



Procesamiento de materiales conglomerantes: cal, yeso y cemento

Apellidos, nombre	Muñoz Portero, María José (mjmunoz@iqn.upv.es)
Departamento	Ingeniería Química y Nuclear
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universitat Politècnica de València



1 Resumen de las ideas clave

En este artículo vamos a describir y comparar el procesamiento de distintos **materiales conglomerantes**, como es el caso de la cal, el yeso y el cemento. Todo ello lo veremos a través de ejemplos prácticos para facilitar el aprendizaje de los conceptos básicos descritos en el presente documento.

2 Objetivos

Una vez que el alumno se lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Describir el procesamiento de distintos materiales conglomerantes.
- Comparar el procesamiento de distintos materiales conglomerantes.

3 Introducción

Los **materiales conglomerantes** son materiales cerámicos capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por **transformaciones químicas** en su masa que originan nuevos compuestos. Ejemplos de materiales conglomerantes son la cal, el yeso y el cemento. Es importante no confundir los materiales conglomerantes con los aglomerantes. Los **materiales aglomerantes** son materiales capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo **exclusivamente físico** (un ejemplo de material aglomerante es el barro).

Los materiales conglomerantes se presentan en forma de polvo muy fino, que al mezclarse con agua forman una **pasta**, la cual muestra un comportamiento plástico que permite su moldeado. La pasta en estado fresco puede unirse a **otros materiales (áridos)** formando **materiales compuestos conglomerantes** (como son el mortero y el hormigón). La pasta **fragua y endurece** (adquiere resistencia y rigidez), siendo el proceso irreversible. De esa forma se obtienen estructuras cristalinas que presentan fractura frágil. En la Figura 1 puedes ver el proceso de fraguado y endurecimiento de los materiales conglomerantes.

Existen dos tipos de materiales conglomerantes según su capacidad de fraguar en distintos ambientes: aéreos e hidráulicos.

- **Conglomerantes aéreos:** son aquellos materiales que fraguan y endurecen en contacto con el aire (un ejemplo de conglomerante aéreo es la cal aérea).
- **Conglomerantes hidráulicos:** son aquellos materiales que fraguan y endurecen en contacto con el agua y sumergidos en agua (ejemplos de conglomerantes hidráulicos son la cal hidráulica, el yeso y el cemento).

Los materiales conglomerantes se clasifican, según su composición, en dos grandes grupos: primarios y secundarios.

- 1) **Materiales conglomerantes primarios.** Proceden de la calcinación de una roca, sin adición alguna. Dentro de este grupo se encuentran la cal, el yeso y el cemento.
 - **Cal:** procede de la calcinación de la roca caliza.

- **Yeso:** procede de la deshidratación parcial o total de la piedra de yeso.
 - **Cemento:** procede de la calcinación de una mezcla de caliza, arcilla, sílice y ceniza de pirita.
- 2) **Materiales conglomerantes secundarios.** Se obtienen por la unión de la pasta (el aglutinante) formada por un material conglomerante primario y agua con materiales áridos, que actúan de agregados o reforzantes. Dentro de este grupo se encuentran el mortero y el hormigón.
- **Mortero:** es un material compuesto de conglomerantes inorgánicos, áridos finos (arena), agua y posibles aditivos.
 - **Hormigón:** es un material compuesto de conglomerantes inorgánicos, áridos finos (arena), áridos gruesos (grava), agua y posibles aditivos.

En este documento vamos a ver el procesamiento de los materiales conglomerantes, para el caso concreto del procesamiento de los materiales conglomerantes primarios.

