



VNiVERSiDAD D SALAMANCA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

**Memoria de resultados del proyecto de
innovación ID2016/024**

**Diseño de nuevas prácticas en procesos de
conformado por deformación plástica.**

Participantes:

Juan Carlos Pérez Cerdán
Miguel Ángel Lorenzo Fernández
Alejandro Reveriego Martín
M. Carmen Blanco Herrera

Béjar, 30 de junio de 2017



Índice

1. Objeto del proyecto.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos del proyecto.....	2
2. Desarrollo del proyecto.....	2
2.1. Descripción de las actividades realizadas.....	5
2.2. Proceso de evaluación.....	9
3. Resultados.....	10
4. Conclusiones.....	11

1. Objeto del proyecto

1.1. Introducción

La implantación de los nuevos títulos universitarios dentro del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) exige actuar en una serie de ámbitos que en pocos años han modificado de manera notable la interacción profesor/estudiante y el sistema de aprendizaje en el campo universitario. El objetivo de esta actividad es facilitar el proceso de cambio al nuevo rol tanto para los estudiantes como para los profesores universitarios. Los primeros deben asumir una actitud más activa, más allá de ser meros receptores de conocimientos, y los segundos deben cambiar de transmisores de conocimiento en clases magistrales a impulsores (incluyendo diseño, planificación y coordinación) de diversas actividades docentes que aseguren la adquisición de las competencias por los estudiantes.

Estos cambios son particularmente útiles en las enseñanzas técnicas donde los estudiantes se enfrentan a los múltiples y variados problemas que engloba la ingeniería. Por tanto, conviene establecer de antemano cuáles son las metodologías didácticas y sistemas de evaluación más apropiados, o las actividades de nuevo diseño más eficaces. En particular, de la implantación de los nuevos títulos de Grado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial (ETSII), surge la necesidad de idear una serie de nuevas actividades que complementen la formación teórico-práctica del estudiante en diferentes disciplinas de la Ingeniería Mecánica. Mediante este proyecto se pretende poner en marcha una serie de prácticas que faciliten a los estudiantes el aprendizaje y comprensión de los procesos de conformado por deformación plástica, tema fundamental en el contenido de las asignaturas "Tecnología de Producción y Fabricación", "Ingeniería de los Procesos de Fabricación" y "Sistemas Integrados de Fabricación".

El software elegido para llevar a cabo este proyecto ha sido *MSC.Marc* para las simulaciones numéricas por elementos finitos y *Autodesk Inventor* para el diseño de los procesos de conformado por deformación plástica.

Además de ayudar a superar las dificultades de comprensión mencionadas previamente, el desarrollo de este proyecto ha supuesto una gran oportunidad para que los estudiantes se familiaricen con medios técnicos y programas informáticos propios de la ingeniería mecánica actual, habitualmente usados en el mundo industrial. También consideramos que ha supuesto una mejora del proceso de aprendizaje, por asumir los estudiantes un rol más activo, mediante la utilización de metodologías activas que facilitan, además, una evaluación basada en la adquisición de competencias.

1.2. Objetivos del proyecto

Los objetivos fundamentales de este proyecto planteados inicialmente han sido:

1. Conseguir que el estudiante mejore la comprensión de los conceptos teóricos y procedimientos de análisis de procesos CDP mediante la utilización de simulaciones numéricas por elementos finitos (EF). Para ello, se hará uso de:
 - A) Material didáctico específicamente desarrollado con este fin en el ámbito del proyecto solicitado.
 - B) Una serie de prácticas y actividades basadas en simulaciones numéricas mediante EF que permitirán a los estudiantes visualizar tanto el flujo plástico como la distribución del estado tensional durante los procesos CDP; así como determinar los efectos que se producen en dichas distribuciones al variar diferentes parámetros en dichos procesos.
2. Acercar al estudiante al uso del análisis por EF como una herramienta propia de la ingeniería actual.
3. Conseguir una participación más activa del estudiante, aumentando su motivación y mejorando el proceso de aprendizaje.

A partir de los resultados de la aplicación de la actividades docentes desarrolladas este año, dentro del ámbito de este proyecto de innovación docente sobre los estudiantes matriculados en la asignatura, se puede considerar que la consecución de los objetivos propuestos ha sido la siguiente:

El objetivo 1, la mejora de la comprensión de los conceptos teóricos se ha conseguido satisfactoriamente tal como han revelado los resultados de la evaluación continua realizada mediante las actividades desarrolladas en las que se han utilizado diversos materiales didácticos específicamente elaborados.

