

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA



DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL



Experiencias auxiliares en el aula  
para la enseñanza de

# Ciencia e Ingeniería de materiales

a estudiantes de Ingeniería



Arturo Barba Pingarrón

Rafael González Parra



Experiencias auxiliares en el aula  
para la enseñanza de

---

# Ciencia e Ingeniería de materiales

---

a estudiantes de Ingeniería

Arturo Barba Pingarrón  
Rafael González Parra

Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados (CENISA)  
Departamento de Ingeniería de Diseño y Manufactura  
División de Ingeniería Mecánica e Industrial  
Facultad de Ingeniería, UNAM

Para visualizar la obra  
te sugerimos

Acrobat Reader  
Haz Click

BARBA PINGARRÓN, Arturo

GONZÁLEZ PARRA, Rafael

*Experiencias auxiliares en el aula para la enseñanza  
de Ciencia e Ingeniería de materiales a estudiantes de ingeniería*

Universidad Nacional Autónoma de México,

Facultad de Ingeniería, 2022, 109 p.

*Experiencias auxiliares en el aula para la enseñanza de Ciencia  
e Ingeniería de materiales a estudiantes de ingeniería*

Primera edición electrónica de un ejemplar (5 MB) Formato PDF

Publicado en línea el 22 de noviembre de 2022

D.R. © 2022, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Avenida Universidad 3000, Col. Universidad Nacional Autónoma  
de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510,  
México, CDMX.

FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://www.ingenieria.unam.mx/>

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad  
Nacional Autónoma de México. Prohibida la reproducción o  
transmisión total o parcial por cualquier medio sin la autorización  
escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Hecho en México.



---

UNIDAD DE APOYO EDITORIAL

Cuidado de la edición: María Cuairán Ruidíaz

Diseño editorial y formación: Nismet Díaz Ferro

Imagen de portada: Freepik, imágenes en interiores: uso libre

# Índice

I	
1.1	
1.2	
1.3	
II	
2.1	
2.2	
2.3	
2.4	
2.5	
2.6	
2.7	
III	
3.1	
3.2	
IV	
4.1	
4.2	
4.3	
4.4	
4.5	
V	
5.1	
5.2	
5.3	

INTRODUCCIÓN ..... 5

## SECCIÓN I

Experiencias de estructuras e imperfecciones cristalinas. .... 12

1.1	Representación de celdas unitarias y redes cristalinas ..... 12
1.2	Representación espacial de imperfecciones cristalinas ..... 19
1.3	Simulación de los ordenamientos y movimientos atómicos, mediante burbujas de jabón ..... 23

## SECCIÓN II

Experiencias ligadas al comportamiento mecánico de materiales. .... 28

2.1	Deformación elástica y plástica ..... 28
2.2	Deformación en frío y recocido ..... 32
2.3	Fractura frágil y dúctil. .... 35
2.4	Fractura frágil I. .... 39
2.5	Fractura frágil II. Condiciones para el crecimiento de grietas ..... 42
2.6	Fractura por fatiga ..... 45
2.7	Fractura. Termofluencia ..... 48

<b>I</b>	
1.1	SECCIÓN III
1.2	Experiencias relacionadas con aleaciones y sus fases ..... 52
1.3	3.1. Fenómeno de difusión..... 52
<b>II</b>	3.2 Aleaciones y diagramas de fases. Determinación de fases y componentes en diversos sistemas. .... 57
2.1	SECCIÓN IV
2.2	Experiencias ligadas al deterioro de materiales ..... 64
2.3	4.1 Oxidación de los Metales ..... 64
2.4	4.2 Oxidación de los metales. Óxidos protectores y no protectores ..... 67
2.5	4.3 Conceptos básicos de corrosión ..... 70
2.6	4.4 Protección contra la corrosión ..... 77
2.7	4.5 Nociones de desgaste..... 82
<b>III</b>	SECCIÓN V
3.1	Experiencias con materiales no metálicos ..... 85
3.2	5.1 Generalidades de materiales cerámicos..... 85
<b>IV</b>	5.2 Características de materiales poliméricos ..... 90
4.1	5.3 Nociones de materiales compuestos ..... 98
4.2	REFERENCIAS ADICIONALES ..... 102
4.3	
4.4	
4.5	
<b>V</b>	
5.1	
5.2	
5.3	

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

## Introducción

Este texto de Experiencias Auxiliares reúne un grupo de experimentos y actividades breves que se pueden llevar a cabo, con elementos de uso común, en la mayoría de los casos, en un salón de clases y de realización sencilla, dirigidos a facilitar y colaborar en el proceso de enseñanza de temas de Materiales a estudiantes de carreras de Ingeniería.

Las asignaturas de Materiales son una parte fundamental de los planes de estudio de prácticamente todas las carreras de Ingeniería. Sus contenidos han venido evolucionando para incluir todos los tipos de materiales que se emplean industrialmente y también introducir avances relevantes que se han ido generando en años más recientes. Este fenómeno de continuo cambio en un sector tan dinámico como el de los Materiales y como consecuencia, en el de su enseñanza y aprendizaje, se ha venido dando de forma acelerada en todo el mundo. Cabe destacar, entre otros, los esfuerzos de países como Inglaterra, Francia, Bélgica, España o Japón, por mencionar algunos. Una evidencia que ejemplifica ese cambio es la modificación que en muchos países ha ocurrido, del tránsito de la carrera de Ingeniería Metalúrgica hacia la de Ingeniería en Materiales (o la con-

## I

1.1

vivencia de ambas), en la que se abordan con mayor amplitud todo tipo de materiales, no solo el de los metales, como ocurrió por muchos años.

1.2

1.3

## II

2.1

En el caso de nuestro país esto también ha sucedido, pero a un ritmo más lento. En cuanto a enseñanza en las carreras de Ingeniería, se da una variedad de condiciones y situaciones en las varias instituciones educativas nacionales. Existen universidades bien equipadas, en las que se imparten estas materias durante dos semestres con sus respectivas prácticas de laboratorio. En el otro extremo y dependiendo de la carrera considerada, en varias instituciones universitarias se dicta la materia de Ingeniería o de Tecnología de Materiales durante un semestre y sin prácticas de laboratorio, asociado a lo cual usualmente resalta el hecho de un equipamiento insuficiente o nulo. A lo largo de varios semestres y años de observar la respuesta de los estudiantes cuando el curso se dictaba sin ningún tipo de actividad experimental, notaba que había desgano, desinterés, aburrimiento y bajo rendimiento de los estudiantes. En muchos casos, la estrategia del curso consistía solo en ejercitarse en la resolución de problemas numéricos ligados a varios temas del propio curso, lo cual limitaba el aprendizaje y lo convertía en algo, con frecuencia, con escasas referencias a su realidad cotidiana y a sus intereses.

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

## III

3.1

3.2

## IV

4.1

El estudio y los avances en la generación de los materiales en los centros de investigación y desarrollo siempre están acompañados de un fuerte carácter experimental y la insuficiencia en las labores docentes de sesiones de laboratorio es un factor que ha provocado, entre otros resultados, desinterés y carencias en el aprendizaje de estos temas por parte de los estudiantes de estas carreras.

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

A lo largo de nuestra experiencia docente hemos tenido la oportunidad de vivir una diversidad de condiciones para la enseñanza de materiales tanto en diferentes instituciones nacionales como en algunas fuera del país. En

5.2

5.3

## I

1.1 todas ellas hemos podido palpar y percibir cómo los estudiantes de ingeniería, en un buen porcentaje, muestran un marcado interés por la realización de actividades experimentales y el llevarlas a cabo provoca en ellos el sentirse estimulados y con mayor disposición para el aprendizaje.

1.2

## II

2.1 A partir de detectar toda esta serie de situaciones y en la búsqueda de mejoras para ellas surgieron preguntas como las siguientes, que han impulsado, al lado de las evidencias conseguidas, una respuesta apropiada para cada una de ellas y que brevemente se describen a continuación.

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

a) ¿Pueden incorporarse actividades experimentales en el aula para estimular el interés de los alumnos?

Sí es posible, en tanto se puedan realizar en un tiempo corto y de manera sencilla y que resulte atractiva y cercana a los estudiantes.

## III

b) ¿Es viable realizarlas con las limitaciones de espacio y tiempo que se encuentran en un salón de clases?

3.1

3.2

Es viable, aunque, evidentemente, en función de las condiciones particulares de cada aula (y del grupo de estudiantes), habrá que realizar las adaptaciones convenientes para que su realización resulte exitosa para los propósitos del curso.

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

c) ¿Qué formato y características deben tener las actividades para poderse efectuar?

De preferencia deben emplearse elementos que sean fácilmente conseguibles. Las actividades deben, asimismo, estar asociadas a alguna realidad cotidiana de los estudiantes en la medida de lo posible y resulta

## V

5.1

5.2

5.3



## I

1.1 indispensable que los profesores puedan encontrar vías para que los  
 1.2 alumnos participen en la discusión de los resultados del experimento.

1.3

- d) ¿Que estrategias deben acompañar la realización de estas actividades para que puedan propiciar la participación de los estudiantes?

## II

2.1 Existe una gama de posibilidades que incluyen preguntas directas, en  
 2.2 algunos experimentos invitar a los estudiantes a realizarlos, llevar a  
 2.3 cabo discusiones sobre los resultados de las experiencias, proponer  
 2.4 cuestionarios, entre otras, independientemente de las que la creatividad  
 2.5 de los profesores considere oportunas, en función del grupo.

2.6

2.7

- e) ¿Conviene evaluarlas? ¿De qué modo?

2.8

En términos generales, se refiere a actividades dirigidas a estimular la participación de los estudiantes y a emplearse al inicio de los diferentes temas del curso, de modo que primordialmente no se sugiere evaluarlas o, en todo caso, darles un peso menor en el proceso de evaluación.

3.1

3.2

## III

## IV

4.1 Con el deseo ferviente de atacar esta problemática y conseguir mejoras  
 4.2 relevantes en el aprendizaje de estas asignaturas, que son básicas en las  
 4.3 carreras de ingeniería, nace este proyecto con el objetivo general de reunir un grupo de experiencias que funcionara como un auxiliar de valor para la enseñanza de diversos temas de materiales, utilizando como elemento central, una variedad de experimentos de fácil realización en el propio salón de clases.

4.4

4.5

4.6

## V

5.1 Acompañando a este propósito se planteó que incluyera un grupo de actividades que fueran atractivas para los estudiantes y la sugerencia del uso de estrategias que promovieran la participación de los alumnos y que

5.2

5.3

## I

1.1

pudieran incidir en mejorar la comprensión de los temas, con énfasis en aquellos que resultaban especialmente áridos para los estudiantes, según su propia expresión.

1.2

1.3

## II

2.1

Después de una serie de ensayos piloto con diferentes experiencias se fueron acumulando observaciones y propuestas y se llegó a la selección final de aproximadamente 20 experiencias que se integraron, adicionalmente, con otra serie de elementos como el uso de sitios de internet, animaciones, simulaciones, experimentos virtuales, videos, prácticas de laboratorio, diapositivas, ejercicios numéricos y tareas.

2.2

2.3

2.4

2.5

El texto *Experiencias auxiliares para la enseñanza de materiales en el aula a estudiantes* está dirigido a profesores que imparten asignaturas de Materiales, a estudiantes de carreras de Ingeniería tales como Ingeniería Mecánica, Industrial o Mecatrónica. El texto incluye, además de las experiencias, una lista del material necesario, el formato de realización y el tiempo recomendado, sugerencias para promover la participación de los estudiantes, si se trata de actividades individuales o grupales, además de referencias de sitios de internet donde se puede complementar la propia actividad y una serie de referencias bibliográficas complementarias. El profesor podrá, con ese instrumento, tener la posibilidad de incrementar el interés y la participación de los estudiantes, generar un ambiente de enseñanza más atractivo y relajado y conseguir aprendizajes significativos.

2.6

2.7

## III

3.1

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

*Experiencias auxiliares para la enseñanza de materiales en el aula a estudiantes de ingeniería* tiene como una primera intención la posibilidad de promover la participación de los estudiantes. Para ello es recomendable acompañar la realización de las experiencias con una serie de preguntas y explicaciones que pueden surgir de la propia dinámica de la ejecución de los experimentos o de lo que el profesor pueda preparar para propiciar la participación de los educandos.

## I

1.1

Un segundo factor por considerar para un mejor empleo de este grupo de experiencias propuesto es la de recomendar que cada profesor revise la disponibilidad de los elementos requeridos para las experiencias en su institución, o bien, en su caso, pida a los alumnos los materiales necesarios y que lleve a cabo una experimentación preliminar que le permita asegurar que ocurrirán los fenómenos esperados. Adicionalmente, por supuesto, deberá realizarse una cuidadosa planeación didáctica de cada actividad dirigida a estimular la participación de los estudiantes.

1.2

1.3

## II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

Este texto es un primer esfuerzo y un punto de partida para ser enriquecido y puede mejorarse en diversas formas. La primera de ellas es la relativa a la optimización de algunas de las experiencias y la sustitución de varias más por otras que sean más claras y efectivas en este afán de mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

## III

3.1

3.2

Una línea que conviene desarrollar y ensayar de forma adicional a esta primera versión del presente texto es la de incluir algunas experiencias virtuales contenidas en sitios de internet que permiten simular una variedad de fenómenos y que pueden resultar un buen complemento y reforzamiento de los temas tratados.

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

El texto se encuentra dividido en cinco diferentes secciones, orientadas a cubrir diversos puntos de los temarios de los cursos. La primera sección está relacionada con experiencias asociadas a las estructuras cristalinas y sus imperfecciones. En la segunda sección se presentan experiencias asociadas con el comportamiento mecánico de materiales, particularmente en lo relativo a la deformación elástica y plástica, la deformación en frío y el recocido y diversos aspectos de los procesos de formación de grietas y su crecimiento en los diferentes procesos de fractura. En la tercera sección se reúnen experiencias de difusión y otras introductorias al tema de diagramas de fase. Por su parte, en la cuarta se conjunta un grupo

## V

5.1

5.2

5.3

**I**

1.1

de experiencias ligadas al deterioro de materiales, en especial algunas de temas de oxidación y corrosión y una más sobre desgaste. Finalmente, en la última sección se describen una serie de experiencias ligadas a materiales no metálicos, es decir, cerámicos, polímeros y materiales compuestos.

1.2

1.3

**II**

2.1

En particular, se desea agradecer al Proyecto PAPIME100218 “Programa para la Actualización y Mejora de la Enseñanza y el Aprendizaje de Temas de Materiales, Manufactura e Ingeniería de Superficies a Estudiantes de Ingeniería” de la DGAPA de la UNAM por el apoyo brindado para la elaboración de este texto.

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

**III**

3.1

3.2

**IV**

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

**V**

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3

## SECCIÓN I

## Experiencias de estructuras e imperfecciones cristalinas

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

### 1.1 Representación de celdas unitarias y redes cristalinas

#### Antecedentes y objetivos

III

3.1

3.2

Los átomos se unen en función de la forma en que se encuentran distribuidos sus electrones, mediante diversos tipos de enlace (iónico, covalente, metálico, como ejemplos de enlaces fuertes) y esta forma de unirse determina, a su vez, cómo se ordenan los átomos (o iones) de lo cual derivan sus propiedades y comportamiento.

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

Cuando la forma en que se colocan los átomos (o iones) es ordenada y repetitiva, se dice que el material es cristalino y una forma de poder describir y visualizar los diferentes ordenamientos, es construyéndolos físicamente mediante el uso de esferas de “unicel” (poliestireno, puede ser otro material) y palillos (u otro tipo de objetos equivalentes).

V

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

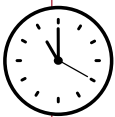
## Los objetivos de la actividad son:

- a) Que los alumnos puedan diferenciar claramente algunas de las principales celdas unitarias y estructuras cristalinas que presentan los materiales.
- b) Que los alumnos puedan, al comparar los tipos de estructuras, evaluar qué tan compacta es cada una de las celdas construidas y qué relación guarda con ello el tipo de enlace.
- c) Que los estudiantes puedan distinguir las principales características de metales, cerámicos y polímeros en función de su ordenamiento atómico.



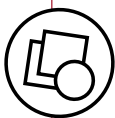
### *Formato de realización*

Colaborativo, en equipos.



### *Tiempo de realización*

2 horas aproximadamente o tiempos menores repartidos en varias sesiones, en función de la planeación del uso de las experiencias y de la participación de los estudiantes.



### *Materiales necesarios*

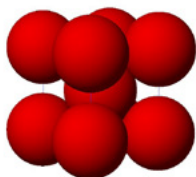
Aproximadamente 50 o 60 esferas de “unicel” de 2.5 cm de diámetro y 25 de 1.25 cm de diámetro (o equivalente para otro par de tamaños) y una caja de palillos por cada 4 alumnos.

Experiencias propuestas

**1** Se construirán trabajando en equipos de 3 a 4 personas, en un primer momento:

- a) Un plano atómico
- b) Celdas unitarias:

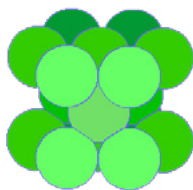
**b.1)**  
Cúbica de cuerpo centrado  
(c.cu.c) (b.c.c) [12].



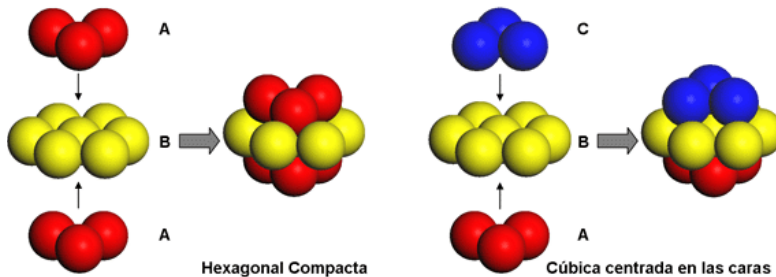
**b.2)**  
Cúbica de caras centradas  
(c.ca.c) (f.c.c) [12].



**b.3)**  
Hexagonal compacta (h.c) (h.c.p) [12].

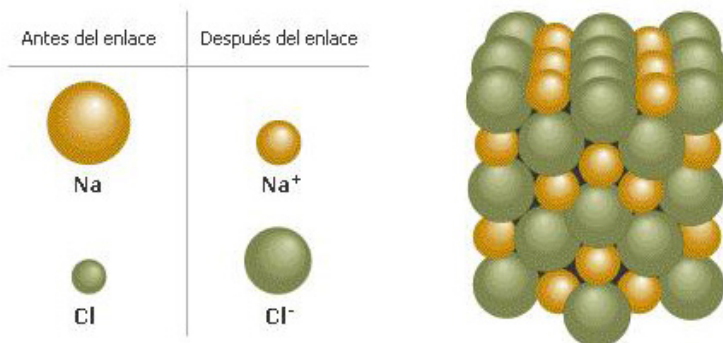


**b.4)** Secuencias de apilamiento (empaquetamiento) [13].



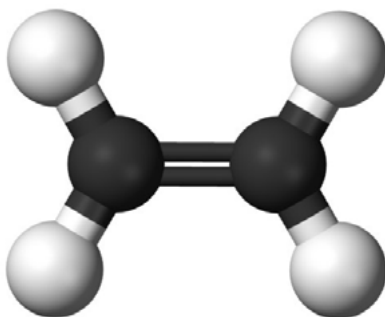
## b.5)

La celda unitaria de un cerámico (cloruro de sodio, tomando en cuenta que el tamaño de un ión de sodio es aproximadamente la mitad de uno de cloro) [14].



