

Trabajo Fin de Máster

**Máster Universitario en Ingeniería Industrial**

**DISEÑO DE LAS ACTIVIDADES PRÁCTICAS DE LA  
ESPECIALIDAD DE MATERIALES DEL MUEI.**

**MEMORIA**

**Autor:** Javier Gimeno García  
**Director:** Antonio Manuel Mateo García  
**Convocatoria:** Julio 2020



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resumen

La especialidad de materiales del MUEI consta de 5 asignaturas con enfoques distintos. Además, al tratarse generalmente de una especialidad que suele tener un número reducido de alumnos, parece factible la idea de implementar más actividades prácticas de las que actualmente se realizan, con el fin de que el alumnado obtenga un conocimiento más detallado de los campos abarcados en estas asignaturas, y en el ámbito de la ciencia y tecnología de materiales en general. Para ello sería necesario reestructurar ligeramente el calendario de las clases a fin de incorporar más sesiones de prácticas, de modo que los estudiantes adquieran otro tipo de información que complemente a la recibida en las clases teóricas.

Las nuevas actividades prácticas podrían ser tanto sesiones de laboratorio como actividades dirigidas con datos experimentales. Para determinar las posibles opciones, se analizarán las guías docentes de las distintas asignaturas y se contará con la opinión de los responsables de las mismas, para valorar conjuntamente la viabilidad de introducir estas nuevas actividades, así como su conformidad respecto al contenido de las mismas.

En este TFM se han elaborado detalladamente diversas propuestas de actividades prácticas, basadas en las que se imparten en otros centros de la UPC y también en otras universidades, con el objetivo de que puedan ser adaptadas al contexto del MUEI e implantadas en los próximos cursos. Para desarrollar dichas propuestas, se tendrán en cuenta todos los equipos disponibles actualmente en el laboratorio docente de la ETSEIB, así como pequeñas inversiones que se puedan realizar dentro de las posibilidades que ofrece el presupuesto del Departamento.

# Sumario

<b>SUMARIO</b>	<b>4</b>
<b>1. PREFACIO</b>	<b>9</b>
1.1. Origen del proyecto .....	9
1.2. Motivación.....	9
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
2.1. Objetivos del proyecto .....	11
2.2. Alcance del proyecto .....	11
<b>3. SITUACIÓN ACTUAL</b>	<b>12</b>
3.1. Biomateriales .....	12
3.1.1. Sesiones teóricas.....	13
3.1.2. Prácticas de laboratorio .....	13
3.1.3. Póster científico.....	13
3.2. Diseño, ecodiseño y reciclaje.....	14
3.2.1. Sesiones teóricas.....	14
3.2.2. Sesiones prácticas.....	14
3.3. Nanotecnología .....	15
3.3.1. Sesiones teóricas.....	15
3.3.2. Sesiones prácticas.....	15
3.4. Comportamiento en servicio de materiales .....	16
3.4.1. Sesiones teóricas.....	16
3.4.2. Sesiones prácticas.....	17
3.5. Materiales con aplicaciones en el transporte.....	17
3.5.1. Sesiones teóricas.....	18
3.5.2. Sesiones prácticas.....	18
<b>4. PROPUESTAS DE CAMBIO</b>	<b>19</b>
4.1. Biomateriales .....	19
4.1.1. Caso práctico .....	19
4.1.2. Justificación de las sesiones prácticas propuestas con los contenidos de la asignatura .....	20
4.2. Diseño, ecodiseño y reciclaje.....	20
4.2.1. Síntesis de materiales poliméricos.....	20
4.2.1.1. Síntesis de la baquelita.....	20
4.2.1.2. Síntesis de la urea-formol.....	22

4.2.1.3. Presentación de resultados.....	23
4.2.2. Comportamiento a la llama de los polímeros termoplásticos.....	23
4.2.2.1. Objetivos de la práctica .....	23
4.2.2.2. Presentación de resultados.....	23
4.2.2.3. Justificación con los contenidos de la asignatura.....	24
4.2.3. Visita al Centro Catalán del Plástico .....	24
4.2.3.1. Introducción al Centro Catalán del Plástico .....	24
4.2.3.2. Descripción de la actividad.....	25
4.2.3.3. Justificación con los contenidos de la asignatura.....	25
4.3. Nanotecnología.....	25
4.3.1. Sesión práctica de nucleación .....	25
4.3.2. Justificación con los contenidos de la asignatura.....	36
4.4. Comportamiento en servicio de materiales.....	37
4.4.1. Sesión práctica GE Renewable Energy.....	37
4.4.1.1. Introducción a GE Renewable Energy.....	37
4.4.1.2. Desarrollo de la sesión .....	38
4.4.1.3. Propuesta de mejora .....	38
4.4.1.4. Justificación con los contenidos de la asignatura.....	38
4.4.2. Práctica de laboratorio de corrosión .....	39
4.4.2.1. Introducción a la corrosión .....	39
4.4.2.2. Desarrollo de la práctica.....	39
4.4.2.3. Justificación con los contenidos de la asignatura.....	41
4.4.3. Práctica de laboratorio de protección de los metales frente a la corrosión .....	42
4.4.3.1. Introducción a la protección frente a la corrosión .....	42
4.4.3.2. Desarrollo de la práctica.....	42
4.4.3.3. Justificación con los contenidos de la asignatura.....	43
4.5. Materiales con aplicaciones en el transporte .....	43
4.5.1. Prácticas de laboratorio.....	43
4.5.2. Guía detallada para realizar prácticas de metalografía.....	44
4.5.3. Método operativo para la práctica de metalografía de la pieza de latón y la de acero .....	50
4.5.4. Visita a Seat.....	53
4.5.5. Justificación de las sesiones prácticas propuestas con los contenidos de la asignatura .....	55

<b>5. SESIONES PRÁCTICAS APLICADAS A OTROS PLANES</b>	<b>56</b>
5.1. Ensayo de tracción	56
5.1.1. Introducción al ensayo de tracción	56
5.1.2. Simulador del ensayo de tracción	57
5.1.3. Guía detallada del funcionamiento del programa	57
5.2. Sesión práctica de trazado de diagramas de fases	60
5.2.1. Introducción al concepto de equilibrio	60
5.2.2. Introducción a los diagramas de fases	62
5.2.2.1. Diagramas del tipo I	62
5.2.2.2. Diagramas del tipo II	63
5.2.2.3. Diagramas del tipo III	64
5.2.2.4. Diagramas del tipo IV	66
5.2.3. Guía detallada del funcionamiento del programa	67
5.2.4. Posible aplicación	69
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>74</b>
Referencias bibliográficas	74





# 1. Prefacio

## 1.1. Origen del proyecto

Este Trabajo Fin de Máster surge como propuesta del profesor Antonio Mateo García, catedrático de universidad en la ETSEIB y profesor de la asignatura 'Materiales con aplicaciones en el transporte' de la especialidad de materiales del Máster Universitario en Ingeniería Industrial.

## 1.2. Motivación

Este proyecto tiene como principal motivación ayudar a optimizar la utilización de los recursos disponibles en la sección del Departamento de Ciencia e Ingeniería de los Materiales en la ETSEIB, con el objetivo de mejorar la docencia impartida a los estudiantes que cursan la especialidad de Materiales del MUEI.

En cuanto a las causas que promovieron la realización de este proyecto, una importante es el tamaño de los grupos de estudiantes que, generalmente, es bastante reducido. En los últimos cursos, el número de estudiantes que ha cursado la especialidad de Materiales ha sido de 5 o menos por año. Esta reducida cifra permite una mayor flexibilidad a la hora de realizar actividades de laboratorio.



## **2. Introducción**

El presente trabajo se propone como una ayuda para la mejora de la docencia impartida por el departamento de Ciencia e Ingeniería de los materiales de la ETSEIB.

### **2.1. Objetivos del proyecto**

Uno de los principales objetivos del proyecto es dar a las asignaturas de la especialidad un enfoque más práctico, de manera que el alumnado adquiera un conocimiento ligeramente distinto y, a su vez, complementario, al recibido durante el grado y durante las sesiones teóricas del propio MUEI.

### **2.2. Alcance del proyecto**

Mediante la realización de este proyecto, se persigue implementar una guía para que los responsables de las asignaturas de la especialidad de Materiales tengan la opción de modificar el calendario de las sesiones con el fin de incorporar más actividades prácticas.

## 3. Situación actual

En el presente capítulo se va a proceder a explicar de forma detallada los contenidos de las asignaturas de la especialidad de materiales del MUEI. Tal y como se avanzó en el resumen, dichas asignaturas son 5, que abarcan contenidos muy distintos y permiten al alumnado conocer los distintos campos de trabajo y estudio relacionados con la ingeniería de materiales.

Para conservar la estructura del trabajo y facilitar la lectura del mismo, se dedicará un apartado de este capítulo a cada una de las asignaturas.

### 3.1. Biomateriales

Esta asignatura plantea el estudio de los biomateriales o materiales para aplicaciones médicas. Dichos materiales están diseñados para sustituir y/o regenerar los tejidos vivos, pudiendo tener fines terapéuticos o bien de diagnóstico clínico. Además, se revisan los diferentes tipos de biomateriales, sus características y las interacciones entre estos materiales y el organismo receptor con el fin de determinar la biocompatibilidad. Dicha biocompatibilidad se diagnostica mediante una serie de técnicas que serán explicadas a lo largo de la asignatura [15].

Más allá de todo lo citado anteriormente, la asignatura persigue unos objetivos más específicos como son:

- Familiarizarse con las características comunes y los rasgos diferenciales de los distintos tipos de materiales utilizados en aplicaciones médicas [15].
- Conocer los principios básicos de la biocompatibilidad de los materiales en medicina [15].
- Comprender los criterios fundamentales que deben cumplirse para que un material pueda ser implantado [15].
- Entender los principios biológicos que afectan a las interacciones del organismo receptor con los biomateriales y relacionarlos con el comportamiento en servicio de dichos materiales [15].

La asignatura se desarrolla mediante sesiones teóricas y prácticas de laboratorio.

### **3.1.1. Sesiones teóricas**

Estas sesiones son clases magistrales impartidas en inglés por la doctora Marta Peguerols Neyra, en las que los alumnos tienen la posibilidad de participar y colaborar con el desarrollo de las mismas. Gracias a estas sesiones, los alumnos tienen la posibilidad de completar los apuntes proporcionados para la asignatura, de manera que se puedan comprender con detalle de cara al examen final.

### **3.1.2. Prácticas de laboratorio**

Las prácticas de laboratorio se componen de dos sesiones de 2 horas de duración cada una de ellas, en las que se llevan a cabo distintas actividades relacionadas con la asignatura en grupos reducidos.

En la primera de ellas, se miden las durezas de varias muestras de materiales y, gracias a unos datos tabulados, se determina a qué material corresponde cada muestra. Además, se lleva a cabo la elaboración de un tipo de biomaterial que absorbe agua y se comprueba que, al estar sumergido durante un tiempo, se produce un aumento de su masa.

En cuanto a la segunda sesión, se propone la elaboración de cementos biodegradables. Una vez realizados, se procede a la medición de su dureza y porosidad, de manera que se pueda determinar si son convenientes para aplicaciones médicas.

### **3.1.3. Póster científico**

Un póster científico es una representación gráfica capaz de explicar brevemente, de manera amena y ligera, un proyecto, una investigación o una experiencia científica.

El profesorado pondrá a disposición de los alumnos, mediante la plataforma digital ATENEA, una serie de artículos científicos con contenido relacionado con la asignatura. Se dividirá el alumnado por parejas, teniendo como objetivo analizar uno de los artículos disponibles mediante la realización de un póster científico.

Se fijará un día para la presentación de los mismos, respondiendo a las preguntas que puedan surgir tras la exposición. El formato del póster presentado será tamaño A3, mientras que las copias que se deberán entregar a los asistentes serán en formato A4.

## 3.2. Diseño, ecodiseño y reciclaje

Esta asignatura, por su parte, se centra en el estudio detallado de los distintos tipos de polímeros. El desarrollo de la asignatura se lleva a cabo mediante clases magistrales impartidas por el profesor Dr. Antonio Martínez Benasat.

### 3.2.1. Sesiones teóricas

La asignatura se basa en la presentación de las diferentes familias de plásticos, así como diferentes conceptos que ayudarán a comprender las características de muchos materiales que se utilizan con frecuencia.

Se analiza, también, la solubilidad entre polímeros, de acuerdo con el 2º Principio de la Termodinámica.

Se presenta también el comportamiento de los polímeros a tracción de acuerdo a los enlaces que presentan. Será en esta parte de la asignatura donde aparecerán los conceptos de “crazing” y “shear yielding”.

Con el objetivo de que el alumnado pueda preparar de manera adecuada el examen de la asignatura, se dedica alguna clase magistral a presentar y resolver exámenes de años anteriores.

En la última parte de la asignatura, se describirán diversos materiales compuestos, haciendo especial hincapié en las fibras. Además, se explicarán diferentes técnicas de transformación como son la extrusión, la inyección y el moldeo.

En las mismas, se explica la asignatura introduciendo, muy a menudo, ejemplos prácticos, ya sea mostrando diversos tipos de materiales disponibles en el laboratorio como presentando anécdotas laborales. Se pretende, de este modo, que el alumnado adquiera un elevado conocimiento teórico aplicable a situaciones reales que puedan acontecer a lo largo de la vida laboral.

### 3.2.2. Sesiones prácticas

Además de las mencionadas clases magistrales, se propone la presentación de un trabajo monográfico acerca de un tema seleccionado por el responsable de la asignatura, que a su vez está relacionado con el contenido de la misma. Para llevar a cabo esta actividad, se fija un día próximo al final del semestre en el que los alumnos dispondrán de 20 minutos para realizar dicha presentación, con 10 minutos adicionales de cuestiones realizadas tanto por el profesor como por el alumnado.

### 3.3. Nanotecnología

La asignatura se desarrolla mediante clases magistrales impartidas por el profesor Dr. Jorge Alcalá Cabrelles.

#### 3.3.1. Sesiones teóricas

La asignatura de nanotecnología propone la comprensión de las estructuras cristalinas y microestructuras, así como su influencia en el comportamiento micro y macroscópico de materiales metálicos [16].

Dividida en cuatro bloques de distinta duración, tiene los siguientes apartados:

- Defectos cristalinos y plasticidad cristalina. Se realiza una descripción fundamental de los defectos cristalinos que producen deformación plástica, así como la micromecánica de la plasticidad y descripciones tridimensionales del deslizamiento y propagación de defectos [16].
- Desarrollo microestructural y energía. Se pretende una descripción multiescala de la estructura de los granos y de su crecimiento, lo que lleva a la consolidación microestructural durante procesos de tratamiento térmico [16].
- Mecanismos de endurecimiento. Modelos micromecánicos para la descripción del endurecimiento de materiales metálicos. Aplicación a las aleaciones metálicas con el fin de obtener micro estructuras a la carta. Se incluye en este capítulo el endurecimiento por solución sólida, por precipitación y transformación martensítica [16].
- Plasticidad en muestras micro y submicrométricas de material. En este bloque se pretenden describir los procesos de deformación que ocurren en muestras diminutas de material. Se pretende que el estudiante adquiera un conocimiento específico sobre la influencia que tienen las superficies libres sobre la deformación plástica de muestras micro y submicrométricas de material [16].

#### 3.3.2. Sesiones prácticas

Con el objetivo de complementar las sesiones teóricas de la asignatura, se proponen dos actividades a realizar durante el curso. Dichas actividades contribuirán a determinar la calificación final de la asignatura.

En primer lugar, se plantea la realización de un ejercicio práctico acerca de la consolidación microestructural y crecimiento de grano. Este ejercicio se desarrollará de forma individual, siendo obligatoria su entrega el día fijado por el profesor. Una vez corregido y calificado, el profesor presentará la solución durante el desarrollo de una clase magistral, con el objetivo de que el alumnado aprenda de los errores cometidos y comprenda la solución propuesta.

En segundo lugar, se propone la realización de un trabajo monográfico. En este caso, se llevará a cabo de forma grupal. Al tratarse de grupos reducidos, existirá un solo grupo de trabajo, presentando, por tanto, un único trabajo. Esta tarea, al igual que la anterior, será corregida y calificada.

### **3.4. Comportamiento en servicio de materiales**

Esta asignatura presenta una amplia información en los campos de corrosión y oxidación de materiales en servicio, de modo que la asignatura queda dividida en dos grandes bloques. El desarrollo de la misma tiene lugar mediante clases magistrales impartidas por el profesor Dr. Enrique Fernández Aguado.