En cuanto al objetivo 2, se ha conseguido plenamente puesto que las diversas actividades desarrolladas han permitido a los alumnos el primer contacto con el análisis por EF. La implantación de estas nuevas actividades docentes ha supuesto un notable aumento del interés y motivación de los estudiantes por los contenidos de la asignatura. Por este motivo, se considera que el objetivo 3 de este proyecto también se ha cumplido satisfactoriamente.

2. Desarrollo del proyecto

Se ha elaborado material propio y se han ideado y programado actividades cuya realización, siendo factible con el grado de formación de los estudiantes, asegure la consecución de las competencias específicas y transversales asignadas a las asignaturas:

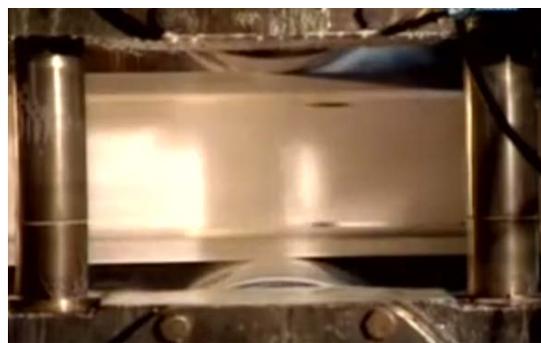
- Capacidad de organización y planificación.
- Resolución de problemas.
- Trabajo en equipo.
- Aprendizaje autónomo.
- Conocimiento básico de los sistemas de producción y fabricación.

- Conocimiento aplicado de sistemas y procesos de fabricación, metrología y control de calidad.
- Conocimiento y capacidad para proyectar, calcular y diseñar sistemas integrados de fabricación.

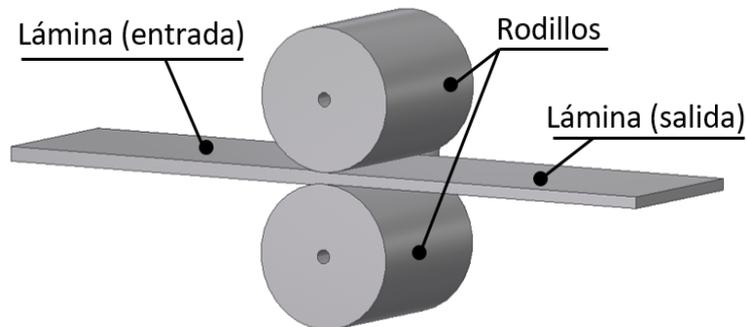
Más concretamente, con el propósito de alcanzar los objetivos enumerados anteriormente, las actividades desarrolladas se centraron en los siguientes ejemplos de procesos de conformado por deformación plástica:

- **Conformado por laminación**

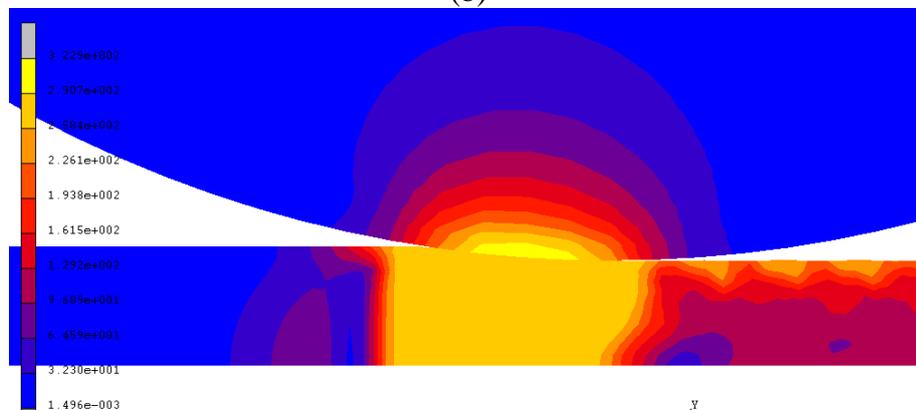
El proceso de conformado por laminación es uno de los más importantes a nivel industrial. Este proceso consiste en la reducción de la sección transversal de una plancha metálica al hacerla pasar por una serie de rodillos (Fig. 1b). Principalmente se utiliza en la obtención de chapa, barra, banda y perfiles estructurales.