## b.6)

Una molécula de etileno (tomando en cuenta los correspondientes ángulos entre los átomos de carbono) [15].



2

Posteriormente, luego de analizar y discutir con los estudiantes las características de las celdas unitarias construidas en el punto anterior, unir ahora varias celdas unitarias y realizar nuevas observaciones y determinar el número de átomos (o iones) por celda c.c.u.c y c.c.a.c.

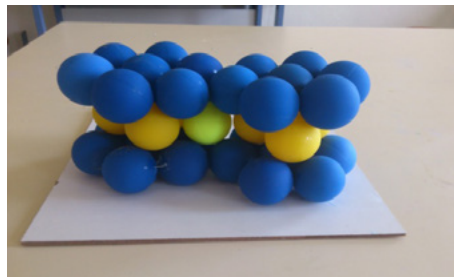
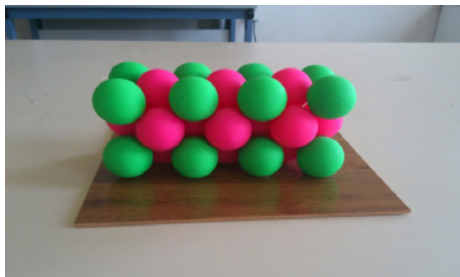


I

1.1

1.2

1.3



II

2.1

2.2

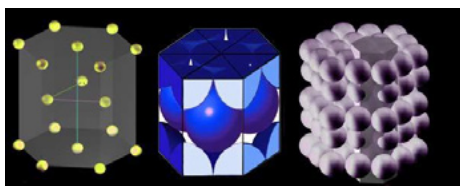
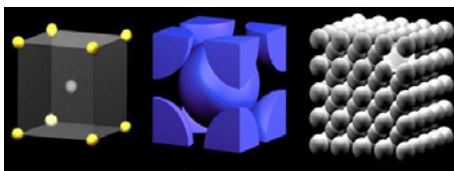
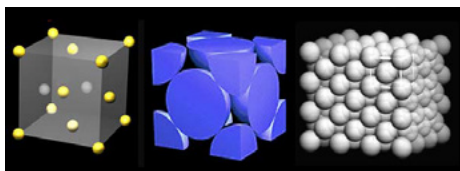
2.3

2.4

2.5

2.6

2.7



[16]

III

3.1

3.2

3

Unir (construir) también varias moléculas de etileno y observar el ordenamiento que se genera (polietileno) y comentarlo con los estudiantes.

IV

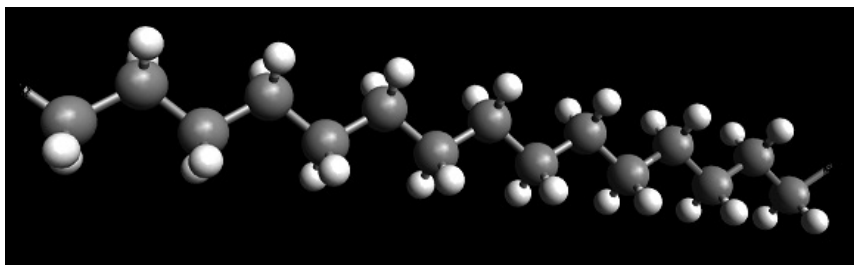
4.1

4.2

4.3

4.4

4.5



[17]

V

5.1

5.2

5.3

I

## Comentarios y sugerencias adicionales

- 1) La construcción en el aula es un ejercicio que se puede complementar fuera de ella, si los equipos pintan de colores los átomos (o iones) y moléculas y colocan las celdas unitarias sobre una base de madera o algún material equivalente y las entregan una semana después.
- 2) Será conveniente acompañar la elaboración de las celdas y moléculas con una diversidad de comentarios sobre los métodos experimentales de que se dispone (microscopía electrónica de transmisión, difracción de rayos X, microscopía de fuerza atómica) para estudiar el ordenamiento de los átomos (iones) y moléculas en un material.

## Referencias electrónicas

- [1] <http://www.materials.ac.uk/elearning/matter/index.asp> (Consultado el 19 de marzo de 2020).
- [2] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2363> Modelo PVC (Consultado el 20 de marzo de 2020).
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=4YrMidwE9mA> Modelo Fluorita (Consultado el 20 de marzo de 2020).
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=Rm-i1c7zr6Q>.  
Diferentes celdas unitarias (Consultado el 20 de marzo de 2020).
- [5] <https://www.youtube.com/watch?v=F4Du4zI4GJ0>.  
Parte 2 de la anterior (Consultado el 20 de marzo de 2020).
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=NYVSI83KiKU>.  
14 redes de Bravais (Consultado el 20 de marzo de 2020).
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=oIevxVKgJFg>.  
¿Qué es el número de coordinación?  
(Consultado el 20 de marzo de 2020).

V

1.1  
1.2  
1.3  
2.1  
2.2  
2.3  
2.4  
2.5  
2.6  
2.7  
3.1  
3.2  
4.1  
4.2  
4.3  
4.4  
4.5  
5.1  
5.2  
5.3

## I

- 1.1 [8] <https://www.youtube.com/watch?v=CsnNbuqxG7k>.  
Celdas unitarias cúbicas (Consultado el 20 de marzo de 2020).
- 1.2 [9] <https://www.youtube.com/watch?v=uKpr-9vmgsc>.  
Celda hexagonal 3D (Consultado el 20 de marzo de 2020).

## II

- 2.1 [10] <https://www.youtube.com/watch?v=7TdNbg3Kt2c>. BCC, FCC y HCP  
Ejemplos (Consultado el 20 de marzo de 2020).
- 2.2 [11] <https://www.seas.upenn.edu/~chem101/sschem/metallicsolids.html>  
(Consultado el 21 de marzo de 2020).
- 2.3 [12] <https://www.stlfinder.com/3dmodels/face-centered-cubic-cell>  
(Consultado el 19 de marzo de 2020).
- 2.4 [13] [http://www.chem.qmul.ac.uk/surfaces/scc/scat1\\_1.htm](http://www.chem.qmul.ac.uk/surfaces/scc/scat1_1.htm)  
(Consultado el 19 de marzo de 2020).
- 2.5 [14] [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/qda1106/CAP3/3A/3A2/index.htm](http://www7.uc.cl/sw_educ/qda1106/CAP3/3A/3A2/index.htm)  
(Consultado el 19 de marzo de 2020).
- 2.6 [15] <http://equip4quimic3.blogspot.com/2013/03/etilenopropiedades-fisicas-quimicas-y.html> (Consultado el 21 de marzo de 2020).
- 2.7 [16] [https://www.fsb.unizg.hr/usb\\_frontend/files/1507628836-0-predavanje1.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1507628836-0-predavanje1.pdf) (Consultado el 19 de marzo de 2020).
- [17] <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/07/polietileno-pe.html> (Consultado el 19 de marzo de 2020).

## III

- 3.1 [16] [https://www.fsb.unizg.hr/usb\\_frontend/files/1507628836-0-predavanje1.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1507628836-0-predavanje1.pdf) (Consultado el 19 de marzo de 2020).
- 3.2 [17] <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/07/polietileno-pe.html> (Consultado el 19 de marzo de 2020).

## IV

- 4.1
- 4.2
- 4.3
- 4.4
- 4.5

## V

- 5.1
- 5.2
- 5.3

I

## 1.2 Representación espacial de imperfecciones cristalinas

### Antecedentes y objetivos

II

Las discontinuidades (o imperfecciones) que pueden presentarse en el ordenamiento atómico de un material (que frecuentemente provienen del procesamiento del propio material) tienen una muy importante influencia en el comportamiento que tienen los materiales. Por ello resulta útil obtener una idea de ellos mediante su representación en el propio salón de clases.

Las imperfecciones más pequeñas (sitios vacantes, intersticiales, sustitucionales) tendrán influencia, especialmente, tanto en las propiedades mecánicas como en la forma en que se muevan los átomos o iones en el interior de un material (difusión). Asimismo, juegan un importante papel en sus características electrónicas, por mencionar otro ejemplo relevante.

En cuanto a las imperfecciones de tamaño un poco mayor (básicamente dislocaciones), van a ser determinantes en el comportamiento mecánico de los materiales, particularmente, los materiales metálicos. Finalmente, entre las más importantes, las imperfecciones que alcanzan una dimensión mayor (límites de grano, fallas de apilamiento, maclas), van a jugar un papel de relevancia en el comportamiento mecánico de los materiales, por mencionar un ejemplo al respecto. Estas experiencias se dedicarán a conocer y a familiarizarse con esas varias imperfecciones en el ordenamiento de materiales.

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3



### *Formato de realización*

Colaborativo, en equipo.

II

2.1

2.2

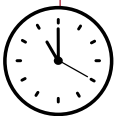
2.3

2.4

2.5

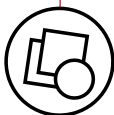
2.6

2.7



### *Tiempo de realización*

Puede hacerse la actividad en una sola sesión o ir intercalando diversas experiencias, mientras se va explicando el tema en clase.



### *Materiales necesarios*

- Aproximadamente 80-100 esferas de unicel de tamaño de 1 a 2 cm de diámetro
- Alrededor de 10 esferas de tamaño un poco mayor al tamaño medio empleado
- Aproximadamente 10 esferas de tamaño muy pequeño
- De dos a tres cajas o recipientes de palillos de madera o material equivalente

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## Experiencias propuestas

De acuerdo con la explicación introductoria realizada por su profesor, distribuyan el trabajo a todo el grupo, elaboren las correspondientes representaciones de:

**a** Átomos intersticiales

**b** Átomos sustitucionales

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

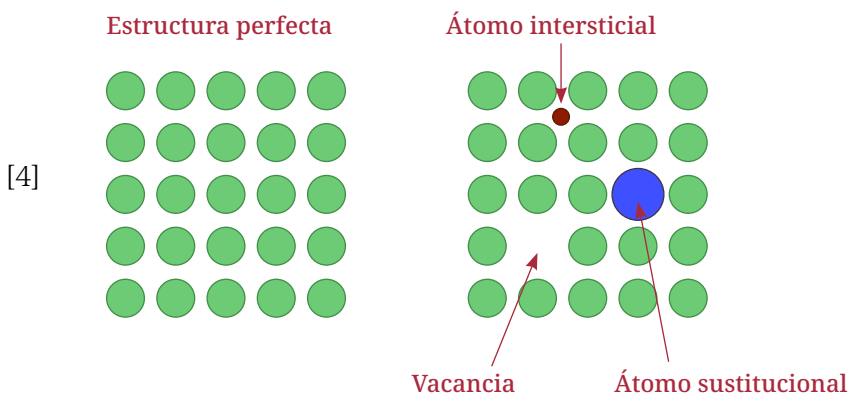
V

5.1

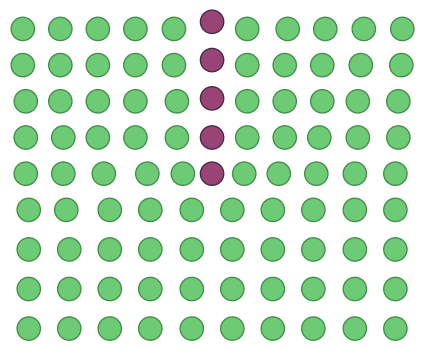
5.2

5.3

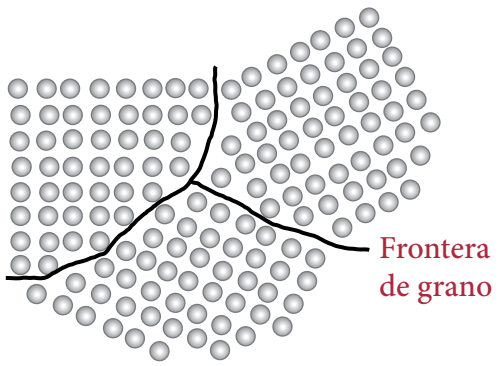
**c** Sitios vacantes



**d** Dislocaciones de borde [5]



**e** Límites (fronteras) de grano (cristal).



## Comentarios y sugerencias adicionales

- 1) Resulta muy recomendable completar estas experiencias dejando a los alumnos, como trabajo extraclase, elaborar la representación de otras discontinuidades tales como las dislocaciones helicoidales o de tornillo, las fallas de apilamiento, las maclas, etc.
- 2) Puede pensarse en sustituir las bolas de unicel por otros materiales, tales como canicas o pelotas de ping pong.
- 3) Puede complementarse el trabajo mostrando a los alumnos metales con granos de tamaño visible a simple vista, por ejemplo, en láminas de acero galvanizado.

## Referencias

- [1] <http://www.materials.ac.uk/elearning/matter/IntroductionToPoint-Defects/Vacancies/index.html> (Consultado el 18 de marzo de 2020).
- [2] [https://www.youtube.com/watch?v=7qgBMKS\\_fyo](https://www.youtube.com/watch?v=7qgBMKS_fyo) (Consultado el 18 de marzo de 2020).
- [3] [https://www.youtube.com/watch?v=-sl2Zy\\_XKhw](https://www.youtube.com/watch?v=-sl2Zy_XKhw) (Consultado el 18 de marzo de 2020).
- [4] [http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/27092012/88/esan\\_2012092713\\_9144534/ODE-e80e03ad-0ad2-3296-a99c-263bec1a4865/13\\_defectos\\_cristalinos.html](http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/27092012/88/esan_2012092713_9144534/ODE-e80e03ad-0ad2-3296-a99c-263bec1a4865/13_defectos_cristalinos.html) (Consultado el 18 de marzo de 2020).
- [5] <http://soldadurayestructuras.com/propiedades-de-los-metales.html> (Consultado el 18 de marzo de 2020).
- [6] <http://cienciaymateriales.blogspot.com/2013/04/26-defectos-cristalinos-breve.html> (Consultado el 18 de marzo de 2020).
- [7] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado el 18 de enero de 2020).

I

### 1.3 Simulación de los ordenamientos y movimientos atómicos, mediante burbujas de jabón

#### Antecedentes y objetivo del tema

II

La observación del movimiento de los átomos o iones en el interior de un material y del modo en que tienden a colocarse (ordenarse) los propios átomos o iones, en función del tipo de enlace que los une, requiere de equipos complicados como los microscopios electrónicos de transmisión de ultra alta resolución (MET), la difracción de Rayos X (DRX) o los más recientemente aparecidos microscopios de fuerza atómica (MFA) con los que comúnmente no se cuenta para su uso (por ahora, no deberá sorprendernos pensar que en un tiempo no muy largo, haya versiones “compactas” de estos equipos, para su uso didáctico). Una manera de simular estos ordenamientos es el empleo de un conglomerado de burbujas de jabón en el que cada una de ellas puede representar un átomo. Con ello se puede dar una idea a los alumnos del ordenamiento atómico de los materiales. Considere que esta primera experiencia es una introducción al tema de la estructura de los materiales y que puede (en otra sesión) reforzarse y complementarse con otras actividades, incluida la visita a equipos de MET, DRX o MFA.

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

#### Los objetivos básicos de la actividad son:

- a) Que los alumnos puedan tener una aproximación, mediante esta simulación, de cómo los átomos (o iones) se colocan cuando ocurre un cambio de estado o de fase.
- b) Que los estudiantes puedan observar que, durante ese cambio, se pueden originar diversas discontinuidades (imperfecciones) en el ordenamiento.



## I

1.1

1.2

1.3



### *Formato de realización*

Colaborativo, en equipos.

## II

2.1

2.2

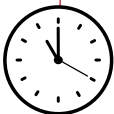
2.3

2.4

2.5

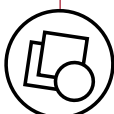
2.6

2.7



### *Tiempo de realización*

En función de la forma en que se integre a la explicación del tema, se puede usar en periodos cortos e incluso en varias sesiones.



### *Materiales necesarios*

- a. Un recipiente de vidrio transparente, preferentemente (no exclusivamente), de forma alargada (oval, rectangular, por ejemplo, de 30 o más centímetros) y de una altura reducida (preferentemente, por ejemplo, de 5 a 10 cm). De preferencia tener de 3 a 4 recipientes.
- b. Jabón líquido que genere burbujas en abundancia.
- c. Al menos un tubo de vidrio, previamente preparado como capilar (si es posible, tenga preparados 2 o 3 capilares más, incluso de diferentes diámetros).
- d. Si existen facilidades para ello, conecte el tubo capilar a una salida de aire a fin de asegurar un flujo de aire constante.

## III

3.1

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

## Experiencias propuestas

**1** Coloque agua en el recipiente de vidrio hasta cubrir poco más de la mitad de la altura del propio recipiente. Agregue ahora la cantidad de jabón líquido que le permita obtener una disolución con la que se pueda conseguir una serie de burbujas estables (ello requiere de una breve experimentación previa por parte del profesor para determinarla, dependiendo del jabón líquido empleado).

**2** Haga llegar una pequeña corriente de aire (por medio de alguno de los tubos capilares) al interior de la disolución hasta que logre generar un conglomerado de burbujas de un tamaño homogéneo y estable (es decir que las burbujas no se deshagan rápidamente). Si no cuenta con otros medios, sople usted o los estudiantes a través del capilar, intentando que su forma de soplar sea lo más regular posible.

**3** Pida a los alumnos que hagan sus observaciones y anotaciones acerca de cómo se ordenan las burbujas (filas, secciones, discontinuidades del arreglo, movimiento de esas discontinuidades, identificación de las discontinuidades, etc.).

## Comentarios y sugerencias adicionales

Pueden ensayarse, a partir de estas primeras observaciones, diversas alternativas (más adelante se hacen algunas sugerencias al respecto), que incluso pueden realizarse en varias sesiones, algunas al inicio de alguna clase, tomar fotos o videos, o dejar parte de estas experiencias como actividad extraescolar. Evidentemente, también el profesor puede efectuar esa actividad en equipos en función de los recipientes y recursos con los que se cuente. A continuación, se relatan algunas sugerencias:

I

1.1

a) En cada equipo y recipiente se puede usar diferente diámetro del capilar.

1.2

1.3

b) Se puede también picar (pinchar) algunas de las burbujas y pedir a los alumnos que observen lo que ocurre alrededor de esos sitios (lo que puede ilustrar lo que ocurre con los sitios vacantes).

II

2.1

c) Deben los estudiantes ser capaces de observar áreas definidas y claramente distinguibles en el ordenamiento, que pudiesen simular los granos o cristales de un material.

2.2

2.3

d) Si la situación lo permite, intenten realizar ligeros movimientos de secciones o de la totalidad de las burbujas y traten de ver qué reacomodos se dan en las propias burbujas.

2.4

2.5

e) Finalmente, si se adquiere cierta habilidad en la observación y se tiene un muy buen control del experimento, es posible distinguir discontinuidades e imperfecciones en el ordenamiento de los “planos atómicos” que pueden simular otro tipo de imperfecciones como las dislocaciones.

2.6

2.7

f) Puede resultar un buen auxiliar el que se observen y utilicen para la discusión los videos que se indican en las referencias.

III

3.1

3.2

IV

## Referencias

4.1

[1] <https://www.youtube.com/watch?v=Yxmh8OzLxO4>  
(Consultado 23 de marzo de 2020).