#### **3.4.1. Sesiones teóricas**

Las mencionadas clases magistrales se organizan de la siguiente manera, a saber:

- Primer bloque: corrosión. Se empieza con clases teóricas hasta que se explica todo el temario facilitado por el profesor. Una vez expuesto todo el contenido, comienzan las clases prácticas. Estas clases prácticas tienen como objetivo desarrollar una serie de actividades propuestas por Enrique, en las que el alumnado aplica los conocimientos teóricos presentados durante las sesiones de teoría. Además, se recibe la visita de una empresa de pinturas industriales cuya labor es proteger a los materiales en servicio frente a la corrosión. De esta manera, el alumno consigue una información detallada de las labores que se realizan en la vida real para preservar el estado de los materiales.
- Segundo bloque: oxidación. De modo parecido al bloque de corrosión, se explican

primero los contenidos teóricos para luego desarrollar las actividades propuestas por el profesor.

### **3.4.2. Sesiones prácticas**

La sesión práctica que se propone consiste en la visita de un antiguo alumno de la ETSEIB, actualmente trabajando en la empresa GE Renewable Energy. Esta empresa se caracteriza por utilizar los recursos más abundantes de la tierra, como son el calor del sol y la fuerza del viento y del agua para generar energía [5].

El objetivo principal de esta sesión es compartir información acerca de cómo trabaja una empresa para prevenir la corrosión, así como exponer todas las técnicas de mantenimiento que permiten reparar los materiales en caso de sufrir este tipo de fenómenos [5].

En la visita, el representante de la empresa realizará una exposición en la que se detallará la actividad de la misma, el alcance que tiene en la actualidad y los distintos campos que abarca. Tras exponer la información principal, se profundizará en el ámbito de los aerogeneradores, con el fin de llegar al fenómeno de la corrosión, estrechamente ligado con la asignatura.

Se presentarán los distintos tipos de aerogeneradores existentes en la actualidad y las características principales que los definen. Posteriormente, se detallarán las medidas para prevenir la corrosión tanto en tierra como en mar. Además, se explicarán los distintos procedimientos que se deberán realizar en caso de producirse estos fenómenos, con el fin de reparar las estructuras para que continúen con el adecuado funcionamiento.

Una vez terminada la presentación, se dejará al alumnado unos minutos para que realicen las preguntas que consideren oportunas, con el fin de resolver las posibles dudas que hayan podido surgir a lo largo de la sesión.

## **3.5. Materiales con aplicaciones en el transporte**

Esta asignatura se centra en la explicación de los distintos tipos de materiales que se utilizan en los diversos medios de transporte existentes en la actualidad. Para continuar con el orden seguido en los apartados anteriores, se dividirá la asignatura en sesiones teóricas y prácticas con el objetivo de explicar la situación actual de la misma.

### 3.5.1. Sesiones teóricas

Como se ha anticipado, se tratarán diversos medios de transporte, de modo que la asignatura queda dividida en los siguientes bloques:

- Automóviles. Engloba tanto la parte de carrocería, que la desarrolla la profesora Dra. Jessica Calvo Muñoz, como la parte de los elementos del motor, expuesta por el profesor Dr. Antonio Manuel Mateo García.
- Náutica. Impartida por la profesora Calvo, en esta parte el alumnado adquiere información acerca de los materiales que componen los elementos de los barcos.
- Aeronáutica. Desarrollada por el profesor Mateo, se presentan los diferentes tipos de materiales utilizados en las diversas partes del avión. En una de las clases, se observan en el laboratorio distintas muestras de aleaciones con el objetivo de distinguir su microestructura y determinar, de esta manera, las propiedades que tiene y para los elementos estructurales que puede ser útil.
- Ferrocarril. Esta parte, también explicada por el profesor Mateo, ofrece información acerca de las diferentes partes de los trenes y los materiales que las componen.

### 3.5.2. Sesiones prácticas

Actualmente, se realiza una práctica de metalografía casi a finales de curso. La sesión dura, aproximadamente, una hora. Mediante el desarrollo de la práctica, el alumnado tiene la oportunidad de analizar al microscopio las microestructuras que corresponden con diversas aleaciones utilizadas en los diferentes medios de transporte mencionados en el apartado anterior. Gracias a este análisis, los alumnos pueden observar las características de dichas microestructuras, corroborando la información que se presenta en las sesiones teóricas. Por medio de la observación de las muestras, el alumnado debe descubrir el material examinado, gracias a un análisis exhaustivo de su microestructura.

## 4. Propuestas de cambio

Tal y como se explicó en la introducción, el objetivo principal de este proyecto es dar un enfoque más práctico a las asignaturas de la especialidad. Por ello, en este capítulo se detallarán las propuestas desarrolladas por el estudiante con el fin de que se puedan implementar el curso que viene.

### 4.1. Biomateriales

En este apartado se propondrán diversas actividades a implementar en el desarrollo de la asignatura durante el próximo curso, siempre que el responsable de la asignatura lo considere oportuno.

#### 4.1.1. Caso práctico

Se propone la resolución de un caso práctico real, con el objetivo de que el alumnado desarrolle la capacidad de poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos durante el desarrollo de la asignatura, en una situación semejante a la que se podrán enfrentar a lo largo de su vida laboral.

Se entregarán, por tanto, informes médicos de pacientes a los que se les haya realizado algún tipo de implante para corregir algún problema, sin la solución que se empleó. Se dividirá el alumnado por grupos, según los informes que tenga el profesorado. Cada grupo tendrá que analizar el tipo de problema que padece su paciente, así como las distintas alternativas que se podrían plantear para rectificarlo.

Para presentar los resultados, se propone la entrega de una memoria en la que se detalle la solución elegida, así como una breve presentación en la que se plantee el problema inicial, el análisis del mismo y la solución propuesta con sus respectivas conclusiones. Dicha presentación se hará en horario de clase, teniendo la oportunidad el profesorado y el alumnado de realizar las preguntas que considere oportunas al finalizar la misma. Una vez realizadas, el profesorado anunciará la solución real que se utilizó para corregir el problema, así como la explicación de las diferencias entre la solución propuesta por el alumnado y la real.

Como resulta bastante complicado obtener informes médicos de pacientes debido a los temas

de privacidad y confidencialidad de los centros médicos, esta actividad permanecerá como conceptual hasta que se consiga dicha información.

#### **4.1.2. Justificación de las sesiones prácticas propuestas con los contenidos de la asignatura**

El caso práctico real conecta con la parte de la asignatura en la que se profundiza acerca de la biocompatibilidad, así como las características que deben cumplir los materiales en función del tejido que sustituyan en el organismo. Estas propiedades, por tanto, además de garantizar unas condiciones mecánicas favorables para el individuo, deben cumplir unos requisitos biológicos tales que no se produzca rechazo. Además de todo lo mencionado anteriormente, la elaboración de este trabajo supone una puesta en práctica en la profesión que se podrá realizar una vez finalizado el Máster.

## **4.2. Diseño, ecodiseño y reciclaje**

En este subcapítulo, se presentarán distintas actividades prácticas con el fin de que el responsable de la asignatura, siempre que lo considere apropiado, tenga la oportunidad de implementarlas durante el próximo curso.

### **4.2.1. Síntesis de materiales poliméricos**

Un polímero es un compuesto orgánico y con un alto peso molecular, de origen natural o sintético, formado por unidades estructurales repetitivas llamadas monómeros [2].

Con el objetivo de abarcar un mayor número de materiales, se propondrá realizar la síntesis de la baquelita y de la urea-formol.

#### **4.2.1.1. Síntesis de la baquelita**

En este apartado se describirá el proceso de síntesis de la baquelita, desde los materiales y equipos necesarios para llevar a cabo el proceso, hasta el método operativo de la realización de la práctica en un laboratorio.

En cuanto a los materiales y equipos requeridos para realizar este procedimiento, comenzaremos por nombrar la resorcina. Es un sólido incoloro con reacción ligeramente ácida. Es muy soluble en agua, alcohol, glicerina y éter [1]. Se necesita, además, un vaso de precipitado, una espátula, una balanza de laboratorio, una paletina, una pipeta y una varilla de vidrio.

La segunda sustancia a nombrar será el formaldehído. El formaldehído es un compuesto químico simple formado por hidrógeno, oxígeno y carbono. Además de sus notables propiedades antibacterianas, el formaldehído se utiliza para producir una amplia gama de productos de valor agregado [9]. Otra sustancia que se tendrá que añadir en este proceso, es el ácido clorhídrico al 50% en masa. Se trata de un líquido incoloro que posee un olor punzante. Dispone de una alta estabilidad térmica y una gran diversidad de aplicaciones [3].

Una vez presentados los materiales que harán falta para el desarrollo de la práctica, se describirá el método operativo.

Se introduce, en primer lugar, el vaso de plástico en el interior de la balanza para tararla. A continuación, se introducen 3.5 gramos de resorcina en el interior del vaso de plástico. Una vez se tiene la resorcina en el vaso, se introducen 8.5 ml de formaldehído en el vaso de precipitado. Posteriormente, se vierte el formaldehído del vaso de precipitado en el vaso de plástico. Con la ayuda de la paletina, se remueve el conjunto hasta que la resorcina se haya disuelto completamente [14].

Tras disolver la resorcina en el formaldehído, el siguiente paso consistirá en añadir un catalizador para acelerar el proceso de síntesis. En nuestro caso, este catalizador es ácido clorhídrico. Para llevar a cabo este paso, se exige extremar las medidas de seguridad, pues se va a manipular una sustancia altamente corrosiva. Es por esto que el alumnado deberá utilizar los correspondientes EPI, así como tener localizados los lavabos dentro del laboratorio. Para recoger el ácido, se utilizará una pipeta [14].

Por último, se vierte el ácido gota a gota mediante la pipeta mientras se va removiendo la mezcla de forma continua con la varilla de vidrio. Finalmente, se podrá observar la baquelita sintetizada de color rosáceo [14].

Una vez expuesto el método operativo para llevar a cabo esta práctica, se nombrarán las propiedades de la baquelita. Entre sus principales propiedades se encuentra su elevada resistencia a la temperatura, al fuego y a la abrasión, excelentes características eléctricas y

adecuada resistencia a agentes químicos [6].

#### 4.2.1.2. Síntesis de la urea-formol

Por otro lado, en este apartado se detallará el proceso de síntesis de la urea-formol, describiendo los materiales y equipos necesarios de laboratorio hasta el método operativo de realización del mismo.

En primer lugar, se nombrará la urea, pues es la primera sustancia que se necesita para llevar a cabo el proceso. Es una sustancia incolora, cristalina y se utiliza para la fabricación de plásticos y como fertilizante [4]

También se necesitará, tal y como sucedía en la síntesis de la baquelita, una serie de elementos básicos de laboratorio como son un vaso de precipitado, una espátula, una balanza de laboratorio, una paletina, una pipeta y una varilla de vidrio [14].

Otras sustancias necesarias para llevar a cabo este proceso serán, como en la síntesis de la baquelita, el formaldehído y el ácido clorhídrico al 50% en masa [14].

Una vez nombrados los materiales y equipos necesarios para llevar a cabo esta sesión práctica, se explicará el método operativo.

En primer lugar, se introduce el vaso de plástico en el interior de la balanza para tararla. A continuación, se introducen 5 g de urea en el interior del vaso de plástico. Una vez se tiene la urea en el vaso, el siguiente paso será introducir 15 ml de formaldehído en el interior del vaso de precipitado. Posteriormente, se procede al vertido del vaso de precipitado en el vaso de plástico, donde se hallaba la urea [14].

Acto seguido, gracias a la paletina, se remueve el conjunto durante unos minutos hasta que toda la urea se haya disuelto. Al disolverse toda la urea, el siguiente paso consiste en añadir el catalizador, que será ácido clorhídrico concentrado. Para llevar a cabo este paso, se exige extremar las medidas de seguridad, pues se va a manipular una sustancia altamente corrosiva. Es por esto que el alumnado deberá utilizar los correspondientes EPI, así como tener localizados los lavabos dentro del laboratorio. Finalmente, se vierte el ácido gota a gota revomiendo la mezcla con una varilla de vidrio. Como se podrá comprobar, ya se tendrá la urea-formol sintetizada [14].

Una vez nombrado todo lo necesario para realizar el proceso de síntesis de la urea-formol, se

detallarán sus propiedades. Presenta una alta resistencia a la tracción, alta dureza superficial, alargamiento a la rotura y resistencia de volumen [7].

#### **4.2.1.3. Presentación de resultados**

Una vez finalizadas las dos sesiones de laboratorio, se deberá presentar un informe al responsable de la asignatura, en el que se traten diversos temas relacionados con las sesiones.

En primer lugar, se deberá incluir una breve explicación de la síntesis polimérica, ampliamente detallada en las clases magistrales.

En segundo lugar, se deberán explicar las dificultades encontradas durante la realización de las mismas, de cara a mejorar las sesiones de los próximos cursos. Estas dificultades podrán ser tanto de ausencia de materiales de laboratorio o dificultad para encontrarlos tanto como de falta de información para llevar a cabo la práctica.

Posteriormente, se enumerarán las diferencias entre los dos procedimientos experimentales, a modo de obtener unas conclusiones de la sesión.

Y ya por último, se describirán las propiedades más destacables de los materiales sintetizados, así como sus posibles aplicaciones industriales.

### **4.2.2. Comportamiento a la llama de los polímeros termoplásticos**

#### **4.2.2.1. Objetivos de la práctica**

En cuanto al objetivo de la práctica, consiste en analizar el comportamiento a la llama de las seis familias principales de polímeros termoplásticos, así como detallar las características principales observadas en los mismos.

#### **4.2.2.2. Presentación de resultados**

Con el objetivo de llevar a cabo un seguimiento de la práctica, el alumnado recibirá una ficha de la misma, que deberá ser completada durante la visita para, posteriormente, entregarla al responsable de la asignatura. Gracias a la elaboración de esta ficha, el alumnado recogerá toda la información en una hoja que facilitará la preparación del examen final de la asignatura. En ella se detallarán los siguientes aspectos:

- Familia de polímero termoplástico
- Grupo característico (monómero)
- Comportamiento frente a la llama: tipo de llama e intensidad
- Color de la llama y localización de la misma
- Tipo de olor y cantidad de humo
- Características especiales: densidad y partículas en suspensión

#### **4.2.2.3. Justificación con los contenidos de la asignatura**

La asignatura de diseño, ecodiseño y reciclaje emplea la mayor parte de sus horas lectivas presentando información acerca de los polímeros.

Por ello, se considera oportuna la realización de estas dos actividades prácticas de síntesis de polímeros, pues enlazarán con la parte de la asignatura en la que se presenten los diferentes tipos de resinas. De esta manera, además, el alumnado tendrá la oportunidad de hacer uso del laboratorio de la escuela, así como llevar a cabo una actividad diferente a las habituales clases magistrales.

#### **4.2.3. Visita al Centro Catalán del Plástico**

##### **4.2.3.1. Introducción al Centro Catalán del Plástico**

Esta actividad se llevará a cabo en el Centro Catalán del Plástico (a partir de ahora CCP), luego se comenzará por hacer una introducción del mismo.

Situado en el campus EEBE de la UPC en Barcelona, el CCP es un centro público de I + D de carácter consorcial, integrado por la Generalitat de Catalunya, la Universidad Politécnica de Catalunya, el Ayuntamiento de Terrassa y las asociaciones más representativas a nivel nacional del sector industrial del plástico. Fue fundado en 1993, con la vocación de ser un instrumento al servicio de la mejora de las empresas y, con ese mismo espíritu, continúa hoy desarrollando su labor [17].

En 1996 el CCP inicia sus actividades entorno al I + D y la transferencia de tecnología a la empresa, complementándola con formación técnica. Tras más de una década de trayectoria, el CCP se ha convertido en un centro ampliamente reconocido en su área de especialización, compuesto por un equipo experimentado de investigadores que trabajan de acuerdo a parámetros de excelencia. El mejor aval de la calidad científico-tecnológica de la I + D de la

labor que realiza el CCP es el reconocimiento a nivel nacional e internacional que han recibido tanto sus trabajos de investigación como sus proyectos para empresas [17]

#### **4.2.3.2. Descripción de la actividad**

Se lleva a cabo la visita al CCP organizada por el profesor Martínez. En ella, se presentará el laboratorio de materiales, con el objetivo de conocer la maquinaria que utilizan.

Se tendrá la oportunidad de analizar una extrusora, así como su funcionamiento y las características que posee. Además, se recibirá una explicación de un experimento que se realiza con probetas de algunos materiales para conocer su resistencia.

Para evaluar esta sesión, se valorará tanto la asistencia como la evaluación de las cuestiones prácticas en los exámenes de la asignatura.