(a)



(b)



(c)

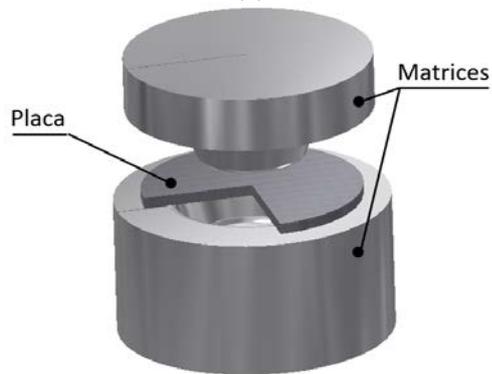
Fig. 1. Proceso de conformado por laminación: (a) proceso real, (b) diseño esquemático realizado con Autodesk Inventor y (c) simulación por EF.

- **Conformado por embutición**

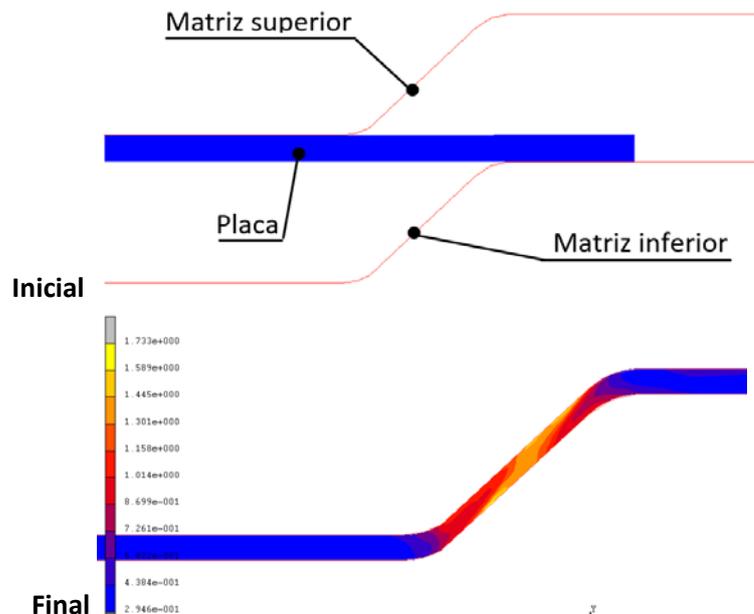
El proceso de conformado por embutición tiene una gran relevancia en el sector industrial. Brevemente, este proceso consiste en la aplicación de una fuerza sobre una plancha de metal que se deforma sobre un soporte con la forma final deseada (Fig. 2b). La embutición se aplica en multitud de campos: utillaje doméstico, cilindros de alta presión, automoción, etc.



(a)



(b)



(c)

Fig. 2. Proceso de conformado por embutición: (a) proceso real, (b) diseño esquemático realizado con Autodesk Inventor y (c) simulación por EF (Inicial y final).

2.1. Descripción de las actividades realizadas

El estudio de cada proceso se ha llevado a cabo en el aula de informática de manera individual por cada uno de los estudiantes. Previamente se han especificado los objetivos a alcanzar con cada una, se han descrito cuáles son las tareas a desarrollar durante su ejecución y el trabajo a realizar en el guión de la práctica. Para la ejecución de cada una de las prácticas se cuenta con un material de apoyo que recoge los conocimientos teóricos necesarios para la correcta realización de la práctica.

A continuación, se describen de forma más detallada las prácticas realizadas:

- 1) Introducción a la modelización por EF de problemas no lineales. Se explicaron diversos ejemplos en los que aparecen los dos tipos de no linealidad que presentan los procesos CDP (comportamiento elasto-plástico del material y contacto entre cuerpos). De este modo, los estudiantes pudieron comprender los fundamentos del análisis de problemas no lineales mediante EF. Se planteó que los estudiantes realizaran los ejemplos por sí mismos en su ordenador al mismo tiempo que el profesor los realizaba paso a paso en el aula de informática.