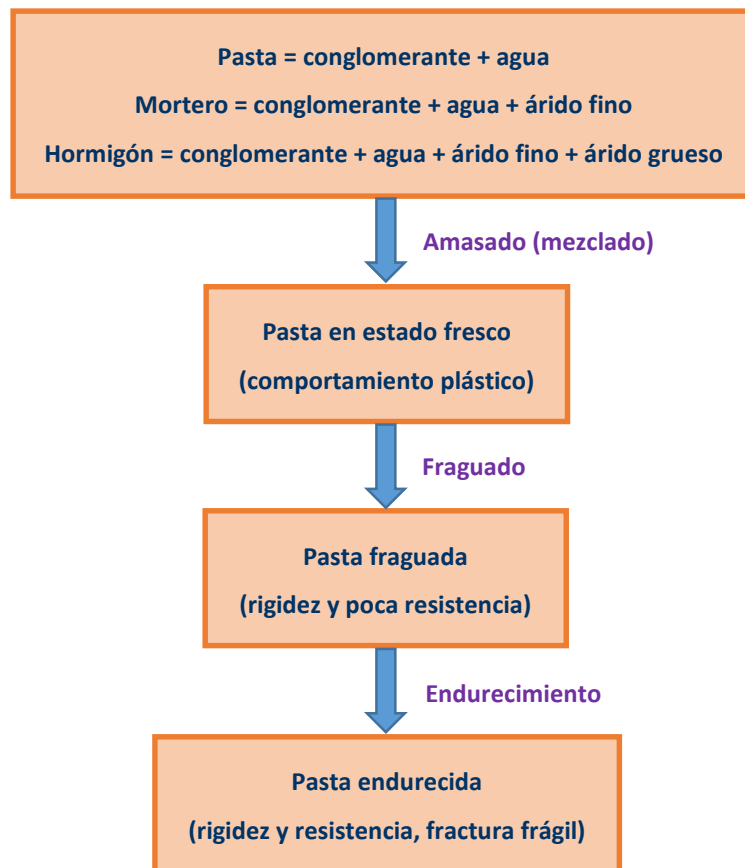


Figura 1. Proceso de fraguado y endurecimiento de los materiales conglomerantes.

4 Desarrollo

Ahora vamos a ver como se realiza el procesamiento de los materiales conglomerantes. Para ello vamos a describir el procesamiento de distintos materiales conglomerantes primarios,

como es el caso de la cal, el yeso y el cemento. Finalmente, vamos a realizar una comparación entre el procesamiento de los distintos materiales conglomerantes.

4.1 Procesamiento de la cal

La **materia prima** utilizada en el procesamiento de la cal es la **roca caliza**, la cual es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por **carbonato de calcio (CaCO_3)**, generalmente **calcita**, aunque frecuentemente presenta trazas de **magnesita (MgCO_3)** y otros carbonatos. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca.

La secuencia del procesamiento de la cal incluye las siguientes etapas, tal como puedes ver en la Figura 2:

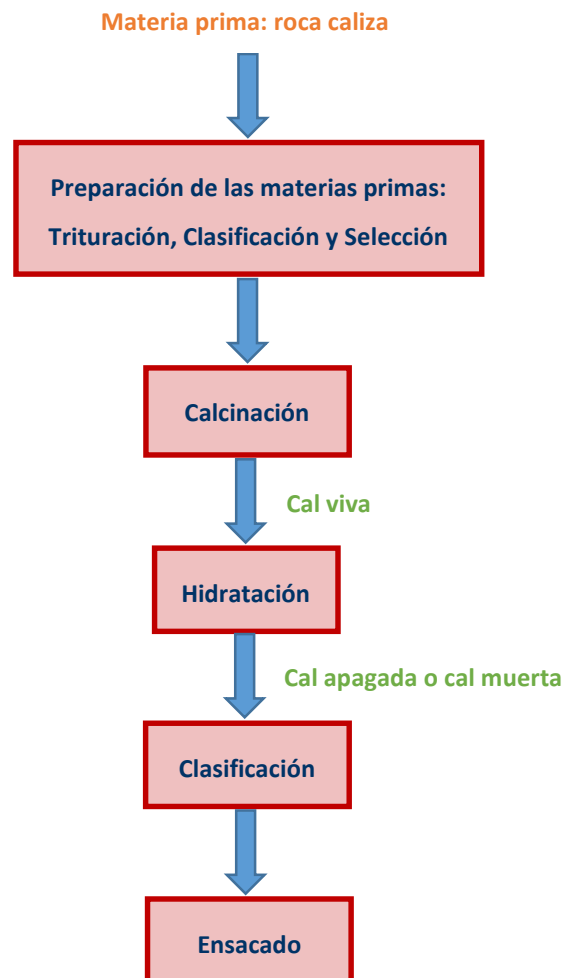


Figura 2. Diagrama de flujo del procesamiento de la cal.

