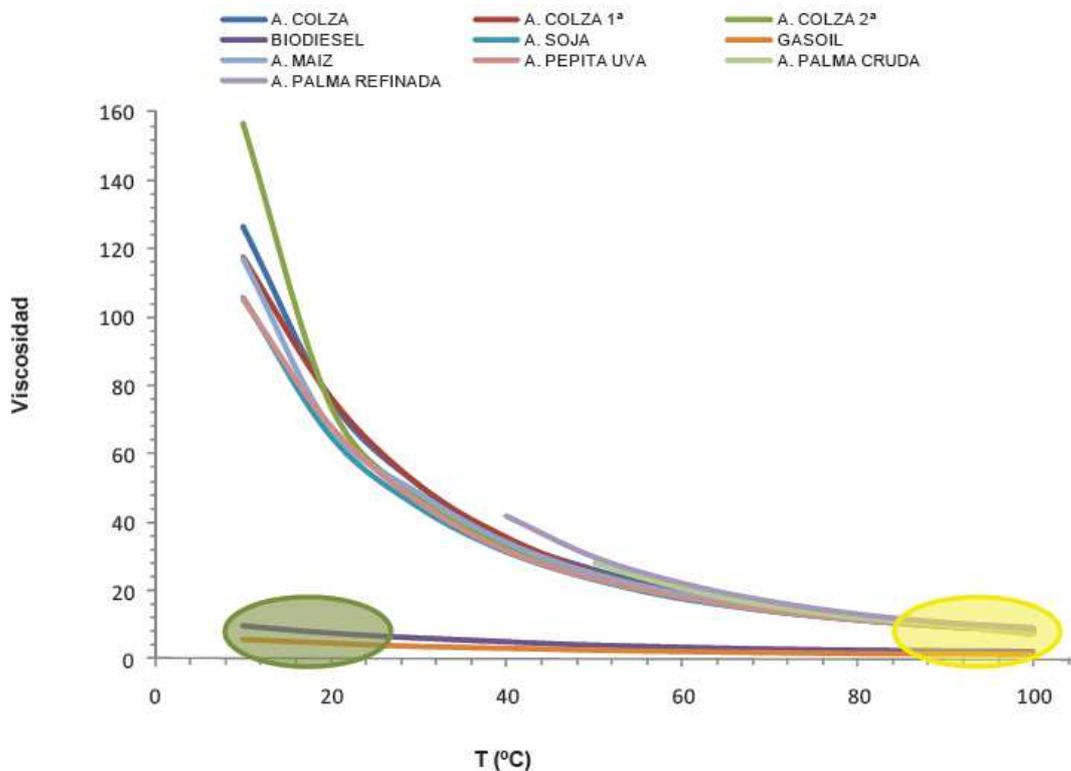


Fig. 3.2. Viscosidad (csK) frente a temperatura aceites vegetales, gasoil y biodiesel

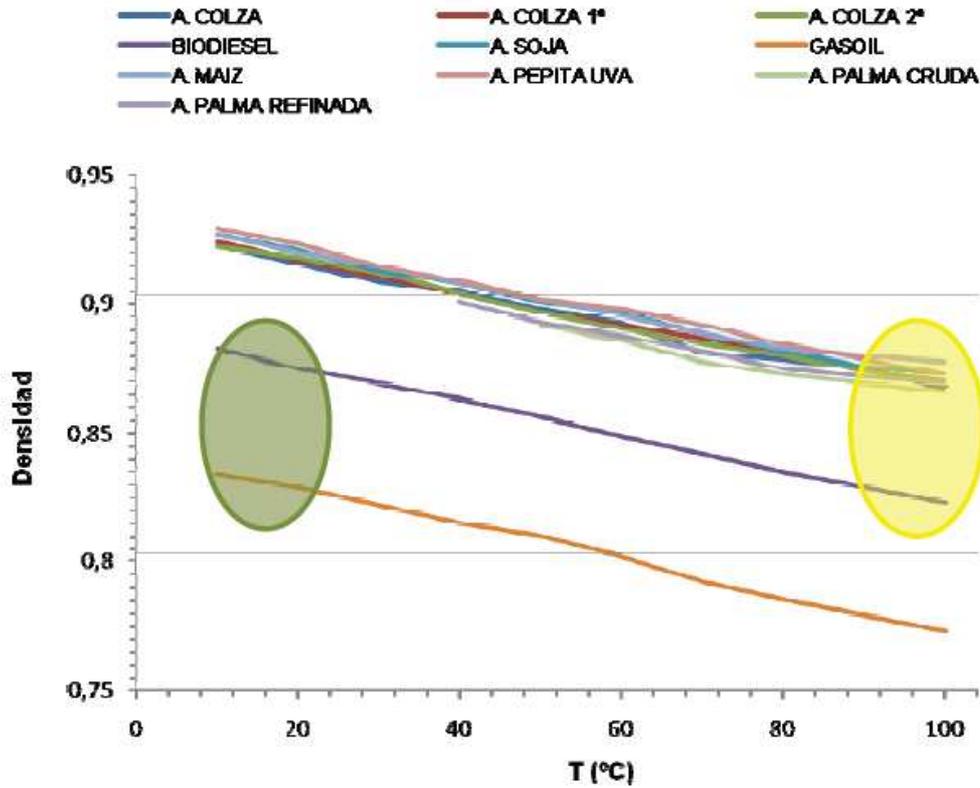


Fig. 3.3. Densidad (g/cm^3) frente a temperatura aceites vegetales, gasoil y biodiesel

Como se puede comprobar, al aumentar la temperatura, la densidad y la viscosidad disminuyen y se acercan cada vez más a los valores del gasoil para una temperatura de trabajo del mismo en torno a 10-20 °C.

En las tablas 3.4 y 3.5 podemos comprobar los valores numéricos a 90 y 100°C para el aceite, los cuales nos aportan una idea muy clara del primer paso a realizar para hacer funcionar al motor, que no es otro que calentar el aceite.

	Temperatura (°C)	Viscosidad (csk)	Densidad (kg/m ³)
Gasoil	10	5,8	834
	20	4,7	829
B100	10	9,7	883
	20	7,5	875
Aceite de colza	90	9,9	875
Ac.de colza de 1ª prensada	90	9,6	875
Ac.de colza de 2ª prensada	90	9,2	874
Ac.de soja	90	9,2	876
Ac.de maiz	90	10,1	880
Ac.de pepita de uva	90	9,2	879
Ac. palma cruda	90	9,7	869
Ac. palma refinada	90	10,5	872

Tabla 3.4. Comparativa viscosidad/densidad frente al gasoil, para 90°C del aceite vegetal

	Temperatura (°C)	Viscosidad (csk)	Densidad (kg/m ³)
Gasoil	10	5,8	834
	20	4,7	829
B100	10	9,7	883
	20	7,5	875
Aceite de colza	100	8,5	867
Ac.de colza de 1ª prensada	100	7,9	868
Ac.de colza de 2ª prensada	100	7,9	870
Ac.de soja	100	8,1	873
Ac.de maiz	100	8,4	878
Ac.de pepita de uva	100	7,9	873
Ac. palma cruda	100	7,2	866
Ac. palma refinada	100	9,1	869

Fig. 3.5 Comparativa viscosidad/densidad frente al gasoil, para 100°C del aceite vegetal

Según la norma DIN 51605, el poder calorífico mínimo de un aceite vegetal para ser utilizado como combustible es de 36000 Kj / Kg, en la tabla 3.6 se pueden apreciar para distintos tipos de aceites.

Combustible	Poder calorífico (KJ/Kg)
Gasoil	45200
Aceite de colza	39100
Aceite de palma	37400
Aceite de cacahuete	39500
Aceite de soja	39400
Aceite de girasol	37100
Biodiesel B100	38000

Tabla 3.5. Poder calorífico aceites frente a gasoil

3.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL ACEITE VEGETAL COMO COMBUSTIBLE

Puesto que las características físico-químicas del aceite vegetal difieren del gasóleo, éstas presentarán pros y contras durante su uso como combustible. A continuación se describirán los aspectos más destacables.

Algunas de las ventajas que representa el uso de aceite vegetal como combustible son:

- Ahorro de combustibles procedentes del petróleo.
- Desarrollo agrícola. La producción de combustibles vegetales tiene como origen la agricultura, lo que hace que se generen nuevas posibilidades de empleo, generalmente en zonas rurales. Por otro lado surge el aprovechamiento de terrenos abandonados bien por restricciones administrativas o por la imposibilidad de usarse para otros cultivos. Además, a través de cooperativas agrarias, surge la posibilidad del autoabastecimiento de combustible para los agricultores.

- Diversificación energética
- Aprovechamiento de los residuos. A través de un adecuado proceso de filtrado y purificación, existe la posibilidad de utilizar aceites reciclados como combustible.
- Biodegradable. El aceite vegetal puede ser descompuesto y metabolizado por el ambiente con mayor facilidad que el combustible fósil. Estudios elaborados por la universidad de Idaho, demostraron que para un mismo período de tiempo, el aceite vegetal se descomponía en un 55% más que el diesel.
- Reducción de emisiones de CO a la atmósfera. Debido a la presencia de oxígeno en las moléculas de aceite vegetal, la combustión es más completa y eficiente.
- Emisión neta de CO_2 cercana a cero. La emisión de CO_2 a la atmósfera representa un problema muy grave por contribuir al efecto invernadero. Con la utilización de aceites vegetales, el CO_2 expulsado por el escape procedente de la combustión se contrarresta con el absorbido en la fotosíntesis de las plantas durante su crecimiento.



Fig.3.4 Ciclo del CO₂

- Transporte y almacenaje más seguro. Gracias a un punto de inflamación mayor que el diesel.
- Menor contenido en azufre. La generación de sulfuros de azufre SO_2 es pequeña debido a su menor presencia en los aceites vegetales.
- Mayor capacidad lubricante. Lo que representa una ventaja para el sistema de inyección.
- Precio del combustible.

Las desventajas más representativas son:

- Punto de congelación alto. En regiones frías se pueden tener problemas de congelación en las líneas de combustible. Como solución se pueden aislar éstas o emplear aditivos que previenen la congelación.
- Menor contenido energético. Lo que hace que se incremente el consumo, en torno a un 8% en volumen medido, dependiendo del motor y de la adaptación efectuada.
- Mayores emisiones de NOx. Con un número de cetano menor de 68 las emisiones de óxidos de nitrógeno aumentan respecto al gasoil. Para números de cetano mayores, éstas disminuyen.
- Degradación de juntas y conductos de caucho. Actualmente, este problema apenas se produce por la utilización de polímeros en la composición de estos elementos.
- Incremento en la emisión de aldehídos. Son compuestos orgánicos que contienen un grupo carbonilo con un átomo de hidrógeno y un radical alquilo. Aún no existiendo una normativa que regule su emisión, algunos estudios han demostrado que pueden presentar problemas respiratorios en las personas. Estas emisiones pueden ser controladas con el empleo en el sistema de escape de catalizadores adecuados.

4- CRITERIOS DE DISEÑO

Para realizar la adaptación del sistema de combustible que nos ocupa, es necesario conocer algunos datos que nos definirán algunas características constructivas y de diseño del sistema.

Como hemos visto anteriormente, hay diferentes sistemas de inyección con características de funcionamiento distintas, por lo que el primer criterio a tener en cuenta es conocer las características técnicas del vehículo. Por otro lado, es necesario saber que uso se le da habitualmente al vehículo y la zona geográfica por la que va a circular para definir las necesidades caloríficas que hemos de proporcionar al diseño.

4.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS VEHÍCULO

El vehículo elegido para llevar a cabo la modificación, se trata de un Opel Frontera 2.3 TD, cuyas características técnicas se describen a continuación.



Fig. 4.1. Opel Frontera 2.3 TD

Motor:

Construcción: Diesel, cuatro cilindros en línea, árbol de levas en cabeza, dos válvulas por cilindro, distribución por cadena.

Tipo motor: 23DTR

Cilindrada: 2260 c.c.

Diámetro x Carrera: 92 x 85 mm.

Relación de Compresión: 23,00: 1

Potencia: 74 Kw a 4200 r.p.m.

Par motor: 2200 Nm.

Refrigeración: Líquida con bomba centrífuga, regulada por termostato.

Inyección: Indirecta, con bomba rotativa marca Bosch tipo VE 4.

Sobrealimentación: Turbo + Intercooler

Dimensiones y Pesos:

Batalla: 2760 mm

Ancho: 1780 mm

Largo: 4480 mm

Alto: 1753 mm

Peso: 1820 Kg

Nº de Puertas: 5

Capacidad depósito combustible: 80 l.

Sistema Eléctrico:

Batería 74 Ah, negativo a masa.

Alternador: Bosch, capacidad 70A.

Rendimiento:

Velocidad Máxima: 147 Km/h

Aceleración 0-100 Km/h: 19,3 s

Consumo (Urbano, Extraurbano, Mixto): 11,2 l/100Km; 8,1 l/100Km; 10,3 l/100km.

Emisiones CO₂: 230 g/Km

4.2 FACTORES DE USO

Habitualmente, el vehículo se utiliza para desplazamientos interurbanos, salvo en raras ocasiones en los que es utilizado como medio de transporte en el medio urbano. La media de kilómetros recorridos por año son en torno a los veinte mil y en el interior de la Península Ibérica, aunque por lo general, en un radio de acción de 200Km en torno a Zamora capital.



Fig. 4.2 Radio de acción habitual en torno a Zamora

4.3 FACTORES AMBIENTALES

El factor ambiental con mayor repercusión en el funcionamiento de nuestro sistema es la temperatura, puesto que a temperaturas bajas podemos tener problemas de congelación del aceite lo que deriva en atascos de las tuberías de combustible y por supuesto en los filtros.

A continuación vamos a realizar un estudio de las temperaturas mínimas registradas en invierno en el último año, en las principales ciudades donde menores temperaturas se han alcanzado, dentro del entorno donde habitualmente se mueve el vehículo.

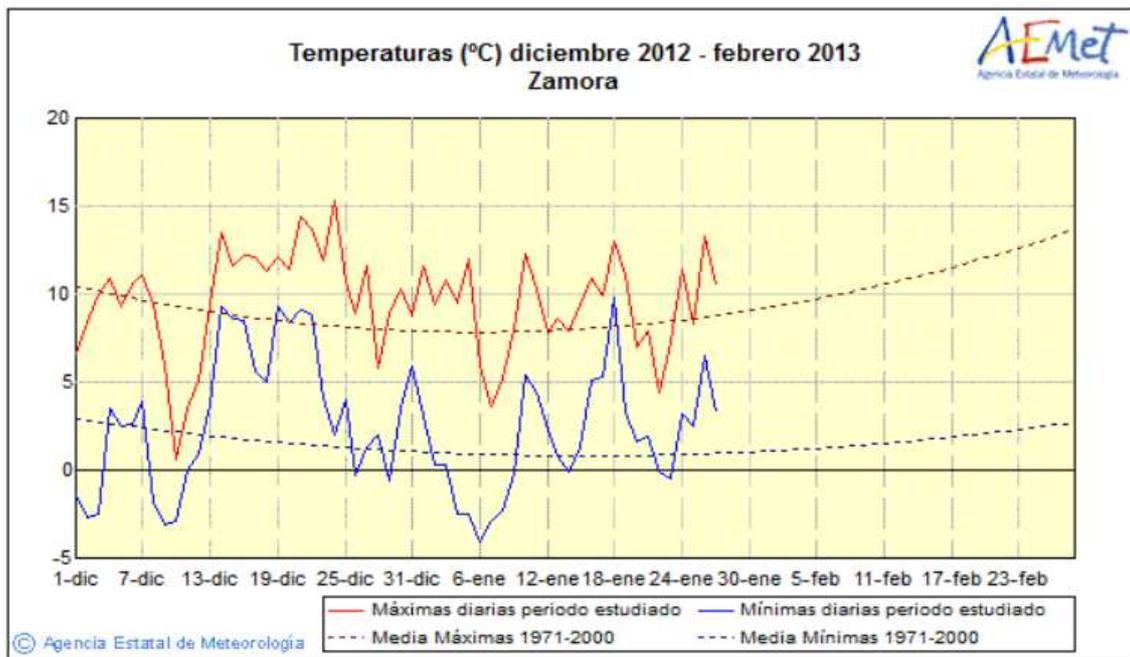


Fig. 4.3 Temperaturas mínimas en Zamora (último año)