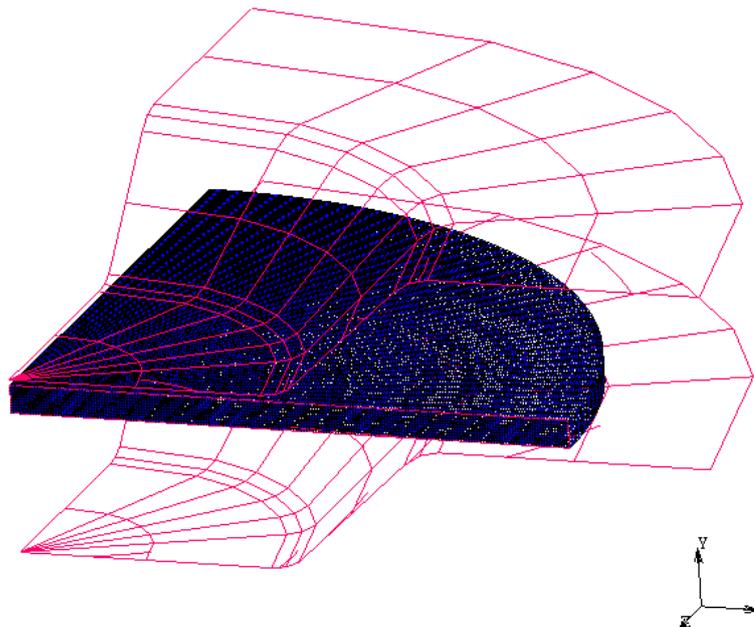


Fig. 3. Ejemplo de la modelización por EF de un proceso de conformado por embutición considerando una doble no linealidad.

- 2) Simulación de un proceso de fabricación CDP. Esta práctica también se desarrolló en el aula de informática siguiendo la misma metodología, de modo que el estudiante aplica de forma individualizada en su ordenador lo que va explicando paso a paso el profesor. Los resultados de las simulaciones numéricas de un proceso CDP permiten visualizar el flujo plástico a través de los mapas cromáticos (Fig. 3) y las líneas de flujo.

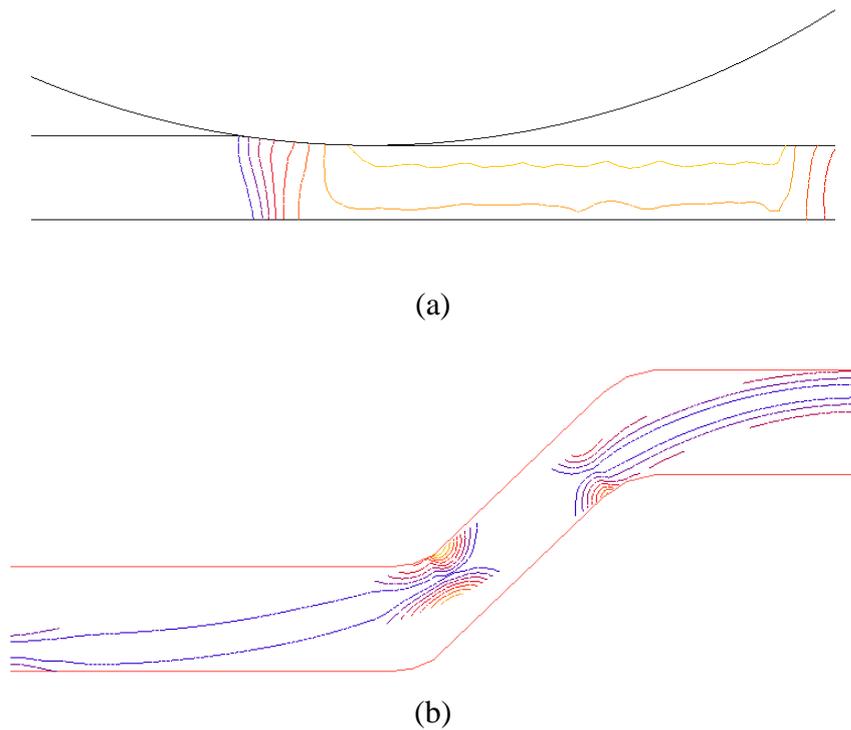


Fig. 3. Flujo plástico en un proceso de (a) conformado por laminado y (b) conformado por embutición.

Durante la realización de esta práctica, el modelo del proceso CDP (Fig. 4a y 4b) analizado permitió a los estudiantes comprender en mejor medida la modelización de la geometría de los diversos componentes que forman el proceso CDP y las condiciones de contorno aplicadas en la simulación. Posteriormente, se planteó que los estudiantes, divididos en grupos, analicen la influencia de diferentes parámetros del proceso: (i) influencia de la rigidez de los rodillos (Fig. 5), (ii) influencia del grado de reducción (Fig. 6), (iii) influencia del diámetro de los rodillos (Fig. 7) y (iv) influencia del ángulo de la matriz (Fig. 8).