- 1) **Preparación de las materias primas.** Las operaciones de preparación de la roca caliza extraída en las canteras son: trituración, clasificación y selección.



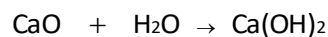
- **Trituración:** consiste en la ruptura de grandes trozos de roca caliza procedentes de la naturaleza, disminuyendo así el tamaño de la roca. Se suele realizar con un triturador de mandíbulas.
 - **Clasificación:** la roca triturada se separa en dos productos, uno de ellos se somete a una operación de molienda hasta obtener polvo fino y posterior empaquetado para comercializar; el otro producto se lleva al horno de calcinación.
 - **Selección:** la roca triturada se somete a una operación de selección antes de entrar en el horno. Esta operación se realiza por dos motivos: 1) la roca que se introduce en el horno no debe ser ni porosa ni húmeda, ya que sino aumenta la demanda de combustible y 2) no puede tener impurezas de tipo partículas de silicio, pues reaccionan con el óxido de calcio formando silicatos, los cuales se acumulan en el fondo de los hornos obstruyendo el paso de material.
- 2) **Calcinación.** La roca caliza triturada se somete a una etapa de calcinación en un horno vertical a temperaturas de 900-1000 °C, de forma que se produce la descomposición de los carbonatos. El producto que se obtiene es la **cal viva**, que es el óxido de calcio (CaO).



Ecuación 1. Reacción de obtención de la cal viva.

La cal viva se puede clasificar y empaquetar para comercializar o bien llevarse a la siguiente etapa del proceso.

- 3) **Hidratación.** La cal viva se somete a una primera clasificación. Para usar la cal viva es necesario añadirle agua, operación que se denomina **apagado de la cal**, y en la que el óxido de calcio se convierte en hidróxido de calcio (Ca(OH)₂), que es la denominada **cal apagada o cal muerta**. Esta operación debe realizarse con precaución, ya que la reacción química que tiene lugar es fuertemente exotérmica.



Ecuación 2. Reacción de obtención de la cal apagada o cal muerta.

Las formas de realizar el **apagado de la cal** son: espontáneo, por aspersión, por inmersión, por fusión y en autoclave.

- 4) **Preparación del producto final.** Una vez obtenida la cal apagada o cal muerta se lleva a una segunda clasificación y se empaqueta para comercializar.

4.2 Procesamiento del yeso

La **materia prima** utilizada en el procesamiento del yeso es la **piedra de yeso o aljez**, que es un mineral cuya composición química es **sulfato de calcio dihidratado (CaSO₄·2H₂O)**. También puede utilizarse la **anhidrita**, que es el sulfato de calcio anhidro (CaSO₄), aunque este mineral absorbe rápidamente agua convirtiéndose en aljez.

La secuencia del procesamiento del yeso incluye las siguientes etapas, tal como puedes ver en la Figura 3:

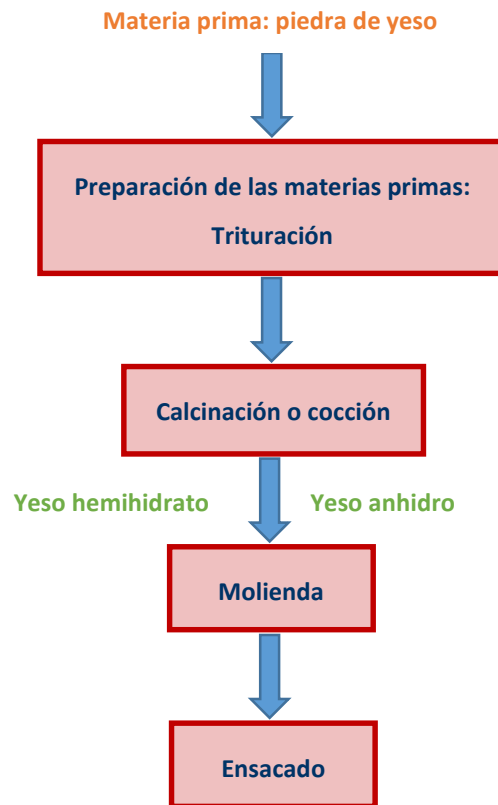
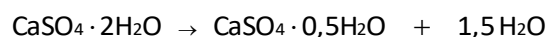


Figura 3. Diagrama de flujo del procesamiento del yeso.