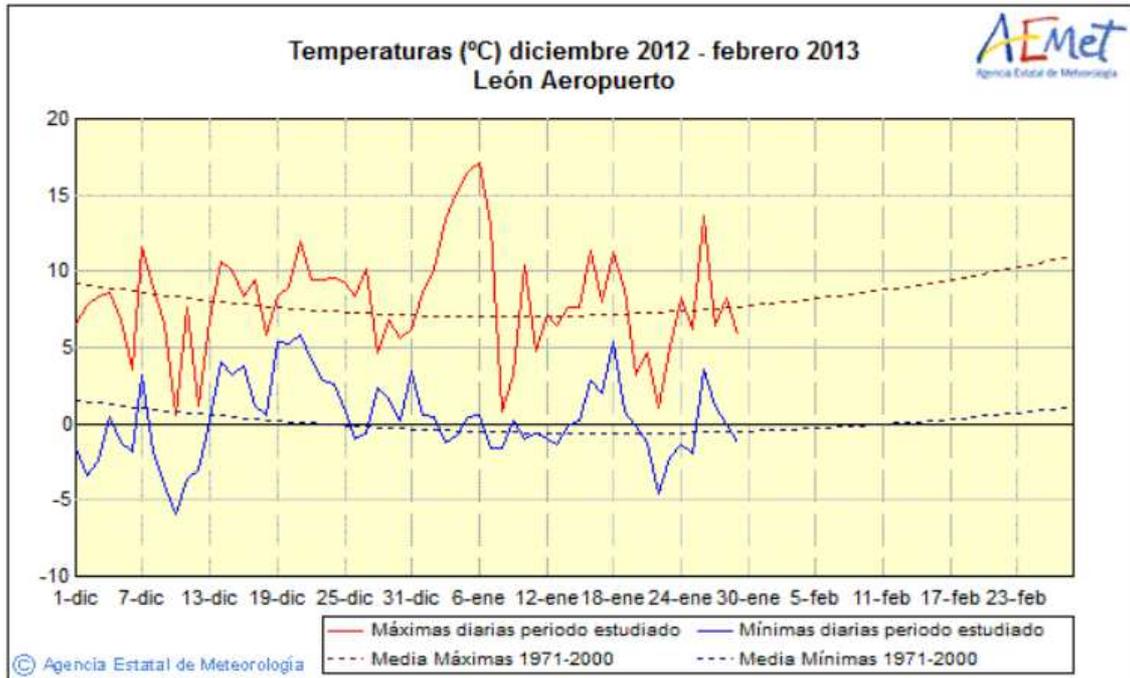


Fig. 4.4 Temperaturas mínimas en León (último año)

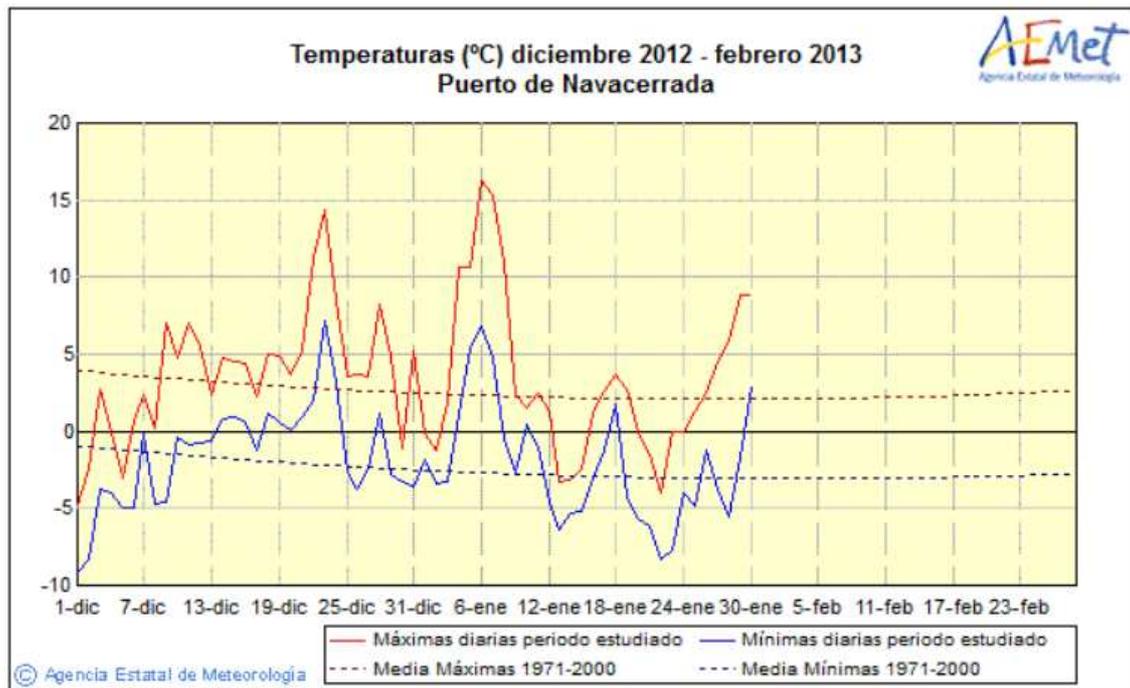


Fig. 4.5 Temperaturas mínimas en Navacerrada (último año)

Como podemos apreciar, en el último año, no se han alcanzado temperaturas inferiores a -10°C dentro del radio de acción del vehículo. Si seguimos los resúmenes históricos de temperaturas mínimas aportados por AEMET, en los últimos tres años las temperaturas mínimas en la Península fueron las siguientes:

El 4 de Febrero del 2012 en el puerto de Navacerrada se registraron $-14,4^{\circ}\text{C}$.

El 23 de Enero del 2011 en Molina de Aragón se registraron $-13,6^{\circ}\text{C}$.

El 20 de Diciembre del 2010 en Burgos se registraron $-17,1^{\circ}\text{C}$, valor más bajo de toda la serie histórica desde 1943 en capitales de provincia.

En base a estos datos, podemos concluir una temperatura de diseño, en el supuesto más desfavorable de -10°C , con la cual podemos asegurarnos un margen de seguridad adecuado para la inmensa mayoría de situaciones salvo en contadas excepciones.

4.4 ELECCIÓN ACEITE COMBUSTIBLE

En el punto 3.3 del presente proyecto, se definió la norma que regula las características que ha de cumplir el aceite vegetal proveniente de la semilla de colza. Como se explico en él, cualquier aceite vegetal que cumpla o supere esa norma de mínimos, puede ser utilizada como combustible para motores.

En nuestro caso, hemos elegido el aceite de colza por dos razones primordiales. La primera, es que puesto que existe una norma que rige su uso, está comprobado su funcionamiento como combustible en motores (con una preparación adecuada) y la segunda es la relativa facilidad que hemos tenido a la hora de adquirir dicho aceite para nuestro proyecto, ya que nos ha sido cedida por la planta de biodiesel (Acor Valladolid) cumpliendo la norma DIN 51605.

4.5 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Hemos barajado dos opciones para la realización de la adaptación.

La primera de ellas se trata de un sistema “monocombustible”, es decir, el motor trabaja continuamente con aceite vegetal. El segundo sistema, que denominaremos “bicombustible” utiliza el aceite vegetal sólo cuando el motor ha alcanzado una temperatura de funcionamiento óptima.

A continuación describiremos ambos sistemas con sus pros y sus contras.

4.5.1 Sistema monocombustible

Como hemos descrito anteriormente, este sistema prescinde completamente del gasoil durante su funcionamiento. Un posible esquema de principio es el representado en la figura 4.4.

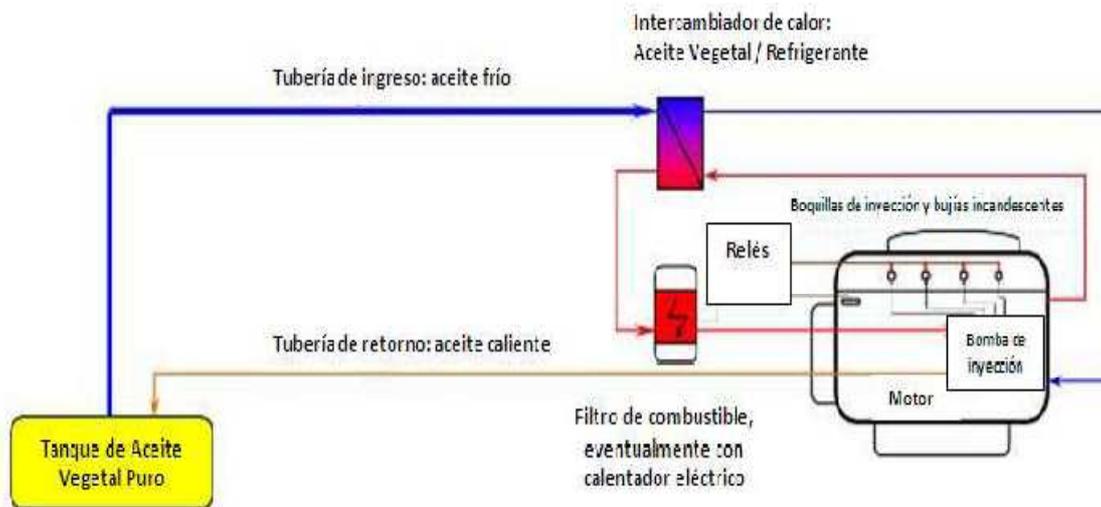


Fig. 4.6 Sistema monocombustible

El funcionamiento del sistema sería el siguiente:

El aceite vegetal es aspirado del depósito original del vehículo (sería necesaria la instalación de una bomba eléctrica de cebado), el cual fluye por la tubería hasta el intercambiador térmico, donde el aceite es calentado gracias al refrigerante del motor. Posteriormente pasa al filtro, que en ocasiones lleva incorporado un calentador eléctrico para facilitar el fluido del combustible, de ahí pasa a la bomba de inyección para posteriormente inyectarse en la cámara de combustión a través de los inyectores.

El retorno de combustible es derivado de nuevo hacia el depósito.

Esta configuración plantea algunos inconvenientes que pasaremos a explicar.

El principal, como cabría esperar, es **el arranque en frío**. Puesto que el intercambiador basa su funcionamiento en el aprovechamiento de la energía térmica residual del refrigerante del motor, cuando está frío no hay intercambio posible lo que dificulta enormemente que el aceite pueda fluir por el sistema.

Una consecuencia del más que posible mal arranque en frío con temperaturas bajas de este sistema, es la **creación de depósitos carbonosos**, debido principalmente a una mala combustión que hace que parte del aceite vegetal quemado parcialmente se deposite en la cabeza de las válvulas, pistones etc. provocando desgastes en el motor.

Por otro lado y puesto que las paredes de los cilindros están frías, parte del combustible inyectado se condensa en las mismas, pudiendo llegar hasta el cárter donde se mezcla con el aceite lubricante. En pequeñas proporciones es un hecho poco preocupante, pero cuando se alcanzan concentraciones superiores al 10% y debido a la carga térmica se **produce la polimerización del aceite lubricante**, esto hace que se vuelva más viscoso poniendo en peligro la lubricación y por ende el propio motor.

Para subsanar, en la medida de lo posible, el arranque en frío, se podrían instalar calentadores eléctricos en las líneas de combustible pero esto supondría un sobreesfuerzo del sistema eléctrico y de la batería, reduciendo su vida útil y en muchos casos se haría necesario reemplazarla por una de mayor capacidad.

Otra medida correctora a aplicar, sería el cambio de las bujías de precalentamiento por otras superiores para conseguir la mayor temperatura posible en la pre cámara, facilitando así la combustión.

También se podrían utilizar mezclas de aceite-gasoil cuando las condiciones son desfavorables.

Otro aspecto importante a tener en cuenta para el correcto funcionamiento del motor es el **tarado de los inyectores y el tiempo de inyección**.

Como hemos visto, en un sistema monocombustible, el arranque en frío es crítico, debido principalmente a la diferencia de viscosidad y densidad entre el aceite y el gasoil. Este hecho, además de lo expuesto anteriormente, produce un desajuste en la inyección.

El llenado de la bomba de inyección con aceite vegetal frío genera una sobrepresión interna en la misma y por tanto, en los conductos de alta presión. Esto hace que los inyectores (tarados para funcionar con gasoil) abran antes y se produzca un adelanto en la inyección, lo que conlleva un mal funcionamiento del motor y un aumento de la sonoridad del mismo. Debido a este hecho, es necesario tarar la presión de los inyectores un poco más alta, del orden de 30bar, por encima del tarado de origen,

siempre con arreglo a los datos del fabricante. Además el sobre tarado de los inyectores, mejora la nebulización del gasoil en la cámara de combustión, mejorando la combustión.

En ocasiones, los inyectores no se pueden manipular, por lo que se hace necesario el cambio de los mismos, por otros que se adapten a las necesidades del motor y del combustible.

Esta modificación, exige más a la bomba inyectora. Las bombas fabricadas por el grupo Bosch soportan mejor la adaptación, mientras que las fabricadas por Lucas Diesel, Roto Diesel etc. presentan mayores inconvenientes, produciéndose desgastes prematuros en las mismas.

Por otro lado, el aceite vegetal tiene una combustión más lenta que el gasóleo, lo que en algunos casos produce un retraso en la combustión que provoca una pérdida de rendimiento en el motor, por lo que se hace necesario el “calado” de la bomba inyectora, que consiste en sincronizar el tiempo de inyección con el P.M.S. del cilindro. Estos valores son proporcionados por el fabricante.

La adaptación monocombustible, presenta algunas ventajas como depender de un solo depósito, con lo que el conductor no ha de estar pendiente del nivel de combustible de otro. Salvo para el arranque en frío, el usuario no ha de cambiar sus hábitos de conducción con respecto al funcionamiento en gasoil.

4.5.2 Sistema bicombustible

El sistema bicombustible, utiliza gasoil para el arranque en frío y antes de parar el motor por un tiempo prolongado. Un esquema de principio básico para entender este sistema se puede ver en la figura 4.5.

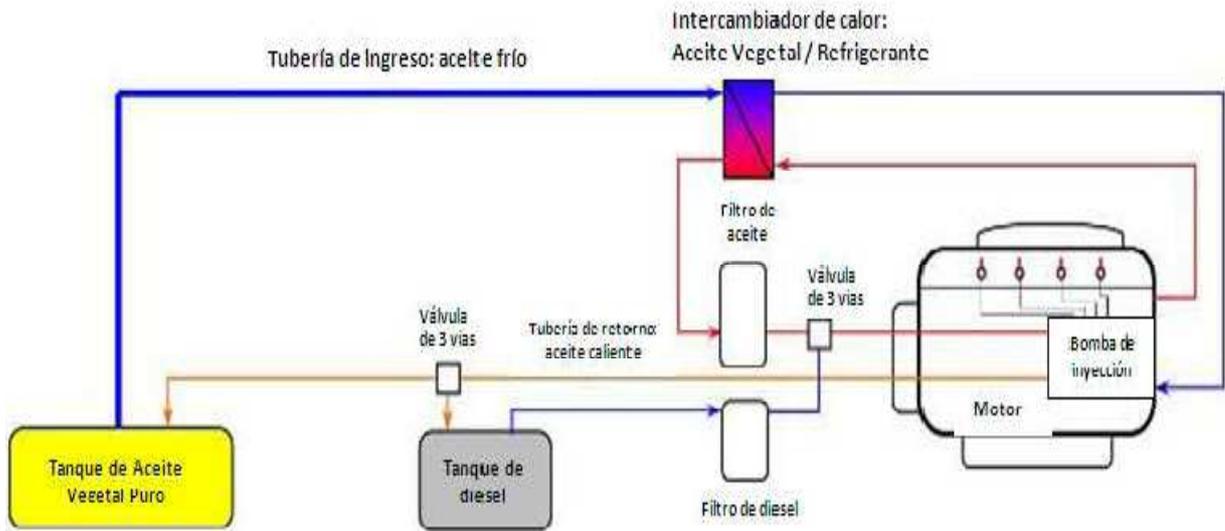


Fig. 4.7 Sistema bicombustible

El funcionamiento básico del sistema es el siguiente:

El motor arranca con diesel y funciona con este combustible hasta que adquiere una temperatura de entre 70-90°C (temperatura normal de funcionamiento). En ese momento, la válvula de 3 vías (1) cierra el paso del gasoil y abre el de aceite vegetal. El aceite vegetal de la tubería de alimentación, pasa por el intercambiador de calor y por el filtro de aceite para posteriormente ir a la bomba inyectora desde donde a través de los inyectores será inyectado en la cámara de combustión.

El retorno de combustible queda en mano de otra válvula (2), encargada de abrir o cerrar el circuito de gasoil para hacer retornar cada combustible a su depósito correspondiente.

Antes de parar el motor durante un tiempo prolongado, es necesario "limpiar" el circuito de aceite vegetal, de esta forma, hay que invertir el proceso anterior dejando funcionar el motor durante un tiempo (que es necesario predecir), para que el próximo arranque en frío pueda realizarse correctamente.

Con este sistema, evitamos el problema del arranque en frío y evitamos en gran medida las sobrepresiones creadas en la bomba inyectora ya que como se vio en el punto 3.4, la densidad y viscosidad disminuyen en función de la temperatura. Inyectando el aceite a temperaturas superiores a 70°C las variaciones en las propiedades con respecto al gasoil son aceptables.

La implantación de este sistema presenta dos inconvenientes, por un lado, la colocación del depósito adicional puede convertirse en un problema en algunos vehículos y por otro, en principio, es un sistema muy dependiente del conductor ya que ha de prever cuando y durante cuánto tiempo va a parar para poder purgar el circuito.

4.6 ELECCIÓN DEL SISTEMA

Tras sopesar las ventajas e inconvenientes que plantean cada una de las dos posibles modificaciones, realizaremos una adaptación bicombustible.

Las razones por las que hemos tomado esta decisión han sido varias; en primer lugar, creemos que si conseguimos adecuar las características físicas del aceite vegetal equiparándolas a las del gasoil antes de pasar por elementos delicados como pueden ser la bomba de inyección y los inyectores, conseguiremos mayor fiabilidad. La razón es simple y es que partimos de un motor diseñado para funcionar con gasoil.