#### **4.2.3.3. Justificación con los contenidos de la asignatura**

Por su parte, la visita al CCP enlaza con la totalidad de la asignatura, pues otorga al alumnado un conocimiento práctico real de cómo se trabaja en un laboratorio de materiales, así como de las distintas máquinas que se utilizan en los procesos de producción de materiales plásticos.

### **4.3. Nanotecnología**

En este apartado, se expondrán una serie de actividades prácticas con el objetivo de que, siempre que al responsable de la asignatura le parezcan adecuadas, se implementen el próximo curso.

#### **4.3.1. Sesión práctica de nucleación**

##### **- Introducción a la nucleación**

Con el objetivo de desarrollar una actividad que enlace con los temas teóricos tratados en la asignatura, se propone llevar a cabo una simulación de cristalización mediante autómatas celulares.

En primer lugar, se explicará en qué consiste la nucleación, de modo que se obtenga una visión general del concepto. Se distinguirá, además, entre nucleación homogénea y

nucleación heterogénea, empezando por la primera.

Consideremos un elemento o compuesto puro en estado líquido que está siendo enfriado. Los átomos del líquido estarán en un estado constante de agitación y, cuando su temperatura se acerque a la temperatura de fusión, algunos átomos con menor energía verán atenuado su frenético movimiento y entonces, como consecuencia de las fuerzas de enlace (que ahora no resultan desdeñables), se agruparán momentáneamente siguiendo el patrón de ordenamiento cristalino característico de la fase sólida. Estos pequeños agrupamientos se denominan embriones y son las semillas potenciales del sólido final [8].

Para entender lo anterior, hay que aclarar que cuando decimos que un líquido se encuentra a una temperatura, no queremos decir que todos sus átomos o moléculas tengan la misma energía, sino que tienen una energía no muy lejana a un determinado valor medio. De esta manera, las fluctuaciones de energía locales hacen posible la formación de embriones. Por otra parte, la incesante agitación térmica de los átomos del entorno somete a un bombardeo constante al recién formado embrión y tiene a destruir esta disposición ordenada. Con lo cual, a temperaturas justo por encima de la temperatura de fusión, la agitación térmica es el factor dominante y los embriones se desordenan antes de que más átomos tengan la oportunidad de agregarse a la estructura. Si disminuimos la temperatura por debajo de la temperatura de fusión, la situación se invertirá: los átomos del entorno se unen al embrión a un ritmo más rápido del que son arrancados y, por consiguiente, el embrión crece [8].

Para un determinado embrión, la etapa de crecimiento comienza una vez que este ha superado su radio crítico y se ha hecho estable. La fuerza promotora de esta etapa es la reducción de energía libre que lleva aparejada el aumento de radio (Fig 4.1). Aún cuando algunos núcleos estén creciendo, otros pueden estar iniciando su formación: los procesos de nucleación y crecimiento transcurren simultáneamente, aunque siempre uno de ellos será el dominante. Naturalmente, a medida que los embriones crecen de tamaño, es menor la fracción de volumen que queda sin transformar. Por tanto, como el proceso de nucleación solo puede acontecer en las regiones no transformadas, cada vez estará más mermado y el proceso dominante será el de crecimiento [8].

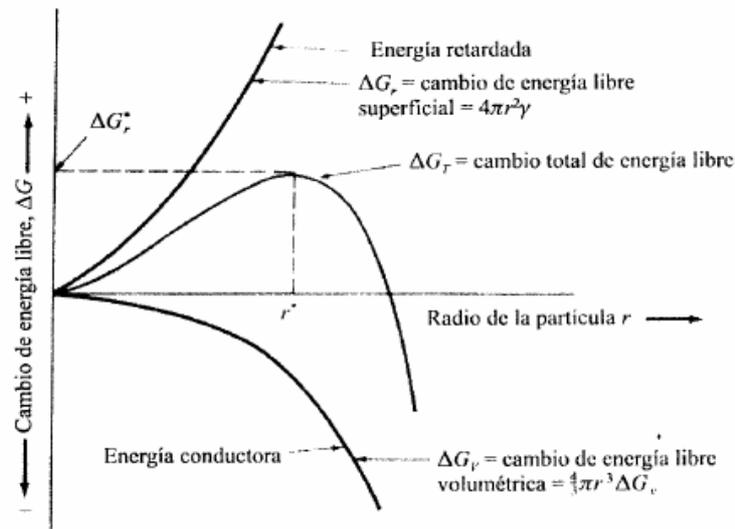


Fig 4.1. Variación de la energía libre requerida en un proceso de cristalización en función del radio de la partícula [8]

El crecimiento de los núcleos no se lleva a cabo de manera regular y uniforme. La naturaleza del crecimiento dependerá del modo en el que se extrae calor al sistema. Para que un núcleo crezca, la interfaz sólido-líquido debe avanzar hacia la zona líquida y, para ello, debe evacuarse el exceso de energía que almacena el líquido en forma de calor latente. Ahora, el problema reside en quién absorbe ese exceso de energía [8].

Cuando el ritmo con el que aparecen nuevos núcleos es muy alto, la temperatura del líquido en las proximidades del núcleo es siempre mayor que la de este y superior a la temperatura de fusión. En estas condiciones, si el núcleo está en el seno del líquido, su crecimiento implica un sobrecalentamiento del líquido del entorno inmediato, que es el que absorbe el calor latente correspondiente. Dado que todo el líquido circundante a cada núcleo posee una distribución térmica similar, el crecimiento será igualmente probable en todas las direcciones, por lo que el núcleo crecerá de modo regular. No obstante, el proceso será extraordinariamente lento ya que, al tener el líquido una temperatura mayor que la temperatura de fusión, la agitación térmica de los átomos del líquido será demasiado alta como para que puedan disponerse de forma ordenada. Sin embargo, si el núcleo se formó heterogéneamente sobre las paredes del recipiente contenedor, el calor latente puede ser absorbido por dichas paredes y, entonces, el proceso de crecimiento se verá acelerado. Incluso así, todos los núcleos formados sobre las paredes crecerán de modo muy uniforme, como si se tratara de un frente único, dado que su ritmo de crecimiento dependerá, para todos por igual, de la velocidad de evacuación de calor del sólido ya formado y de las paredes del contenedor [8].

Una diferencia muy notable se produce cuando el ritmo de nucleación es bajo, porque entonces el líquido se subenfía antes de que se forme el sólido. Como el número de embriones formados es escaso, la cantidad de calor de solidificación cedido al líquido será pequeña, por lo que zonas de este pueden alcanzar temperaturas por debajo de la temperatura de fusión sin solidificar. Para entender esto, hay que tener en cuenta consideraciones cinéticas, así como la geometría y naturaleza del recipiente o molde que contiene al líquido que solidifica. Bajo las condiciones descritas, los núcleos no crecen de forma regular, sino que dan lugar a unas estructuras muy características denominadas dendritas. La formación de estas estructuras se debe a que el líquido subenfriado puede absorber parte del calor latente liberado durante la solidificación. El resultado es un crecimiento desaforado a lo largo de ciertas direcciones, que da lugar a los denominados brazos primarios de las dendritas. Además de los brazos primarios de las dendritas, pueden crecer brazos secundarios y terciarios, de modo que se haga más eficiente la evacuación del calor latente. El crecimiento dendrítico continúa hasta que el líquido subenfriado alcanza la temperatura de fusión [8].

Las direcciones de crecimiento no solo están condicionadas por la dirección del gradiente térmico, sino que dependen del tipo de estructura cristalina. En las estructuras BCC y FCC, las caras de la celdilla cúbica son planos de crecimiento preferente: las dendritas crecen en la dirección de las aristas del cubo [8].

En cualquiera de los casos descritos, la etapa de crecimiento concluye cuando la transformación se ha completado. Sin embargo, el crecimiento de un grano en particular podría haber concluido mucho antes porque el crecimiento de sus vecinos imposibilitaba el suyo propio. Incluso en estas condiciones, un grano todavía puede crecer, pero debe hacerlo a costa de que otro vecino más pequeño disminuya o desaparezca, esto es, unos granos crecen a expensas de otros y siempre en el sentido de que los granos grandes aniquilan a los pequeños. La fuerza promotora de este proceso es la reducción de la energía libre, que se consigue disminuyendo el área de los límites de grano. Este fenómeno se conoce como engrosamiento de grano, pero, pese a tener gran trascendencia, no es propiamente otra etapa de la transformación de fase [8].

Sin embargo, la nucleación homogénea rara vez tiene lugar. Generalmente, los procesos de nucleación son catalizados por las heterogeneidades presentes en el sistema. Se dice entonces que la nucleación es heterogénea. Tanto los límites de grano como las partículas de impurezas no solubles y demás defectos presentes en un cristal constituyen lugares

preferentes para la nucleación, por lo que reciben el nombre genérico de agentes nucleantes. En un líquido real, tanto el recipiente que lo contiene como las impurezas que existen en él son puntos privilegiados para que se inicie en ellos la nucleación. Comparemos, ahora, con la nucleación homogénea. Si en la nucleación homogénea a partir de líquido la creación de un embrión implicaba la aparición de una nueva interfaz sólido-líquido, en la nucleación heterogénea, parte de esta interfaz es reemplazada por una interfaz sólido-nucleante, al tiempo que se elimina otra nucleante-líquido. La operación, en su conjunto, resulta energicamente ventajosa, siendo esta la clave del asunto [8].

#### - **Desarrollo de la práctica**

Con independencia de si la nucleación se realiza bajo condiciones homogéneas o heterogéneas, la solidificación es un asunto complicado por dos razones fundamentales. En primer lugar, la evolución de un grano depende de las posiciones en las que nuclean prácticamente todos los granos de la muestra. Por otro lado, el crecimiento de los granos no es lineal con el tiempo [12].

Debido a que las interacciones entre granos son difíciles de cuantificar, y la aleatoriedad es un factor determinante en la evolución del sistema, se precisa el empleo de modelos computacionales para la simulación. Estos modelos permiten seguir la evolución de cada grano individualmente y, al mismo tiempo, calcular las propiedades globales del sistema. La técnica de los autómatas celulares es especialmente adecuada para resolver este tipo de problemas [12]. Un autómata celular es un modelo matemático para un sistema dinámico compuesto por un conjunto de celdas o células que adquieren distintos estados o valores. Estos estados son alterados de un instante a otro en unidades de tiempo discreto, es decir, pudiéndose cuantificar con valores enteros a intervalos regulares. De esta manera, este conjunto de células logran una evolución según una determinada expresión matemática, que es sensible a los estados de las células vecinas, y que se conoce como regla de transición local [10].

En nuestro caso, se optará por un esquema cuadrangular (podría ser triangular también), en el que inicialmente todas las celdillas están en fase líquida, es decir, ninguna de ellas está cristalizada. No obstante, para introducir la naturaleza heterogénea del proceso será preciso distinguir entre dos tipos de celdillas no cristalizadas: las que tienen muy poca tendencia a cristalizar y las que tienen una significativa tendencia a hacerlo, porque, por ejemplo,

contengan algún agente nucleante. Se marcarán, las primeras, con el número 0 y, las segundas (celdillas potenciales), con el número -1. El número de casillas con alta tendencia a la cristalización se controlará por el usuario [12].

Las casillas que posteriormente vayan cristalizando serán identificadas por un número entero mayor que 1, cada uno de los cuales representará una dirección cristalográfica diferente. Cada número será representado con un color distinto, de tal manera que se podrán discernir diferentes regiones por colores. Cada región constituirá un grano del material policristalino que terminará surgiendo [12].

La evolución del sistema se produce porque cada celdilla del autómata debe obedecer una serie de reglas simples y estrictas que implican a las celdillas vecinas. Se considerará vecinas a una celdilla dada a aquellas que comporten una arista. Es decir, cada celdilla del interior posee cuatro vecinas, ignorando, en consecuencia, las que comparten con ella únicamente un vértice [12]. En la Fig 4.2 podemos apreciar esta explicación.

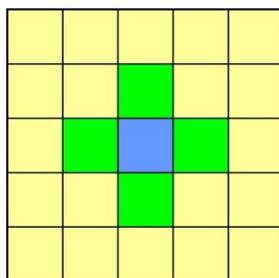


Fig 4.2. Ilustración de la explicación de las celdillas vecinas [12]

Respecto a las leyes mencionadas, para este caso, serán solo tres [12]:

- Una celdilla cristalizada permanece cristalizada
- Una celdilla potencial no cristalizada que no tiene ninguna vecina cristalizada tiene una probabilidad de cristalizar de valor  $p$ .
- Una celdilla no cristalizada (incluyendo las celdillas potenciales) cristaliza si alguna de las celdillas vecinas ya está en fase cristalina. En caso de haber más de una vecina cristalizada, se elige al azar entre sus correspondientes orientaciones.

De esta manera, la tarea de la simulación consiste en barrer, en cada iteración, todas las casillas del panel. Para actualizar su nuevo estado, se consultará el estado que tenían en la iteración anterior. Con el objetivo de simplificar el algoritmo, resulta de utilidad sobredimensionar la matriz de estado de toda la cuadrícula con una fila adicional por arriba y

por abajo, además de una columna extra a izquierda y derecha. Como las casillas adicionales no se actualizan durante todo el proceso, esto es, permanecerán indefinidamente en el estado 0, las casillas situadas en los bordes podrán ser tratadas del mismo modo que las del interior [12].

La fracción transformada, que se calcula en cada iteración como el número de celdillas cristalizadas y número total de celdillas, debería cumplir en cada paso la ley de Avrami [12].

En aquellas transformaciones isoterma en las que una fase original se transforma en otra u otras distintas, la fracción volumétrica de fase transformada, esto es, el volumen de la nueva fase dividido entre el volumen total de la muestra, evoluciona con el tiempo siguiendo la ley [8]:

$$x(t) = 1 - \exp(-ct)^n \quad (\text{Ec. 5.1. [8]})$$

La fracción volumétrica transformada,  $x$ , puede tomar valores comprendidos entre 0 y 1. Valores próximos a cero indicarían que la transformación apenas ha comenzado y valores próximos a la unidad señalarían que la transformación casi se ha completado. Para tiempos próximos a cero, ocurre que la fracción transformada prácticamente se mantiene nula. El pequeño intervalo en el que esto se cumple es el denominado periodo o tiempo de incubación, en alusión a que durante este tiempo, el proceso de nucleación es el dominante [8].

En la Fig 4.3, Fig 4.4 y Fig 4.5 se muestra el resultado de una simulación mediante la técnica de autómatas celulares, implementada con Visual Basic, de un proceso hipotético, regido por los fenómenos de nucleación y crecimiento, tal como pudiera ser el caso de la cristalización [12].

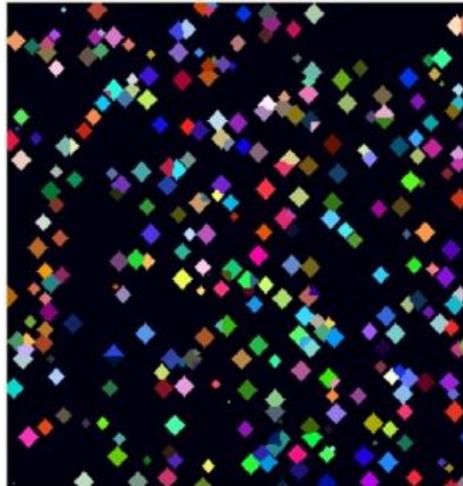


Fig 4.3. Simulación de la transformación líquido-sólido. Situación intermedia [12]



Fig 4.4. Simulación de la transformación líquido-sólido. Situación final [12]

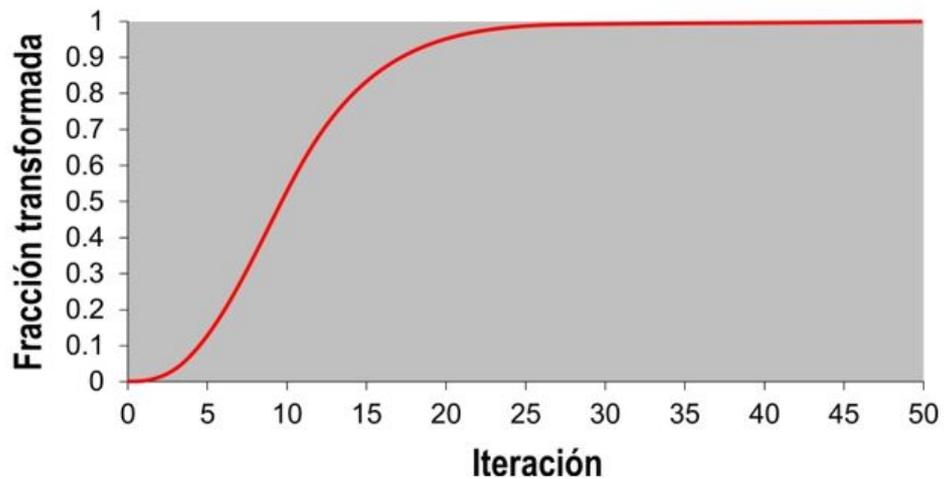


Fig 4.5. Simulación de la transformación líquido-sólido. Evolución de la fracción transformada frente al número de iteraciones (nótese la concordancia con el perfil que predice la ley de Avrami). Para esta simulación se ha empleado una cuadrícula de 250 x 250, con una concentración de celdillas potenciales del 2% y una probabilidad de 0.2 [12].