- 1) **Preparación de las materias primas.** La piedra de yeso procedente de la naturaleza se somete a una operación de **trituración**, la cual consiste en la ruptura de grandes trozos de roca cruda mediante machacadoras o molinos antes de llevarla al horno de cocción.
- 2) **Calcinación o cocción.** Una vez triturado, el yeso natural o sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se calienta en un horno para producir la **deshidratación parcial o total** del mineral y obtener el **yeso hemihidrato** ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) o bien las formas **anhidras** del mismo (CaSO_4), respectivamente. Según la temperatura de calcinación, los tipos de yeso obtenidos son: hemihidrato (130-170 °C), anhidrita soluble (170-250 °C), anhidrita insoluble (600-900 °C) y yeso hidráulico (900-1000 °C).



Ecuación 3. Reacción de obtención del yeso hemihidrato.



Ecuación 4. Reacción de obtención del yeso anhidro.

- 3) **Preparación del producto final.** Tras la calcinación se requiere una operación de **molienda** mediante molinos de martillos o de bolas para reducir el yeso a polvo. El yeso

molido se almacena en silos cerrados y aislados de la humedad, con objeto de evitar la hidratación. Finalmente, se realiza el ensacado para comercializar.

4.3 Procesamiento del cemento

Las **materias primas** utilizadas en el procesamiento del **cemento gris** son la **caliza (CaCO_3)**, la **arcilla (sílico-aluminato)**, la **sílice (SiO_2)** y la **ceniza de pirita (Fe_2O_3)**. El **cemento blanco** se fabrica reduciendo el contenido de hierro de todas las materias primas usadas en la fabricación del cemento. Por tanto, no se utiliza ceniza de pirita como materia prima y, además, se utiliza caliza lavada y arcilla blanca en lugar de arcilla roja.

La secuencia del procesamiento del cemento incluye las siguientes etapas, tal como puedes ver en la Figura 4:

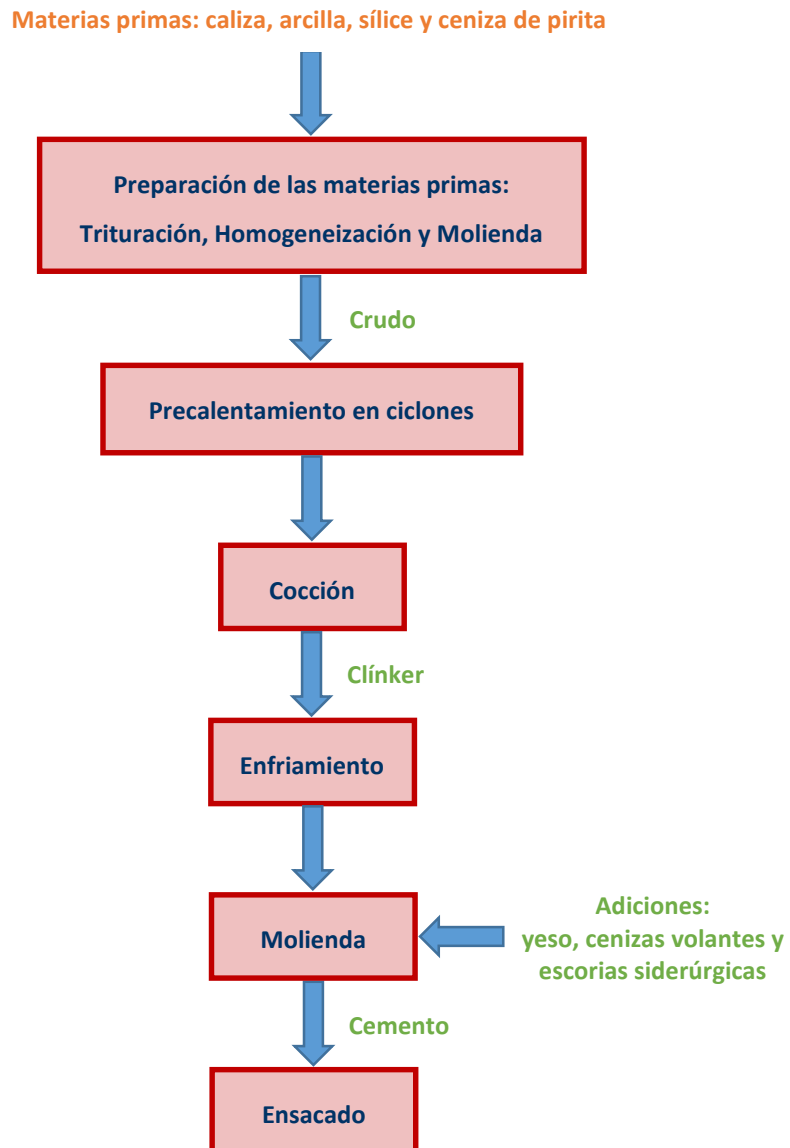
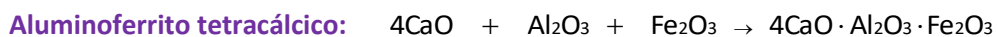
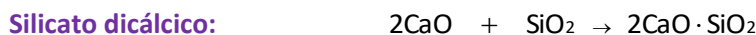