4.2

4.3

[2] <https://www.youtube.com/watch?v=pRP8dr7zO0E>  
(Consultado 23 de marzo de 2020).

4.4

4.5

[3] <http://core.materials.ac.uk/repository/doitpoms/tlp/afm.htm>  
(Consultado 22 de enero de 2020).

V

5.1

[4] <http://core.materials.ac.uk/repository/doitpoms/tlp/xray.htm>  
(Consultado 22 de enero de 2020).

5.2

5.3

## I

1.1

[5] <http://core.materials.ac.uk/repository/doitpoms/tlp/tem.htm>  
(Consultado 22 de enero de 2020).

1.2

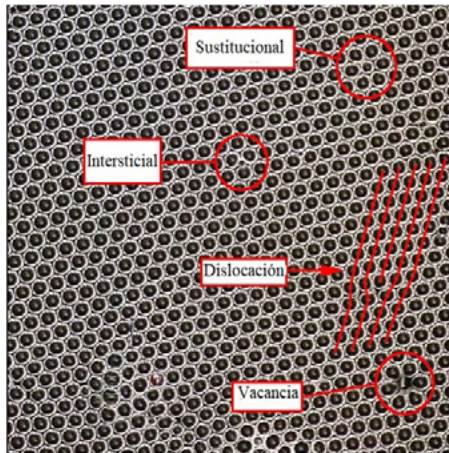
[6] [oa.upm.es](http://oa.upm.es) (Consultado 22 de enero de 2020).

1.3

[7] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado 22 de enero de 2020).

## II

2.1



2.2

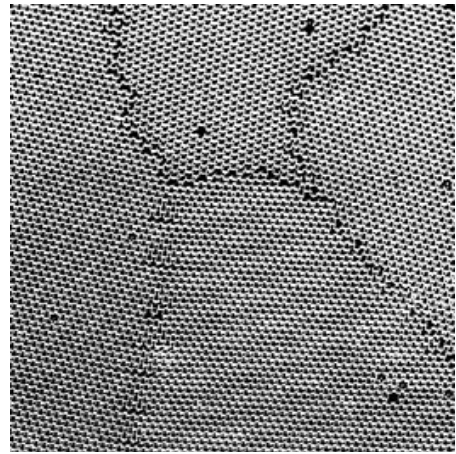
2.3

2.4

2.5

2.6

2.7



## III

3.1

[6]

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

## SECCIÓN II

## Experiencias ligadas al comportamiento mecánico de materiales

### 2.1 Deformación elástica y plástica

#### Antecedentes y objetivos

La distinción entre la deformación elástica y plástica y la respuesta dúctil o frágil de los materiales de ingeniería constituye un punto de referencia importante para iniciar el entendimiento del comportamiento mecánico de los materiales.

El objetivo de esta breve experiencia es que los alumnos conozcan, en primera instancia, las diferencias entre un comportamiento elástico y uno plástico y de ahí derivará, más adelante, el poder familiarizarse con la terminología proveniente de los diversos ensayos mecánicos que se pueden aplicar a los materiales. A su vez, los resultados de este tipo de ensayos permitirán generar información importante para la toma de decisiones acerca de procesos de diseño y de técnicas de procesamiento de materiales.

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

En la deformación elástica, dicho de manera muy simplificada, el material recupera sus dimensiones al retirar la carga aplicada (ello tiene que ver con la capacidad del enlace químico predominante respectivo de cada material para aceptar algún grado de “movilidad” de sus átomos o iones al aplicarse la carga, sin que ocurra la ruptura del propio enlace).

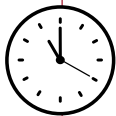
En la deformación plástica, el acomodo de los átomos o iones se ve modificado de manera (al menos parcialmente) definitiva y ello está asociado a mecanismos ligados al movimiento de imperfecciones en el material (el más común es el movimiento de dislocaciones, pero ello se revisará más adelante, pero pueden funcionar otros mecanismos en ciertos materiales).

Será motivo de estas experiencias, adentrarse en este terreno.



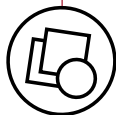
### *Formato de realización*

Colaborativo, en equipos.



### *Tiempo de realización*

Entre 15 minutos y media hora, en función de la participación de los estudiantes y el número de materiales empleados.



### *Materiales necesarios*

- Ligas
- Barras de plastilina
- Gises completos
- Si dispone de esa posibilidad, recipiente con nitrógeno líquido

I

1.1

1.2

1.3

## Experiencias propuestas

**1** A través del estiramiento de varias ligas, puede observarse el comportamiento elástico de un material.

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

**2** Ahora estírense progresivamente (poco a poco) las barras de plastilina visualizando que se trata de un ejemplo de la deformación plástica y de una respuesta dúctil de un material.

**3** Sometan a algunos gises a cargas de tracción, corte o torsión con lo que será posible evidenciar el comportamiento frágil de un material.

**4** Opcionalmente, pueden colocarse ligas en el recipiente con nitrógeno líquido (tomando las precauciones adecuadas para su manejo) y volver a someterlas a cargas de tracción para mostrar cómo un factor como la temperatura puede modificar la respuesta mecánica de un material.

III

3.1

3.2

## Comentarios y sugerencias

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

**a)** Puede ampliarse la variedad de materiales (por ejemplo, varilla de vidrio, algún plástico, etc.).

**b)** Puede variarse el tipo y la magnitud de esfuerzo aplicado, por ejemplo, sometiendo a los gises a cargas de compresión, comentando las diferencias respecto a la respuesta en tracción.

## Referencias

V

5.1

5.2

5.3

[1] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical\\_properties/tcp-interactive](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical_properties/tcp-interactive) (Consultado el 30 de enero de 2020).

## I

1.1 [2] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical\\_properties/def-beam-bending-elastic-v-plastic.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical_properties/def-beam-bending-elastic-v-plastic.swf)  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

1.2 [3] [http://core.materials.ac.uk/repository/mech\\_test/swf/bend\\_movie.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/mech_test/swf/bend_movie.swf) (Consultado el 30 de enero de 2020).

2.1 [4] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical\\_properties/tcp-ductilitymeasurement.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical_properties/tcp-ductilitymeasurement.swf)  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

2.2 [5] <http://core.materials.ac.uk/repository/doitpoms/tlp/swf/stress-strain.swf> (Consultado el 23 de enero de 2020).

2.3 [6] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical\\_properties/tcp-instron-5590-HVL-TestingMachine.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical_properties/tcp-instron-5590-HVL-TestingMachine.swf)  
(Consultado el 23 de enero de 2020).

2.4 [7] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2353>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

2.5 [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

2.6 [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

2.7 [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

III [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

3.1 [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

3.2 [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

IV [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

4.1 [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

4.2 [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

4.3 [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

4.4 [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

4.5 [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

V [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

5.1 [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

5.2 [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).

5.3 [8] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2356>  
(Consultado el 30 de enero de 2020).



I

1.1

## 2.2 Deformación en frío y recocido

1.2

1.3

### Antecedentes y objetivos

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

Los procesos de deformación en frío y el recocido (un tratamiento térmico de calentamiento seguido de un enfriamiento lento, usualmente aplicado para recuperar ductilidad de un material deformado en frío), forman parte de las operaciones industriales mediante las cuales es posible conseguir una variada serie de propiedades en los materiales metálicos de uso común. Es por ello que con esta experiencia se desea invitar a los alumnos al conocimiento de los efectos de estas operaciones en las propiedades mecánicas de un material metálico.

III

3.1

3.2

El trabajo en frío ocurre cuando un material es sometido a procesos industriales de deformación (por ejemplo, laminación, extrusión o estirado, por mencionar algunos) a temperaturas por debajo de aquella en la cual sería capaz de formar nuevos granos (lo que se conoce como temperatura de recristalización, temperatura que está por abajo, habitualmente de 0.4 de la temperatura de fusión del material en cuestión). En estas condiciones, cuando el material se va deformando, se produce simultáneamente un incremento de su resistencia (tema asociado a que se va complicando el movimiento de dislocaciones, porque van encontrando diversos tipos de obstáculos que dificultan su movilidad) y una disminución de la ductilidad, de modo tal que una opción para recuperarla es generar la formación de granos semejantes a los que inicialmente presentaba el material a través de un calentamiento a la temperatura apropiada y un enfriamiento lento, que es a lo que se conoce como recocido.

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

Conocer este par de condiciones en un material es el objetivo básico de esta actividad.

I

1.1

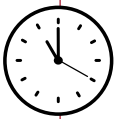
1.2

1.3



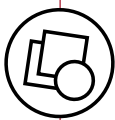
### *Formato de realización*

Colaborativo, en equipo.



### *Tiempo de realización*

Aproximadamente 15 minutos.



### *Materiales necesarios*

- Láminas de aproximadamente 0.25 mm o espesores menores de latón endurecido por deformación en frío y/o acero cold rolled (trabajado en frío), de aproximadamente 1 cm de ancho y 10 a 15 cm de longitud.
- Un mechero de alcohol o medio de calentamiento equivalente.
- Si fuera posible, un durómetro portátil con un adecuado nivel de sensibilidad.
- Pinzas para manejar las piezas calentadas.
- Cronómetro.

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

## Experiencias propuestas

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

- 1** Intente doblar las láminas previamente sometidas a deformación en frío y comentar con los estudiantes a fin de obtener opiniones acerca de su ductilidad.
- 2** Calentar (hasta el rojo brillante) algunas láminas del (los) mismo(s) material(es) que previamente intentó doblar, durante medio minuto a un minuto.
- 3** Ya que se enfríen las láminas, intente nuevamente doblarlas y evalúen los cambios observados.

I

## Comentarios y sugerencias adicionales

- 1.1
- 1.2
- 1.3
- a)** Puede opcionalmente hacer variar el tiempo de calentamiento (recocido) y si cuenta con la posibilidad de un durómetro, podrán lograrse evidencias numéricas del cambio conseguido (pueden guardarse las láminas para ser evaluada la dureza posteriormente en el laboratorio correspondiente).
- b)** Puede, eventualmente, usar, por ejemplo, láminas de plomo para compararlo en términos de su comportamiento cuando se somete a deformación a temperatura ambiente.

II

## Referencias

- 2.1
- 2.2
- 2.3
- 2.4
- 2.5
- 2.6
- 2.7
- III**
- 3.1
- 3.2
- IV**
- 4.1
- 4.2
- 4.3
- 4.4
- 4.5
- V**
- 5.1
- 5.2
- 5.3
- [1] <http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/strengthening/str-strain-0030-0020.swf>  
(Consultado 4 de febrero de 2020).
- [2] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2516>  
(Consultado 4 de febrero de 2020).
- [3] [http://core.materials.ac.uk/repository/mech\\_test/swf/brinell\\_01.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/mech_test/swf/brinell_01.swf)  
(Consultado 4 de febrero de 2020).
- [4] <http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/softening/rex-rec-hardness%20test.swf>  
(Consultado 4 de febrero de 2020).
- [5] A. Barba P., A. Covelo V., M. A. Hernández G., RValdez N, J. M. Cabrera M. “Estrategias y recursos para la enseñanza de la deformación plástica, mediante el movimiento de dislocaciones, a estudiantes de Ingeniería”. Memorias del XXI Congreso de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica. (2015). Coatzacoalcos, Veracruz.
- [6] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado 24 de enero de 2020).

## I

## 1.1 2.3 Fractura frágil y dúctil

1.2

1.3

## Antecedentes y objetivos

## II

La fractura de una pieza que forma parte de un equipo o sistema origina una serie de consecuencias en el funcionamiento habitual de dichos equipos o sistemas y en muchas ocasiones afecta labores de gran importancia tales como producción, investigación, mantenimiento, transporte y almacenamiento, etc. Tomando en cuenta lo anterior, en esta experiencia se intenta dar a conocer a los estudiantes los tipos de fractura más comunes y cómo participan en ella factores tales como la temperatura y el historial de procesamiento del material.

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

Evidentemente la fractura frágil está asociada con una grieta que, cuando se dan las condiciones apropiadas, crecerá rápida y prácticamente sin evidencia de deformación plástica en el material.

## III

3.1

3.2

Por su parte en la fractura dúctil, ese crecimiento de la grieta sucede a mucho menor velocidad y está asociado a deformación plástica en el material.

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

En general, por lo tanto, resulta más peligrosa la fractura frágil, dado que no hay posibilidad, en muchas ocasiones, de tener alguna señal de la presencia y posible crecimiento de la grieta.

En ese sentido, se plantea el objetivo de esta experiencia.

## V

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3



### *Formato de realización*

Colaborativo, en equipos.

II

2.1

2.2

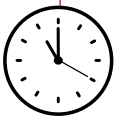
2.3

2.4

2.5

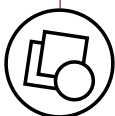
2.6

2.7



### *Tiempo de realización*

De 15 a 30 minutos, en función de la participación de los estudiantes.



### *Materiales necesarios*

- Plastilina en barra rectangular
- Un cuchillo o navaja
- Varilla de vidrio de 5 mm de diámetro
- Tubo de hule látex de 5 mm de diámetro
- Barra redonda de acero al medio carbono (por ejemplo, AISI 1045) de 2 mm de diámetro
- Mechero de Bunsen o mechero de alcohol
- Una lima triangular
- Un martillo
- De ser posible, un recipiente con nitrógeno líquido y
- Un recipiente con agua fría

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

## Experiencias propuestas

1

En un trozo de plastilina de  $1 \times 3 \times 10$  cm practique una incisión (muesca) de aproximadamente 5 mm de profundidad en un borde de una de las caras laterales en sentido longitudinal. De manera semejante a la carga aplicada en un ensayo de tracción, vaya aplicando progresivamente cada vez más carga hasta que se provoque la ruptura de la barra de plastilina y observe la superficie de fractura.

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

**2** Practique con la lima una pequeña incisión (muesca) en la varilla de vidrio y rómpala (teniendo cuidado de no cortarse) aplicando una leve presión sobre la propia varilla. Observe el aspecto de la superficie de la fractura y haga una valoración cualitativa de la tenacidad que presentó el vidrio.

**3** Tome un trozo de hule látex e intente fracturarlo a temperatura ambiente. Ahora, introduzca otro trozo de hule en el recipiente con nitrógeno líquido durante aproximadamente 2 minutos. Sáquelo y dándole algunos golpes mediante un martillo, verifique el tipo de fractura y la tenacidad que presenta bajo esta segunda condición.

**4** Caliente una barra de acero al carbono apropiada hasta llevarla a un color rojo brillante y enfríela rápidamente en agua (esto equivale a aplicar un temple al acero). Con su mano aplíquela una carga hasta que se rompa, observando el aspecto de la fractura. Ahora, repita la operación de temple en otra barra y después de enfriarla en agua fría, sométala a un nuevo calentamiento hasta que alcance un ligero tono azulado (equivale a la aplicación de un revenido). De nueva cuenta, intente romper la barra con su mano aplicándole una carga leve. Haga una comparación cualitativa de la respuesta del material, el tipo de fractura y la tenacidad, en cada caso.

### Comentarios y sugerencias adicionales

- a) Pruebe enfriar el acero luego del calentamiento con nitrógeno líquido y compare con la respuesta obtenida en la experiencia 4.
- b) Puede experimentar con otro tipo de materiales y comparar con los propuestos.

## I

1.1

1.2

1.3

## Referencias

- [1] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical\\_properties/mech-props-fractureSurfaceExercise.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical_properties/mech-props-fractureSurfaceExercise.swf) (Consultado 5 de febrero de 2020).
- [2] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=3227> (Consultado 5 de febrero de 2020).
- [3] <http://www.ammrf.org.au/myscope/sem/practice/virtualsem/> (Consultado 5 de febrero de 2020).
- [4] [http://core.materials.ac.uk/repository/mech\\_test/swf/comp\\_movie.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/mech_test/swf/comp_movie.swf) (Consultado 5 de febrero de 2020).
- [5] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado 24 de enero de 2020)

## II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

## III

3.1

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

## I

1.1

## 2.4 Fractura frágil I

1.2

1.3

### Antecedentes y objetivos

## II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

Los estudios que respecto a la fractura frágil realizó Griffith sobre vidrios constituyen el punto de partida de lo que se conoce como mecánica de fractura, área que hoy es fundamental para el estudio y/o seguimiento del desarrollo y crecimiento de las grietas en un material. Con este ejercicio se intenta simular algunas de las experiencias que permiten visualizar y evaluar las relaciones entre las características del propio material y la geometría y tamaño de las microgrietas.

En términos generales, la mecánica de fractura reúne los esfuerzos dirigidos a generar las herramientas y métodos que permitan monitorear y prevenir, en la medida de lo posible, el crecimiento súbito e incontrolado de una grieta, lo que pueda llevar a la fractura de una pieza.

## III

3.1

3.2

Se vale, por tanto, de herramientas matemáticas de simulación y modelado y de métodos, como los ensayos no destructivos o el ensayo de microdureza (en el caso de materiales cerámicos), para intentar determinar el tamaño de una grieta y con ambos enfoques, intentar disminuir el riesgo de la formación de una fractura.

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

A ese mundo se asoma y dirige el objetivo de esta experiencia.

## V

5.1

5.2

5.3



I

1.1

1.2

1.3



### *Formato de realización*

Individual.

II

2.1

2.2

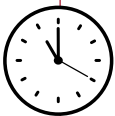
2.3

2.4

2.5

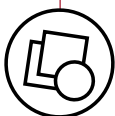
2.6

2.7



### *Tiempo de realización*

De 10 a 20 minutos en función de la participación de los estudiantes.



### *Materiales necesarios*

- Aproximadamente 10 hojas de papel tamaño carta u oficio recortadas en la siguiente forma: primero recorte a la mitad (en cuanto a longitud) y luego divida los trozos resultantes en 4 partes (a lo ancho), de forma que, finalmente, se tengan tramos de longitudes del orden de 12 a 15 cm y un ancho de aproximadamente 5 cm.
- Alrededor de 10 tijeras con buena punta.

III

3.1

3.2

IV

## Experiencias propuestas

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

1

Distribuya los trozos de papel y las tijeras a todo el grupo y pida a los alumnos que realicen pequeños recortes, de forma que en las tiras de papel se generen horadaciones de tipo elíptico y de otras geometrías de diversos tamaños y colocadas en diferentes lugares de las tiras, simulando grietas de formas, ubicaciones y tamaños variados.

2

Ahora solicite a los alumnos que apliquen cargas ligeras sobre cada trozo de papel con las “grietas simuladas”, en sentido longitudinal, colocando el trozo de papel de manera vertical.

5.1

5.2

5.3

## I

1.1

1.2

1.3

- 3** Comente con ellos las posibles relaciones encontradas entre geometría de las grietas, su tamaño, su ubicación, el esfuerzo aplicado y la forma en que ocurre, en cada caso, el crecimiento de las grietas.

## II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

## Comentarios y sugerencias adicionales

- 1) Puede sustituirse el papel por otro material o compararlo con el caso del papel (por ejemplo, papel aluminio, papel de lija, otro tipo de papel, etc.).
- 2) Si el esfuerzo se aplica en otras direcciones pueden encontrarse y comentarse algunos otros aspectos, pero las conexiones se convierten en algo más complejo y los resultados tienden a ser menos evidentes.