Si, por otro lado, la ubicación de las casillas de nucleación preferencial se limita a los contornos, la situación es bien distinta. Como muestra la Fig 4.6, los granos resultantes son de tipo columnar [12].



Fig 4.6. Estructura con granos de tipo columnar [12]

La Fig 4.7 se ha obtenido admitiendo que los núcleos potenciales se distribuyen en bordes, pero también en el seno del líquido, lo que da como resultado la presencia de granos columnares en los bordes y granos equiaxiales en el centro [12].



Fig 4.7. Estructura con granos de tipo columnar (bordes) y equiaxial (centro) [12]

Con el objetivo de que el alumnado se familiarice con este concepto de la cristalización, se propone la posibilidad de realizar diversas simulaciones con distintos valores, de modo que se puedan obtener conclusiones acerca de cómo afectan cada uno de los factores que intervienen en la misma.

#### - **Guía detallada de funcionamiento del programa**

En primer lugar, se descargará el programa gratuitamente de la web Derematerialia [12]. Una vez instalado y arrancado, aparecerá una interfaz. Para comenzar la simulación, será necesario proporcionar tres valores, como son el número de puntos totales que tendrá nuestra cuadrícula, la concentración de celdillas potenciales y la probabilidad de que una celdilla potencial no cristalizada, que no dispone de vecinas cristalizadas, termine haciéndolo. En la Fig 4.8 se puede apreciar un pantallazo de esta parte del programa.

Puntos	<input type="text" value="1000"/>
Concentración	<input type="text" value="10"/>
Probabilidad	<input type="text" value="0.5"/>

Fig 4.8. Valores a proporcionar de tamaño de cuadrícula, concentración de celdillas potenciales y probabilidad de cristalización. En este ejemplo, se ha seleccionado una cuadrícula de 1000 x 1000, una concentración de 10 y una probabilidad de 0.5 [12]

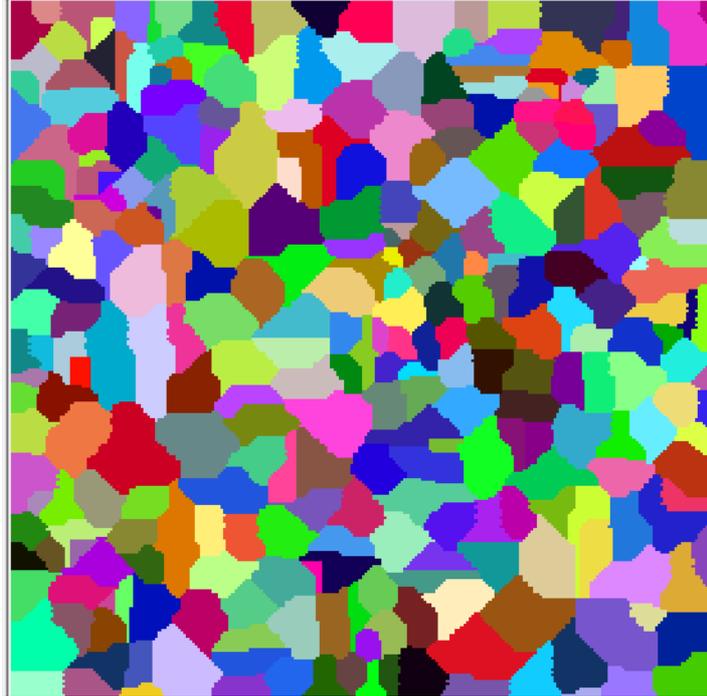


Fig 4.9. Parte izquierda de la interfaz donde se puede seguir la simulación. Ejemplo para una cuadrícula de 250 x 250, valor de concentración de 2 y probabilidad de 0.5 [12]

Si se quisiera seguir paso por paso esta simulación, también hay una opción para ello. En la Fig 4.10 se mostrará un pantallazo de las diversas opciones que hay para arrancar el programa, verlo paso por paso, así como pararlo y salir.

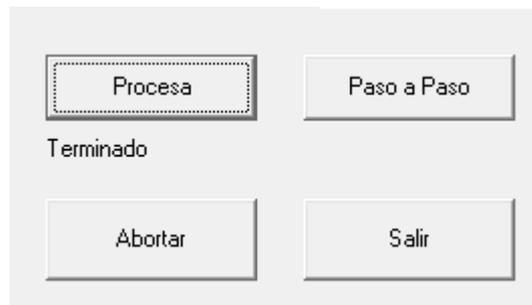


Fig 4.10. Pantallazo del programa una vez ha finalizado la simulación. Mediante el botón “paso a paso”, se permite la posibilidad de ir viendo la interfaz de la simulación para cada iteración [12]

En la parte superior derecha de esta interfaz tenemos un gráfico de la fracción transformada frente al número de iteraciones. En la Fig 4.11 se puede observar un ejemplo dentro del programa.

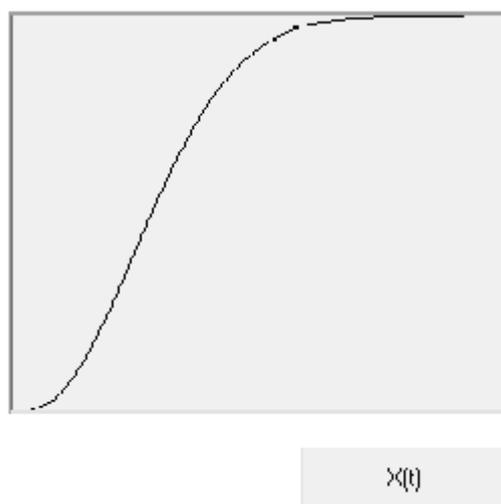


Fig 4.11. Parte de la interfaz del programa que muestra la fracción transformada frente al número de iteraciones [12]

En la Fig 4.12, por su parte, se puede apreciar la fracción transformada frente al número de iteraciones pero en escala logarítmica.

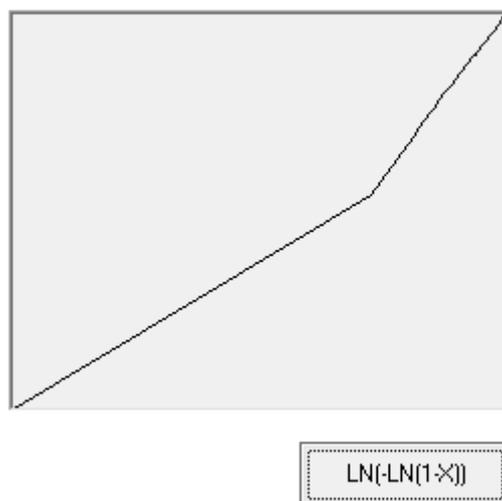


Fig 4.12. Parte de la interfaz del programa que muestra la fracción transformada frente al número de iteraciones en escala logarítmica [12]

#### 4.3.2. Justificación con los contenidos de la asignatura

Este apartado tiene como objetivo fundamentar el contenido de la actividad práctica propuesta anteriormente con los contenidos teóricos presentados durante el desarrollo de la asignatura.

Enlazaría con el ámbito de la descripción multiescala de la estructura de los granos y de su

crecimiento durante procesos de tratamiento térmico.

Además, al tratarse de un programa descargable gratuitamente, ofrece la posibilidad de realizar la sesión práctica de manera no presencial, factor a tener muy en cuenta dadas las circunstancias actuales.

## **4.4. Comportamiento en servicio de materiales**

Este apartado se dedicará a presentar propuestas de mejora de sesiones prácticas existentes, así como a presentar posibles incorporaciones a implementar durante el próximo curso.

### **4.4.1. Sesión práctica GE Renewable Energy**

Esta sesión consistirá en la visita de un antiguo alumno de la ETSEIB, actualmente trabajando en la empresa GE Renewable Energy. El objetivo de este apartado es realizar una propuesta de mejora de esta actividad, con el objetivo de que el alumnado obtenga el máximo rendimiento posible de la misma.

#### **4.4.1.1. Introducción a GE Renewable Energy**

GE Renewable Energy se caracteriza por aprovechar los recursos renovables que ofrece nuestro planeta, tratando de satisfacer tanto a las grandes economías como a las regiones más desfavorecidas [5].

Las turbinas eólicas permiten aprovechar la fuerza del viento para convertirlo en energía. Cuando sopla el viento, las palas de la turbina eólica giran en sentido horario, capturando la energía del viento. Esto activa el eje principal de la turbina eólica, conectado a una caja de engranajes dentro de la góndola, para girar. La caja de cambios envía esa energía al generador, convirtiéndola en electricidad. Esta electricidad viajará a un transformador, donde los niveles de voltaje se ajustan para que coincidan con los de la red [5].

GE Renewable Energy es uno de los principales proveedores de turbinas eólicas del mundo, con más de 42000 unidades instaladas. Dispone de una amplia cartera de soluciones de energía eólica, incluyendo un conjunto de turbinas en tierra y mar adentro, así como servicios de soporte flexibles, que van desde asistencia para el desarrollo hasta optimización digital, operaciones y mantenimiento, utilizando la última tecnología disponible para actualizar su flota [5].

#### **4.4.1.2. Desarrollo de la sesión**

Una vez presentada la actividad de la empresa, el alcance que tiene en la actualidad y los distintos campos que abarca, se profundizará en el tema de los aerogeneradores. Se expondrán los distintos tipos de aerogeneradores existentes en la actualidad y las características que los definen.

Posteriormente, se detallarán las medidas para prevenir la corrosión tanto en ambientes secos como en ambientes húmedos. Además, se mostrarán los diferentes procedimientos que se deberán realizar en caso de producirse estos fenómenos, con el fin de reparar las estructuras y continuar con un adecuado funcionamiento.

Una vez finalizada la presentación, se dejará al alumnado unos minutos para que realicen las preguntas que consideren oportunas con el objetivo de resolver las dudas que hayan podido ir surgiendo a lo largo de la sesión.

#### **4.4.1.3. Propuesta de mejora**

Como propuesta de mejora de dicha sesión, se plantea la posibilidad de entregar un cuestionario al alumnado, justo al finalizar la sesión, para que se complete una vez haya sido presentada la información por parte del responsable de la empresa. Gracias a este cuestionario, el responsable de la asignatura obtendrá otra calificación de la misma, y podrá evaluar de manera objetiva el desarrollo de la sesión. La elaboración de este informe se propone, también, con el fin de que el alumnado efectúe un seguimiento mucho más profundo de esta sesión, y pueda preparar con mayor efectividad el examen final de la asignatura.

#### **4.4.1.4. Justificación con los contenidos de la asignatura**

El objetivo de este apartado es argumentar la elección de la actividad práctica mencionada anteriormente, fundamentándola en la materia de esta asignatura.

Gracias a la visita del antiguo alumno de la empresa GE Renewable Energy, el alumnado adquirirá un conocimiento práctico real de cómo actuar en situaciones en las que se tiene que prevenir la corrosión, tanto en seco como en ambientes húmedos.

Como se ha visto anteriormente en el apartado de sesiones teóricas, la asignatura se divide en dos grandes bloques, como son corrosión y oxidación. Por esto, mediante esta sesión práctica quedaría cubierto, en su totalidad, este primer bloque de la asignatura.

Gracias a la elaboración del cuestionario, el alumnado reforzará y afianzará los conceptos teóricos presentados de forma práctica durante la sesión.

#### **4.4.2. Práctica de laboratorio de corrosión**

En este apartado, se propondrá una práctica de laboratorio en la que se analizará el tema de la corrosión, ampliamente explicado en las sesiones teóricas a lo largo del desarrollo de la asignatura.

##### **4.4.2.1. Introducción a la corrosión**

En primer lugar, se comenzará explicando en qué consiste este fenómeno. La corrosión es la reacción de los materiales metálicos con su entorno que acarrea una pérdida de sus propiedades específicas. Los metales, en la naturaleza, se encuentran en su forma oxidada, mientras que, para aplicaciones industriales, se utilizan en su forma reducida. Para realizar esa transformación, se debe gastar una gran cantidad de energía. Es por esto que los metales en forma reducida tenderán a pasar a formas más estables. Una forma de hacerlo es a través de la corrosión [18].

Esta tendencia será tanto mayor cuanto más elevada sea la energía que se ha gastado en su reducción. La corrosión tiene mucha importancia desde el punto de vista industrial y económico. Al ser el ritmo de corrosión del acero utilizado en aplicaciones industriales extremadamente elevado, se concluye que, aproximadamente, un tercio del acero mundial producido es destinado a sustituir acero que se ha corroído [18].

Pese a que existen muchas formas de producirse la corrosión, la más habitual es a través de un mecanismo electroquímico. En este mecanismo, se tiene un proceso anódico de oxidación, un proceso catódico de reducción y, además, un electrolito que permitirá la movilidad iónica y electrónica [18].

El agente oxidante más habitual es el oxígeno. Sin embargo, para ciertos metales, (Fe entre otros) el oxígeno no es suficiente para producir su oxidación, sino que hace falta presencia, además, del agua [18].

##### **4.4.2.2. Desarrollo de la práctica**

El objetivo de esta práctica es mostrar este fenómeno experimentalmente. Se introducirán cuatro clavos, que previamente han sido lijados para quitar impurezas, en cuatro tubos de

ensayo con ambientes diferentes [18].

En primer lugar, se introduce un poco de algodón en el primer tubo. Posteriormente, se vierten unas gotas de agua y se introduce el clavo. En este caso, se obtendrá un clavo en aire con atmósfera húmeda [18].

En segundo lugar, se introduce el segundo clavo en el segundo tubo de ensayo y se vierte agua hasta cubrirlo por completo. De esta forma, lo que se tiene es un clavo sumergido en agua en presencia de aire [18].

En tercer lugar, se colocará el siguiente clavo en aire seco. Para conseguirlo, se introduce una pequeña cantidad de gel de sílice, que es desecante, en el fondo del tercer tubo de ensayo. A continuación se introducirá el clavo. Con el fin de conseguir un ambiente de aire seco, lo que se tendrá que añadir posteriormente será un trozo de algodón, otra pequeña cantidad de gel de sílice y otra pequeña cantidad de algodón, de modo que tendremos nuestro clavo perfectamente aislado de la humedad [18].

Por último, se sumergirá el último clavo en agua con ausencia de oxígeno. Para esto, se utilizará agua hervida ya que, al elevar la temperatura, se produce una disminución en la solubilidad de oxígeno. Para evitar que el oxígeno se vuelva a disolver en el agua, se cubrirá con una pequeña cantidad de aceite [18].

Al cabo de cierto tiempo, se puede apreciar cómo el clavo que estaba expuesto a una atmósfera de aire húmedo, así como el clavo que estaba sumergido en agua en presencia de oxígeno, presentan corrosión (Fig 4.13). No obstante, esta es mayor en la del clavo sumergido en agua [18].



Fig 4.13. Situación de los clavos expuestos a distintos ambientes tras un cierto período de tiempo [18]

Por el contrario, tanto aquel que se encontraba en aire seco como aquel que se hallaba en agua en ausencia de oxígeno, no presentan síntomas de corrosión [18].

Estos resultados indican que, para que se produzca la corrosión del hierro, hace falta la presencia de agua y de oxígeno [18].

A continuación, se mostrarán las ecuaciones de reacción que tienen lugar. En primer lugar, aparece la reacción anódica de corrosión (Ec. 5.2) y, en segundo lugar, la reacción catódica de reducción (Ec. 5.3).



#### 4.4.2.3. Justificación con los contenidos de la asignatura

El objetivo de este apartado es fundamentar la elección de esta actividad justificándola con los contenidos teóricos de la asignatura.

El fenómeno de corrosión constituye uno de los dos grandes bloques de la asignatura. Por esto, el responsable de la asignatura dedica un gran número de clases magistrales a presentar diversos conceptos acerca de este ámbito. Además, se presentan diferentes casuísticas que podrán aparecer en numerosas situaciones laborales en un futuro. Al tratarse de un fenómeno

importante para la economía, pues un tercio del acero fabricado se destina a sustituir acero corroído, resulta fundamental conocerlo en profundidad con el objetivo de saber actuar en consecuencia y evitarlo en la medida de lo posible,

Por todo lo anterior, la realización de esta práctica se adapta por completo al desarrollo de la asignatura, pudiéndose implementar el próximo curso, siempre que el responsable de la misma lo considere oportuno.