Figura 4. Diagrama de flujo del procesamiento del cemento.



- 1) **Preparación de las materias primas.** Las operaciones de preparación de las materias primas extraídas en las canteras son: trituración, homogeneización y molienda.
 - **Trituración:** consiste en la ruptura de grandes trozos de mineral procedentes de la naturaleza para su reducción posterior. Se pueden requerir varias etapas (por ejemplo, trituración primaria y trituración secundaria).
 - **Homogeneización y molienda del crudo:** consiste en reducir los trozos pequeños después del triturado a polvos finos. El equipo utilizado es un molino de bolas, el cual realiza tanto la molienda como la homogeneización de las materias primas. El conjunto de las materias prima se denomina **crudo**. Tras la molienda, el crudo se almacena en silos.
- 2) **Precaentamiento en ciclones.** El crudo se precalienta antes de su entrada en el horno de cocción mediante la introducción de gases calientes a contracorriente. De esa forma el crudo entrará en el horno a una temperatura de unos 800 °C.
- 3) **Cocción.** El crudo precaentado se somete a un proceso de cocción en un horno giratorio cilíndrico horizontal, ligeramente inclinado, a temperaturas de 1500-1650 °C, de forma que se produce la descomposición de las materias primas. El producto que se obtiene se denomina **clínker**. Los constituyentes del clínker son:
 - Silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$; abreviación **C₂S**).
 - Silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$; abreviación **C₃S**).
 - Aluminoferrito tetracálcico ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$; abreviación **C₄AF**).
 - Aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$; abreviación **C₃A**).
 - Ferrito dicálcico ($\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 2\text{CaO}$; abreviación **FC₂**).
 - Otros: óxidos simples primarios (MgO, CaO, óxidos alcalinos) y CaSO_4 .



Ecuación 5. Reacciones de formación de los constituyentes del clínker.

- 4) **Enfriamiento.** En la fabricación del cemento gris, el clínker que sale del horno se enfría rápidamente mediante una corriente de aire frío. En el caso del cemento blanco el enfriamiento rápido del clínker se realiza con agua. Tras el enfriamiento, el clínker se almacena en silos.
- 5) **Preparación del producto final.** El clínker se introduce en un molino de bolas, al cual se adicionan otros componentes como yeso (adición principal, para retrasar el proceso de fraguado del cemento), cenizas volantes y escorias siderúrgicas. Tras realizar la **molienda del clínker** junto con las adiciones, el producto obtenido se denomina **cemento**. El cemento se almacena en silos de almacenamiento y finalmente se realiza el ensacado para comercializar.

4.4 Comparación del procesamiento de materiales conglomerantes

En la Tabla 1 puedes ver una comparación del procesamiento de distintos materiales conglomerantes, como son la cal, el yeso y el cemento.