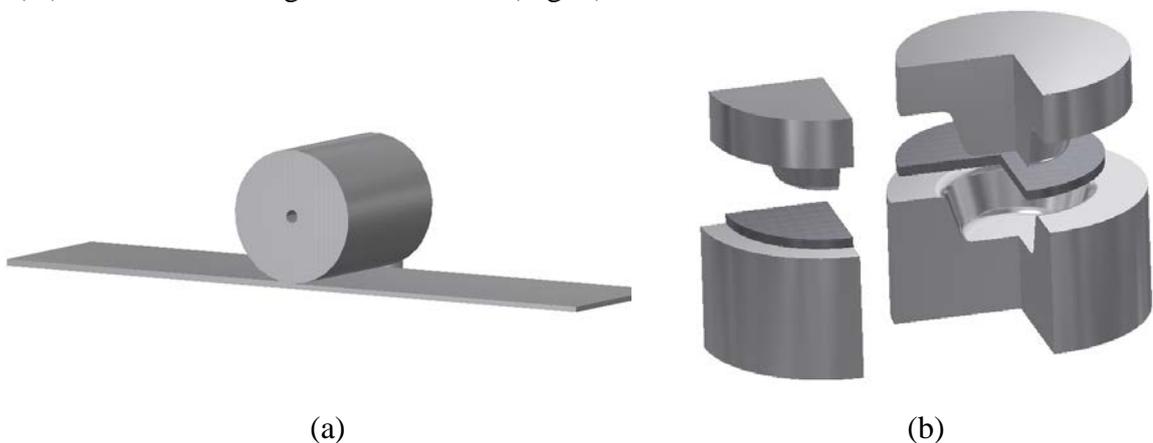


Fig. 4. Modelos 3D creados en Autodesk Inventor de los procesos de conformación por: (a) laminado y (b) embutición.

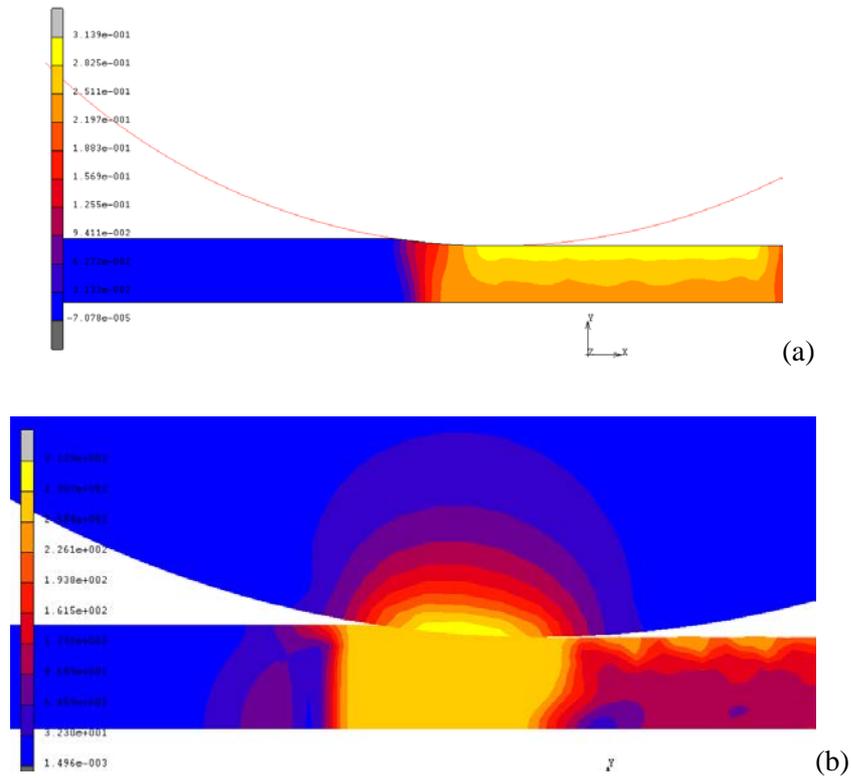


Fig. 5. Casos de estudio utilizados para analizar la influencia de la rigidez de los rodillos en el proceso de conformado por laminación: (a) hilera rígida y (b) hilera deformable.