## Referencias

- [1] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=3789>  
(Consultado el 6 de febrero de 2020).
- [2] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical\\_properties/mech-props-physMechanism2.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical_properties/mech-props-physMechanism2.swf)  
(Consultado el 6 de febrero de 2020).
- [3] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical\\_properties/tcp-fractFatigueAnalysis.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical_properties/tcp-fractFatigueAnalysis.swf)  
(Consultado el 6 de febrero de 2020).
- [4] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado el 24 de enero de 2020).

## III

3.1

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

## I

## 2.5 Fractura frágil II. Condiciones para el crecimiento de grietas

### Antecedentes y objetivos

## II

En esta sesión se intentará evidenciar, mediante una experiencia de simulación, cómo debe darse una combinación adecuada de tamaño de grieta-esfuerzo crítico, a partir de la cual puede tener lugar el crecimiento súbito (catastrófico) de una grieta para producir la fractura de un material.

La presencia de una grieta (quizá mejor, una microgrieta) en un material, no es una “garantía automática” de que se producirá una fractura. Esta relación entre tamaño (y geometría) de una grieta y el esfuerzo necesario para que pudiese eventualmente crecer, es un motivo de preocupación relevante en muchas industrias, como la aeronáutica, la petrolera y algunas otras más. Una de las herramientas más comúnmente utilizadas para monitorear el tamaño y el crecimiento de una grieta es el empleo de ensayos no destructivos de diferentes tipos que utilizan radiaciones u otros recursos para determinar el tamaño de las grietas.

## III

Con la información proporcionada por estos ensayos, es posible ahora tomar determinaciones acerca de qué medidas es conveniente tomar para evitar, lo más posible, el riesgo de una fractura frágil en un material. Conocer, al menos en primera instancia, esas relaciones grieta-esfuerzo, es el objetivo primario de esta experiencia.

## IV

## V

- 1.1
- 1.2
- 1.3
- 2.1
- 2.2
- 2.3
- 2.4
- 2.5
- 2.6
- 2.7
- 3.1
- 3.2
- 4.1
- 4.2
- 4.3
- 4.4
- 4.5
- 5.1
- 5.2
- 5.3

I

1.1

1.2

1.3



### *Formato de realización*

Demostrativo, con participación de los estudiantes.

II

2.1

2.2

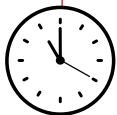
2.3

2.4

2.5

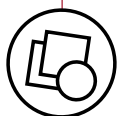
2.6

2.7



### *Tiempo de realización*

Media hora aproximadamente.



### *Materiales necesarios*

- Varios globos inflables de tamaño pequeño
- Varias agujas largas del tipo de las empleadas para tejer o equivalente
- Barras redondas de pequeño diámetro de varios materiales metálicos
- Una lima triangular

III

3.1

3.2

## Experiencias propuestas

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

**1** Infle varios globos hasta conseguir diferentes tamaños (presiones internas de inflado) de los propios globos.

**2** Vaya introduciendo —por el extremo opuesto a donde se inflan— lentamente las agujas a cada globo (lo que de alguna forma simularía el crear algunas “microgrietas” en el material) empezando con el globo más inflado, hasta que se consiga que en alguno de los globos no se presente la ruptura súbita del propio globo. A partir de estas observaciones puede relacionar (y deducir) la condición crítica (combinación de tamaño de “microgrieta”-presión interna [esfuerzo aplicado] a partir de la cual se provoca la ruptura súbita (fractura frágil) de un material.

## I

## Comentarios y sugerencias adicionales

- 1.1
- 1.2
- 1.3
- a)** Alternativamente, puede tomar uno de los globos que no se haya fracturado con la introducción de la aguja y, si es posible, volver a inflar el globo hasta que, al alcanzarse el nivel de presión interna (equivalente o que representaría el esfuerzo aplicado), el globo en cuestión se rompa. Insista en la necesidad de la combinación esfuerzo - tamaño de grieta para producir la ruptura del material.
- b)** Puede complementarse la experiencia empleando barras redondas de pequeños diámetros de diferentes materiales, por ejemplo, cobre, aluminio, aceros de bajo carbono recocidos, etc., y con la ayuda de una lima triangular generar pequeñas muescas de diversos tamaños y profundidades y romper las barras intentando comparar el nivel de esfuerzo necesario en cada caso para conseguir producir la ruptura de las barras.

## II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

## III

## Referencias

3.1

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

- [1] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical\\_properties/tcp-fractFatigueAnalysis.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical_properties/tcp-fractFatigueAnalysis.swf)  
(Consultado el 10 de febrero de 2020).
- [2] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical\\_properties/tcp-K1cTesting.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical_properties/tcp-K1cTesting.swf)  
(Consultado el 10 de febrero de 2020).
- [3] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado el 24 de enero de 2020).

I

1.1

## 2.6 Fractura por fatiga

1.2

1.3

### Antecedentes y objetivos

II

La fatiga es el mecanismo de deterioro que, en mayor medida, provoca fracturas en los materiales. Es producida por cargas fluctuantes ante las cuales, habitualmente, muchos materiales no tienen capacidad de soportar los cambios producidos con la misma presteza que cuando se trata de otros tipos de carga. Se intenta con esta experiencia mostrar algunas características de este tipo de fractura y los factores que pueden inducir su presencia.

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

Resulta de importancia tener presente que este tipo de mecanismo de fractura es difícil de predecir, dado que el material suele no presentar ninguna evidencia macroscópica de deformación que permita prever el riesgo que una pieza o sistema en funcionamiento está corriendo ante la presencia de este tipo de fenómeno.

III

3.1

3.2

Existen diversos ensayos para evaluar el comportamiento en fatiga de un material, y es común que los datos obtenidos de ellos se trabajen de manera estadística dadas las variaciones en sus resultados, ligadas a diferencias también en la respuesta de los materiales ensayados, en virtud de modificaciones a nivel microestructural de los propios materiales.

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

Algunos de los factores que inciden en estas variaciones en el comportamiento son: la presencia de inclusiones en los materiales, la calidad del acabado superficial, el tamaño de grano y algunos más.

V

Tener un primer acercamiento a este fenómeno es el objetivo de esta actividad.

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3



### *Formato de realización*

Colaborativo, por equipos.

II

2.1

2.2

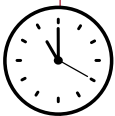
2.3

2.4

2.5

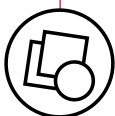
2.6

2.7



### *Tiempo de realización*

Demostrativo o si se cuenta con suficientes recursos, colaborativo por equipos.



### *Materiales necesarios*

- Alambre para fusibles o equivalente
- Pesas de 0.5 kg
- Un cuchillo
- Varilla de vidrio de aproximadamente 5 mm de espesor
- Barras redondas de cobre, acero u otros materiales metálicos de 5 mm de espesor
- Limas triangulares

III

3.1

3.2

IV

## Experiencias propuestas

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

- 1 Elabore un péndulo empleando para ello el alambre para fusible enrollado alrededor del cuchillo colocado horizontalmente a la orilla, por ejemplo, de una mesa, de modo que el alambre cuelgue algo así como 15 cm. Al otro extremo del alambre coloque una pesa de 0.5 kg y permita que el péndulo oscile con una amplitud de 7 cm. Bajo estas condiciones se espera que en un tiempo del orden de un minuto el alambre se rompa por fatiga.

V

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

**2** Tome alguna(s) de las barras de materiales y dóblelas repetidamente con sus manos de forma que se generen esfuerzos cíclicos y se provoque la fractura por fatiga de cada una de ellas. Si le es posible, compare el esfuerzo invertido para romper cada material e incluso discuta con los alumnos el esfuerzo que se requeriría si la carga aplicada no fuese fluctuante.

**3** Ahora practique algunas incisiones con la lima triangular en varias de las diversas muestras de los diferentes materiales metálicos, de forma que se generen diferentes muescas y repita el proceso de doblar repetidamente las muestras provocando cargas cíclicas y discuta con los estudiantes la posible influencia de las muescas en los resultados encontrados.

### Comentarios y sugerencias adicionales

a) Puede probar con otro tipo de materiales como cerámicos, polímeros o materiales compuestos.

### Referencias

[1] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical\\_properties/tcp-fractFatigueAnalysis.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical_properties/tcp-fractFatigueAnalysis.swf)  
(Consultado el 11 de febrero de 2020).

[2] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical\\_properties/tcp-fractSNCurve.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/mechanical_properties/tcp-fractSNCurve.swf)  
(Consultado el 11 de febrero de 2020).

[3] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado el 25 de enero de 2020).



## I

## 1.1 2.7 Fractura. Termofluencia

1.2

1.3

## Antecedentes y objetivos

## II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

## III

3.1

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

La combinación de una elevada temperatura y una carga constante sobre un material origina un proceso de deformación que, habitualmente en tiempos largos, origina un nivel de deterioro no aceptable en equipos tales como turbinas, calderas, intercambiadores de calor, etc. Este proceso al que se conoce como termofluencia o fluencia lenta es el motivo de esta experiencia y en ella se intenta introducir a los alumnos al tema, mostrándoles algunos rasgos distintivos del fenómeno.

En este tipo de mecanismo se dan algunas condiciones particulares, asociadas a la presencia de mayor temperatura, que por un lado facilita los procesos de deformación, pero también incide en la manifestación de procesos de ablandamiento, y todo ello genera que el proceso de deformación ocurra en tiempos largos y de manera lenta. Solo cuando alguna condición genera un desequilibrio entre los procesos de ablandamiento y endurecimiento en el material, se puede presentar un proceso de deformación más acelerado.

En el campo práctico, se realizan algunos ensayos en tiempos no tan prolongados y se cuenta con herramientas de modelado y simulación que extrapolan (con algún nivel de riesgo), los resultados para estimar cómo seguirá ocurriendo el proceso de deformación del material en estudio.

Poder realizar una simulación simple de este fenómeno y ver sus características más distintivas, es el propósito de esta experiencia.

I

1.1

1.2

1.3



### *Formato de realización*

Colaborativo, en grupo o demostrativo, según recursos disponibles.

II

2.1

2.2

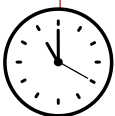
2.3

2.4

2.5

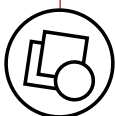
2.6

2.7



### *Tiempo de realización*

De 15 a 30 minutos.



### *Materiales necesarios*

- Ligas que han estado sometidas a un esfuerzo constante durante diversos periodos de tiempo (por ejemplo, aquellas que han empaquetado algún objeto)
- Alambre de soldadura plomo-estaño de 1.5 mm de diámetro
- Tubo de polietileno o equivalente (no rígido) de 1 cm de diámetro, de aproximadamente 50 cm de longitud
- Alambre de acero de 2 mm de diámetro
- Pesas de aproximadamente 20 y 40 gramos

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

## Experiencias propuestas

- 1 Si cuenta con la serie de ligas propuestas en la sección de materiales necesarios, muéstrelas a los alumnos haciendo comentarios acerca de la evolución con el tiempo, del proceso de deformación que han experimentado las ligas en cuestión, como una representación del proceso de termofluencia por el que puede pasar un material.

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

**2** Enrolle el alambre de soldadura de Pb-Sn de manera que forme una especie de serpentín o resorte de aproximadamente 2 cm de diámetro y 8 cm de longitud. Ahora fíjelo por un extremo en una superficie horizontal y suspéndalo verticalmente por el otro. Observe después de aproximadamente 15 minutos, y notará cómo la soldadura ha sufrido una extensión (termofluencia) a temperatura ambiente.

**3** Fijando por un extremo el tubo de polietileno, coloque el extremo libre, de forma que aproximadamente 45 cm del tubo queden suspendidos verticalmente. Después de un tiempo observe el alargamiento que experimenta el tubo.

**4** Suspenda por uno de sus extremos cada uno de los alambres de acero de 2 mm de diámetro (fijándolos por el otro extremo, de modo horizontal). A uno de ellos colóquele en el extremo libre un peso de aproximadamente 20 gramos, en tanto al otro una pesa de 40 gramos. Los alambres deben estar lo más cerca posible uno del otro. Con estas condiciones, caliéntelos con un mechero de alcohol y observe cómo se deforma cada uno de ellos.

### Comentarios y sugerencias adicionales

- a) Para las experiencias 2 y 3 puede optar por emplear alguna pesa a fin de comparar la velocidad con la que puede avanzar el proceso. Igualmente, puede experimentar con otro tipo de polímeros para el caso de la experiencia No 3.
- b) Puede con ayuda de un encendedor (también puede ser mechero de alcohol) calentar el alambre de soldadura de Pb-Sn y observar su efecto en la deformación del alambre y en la evolución, por tanto, del proceso de termofluencia.

## I

1.1

1.2

1.3

## Referencias

[1] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2363>  
(Consultado el 12 de febrero de 2020).

[2] <https://www.youtube.com/watch?v=JgqqnwnN4IYA>  
(Consultado el 12 de febrero de 2020).

[3] <https://www.youtube.com/watch?v=Soforp-V90o>  
(Consultado el 12 de febrero de 2020).

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

## III

3.1

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

## SECCIÓN III

## Experiencias relacionadas con aleaciones y sus fases

### 3.1 Fenómeno de difusión

#### Antecedentes y objetivos

La difusión es un fenómeno que está presente en una gran variedad de fenómenos que tienen lugar en los materiales y que está asociada a transformaciones de fase y una amplia variedad de operaciones industriales. Por ello resulta muy útil la posibilidad de introducirse a algunos aspectos de la difusión a través de esta experiencia.

En muchas operaciones asociadas al calentamiento de piezas y componentes industriales, ocurren procesos de difusión. Desde un tratamiento térmico, o un proceso de sinterizado, un tratamiento termoquímico, y muchas transformaciones de fase, el movimiento de átomos en un sólido da lugar a modificaciones en el material que por supuesto tienen consecuencias en las propiedades del material.

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

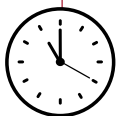
El conocimiento y control de estos procesos de difusión es un objetivo que busca optimizar un amplio número de operaciones industriales y para ello cada día se avanza en el desarrollo de herramientas matemáticas y de software especializado que están ayudando a ser más precisos y profundos en el conocimiento de estos fenómenos.

Reconocer algunas particularidades de los procesos de difusión es la intención de esta experiencia.



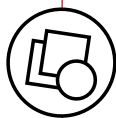
### *Formato de realización*

Demostrativo, con participación grupal.



### *Tiempo de realización*

De 10 a 15 minutos, en función de la participación de los estudiantes.



### *Materiales necesarios*

- Frascos de desinfectante para verduras o colorantes rojo y azul para alimentos
- Dos vasos de precipitados del mismo tamaño y capacidad
- Dos recipientes de la misma capacidad, pero de diferente forma, uno notablemente más angosto y otro notablemente más ancho
- Agua caliente y agua fría
- Aceite de cocina o equivalente

## I

1.1

1.2

1.3

## Experiencias propuestas

**1** Llene un vaso de precipitados (de los dos que son iguales en capacidad y forma) con agua caliente y otro con agua fría.

## II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

**2** Inmediatamente, coloque una o dos gotas del desinfectante para verduras o del colorante rojo en el recipiente con agua caliente y una o dos gotas del desinfectante para verduras o del colorante azul en el recipiente con agua fría y permita, en ambos casos que se disperse plenamente. Comente con los estudiantes lo observado.

**3** Ahora llene los dos recipientes de la misma capacidad y de diferente forma, con agua a la misma temperatura.

**4** A continuación coloque una gota de desinfectante para verduras o de colorante en cada uno de los recipientes y observe cómo ocurre la difusión en cada caso.

## III

3.1

3.2

**5** Coloque en otro recipiente agua a temperatura ambiente y sobre ella genere una capa de aceite de un grosor suficiente. Sobre ella coloque una gota de desinfectante para verduras. Observe lo que ocurre y posteriormente coloque otras gotas más, poco a poco y vaya observando lo que va sucediendo. Con los alumnos vaya obteniendo conclusiones acerca de las diferencias de comportamiento en el aceite y en el agua.

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

**6** Puede repetirse esta secuencia empleando una solución saturada de sal en agua y contrastando con lo que sucede en el caso del agua y del aceite.

## V

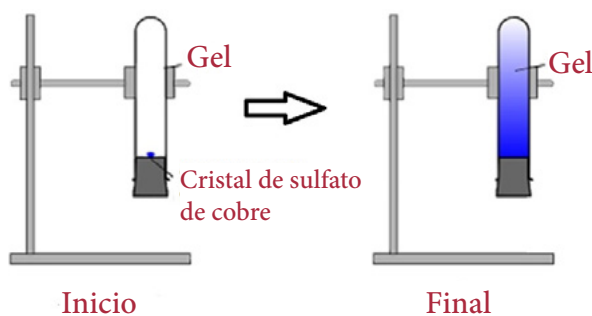
5.1

5.2

5.3

## Comentarios y sugerencias adicionales

- 1.1 a) En lugar de colorantes o desinfectantes para verduras pueden emplearse otros líquidos transparentes.
- 1.2
- 1.3
- II b) Pueden complementarse estas experiencias asignando un proyecto a los alumnos consistente en colocar un cristal de sulfato de cobre en un tubo de ensaye tapado y con presencia de gel de agar o una sustancia equivalente y observar al cabo de varios días lo que ocurre (ver figura anexa).



## Referencias

- 3.1 [1] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2723>
- 3.2 [2] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=3144>  
(Consultado el 13 de febrero de 2020).
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=5EhMYMr834o>  
DIFFUSION BONDING (Consultado el 13 de febrero de 2020).
- [4] [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=diffusion\\_in\\_alloys](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=diffusion_in_alloys)  
(Consultado el 13 de febrero de 2020).
- [5] <http://www.amie.nbcafe.in/phpbb/amie-study-material-on-diffusion-in-solids-for-ad-302-t2117.html>  
(Consultado el 13 de febrero de 2020).
- [6] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado el 23 de enero de 2020).