Etapas	Cal	Yeso	Cemento
Materias primas	Piedra caliza (CaCO_3)	Piedra de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	Caliza (CaCO_3) Arcilla (sílico-aluminato) Sílice (SiO_2) Ceniza de pirita (Fe_2O_3)
Preparación de las materias primas	1) Trituración 2) Clasificación 3) Selección	1) Trituración	1) Trituración 2) Homogeneización y molienda
Tratamiento térmico	1) Calcinación Obtención de cal viva (900-1000 °C)	1) Calcinación o cocción Obtención de yeso: hemihidrato (130-170 °C) o anhidro (170-1000 °C)	1) Pre calentamiento en ciclones hasta 800 °C 2) Cocción Obtención de clínker (1500-1650 °C)
Enfriamiento	Agua (hidratación) Obtención de cal apagada o muerta	Sin adición de agua o aire	Aire frío (cemento gris) Agua (cemento blanco)
Preparación del producto final	1) Clasificación 2) Ensacado	1) Molienda 2) Ensacado	1) Molienda (clínker y adiciones) Obtención de cemento 2) Ensacado

Tabla 1. Comparación del procesamiento de materiales conglomerantes.

Respecto a las **materias primas**, para la obtención de la cal y el yeso se parte de una sola materia prima, **piedra caliza y piedra de yeso**, respectivamente. En el caso de la fabricación del cemento se parte de un conjunto de materias primas: **caliza, arcilla, sílice y ceniza de pirita**.

Respecto a la **preparación de las materias primas**, en los tres casos se realiza una primera etapa de **trituration** para la reducción del tamaño de partícula. Para el procesamiento de la cal se requieren etapas posteriores de **clasificación** y **selección**. En el caso del procesamiento del cemento se necesita una etapa posterior de **homogeneización y molienda** para la reducción de las partículas a polvos finos.

Respecto al **tratamiento térmico**, en los tres casos se realiza una calcinación o cocción. Lo que varía de un material a otro es la temperatura a la que se realiza el tratamiento térmico. La temperatura más baja de cocción corresponde a la fabricación del yeso hemihidrato (130-170 °C), mientras que la más alta corresponde a la obtención del clínker en el proceso de



fabricación del cemento (1500-1650 °C). En el caso del procesamiento del cemento, antes del proceso de cocción se realiza un precalentamiento en ciclones del crudo.

Respecto al **enfriamiento**, en el caso del procesamiento de la cal se realiza mediante agua (etapa de hidratación). En el caso del procesamiento del cemento el enfriamiento se realiza mediante aire frío en la fabricación de cemento gris, mientras que se realiza mediante agua en la fabricación de cemento blanco. En el caso del procesamiento del yeso el enfriamiento se realiza de forma gradual sin adición de agua o aire.

Respecto a **la preparación del producto final**, en el procesamiento de la cal se realiza una clasificación y empaquetado del producto. En el caso del procesamiento del yeso y el cemento se requiere una molienda final y ensacado. La diferencia entre los dos procesamientos es que en el caso del cemento durante la molienda final se realizan adiciones de otros componentes (yeso, cenizas volantes y escorias siderúrgicas) al clínker para obtener finalmente el cemento, mientras que en el procesamiento del yeso no se realizan adiciones.

5 Cierre

A lo largo de este documento hemos aprendido cómo se realiza el **procesamiento de materiales conglomerantes**, poniendo como ejemplos el caso del procesamiento de la **cal**, el **yeso** y el **cemento**, y realizando finalmente una comparación entre el procesamiento de los distintos materiales conglomerantes.

6 Bibliografía

[1] Muñoz-Portero, M.J.: “Principios de Obtención de Materiales”, Editorial UPV, 2007.

[2] Groover, M.P.: “Fundamentos de manufactura moderna”, Prentice-Hall Hispanoamericana, 1997.

[3] Smith, W.F.: “Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales”, McGraw-Hill, 1999.

[4] Shackelford, J.F.; Güemes, A.: “Introducción a la Ciencia de los Materiales para Ingenieros”, Pearson Educación, 2010.

[5] Askeland, D.R.: “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Paraninfo, 2001.

[6] William, D.; Callister, Jr.: “Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Reverté, 2000.