En segundo lugar, el vehículo al que vamos a realizar la adaptación, no presenta problemas de espacio para la colocación del depósito adicional, ni del resto de elementos.

La tercera razón es la viabilidad a la implantación de este sistema en todo tipo de vehículos, sea cual sea el sistema de inyección que empleen, ya que como se explicó, en las nuevas tecnologías de inyección el empleo de aceite vegetal a baja temperatura puede provocar numerosos problemas sin la adaptación pertinente de inyectores, bomba etc... elementos cuyo precio de compra así como de adaptación y manipulación es muy elevado.

Por último y puesto que somos conscientes del problema que surge en cuanto a dejar la responsabilidad del cambio de gasoil a aceite y viceversa en manos del conductor, intentaremos minimizar la intervención del mismo en todo el proceso. Para ello dotaremos al sistema de diversos sensores y actuadores controlados por un autómata.

5- DISEÑO Y CÁLCULO DE COMPONENTES

5.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

El plano del sistema de alimentación diseñado puede verse en los planos adjuntos junto con un isométrico del mismo.

Parámetros de diseño:

Como podemos comprobar en el punto 4.1, el consumo máximo de éste vehículo es de 11,2 litros a los 100 kilómetros en ciclo urbano, en previsión de puntas de consumo y debido a la pérdida de rendimiento del motor ocasionada por el menor poder calorífico del aceite de colza respecto al gasoil (pág. 27 tabla 3.6), hemos tomado como valor máximo un consumo de 15 litros a la hora, caudal que ha de ser capaz de generar la bomba de trasiego durante su funcionamiento.

La temperatura del aceite contenida en el depósito, en el caso más desfavorable que hemos considerado es de -10°C , que será caldeada en el tubo de aspiración del depósito hasta los 20°C , facilitando así su fluidez por todo el circuito evitando taponamientos y previniendo sobrepresiones en la bomba inyectora. Hemos tomado como temperatura límite 20°C puesto que el aceite es totalmente fluido en las observaciones que hemos hecho con una muestra de la misma.

La temperatura mínima a la que será inyectado el aceite de colza en el motor, será de 70°C , en ningún caso inferior.

El refrigerante del motor fluye a través de él con una temperatura de 90°C , impulsado por una bomba centrífuga con un caudal de 40 litros por minuto.

5.1.1 Depósito

En el diseño inicial del sistema, consideramos dos opciones para el depósito de combustible.

En primer lugar, pensamos utilizar el depósito original de gasoil para el aceite vegetal y fabricar otro de menor dimensión para el gasoil. Con esta solución, se nos presentaba un inconveniente y es que el aceite vegetal no es posible repostarlo en estaciones de servicio. Así, una vez agotado el combustible vegetal, sería necesario circular con gasoil y puesto que el volumen contenido en el depósito sería pequeño, haría muy incómoda la circulación, con continuas paradas para repostar.

Otro problema derivado de utilizar el depósito de gasóleo para contener el combustible vegetal, radica en la necesaria modificación del sistema de combustible original (tuberías con un diámetro superior, modificación de los filtros etc.) así como la construcción de un sistema nuevo para el gasoil.

Por estas razones y puesto que el vehículo sujeto a la modificación no plantea problemas de espacio para ello, consideramos la instalación de un depósito adicional con un volumen adecuado para utilizar como continente del aceite.

Con esta solución, evitamos los problemas de abastecimiento de aceite, puesto que una vez que se ha acabado el combustible vegetal, la utilización del vehículo con combustible fósil es absolutamente igual que con el vehículo original, conservando su autonomía.

En la sección 2.2 del **manual de reformas en vehículos** con fecha 14 de enero de 2011 para España, explica los requisitos necesarios para la modificación de las características o sustitución de los elementos del sistema de admisión de combustible en un vehículo de categoría M1 (Vehículos de ocho plazas como máximo, excluida la del conductor, diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros). En este apéndice, están incluidas las modificaciones en los depósitos de combustible. El manual nos referencia a la ley Europea 70/221/CEE en donde se explican las condiciones requeridas de un depósito de combustible para la instalación en un vehículo. Algunas de ellas son ensayos hidráulicos, de estanqueidad, de impacto, resistencia al fuego etc. Según esta directiva Europea, cualquier depósito ha de estar ensayado para obtener el marcado CE y poder instalarlo en un vehículo.

Por esta razón, hemos descartado la fabricación de un depósito, ya que tendría que ser ensayado en un laboratorio independiente.

Utilizaremos un depósito adicional marca Long Range Automotive (LRA) modelo HFA realizado en acero aluminizado T125CQ de 2mm de espesor, con kit de instalación para Opel Frontera.

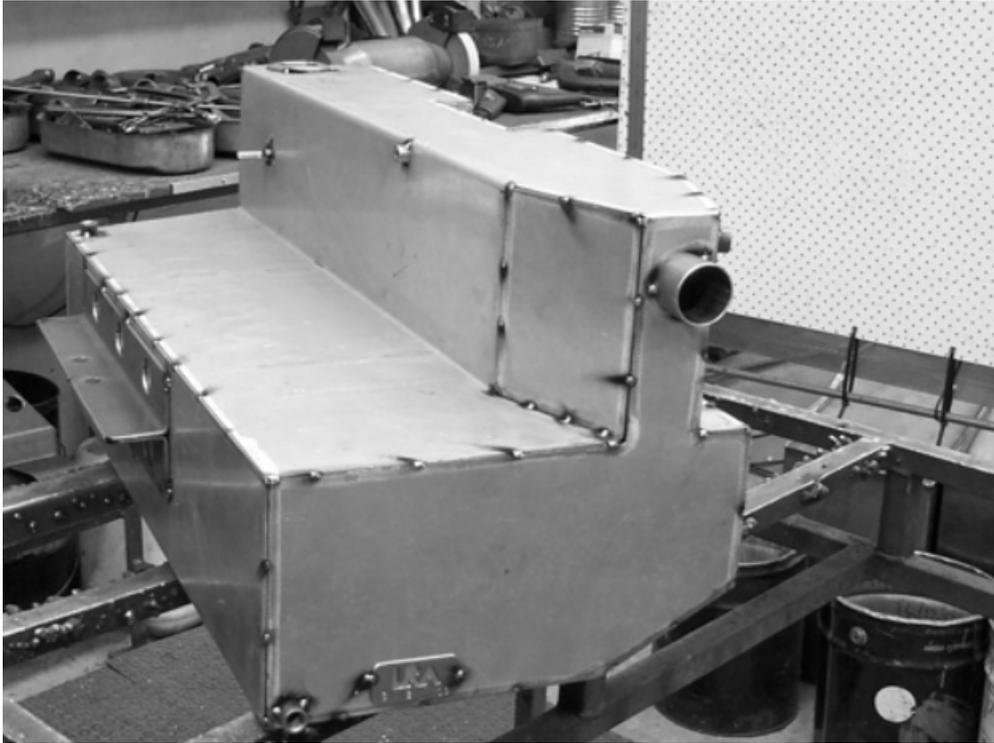


Fig.5.1 Depósito de aceite vegetal



Fig.5.2 Kit de instalación depósito

5.1.2 Pre filtro

Es necesario la instalación de un filtro en la salida del depósito, lo más próximo a éste posible, para prevenir que la suciedad del mismo o posibles partículas contenidas en el aceite debidas a un filtrado deficiente en el aceite repostado, puedan circular por el sistema dañando el resto de componentes, en especial la bomba de trasiego colocada a continuación del mismo que sería la que recibiría en primera instancia éstas partículas.

Colocaremos un pre filtro diesel marca Bosch con referencia CD 810F que además de realizar la principal función como es el filtrado del combustible vegetal, tiene incorporada una válvula anti retorno, que nos asegura que el circuito esté siempre lleno de combustible, siempre que no haya pérdidas, previniendo así entradas de aire indeseadas en el circuito que provocarían fallos y caídas de rendimiento en el motor.

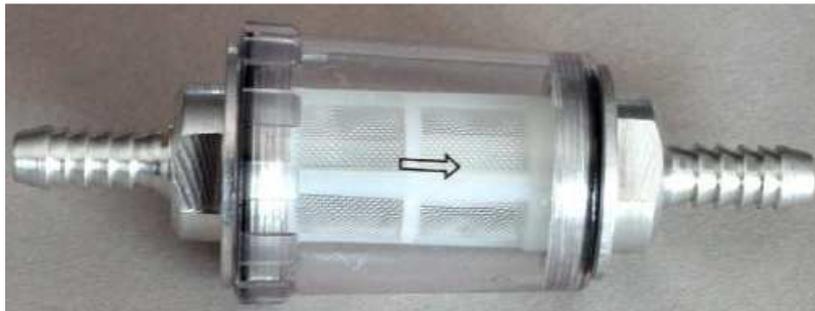


Fig. 5.3 Pre filtro de combustible

5.1.3 Mangueras de combustible

Son las encargadas de distribuir el combustible. En primer lugar, es necesario decidir que material podemos utilizar, ya que como se explicó en el punto 3.2.2 del presente proyecto, los fosfolípidos pueden atacar los elastómeros naturales utilizados habitualmente en la fabricación de elementos de goma, como pueden ser las tuberías para combustible.

En segundo lugar, ha de soportar temperaturas superiores a 70-80 °C.

Por último, es necesario que el diámetro de las mismas sea el más adecuado a las condiciones de caudal requeridas por el sistema, a fin de reducir las pérdidas de carga por rozamiento dentro del tubo.

Con estas premisas, calcularemos la pérdida de carga para una tubería de 8 y 10 mm, con el fin de escoger la que mejor se adapte a nuestras necesidades.

Comprobamos con el número de Reynolds, si se trata de un régimen laminar o turbulento. Para valores de Reynolds mayores de 2300 se trata de régimen turbulento, mientras que para valores menores es régimen laminar.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\gamma} \quad (1)$$

Donde:

Re Número de Reynolds

V Velocidad del fluido (m/s)

γ Viscosidad cinemática (76 mm²/s para aceite de colza a 20°C)

Obtenemos la velocidad del fluido por una tubería de 8 mm de diámetro (D) con un caudal (Q) de 15 litros a la hora o lo que es lo mismo 4,17.10⁻⁶ m³/s.

$$Q = V \cdot S \quad (2)$$

Donde:

S Sección tubería (m²) → (0.004² · π)

Sustituyendo en (2) y en (1) obtenemos $Re = 18,42$ (adimensional)

Puesto que 18,42 << 2300 estamos ante un caso de régimen laminar.

Calculamos pues, la pérdida de carga continua que se originará en la tubería que tiene una longitud total de 8 metros. Para ello utilizaremos la ecuación de Darcy - Weisbach.

$$\Delta H = J \cdot L \quad (3)$$

Donde:

ΔH Pérdida de carga (*m. c. a*)

$$J = \frac{f \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad (4)$$

L Longitud (*m*)

Por otro lado,

$$f = \frac{64}{Re} \quad (5)$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Dando valores en las ecuaciones (5) y en (4) obtenemos que $J = 0,153$ por lo que:

$$\Delta H = 0,153 \cdot 8 = 1,224 \text{ m. c. a.} \approx 0,12 \text{ bar para tubería de 8mm de diámetro.}$$

Re calculando de nuevo todo para tubería de 10mm de diámetro tenemos:

$$Re = 14,73 \ll 2300 \text{ Regimen laminar.}$$

$$J = 0,062$$

$$\Delta H = 0,062 \cdot 8 = 0,496 \text{ m. c. a.} \approx 0,048 \text{ bar}$$

Con el aumento de 2mm de diámetro, la pérdida de carga continua a lo largo de la conducción disminuye un 60%, por lo que en este caso la elección es clara ya que la diferencia de precio tampoco es significativa.

A tenor de los resultados obtenidos y con los condicionantes explicados en el comienzo de éste punto, vamos a utilizar manguera de combustible de fluoroelastómero de diámetro 10mm de la marca Gates, con referencia tipo 4219 cuyas características técnicas se enumeran a continuación.

- Revestimiento de fluoroelastómero resistente a la penetración del alcohol y de gases ricos en productos azufrados.
- Refuerzo trenzado de poliéster.
- Presión de funcionamiento de hasta 1,2 Mpa.
- Rango de temperaturas desde -35°C hasta 150°C.
- Cumple la norma SAE 30R9

5.1.4 Aislamiento térmico

Una de las bases de este proyecto es conseguir una temperatura adecuada del aceite vegetal para su uso como combustible, puesto que este hecho consume una gran cantidad de recursos dentro del sistema, es importante disminuir las pérdidas a valores lo más bajos posibles. Para ello, recubriremos las tuberías de combustible, el depósito y el intercambiador de refrigerante-aceite vegetal con aislante.

Para el aislamiento de las tuberías, utilizaremos coquilla aislante armaflex de diámetro 20mm con un espesor de 8,5mm y cuya referencia es AF-1-020.

El intercambiador y el depósito, se forrará con plancha de armaflex de espesor 10mm con referencia AF-10MM/E. Conductividad térmica del armaflex $0,033 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$

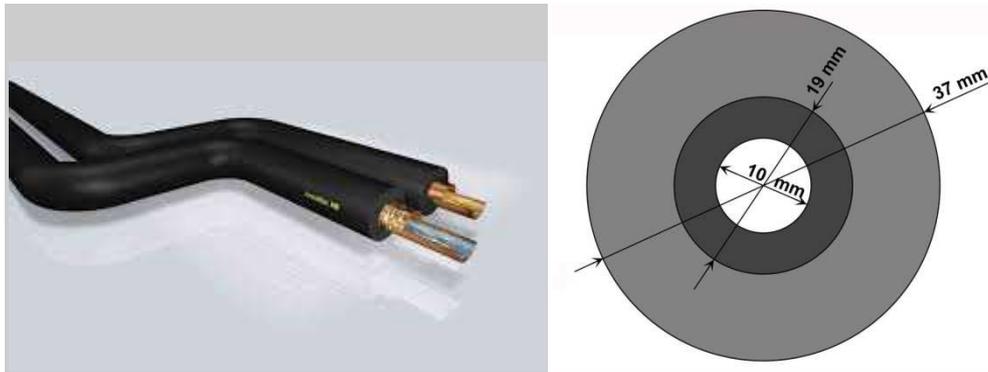


Fig. 5.4 Armaflex aislante

A continuación, haremos un estudio térmico comparando las pérdidas producidas en las tuberías y el depósito con una temperatura del aceite de 20°C frente a una temperatura exterior de 10°C, con y sin aislante térmico. Para ello utilizaremos la ley de Fourier.

$$q = \frac{K \cdot A \cdot \Delta T^a}{e} \quad (6)$$

Donde:

q Potencia disipada (W)

K Conductividad térmica del material ($\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$)

A Área (m^2)

ΔT^a Variación de temperatura ($^\circ C$)

e Espesor (m)

Cálculo de las pérdidas en el sistema sin aislar:

Tuberías:

$$A = 8m \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,0095m = 0,48 m^2$$

$$K = 0,15 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

$$e = 0,0045 m$$

Sustituyendo en (6) obtenemos:

$$q = 160 W \quad (7)$$

Depósito de combustible:

$$A = 1,08 m^2$$

$$K = 58 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

$$e = 0,0025 m$$

Con la ecuación (6) tenemos:

$$q = 250560 W \quad (8)$$

Sin aislante y sumando las pérdidas en las tuberías y el depósito de combustible, nuestro sistema con una diferencia de temperatura de 10°C, está cediendo calor al entorno a razón de 250720 W.

Cálculo de las pérdidas en sistema aislado:

Puesto que ahora tenemos dos materiales que hacen de recubrimiento al aceite vegetal, la ecuación de Fourier queda:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T^a \quad (9)$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{\frac{e_1}{K_1} + \frac{e_2}{K_2}}$$

Tuberías:

Así, dando valores tenemos:

$$U = \frac{1}{\frac{0,0045}{0,15} + \frac{0,0085}{0,033}} = \frac{1}{0,288}$$

Sustituyendo en la ecuación (9)

$$q = 16,65 \text{ W} \quad (10)$$

Depósito de combustible:

$$U = \frac{1}{\frac{0,0025}{58} + \frac{0,01}{0,033}} = \frac{1}{0,303}$$

Llevamos este valor a la ecuación (9)

$$q = 35,64 \text{ W} \quad (11)$$

Si sumamos las ecuaciones (10) y (11)

$$q = 52,29 \text{ W} \quad (12)$$

Como podemos apreciar en los resultados obtenidos, es muy importante el hecho de aislar la instalación, más aún si el depósito del aceite vegetal es de acero. Esto se debe al alto valor de conductividad térmica que posee éste material.

Hemos logrado reducir las pérdidas por calor en tuberías y depósito un 99,9%.

5.1.5 Bomba de trasiego

La finalidad de la bomba en este diseño es principalmente de apoyo a la bomba inyectora. Con temperaturas bajas, la viscosidad y la densidad del aceite es mayor por lo que el trabajo que ha de realizar la parte de succión de la bomba inyectora aumenta considerablemente pudiéndose producir sobre-presiones dañinas para la misma.