#### **4.4.3. Práctica de laboratorio de protección de los metales frente a la corrosión**

El objetivo de esta práctica es reproducir un método efectivo para evitar o disminuir la corrosión.

##### **4.4.3.1. Introducción a la protección frente a la corrosión**

Como se ha introducido anteriormente, la corrosión se puede evitar o, al menos disminuir. Una manera de conseguirlo es uniendo el material que se va a corroer con otro metal que presenta mayor tendencia a la oxidación. De esta forma, el material que se iba a corroer se convertiría en el cátodo de una pila galvánica, mientras que el material que lo protege sería un ánodo que se consume y, por ello, se llama ánodo de sacrificio [18].

##### **4.4.3.2. Desarrollo de la práctica**

Para poder observar este fenómeno, se prepararán cuatro pilas distintas de corrosión. Se introducirá cada una en un vaso de precipitado.

En el primer caso se tendrá solamente una lámina de hierro. En el segundo caso, se tendrá una lámina de hierro con una lámina de cinc de la mitad de superficie. En tercer lugar, se encontrará una lámina de hierro con una lámina de cinc de la misma superficie. Y por último, se hallará una lámina de hierro con dos láminas de cinc de la misma superficie (la superficie de cinc será, en total, el doble que la de hierro) [18].

A continuación, se sumergirán en agua todas las placas y se dejará que pase un tiempo. Al cabo de este tiempo, se pueden apreciar resultados muy dispares. En el primer caso, se podrá percibir un precipitado de color pardo de óxido de hierro hidratado, concluyendo en que el hierro se ha corroído. En el segundo caso, existe una corrosión apreciable pese a que hay una lámina de cinc de la mitad de tamaño que la de hierro. En la siguiente muestra, en la que

la lámina de cinc tiene la misma superficie que la de hierro, se puede observar que la corrosión disminuye de manera considerable. En el último caso, en el que tenemos el doble de superficie de cinc que de hierro, se aprecia que prácticamente no existe corrosión en la lámina de hierro [18]. En la fig. Fig 4.14 se pueden apreciar estos resultados.



Fig 4.14. Situación final de las láminas de hierro y cinc [18]

Por todo lo anterior, se puede extraer que cuanto mayor sea la superficie del metal de sacrificio, menor será la corrosión en el material que se quiere proteger.

#### **4.4.3.3. Justificación con los contenidos de la asignatura**

El objetivo de este apartado es fundamentar la elección de esta actividad justificándola con los contenidos teóricos de la asignatura.

El fenómeno de corrosión constituye uno de los dos grandes bloques de la asignatura. Por esto, el responsable de la asignatura dedica un gran número de clases magistrales a presentar diversos conceptos acerca de este ámbito.

Gracias a la realización de esta práctica, se da a conocer una técnica de protección de metales frente a la corrosión. Esta técnica puede tener que ser implementada en diversas situaciones laborales con el objetivo de prevenir este fenómeno de corrosión en piezas que sean críticas, aportando una visión distinta a la hora de afrontar este tipo de problemas.

## **4.5. Materiales con aplicaciones en el transporte**

En este apartado se detallarán, siguiendo el orden, las distintas actividades que se proponen con el fin de mejorar el desarrollo de la asignatura.

### **4.5.1. Prácticas de laboratorio**

En este apartado, siguiendo el orden de este capítulo, se propondrán diversas actividades a implementar en el desarrollo de la asignatura, previo consentimiento del responsable de la

misma.

Las actividades propuestas corresponden con dos sesiones de metalografía en las que el alumnado tendrá que llevar a cabo la preparación de las muestras, esto es, desde el desbastado hasta terminar por el ataque químico.

La primera de ellas será de latón, mientras que la segunda será de acero. Mediante esta actividad, los alumnos conocerán el procedimiento a realizar para preparar una muestra para observarla al microscopio, así como los diversos materiales y equipos de laboratorio empleados.

Para cada muestra, se elaborará un informe en el que se detalle el material que la compone, así como el tipo de grano y las fases presentes. Gracias a la presentación de estos datos, la microestructura del material quedará completamente definida y se podrán exponer las diversas propiedades que presenta cada muestra. Con el fin de evaluar la sesión de una manera más objetiva, se propone citar dichas propiedades y poner un ejemplo de aplicación en un medio de transporte explicado en la asignatura, así como su correspondiente justificación.

#### **4.5.2. Guía detallada para realizar prácticas de metalografía**

Para llevar a cabo correctamente una sesión práctica de metalografía, se debe seguir una serie de pasos que se detallarán a continuación. Esta secuencia de pasos que se va a presentar está ideada para que, siguiéndola escrupulosamente, lo observado sea una representación real de la microestructura interna del material. A continuación, se puede observar una representación esquemática de los pasos que se deberán realizar [12] (Fig 4.15).



Fig 4.15. Secuencia de pasos para realizar una sesión de metalografía [12]

- Extracción. El primer paso para llevar a cabo una sesión de metalografía consiste en la extracción de una muestra de la pieza compuesta del material objeto de estudio. Generalmente, esta extracción se realiza mediante un disco de corte con abundante aporte de líquido refrigerante, con el objetivo de evitar calentamientos excesivos que puedan alterar la microestructura del material [12].
- Empastillado. Esta etapa se realiza cuando el tamaño de la muestra es demasiado pequeño para manipularla con facilidad, y se deberá embutir en algún material polimérico, siendo los más utilizados la baquelita y las resinas epoxy. Si se desea observar los bordes de la muestra porque estos tengan algún tipo de recubrimiento o tratamiento térmico superficial, la resina empleada deberá contener partículas de vidrio. Con esto se consigue aumentar la dureza de la resina a los valores de dureza de la muestra, de modo que en la etapa de desbaste se desgastarán ambas superficies por igual, preservando la geometría de la pieza. Este empastillado se conoce como preservación de bordes. En la Fig 4.16 se puede apreciar un ejemplo de este paso del proceso [12].

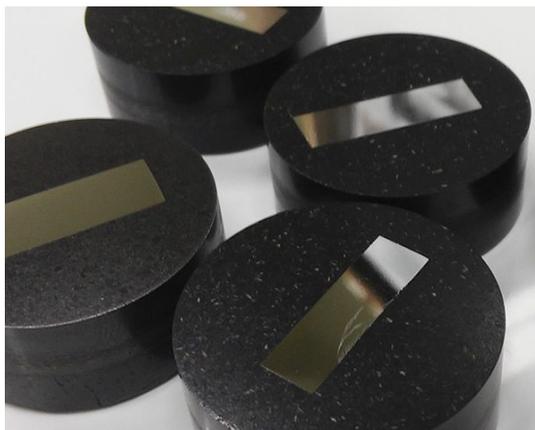


Fig 4.16. Empastillado de una muestra metálica [12]

- Identificación. Para evitar confusiones, se deberán marcar las muestras inmediatamente después del montaje. Este marcado deberá realizarse en la parte posterior de la resina de montaje, mediante una etiqueta adhesiva o utilizando un grabador. Si se está empleando una resina transparente, la manera más adecuada de realizar este marcaje es introduciendo la etiqueta en la resina de montaje durante la etapa de empastillado [12].
- Desbaste. Gracias a esta etapa, se consigue eliminar de la muestra las capas no deseadas que pueda haber sobre el material, como pueden ser pinturas, óxidos o grasa. Además, se consigue una superficie plana. Para llevar a cabo el desbaste, la muestra se lija con una secuencia de papeles abrasivos cada vez más finos. La numeración del papel abrasivo indica la cantidad de partículas de abrasivo por pulgada cuadrada, siendo, generalmente, el SiC dicho elemento abrasivo. Una numeración baja corresponderá con partículas de abrasivo de mayor tamaño, conocido comúnmente como papel basto [12].

Esta operación de desbaste puede realizarse manualmente mediante cajas de desbaste o de modo asistido, en el que se emplearán desbastadoras. Se explicarán, a continuación, los dos modos de desbaste [12].

En el desbaste manual, se comienza frotando la muestra sobre la lija más basta mediante un movimiento lineal. Una vez que se ha obtenido un rayado uniforme, la muestra se girará  $90^\circ$  y se comenzará a frotar con una lija más fina (Fig 4.17). Este giro se utiliza tanto para eliminar el rayado procedente de la lija más basta como para monitorizar cuándo se elimina por completo. Al final del procedimiento, la muestra debería tener una superficie plana, presentando un rayado uniforme y fino procedente del último papel abrasivo empleado. El proceso de lijado se debe llevar a cabo en

presencia de un refrigerante, que tendrá como funciones la de evitar el calentamiento excesivo de la muestra, así como eliminar los restos de material que se desprendan [12].

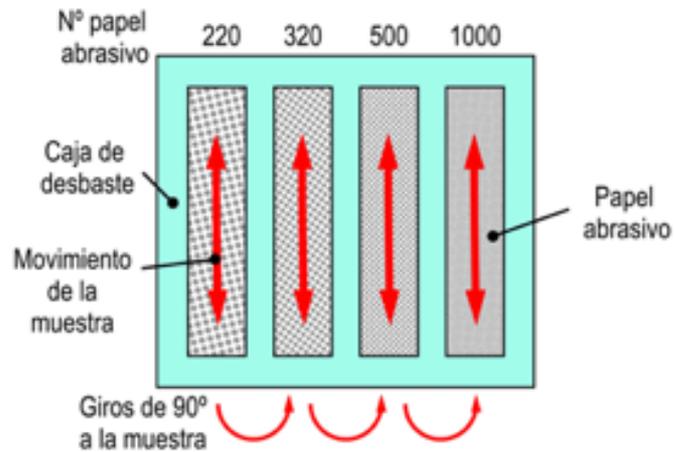


Fig 4.17. Esquema del desbaste manual [12]

En el desbaste asistido, los papeles de lija son circulares y están acoplados sobre un plato giratorio (Fig 4.18). Con el objetivo de conseguir un rayado uniforme, la muestra ha de permanecer inmóvil sobre el papel de lija. Una vez se cambie el papel de lija por uno más fino, la muestra se deberá girar 90° .

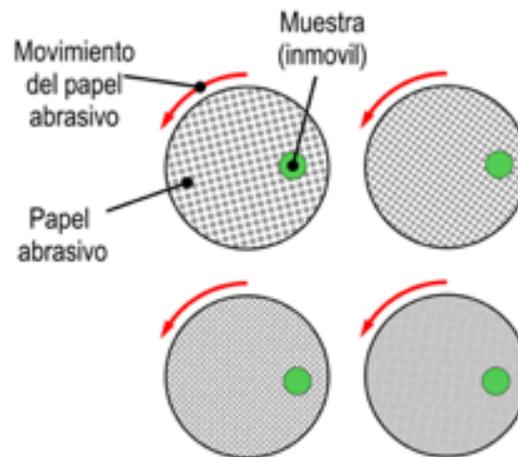


Fig 4.18. Representación esquemática del desbaste asistido [12]

- Pulido. El principal objetivo del pulido es eliminar las rayas producidas en la operación de desbaste y obtener una superficie especular en la muestra. Para conseguirlo, se emplean abrasivos de tamaño inferior a los empleados en el desbaste. Al ser su tamaño tan pequeño (incluso por debajo de 0.05 mm), en lugar de utilizarse en papel

de lija, se pulverizan sobre un paño en el que las partículas de abrasivo quedan ancladas. Las máquinas empleadas para realizar el pulido, denominadas pulidoras, constan de un motor que hace girar un disco sobre el que se coloca el paño de pulido. Para llevar a cabo este proceso de manera adecuada, la muestra se debe mover trazando espirales en sentido contrario al del giro del paño, de modo que la muestra es pulida en todas direcciones (Fig 4.19).

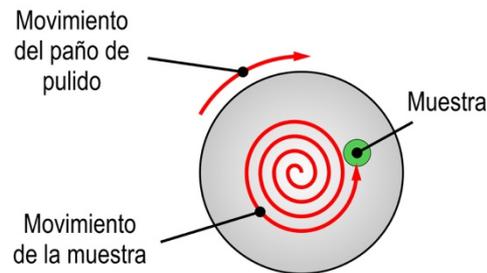


Fig 4.19. Representación esquemática de la etapa de pulido [12]

Tras el pulido, se pueden observar pocas características de los materiales (solo la presencia de porosidad y de fases de color oscuro). Esto se debe a que las muestras pulidas se comportan como espejos, en el sentido de que reflejan muy bien la luz. Solo aquellas partes en las que la reflexión no sea adecuada, ya sea porque debido a su color oscuro absorban parte de la luz, o bien porque alteren el ángulo de reflexión de manera que esta no sea paralela al ángulo incidente, tendrán el suficiente contraste como para ser distinguibles. En la siguiente figura (Fig 4.20) se muestra la microestructura de una fundición (aleación Fe-C) en la que solamente se aprecia una fase negra en forma de rosetas (grafito), y abundantes poros esféricos de pequeño tamaño [12].

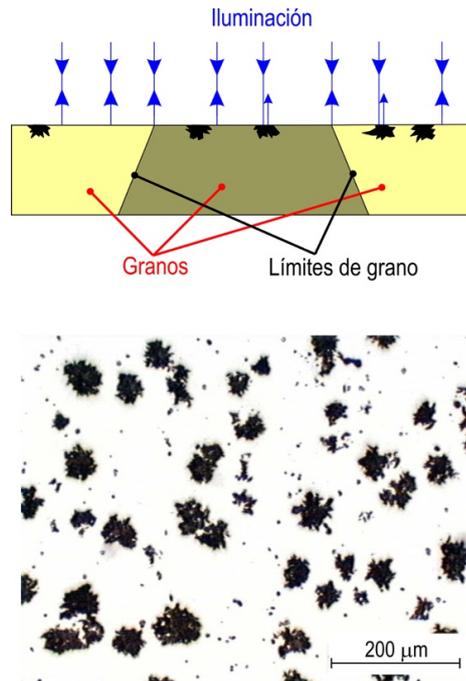


Fig 4.20. Microestructura aleación Fe-C [12]

Otra manera de llevar a cabo este proceso de pulido es mediante electrolisis (Fig 4.21). En una cuba con un electrolito adecuado se sumerge la probeta a pulir, que pasa a ser el ánodo de un circuito eléctrico. Debe controlarse la diferencia de potencial, la intensidad y el tiempo durante el que se prolonga el paso de la corriente en el circuito con el fin de obtener un pulido adecuado. Debido a esto, no se suele emplear el pulido electrolítico en laboratorios donde se trabaja con muchos tipos de materiales diferentes [12].

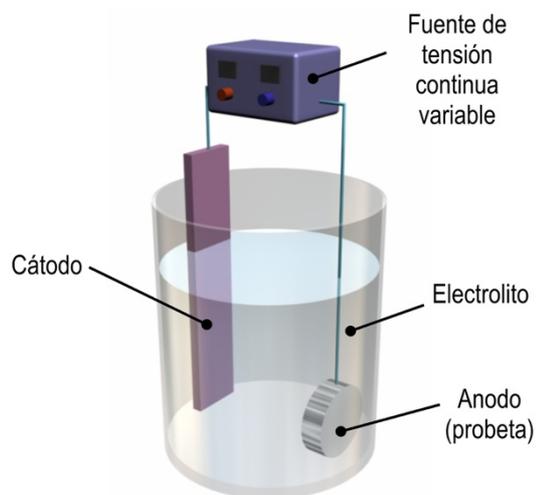


Fig 4.21. Representación esquemática del pulido electrolítico [12]

- Limpieza. Las probetas deben ser limpiadas después de cada paso. El método más empleado es mantener la probeta bajo un chorro de agua y frotarla con algodón. La limpieza ultrasónica, pese a ser más efectiva (entre 10 y 30 segundos), puede dañar la pieza. Después de la limpieza, se deben enjuagar con un chorro de alcohol y secar rápidamente con un chorro de aire caliente [12].
- Ataque. Tras la cuidadosa limpieza de la muestra que sigue al pulido, esta debe ser atacada para revelar completamente su microestructura. Principalmente, se persigue acentuar los límites de grano del material, las posibles maclas, así como aumentar el contraste de las diferentes fases que lo forman [12].

El ataque puede ser de tipo químico o electrolítico. El proceso a seguir para realizar un ataque electrolítico es idéntico al explicado anteriormente para el pulido electrolítico, manteniendo, por tanto, sus mismas ventajas e inconvenientes [12].