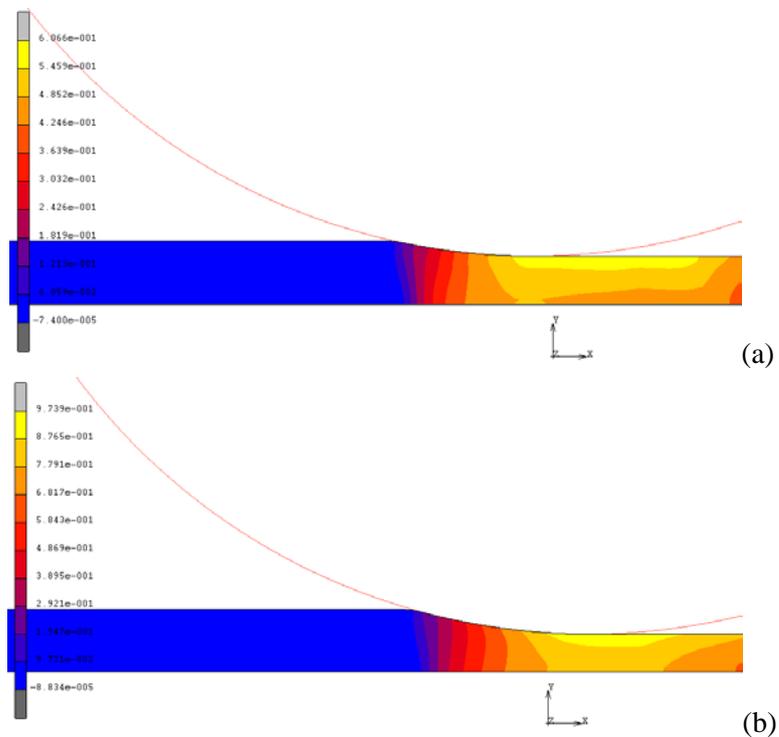


Fig. 6. Casos de estudio utilizados para analizar la influencia del grado de reducción (Δe) de la placa en el proceso de conformado por laminación: (a) $\Delta e = 3$ mm y (b) $\Delta e = 5$ mm.