Es por ello, que se ha optado por montar una bomba eléctrica que hará funciones de trasiego del aceite desde el depósito hasta la bomba inyectora. Solamente permanecerá en funcionamiento con temperaturas inferiores a 20°C en el depósito, temperatura a la cual el aceite es lo suficientemente “líquido” para ser absorbido por la bomba principal.

Para la elección de la bomba de trasiego, en primer lugar, consideraremos las pérdidas de cargas tanto continuas como localizadas. Posteriormente, calcularemos el incremento de altura que ha de aportar para desplazar el combustible, con la consideración de ambos cálculos obtendremos la potencia mínima necesaria de la misma.

En el punto 5.1.3 se calculo la pérdida de carga continua debida a la circulación del aceite de colza por las conducciones. El resultado fue de 0,048 bar.

Pasaremos ahora a considerar las pérdidas de carga locales, ocasionadas por las obstrucciones, codos, filtros, válvulas etc....

Pérdidas de carga locales ocasionadas por las válvulas:

En el diseño realizado se utilizan dos válvulas de bola motorizadas de tipo “T”, el funcionamiento de las mismas si nos ceñimos a la realidad no es “on-off”, es decir, transcurre un tiempo para abrir y cerrarlas, este hecho en un sistema con caudales altos supondría una pérdida de carga importante en forma de estrechamiento que sería necesario considerar. En nuestro caso, no es representativo, por lo que solo analizaremos la caída de presión generada por el propio codo de la válvula.

En un codo a 90°, la expresión que define la pérdida de carga es:

$$\Delta H = \lambda \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (13)$$

V Velocidad del fluido (0,053 m/s)

λ Factor dependiente del radio de curvatura, el diámetro de la conducción y el ángulo. Gráfica 10.2 del anexo $\lambda = 0,2$

Sustituyendo en (13) tenemos $\Delta H = 2,866 \cdot 10^{-5} \text{ m. c. a.}$

En vista del resultado, la pérdida de carga debida a las válvulas, es completamente despreciable.

Pérdidas de carga locales ocasionadas por los codos en las tuberías:

Puesto que las mangueras de combustible elegidas en el diseño son flexibles, durante su montaje se cuidará no generar dobleces en las mismas que podrían generar taponamientos, por lo que no es necesario evaluar este aspecto.

Pérdidas de carga en los filtros e intercambiador:

La caída de presión en los filtros podríamos considerarla en principio como un estrechamiento brusco, pero nada más lejos de la realidad, puesto que la gran superficie expuesta al aceite hace que aunque el tamiz del filtro sea muy restrictivo (del orden de 10 micras) el caudal que lo atraviesa es alto. Así, no será calculado por carecer de interés real.

Cabe destacar la importancia de realizar el mantenimiento de los filtros a tiempo, para evitar que debido a la suciedad surjan atascos en el mismo que harían perder rendimiento al motor.

A tenor de los resultados obtenidos en cuanto a pérdidas locales, tomaremos como caída de presión total la continua multiplicada por 1,5 a modo de coeficiente de seguridad.

$$\Delta H_T = 0,496 \cdot 1,5 = 0,744 \text{ m. c. a.} \approx 0,073 \text{ bar} \approx 7300 \text{ Pa}$$

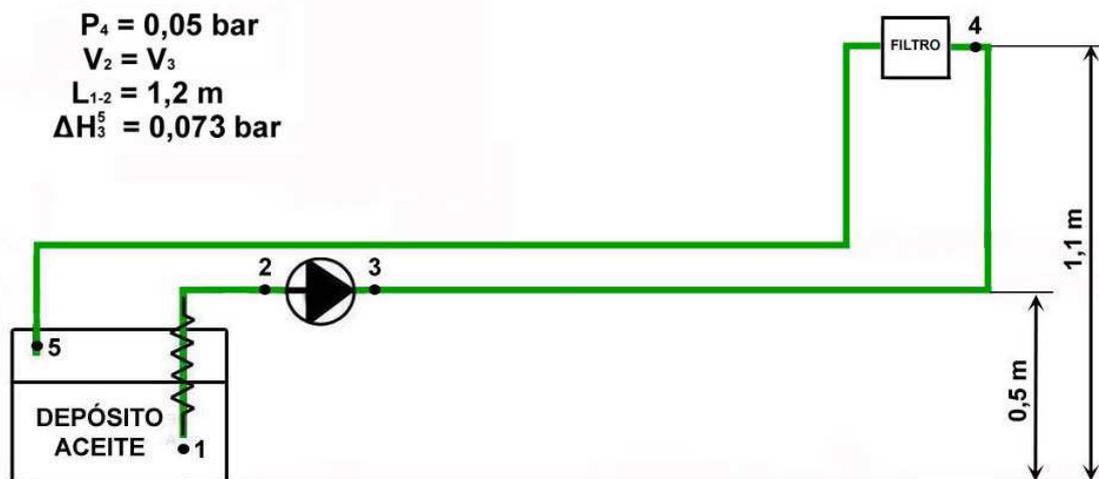


Fig.5.5 Diagrama altura elevación bomba

Aplicando Bernouille en el diagrama anterior, obtenemos la elevación necesaria que ha de suministrar la bomba de trasiego.

$$\Delta H_B + H_2 - H_1^2 = H_4 + \Delta H_3^5 \quad (14)$$

Donde:

ΔH_B Altura que ha de suministrar la bomba (*m. c. a.*)

H_2 Altura piezométrica en el punto 2 (*m. c. a.*)

H_1^2 Pérdida de carga en el tramo de succión (*m. c. a.*)

H_4 Altura piezométrica en el punto 4 (*m. c. a.*)

ΔH_3^5 Pérdida de carga de 3 a 5 (0,744 *m. c. a.*)

Obtenemos las pérdidas de carga en los puntos 2 y 4.

$$H_X = Z_X + \frac{P_X}{\gamma} + \frac{V^2}{2.g} \quad (15)$$

Donde:

Z_X Altura geométrica (*m*)

$\frac{P_X}{\gamma_F}$ Altura de presión (*m*) donde P_X = presión (*Pa*) y $\gamma_F = 8986,6 \frac{N}{m^3}$

$\frac{V^2}{2.g}$ Altura cinética (*m*)

Así, sustituyendo en (15) tenemos que para el punto 2.

$$H_2 = 0,5 + \frac{0}{8986,6} = 0,5 \text{ m. c. a. } *$$

La presión en el punto 2 es cero puesto que se encuentra por encima del nivel del depósito.

De igual forma para el punto 4.

$$H_4 = 1,10 + \frac{5000}{8986,6} = 1,65 \text{ m. c. a. } *$$

* No se ha tenido en cuenta la velocidad puesto que es igual en los dos puntos.

Hallamos ahora la pérdida de carga que se produce aguas abajo de la bomba, consideraremos solamente las pérdidas continuas de la misma que se hizo para el tramo aguas arriba. Puesto que el diámetro de tubería es 10mm al igual que en el tramo hallado anteriormente, basta con multiplicar la pérdida de carga por la longitud de tubería de succión, así:

$$H_1^2 = 0,062 \cdot 1,3 = 0,0806 \text{ m. c. a.}$$

Sustituyendo en la ecuación (14) tenemos

$$\Delta H_B = 1,9746 \text{ m. c. a.}$$

Calculamos ahora la potencia eléctrica necesaria.

$$W_B = \gamma \cdot Q \cdot \Delta H_B \quad (16)$$

$$Q = 15 \frac{l}{h} = 4,16 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

Sustituyendo los valores en (16) obtenemos:

$$W_B = 0,074 \frac{N \cdot m}{s} = \frac{J}{s} = W \quad (17)$$

Es una potencia muy pequeña debido principalmente a tratarse de un caudal muy bajo.

Con los resultados obtenidos, hemos elegido una bomba volumétrica marca Pierburg, tipo E1F con referencia 7.21440.51.0. Cuyas características técnicas y dimensiones se encuentran a continuación.

N° PIERBURG	Curva	Tensión nominal	Presión estática a Q=0 l/h	Caudal	Presión de sistema a	Cotas de montaje, respect., de conexión (véase la ilustr. más adelante)					Consumo de corriente
						∅ A	B	C	∅ D	∅ E	
		[V]	[bar/(psi)]	[l/h]	[bar/(psi)]	[mm]					[A]
7.21440.51.0	1	12	0,27 – 0,38 (4 – 5,5)	95	0,10 (1,5)	38	133,5	84,5	8	8	≤ 2,0

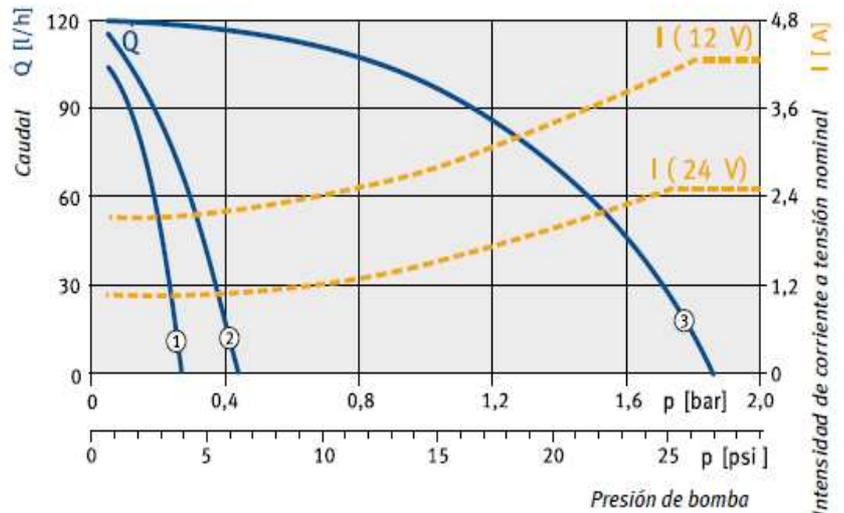
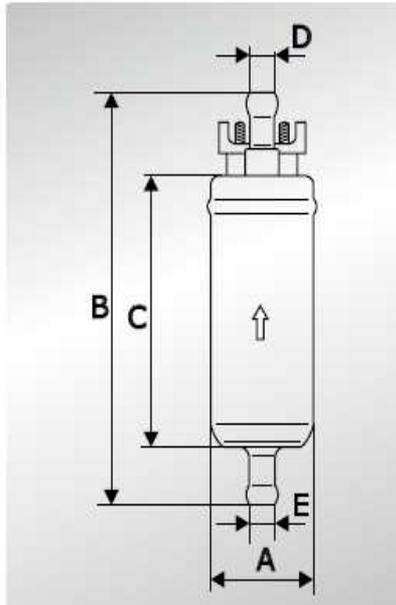


Fig. 5.6 Características bomba de cebado

Cabe destacar que la bomba elegida puede proporcionar un caudal máximo de 95 litros por hora, mucho mayor que el requerido para el funcionamiento del motor. Este hecho supone una ventaja ya que ayuda a caldear el aceite contenido en el depósito al regresar parte de ese combustible caliente no utilizado, por la tubería de retorno.

5.1.6 Conjunto intercambiador – filtro de combustible

La función del intercambiador dentro del sistema es elevar la temperatura del aceite vegetal, desde 20°C hasta 70°C como mínimo, utilizando el calor sobrante de la refrigeración del motor para que pueda ser inyectada en el mismo. La elección de una temperatura mínima de inyección de 70°C parte del análisis realizado en el punto 3.2 de éste proyecto, donde se definió que a partir de la misma las propiedades físicas como la densidad y la viscosidad de ambos combustibles (gasoil y aceite vegetal) comienzan a acercarse.

Cabe decir que el aumento de la temperatura de inyección del aceite por encima de los 70°C no es contraproducente hasta cerca de los 100°C, donde el aceite comienza

a perder propiedades “quemándose” y apareciendo residuos carbonosos pudiendo provocar una caída de rendimiento en el motor. Con nuestro sistema, este hecho es imposible que ocurra, ya que contravendría las leyes de la termodinámica, puesto que la temperatura del aceite no puede superar en ningún caso la del fluido calo-portador, en nuestro caso 90°C.

A continuación, definiremos los datos de partida de ambos fluidos, para calcular posteriormente la superficie de intercambio necesaria a través de método de la temperatura media logarítmica.

Fluido Caliente	Fluido frío
Refrigerante (agua + etilenglicol 30%)	Colza refinada conforme DIN51605
$\rho = 1,05 \text{ g/cm}^3$	$\rho = 0,917 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} (20^\circ\text{C})$
$\dot{m} = 0,7 \text{ Kg/s}^*$	$\dot{m} = 0,0242 \text{ Kg/s}^{**}$
$C_e = 3,7299 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.K}}$	$C_e = 1,9646 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.K}}$
$T_{\text{entrada}} = 90^\circ\text{C}$	$T_{\text{entrada}} = 20^\circ\text{C}$
$T_{\text{salida}} = -$	$T_{\text{salida}} = 70^\circ\text{C}$

Tabla 5.1 Condiciones entrada y salida en el intercambiador

*Caudal que aporta la bomba de agua del vehículo, puesto que depende de las r.p.m. a las que gire el motor, hemos tomado un valor medio.

** Tomamos el caudal máximo que puede aportar la bomba de trasiego (95 l/h) por ser la situación más desfavorable.

Realizamos un balance neto de energía para obtener la temperatura de salida del fluido caliente.

$$q = \dot{m} \cdot C_e \cdot \Delta T^a \quad (18)$$

Así, sustituyendo en (18) el aporte de calor necesario para que el aceite pase de 20°C a 70°C es:

$$q_1 = 2,377 \frac{\text{KJ}}{\text{s}} = 2,377 \text{ kw} \quad (19)$$

Balance de energía:

$$q_1 = q_2 = q \quad (20)$$

Utilizando la fórmula (18) para el fluido caliente y sustituyendo q por el valor obtenido en (19), obtenemos la temperatura de salida del fluido caliente.

$$T_{salida} = 89,02 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Calculamos la superficie útil del intercambiador, usando el método de la T^a media logarítmica.

$$q = U \cdot A_s \cdot \Delta T_{ml} \quad (21)$$

Donde:

q Potencia necesaria (W)

U Coeficiente de transferencia de calor total (Anexo tabla 10.4; agua-aceite = $\frac{350W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

A_s Área útil de intercambio (m^2)

ΔT_{ml} Incremento T^a media logarítmica; $\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$ ($^\circ\text{C}$)

En primer lugar, elegimos el tipo de intercambiador que utilizaremos. Hemos escogido un intercambiador de pasos múltiples y flujo cruzado, con un paso por la coraza y ocho pasos por los tubos, ya que tiene un rendimiento bueno y es utilizado habitualmente en automoción, lo que nos facilitará su posterior montaje.

Para este tipo de intercambiador:

$$\Delta T_1 = T_{ce} - T_{fs} \quad (22)$$

$$\Delta T_2 = T_{cs} - T_{fe} \quad (23)$$

Donde:

T_{ce} Temperatura fluido caliente a la entrada del intercambiador

T_{cs} Temperatura fluido caliente a la salida del intercambiador

T_{fe} Temperatura fluido frío a la entrada del intercambiador

T_{fs} Temperatura fluido frío a la salida del intercambiador

De esta forma, sustituyendo en (22) y (23) tenemos:

$$\Delta T_1 = 20^\circ C$$

$$\Delta T_2 = 69,02^\circ C$$

Por lo que:

$$\Delta T_{ml} = 39,57^\circ C$$

Debido a la geometría del intercambiador, es necesario realizar una corrección, para lo que obtenemos los coeficientes P y R. Para nuestro intercambiador tenemos:

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (24)$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (25)$$

Donde:

t_1 Entrada tubo (90°C)

t_2 Salida tubo (89,02°C)

T_1 Entrada coraza (20°C)

T_2 Entrada tubo (70°C)

Por lo que los valores obtenidos son:

$$P = 0,014$$

$$R = 51,02$$

Entrando en la gráfica adjunta, tenemos que el valor del factor de corrección $F \approx 1$.

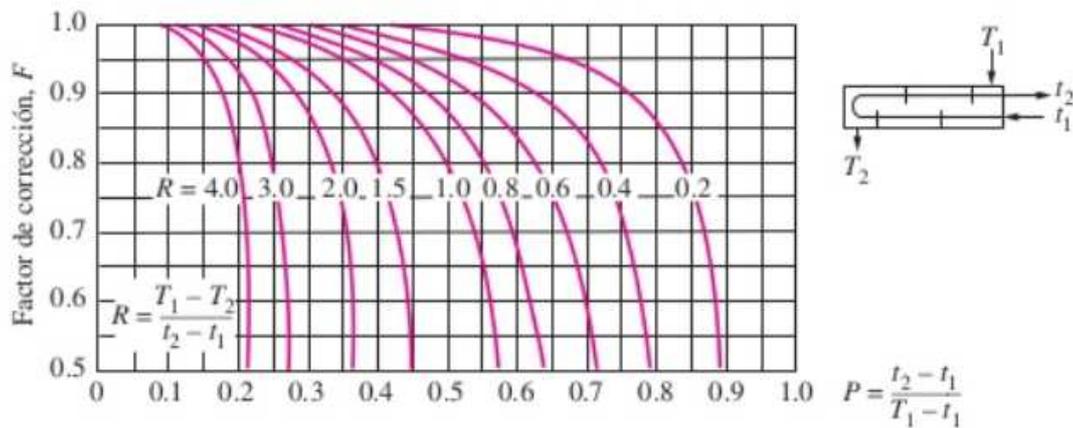


Fig. 5.7 Factor de corrección. Un paso por la coraza y 2, 4, 6, etc. (cualquier múltiplo de 2) por los tubos

Con los valores obtenidos y sustituyendo en la ecuación (21), tenemos:

$$A_s = 0,1716 \text{ m}^2 \quad (26)$$

Así, los valores a tener en cuenta para la elección del intercambiador serán la potencia $q = 2,37 \text{ kw}$ y el área de intercambio $A_s = 0,1716 \text{ m}^2$.