El ataque químico es el método más empleado, y consiste en exponer la muestra a la acción de un reactivo de carácter ácido. Dicho ácido reacciona, preferentemente, con los átomos de la superficie que tienen mayor energía, esto es, los que se encuentran en los límites de grano y maclas. Este arranque selectivo de átomos provoca que dichas zonas no reflejen perfectamente la luz, mostrándose, por tanto, en un tono más oscuro. En Fig 4.20 presentada anteriormente, se ponen de manifiesto los límites de grano existentes. Las distintas fases del material y las diferentes orientaciones de los granos de una misma fase también se comportan de modo distinto frente al reactivo, por lo que aparecen contrastadas cuando se observan al microscopio [12].

#### **4.5.3. Método operativo para la práctica de metalografía de la pieza de latón y la de acero**

En este apartado, se describirá el método operativo general a realizar a las dos piezas, ya que estos solo difieren en el ataque químico final.

En primer lugar, se realiza un desbastado de las piezas, que se llevará a cabo mediante 3 tipos de papel de esmeril: 320, 800 y 1200, que corresponde al número de partículas abrasivas por pulgada. Se comenzará el desbastado con el papel de esmeril de menor numeración, esto es, con el de 320 [13].

Se sitúa el papel de esmeril sobre un tapete de corcho. Se selecciona la superficie de la pieza a tratar y se procede al desbastado, lijando la pieza con fuerza contra el papel de esmeril (Fig 4.22) [13].

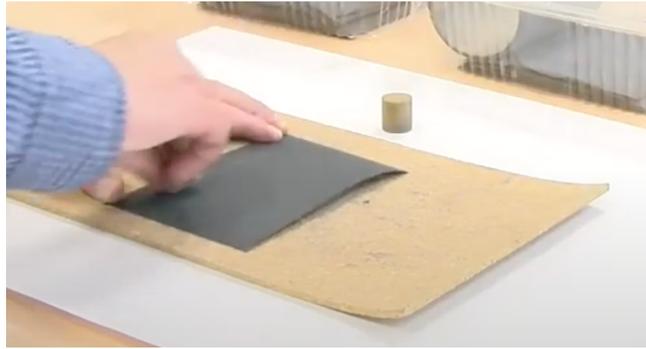


Fig 4.22. Representación gráfica del desbastado con papel de esmeril de 320 [13]

Resulta importante llevar a cabo el desbastado lijando siempre en la misma dirección. Esta primera parte, finalizará cuando se haya agotado todo el papel de esmeril. Tras el desbastado, se puede observar el rayado en la misma dirección, fruto del desbastado. A continuación, se limpiará la superficie con agua del grifo para eliminar los restos de partículas abrasivas adheridas, así como los restos de la propia pieza [13].

Tras el lavado, se secará la superficie. Seguidamente, se continúa con el desbastado con el papel de esmeril de 800. Ahora, hay que tener la precaución de que el lijado se haga en la dirección perpendicular al desbastado anterior. Esta etapa finalizará cuando las líneas del rayado producido por este lijado se hayan comido las líneas originadas en el primer desbastado. Al igual que antes, tras el desbastado se limpiará la pieza con agua del grifo para eliminar las impurezas. Una vez limpia la superficie, se secará [13].

Por último, se procederá al desbastado de la pieza con el papel de esmeril de mayor numeración, esto es, el etiquetado como 1200. El desbastado se realizará en dirección perpendicular al lijado anterior, hasta que las líneas producidas por aquel desbastado hayan desaparecido. Al igual que antes, se procederá al lavado de la pieza para eliminar las impurezas. Tras este lijado, se dará por finalizada la etapa del desbastado [13].

La siguiente parte de preparación de la superficie de la pieza consiste en el pulido de la misma, que se realizará en dos etapas en una pulidora [13].

Lo primero que se hace es colocar un disco con un papel de fieltro adherido en la pulidora. Tras ello, se enciende la pulidora presionando el botón verde, habiendo seleccionado previamente las revoluciones adecuadas mediante la rueda de control. Posteriormente, se abre la llave de paso del agua para que la pieza esté refrigerada durante el pulido y así evitar el calentamiento de la misma. Para hacer el primer pulido se utiliza una suspensión

de alúmina, que previamente habrá de ser agitada. El tamaño de partícula de la alúmina que se utiliza es de 5 micras. Una vez vertida la suspensión de alúmina, se pone la pieza sobre el papel de fieltro sujetándola con fuerza y se procede al pulido asegurándose que el pulido se realiza de manera homogénea a lo largo de toda la superficie. Una vez pulida la pieza durante 5 minutos, se procede a lavarla con agua del grifo y se secará. Se puede apreciar cómo la superficie de la pieza va cobrando un brillo especular [13].

Para la segunda etapa del pulido, se cambiará el disco con el papel de fieltro usado en el primer pulido por un disco con un papel de fieltro que esté sin usar. En este segundo pulido, se empleará una suspensión de alúmina con un tamaño de partícula menor, en concreto, de 1 micra. Se procederá igual que en el pulido anterior, con la precaución de refrigerar la pieza con agua en todo momento y asegurándose de que el pulido se realice de manera homogénea en toda la superficie. Una vez realizado el pulido durante 3 minutos, se lavará la pieza con agua del grifo y se secará [13].

En este momento, si se ha realizado bien el pulido, la superficie tendrá un brillo especular [13].

La última fase de preparación de la superficie de la pieza consiste en un ataque químico de la misma para su revelado. Este ataque químico se realizará con cloruro férrico para el latón, con una duración de ataque de unos 60 segundos. Para la pieza de acero, se realizará el ataque con nital durante 30 segundos. Para proceder al ataque, previamente se sujetará la pieza con una pinza. Con una pipeta, se cogerá el reactivo. Dicho reactivo se verterá, con cuidado, de manera que toda la superficie quede cubierta, controlando el tiempo de ataque con un cronómetro. Tras el ataque químico, se lavará la superficie de la pieza eliminando el reactivo, lavado que se realizará con agua destilada. La superficie ya estará preparada para ser observada, por lo que el secado se hará con especial cuidado y precaución para no dañar la superficie [13].

Finalmente, se estudiará la microestructura presente en la superficie de la pieza, que se llevará a cabo con un microscopio óptico provisto de varios objetivos. Gracias a un ordenador conectado al microscopio, se tomarán una serie de imágenes de la superficie a distintos aumentos. A través de estas imágenes, se puede obtener información de los granos, forma y tamaño de los mismos, así como las fases presentes [13].

#### 4.5.4. Visita a Seat

En este apartado, se propone la visita guiada a la fábrica de Martorell de Seat (Fig 4.23). Situada a 30 kilómetros de Barcelona, fue inaugurada en febrero de 1993 por el rey Juan Carlos I y es una de las más modernas de Europa. La producción diaria de la fábrica ronda las 2100 unidades y la producción anual se sitúa en torno a las 443000 [11].



Fig 4.23. Vista aérea de las instalaciones de Seat en Martorell [11]

El proceso de producción comienza en prensas, donde se estampan las piezas que formarán la carrocería. El recinto dispone de tres líneas en las que las piezas son transportadas automáticamente de matriz en matriz (consiguiendo así que el proceso sea continuo) para dar forma a todos los elementos de la carrocería del vehículo. Las prensas se hallan en el interior de un recinto insonorizado con el objetivo de evitar la contaminación acústica [11].

En la segunda parte del proceso, intervendrán los talleres de chapistería, que son los más automatizados de la fábrica (Fig 4.24). En ellos, más de dos mil robots se encargan de unir, prácticamente la totalidad de los puntos de soldadura de la carrocería, empleándose en determinadas zonas la tecnología láser, lo que garantiza una excelente precisión controlada mediante ultrasonidos [11].

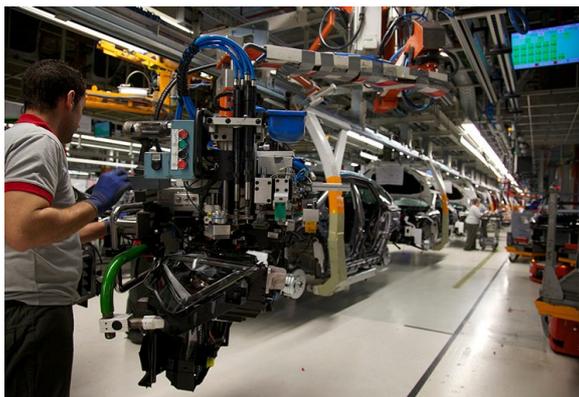


Fig 4.24. Proceso de ensamblaje en la fábrica de Seat de Martorell [11]

A continuación, se desarrolla el pintado en dos talleres diferentes. En el primero de ellos, se lleva a cabo la fase de pretratamiento de las superficies, con el fin de garantizar la resistencia a la corrosión, En el segundo se aplican, mediante robots, las diferentes capas de color y lacado tanto en el interior como en el exterior del vehículo [11].

Una vez pintado el vehículo, las carrocerías se trasladan al taller de montaje donde se ensamblan las piezas interiores. Para mejorar la eficiencia en la implantación de nuevos procesos se emplean herramientas virtuales, que permiten visualizar estos procesos antes de implantarlos [11].

Todos los vehículos que salen de las líneas están identificados automáticamente a través de un sistema de radiofrecuencia y son sometidos a rigurosos controles que garantizan su calidad antes de pasar a su distribución [11].

La planta de Martorell utiliza los más estrictos criterios de calidad y sostenibilidad en el proceso de fabricación de vehículos. En los últimos años, un proyecto de Seat ha convertido a la fábrica de Martorell en la mayor planta de fábricas fotovoltaicas de la industria del automóvil a nivel mundial (Fig 4.25) [11].



Fig 4.25. Placas fotovoltaicas en la fábrica de Seat de Martorell [11]

Además, cuenta con dos grandes sistemas de reducción de emisiones. Por una parte, dispone de dos líneas de tren de 40 kilómetros para trasladar vehículos directamente al Puerto de Barcelona y componentes desde las instalaciones de la Zona Franca de Barcelona. Por otro lado, la fábrica cuenta con una planta de cogeneración, que genera el 50% de la electricidad y el 90% de la energía termal que consume, ahorrando hasta 12.800 toneladas de CO<sub>2</sub> al año [11].

#### **4.5.5. Justificación de las sesiones prácticas propuestas con los contenidos de la asignatura**

A través de la realización de las sesiones de metalografía expuestas en el apartado anterior, el alumnado obtendrá un conocimiento práctico de la parte de la asignatura que trata sobre el latón y los aceros, así como las distintas propiedades que los definen. Dichas propiedades podrán ser deducidas tras analizar la microestructura en el microscopio, que coincidirá con el último paso de la sesión práctica. Estos dos materiales son explicados durante las sesiones teóricas para todos los medios de transporte, ya que son ampliamente utilizados en la industria.

Por otro lado, gracias a la visita a la fábrica de Seat de Martorell, el alumnado tendrá la oportunidad de conocer en detalle un proceso de fabricación de automóviles. Esto enlaza con la parte teórica de la asignatura presentada por el profesor Mateo, en la que se analizan los distintos componentes de los automóviles, así como los materiales que los componen. No obstante, esta actividad permanecerá como conceptual, pues aún no se tiene autorización de la empresa para realizar la visita.

## 5. Sesiones prácticas aplicadas a otros planes

El objetivo de este capítulo es proponer alguna actividad de interés, pero que no concuerda con el contenido de las asignaturas de materiales del MUEI. Pese a que se traspasan los límites de alcance de este proyecto, se ha encontrado alguna sesión no presencial de suficiente interés como para que ocupe un capítulo dentro de este trabajo. Se detallará, por su parte, la titulación en la que podrían emplearse las sesiones aquí descritas.

### 5.1. Ensayo de tracción

#### 5.1.1. Introducción al ensayo de tracción

El ensayo de tracción es uno de los ensayos predilectos para la caracterización mecánica de los materiales. Pese a que no puede catalogarse de universal, pues solo puede aplicarse a materiales dúctiles, resulta ser un ensayo relativamente sencillo, a partir del cual se puede extraer abundante información [12].

Este ensayo consiste en someter a una probeta sujeta por sus extremos (con forma y dimensiones normalizadas) a una carga axial creciente, al tiempo que se registran la carga aplicada y el incremento de longitud que experimenta, hasta que se produce la rotura. A partir de los datos de carga y alargamiento, se calculan los correspondientes valores de esfuerzo y deformación con los que se traza la curva. Esta curva de esfuerzo-deformación contiene información acerca de magnitudes importantes como el módulo de Young, el límite elástico, resistencia y deformación a tracción [12].

Aunque este ensayo resulta ideal para materiales metálicos, no sucede lo mismo con buena parte de los materiales cerámicos y moleculares. Los motivos son varios, pues para estos materiales se complica la fabricación de probetas con la geometría requerida. Además, presenta gran complejidad el conseguir sujetar mecánicamente las probetas sin romperlas, así como disponerlas perfectamente alineadas, con el objetivo de evitar la presencia de esfuerzos no uniaxiales que falsean el ensayo [8].

La denominada curva de esfuerzo-deformación, que es la que se obtiene con el ensayo, constituye una especie de rúbrica que distingue al material [12]. En esta curva, interesará conocer cómo evoluciona la curva cuando el comportamiento deja de ser elástico y pasa a ser plástico (con deformación permanente), hasta el momento en que la muestra llega a

romper [8].

Estas curvas constituyen una herramienta básica y son generalmente utilizadas para la descripción de las propiedades mecánicas de los materiales dúctiles, como es el caso de los metálicos. Pese a todo, muchos aspectos relevantes, como la influencia de la temperatura o del ritmo de deformación, no han llegado aún a ser totalmente comprendidos. Tampoco existe un consenso sobre los modelos teóricos que podrían describir estas sensibilidades. No obstante, algunos aspectos como el estudio de la sensibilidad a la temperatura, han cobrado un valor crucial desde el atentado de las Torres Gemelas. Con la pretensión de buscar una explicación a cómo sucedió el colapso de la estructura, se pone en evidencia el conocimiento actual de estas sensibilidades, sobre todo en intervalos muy amplios de temperatura [12].

### **5.1.2. Simulador del ensayo de tracción**

En la web mencionada en las citas anteriores, los profesores autores de la misma han desarrollado un simulador de la curva de tracción, semicuantitativo, y cuyas predicciones solo deben ser tenidas en cuenta con carácter didáctico. No obstante, es capaz de simular la curva de tracción de cualquier material (metálico, termoplástico, termoestable o elastomérico) siempre que sea alimentado con los parámetros adecuados, bajo un rango amplio de condiciones de ensayo (de temperatura y ritmo de deformación) [12].

El propósito del simulador ofrecido es dar a conocer la diversidad de formas que pueden adoptar las curvas de tracción en materiales de la misma familia o de diferentes familias, así como de proporcionar la oportunidad de constatar la influencia que la temperatura y la velocidad de deformación tienen en la curva de tracción, algo que sería costoso implementar experimentalmente.

### **5.1.3. Guía detallada del funcionamiento del programa**

El objetivo de este apartado es proporcionar una guía detallada del funcionamiento del programa, con el objetivo de facilitar, tanto al responsable de la asignatura en la que se implemente, como al alumnado, la utilización del mismo.

En primer lugar, se descargará e instalará el programa desarrollado por don Juan Manuel Montes Martos, catedrático de la Universidad de Sevilla, de la web desarrollada por varios profesores de Universidad llamada Derematerialia [12].

Una vez instalado y ejecutado, aparecerá una interfaz donde habrá que completar una serie de datos correspondientes al material que se quiere ensayar. No obstante, se puede probar el experimento con los ejemplos que trae el programa de serie, correspondientes a un material metálico sin fluencia, otro con fluencia, dos tipos de termoplásticos y un elastómero. En la Fig 5.1 se puede apreciar dicha interfaz [12].

The screenshot shows a software interface for a tensile test simulator. It is divided into several sections:

- Material Properties:** A grid of input fields for parameters like eLE (0.002), EY (1.05E+05), sd (1.1), color (azul), eM (0.3), sLEinf (150), st (1.2), eF (0.33), sM (400), ta (20), def (0), sF (300), and tf (400).
- Test Parameters:** Fields for Temperatura (20 °C), Carga máxima (20000 kp), and D0 (20 mm).
- Control Settings:** Radio buttons for 'Control por desplazamiento' (selected) and 'Control por carga', with corresponding 'Ritmo' (rate) dropdowns set to 0.2 mm/s and 960 kp/s.
- Material Selection:** A dropdown for 'Tipo de material' set to 'Metálico (sin fluencia)'. Other dropdowns include 'Ruido' (NO), 'Frecuencia de muestreo' (10), and 'Ritmo Crono' (x 20).
- Example Selection:** A vertical list of buttons labeled 'Ejemplo 1' through 'Ejemplo 5', with 'Ejemplo 1' highlighted.
- Action Buttons:** 'Procesa' and 'Salir' buttons at the bottom right.