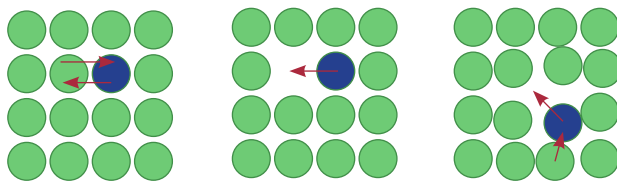
I

1.1

Mecanismos de difusión en aleaciones

1.2

1.3



[4]

Intercambio

Vacancia

Intersticial

II

2.1

2.2

2.3

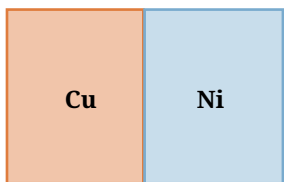
2.4

2.5

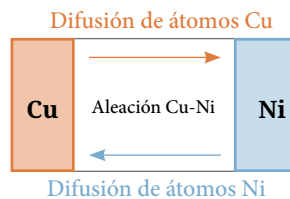
2.6

2.7

Inicial



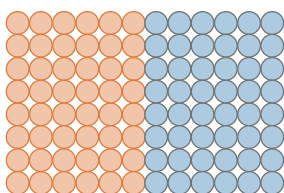
Después de un tiempo



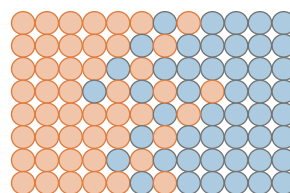
III

3.1

3.2



Calentamiento



[5]

IV

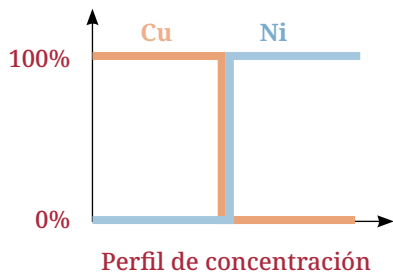
4.1

4.2

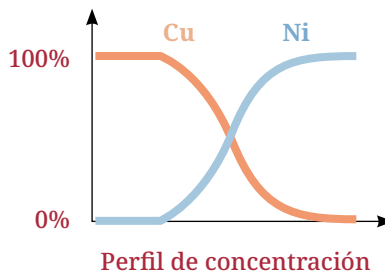
4.3

4.4

4.5



Perfil de concentración



Perfil de concentración

V

5.1

5.2

5.3

I

1.1

## 3.2 Aleaciones y diagramas de fases.

1.2

### Determinación de fases y componentes en diversos sistemas

1.3

II

## Antecedentes y objetivos

2.1

En ocasiones, la primera explicación de lo que es una fase puede no ser tan sencilla pues la propia definición habitual resulta poco clara para los estudiantes. Sin embargo, ello se puede, comúnmente, superar con el avance en el desarrollo del tema en la teoría, en el salón de clases y las sesiones prácticas en el laboratorio. Una ayuda inicial para el entendimiento de este concepto es lo que se propone en estas experiencias.

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

Comprender lo que es una fase es un paso importante y necesario para poder explicar con mayor claridad el comportamiento de los materiales y ello tiene consecuencias muy importantes en las decisiones que se tomarán para, por ejemplo, calentar un material, determinar qué composición es la más adecuada para llevar a cabo un proceso, digamos, por mencionar algunos casos, de soldadura o de tratamiento térmico o encontrar condiciones de procesamiento que permitan tener el menor consumo de energía.

III

3.1

3.2

IV

4.1

Las experiencias y propuestas aquí reunidas buscan clarificar qué es una fase y qué es un componente en un sistema y qué relación guarda todo ello con los diagramas de fase y las técnicas para su estudio.

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3



### *Formato de realización*

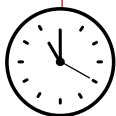
Actividad demostrativa de participación grupal.

I

1.1

1.2

1.3



### *Tiempo de realización*

De 30 a 45 minutos, en función de la participación del grupo.

II

2.1

2.2

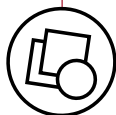
2.3

2.4

2.5

2.6

2.7



### *Materiales necesarios*

- Vasos de precipitados o vaso común transparente de 500 ml a 1 litro
- Agua, hielo, azúcar, alcohol, glicerina (o equivalente)
- Probetas de acero galvanizado (o de latón) con granos de tamaño visible a simple vista
- Si es posible, una lupa

III

3.1

3.2

## Experiencias propuestas

**1** Escriba una definición de FASE (F), otra de COMPONENTE (C) y una más de ALEACIÓN Y SISTEMA DE ALEACIÓN, en el pizarrón y pida a los estudiantes que, con base en esa definición determinen el número de fases y componentes presentes en cada uno de los siguientes sistemas:

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

**2** Coloque un poco de agua en el vaso y cuestione a los alumnos sobre lo que están viendo:

$$F = ? \quad C = ?$$

V

5.1

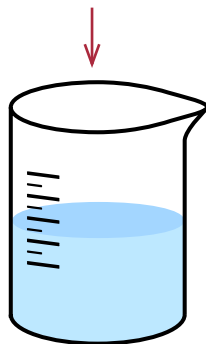
5.2

5.3

**3** Añada ahora UN POCO de azúcar (asegurándose que no se supera el límite de solubilidad) y disuélvala PERFECTAMENTE en el agua. Repita el cuestionamiento acerca del número de fases (F) y de componentes (C) en el sistema. Aproveche para recordar a los alumnos el concepto de

solución, sus constituyentes (solvente y soluto) y cuestione a qué tipo de solución corresponde este caso (solución no saturada).

1.- Poca azúcar



Conceptos  
relevantes

Fases, componentes  
y disoluciones

Esquema de un sistema de una fase y dos componentes

$F = 1$   $C = 2$  (azúcar y agua)

- 4** Adicione ahora una mayor cantidad de azúcar, de forma que se obtenga en el vaso una solución sobresaturada de azúcar en agua y repita la pregunta de los puntos anteriores acerca del número de fases (F) y componentes (C) en el sistema. Se sugiere complementar la experiencia preguntando a los alumnos y repasando los conceptos de solución saturada y sobresaturada y mencionar cómo puede cambiar la solubilidad en función de la temperatura en los sistemas de materiales reales (cómo varias aleaciones de base aluminio) de parcial solubilidad en sólido.

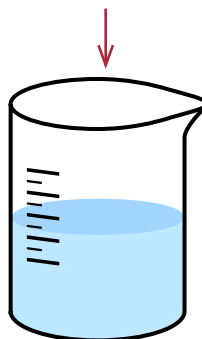
I

1.1

1.2

1.3

2.- Mucha azúcar

Conceptos  
relevantes

II

2.1

2.2

2.3

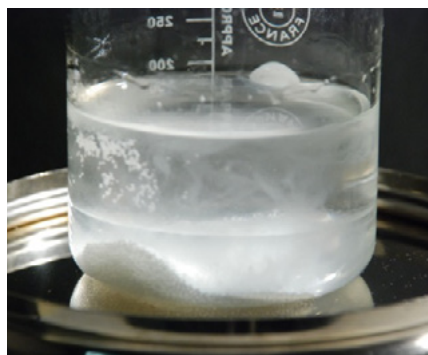
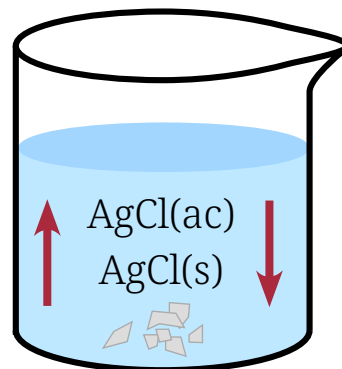
2.4

2.5

2.6

2.7

Esquema que muestra un sistema de dos fases y dos componentes

Tipos de soluciones  
Solubilidad parcial  
PrecipitaciónImagen que muestra un ejemplo  
de una solución saturadaEjemplo de un precipitado  
en un sistema [2]

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

- 5** Agregue ahora una pequeña cantidad de alcohol y de nueva cuenta cuestione a los estudiantes sobre el número de fases (F) y componentes (C). Se recomienda aprovechar para mencionar que existen soluciones que presentan total solubilidad y se puede hacer más evidente eso si se va agregando más alcohol y se destaca que continúa presentándose solubilidad total en el sistema solución agua/azúcar-alcohol.

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

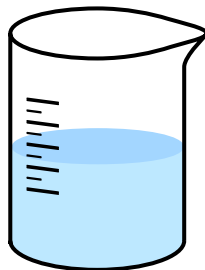
V

5.1

5.2

5.3

Alcohol etílico



Conceptos relevantes

Solubilidad total

Esquema de un sistema de 2 fases y tres componentes

6

Ahora coloque unos cubos de hielo en la superficie y reitere los cuestionamientos sobre el número de fases y las fases presentes. Este ejercicio le brinda la oportunidad de resaltar que un mismo componente puede encontrarse en más de un estado físico en el mismo sistema. Asimismo, puede aprovecharse para destacar que ese componente sólido pasará al estado líquido y se puede modificar el sistema en cuanto al número de fases en función de cambios de temperatura.

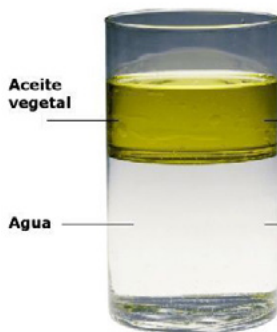


Concepto principal

Mismo componente en2 fases diversas

Esquema de un sistema que muestra la presencia de hielo en la superficie de la solución, a través de lo cual queda claro que un componente puede presentarse en más de un estado físico.

- 7** Finalmente adicione un poco de glicerina, aceite u otro líquido no soluble en agua y reitere las preguntas a los estudiantes sobre las fases y su número en este nuevo sistema. Conviene asimismo hacer notar que otro tipo de condición entre los componentes de un sistema es que no exista solubilidad entre ellos.



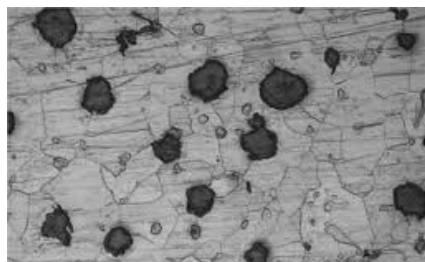
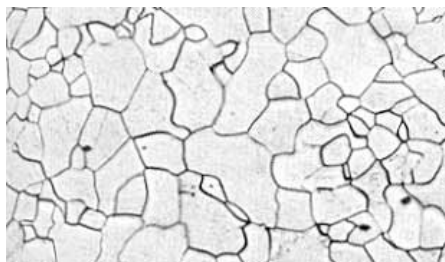
Concepto principal

Sistema de insolubilidad total

Ejemplo de un sistema de completa insolubilidad

### Comentarios y sugerencias

- a) Puede complementarse esta actividad comentando a los estudiantes que, en un material metálico real, las fases se diferencian a través del empleo del microscopio óptico (o electrónico) presentando algunas muestras para su observación a simple vista o con ayuda de una lupa o mostrando algunas imágenes de probetas metalográficas y comentándolas con los estudiantes.



## I

1.1

- b) Pueden sustituirse diversos de los reactivos usados en función de la disponibilidad siempre y cuando presenten un comportamiento semejante.

1.2

1.3

## II

## Referencias

2.1

2.2

- [1] A. Barba, A. Covelo, M. Hernández, R. Valdez, A. Bolarín, F. Sánchez. Phases and Solutions: Experiences and proposals for classroom teaching to engineering students. ITP Journal. December 2015 Vol.1 No. 2 176-181.

2.3

2.4

2.5

- [2] <http://www.heurema.com/TestQ54.htm>.

2.6

- [3] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado el 23 de enero de 2020).

2.7

## III

3.1

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3



I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

## SECCIÓN IV

## Experiencias ligadas al deterioro de materiales

### 4.1 Oxidación de los metales

#### Antecedentes y objetivos

El deterioro que los materiales metálicos experimentan, en contacto con el medio ambiente en que se encuentran, constituye una de las formas de ataque químico de la mayor importancia durante el servicio de dichos materiales y tiene, en diversos sentidos, un alto costo, de modo que esta experiencia intenta introducir a los alumnos en el tema y, particularmente en lo relacionado con la oxidación de los metales.

Los fenómenos de oxidación y corrosión se asocian a la presencia de condiciones en el proceso en que un material (o una zona de un material) presenta menor capacidad para mantenerse estable químicamente y eso está asociado a que la enorme mayoría de los materiales metálicos prefieren estar combinados que aislados, en razón de que ello les permite ser más estables en el ambiente. Así pues, los procesos de oxidación y corrosión son mecanismos que están favorecidos termodinámicamente y, por

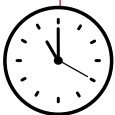
ende, resulta, de entrada, complicado buscar formas efectivas y de costo razonable para atenuar el efecto de estas dos formas de deterioro.

Entender, en alguna medida, las bases y qué factores pueden intervenir en un proceso de corrosión es un buen principio para después abordar las diversas estrategias planteadas para disminuir lo más posible esta forma de deterioro en los materiales metálicos. Tal es el propósito de esta experiencia.



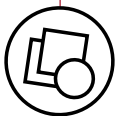
### *Formato de realización*

Demostrativo, con participación grupal.



### *Tiempo de realización*

De 10 a 15 minutos, en función de la participación del grupo.



### *Materiales necesarios*

- Lámina de acero medio C de aproximadamente  $2 \times 5 \times 120$  mm
- Lija de agua del 200, 400 y 600
- Lámina de cobre de  $0.1 \text{ mm} \times 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$
- Mechero de alcohol (o de Bunsen, si fuera posible)

## Experiencias propuestas

- 1** Después de efectuar un lijado de la superficie de la lámina de acero al carbono, ponerla en contacto con la llama del mechero y luego de permanecer aproximadamente un minuto a la temperatura del rojo

## I

1.1

brillante, colóquela en un recipiente con agua fría. Observe la separación de las “hojuelas” de óxido al entrar al agua.

1.2

1.3

2

Efectúe ahora un lijado de la lámina de cobre y póngala también en contacto (por un lado) con la flama del mechero y manténgala ahí hasta que alcance un tono rojo medio, permaneciendo bajo esa condición alrededor de un minuto. Posteriormente, póngala inmediatamente en el recipiente con agua fría. Compare ambos lados de la lámina de cobre y de esta en relación con la de acero al carbono.

## II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

### Comentarios y sugerencias adicionales

2.6

- a) Puede experimentar con otros materiales tales como el acero inoxidable o algunas aleaciones de aluminio.

2.7

## III

3.1

### Referencias

3.2

[1] <http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/corrosion/cor-reactOxideFilm.swf> (Consultado el 13 de febrero de 2020).

4.1

[2] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/functional\\_apps/opt-introAlSurface.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/functional_apps/opt-introAlSurface.swf) (Consultado el 13 de febrero de 2020).

4.2

4.3

[3] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado el 25 de enero de 2020).

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

I

## 4.2 Oxidación de los metales. Óxidos protectores y no protectores

### Antecedentes y objetivos

II

La vida útil de un material metálico que está sujeto a la acción de un medio oxidante está directamente relacionada con la capacidad del óxido formado de conferir protección al metal base. En esta sesión se plantea realizar una experiencia sencilla que permita mostrar a los alumnos la diferencia entre un óxido protector y uno que no lo es.

Una serie de equipos que trabajan bajo condiciones particularmente complicadas, especialmente en el aspecto de una elevada temperatura y una atmósfera oxidante (calderas, intercambiadores de calor, equipos para producir energía usando energía solar concentrada, por mencionar algunos ejemplos) requieren que el material soporte los esfuerzos de diversos tipos a los que están sometidos, ser capaces, asimismo, de soportar en ocasiones, condiciones de fatiga térmica, entre otros factores.

III

De ahí deriva también la importancia de conocer los óxidos que se pudieran formar y qué posibilidades de protección pueden brindar. De ese conocimiento se han derivado avances como las llamadas barreras térmicas, empleadas en la industria aeronáutica, y que justamente, como parte de su diseño, contemplan contar con elementos químicos en la composición de los materiales empleados, que sean capaces de generar óxidos protectores y de esta manera, colaborar a extender la vida útil de los equipos y sistemas industriales. De ahí lo conveniente de asomarse a ese fenómeno, a través de esta experiencia.

IV

V

1.1

1.2

1.3

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

3.1

3.2

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3



### *Formato de realización*

Colaborativo, en equipos.

II

2.1

2.2

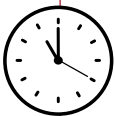
2.3

2.4

2.5

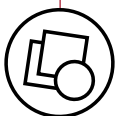
2.6

2.7



### *Tiempo de realización*

10 a 15 minutos, en función de la participación de los estudiantes.



### *Materiales necesarios*

- Láminas de acero inoxidable austenítico (por ejemplo, AISI 316 o 304) de 0.1 mm de espesor y de 5 cm × 5 cm
- Lámina de acero al carbono de dimensiones semejantes a las de acero inoxidable
- Mechero de alcohol (si es posible Bunsen, mejor)
- Balanza analítica de alta sensibilidad (de ser posible)

III

3.1

3.2

IV

## Experiencias propuestas

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

- 1** Tome dos piezas de cada tipo de acero y desengráselas perfectamente (por ejemplo, con acetona). Péselas en la balanza analítica y anote el dato obtenido.
- 2** Caliente cada una de las piezas durante aproximadamente un minuto en la flama del mechero hasta que el material alcance un color rojo brillante.

## I

1.1

1.2

1.3

- 3** Después de que se enfríen, vuélvalas a pesar y compare los cambios de peso detectados en cada una.

## II

## Comentarios y sugerencias

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

- a) Puede ensayar con otros materiales como aluminio y sus aleaciones o cobre y sus aleaciones.

## Referencias

- [1] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/functional\\_apps/opt-introAlSurface.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/functional_apps/opt-introAlSurface.swf)  
(Consultado el 17 de febrero de 2020).
- [2] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado el 26 de enero de 2020).

## III

3.1

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

## 4.3 Conceptos básicos de corrosión

### Antecedentes y objetivos

La corrosión es un fenómeno cuyas consecuencias, en lo relativo a los gastos asociados, sustitución de partes, operaciones de mantenimiento, etc., hacen que sea esencial un conocimiento básico, al menos, de este proceso de deterioro. Se pretende que con esta experiencia los alumnos puedan conocer y ubicar algunos de los conceptos básicos para entender el fenómeno de corrosión.

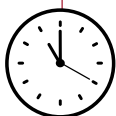
La corrosión es un asunto complejo, donde los diversos factores que pueden estar presentes en un momento (temperatura, esfuerzos mecánicos, composición química, características microestructurales, etc.) pueden intervenir en el proceso y dificultar su control.

Por ello conocer, aunque sea de modo inicial, algunos de esos posibles factores, cómo pueden intervenir en el proceso y cuáles son los elementos básicos que pueden formar parte de un proceso de corrosión, resulta relevante y en tal sentido se orienta la realización de esta experiencia.



#### *Formato de realización*

Colaborativo, en equipos.



#### *Tiempo de realización*

De 20 a 30 minutos, en función de la participación de los estudiantes.

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

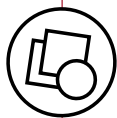
4.5

V

5.1

5.2

5.3



### *Materiales necesarios*

- Varios vasos de precipitados
- De 5 a 10 clavos de acero al carbono
- Monedas mexicanas de un peso
- Alambre de cobre (1 metro aproximadamente)
- De ser posible una placa con un cordón de soldadura
- Lámina de cobre de 5 cm × 5 cm y 2 mm de ancho con un orificio
- Lámina de acero al carbono de 5 cm × 5 cm × 2 mm de ancho con un orificio
- Tornillos de cobre o latón
- Ácido nítrico concentrado
- Campana de extracción (de ser posible)
- Solución concentrada de sal en agua, con agua oxigenada adicional (medio de ataque)

### Experiencias propuestas

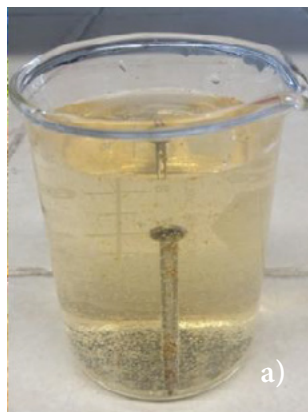
- 1 En la primera experiencia un clavo común de acero al carbono se rodea de un alambre de cobre (previamente se debe retirar la capa de barniz con que cuenta) y se coloca en un vaso de precipitados que contiene el medio de ataque. Al cabo de algunos minutos debe revisarse el estado del clavo y el alambre y determinar quién es el ánodo y quién el cátodo en este sistema.