Con estas condiciones, hemos elegido un intercambiador de la industria del automóvil, marca Valeo con referencia 817705, cuya superficie de intercambio según el catálogo del fabricante es de $0,2 \text{ m}^2$.

Con la intención de realizar una instalación funcional y compacta, hemos diseñado un conjunto intercambiador en el que también se encuentran el filtro de combustible para el aceite vegetal y una pera de cebado manual muy útil para realizar las operaciones de mantenimiento. En la figura adjunta puede verse su aspecto real y en el anexo 10.5

podemos encontrar un croquis del conjunto junto con la pieza realizada para su fabricación.



Fig.5.8 Conjunto Intercambiador-filtro

5.1.7 Electroválvulas

Son las encargadas de realizar el paso de gasoil a aceite por lo que son una de las partes más importantes de todo el sistema.

Se colocarán dos, que actuarán simultáneamente. Una en la tubería de alimentación mientras que la otra lo hará en el retorno.

Es necesario conocer las características necesarias para su instalación en el sistema.

- Rango de temperaturas mínimo, desde -10°C hasta 80°C
- Sin necesidad de disponer de una presión mínima en el circuito para actuar.
- Voltaje 12v.
- Consumo reducido de potencia eléctrica

- Aptas para su uso con aceite vegetal (sin juntas de caucho que puedan ser atacadas químicamente)
- Tamaño reducido
- Precio

Con éstos condicionantes, hemos seleccionado dos válvulas de bola motorizadas de tres vías, marca mi-sol modelo DN-20, cuyas características técnicas se encuentran a continuación.



- Presión: 0 – 10 bar
- Cuerpo: Válvula de bola de latón
- Rango de temperatura: -20°C a 100°C
- Protección eléctrica: IP65
- Voltaje: 12V DC
- Intensidad: 60-80 mA
- Tiempo apertura/cierre: 5s

Fig. 5.9 Electroválvula 3/2

5.1.8 Calentador tubo de succión

Para garantizar que la bomba de cebado pueda tomar aceite del interior del depósito, es necesario que la viscosidad de la misma sea lo menor posible para poder fluir con normalidad. Con temperaturas menores de 5°C, la viscosidad cinemática es de 132 csK (gráfica 1, anexo 10.1), mientras que a 20°C tenemos 72csK, es decir, en un salto térmico de 15°C la viscosidad prácticamente se dobla.

Por esta razón, vimos la necesidad de utilizar un medio de calentamiento en el depósito.

En un primer lugar, planteamos la posibilidad de precalentar todo el contenido del depósito, pero los datos de potencia que requería nos hizo replantear la solución, “si no podemos calentar el todo, calentaremos una parte”.

Así, vamos a diseñar un sistema de calentamiento del tubo de succión que se encuentra en el interior del depósito. En primer lugar, calcularemos la necesidad calorífica que requiere hacer un salto térmico de 30°C (de 20°C a -10°C) que es el caso más desfavorable, asegurando el consumo de combustible del motor.

Datos iniciales:

$$\dot{m} = 0,004 \text{ kg/s}$$

$$C_e = 1,9646 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T^a = 30^\circ\text{C}$$

Sustituyendo en la ecuación (18), tenemos:

$$q = 0,237 \text{ kW} \quad (27)$$

Esta potencia, es la necesaria para calentar el flujo de aceite de nuestro sistema.

La solución que adoptaremos para proporcionársela, será una resistencia eléctrica arrollada a lo largo del tubo de succión en el interior del depósito.

Ahora bien, con ésta configuración, nos encontramos un problema y es que la resistencia se encuentra en contacto por un lado con el cobre del tubo de succión y por el otro, con el aceite del interior del depósito. Este aceite, hace que aparezcan pérdidas por convección que provocarían que el aceite no alcanzase la temperatura deseada. Para solucionar este hecho, introduciremos la resistencia eléctrica que aislaremos previamente con armaflex en una vaina, evitando las pérdidas por convección antes mencionadas. La construcción detallada del sistema puede verse en la figura adjunta.

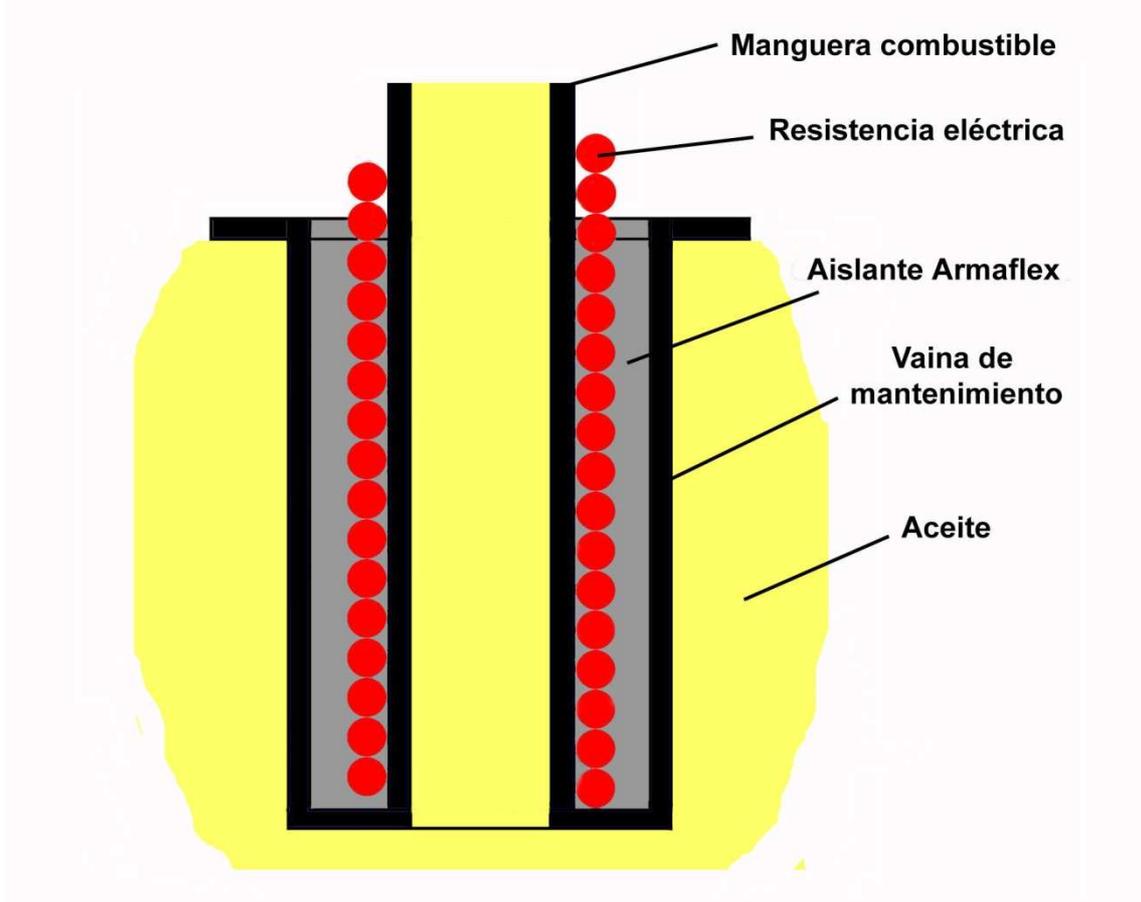


Fig.5.10 Calentador tubo succión depósito

La resistencia que utilizaremos se trata de una resistencia flexible "For Flex" de silicona, con una potencia de 60W/m y un diámetro nominal de 4mm.



Fig.5.11 Resistencia For Flex con cubierta de silicona

Para el aislamiento, usaremos coquilla de armaflex, con diámetro interior de 15mm, espesor 8,5mm y conductividad térmica $0,033 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ como el usado en el punto 5.1.4. La temperatura de trabajo de la misma, va desde $-50^\circ C$ hasta $110^\circ C$, por lo que se controlará la temperatura del elemento para no dañar el aislante.

La vaina, así como el tubo de succión serán de acero suave, con diámetro interior de 10mm, espesor 2,5mm y conductividad térmica $58 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$. No es posible utilizar cobre ni ninguna de sus aleaciones puesto que es atacado por el aceite, provocando corrosión.

A continuación, calcularemos las pérdidas que se producen a través del aislante, para obtener la potencia eléctrica real necesaria. Utilizando la ecuación (9), tenemos:

$$U = \frac{1}{\frac{0,0025}{58} + \frac{0,0085}{0,033}} = \frac{1}{0,257}$$

Por lo que sustituyendo en (9),

$$q = \frac{1}{0,257} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 0,005 \cdot 0,5) \cdot 30 = 1,83 W \quad (28)$$

Pérdida que se produce a través del aislamiento. Es prácticamente despreciable, por lo que la potencia obtenida anteriormente de 237W, la podemos dar por buena. Puesto que la resistencia es de 60W/m, necesitaremos 4m.

Cabe destacar que el alternador aporta una intensidad de 70A, lo que significan 840W por lo que es una potencia aceptable.

5.1.9 Tubería calefactada

Este punto surge como solución a un problema de funcionamiento en el sistema. Con temperaturas frías, podemos tener un inconveniente que en casos extremos puede dejarlo inoperativo. Dicho inconveniente se trata del taponamiento por gelificación de la tubería de absorción del sistema de aceite vegetal.

Como podemos ver en el diagrama 10.4 del anexo, desde la bomba de cebado hasta el conjunto intercambiador-filtro, no existe ningún método de calentamiento. Es claro el hecho que aunque la tubería está aislada, el aceite del interior se enfría cuando la temperatura exterior es baja. Esto hace que durante una parada larga el aceite

contenido en la tubería se pueda gelificar produciendo un taponamiento en la misma que la bomba de cebado no sea capaz de eliminar.

Hemos barajado dos opciones, una de ellas sería aportar el calor necesario a través de la refrigeración del motor, pero la construcción de ese sistema hemos creído que no sería funcional.

La solución que hemos planteado es calefactar la tubería con una resistencia eléctrica flexible que discurrirá por el interior de la manguera de combustible. De esta forma, cuando la temperatura sea baja, activaremos la resistencia momentos antes de comenzar a bombear el aceite.

Para evitar pérdidas de carga debidas a la reducción de sección, es necesario aumentar ésta en la medida del diámetro de la resistencia, puesto que ésta tiene 4mm de diámetro, usaremos manguera de combustible de 14mm, con las mismas características técnicas que la elegida para el apartado 5.1.3.

Así pues, calcularemos la potencia eléctrica necesaria para calentar el aceite, considerando el caso más desfavorable con un salto térmico de 30°C.

En primer lugar, obtendremos la masa de aceite contenida en la tubería.

$$v = \pi \cdot r^2 \cdot L = \pi \cdot 0,005^2 \cdot 4 = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 314 \text{ cm}^3$$

Por lo que, para una densidad de 0,937g/cm³ (-10°C), tenemos que:

$$m = 297,22 \text{ g} \approx 0,3 \text{ kg}$$

Sustituyendo en la ecuación

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T^a$$

Obtenemos $Q = 17,68 \text{ kJ}$ necesarios para calentar el aceite.

En este caso, no es necesario calentar la tubería en un lapso de tiempo muy corto, puesto que de cualquier manera, antes de comenzar a bombear el aceite, el motor se tiene que calentar. Por esta razón, no utilizaremos una resistencia de gran potencia, sino que alargaremos la exposición del aceite.

Instalaremos resistencia de 30W/m, por lo que multiplicando por 4m, tenemos una potencia eléctrica de 120W.

De esta forma, el tiempo de calentamiento necesario será el resultado de dividir la necesidad calorífica entre la potencia eléctrica, es decir, 147,33s o lo que es lo mismo 2,45 minutos.

Es necesario dotar a la tubería de una salida para los cables de la resistencia así como para la instalación de un termostato eléctrico para controlar la temperatura. Para ello se colocará una "T" en el extremo de la figura, tal y como se muestra en la imagen siguiente.

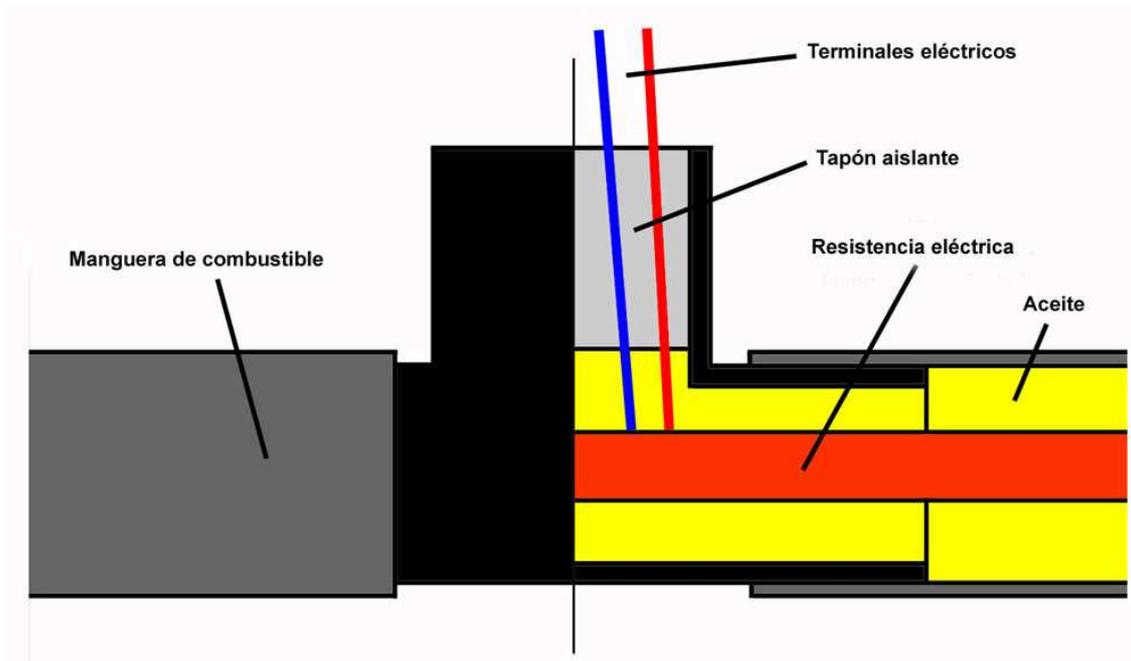


Fig.5.12 Conexión eléctrica resistencia

5.2 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

La R.A.E. define un mecanismo automático como aquel que funciona en parte o en todo por sí solo. Así, lo que pretendemos en este apartado es diseñar un sistema capaz de gestionar toda la secuencia de procesos necesarios para el funcionamiento del sistema de alimentación buscando la menor intervención posible del conductor en los mismos.

Para alcanzar este objetivo, hemos barajado dos opciones, la realización de un tablero eléctrico convencional a través de relés y la utilización de un PLC (programable logic controller). Cada uno con sus pros y contras.

La principal ventaja que aporta la automatización convencional radica en su sencillez por lo que el coste de realización para el control de nuestro sistema resulta comparativamente más bajo que la alternativa con un PLC.

Por el contrario, las desventajas que presenta son más numerosas. En primer lugar, no es versátil, es decir, cualquier mejora o modificación del sistema requiere el cambio del cableado o incluso de los componentes de la placa, son más susceptibles a fallos por incluir partes mecánicas en su funcionamiento, la comunicación con el conductor es limitada etc....

Por todo ello y porque el principal inconveniente que planteaba, la diferencia de precio, que se ha visto reducida por la gran oferta y cantidad de fabricantes en el mercado, hemos considerado la utilización de un autómata programable para nuestro sistema.

El funcionamiento básico de un PLC, responde a un proceso cíclico en el que podemos distinguir tres partes, el módulo de entradas, el de salidas y la unidad de control.

A través de las entradas, el autómata recibe información del estado de los elementos del sistema, ésta información es procesada en la unidad de control siguiendo las directrices del programa creado por el usuario para la gestión del proceso y finalmente a través del módulo de salidas, da las órdenes pertinentes a los receptores para que realicen su función.

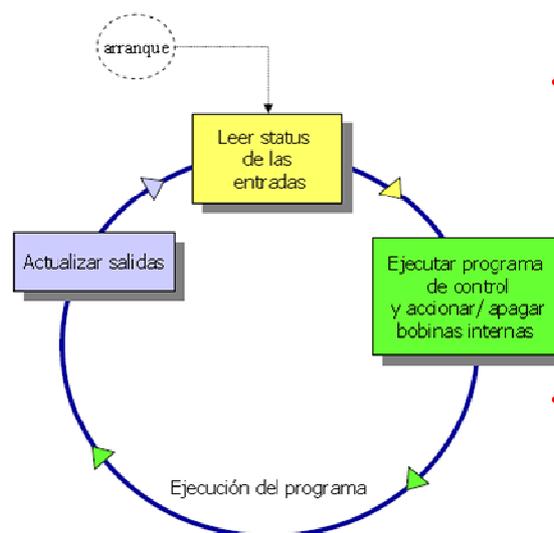


Fig. 5.13 Secuencia de funcionamiento del autómata

En los siguientes apartados, definiremos el autómata que utilizaremos, las entradas y salidas del mismo y el programa encargado de controlar el sistema.