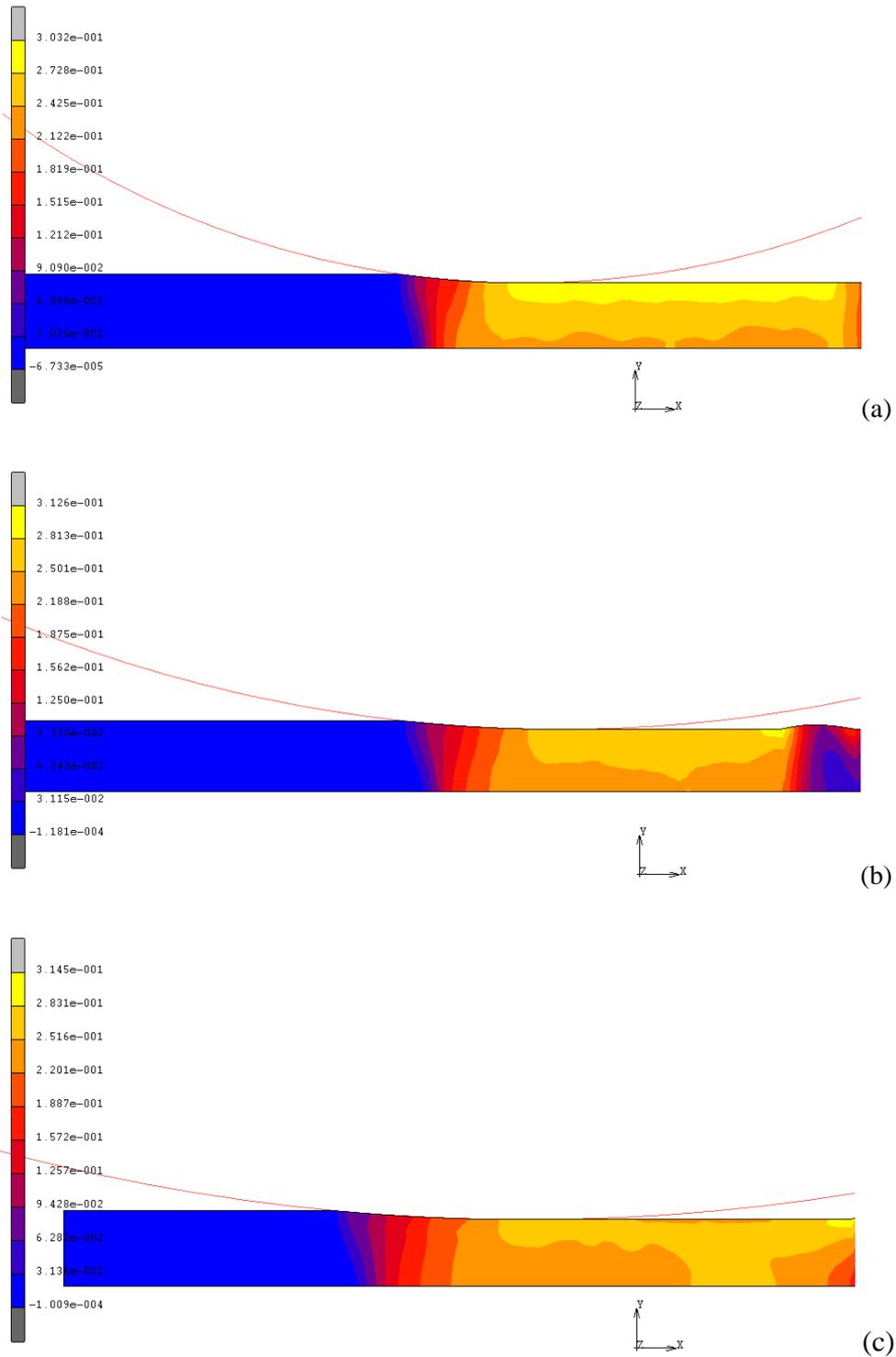


Fig. 7. Casos de estudio utilizados para analizar la influencia del diámetro de los rodillos en el proceso de conformado por laminación: (a) diámetro $D = 300$ mm, (b) $D = 500$ mm y (c) $D = 700$ mm.

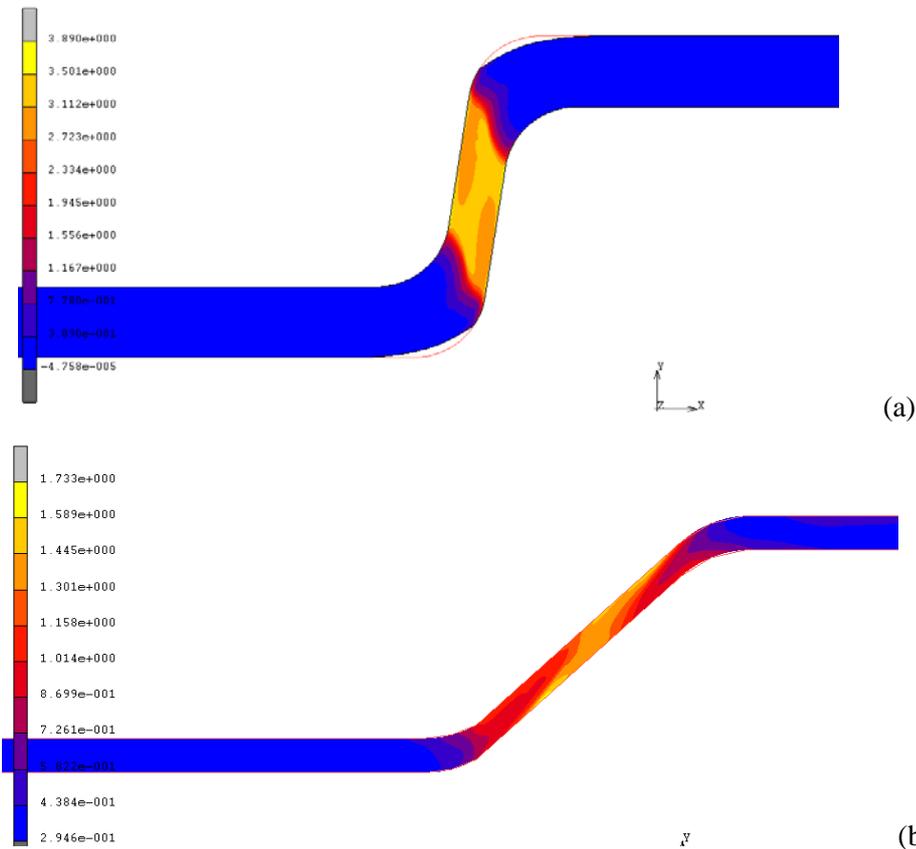


Fig. 8. Casos de estudio utilizados para analizar la influencia del ángulo de matriz en el proceso de conformado por embutición: (a) ángulo de matriz 80° y (b) ángulo de matriz 45° .