- a) Clavo de acero al carbono rodeado de alambre de cobre en el medio de ataque.
- b) Clavo de acero al carbono atacado con productos de corrosión en los sitios de contacto con el alambre de cobre. El alambre no presenta evidencia de ataque.

- 2** En un segundo experimento se coloca un clavo de acero en el medio de ataque en otro vaso de precipitados y al cabo de algunos minutos se observa la existencia de productos de corrosión, así como en qué zonas prioritariamente aparece lo que se recomienda comentar con los estudiantes y hacer notar que en un solo material existen también zonas anódicas y catódicas.



I

1.1

a) Clavo de acero al carbono en el medio de ataque.

1.2

b) Clavo de acero con evidencias de corrosión en sitios que han experimentado previamente mayor nivel de deformación plástica.

1.3

II

**3** Una experiencia más que se puede recomendar es la de colocar una pequeña pieza soldada en un vaso de precipitados que contiene el medio de ataque. Transcurridos algunos minutos podrá percibirse dónde ocurre de manera preferencial el ataque químico. Con esta y la anterior experiencia se puede reforzar el planteamiento de cómo puede influir el procesamiento de un material metálico en su resistencia a la corrosión y relacionarlo, asimismo, con los cambios microestructurales que puede producir dicho procesamiento.

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

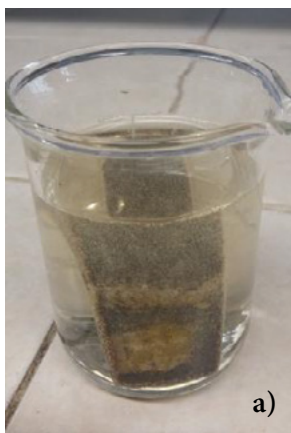
4.5

V

5.1

5.2

5.3

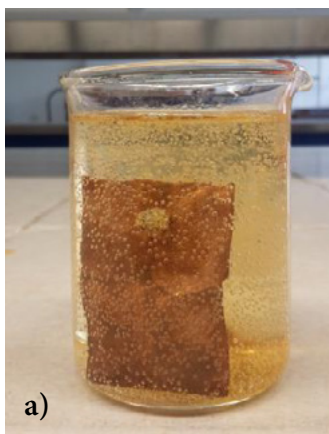


a) Pieza soldada inmersa en el medio de ataque.

b) Evidencia de corrosión preferencial en la zona del cordón de soldadura de la pieza.

**4** Utilizando una combinación semejante de cobre-acero al carbono se realiza esta experiencia adicional. En un caso se coloca un clavo de acero al carbono en un orificio de una placa de cobre y por supuesto en el otro se realiza la combinación contraria. Ambas combinaciones

se colocan en sendos vasos de precipitados en el medio de ataque y después de algunos minutos se pueden obtener, como producto de la observación, conclusiones acerca del efecto del tamaño de ánodos y cátodos en un proceso de corrosión y a partir de ello, derivar, en conjunto con los estudiantes, la importancia de tomar en cuenta la relación área ánodo-cátodo y cuál condición resulta más favorable.



- a) Placa de cobre con un clavo de acero al carbono en el medio de ataque.  
 b) Clavo de acero severamente corroído y placa de cobre sin daño (ánodo chico - cátodo grande).



I

1.1

a) Placa de acero con pieza de latón en el medio de ataque.

1.2

b) Acero con cierto grado de corrosión y pieza de latón sin ataque (ánodo grande - cátodo chico).

1.3

II

## Comentarios y sugerencias adicionales

2.1

2.2

a) Un experimento opcional de carácter demostrativo, que debe manejarse con cuidado adicional, —preferentemente en una campana— consiste en colocar una moneda mexicana de un peso (o semejante), en contacto con una solución de ácido nítrico con lo cual también puede observarse sobre qué sección de la moneda ocurre el ataque, de modo que se identifique quién se comporta como ánodo y quién como cátodo. Puede ser útil como actividad adicional que los estudiantes investiguen la composición de las dos aleaciones que constituyen la moneda.

2.3

2.4

2.5

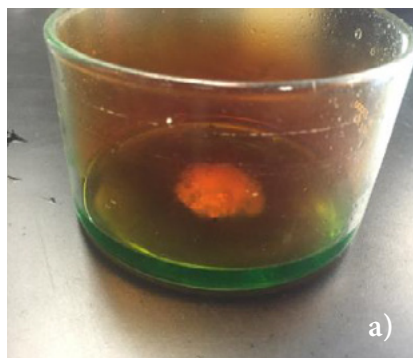
2.6

2.7

III

3.1

3.2



a)



b)

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

a) Ataque de la aleación de cobre (ánodo) de una moneda de un peso mexicano, luego de ser colocada en contacto con una solución de ácido nítrico.

V

5.1

5.2

5.3

b) Evidencia de la separación de las dos partes constituyentes de la moneda de un peso, luego del ataque con ácido nítrico - aleación de cobre ánodo y acero inoxidable cátodo.

I

1.1

- b) A los anteriores experimentos y en función de tiempo de la sesión y del equipamiento disponible, se pueden agregar otros parámetros tales como temperatura, concentración del medio corrosivo, presencia de oxígeno, etc., que pueden enriquecer este grupo de experiencias.

1.2

1.3

II

2.1

## Referencias

2.2

2.3

- [1] A. Barba P., A. Covelo V., M. A. Hernández G., R.Valdez N., R. González P., A. Rojas M. “Actividades Auxiliares en el Aula para la Enseñanza de Conceptos Básicos de Corrosión a estudiantes de Ingeniería Mecánica. Experiencias y Propuestas”. Memorias del XXII Congreso de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica. (2016). Mérida, Yucatán, México.

2.4

2.5

2.6

2.7

- [2] <http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/corrosion/cor-fourBasics.swf> (Consultado el 18 de febrero de 2020).

- [3] <http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/corrosion/corfiliformVideo.swf> (Consultado el 18 de febrero de 2020).

3.1

3.2

- [4] <http://classroom.materials.ac.uk/ecorr.php> (Consultado el 18 de febrero de 2020).

- [5] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado el 25 de enero de 2020).

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

## I

1.1

## 4.4 Protección contra la corrosión

1.2

### Antecedentes y objetivos

1.3

## II

Las diversas estrategias para atenuar los problemas provocados por la corrosión incluyen desde factores ligados a un adecuado diseño y selección de materiales, el uso de una amplia variedad de recubrimientos, el empleo de sistemas de protección ex profeso o el aprovechamiento de comportamientos específicos de ciertas aleaciones. Es la intención de estas experiencias que los estudiantes logren familiarizarse con varias de estas estrategias a través de un grupo de experimentos sencillos.

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

Comprender los fenómenos de corrosión, en la mayor medida posible, permite tomar medidas para buscar disminuir su incidencia en los materiales metálicos. Varias de ellas se orientan al empleo del sentido común, y otras emplean recursos técnicos más sofisticados, relacionados con las condiciones específicas en las que puede estar trabajando un material en un sistema determinado.

## III

3.1

3.2

El que se tenga un conocimiento al menos inicial y general de algunas de estas medidas permitirá, sin duda alguna, reducir la presencia de fenómenos de corrosión y puede tener repercusiones en la manera en que se diseñan y operan una serie de materiales que forman parte de los equipos industriales. Justo, asomarse a conocer algunas de esas medidas que se pueden tomar, es el propósito de las experiencias que se relatan a continuación.

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3



### *Formato de realización*

Colaborativo, en equipos.

II

2.1

2.2

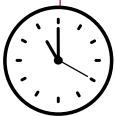
2.3

2.4

2.5

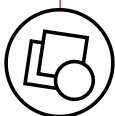
2.6

2.7



### *Tiempo de realización*

20 a 30 minutos, en función de la participación de los estudiantes.



### *Materiales necesarios*

- Varios vasos de precipitados
- Monedas mexicanas de un peso
- Alambre de cobre (1 metro aproximadamente)
- Lámina de acero inoxidable austenítico AISI 304 o 316
- Lámina de acero galvanizado
- Lámina de cobre
- Ácido nítrico concentrado
- Campana de extracción (de ser posible)
- Solución concentrada de sal en agua, con agua oxigenada adicional (medio de ataque)

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

## Experiencias propuestas

- 1 Para ilustrar esta primera estrategia de control de la corrosión, la propuesta es colocar una lámina de un acero inoxidable austenítico (serie 300 AISI), en presencia de una solución de ácido nítrico y colocar en esa misma solución, en otro vaso de precipitados, una lámina de cobre. Con ello es posible que los estudiantes puedan evaluar cómo se comporta cada lámina y discutirlo con sus compañeros y el profesor. No olvidar realizar esta experiencia en una campana extractora.

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

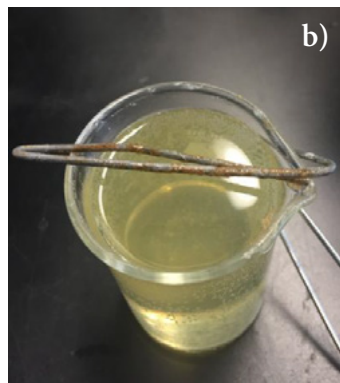
5.2

5.3



Placa de acero  
inoxidable en presencia  
de ácido nítrico.  
Fenómeno de pasividad

- 2** La propuesta para esta estrategia de protección es la de utilizar objetos de uso diario de acero al carbono, tales como clips o pequeñas piezas recubiertas con zinc (preferentemente zincado electrolítico) y con níquel también electrolítico. La idea básica es eliminar (mediante el uso de algún medio mecánico como una lima o una lija, por ejemplo) alguna porción del recubrimiento y someter ambas piezas a la acción del medio de ataque en diversos vasos de precipitados. Pasados algunos minutos se podrá observar el ataque en cada caso. Con este par de experiencias se puede realizar la discusión con los estudiantes para deducir la importancia de una adecuada selección de los recubrimientos para una aplicación particular y de una apropiada realización del proceso para recubrir las piezas.





## I

1.1

1.2

1.3

## II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

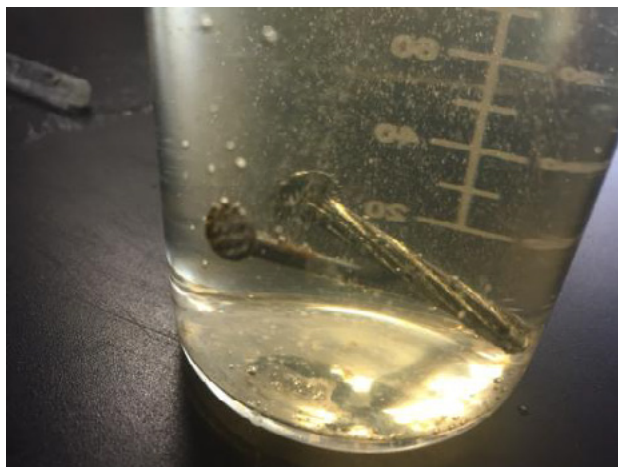
2.6

2.7

a) Pieza de acero al carbono revestida con una capa rica en zinc (que se ha eliminado en algunas secciones previamente, de modo mecánico), luego de ser colocada en el medio de ataque. El ataque químico lo experimenta el zinc. Recubrimiento anódico respecto al acero.

b) Clip de acero niquelado (eliminando previamente —en forma mecánica— en algunas porciones el recubrimiento), después de ser colocado unos minutos en el medio de ataque. El ataque se localiza en el sustrato de acero. Recubrimiento catódico respecto al acero.

**3** Para ilustrar otra forma de control de la corrosión se coloca un clavo de acero al carbono en contacto con un clavo galvanizado en un vaso de precipitados en presencia del medio de ataque. Transcurridos algunos minutos se debe apreciar cuál es la condición tanto del clavo de acero al carbono como del clavo de acero galvanizado.



Clavo de acero unido a clavo galvanizado en presencia del medio de ataque. El clavo con la capa rica en zinc protege al clavo de acero. Protección catódica.

5.1

5.2

5.3

## Comentarios y sugerencias

Es claro, asimismo que estas experiencias están abiertas a la creatividad de los docentes respecto a incluir otras experiencias, emplear otros materiales y reactivos, adicionar otros efectos, por ejemplo, la temperatura o la concentración del medio corrosivo) de modo que, adecuadamente planeadas, estas experiencias en el aula se puedan convertir en un valioso auxiliar para los docentes, en el propósito de reforzar el aprendizaje de la corrosión en estudiantes de ingeniería.

Es por todos motivos recomendable estimular que los estudiantes analicen y discutan los fenómenos observados para que, a partir de ello, puedan deducir y comprender el efecto de los diversos factores que pueden participar en un proceso de corrosión.

## Referencias

- [1] A. Barba P., A. Covelo V., M. A. Hernández G., R.Valdez N., R. González P., A. Rojas M. “Actividades Auxiliares en el Aula para la Enseñanza de Conceptos Básicos de Corrosión a estudiantes de Ingeniería Mecánica. Experiencias y Propuestas”. Memorias del XXII Congreso de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica. (2016). Mérida, Yucatán, México (en prensa).
- [2] <http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/corrosion/cor-guidelines.swf> (Consultado el 19 de febrero de 2020).
- [3] <http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/corrosion/cor-preventionIntroduction.swf> (Consultado el 19 de febrero de 2020).
- [4] [http://core.materials.ac.uk/repository/ecorr/swf/ecorr\\_pipeline\\_corrosion.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/ecorr/swf/ecorr_pipeline_corrosion.swf) (Consultado el 19 de febrero de 2020).

## 4.5 Nociones de desgaste

### Antecedentes y objetivos

El desgaste es una de las formas de deterioro de las piezas y equipos y conocer, al menos, algunos aspectos de cómo ocurre este fenómeno y cuáles son algunos de los factores que están involucrados en él constituye un punto de partida importante. Con esa intención se plantea la realización de estas experiencias.

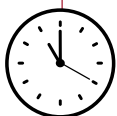
El desgaste forma parte de los fenómenos que se incluyen en lo que recientemente se conoce como tribología, en la que se agrupan, además la fricción y la lubricación y sin duda, es otra forma de deterioro costosa y compleja.

Conocer algunos de los factores que intervienen en este mecanismo de deterioro, los tipos más frecuentes (adhesivo y abrasivo) e introducirse hacia los factores que pueden formar parte de esta problemática de los materiales, permitirá una mayor comprensión por parte de los estudiantes de estos fenómenos y será una plataforma adecuada para abordar en mayor profundidad el tema y ese es, precisamente el objetivo de esta actividad.



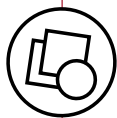
#### *Formato de realización*

Demostrativo, con participación del grupo.



#### *Tiempo de realización*

De 10 a 15 minutos en función de la participación de los estudiantes.



### *Materiales necesarios*

- Barras rectangulares de plastilina
- Gises
- Piezas de madera con diversos tipos de lija adheridos a ella, tanto de lija de carburo de silicio (gris) como de óxido de silicio (roja)
- Alguna herramienta que permita generar rugosidades diversas sobre las barras de plastilina

### Experiencias propuestas

**1** Fabrique varios tipos de superficies rugosas con las barras de plastilina. Ahora ponga en contacto las superficies por cada par e intente deslizarlas una sobre otra aplicando diferentes niveles de carga. Con ello se intenta simular el desgaste adhesivo.

**2** Escriba algún texto o dibujo en una superficie apropiada (pizarrón verde o blanco), con los gises o marcadores, aplicando una ligera presión al escribir. Repita ahora esa operación, pero aplicando una presión mayor. Con esta experiencia se intenta revisar la relación entre el desgaste adhesivo y la fuerza de contacto.

**3** Empleando las piezas de madera con las lijas adheridas (preferentemente lijas que contienen partículas gruesas hasta lijas con partículas muy pequeñas). Ponga en contacto una pieza primero con otra pieza con partículas del mismo tamaño y luego realice operaciones semejantes poniendo en contacto lijas con partículas de diferente tamaño y

## I

1.1

1.2

1.3

lleve a cabo observaciones de cuáles son las respuestas del sistema en cada caso, intentando establecer alguna relación entre el tamaño de partícula y el desgaste que se produce.

## II

2.1

## Comentarios y sugerencias adicionales

2.2

- a) Pueden intentarse experiencias semejantes empleando otros materiales, por ejemplo, polímeros.

2.3

2.4

2.5

## Referencias

2.6

2.7

- [1] [http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/functional\\_apps/opt-definitionSurfaceRoughness.swf](http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/metallurgy/functional_apps/opt-definitionSurfaceRoughness.swf)  
(Consultado el 20 de febrero de 2020).
- [2] <http://core.materials.ac.uk/repository/alumatter/processing/machining/bas-surfaceRoughnessDefinitions.swf>  
(Consultado el 20 de febrero de 2020).
- [3] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado el 21 de enero de 2020)

## III

3.1

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

## SECCIÓN V

Experiencias con materiales  
no metálicos

## 5.1 Generalidades de materiales cerámicos

## Antecedentes y objetivos

Los materiales cerámicos incluyen una gran variedad de combinaciones (comúnmente compuestos químicos) metal/no metal en las que se pueden presentar ordenamientos atómicos cristalinos y no cristalinos. Asimismo, la variedad de propiedades que se pueden encontrar en estos materiales los hace imprescindibles en una gran diversidad de aplicaciones. Con la presente experiencia, se pretende dar a conocer a los estudiantes varios tipos de materiales cerámicos y algunas de sus propiedades más destacadas, como una forma de introducirse al tema.

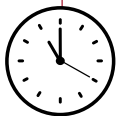
Los materiales cerámicos, día a día, van considerándose para nuevas aplicaciones, particularmente en condiciones de elevada temperatura, en situaciones donde la estabilidad química es necesaria, cuando factores como la dureza o la resistencia al desgaste son imprescindibles y recientemente en otras condiciones que antes no se exploraban suficientemente,

tales como las propiedades magnéticas o de superconductividad. Además, se han ido desarrollando nuevas tecnologías de procesamiento y se pueden ahora obtener materiales cerámicos de propiedades mejoradas y con expectativas de aplicación industrial. Ahí radica la importancia de conocer, aunque sea inicialmente, a este grupo de materiales y esa es la intención básica de estas sencillas experiencias.



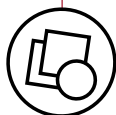
### *Formato de realización*

Demostrativo, con participación grupal.



### *Tiempo de realización*

De 15 a 30 minutos, en función de la participación del grupo.



### *Materiales necesarios*

- Trozos de loza, cerámica artesanal, ladrillo, gis, cerámicos magnéticos, recipientes o vasos de vidrio, piezas recubiertas con cerámicas (por ejemplo, herramientas de corte revestidas con nitruro de titanio, etc.)
- 50 bolas de unicel de 3 o 4 diferentes tamaños

## Experiencias propuestas

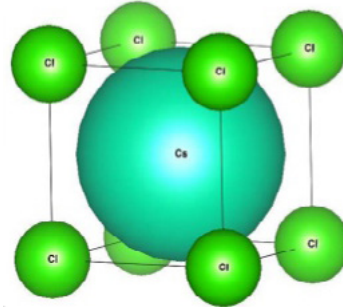
- 1 Distribuir bolas de distintos tamaños entre equipos diversos y pedir que construyan algunas celdas unitarias de compuestos cerámicos sencillos (por ejemplo cloruro de cesio, fluoruro de calcio y alguna algo

más compleja) y pedir que las comparen con los modelos que tienen de materiales metálicos, comentar sobre las diferencias que presentan en su complejidad con los estudiantes.