5.2.1 Autómata

El autómata que utilizaremos para el control del sistema es un LOGO! 12/24RC de Siemens, cuyas características técnicas se encuentran en el anexo 10.7.



Fig. 5.14 Autómata Siemens Logo

Este autómata presenta características, a nuestro juicio, muy interesantes para nuestra aplicación. En primer lugar, el precio no es alto en comparación con las posibilidades que ofrece, la alimentación es a 12v por lo que no es necesario el uso de ningún transformador ni fuente de alimentación para conectarlo en el interior del vehículo, posee una pantalla retro iluminada que permite al conductor saber en todo momento datos acerca del funcionamiento del sistema como pueden ser temperatura de aceite, activación de electroválvulas, etc., así como interactuar en el sistema a través de las teclas de función integradas.

	LOGO! 12RCL	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo
Fuente de alimentación		
Tensión de entrada	12 V c.c.	12/24 V c.c.
Margen admisible	10,8 ... 15,6 V c.c.	10,8 ... 15,6 V c.c. 20,4 ... 28,8 V c.c.
Consumo de corriente	10 ... 165 mA (para 12 V c.c.)	10 ... 120 mA (para 12/24 V c.c.)
Compensación de fallos de tensión	típ. 5 ms	típ. 5 ms
Potencia disipada	0,1 ... 2,0 W (para 12 V c.c.)	0,1 ... 1,2 W (para 12/24 V c.c.)
Respaldo en tampón del reloj a 25° C	típ. 80 h	típ. 80 h
Exactitud del reloj de tiempo real	máx. ± 5 s / día	máx. ± 5 s / día
Separación galvánica	no	no
Protección contra inversión de polaridad	sí	sí
Entradas digitales		
Cantidad	12	8
Separación galvánica	no	no
Tensión de entrada L+		
• señal 0	<4 V c.c.	<5 V c.c.
• señal 1	>8 V c.c.	>8 V c.c.
Intensidad de entrada para		
• señal 0	<0,5 mA	<1,0 mA (I1 ... I6) <0,05 mA (I7, I8)
• señal 1	>1,5 mA	>1,5 mA (I1 ... I6) <0,1 mA (I7, I8)

Fig. 5.15 Características Autómata

	LOGO! 12RCL	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo
<ul style="list-style-type: none"> cambio de 0 a 1 cambio de 1 a 0 	típ. 1,5 ms típ. 1,5 ms	típ. 1,5 ms típ. 1,5 ms
Longitud del conductor (sin blindaje)	100 m	100 m
Entradas analógicas		
Cantidad		2 (I7, I8)
Margen		0 ... 10 V c.c.
Tensión de entrada máx.		28,8 V c.c.
Salidas digitales		
Cantidad	8	4
Tipo de las salidas	Salidas a relé	Salidas a relé
Separación galvánica	sí	sí
En grupos de	2	1
Activación de una entrada digital	sí	sí
Tensión de salida		
Intensidad de salida		
Corriente permanente I_{th} (por cada borne)	máx. 10 A	máx. 10 A
Carga de lámparas incandescentes (25.000 maniobras) en caso de	1.000 W	1.000 W
Tubos fluorescentes con adaptador eléct. (25.000 maniobras)	10 x 58 W	10 x 58 W
Tubos fluorescentes compensados convencionalmente (25.000 maniobras)	1 x 58 W	1 x 58 W

Fig. 5.15 Características Automata

	LOGO! 12RCL	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo
A prueba de cortocircuitos y sobrecarga		
Limitación de corriente en cortocircuitos		
Derating	ninguna en todo el margen de temperatura	
Resistencia a cortocircuitos cos 1	Contactador potencia B16 600 A	Contactador potencia B16 600 A
Resistencia a cortocircuitos cos 0,5 a 0,7	Contactador potencia B16 900 A	Contactador potencia B16 900 A
Conexión de las salidas en paralelo para aumentar la potencia	no admisible	no admisible
Protección de un relé de salida (si se desea)	máx. 16 A, característica B16	máx. 16 A, característica B16
Frecuencia de conmutación		
Mecánica	10 Hz	10 Hz
Eléctrica		
Carga óhmica/carga de lámparas	2 Hz	2 Hz
Carga inductiva	0,5 Hz	0,5 Hz

Fig. 5.15 Características Automata

5.2.2 Entradas

En este punto vamos a definir las funciones y características de los elementos conectados al autómata como entradas.

Sonda de temperatura PT100:

Se trata de un tipo de dispositivo RTD (Resistance Temperature Detector) o lo que es lo mismo un detector de temperatura resistivo.

Su funcionamiento se basa en el calentamiento de un metal, el cuál debido a ese aumento de temperatura aumenta su resistencia al paso de una corriente eléctrica. El incremento de la resistencia no es lineal, pero sí creciente y característico del metal empleado en su construcción, por lo que es posible encontrar la temperatura exacta en función de esa resistencia.

Los materiales empleados en la construcción de estas sondas son variados, a menudo se utiliza cobre, níquel o platino, si bien éste último es el más empleado por su elevada precisión.

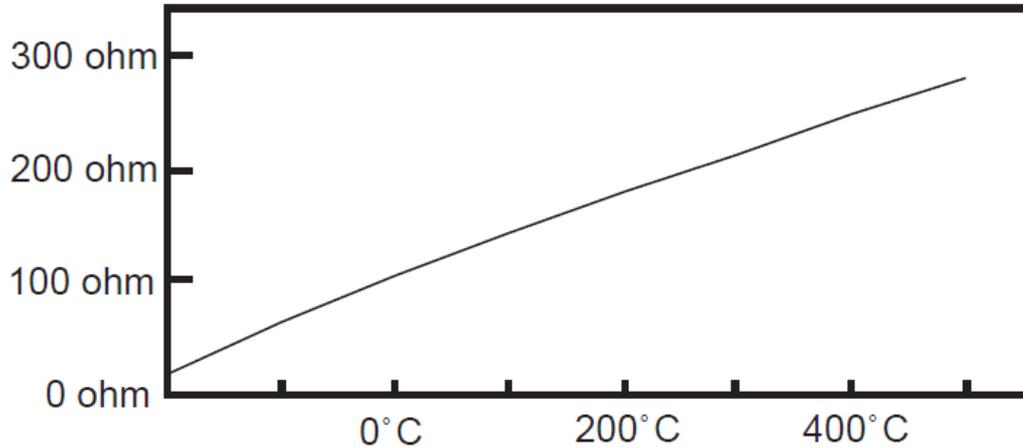


Fig. 5.16 Grafica Temperatura-resistencia de la sonda PT100 de platino

Las sondas PT100 se suministran con 2,3 ó 4 cables de conexión, es importante destacar que en el modo de conexión de 2 cables, si la distancia entre la sonda y el punto de control (autómata) es muy grande pueden producirse alteraciones en la medida debidas a la resistencia que puede presentar el cable. Para reducir este inconveniente suelen utilizarse cables con una sección más grande de lo necesario para disminuir éste efecto.

La sonda instalada en nuestro sistema irá sumergida dentro del depósito del aceite vegetal. Gracias a ella, sabremos que temperatura tenemos en el aceite en él contenida.

Utilizaremos una sonda con cabezal de 250 mm, con las siguientes características. El número de entrada será la I1.

- Configuración a 2 hilos
- El elemento Pt100 cumple con la norma IEC 60751 clase B
- Vaina: acero inoxidable AISI 316, diámetro 6mm
- Rango de funcionamiento: -75°C a +350°C
- Terminado con un cabezal miniatura de aluminio fundido, temperatura máxima 135°C



Fig. 5.17 Sonda PT100

Termostato eléctrico:

También llamado klixón, se trata de un dispositivo empleado para abrir o cerrar un circuito eléctrico, en función de la temperatura del dispositivo.

Su funcionamiento consiste en dos láminas de diferentes metales unidas, con diferente coeficiente de dilatación térmica. Al variar la temperatura las láminas cambian de forma, de manera que interrumpen el paso de la corriente o lo permiten en función del diseño del termostato, pudiendo ser éste normalmente abierto (NA) ó normalmente cerrado (NC).



Fig. 5.18 Distintos tipos de termostatos eléctricos (klixón)

En nuestro caso utilizaremos tres, uno normalmente cerrado (NC) para controlar la temperatura del calentador eléctrico del depósito, impidiendo que el tubo alcance temperaturas superiores a 70°C, de manera que la manguera de combustible en contacto con él no sufra daños. Será la entrada I6 del autómata.

Utilizaremos otro igual al anterior para controlar la temperatura de la tubería calefactada, su entrada será la I2.

El otro, estará adosado al cuerpo del intercambiador térmico para marcar el punto óptimo en el que se han de abrir las electroválvulas para comenzar a inyectar aceite vegetal en el motor. Su temperatura de activación será también de 70°C pero normalmente abierto (NA). Su entrada correspondiente en el autómata será la I3.

Interruptor selector combustible:

Con el fin de poder elegir el combustible que queremos usar, colocaremos un interruptor con enclavamiento que marcará el circuito que estamos usando. Entrada I4.

Otras entradas:

Además de las entradas mencionadas con sus respectivos “sensores”, necesitamos dos más, que serán tomadas del cableado eléctrico del vehículo.

La señal que tomaremos del vehículo nos marcará cuando éste se encuentra arrancado. Para ello, tomaremos la señal del alternador. La función de esta señal es limitar el funcionamiento de aquellos elementos eléctricos que presentan mayor consumo como pueden ser el calentador del depósito y la bomba de trasiego a cuando el motor está arrancado. De ésta forma, protegemos la batería en el arranque, situación en la que presenta un mayor estrés. Su entrada será I5.

A modo de resumen, en la siguiente tabla encontramos las entradas en el autómata con sus respectivas direcciones.

ENTRADA	DIRECCION
Sonda PT100	I1
Termostato tubería combustible	I2
Termostato intercambiador	I3
Interruptor selector circuito "ECO"	I4
Contacto "motor arrancado"	I5
Termostato tubo depósito	I6

Tabla 4.2 Entradas automática

5.2.3 Salidas

A continuación enumeraremos las salidas del automático, es decir, los elementos que ha de activar. Estos elementos por ser parte del sistema de alimentación, han sido descritos en el punto 5.1. Salvo el "avisador acústico" que utilizaremos a modo de señal sonora para avisar al conductor de cambios en el sistema.

SALIDA	DIRECCIÓN
Apertura electroválvulas	Q1
Cierre electroválvulas	Q2
Calentador tubería de combustible	Q3
Avisador acústico	Q4
Calentador tubo depósito	Q5
Bomba de trasiego	Q6

Tabla 5.3 Salidas automática

5.2.4 Programación automática

La practicidad de todo el sistema ideado, depende en gran medida de la programación para la gestión del mismo. Uno de los inconvenientes del sistema bicombustible es la necesaria intervención del conductor del vehículo en el sistema. En nuestro caso, intentaremos minimizar este hecho, salvo en el caso de los hechos impredecibles y que sólo dependen del conductor, como puede ser la parada del vehículo.

A continuación describiremos la secuencia de funcionamiento del sistema.

Hay dos modos de circulación, la elección viene marcada por un interruptor situado en la consola del vehículo lo más accesible al conductor, con dos posiciones “normal” y “eco”. El primero para la circulación con gasoil y el segundo para una circulación ecológica con aceite vegetal.

En la posición “gasoil” el sistema no interviene en el vehículo, por lo que la conducción no varía con respecto a un vehículo de serie.

La secuencia de funcionamiento para la posición “eco”, es la siguiente:

El motor arranca en gasoil habitualmente, sin tiempos de espera de calentamiento ni procedimientos especiales de arranque. Cuando la temperatura del vehículo es la adecuada, 70°C en el intercambiador (medida por un termostato eléctrico), entra en funcionamiento el sistema de aceite. El autómata lo comunica al conductor a través de una señal sonora y un texto. Para ello, abre las electroválvulas, las cuales tienen un tiempo de apertura de 5s, dando paso al combustible vegetal. La transición gasoil-aceite es completamente inapreciable, salvo para algunos conductores que pueden llegar a notar un ligero cambio en el sonido del motor.

De esta forma, el vehículo puede recorrer cualquier distancia sin ningún tipo de limitación, salvo la propia autonomía.

En el momento de la parada del motor, podemos distinguir dos situaciones, que sea una parada prolongada, más de una hora, o por el contrario que la parada sea inferior a ese tiempo. La maniobra, es distinta para uno y otro caso.

Si la parada es corta, no es necesario actuar sobre el sistema de combustible ya que el motor será capaz de arrancar con aceite sin dificultad, por encontrarse todavía con temperatura, si bien, no a la de servicio, si suficiente para el arranque. De cualquier manera, para evitar eventuales olvidos, el autómata comunicará la situación al conductor con una alarma sonora y un texto, que está parando el motor sin purgar el circuito de aceite.

Cuando la parada excede de una hora, es necesario realizar una limpieza previa del circuito, de forma que el sistema de inyección (bomba inyectora, rampa de inyección e inyectores) queden libres de aceite. De esta forma prevenimos que cuando el motor pierda temperatura, el aceite se espese y dificulte el arranque. Para ello, basta con que el conductor accione el interruptor de cambio y lo coloque en posición “gasoil”, en ese momento el sistema cierra el paso de aceite vegetal y abre el de gasoil, a través

de las electroválvulas. Cuando el sistema de inyección está lleno de gasoil, tres minutos después, el autómata realiza un aviso acústico y de texto al conductor comunicándole que el motor está listo para parar.

Cabe destacar que el límite de tiempo entre parada larga y corta de una hora no es inamovible. Ese tiempo representa una garantía de modo que en cualquier época de año, incluso en invierno, el motor arrancará en aceite. Como se puede deducir, con temperaturas altas el tiempo que puede estar parado el motor con aceite vegetal aumenta.

Además de la secuencia descrita anteriormente y que podemos definir como funcionamiento principal del sistema, hay otros procesos secundarios que pasaremos a explicar a continuación.

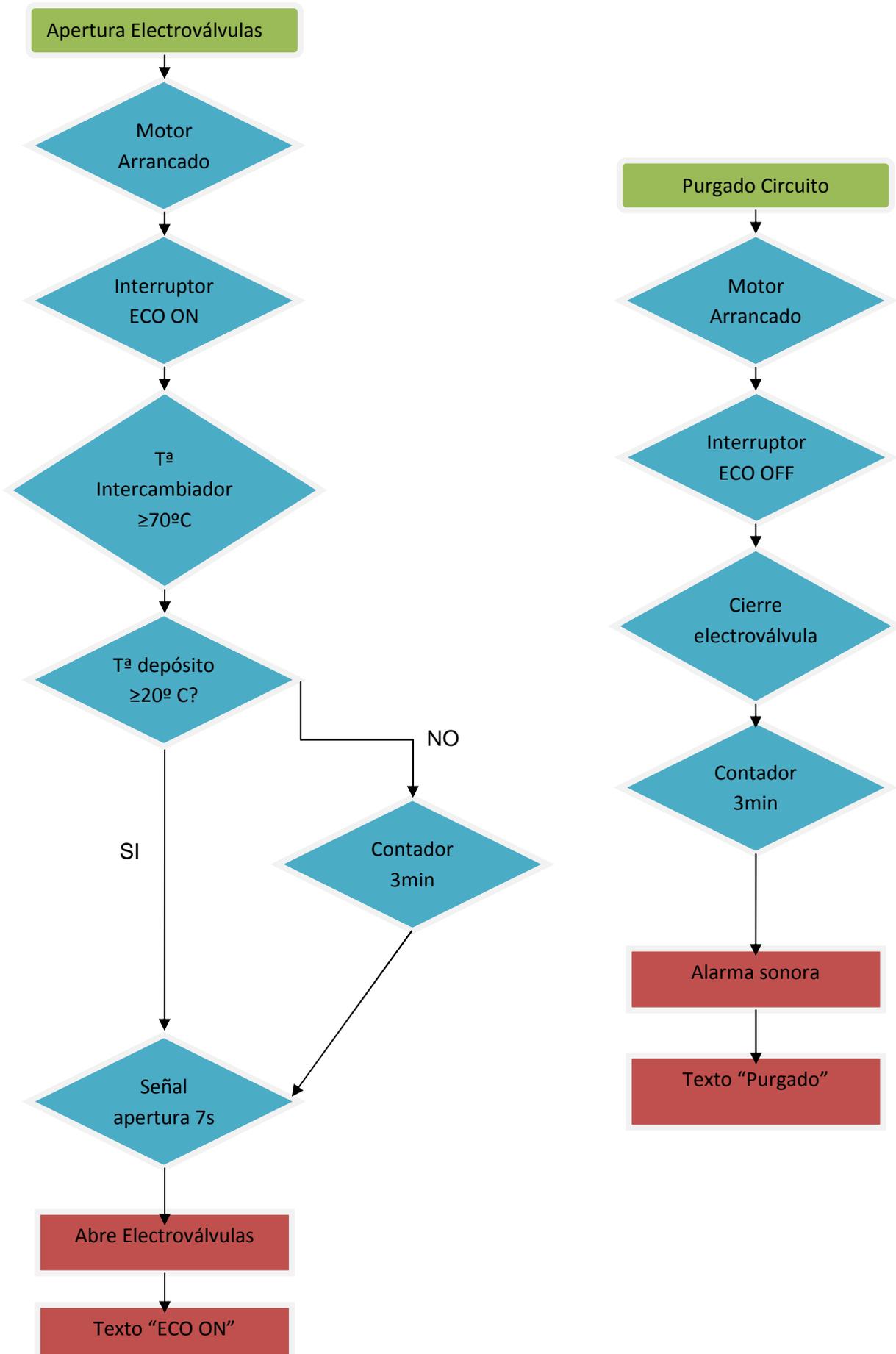
Por un lado encontramos los calentadores del tubo de succión y de la tubería. Estos dispositivos sólo funcionan con temperaturas muy bajas del aceite contenido en el depósito, desde -10°C hasta 20°C , permitiendo que el aceite pueda fluir por las tuberías de combustible.