Fig 5.1. Interfaz del simulador del ensayo de tracción [12]

Una vez introducidos los datos, o seleccionado el ejemplo de material a probar, se pulsaría el botón de 'Procesa'. La simulación se podrá seguir mediante la interfaz que aparece justo debajo de los valores (Fig 5.2) [12].

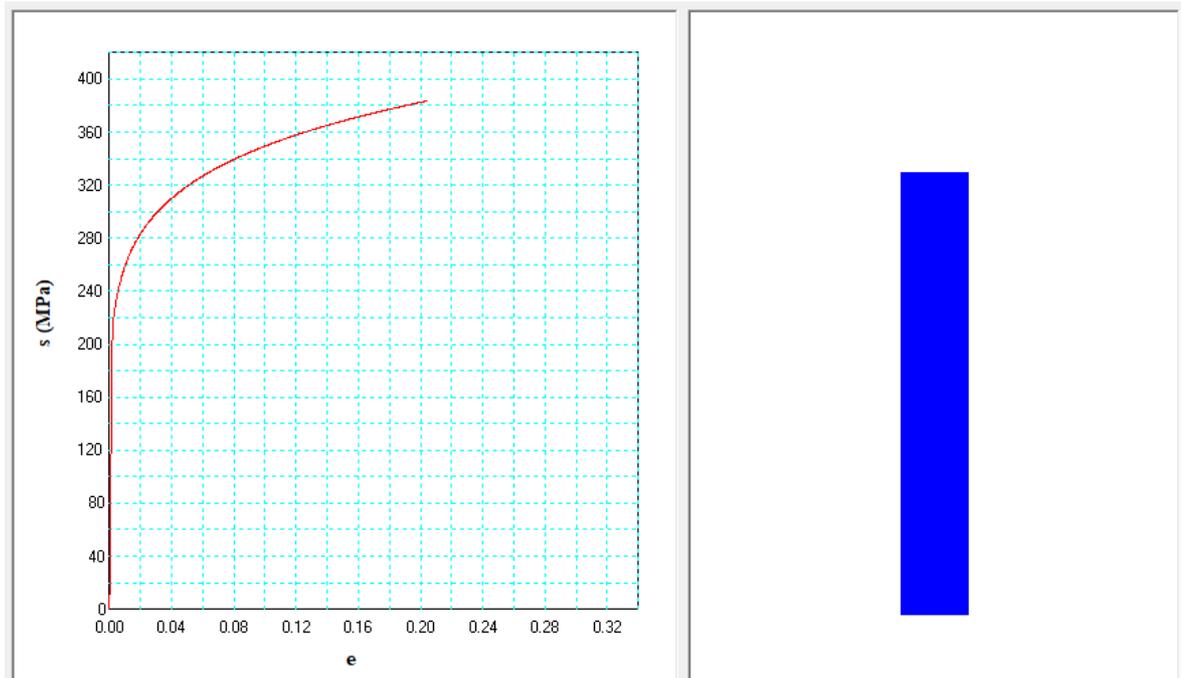


Fig 5.2. Punto intermedio de la simulación del ensayo de tracción para un material metálico sin fluencia (ejemplo 1) [12]

Una vez finalizada la simulación, se podrá apreciar la interfaz tal y como aparece en la Fig 5.3.

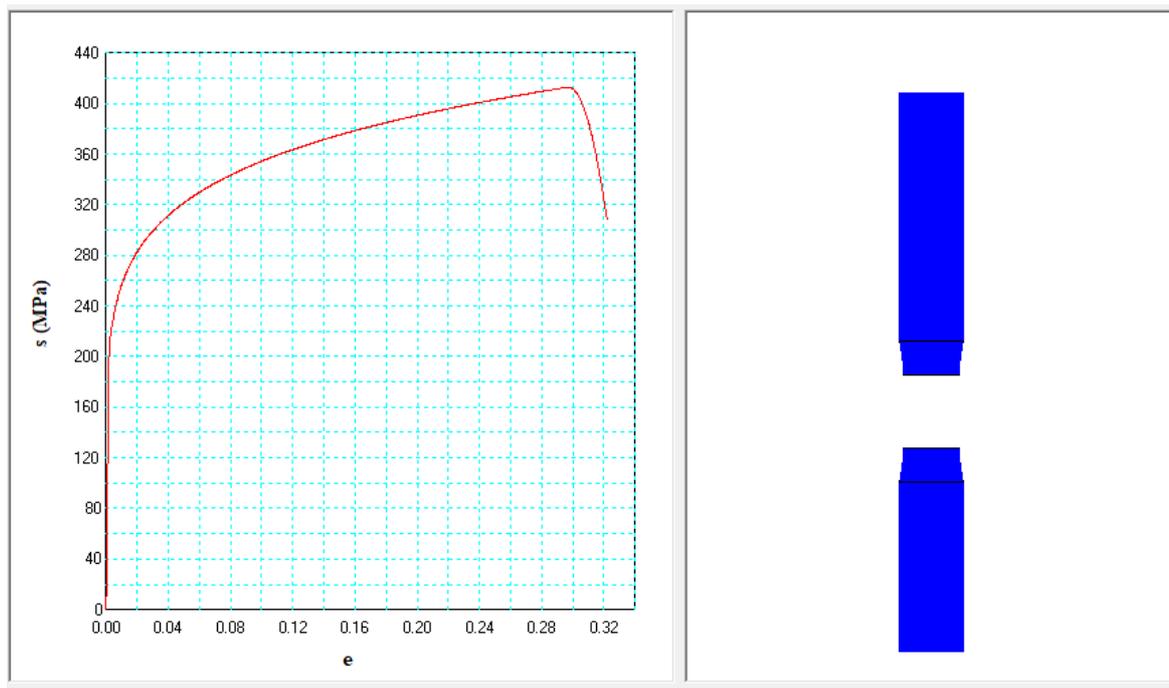


Fig 5.3. Final de la simulación del ensayo de tracción para un material metálico sin fluencia (ejemplo 1) [12]

## 5.2. Sesión práctica de trazado de diagramas de fases

### 5.2.1. Introducción al concepto de equilibrio

En primer lugar, se comenzará con una introducción acerca del concepto de equilibrio termodinámico.

El concepto de equilibrio es uno de los más importantes en la Ciencia y es, además, bastante frecuente. En Ciencia de Materiales, se dice que un sistema material está en equilibrio termodinámico cuando su energía libre pase por un mínimo, por lo que no tendrá tendencia alguna a abandonar dicho estado y, entonces,  $\Delta G = 0$  [8].

Para describir el estado en el que se encuentra un determinado sistema material son necesarias variables termodinámicas como la composición, la temperatura, la presión, el volumen, etc. Puede decirse que cierto estado es un estado de equilibrio termodinámico si las variables termodinámicas que lo caracterizan no varían con el tiempo. Una consecuencia inmediata de esta definición es que, cuando un sistema ha alcanzado un estado de equilibrio, sus variables intensivas (aquellas que no dependen de la masa del sistema como la presión, la concentración, la temperatura y la densidad) adoptan el mismo valor en todo el sistema [8].

En las situaciones de equilibrio en las que se ven involucrados sistemas materiales, aun cuando en la escala macroscópica, por definición, no se aprecien cambios, en la escala microscópica, la situación es totalmente distinta y, generalmente, es escenario de una intensa actividad [8].

Si un sistema está en equilibrio y queremos alterar sus condiciones para llevarlo a un nuevo y diferente estado de equilibrio, surgen dos opciones para hacerlo. La primera de ellas, consiste en alterar bruscamente sus condiciones para que se adecuen a las nuevas exigencias. Durante este proceso, magnitudes estadísticas como la presión y la temperatura, que solo están definidas para estados de equilibrio, quedarán indefinidas hasta alcanzar el siguiente estado de equilibrio, que por definición estará caracterizado por una cierta presión y temperatura [8].

Por otro lado, la segunda forma de proceder sería efectuando los cambios con notable lentitud, de manera cuasiestática, para que el sistema estuviera en todo instante en una situación muy cercana a la del equilibrio previo [8].

La primera forma de realizar los cambios, en términos termodinámicos, se denomina irreversible ( $\Delta S > 0$ ), mientras que la segunda sería reversible ( $\Delta S = 0$ ) [8].

Los equilibrios, por su parte, pueden ser estables, inestables y metaestables. La Fig 5.4 ilustra un símil mecánico que ayudará a comprender estos tipos de equilibrio.

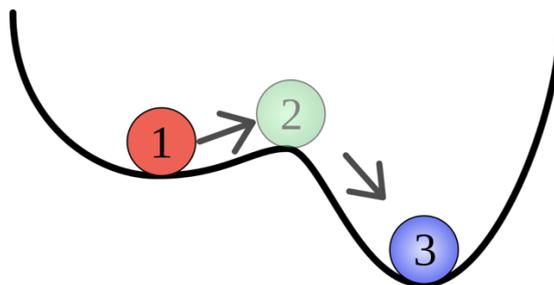


Fig 5.4. Equivalente mecánico de los diferentes tipos de equilibrio. (1) Metaestable, (2) inestable y (3) estable [19]

Un equilibrio es estable cuando el sistema posee la mínima energía posible. En estas condiciones, una pequeña variación de un factor externo (temperatura o presión) no altera, apreciablemente, el sistema de equilibrio. La estabilidad se traduce en una escasa tendencia

a los cambios [8].

Para comprender el equilibrio metaestable, se puede recurrir a la transformación vítrea que permite la obtención de vidrios. Pese a que las fases así obtenidas no son fases de equilibrio estable, el sistema puede permanecer en ellas indefinidamente, a menos que alguna curse alguna perturbación importante [8].

Por último, un estado será inestable cuando una pequeña perturbación de un factor externo altere el estado de equilibrio [8].

### **5.2.2. Introducción a los diagramas de fases**

Los diagramas de fases o diagramas de equilibrio son representaciones gráficas que muestran las fases existentes en equilibrio en un sistema material, para diferentes composiciones y bajo distintas condiciones de temperatura y presión. Estas representaciones serán útiles siempre que los calentamientos o enfriamientos a los que se vea sometido el sistema sean suficientemente lentos [8].

El cálculo teórico de un diagrama de fases binario consiste en el trazado de sus líneas, tanto las que separan las zonas monofásicas de las bifásicas, como las que revelan puntos invariantes fortuitos. En el caso de conocer previamente el tipo de diagrama y disponer de la adecuada información termodinámica, existe la posibilidad de calcular sus líneas, de forma aproximada, mediante argumentos muy simples [12].

A continuación, se explicarán los distintos tipos de diagramas:

#### **5.2.2.1. Diagramas del tipo I**

Corresponden a sistemas con solubilidad total en estado líquido y en estado sólido, cualidad por la que reciben el nombre de sistemas isomorfos [8].

En estos sistemas aparece una región bifásica donde conviven una solución sólida sustitutiva (S) y una solución líquida (L), ambas constituidas por los componentes A y B. La Fig 5.5 muestra el diagrama de equilibrio calculado para el sistema Ni-Cu [12].

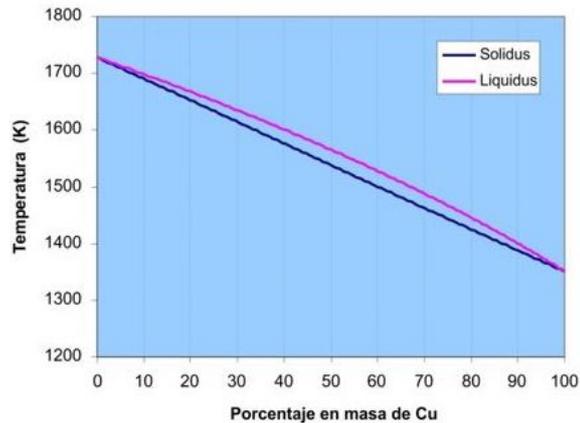


Fig 5.5. Diagrama teórico Ni-Cu (izquierda) calculado a partir de los siguientes datos:  $T_{Ni} = 1728$  K,  $T_{Cu} = 1351$  K,  $\Delta H_{Ni} = -17610$  J/mol,  $\Delta H_{Cu} = -13050$  J/mol,  $M(Ni) = 58.71$  g/mol,  $M(Cu) = 63.55$  g/mol [12]

A continuación, se presenta el diagrama experimental Ni-Cu (Fig 5.6).

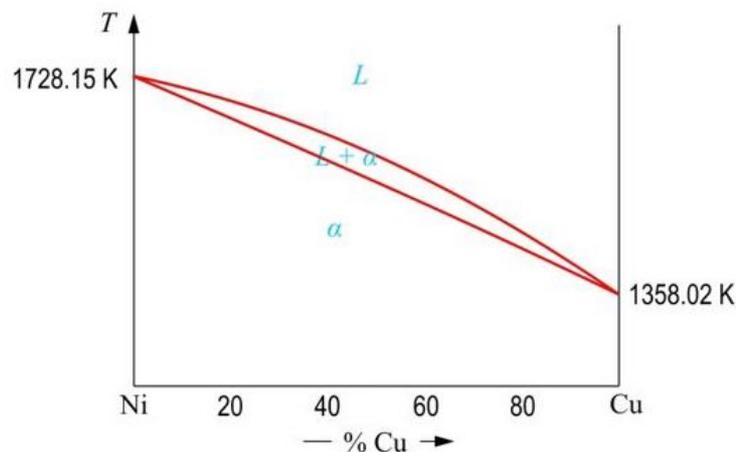


Fig 5.6. Diagrama experimental Ni-Cu [12]

### 5.2.2.2. Diagramas del tipo II

Estos diagramas corresponden a sistemas con solubilidad total en estado líquido y completa insolubilidad en estado sólido [8].

Para una aleación con insolubilidad total de sus componentes en estado sólido, existen dos regiones bifásicas entre líquido y sólido, en las que intervienen, por separado, los componentes puros. Un punto de gran interés en el cálculo es el que da la composición y temperatura del punto eutéctico [12]. El punto eutéctico indica que si el sistema tuviese su composición, comenzaría a fundir a la temperatura más baja posible para el sistema considerado [12].

En la Fig 5.7 se presenta el resultado del cálculo del diagrama correspondiente al sistema Cd-Bi. Según estos cálculos, el eutéctico debería situarse en el 60.1% Bi y a la temperatura de 407.8 K [12].

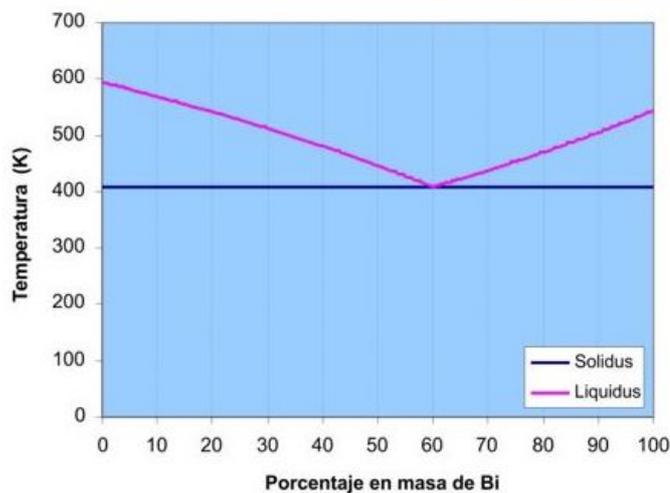


Fig 5.7. Diagrama teórico Cd-Bi calculado a partir de los siguientes datos:  $T_{Cd} = 594$  K,  $T_{Bi} = 544$  K,  $\Delta H_{Cd} = -6410$  J/mol,  $\Delta H_{Bi} = -10890$  J/mol,  $M(Cd) = 112.41$  g/mol,  $M(Bi) = 208.98$  g/mol [12].

En la Fig 5.8 se pueden apreciar los datos experimentales, que también lo sitúan en torno al 60% Bi a 419 K [12].