- 3) Trabajo propuesto. En esta práctica, de forma voluntaria, los estudiantes interesados debieron aplicar el mismo procedimiento de simulación y análisis desarrollado en la práctica anterior a otro proceso de CDP. Al igual que en la práctica 2, los modelos 3D de los diferentes procesos CDP (Fig. 4a y Fig. 4b) permitieron a los estudiantes visualizar la geometría de los componentes y las condiciones de contorno necesarias para realizar su simulación numérica, así como identificar de forma más clara los parámetros con mayor influencia en cada proceso CDP.

2.2. Proceso de evaluación

Lógicamente, el cambio metodológico ha abarcado también cambios en el proceso de evaluación. Para ello, se han introducido componentes en la evaluación que den cuenta del trabajo y logros del estudiante en relación con las actividades desarrolladas (dentro de un sistema de evaluación continua), y que contribuyan a motivar e incentivar su participación activa.

La evaluación de las prácticas que garantizan la adquisición de las competencias establecidas se ha planeado a partir de la siguiente consideración: aplicar un sistema de evaluación continua que favorezca e incentive el estudio progresivo de los estudiantes

durante el desarrollo de la asignatura. Teniendo en cuenta este planteamiento general, se ha establecido un sistema de evaluación de las actividades de la siguiente forma:

- **Informe Prácticas.** Para superar la asignatura es obligatorio realizar las prácticas y entregar un informe de cada una de ellas en la fecha indicada a lo largo del cuatrimestre. Además, los estudiantes deberán discutir los resultados obtenidos de forma individual y, tras poner en común los resultados de su grupo, responder a una serie de cuestiones planteadas por el profesor relacionadas con las prácticas.
- **Trabajos propuestos.** Se valora especialmente la dificultad que supone la modelización del proceso elegido y la profundidad de la discusión de los resultados obtenidos. El estudiante realiza, uno de los últimos días de clase, una breve presentación de su trabajo al resto de los estudiantes y se abre un turno de preguntas en el que puede debatir con sus compañeros los resultados del trabajo presentado. Tanto la calidad del trabajo como el de la presentación son evaluables.

La calificación obtenida en prácticas constituirá un 15% de la nota final de la asignatura, siendo necesario alcanzar la calificación de 5 sobre 10 para dar por superadas las prácticas.

3. Resultados

Los resultados obtenidos de las actividades propuestas incluidas en este trabajo han sido:

- Mejorar la visualización y comprensión de la evolución del flujo plástico generado durante diversos procesos CDP a través de visualización dinámica de la variación de los estados tenso-deformacionales en forma de mapas cromáticos y líneas de flujo como resultado de las simulaciones por EF.
- Optimizar la interpretación de los resultados teóricos del análisis del estado tenso-deformacional que aparece durante la ejecución y al final de distintos procesos CDP.
- Poner en práctica los conocimientos adquiridos en las clases teóricas.
- Facilitar al estudiante el proceso de aprendizaje y fomentar el autoaprendizaje y el aprendizaje colaborativo mediante la realización de las diversas actividades propuestas.
- Sumergir directamente a los estudiantes en un problema aplicado de ingeniería industrial.
- Aumentar la motivación del alumnado en el seguimiento de la asignatura.
- Facilitar la adquisición de las competencias tanto específicas como transversales propias de las asignaturas.

- Fomentar en el estudiante su nuevo rol en el proceso de enseñanza/aprendizaje en el marco del EEES.
- Mejorar la tasa de rendimiento.
- Aumentar la motivación del alumnado en el seguimiento de la asignatura.

4. Conclusiones

Dentro del nuevo marco común europeo de la educación superior (EEES) establecido por el tratado de Bolonia, se han desarrollado una serie de prácticas aplicadas a la enseñanza de las asignaturas "Tecnología de Producción y Fabricación", "Ingeniería de los Procesos de Fabricación" y "Sistemas Integrados de Fabricación".

El fin último de las actividades propuestas tenía por objetivo ayudar al estudiante a superar los problemas que tradicionalmente han estado asociados con el aprendizaje de la asignatura.

Como resultado de la aplicación de las mismas podemos decir que ha aumentado la motivación del estudiante, su participación activa, su interés por los contenidos de la asignatura y, consecuentemente, ha mejorado el proceso de aprendizaje.

Los nuevos criterios establecidos en la evaluación continua han facilitado la adquisición de competencias con un incremento en la tasa de éxito.