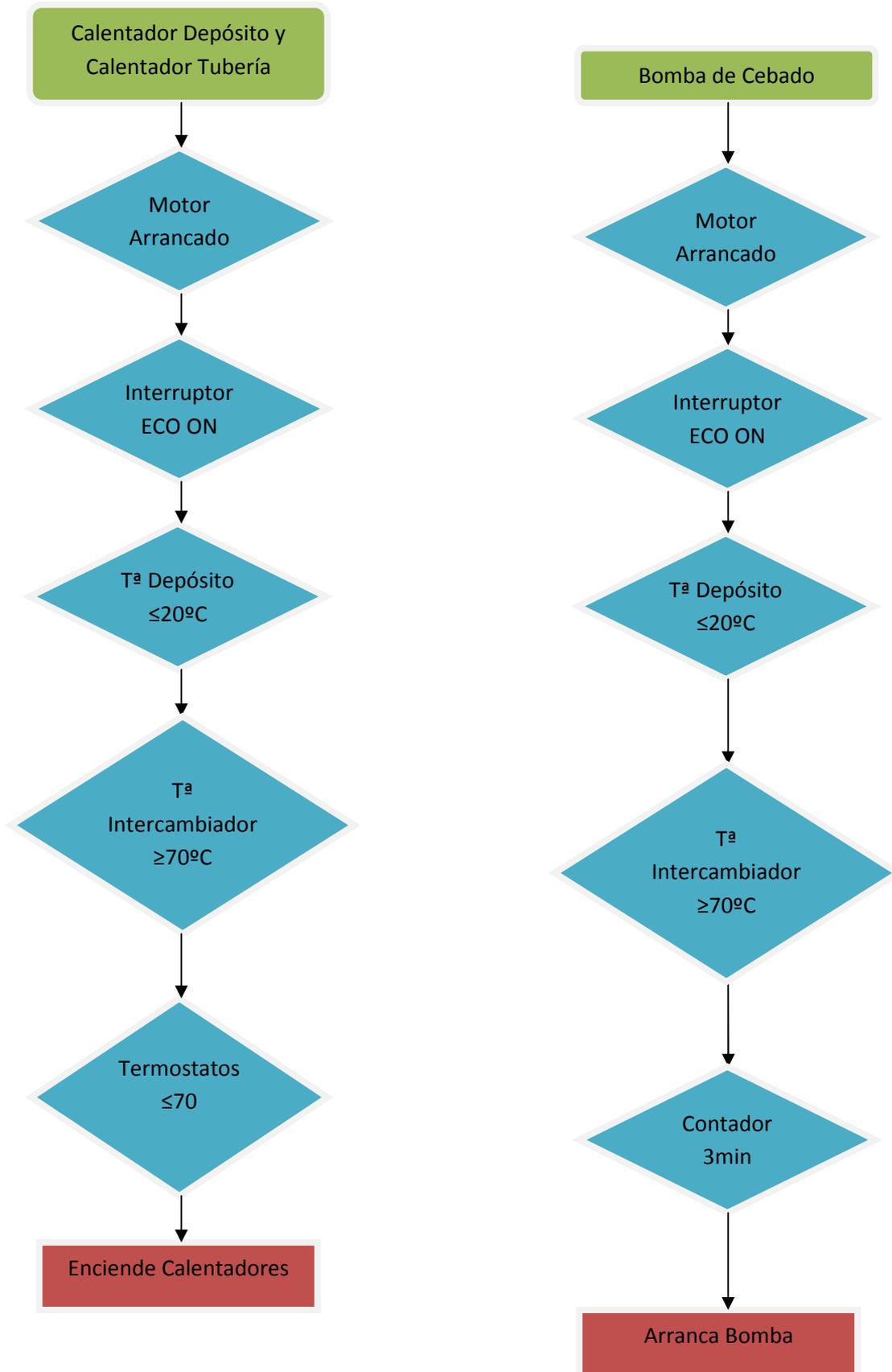
Para el funcionamiento de los mismos, el autómata toma la temperatura del depósito a través de una sonda PT100, cuando la temperatura es menor de 20°C , manda una señal a los dispositivos, que ponen en marcha los calentadores durante 3 minutos, antes de abrir las electroválvulas. Por otro lado, hemos previsto la colocación de termostatos eléctricos para evitar calentamientos excesivos que puedan provocar problemas en las mangueras conectadas a ellos, así como al aislante de armaflex. De esta forma, cuando llegan a una temperatura superior a 70°C el autómata apaga los calentadores hasta que la temperatura desciende por debajo de la diferencial del termostato, momento en el que se vuelven a encender.

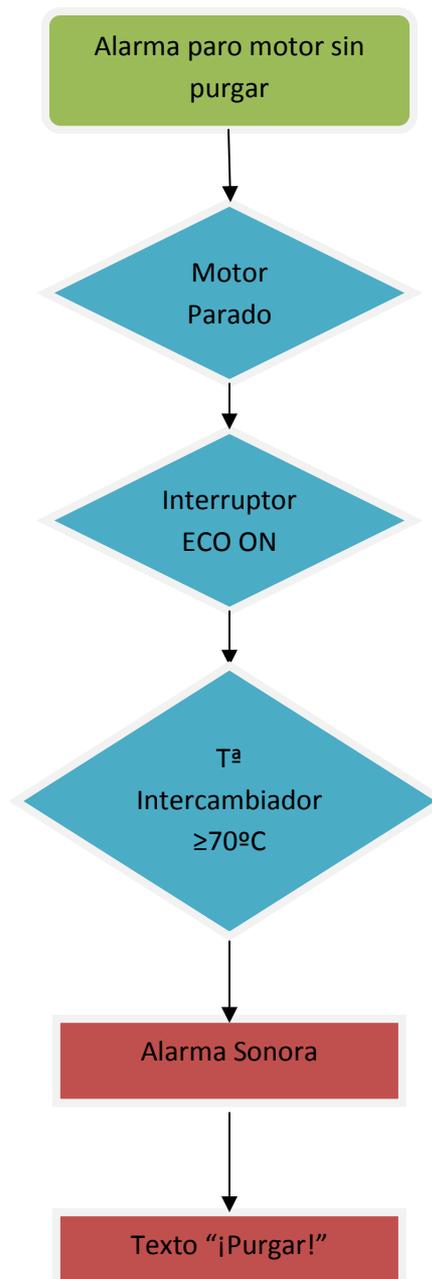
Otro de los dispositivos utilizados es una bomba eléctrica de cebado que actúa como ayuda a la bomba principal cuando tenemos bajas temperaturas.

La bomba arranca con temperaturas de aceite por debajo de 20°C en el depósito y cuando el motor está funcionando con aceite vegetal. Su parada se produce cuando la temperatura es superior a los 20°C o se circula en modo gasoil.

En los diagramas de flujo adjuntos, puede verse de forma gráfica, la secuencia de funcionamiento, así mismo, en el anexo 10.5 podemos encontrar la programación necesaria en el autómata LOGO para el sistema diseñado.







5.2.5 Cálculo sistema eléctrico

En el siguiente punto, vamos a calcular las secciones de los conductores necesarios para los receptores eléctricos y los fusibles de protección.

Como datos de inicio para el cálculo eléctrico, tomaremos una caída de tensión admisible del 5%, un voltaje en el sistema de 12v y un $\cos\theta = 1$.

Las fórmulas que utilizaremos son las siguientes:

$$P = v \cdot I \quad (27)$$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot P}{e \cdot v \cdot \gamma} \quad (28)$$

Donde:

P Potencia (W)

v Voltaje

I Intensidad (A)

S Sección (mm^2)

L Longitud conductor (m)

γ Conductividad eléctrica ($\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$) (Para conductor de cobre = $56 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$)

Sección conductor calentador tubo de succión de combustible:

Es el elemento eléctrico que mayor potencia requiere para funcionar. En el punto 5.1.8 se realizaron los cálculos del mismo, arrojando una potencia de 260W.

Sustituyendo en la fórmula (27) obtenemos una intensidad de 21,67 A.

La caída de tensión máxima es de un 5% del voltaje nominal, es decir, de 0,6 v en nuestro caso.

La sección necesaria de conductor de cobre, con caída de tensión máxima de 0,6v para una longitud de 4m es de 5,15 mm^2 . Según la tabla de la figura 5.13, tomamos la siguiente sección normalizada, es decir, 6 mm^2 para cable con recubrimiento de XLPE.

Sección del conductor de cobre según IRAM 2183	Corriente máxima admisible
S (mm ²)	I (A)
1	9,6
1,5	13
2,5	18
4	24
6	31
10	43
16	59
25	77
35	96
50	116
70	148
95	180

Fig. 5.19 Sección conductores

Esta sección puede soportar 31 A de intensidad de corriente, por lo que nos es válido.

Puesto que las salidas del automático elegido (LOGO), solamente son capaces de suministrar 10 A, es necesario conectar el calentador del depósito por medio de un relé de potencia que soporte una intensidad mayor de 21,67A, el cuál irá conectado directamente a la salida de potencia del alternador.

Para el cálculo del fusible protector de la línea contra sobrecargas, seguiremos la norma UNE 20-460, en la cual:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (29)$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \quad (30)$$

Donde:

I_b Intensidad prevista en la carga

I_n Intensidad nominal del aparato de protección

I_z Intensidad máxima admisible en el conductor

$I_2 = 1,6 \cdot I_n$ (Para fusibles)

Puesto que la carga necesita 21,67 A, cogemos el siguiente normalizado 25 A.

Comprobamos que cumple la primera condición, ecuación (29)

$$21,67 \leq 25 \leq 31$$

Comprobamos la segunda condición, ecuación (30)

$$40 \leq 44,95$$

Por lo que el fusible de 25 A es válido.

Sección calefactor de tubería:

La potencia máxima es de 120W, por lo que la intensidad de corriente será 10A. Sustituyendo en la ecuación (28) para una longitud de 4m tenemos una sección de $2,38 \text{ mm}^2$ por lo que yéndonos a una sección superior, serán $2,5 \text{ mm}^2$. Pudiendo soportar una intensidad máxima de 18A.

Puesto que el autómata solo proporciona 10A de salida, sería recomendable conectarlo a través de un relé, como precaución.

Así, el fusible necesario a utilizar siguiendo el método usado para el cálculo del apartado anterior sería de 15A.

Sección bomba de cebado:

La intensidad máxima que consume la bomba pierburg elegida son 2 A. Así, la potencia máxima será de 24W.

Sustituyendo en (28), para una longitud de 4m y caída de tensión máxima del 5%, tenemos que $s = 0,47 \text{ mm}^2$, consultando la tabla, tenemos un cable normalizado de sección 1 mm^2 , aunque utilizaremos de $1,5 \text{ mm}^2$ por ser más habitual.

En este caso no es necesario utilizar fusible de protección, puesto que la bomba está alimentada directamente por el automático y éste cuenta con un fusible propio para las salidas.

El resto de elementos como las electroválvulas o el dispositivo acústico podrán cablearse con secciones de $1,5 \text{ mm}^2$ puesto que sus potencias son menores que las de la bomba de cebado. Por ésta razón, no es necesario su cálculo.

6- PRESUPUESTO

Descripción	Unidades	Precio/Unidad	Total
Electroválvula 3/2	2	43,00 €	86,00€
Depósito	1	1150,00€	1150,00€
Pre filtro	1	8,25€	8,25€
Aislante armaflex tuberías 20mm	5m	1,98 €/m	9,90€
Aislante armaflex tuberías 25mm	4m	2,24 €/m	8,96€
Aislante armaflex láminas e=10mm	0,3m ²	25,77 €/m ²	7,73€
Bomba de cebado	1	173,24€	173,24€
Conjunto intercambiador-filtro	1	169,47€	169,47€
Resistencia flexible 30W/m	4m	1,30 €/m	5,20€
Resistencia flexible 60W/m	4m	2,03 €/m	8,12€
“T” de conexión eléctrica	1	5,56€	5,56€
Autómata Siemens Logo	1	130 €	130€
Cable 6 mm ² XLP	4m	4,28 €/m	17,12€
Cable 2,5 mm ² XLP	4m	2,35 €/m	9,40€
Cable 1,5 mm ² XLP	7m	1,35 €/m	9,45€
Relé 25 A	1	4,05€	4,05€
Relé 20 A	1	3,87€	3,87€
Tubería combustible 10mm	5m	7,45€	37,25€
Tubería combustible 14mm	4m	9,19€	36,76€
Tubería de acero suave tuberías 10mm	1m	4,20€	6,30€
Tubería de acero suave tuberías 40mm	1m	7,89€	7,89€
Termostato eléctrico	2	1,68€	1,68€
Sonda PT100	1	24,50€	24,50€
Abrazaderas, terminales y pequeño material		14,80€	14,80€
Mano de obra	15h	30 €/h	450,00€
		SUMA	2385,50€
		I.V.A. 21%	524,81€
		TOTAL	2910,31€

Es importante destacar que para la realización del presupuesto, hemos tomado los precios de venta al público de todos los componentes y piezas necesarias del sistema. Estos precios se podrían rebajar en torno a un 25% de media gracias a los descuentos con los que cuentan los mayoristas en las ventas para empresas.

Por ello, de cara a una comercialización del sistema, podría mejorarse el precio de mercado sin dejar de lado los beneficios económicos necesarios para la empresa comercializadora.

7- CONCLUSIONES

Llegados a este punto, el proyecto toca a su fin siendo necesario realizar un análisis sincero y concienzudo de todo el proceso llevado a cabo para su realización.

Creemos que el objeto del proyecto ha sido conseguido puesto que hemos sido capaces de idear un sistema capaz de utilizar aceite vegetal en un motor diesel. Por otro lado, además del diseño teórico, no hemos dejado de lado la parte práctica del mismo, llevándolo a cabo en el vehículo y demostrando que es totalmente funcional.

Para llegar a ese objetivo, hemos analizado cuántas variables influyen en el mismo como el funcionamiento de los motores diesel y su equipo de inyección, los distintos tipos de aceite susceptibles de utilizarse como combustible, las características mecánicas del vehículo, los condicionantes ambientales etc. Esto nos ha permitido plantear dos posibles soluciones técnicas para la adaptación, un sistema monocombustible y otro bicombustible, para decidimos por este último por plantear, bajo nuestro punto de vista, mayores ventajas.

En cuanto al diseño de los elementos, hemos intentado no dejar nada al azar considerando todos los cálculos necesarios para su construcción.

Somos conscientes que hay aspectos que mejorar y que completarían el proyecto. Por ejemplo, sería necesario conocer cómo afecta la adaptación a aceite vegetal en el motor a largo plazo, si causa desgastes excesivos, residuos, en qué medida aumenta el mantenimiento, etc. Por otro lado, sería interesante comprobar la diferencia de potencia que entrega el motor con ambos combustibles. Ninguno de estos aspectos ha sido posible realizarlo ya que carecemos de los medios necesarios para circular con el coche el tiempo necesario y comprobar su desgaste así como su mantenimiento. De la misma manera, carecemos de banco de potencia para saber su rendimiento.

Personalmente, la realización de este estudio nos ha aportado una visión global de cómo llevar a cabo un proyecto real, desde su idea previa hasta su completa realización. Del mismo modo hemos sabido utilizar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y aprovechar al máximo los recursos de los que disponíamos.

8- BIBLIOGRAFÍA

-“Transferencia de calor y masa” (tercera edición), autor Yunus A. Çengel, editorial McGrawHill.

-“Fundamentos de transferencia de calor” (cuarta edición), autores Frank P. Incropera y David P. De Witt, editorial Pearson.

-“Arias Paz, manual de automóviles” (55 edición), autor M. Arias-Paz, editorial Dossat.

-“Motores de combustión interna alternativos”, Prof. F. Payri y Prof. J. M. Desantes, editorial Reverté.

-“Manual Haynes Opel Frontera 1991 to Sept 1998”, editorial Haynes.

-Material didáctico asignaturas: “Máquinas hidráulicas; Calculo, construcción y diseño de máquinas; Termotecnia; Oficina técnica.”