## ESTRUCTURA CRISTALINA TIPO CLORURO DE CESIO

Cl<sup>-</sup>: empaquetamiento CS  
 Cs<sup>+</sup>: centro del cubo  
 I.C. = 8  
 1 Cl<sup>-</sup> y 1 Cs<sup>+</sup> por celda unitaria

Cerámicas que adoptan este tipo estructural: CsBr, TlCl, TlBr, aleaciones CuZn, AlNi

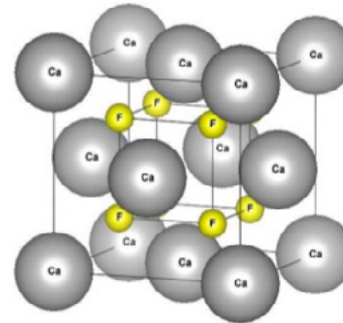


[8]

## ESTRUCTURA CRISTALINA TIPO FLOURITA

Ca<sup>2+</sup>: centro FCC  
 F<sup>-</sup>: empaquetamiento CS  
 I.C. = 8 (Ca<sup>2+</sup>)  
 I.C. = 4 (F<sup>-</sup>)  
 4 Zn<sup>2+</sup> y 4 S<sup>2-</sup> por celda unitaria

Cerámicas que adoptan este tipo estructural: UO<sub>2</sub>, ThO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub>

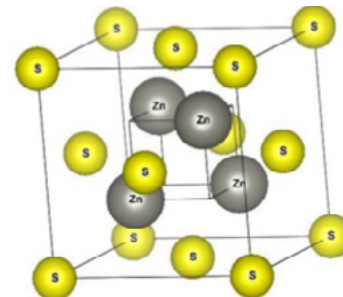


[8]

## ESTRUCTURA CRISTALINA TIPO SULFURO DE ZINC (BLENDA)

S<sup>2-</sup>: empaquetamiento FCC  
 Zn<sup>2+</sup>: centro del cubo  
 I.C. = 4  
 4 Zn<sup>2+</sup> y 4 S<sup>2-</sup> por celda unitaria

Cerámicas que adoptan este tipo estructural: CdS, HgS  
 Células solares: Fotoconductores cerámicos



[8]



I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

- 2** Muestre ahora a los alumnos la variedad de piezas elaboradas con materiales cerámicos con los que cuente, haciendo la distinción de los que sean cristalinos y los no cristalinos. Simultáneamente puede ir comentando con ellos las principales clases de materiales y realizando algunas demostraciones. Por ejemplo, deje caer algún trozo de cerámica artesanal o gises y comente respecto a su fragilidad bajo cargas de impacto y contraste el comportamiento cuando se aplican cargas de compresión.

### Comentarios y sugerencias adicionales

- a) Optativamente y si cuenta con los elementos necesarios para ello, puede complementar esta presentación de piezas con alguna experiencia relacionada con cerámicos más recientes. Por ejemplo, puede mostrar a los alumnos el efecto Meissner de los superconductores o mostrar cualidades magnéticas de cerámicos de este tipo.
- b) Puede complementarse este ejercicio con una actividad donde muestre las diversas etapas de un proceso de elaboración típico de cerámicas tradicionales (moldeo, secado, compresión, sinterización -cocción etc.) de piezas cerámicas.

### Referencias

- [1] <http://classroom.materials.ac.uk/casePiez.php>  
(Consultado el 22 de febrero de 2020).
- [2] <http://classroom.materials.ac.uk/caseHip.php>  
(Consultado el 22 de febrero de 2020).
- [3] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2423>  
(Consultado el 22 de febrero de 2020).

## I

1.1 [4] <https://www.youtube.com/watch?v=tw8RHuccBGI>  
(Consultado el 22 de febrero de 2020).

1.2 [5] <https://www.youtube.com/watch?v=-5YURqTfFck>  
(Consultado el 22 de febrero de 2020).

1.3

## II

2.1 [6] <https://www.youtube.com/watch?v=8NRzJRFw-Q4>  
(Consultado el 22 de febrero de 2020).

2.2 [7] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2385>  
(Consultado el 22 de febrero de 2020).

2.2

2.3 [8] <https://www.slideshare.net/JavierZapiain/propiedades-de-los-materiales-u2> (Consultado el 22 de febrero de 2020).

2.3

2.4 [9] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado el 25 de enero de 2020).

2.4

2.5

2.6

2.7

## III

3.1

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

## 5.2 Características de materiales poliméricos

### Antecedentes y objetivos

Es común encontrar que los estudiantes tengan la noción inicial de que todos los plásticos cuando se someten a la acción del calor se ablandan. Esta experiencia, además de introducirlos al tema de los polímeros, tiene como otra de sus finalidades, el lograr que ellos sean capaces de diferenciar los diversos tipos de polímeros más comunes.

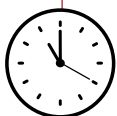
Los polímeros, sin duda, constituyen un grupo de materiales que ha irrumpido de manera muy importante en nuestras vidas cotidianas con la variedad de formas y colores, asociado todo ello a la morfología del ordenamiento de sus moléculas, de lo cual deriva, asimismo, una amplia variedad de técnicas de procesamiento, para diversos tipos de polímeros.

Conocer propiedades generales de los diversos tipos de polímeros, permitirá a los estudiantes adentrarse a ese amplio y creciente mundo de este grupo de materiales de gran aplicación industrial. Con esa idea e intención primordial se ha diseñado esta experiencia.



#### *Formato de realización*

Demostrativo, con participación grupal.



#### *Tiempo de realización*

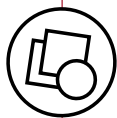
Aproximadamente de 10 a 15 minutos, en función de la participación de los estudiantes.

## I

1.1

1.2

1.3



### *Materiales necesarios*

- Ligas (preferentemente nuevas y de diferentes tamaños)
- Bolsas de polietileno y otros tipos de objetos de diversos plásticos
- Piezas de baquelita
- Juego de barras para elaborar piezas de resina epóxica
- Encendedor
- Si es posible, modelo de bolas del polietileno y de la baquelita
- Pinzas para tomar las muestras

## II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

## III

### Experiencias propuestas

3.1

3.2

**1** Tome el juego de dos barras usadas para elaborar piezas con resinas epóxicas y, en tanto permite su consolidación, lleve a cabo el resto de las experiencias.

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

**2** Tome una bolsa de polietileno y póngala en contacto por unos momentos y cuidadosamente con la flama de un encendedor y comente con los alumnos la respuesta encontrada, asociando el comportamiento con los enlaces que se dan en las cadenas de moléculas de polietileno.

## V

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

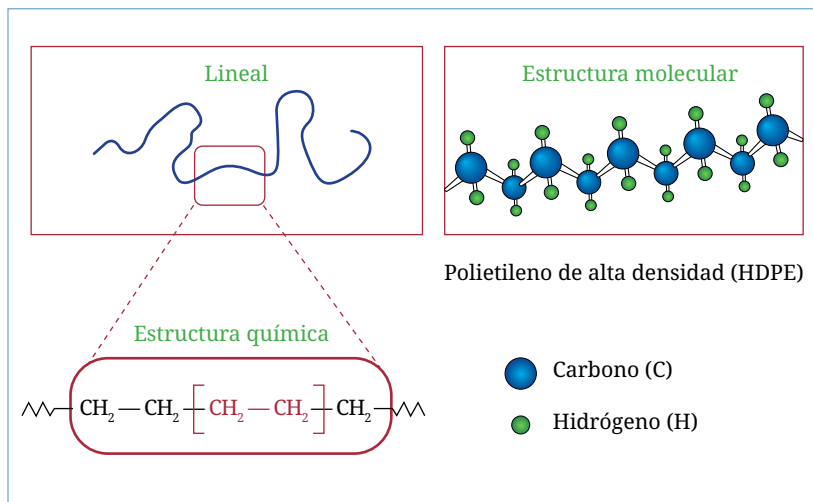
4.5

V

5.1

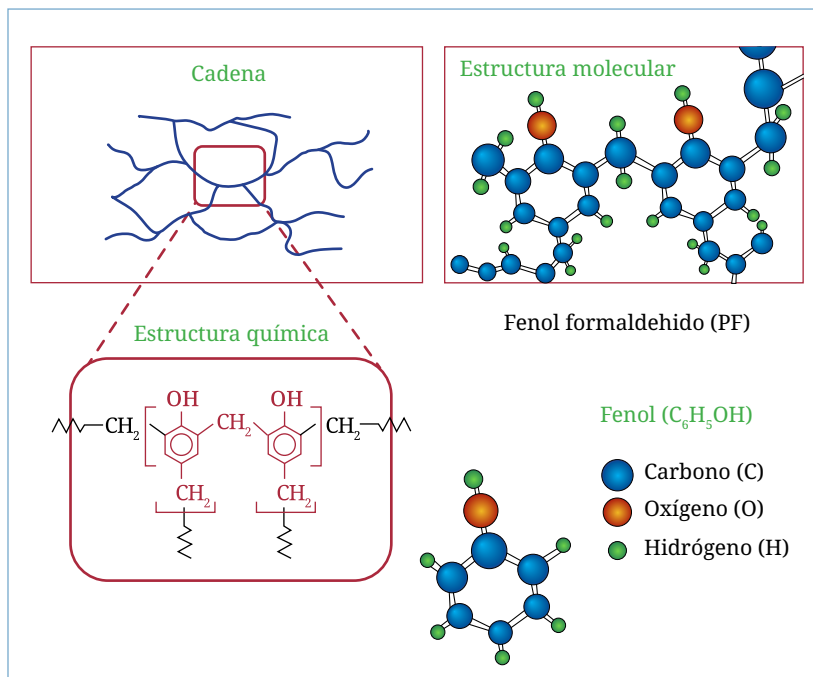
5.2

5.3



[11]

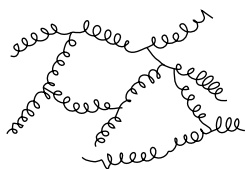
- 3** Ponga ahora la pieza de baquelita en contacto con la llama del encendedor y comente con los estudiantes lo que sucede asociándolo al enlace que ocurre en este tipo de polímeros.



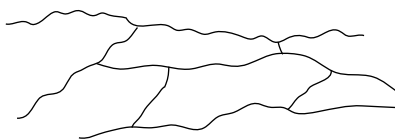
[11]

- 4** Muestre y comente con los alumnos cómo se deforman las ligas de diferentes tamaños y si cuenta con alguna liga de mayor grosor sométala a un leve calentamiento para hacer patente a los estudiantes el efecto de la temperatura en esta clase de polímeros. Mencione y comente con ellos de qué forma se encuentran enlazadas las moléculas en este tipo de polímeros.

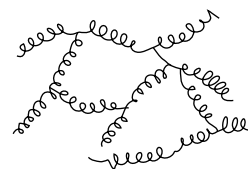
Caucho sin estirar



Caucho estirado

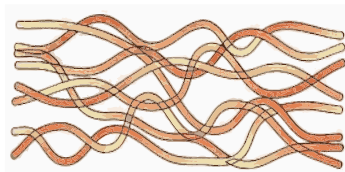


Caucho recuperado

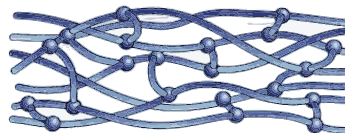


[12]

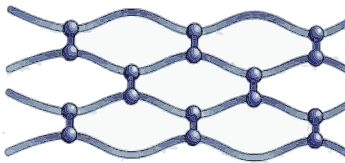
**Termoplásticos.** Las cadenas entre sí están unidas por enlaces tan débiles que se rompen si el plástico se calienta.



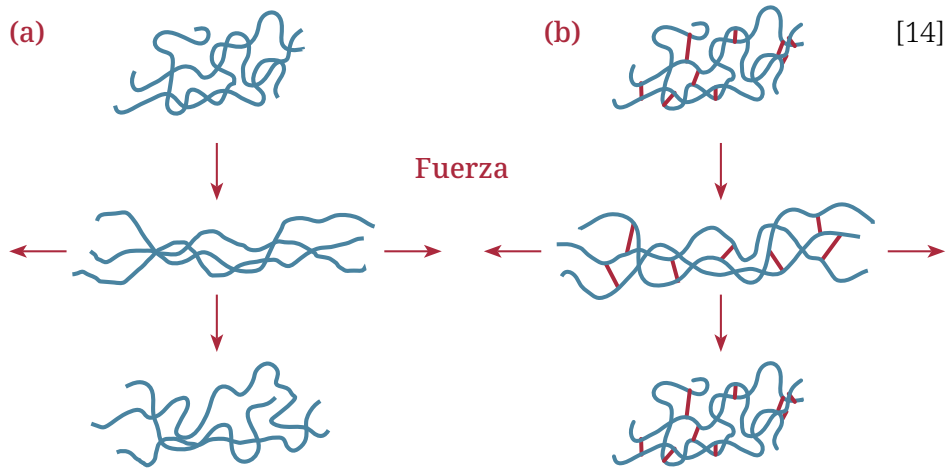
**Termoestables.** Los enlaces son tan fuertes que no se rompen cuando se calienta el plástico.



**Elastómeros.** Cuando se aplica una fuerza, las cadenas se estiran, lo que confiere a estos materiales una gran elasticidad.



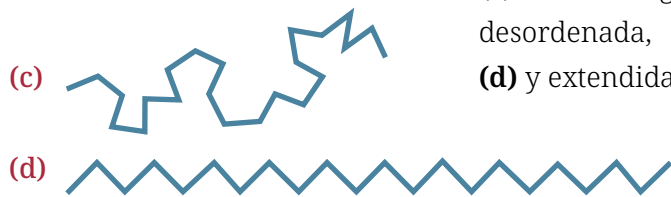
[13]



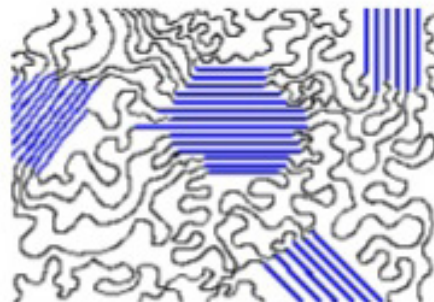
[14]

**(a)** Cuando un elastómero no contiene enlaces cruzados, la aplicación de una fuerza causa a la vez deformación elástica y plástica; una vez removida la carga, el elastómero queda permanentemente deformado.

**(b)** Cuando existen enlaces cruzados, el elastómero quizá puede sufrir una deformación elástica grande; sin embargo, al eliminar la carga, el elastómero vuelve a su forma original.

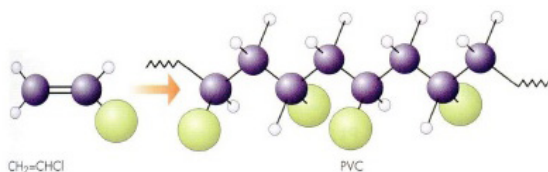


**(c)** Cadena larga en conformación desordenada,  
**(d)** y extendida.



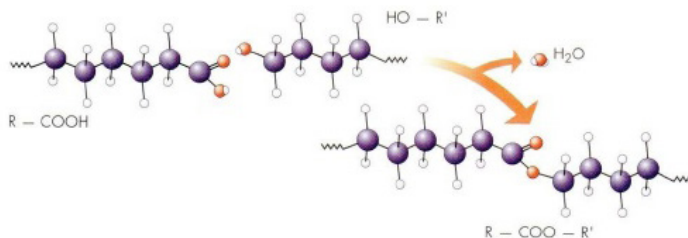
En general, al aumentar la cristalinidad no solo aumenta la opacidad, sino también la rigidez y la resistencia a la tracción —estiramiento— de los polímeros debido a las fuerzas intermoleculares que actúan entre las cadenas.

- 5 Si ha concluido el proceso de consolidación de la resina epóxica, puede repetir la operación de ponerla en contacto con la flama del encendedor y aproveche para comentar con los alumnos cómo ocurren los procesos de polimerización en las diferentes clases de polímeros y sus consecuencias en cuanto a los tipos de polímeros que se pueden producir. Se sugiere comentar la nomenclatura habitual y los códigos para reciclaje de los polímeros más comunes.



[15]

**Polimerización por adición**



**Polimerización por condensación**

**Códigos de identificación de resinas de plástico**



[16]



## Comentarios y sugerencias adicionales

- a) Puede ampliar la variedad de plásticos empleados en las experiencias.

## Referencias

[1] <http://core.materials.ac.uk/repository/doitpoms/tlp/swf/stress-strain.swf> (Consultado el 24 de febrero de 2020).

[2] <http://core.materials.ac.uk/repository/doitpoms/tlp/polymers.htm> (Consultado el 24 de febrero de 2020).

[3] <http://core.materials.ac.uk/repository/doitpoms/tlp/polymer-s/3D%20PE%208.swf> (Consultado el 24 de febrero de 2020).

[4] <http://core.materials.ac.uk/repository/doitpoms/tlp/polymers/Random%20walk%20simulation.swf> (Consultado el 24 de febrero de 2020).

[5] <http://core.materials.ac.uk/repository/doitpoms/tlp/polymers/Synthesis3.swf> (Consultado el 24 de febrero de 2020).

[6] <http://core.materials.ac.uk/repository/doitpoms/tlp/polymers/Identification%20test4.swf> (Consultado el 24 de febrero de 2020).

[7] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2352> (Consultado el 24 de febrero de 2020).

[8] <https://www.youtube.com/watch?v=I28m4FZzqro> (Consultado el 24 de febrero de 2020).

[9] <https://www.youtube.com/watch?v=y3UWhhymSj8> (Consultado el 25 de febrero de 2020).

[10] <https://www.youtube.com/watch?v=YoJXjDP2hTY> (Consultado el 25 de febrero de 2020).

[11] <https://www.britannica.com/science/high-density-polyethylene> (Consultado el 25 de febrero de 2020).

## I

1.1

[12] [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15\\_5.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_5.html)

(Consultado el 25 de febrero de 2020).

1.2

1.3

[13] <http://www.monografias.com/trabajos102/elastomeros-contenido-completo/elastomeros-contenido-completo.shtml>

(Consultado el 25 de febrero de 2020).

## II

2.1

[14] <http://docplayer.es/68779630-Polimeros-materiales-industriales-i-fiuba.html> (Consultado el 25 de febrero de 2020).

2.2

[15] <https://es.slideshare.net/tecnoribera/plasticos-6875680>

(Consultado el 25 de febrero de 2020).

2.3

2.4

[16] <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/codigos-de-los-plasticos.html> (Consultado el 25 de febrero de 2020).

2.5

[17] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado el 25 de enero de 2020).

2.6

2.7

## III

3.1

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3

## 5.3 Nociones de materiales compuestos

### Antecedentes y objetivos

Los materiales compuestos constituyen un amplio grupo de materiales donde se reúnen las cualidades de dos tipos o dos formas de presentación de materiales con el propósito de lograr propiedades mejoradas e incluso en algunas ocasiones, propiedades únicas que son determinantes para generar también nuevas aplicaciones en partes y sistemas industriales de enorme importancia como la industria aeronáutica, automotriz o biomédica, por mencionar algunas. Con el fin de dar a conocer los principales tipos de materiales compuestos, en esta experiencia se presentan ejemplos de este tipo de materiales para que los estudiantes se puedan familiarizar con ellos.