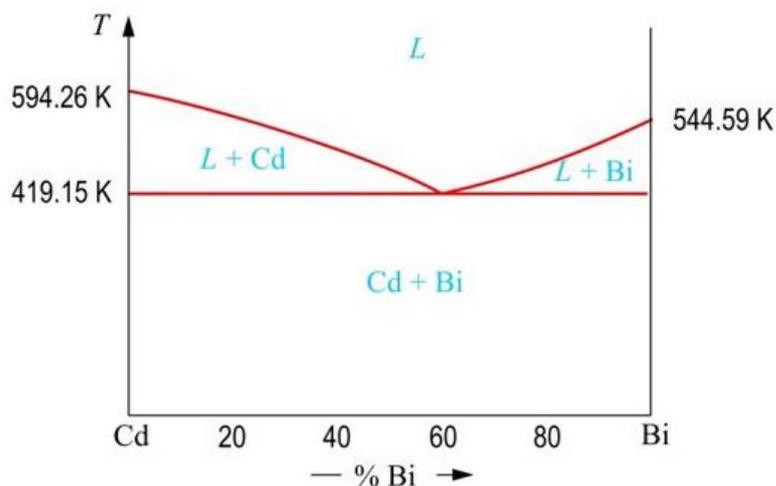


Fig 5.8. Diagrama experimental Cd-Bi [12]

### 5.2.2.3. Diagramas del tipo III

Estos diagramas corresponden a sistemas con solubilidad total en estado líquido y

con solubilidad parcial en estado sólido, con presencia de una transformación eutéctica [8].

Como existe solubilidad parcial, de nuevo habrá dos líneas de líquidus en el diagrama, de cuya intersección se podrá obtener el punto eutéctico [12].

Se tendrán que calcular, también, las dos ramas de la línea de sólidos, enlazadas por una horizontal a la temperatura eutéctica y, por último, las líneas de solvus correspondientes. Las fases que aparecen en el diagrama serán: el sólido  $S_a$ , formado principalmente por el componente A pero con algo de B; el sólido  $S_b$ , que es predominantemente B con algo de A; y el líquido L, que contiene tanto A como B. Tal y como sucedía en el caso anterior, resulta esencial determinar la temperatura y puntos eutécticos, pero en este caso, además, es necesario encontrar, a esa temperatura, las solubilidades máximas de las fases sólidas [12].

En la Fig 5.9 se muestra el diagrama calculado para el sistema Ag-Cu. Conforme a estos cálculos, el eutéctico debería situarse en el 26.6% Cu [12].

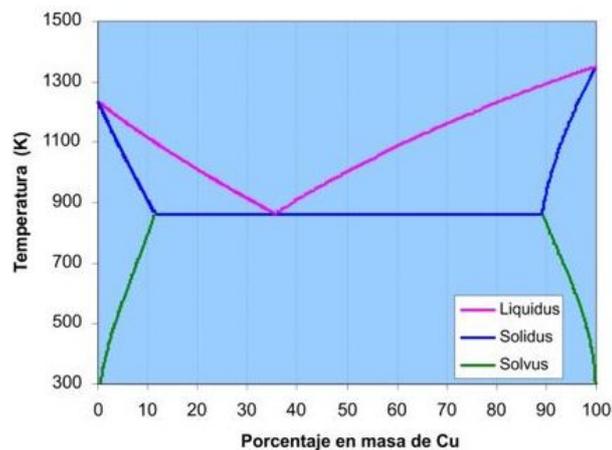


Fig 5.9. Diagrama teórico Ag-Cu calculado a partir de los siguientes datos:  $T_{Ag} = 1233.8 \text{ K}$ ,  $T_{Cu} = 1351 \text{ K}$ ,  $\Delta H_{Ag} = -11090 \text{ J/mol}$ ,  $\Delta H_{Cu} = -13050 \text{ J/mol}$ ,  $m_{Ag} = 18000 \text{ J/mol}$ ,  $m_{Cu} = 11800 \text{ J/mol}$ ,  $M(Ag) = 107.87 \text{ g/mol}$ ,  $M(Cu) = 63.55 \text{ g/mol}$  [12]

En la Fig 5.10 se puede apreciar el diagrama experimental Ag-Cu, que sitúa el eutéctico en el 28.8%, muy próximo al valor calculado en el diagrama teórico [12].

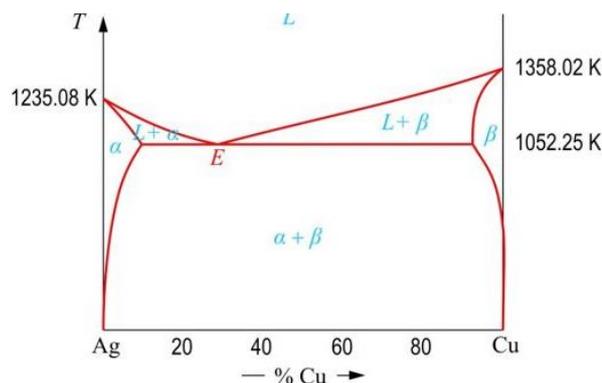


Fig 5.10. Diagrama experimental Ag-Cu [12]

#### 5.2.2.4. Diagramas del tipo IV

Este tipo de diagramas de equilibrio es el que presentan sistemas binarios con solubilidad total en estado líquido y solubilidad parcial en estado sólido, en los que está presente una transformación peritética [8].

En este caso, las fases que aparecen en el diagrama serán, al igual que en los diagramas tipo III, el sólido  $S_a$ , el sólido  $S_b$  y el líquido  $L$ , que en todos los casos contienen tanto A como B, en distintas proporciones. Como en los casos anteriores, resulta trascendente determinar la temperatura y puntos de la transformación invariante (la peritética en este caso). Además, es necesario encontrar, a esa temperatura, las solubilidades máximas de las fases sólidas [12].

En la Fig 5.11 se muestra el resultado del cálculo del diagrama correspondiente al sistema Re-Pt. Según estos cálculos, el peritético debería situarse en el 54.58% Pt [12].

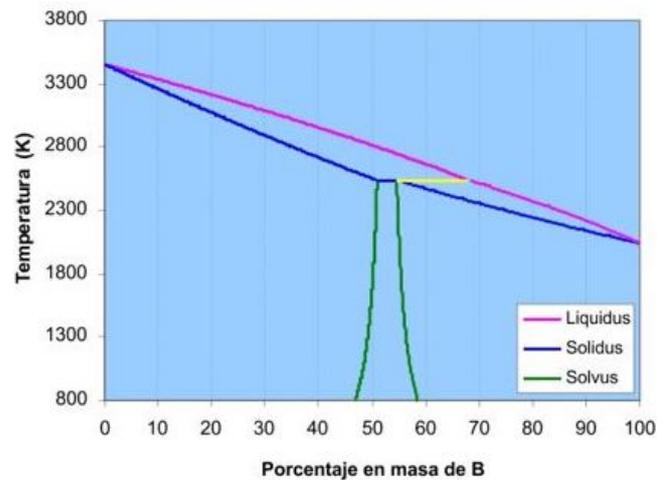


Fig 5.11. Diagrama teórico Re-Pt calculado a partir de los siguientes datos:  $T_{Re} = 3453 \text{ K}$ ,  $T_{Pt} = 2042 \text{ K}$ ,  $\Delta H_{Re} = -33500 \text{ J/mol}$ ,  $\Delta H_{Pt} = -19700 \text{ J/mol}$ ,  $m_{Re} = 1600 \text{ J/mol}$ ,  $m_{Pt} = 1500 \text{ J/mol}$ ,  $M(Re) = 186.2 \text{ g/mol}$ ,  $M(Pt) = 195.09 \text{ g/mol}$  [12]

Por otra parte, en la Fig 5.12 se puede apreciar el resultado experimental, que resulta ser de 58% Pt [12].

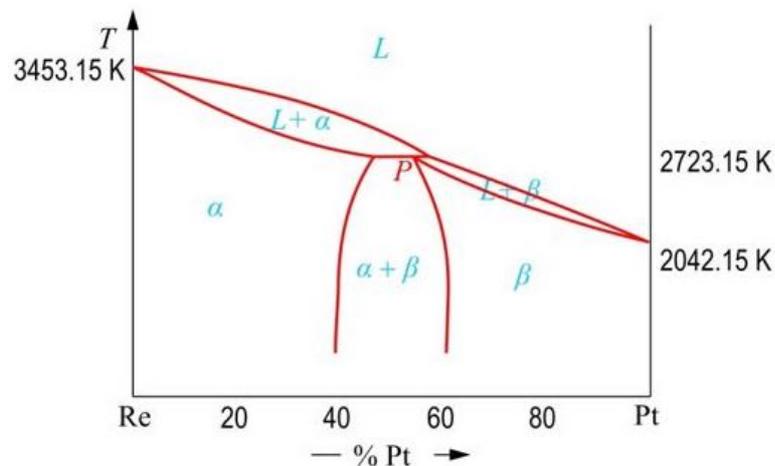


Fig 5.12. Diagrama experimental del sistema Re-Pt [12]

### 5.2.3. Guía detallada del funcionamiento del programa

En este apartado se describirá el funcionamiento del programa pormenorizadamente, con el objetivo de que el alumnado pueda emplearlo el próximo curso.

En primer lugar, se descargará e instalará el programa elaborado por don Juan Manuel Montes Martos, catedrático de la Universidad de Sevilla, desde la web de Derematerialia. Una vez ejecutado, aparecerá una interfaz con información muy

diversa [12].

Lo primero que se deberá hacer es elegir qué tipo de diagrama de fases se quiere calcular (tipo I, II, III ó IV). En la Fig 5.13 se puede apreciar un pantallazo de lo que el usuario verá en la interfaz para cambiar esta selección [12].



Tipo I    Tipo II    Tipo III    Tipo IV

Fig 5.13. Elección del tipo de diagrama [12]

En segundo lugar, se deberá cumplimentar una serie de datos característicos del diagrama a calcular, en relación a los elementos que en él intervienen ( $T_F$ ,  $\Delta H$  y  $M$ ). En la Fig 5.14 se puede apreciar un pantallazo de la interfaz que verá el usuario para completar estos datos.

	Componente A	Componente B
$\Delta H$ (J/mol)	<input type="text" value="-8000.0"/>	<input type="text" value="-16000.0"/>
TF (K)	<input type="text" value="1000"/>	<input type="text" value="2000"/>
M (g/mol)	<input type="text" value="190"/>	<input type="text" value="100"/>

Fig 5.14. Datos característicos de los elementos que intervienen en el diagrama [12]

A continuación, se elegirá la forma de presentar los resultados. En la Fig 5.15 se puede apreciar un pantallazo de las opciones que presenta el programa.



Fracción molar    % Masa   Puntos

Fig 5.15. Posibilidades para presentar los datos una vez se calcule el diagrama [12]

Una vez elegida la forma de presentar los resultados, se procederá a presionar el botón de calcular. En la Fig 5.16 se puede apreciar cómo aparece la opción en el programa.



Fig 5.16. Opción de calcular el diagrama con los datos introducidos o abandonar el programa [12]

Por último, una vez presionado el botón de calcular, los resultados del punto invariante, en caso de haberlo, aparecerán en esta otra parte de la interfaz (Fig 5.17).

T (K) invar	X invar	C invar	
788.231	0.228	13.44	
X1 invar	X2 invar	C1 invar	C2 invar
0	1	0	100

Fig 5.17. Resultados del punto invariante del diagrama [12]

#### 5.2.4. Posible aplicación

Como se ha comentado anteriormente, esta sesión práctica no aplicaría al alcance de este trabajo fin de máster. Sin embargo, al parecer interesante pese a no encajar los contenidos con las asignaturas de la especialidad del Máster, se coloca en este apartado y se sugiere, siempre que se tenga la aprobación de los responsables del departamento, la posibilidad de implantarla en la asignatura de Ciencia de Materiales del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales.

La principal ventaja que muestra esta práctica es que se puede realizar de manera no presencial, factor que encaja muy bien con las circunstancias actuales de la crisis sanitaria.



## Conclusiones

Este TFM surge como una ayuda para mejorar la docencia de las asignaturas de la especialidad de Materiales del MUEI. Por lo tanto, todas las actividades propuestas serán implementadas siempre que los responsables de las asignaturas a las que pertenecen lo consideren oportuno.

Un factor que ha condicionado la realización de este TFM ha sido el reducido número de alumnos que recibe la especialidad de Materiales en cada curso académico. Esto permite que las inversiones en material y equipo para la realización de prácticas de laboratorio no sea muy elevada. Además, la coordinación de las mismas podrá ser llevada a cabo por un único profesor, hecho que resulta positivo dadas las circunstancias de salud actuales.

Estas circunstancias, que limitarán la realización de actividades presenciales, han sido las que han promovido la incorporación de diversas actividades prácticas a realizar de manera no presencial, mediante distintos programas informáticos. Esto permitirá al responsable de la asignatura realizar una práctica a distancia mediante algún tipo de plataforma de comunicación, en la que pueda explicar a los alumnos el funcionamiento del mismo y de la actividad a desarrollar.

Por otro lado, pese a que se especifica que este proyecto se centrará en las asignaturas de la especialidad de Materiales del MUEI, se han añadido diversas actividades que se escapan del contenido de las mismas (apartado 5). La razón por la que se han incorporado estas actividades es porque este trabajo se entiende como una ayuda al departamento de Ciencia e Ingeniería de los Materiales de la ETSEIB. Como se encontraron estas actividades, que además son no presenciales y pueden enlazar con el contenido de otras asignaturas impartidas en la Escuela (GETI), se decidió presentarlas en un apartado al final del trabajo.





## Bibliografía

### Referencias bibliográficas

- [1] ACOFARMA (2015), Formulación magistral, *Obtenido el 15 de marzo de 2020 de <https://www.formulacionmagistral.org>*
- [2] CEDRÓN, J.; LANDA, V.; ROBLES, J. (2011), *Química general – polímeros*, Obtenido el 17 de marzo de 2020 de <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/82-polimeros.html>
- [3] ECURED (2019), *Ácido clorhídrico*, Obtenido el 18 de marzo de 2020 de [https://www.ecured.cu/Ácido\\_clorhídrico](https://www.ecured.cu/Ácido_clorhídrico)
- [4] ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA (2019), *Urea – chemical compound*, Obtenido el 25 de abril de 2020 de <https://www.britannica.com/science/urea>
- [5] GE RENEWABLE ENERGY (s.f.), *About us – our purpose*, Obtenido el 4 de junio de 2020 de <https://www.ge.com/renewableenergy/about-us>
- [6] GOOGLE SITES (s.f.), *Plásticos – baquelita*, Obtenido el 23 de marzo de 2020 de <https://www.sites.google.com/site/plasticos1415/baquelita>
- [7] MARIANO (s.f.), *Tecnología de los plásticos – resinas urea-formaldehído*, Obtenido el 23 de marzo de 2020 de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/11/resinas-urea-formaldehido.html>
- [8] MONTES, J.M., CUEVAS, F.G., CINTAS, J. (2014), *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Madrid, España, Paraninfo
- [9] SAFETY CHEMICAL (2020), *Chemical Safety Facts*, Obtenido el 18 de marzo de 2020 de <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/formaldehido>
- [10] SANCHO CAPARRINI, F. (2016), *Autómatas celulares*, Obtenido el 30 de mayo de 2020 de <https://www.cs.us.es/~fsancho/?e=66>
- [11] SEAT (2020), *Producción de la fábrica de Martorell*, Obtenido el 13 de junio de 2020 de <https://www.seat-mediacentre.es/companypages/facilitiespage/martorell-production-facility.html>
- [12] TERNERO, F.A., SÁNCHEZ, E., URBAN, P., MONTES, J.M., CINTAS, J., PINTO, J.,

GÓMEZ, F.P. (s.f.), *Derematerialia*, Obtenido el 28 de mayo de 2020 de <https://www.derematerialia.com>

- [13] UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA (2018), *Práctica de Metalografía y Microscopía*, Obtenido el 25 de abril de 2020 de <https://www.youtube.com/watch?v=N7CR0z0vBoY>
- [14] UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA (2018), *Práctica de polímeros*, Obtenido el 21 de abril de 2020 de <https://www.youtube.com/watch?v=GQL3NGpAsvM>
- [15] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA (2018), *Guía docente Biomateriales*, Obtenido el 10 de marzo de 2020 de la secretaría virtual de la UPC (e-secretaria)
- [16] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA (2019), *Guía docente Nanotecnología*, Obtenido el 10 de marzo de 2020 de la secretaría virtual de la UPC (e-secretaria)
- [17] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA (s.f.), *Centro Catalán del Plástico*, Obtenido el 17 de mayo de 2020 de <https://www.upc.edu/ccp/presentacion/presentacion.html>
- [18] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (2013), *Corrosión Metálica y su protección*, Obtenido el 10 de junio de 2020 de <https://www.youtube.com/watch?v=w2cBncmuSnQ>
- [19] WIKIPEDIA (2019), *Metaestabilidad*, Obtenido el 14 de junio de 2020 de <https://www.wikipedia.org/wiki/Metaestabilidad>