Páginas web consultadas:

<http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/9403>

<http://www.agenergia.org/index.php?section=60>

<http://www.ecoterra.org/es/publicaciones/perspectiva-ambiental/perspectiva-ambiental-cuadernos-del-numero-1-al-29> (cuaderno 24)

http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/motores/temas/ciclo_real.pdf

http://www.fidena.edu.mx/biblioteca/MAQUINAS/Combustion_Teoria%20de%20Motores%20de%20Combustion%20Interna.pdf

http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/motores/temas/ciclo_teorico.pdf

<http://www.jatropha.es/aceitecombustible.htm>

https://www.uclm.org/cr/EUPALMADEN/aaa-eupa/boletin_informativo/pdf/boletines/7/ELL%20BIODIESEL,%20UNA%20ALTERNATIVA%20SOSTENIBLE%20AL%20GASOLEO%20CONVENCIONAL.pdf

https://www.fact-foundation.com/media_en/The_Jatropha_Handbook_Espanol

<http://dim.usal.es/eps/mmt/?p=1135>

<http://personales.ya.com/davidgomez/proyinyec.htm>

http://recursoslibres.files.wordpress.com/2011/03/mecanica_flores_completo.pdf

<http://www.biocarburante.com/aceite-vegetal-el-biocarburante/>

<http://es.journeytoforever.org/biocombustibles/aceite-vegetal-combustible-diesel.cgi>

http://www.journeytoforever.org/biodiesel_TDI.html

<http://vegburner.co.uk/report.html>

<http://www.uclm.es/area/amt/Docencia/prorea.asp>

http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/biokraftstoffe/dateien/berlin072_prestandarddiv51605.pdf

<http://www.greenerpro.com/RSO.html>

http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/analisis_estacional

<http://www.bosch.com.mx/content/language1/html/13441.htm>

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1970L0221:20070101:ES:HTML>

<http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Documento/JatrophaContrataciones/CARACTERISTICAACEITECOMOENTENDER.pdf>

<http://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf>

http://www.gates.com/Spain/brochure.cfm?brochure=8081&location_id=11980#TOPOFPAGE

http://www.electricfor.es/uploads/Termostatos_klixon_1nt.pdf

<http://www.taysa.es/documentos/04-climatizacion/0402-tuberias-coquillas/040201-tarifa-armacell-climatizacion-tuberiasycoquillas-ene2012.pdf>

http://www.maxi4x4.com/b2c/index.php?page=pp_producto.php&md=0&ref=LRAHFA

Anexos

9.1- Tablas características físicas del aceite de colza

9.2- Coeficiente pérdida de carga en codos

9.3- Coeficientes de transferencia de calor

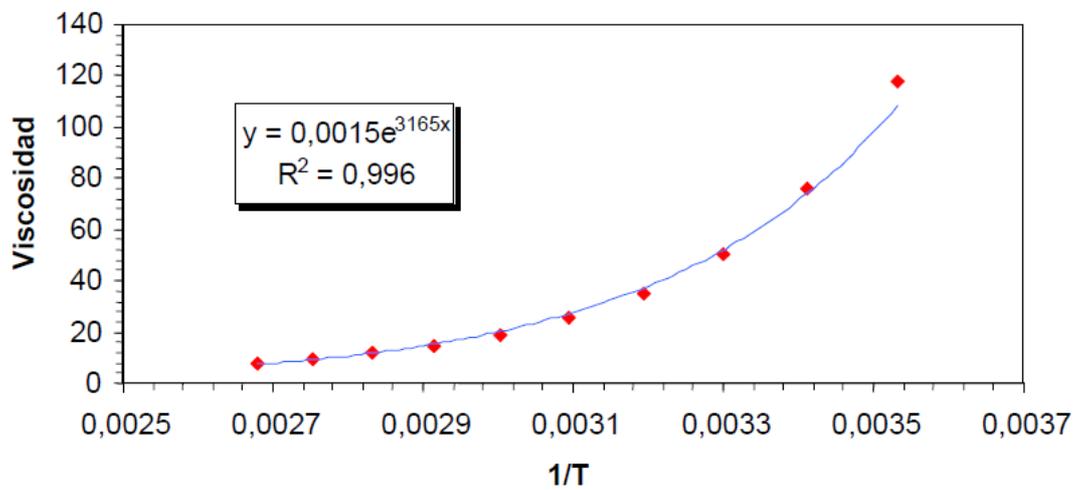
9.4- Pruebas en vehículo

9.1 Tablas características aceite de colza (Norma DIN 51605)

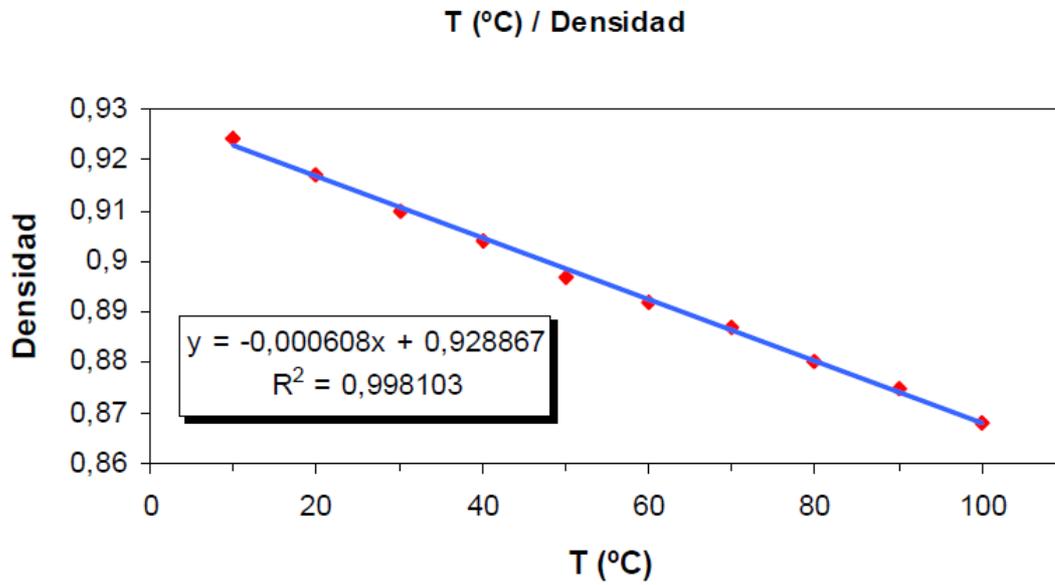
$T (^{\circ}\text{C})$	Densidad (g/cm ³)	Vc (csk)
10	0,924	117,5
20	0,917	76,3
30	0,91	50,8
40	0,904	35,3
50	0,897	25,2
60	0,892	18,9
70	0,887	14,9
80	0,88	11,8
90	0,875	9,6
100	0,868	7,9

Tabla 1. Densidad/Viscosidad diferentes temperaturas

1/T // Viscosidad



Gráfica 1. Relación 1/T(K) frente a viscosidad (csK)

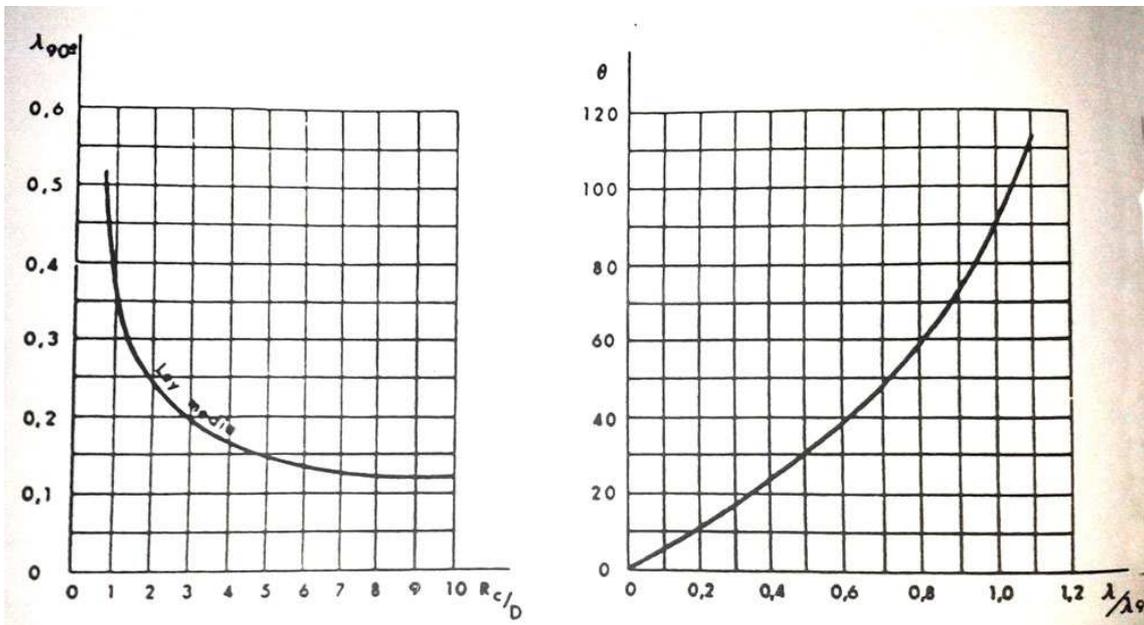


Gráfica 2. Relación temperatura(K) frente a densidad (g/cm3)

Calor específico	1,9646 KJ/kg. °C
Poder calorífico	36000 KJ/kg (valor mínimo)
Conductividad térmica	0,17 W/m.°C

Tabla 2. Calor específico/Poder calorífico/Conductividad térmica

9.2 Coeficiente pérdida de carga



Gráfica 3. Coeficiente λ pérdida de carga en codos

9.3 Coeficientes totales de transferencia de calor en intercambiadores

Tipo de intercambiador de calor	U, W/ m². °C
Agua hacia agua	850-1700
Agua hacia aceite	100-350
Agua hacia gasolina o queroseno	300-1000
Calentadores de agua de alimentación	1000-8500
Vapor de agua hacia combustible ligero	200-400
Vapor de agua hacia combustible pesado	50-200
Condensador de vapor de agua	1000-6000

Tabla 3. Coeficientes totales de transferencia de calor

9.4 Pruebas en vehículo

En esta parte del proyecto, pondremos a prueba el sistema diseñado, montándolo en el vehículo objeto de estudio. Cabe destacar que debido a los recursos económicos limitados con que contamos y al hecho de que no será un montaje permanente en el vehículo, hemos realizado una instalación con un esquema simplificado donde los elementos con mayor coste han sido suprimidos.

De esta forma, los elementos que montaremos en el vehículo serán las electroválvulas, el conjunto intercambiador-filtro, autómata de control así como un pequeño depósito. Si bien no es el esquema diseñado, de cara a las pruebas a realizar en el vehículo no supone ninguna variación en los resultados que se obtengan.

En las siguientes imágenes del proceso de montaje, puede verse la disposición de los elementos instalados en el vehículo.



Detalle colocación electroválvulas y conjunto intercambiador-filtro



Detalle situación depósito



Vista general motor con el sistema instalado

Diferencias de rendimiento

Ante la imposibilidad económica de disponer de un banco de potencia para comprobar la variación de rendimiento, plantearemos las diferencias que hemos apreciado entre el funcionamiento del motor con gasoil y con aceite de colza refinado.

Durante la transición de combustible gasoil a aceite vegetal, como conductor, no se aprecia ningún cambio reseñable véanse tirones, caída de rendimiento, cambio de sonoridad etc. en el motor.

Hemos comprobado que tras permanecer varios segundos el motor a ralentí, en el primer momento en que se le pide aceleración, cambia la rumorosidad del mismo. Esto es debido al adelanto del tiempo de inyección que como se explicó en este estudio, se debe a la mayor viscosidad del aceite vegetal, lo cual provoca que haya una ligera sobrepresión en la bomba por lo que se alcanza antes la presión de inyección y por consiguiente se inyecta antes el combustible en la cámara de combustión. Por esta razón también podemos apreciar una ligera mejora durante el régimen de ralentí manteniéndose más uniforme.

Por otro lado, el olor de los gases de escape varía de uno a otro combustible, siendo muy característico para el aceite de colza.

Pruebas de opacidad

Actualmente es obligatorio realizar una prueba de opacidad en todos los vehículos diesel durante la inspección técnica obligatoria para poder circular. Básicamente la opacidad es la condición en la cual una materia impide parcial o totalmente el paso del haz de luz. Los opacímetros son analizadores de humos de cámara cerrada que funcionan bajo el procedimiento de muestreo de descargas parciales utilizados en los Programas de verificación de vehículos y de acuerdo a lo indicado en la norma técnica vigente.

Tienen dos escalas de medición: Una de ellas en unidades de absorción de luz expresado en m^{-1} y la otra lineal de 0 % a 100 % de opacidad, ambas escalas de medición se extienden desde cero con el flujo total de luz hasta el valor máximo de la escala con obscurecimiento total.

Para la realización de éstas pruebas hemos utilizado un analizador de gases diesel (opacímetro) marca Bosch, el cual se puede ver en la siguiente imagen.



Opacímetro Bosch

En primer lugar hemos medido la opacidad de los gases de escape utilizando como combustible el gasoil, con una temperatura del motor de 80°C, arrojando unos resultados de 8,85 m⁻¹.

A continuación hemos realizado el cambio de combustible a aceite de colza y hecho dos pruebas. La primera de ellas con una temperatura del intercambiador de 70°C con unos resultados de 6,00 m⁻¹; en la segunda a una temperatura de 85°C se obtuvo 4,85m⁻¹.

En la siguiente imagen se pueden ver los resultados impresos del opacímetro, en las tres pruebas realizadas.



Como se puede apreciar la opacidad ha disminuido en prácticamente la mitad entre la prueba con gasoil y con aceite a 85°C, lo que significa unos resultados muy satisfactorios.

Prueba de consumo

Para la prueba de consumo, sería necesario realizar una prueba en carretera con ambos combustibles, realizando el mismo recorrido y con las condiciones más parecidas posibles en cuanto a velocidad, carga del motor, etc. Este hecho no es posible ya que el vehículo que disponemos para el montaje del sistema, no puede circular por vías públicas. Por esta razón, haremos una prueba de consumo en vacío,

es decir, sin carga en el motor manteniendo unas revoluciones determinadas. Somos conscientes que la prueba no será todo lo fiable que desearíamos.

Para la realización de la misma, hemos medido en primer lugar el tiempo que tarda el motor a 2500 r.p.m. en consumir 100ml de gasoil, resultando 45s. Del mismo modo hemos realizado la prueba con aceite consumiendo 101ml de aceite. Lo que significa una variación de un 1%. Sabemos que ésta diferencia no es la real y que en una prueba en carretera aumentaría. Hemos analizado otros estudios con modificaciones en otros motores, en particular sobre un motor VM HR494 HT3 con una cilindrada 3100c.c. probado en banco de potencia y con diferentes tipos de aceites obteniendo la siguiente tabla de resultados:

Carburante	Periodo de rotación -Nm	Potencia kW	Consumo l/h	Consumo %
Gasóleo	228,9	55,4	17,65	100
Colza refinada	227,9	55,2	18,00	102,0
Colza prensada en frío	226,7	54,9	17,95	101,7
Algodón refinado	225,1	54,5	17,95	101,7
Girasol reciclado	224,4	54,3	18,24	103,3
Mezclas de aceites reciclados	225,1	54,5	18,24	103,3

Tabla de consumos en motor VM con distintos aceites

Viabilidad económica

Consideramos que es necesario evaluar la viabilidad del proyecto en el plano económico, para saber su rentabilidad y el tiempo de retorno de la inversión. Para ello estudiaremos la diferencia de precio en el mercado de ambos combustibles, el presupuesto de la instalación, así como las diferencias de consumo.

Atendiendo a los resultados obtenidos en la tabla anterior, tomaremos una diferencia de consumo entre el gasoil y el aceite de colza refinado, de un 2%.

Actualmente el precio del gasoil para automoción está en torno a 1,40€ mientras que el aceite de colza, comprado industrialmente cumpliendo la norma DIN 51605 se encuentra a 0,85€/l.

El presupuesto de nuestro sistema es de 2910,31€ a lo que habría que añadir el proyecto de reforma, inspección técnica y otros gastos por lo que tendríamos un gasto total aproximado de 3500€.

Para un consumo mixto para nuestro vehículo de 10,3l/100km y una distancia recorrida de 20000km/año obtenemos los siguientes datos:

- Consumo anual de combustible diesel: 2060 litros
- Gasto total diesel: 2884€/año
- Consumo anual de aceite: 2100 litros
- Gasto total aceite: 1785€/año

De esta forma, tenemos un ahorro anual de combustible de 1099€. Por lo que el retorno de la inversión teniendo en cuenta el valor del proyecto sería de 3,18 años.

Entendemos que es un período de retorno aceptable, teniendo en cuenta que la vida media de un vehículo en España es en torno a 12 años, podría representar un ahorro de 9688€ a lo largo de toda su vida útil.

Los cálculos realizados son para un turismo particular, si extrapolamos los resultados obtenidos a un vehículo de servicio público o de transporte donde el kilometraje puede aproximarse a unos 80000km el ahorro podría representar 4396€/año, por lo que en un solo año estaría amortizada la inversión y se ahorraría más de 800€.