Los materiales compuestos están constituidos por dos partes: una matriz (usualmente la fase continua) y un refuerzo (agregado, habitualmente, para incrementar una propiedad específica al conjunto). Tanto la matriz como los posibles refuerzos pueden estar constituidos por materiales metálicos, cerámicos o poliméricos y, en función de ello, las maneras de procesarlos se modifican.

Asomarse a este variado y cada vez más importante grupo de materiales constituye el fin fundamental de esta experiencia.



#### *Formato de realización*

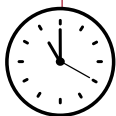
Demostrativo, con participación del grupo.

I

1.1

1.2

1.3



### *Tiempo de realización*

De 15 a 30 minutos en función de la cantidad de muestras disponibles.

II

2.1

2.2

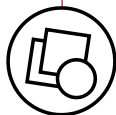
2.3

2.4

2.5

2.6

2.7



### *Materiales necesarios*

- Al menos dos juegos de barras de resinas epóxicas
- Polvos de carburo de silicio o de óxido de aluminio (alúmina)
- Lijas de varios tipos y tamaños de granos
- Muestras de triplay
- Barra bimetálica
- Piezas de fibra de vidrio en resina
- Si es posible, sartenes de materiales metálicos recubiertos de teflón

III

3.1

3.2

IV

## Experiencias propuestas

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

1

Mezcle un par de barras del estuche de resina epóxica y colóquelas a un lado dejando que transcurra el tiempo de consolidación del material. Añada a otro par de barras, mientras está mezclándolas, una pequeña cantidad de carburo de silicio o de óxido de aluminio o bien prepare dos pares de barras, una con carburo de silicio y otra de óxido de aluminio y deje que los dos o tres sistemas que ha preparado se consoliden mientras lleva a cabo otras experiencias.

V

5.1

5.2

5.3

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

**2** Analice, en conjunto con los estudiantes, las lijas de diferentes tamaños de granos de SiC y  $Al_2O_3$ . Determine con ellos qué papel juegan las partículas (refuerzo) y la resina (polímero) como matriz en el sistema.

**3** Aprovechando la experiencia anterior compare el caso de las lijas con el de la pieza con fibra de vidrio en relación con el tipo de refuerzo en cada caso, comentándolo y discutiéndolo con los estudiantes.

**4** Ahora muestre y comente con los estudiantes el caso de los ejemplos de un sartén, el triplay, la barra bimetálica (si es posible contar con ella), a fin de resaltar el tercer tipo de materiales compuestos, los laminares.

**5** Retome, luego de que las barras de epóxico sin y con refuerzo, se hayan consolidado, y comente esto con los alumnos como un ejemplo tanto del proceso de una matriz que se ha polimerizado y que es de tipo termoestable como del papel de los diferentes tamaños de los refuerzos.

### Comentarios y sugerencias adicionales

- a) En función de la disponibilidad de otras muestras de materiales compuestos, pueden ampliarse los ejemplos.

### Referencias

- [1] <http://core.materials.ac.uk/repository/granta-design/caseStudies/Exercises-MA-WindTurbineBasic-UOC-EN.swf>  
(Consultado 27 de febrero de 2020).
- [2] <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2752>  
(Consultado 27 de febrero de 2020).

**I**

- 1.1 [3] <http://core.materials.ac.uk/repository/granta-design/caseStudies/Exercises-tables-MA-UOC-EN.swf>  
(Consultado 27 de febrero de 2020).
- 1.2
- 1.3 [4] <https://www.doitpoms.ac.uk> (Consultado 27 de enero de 2020).

**II**

- 2.1
- 2.2
- 2.3
- 2.4
- 2.5
- 2.6
- 2.7

**III**

- 3.1
- 3.2

**IV**

- 4.1
- 4.2
- 4.3
- 4.4
- 4.5

**V**

- 5.1
- 5.2
- 5.3

I

1.1

1.2

1.3

II

2.1

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

III

3.1

3.2

IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

V

5.1

5.2

5.3

## REFERENCIAS ADICIONALES

1. T.A. Khraishi and M. S. Al-Haik. *Experiments in Materials Science and Engineering*. Cognella. (2011). ISBN: 978-1-60927-868-7.
2. B. González. “cMLAB, Laboratorio Virtual para Ciencia e Ingeniería de Materiales”. (2011). *Memoria del Proyecto de Innovación Docente*. Escuela Politécnica Superior de Zamora, España.
3. C. H. Hsu. *Materials Science and Engineering Laboratory*. (2005). Department of Mechanical Engineering, Mechatronic Engineering, and Manufacturing Technology California State University, Chico.
4. F. Díaz Barriga. *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo*. (2010). 3ra. edición, MacGraw Hill, México.
5. J. M. Cabrera (Editor). *Actas del VI Taller Iberoamericano de Educación en Ciencia e Ingeniería de Materiales (VI TIECIM)*. (2008). Barcelona, España.
6. A. Barba, M. A. Hernández (Editores). *Memorias del VII Taller Iberoamericano de Educación en Ciencia e Ingeniería de Materiales (VII TIECIM)*. (2011). México, D.F.
7. P. Molera, D. Mollà, M. Cruells, J. Viñals, J. M. Chimenos, A. I. Fernández, N. Llorca, A. Roca, E. Vilalta, M. Segarra, E. Xuriguera, M. Martínez., S. Dosta. “MICROMET, POLIMAT, PROCER Y AUTOMAT: formación y evaluación

## I

1.1

no presencial”. (2011). *Memorias del VII Taller Iberoamericano de Educación en Ciencia e Ingeniería de Materiales*. México, D.F.

1.2

1.3

8. L. Dobrzanski, A. Jagiello, R. Honys. “Virtual tensile test machine as an example of Materials Science Virtual Laboratory”. (2008). *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 27, 207 - 210.

## II

2.1

9. L. Dobrzanski, R. Honysz. “The idea of Materials Science Virtual Laboratory” (2010). *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing* 42, 196-203.

2.2

2.3

10. R. Prasad. “Models of Dislocations for Classroom”. (2003). *Journal of Materials Education* Vol. 25 (4-6): 113 - 118.

2.4

2.5

11. P. Ugalde, A. Canales, A. Mendoza-Allende, J. A. Montemayor-Aldrete. “Introducción a la deformación plástica por movimiento de dislocaciones mediante el uso de analogías y el concepto de energía”. (1999). *Revista Mexicana de Física* 45 (5) 501- 509.

2.6

2.7

12. C. B. García, C. K. Endo, M. Chang, G.E. Beltz. “Dislocations Models as Teaching Aids”. (1999). *Journal of Materials Education* (1999). 21. (1&2s), 149-156.

## III

3.1

13. A. G. Ramírez. “The fine art of materials science demonstrations”. (2004). *Demoworks*. USA.

3.2

14. D.H. Rose. “Current Practice-The Teaching of Corrosion at Colleges and Universities”. (2007). *Proceedings of the Materials Forum 2007. Corrosion Education for the 21st Century*.

4.1

4.2

15. P. Meza. “Corrosión: Una Innovación en la enseñanza-aprendizaje” GINT. (2015). *Journal of Industrial Neo-Technologies*. No. 1. Vol 2. (2015). p.25-31.

4.3

4.4

16. M. Vera, G. Montiel, R. Petris, M. Stoppello, L. Giménez. “Apoyo de las TIC’s para el Aprendizaje del Tema: Corrosión en Alumnos de Primer Año de Ingeniería” (2014). ISBN: 978-84-7666-210-6 – Artículo 167. *Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación*. p.1-7.

4.5

## V

5.1

17. E. P. Moraes, M. R. Confessor, L. H. S. Gasparotto. “Integrating Mobile Phones into Science Teaching To Help Students Develop a Procedure

5.2

5.3



## I

- 1.1 To Evaluate the Corrosion Rate of Iron in Simulated Seawater”. (2015).  
 1.2 *J. Chem. Educ.*92 (10), 1696–1699. DOI: 10.1021/acs.jchemed.5b00274.  
 1.3 18. M. Free. “Teaching corrosion via the internet using a variety of tools  
 to enhance learning”. (2005). *Hydrometallurgy*. Volume 79, Issues 1-2,

## II

- 2.1 19. G. Hernández, G. Irazoque, P. Huerta, Y. Pérez. “Secuencia Didáctica:  
 2.2 la Corrosión y sus Aliados. Diseño, Implementación y Evaluación”  
 (2007). Ponencia del *IX Congreso Nacional de Investigación Educativa*.  
 2.3 Mérida, Yucatán. 1-9.  
 2.4 20. L. Lazo, J. Vidal, R. Vera. “La enseñanza de los conceptos de oxidación  
 2.5 y de reducción contextualizados en el estudio de la corrosión”. *Revista*  
 2.6 *Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, (2013). vol. 10,  
 2.7 núm. 1, 110-119.  
 21. B. Bidoia, P. Aoki, E. Luiz, E. Coduro, A. Accion. “A Teaching Experiment  
 of Corrosion Using Visual Colorimetry”. (2012). *Quim Nova* Vol. 35 No. 3.  
 634-637.

## III

- 3.1 22. M. Hernández A. Barba R. Valdez. (2011). “Simuladores Virtuales. Herra-  
 3.2 mienta Complementaria en la Enseñanza de la Química a alumnos de  
 Ingeniería”. (2011). *Memorias del VII Taller Iberoamericano de Educación  
 en Ciencia e Ingeniería de los Materiales (VII TIECIM)*.

## IV

- 4.1 23. M. Hernández, A. Covelo, A. Barba. *Cuaderno de Prácticas de Corrosión*.  
 (2020). Facultad de Ingeniería. UNAM.  
 4.2 24. A. Rugarcía, R. Felder, D. Woods, J. Stice. “*El futuro de la educación en*  
 4.3 *Ingeniería*”. (2001). Universidad Iberoamericana, Benemérita Universi-  
 4.4 dad Autónoma de Puebla, Universidad Popular Autónoma del Estado  
 de Puebla, Universidad Autónoma de Tlaxcala.  
 4.5 25. M. Wiske. “La enseñanza para la comprensión. Vinculación entre la in-  
 vestigación y la práctica”. (1998). Paidós, Buenos Aires. Reedición 2003.

## V

- 5.1 26. P. Pogré. G. Lombardi, G. “Escuelas que enseñan a pensar”. (2004). *En-*  
 5.2 *señanza para la comprensión, un marco para la acción*. Papers Editores.  
 Argentina.  
 5.3

## I

1.1

27. T. Blythe. *La enseñanza para la comprensión. Guía para el docente.* (1999). Buenos Aires, Paidós.

1.2

28. H. Gardner, V. Boix-Mansilla. *Enseñar para las disciplinas y más allá de ellas.* (1994). Educational Leadership 51.

1.3

## II

2.1

29. L. López, M. Sánchez, M. “Construyendo espacios virtuales de educación: Recursos didácticos para el aula virtual”. (2008). *Congreso Virtual Iberoamericano en educación a distancia.* Eduq@ 2008.

2.2

30. L. Santibáñez, J. Vidal, R. Vera. “La enseñanza de los conceptos de oxidación y de reducción contextualizados en el estudio de la corrosión”. (2013). *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 10(1), 110-119.

2.3

2.4

2.5

31. Academia de Ingeniería México, A.C. *Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo.* <http://www.ai.org.mx/ai/index.php/79-arriba/487-estado-del-arte-de-la-ingenieria-enero-2014>.

2.6

2.7

32. F. Mainier, L. Monteiro, F. Merçon, P. Guimarães, R. Mainier. “Teaching of corrosion based on critical evaluation of urban furniture of a public square. IOSR” (2013). *Journal of Research & Method in Education (IOSR-JRME)* e-ISSN: 2320-7388,p-ISSN: 2320-737X VoL. 3, Issue 3. 13-19 [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org).

3.1

3.2

## III

4.1

33. S. Caines, J. Shirokoff. “The Development and Teaching of Corrosion Course in an Engineering Program”. (2014). Proc. 2014 Canadian Engineering Education Association (CEEA14) Conf.

4.2

4.3

4.4

4.5

34. L.D Feisel, A.J. Rosa. “The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education” (2005). *Journal of Engineering Education*, vol 94, no 1, pp 121-130.

35. J. Orjuela-Méndez, J. Arroyo-Osorio, R. Rodríguez-Baracaldo. “Actualidad y perspectivas en la enseñanza del área de manufactura a estudiantes de ingeniería”. (2013). *Ingeniería Mecánica.* Vol. 16. No. 1, 59-71.

## IV

5.1

5.2

5.3

36. A. Rolstadås, B. Moseng, B. “Global Education in Manufacturing – GEM” (2002). En: *CIRP International Manufacturing Education Conference CIMEC*, Enschede: Holanda. 2002. p. 1-13. Disponible en <http://www>.

## I

1.1

sintef.no/static/tl/projects/gem/documents/CIMEC%20%20April%202002%20GEM%20IMS.pdf.

1.2

1.3

**37.** A. Rolstadås. “Global education in manufacturing”. (2007) En: *Advanced Manufacturing - An ICT and Systems Perspective*. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis, 319 p. p. 229-239. ISBN 978-0-415-42912-2.

## II

2.1

**38.** D. O’Sullivan.; A. Rolstadås, E. Filos. “Global education in manufacturing strategy”. (2011). *Journal of Intelligent Manufacturing*. vol 22, nº. 5, 663-674. ISSN 0956-5515. DOI 10.1007/s10845-009-0326-2.

2.2

2.3

**39.** D. Waldorf. R. Bjurman. “Plotting a Bright Future for Manufacturing Education: Results of a Brainstorming Session” (2006). En: Proceedings of the 2006 ASEE Conference *Advancing Scholarship in Engineering Education*. Disponible en: [http://digitalcommons.calpoly.edu/ime\\_fac/4/](http://digitalcommons.calpoly.edu/ime_fac/4/). DOI 10.1.1.123.8254.

2.4

2.5

2.6

2.7

**40.** M. Jou., H. Zhang, C. Lin. “Development of an interactive e-learning system to improve manufacturing technology education” (2005). En: *ICALT 2005 Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. Washington, 359-360. Disponible en: <http://www.computer.org/csdl/proceedings/icalt/2005/2338/00/23380359-abs.html>. DOI 10.1109/ICALT.2005.121.

## III

3.1

3.2

**41.** R. Gil. “La ingeniería en el 3er milenio: una reseña de los nuevos paradigmas” (2010).. Buenos Aires, Argentina: ANI – Academia Nacional de Ingeniería; 442 p.

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

**42.** C. Villarroel, C. Herrera. “Sobre la posibilidad de aplicar la metodología orientada al proyecto, en la enseñanza de la ingeniería de la Universidad de Tarapacá-Chile” (2004). *Revista de Facultad de Ingeniería U.T.A.* Vol 12, nº. 2, 74-83. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/rfacing/v12n2/art10.pdf>. ISSN 0717-1072.

**43.** G. González; A. García, J. Wellesley-Bourke et al. “El proyecto de curso en la formación de competencias profesionales en estudiantes de ingeniería mecánica”. (2011). *Ingeniería Mecánica*. Vol 14, nº. 2, 119-128.

## V

5.1

5.2

5.3

## I

1.1

Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=225117950004>. ISSN 1815-5944.

1.2

1.3

## II

2.1

44. S. Lee, W. Hung. “Manufacturing engineering education in Singapore”. (2005). *Journal of Manufacturing Systems*. Vol 24, No 3, 271-276. Disponible en: <http://portal.jnu.edu.cn/publish/uploadFile/2970/eWebEditor/20100707013926905.pdf>. ISSN 0278-6125. DOI 10.1016/j.bbr.2011.03.031.

2.2

2.3

2.4

2.5

2.6

2.7

45. L. Cabedo, J. Gámez-Pérez, M. Segarra, P. López-Crespo, R Izquierdo, M. Royo, L. Moliner, T. Guraya. «La Metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) Aplicada a Asignaturas de Ciencia de los Materiales en Ingeniería en la Red IdM@ti». (2017). *Material- ES 1 (2)*; 25-28.

46. J. Gámez-Pérez, N. Salán. “Toca-Toca. Ejemplos Sencillos para Conceptos Complejos en Asignaturas de Ciencia y Tecnología de Materiales”. (2017). *Material-ES 1(2)*, 39-42.

47. N. Salán, E. Ruperez, J. Lluma, J. Jorba, D. Rodríguez, Y. Torres. “El juego de Rol como Metodología Activa (O como hacer mucho con muy poco)”. (2017). *Material-ES 1(1)* 21-23.

3.1

3.2

48. N. Salán et al. “RIMA Project: Activities and Initiatives Communion and Sharing in Educational Innovation at UPC-Barcelona TECH”. (2012). *Procedia- Soc. Behav. Sci.* 46, 2284-2288.

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

49. D. Rodríguez. et al. “Learning Experiences of the GIDMat-RIMA Group with Materials Engineers Students in Autonomous Learning and Working in teams Generic Skills”. (2012). *Procedia-Soc-Behav. Sci.* 46, 4369-4373.

50. C. Solá Ayape. “Aprendizaje basado en problemas: De la teoría a la práctica”. (2010). Editorial Trillas.

51. Pacific Northwest National Laboratory. “Materials Science and Technology Teachers Handbook”. (1994). Science Education Programs. 353 p. USA. Disponible en: <https://www.asminternational.org/documents/10192/1739818/PNNL-17764.pdf>.

5.1

5.2

5.3

## I

1.1

52. A. Pfennig. "Inverting the Classroom in an Introductory Material Science Course". (2016). *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 228, 32-38. 2nd International Conference on Higher Education Advances, HEAd'16, 21-23 June 2016, Valencia, Spain.

1.2

1.3

## II

2.1

53. J. G. Carriazo, M. J. Saavedra, M. Molina. "¿Hacia dónde debe dirigirse la enseñanza de la Ciencia de Materiales?". (2017). *Educación Química*, 28, 107-115.

2.2

2.3

2.4

54. J. G. Carriazo, M. F. Molina, M. F. "Using X-ray diffraction to investigate the crystal structure of materials contained in toothpastes: An inquiry-based lab activity". (2014). *Journal of Materials Education*, 36, 161-168.

2.5

2.6

2.7

55. W. Brostow, J. Deborde, M. Jaklewicz, P. Olszynki. "Tribología con énfasis en Polímeros: Fricción, Resistencia al Rayado y al Desgaste". (2003). *Journal of Materials Education* 25, 4-6, 119-132.

## III

3.1

3.2

## IV

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

## V

5.1

5.2

5.3



*Experiencias auxiliares en el aula para la enseñanza de Ciencia  
e Ingeniería de materiales a estudiantes de ingeniería*

se publicó la primera edición electrónica de un ejemplar (5 MB) en formato PDF el 22 de noviembre de 2022, en el repositorio de la Facultad de Ingeniería, UNAM, Ciudad Universitaria, Ciudad de México. C.P. 04510

El diseño estuvo a cargo de la Unidad de Apoyo Editorial de la Facultad de Ingeniería. Las familias tipográficas utilizadas fueron Noto Serif para texto y Roboto Slab para títulos, ambas con sus respectivas variantes.