

Cerámica Reforzada con Fibras de Alúmina; Material para Aplicación en la Construcción

Silverio Hernández Moreno*

RESUMEN

El artículo presenta un estudio, el cual se desarrolló en el laboratorio un nuevo material de tipo compuesto, de matriz cerámica y reforzado con fibras de alúmina, las cuales también son de manufactura cerámica. El trabajo inició con el desarrollo de un método particular de selección y evaluación de materiales, para aplicaciones en la construcción de edificios, siendo este método la base principal del estudio, es decir, del desarrollo del nuevo material. Este nuevo material se decidió llamarlo *Reforcer*[®], y como se ha señalado, es un material cerámico de tipo compuesto, que contiene como punto innovador, que está reforzado con fibras cerámicas de alúmina, lo cual hace que se mejoren muchas propiedades y características de las cerámicas tradicionales, sobre todo aspectos de resistencia mecánica, térmica y acústica; lo que nos permite utilizarlo en aplicaciones especiales y diversas en la construcción de edificios en México.

ABSTRACT

This article presents a case of study in which a new composite material was developed in the laboratory containing a ceramic base material, and it is reinforced with alumina fibers, which are also derived from ceramic materials. This study began with a development of a method to select and to evaluate building materials, thus the method is important part in the study of the development of this new material. It was decided to call this ceramic material *Reforcer*[®], because it has been reinforced with ceramic alumina fibers, which improves several properties of the traditional ceramics, like mechanic, thermal and acoustical properties, therefore, this material can be used in special and diverse applications in the building construction industry in Mexico.

Recibido: 5 de Mayo de 2006
Aceptado: 27 de Julio de 2006

INTRODUCCIÓN

El comportamiento y calidad de un producto depende de los tipos de materiales usados en su fabricación, así como del tipo de procesamiento a emplear y las propiedades a las que se quiere llegar, es decir, el “*producto del triángulo*” (Kaw, 2000). Hay más de 50 000 materiales disponibles comercialmente en el mundo para el diseño y manufactura de un producto (Mazundar, 2000). El presente trabajo consta de un diseño y desarrollo de un *nuevo material* para aplicaciones en la construcción, realizado de forma experimental mediante modelos físicos para pruebas destructivas.

Palabras clave:

Evaluación de materiales; Materiales de construcción; Cerámicos.

Keywords:

Evaluation of materials; Materials of construction; Ceramics.

METODOLOGÍA

Definir el caso de estudio o problema planteado. Se tiene el siguiente problema experimental: el material que se propone diseñar y probar es de tipo *compuesto* de matriz cerámica de arcilla cocida, en combinación con dis-

* Facultad de Arquitectura de la Universidad de Guanajuato. Avenida Juárez N° 77, zona centro, c. p. 36000, Guanajuato, Gto., México. Teléfono: 01 473 7321185, ext. 2294; y Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, C. U., c. p. 04510, D. F. México. Correo electrónico: silverhm2002@yahoo.com.mx

persoides, los cuales van como refuerzo por precipitación¹ de fibras cerámicas de alúmina embebidos en la matriz de arcilla; y el procesamiento de fabricación será por medio de sinterización a temperatura máxima de 800 °C, utilizando como técnica de formado el moldeado a temperatura ambiente. En esta instancia, y cuando el material ya está preparado y dispuesto en bloques huecos, se realizan modelos físicos para pruebas destructivas, las cuales se efectúan con el fin de determinar si es un material óptimo para aplicarlo como material para muro de mampostería en la construcción, además de tener que mejorar las características de los materiales similares del mercado en cuestión de propiedades, principalmente mecánicas (tensión diagonal, térmica y acústica), de durabilidad y reciclabilidad; respetando las normas de ensaye respectivas tanto para producción de bloques huecos, compresión y cortante de la Normas Oficiales Mexicanas respectivas (NMX, 1999).

El método del experimento está definido como sigue:

- a) Definición de los *parámetros* de diseño del material a fabricar
- b) Selección de la materia prima a usar
- c) Adecuación de la materia prima
- d) Moldeo de las piezas
- e) Secado de las piezas
- f) Cocción de las piezas
- g) Normalización de las piezas
- h) Pruebas físicas en laboratorio de materiales.

Pruebas físicas destructivas y evaluación final del material. Una vez que se tienen los bloques huecos fabricados, así como los modelos físicos (piezas, pilas y muretes), se realizarán las pruebas de compresión simple (en una pieza o bloque hecha con el material propuesto), de tensión diagonal (en un murete mampostado hecho del material de la propuesta) para determinar el cortante del material; de resistencia a compresión del sistema (en una pila hecha con el material); así como la obtención de los módulos de cortante y de elasticidad de los muretes ensayados, por medios analíticos (Reglamento de construcciones del D. F., 1995).

Procedimientos (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT, 1992) empleados en la fabricación de bloques y muretes a ensayar:

- Procedimiento de fabricación y dimensionamiento de los bloques extrudidos de 6 X 12 X 24 cm se-

gún las normas 025- M.06 a 016 de la SCT- libro 4 basadas en las NMX.

- Procedimiento para definir las perforaciones de dichos bloques según la norma técnica 025- M.10, incisos a y b de las normas anteriores.
- Definición de las caras lisas según la norma 025- M.02 del tipo I del mismo reglamento.
- Para definir las pruebas de absorción se utiliza la norma mexicana NMXC- 37,
- Y para definir las resistencias mecánicas a compresión y cortante se deben utilizar los métodos de prueba que están en las normas NMX C- 36.

EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO

Parámetros de diseño preliminares:

- Tipo de la matriz: Matriz con base en óxidos como aluminio y silicatos.
- Tipo de refuerzo: Refuerzo por precipitación (inclusión de fibras y partículas cerámicas).
- Tipo de fibra: Para nuestra propuesta, se prueban partículas de polvo de cerámica reciclada y en una proporción adecuada se utilizan fibras de cerámica de alúmina a granel (Hernández, 2004).
- Patrón de refuerzo: mediante fibras cortas, orientadas en el sentido transversal del componente a fabricar (Shackelford, 1995).
- Diámetro de las fibras: 20- 60 micras.
- Longitud de la fibra: 300 micras.
- Porcentaje medio de la matriz: (volumen): Se requiere que este porcentaje esté cerca del 95 % (Potter, 1997).
- Porcentaje medio del dispersoide: Debido al costo (el cual es más elevado que el de la matriz), se requiere de 5 % como máximo (Hernández, 2004).
- Propiedades mecánicas de los componentes del material (matriz y dispersoide combinados): Para la matriz, requerimos a compresión de 200-250 kg/ cm² y en tensión simple 100- 300 kg/ cm² ambas como mínimo, y por lo que se refiere al dispersoide, en nuestro caso las fibras, una resistencia a la tracción de manera independiente a la matriz, de 1500- 2000 kg/ cm² como mínimo.

¹ El método de refuerzo por precipitación se refiere básicamente a la inclusión de partículas de polvo o fibras dentro de la mezcla de un material compuesto.

Parámetros del material a fabricar:

- Resistencia mínima a compresión: 200- 250 kg/cm² (por reglamento).
- Resistencia a cortante: 3,5 kg/ cm².
- Densidad del material: 700- 1800 kg/ m³.
- Temperatura de procesado: De 400 °C a 800 °C, para ahorro de energía.
- Ciclo de sinterizado (hr): de 10 a 20, dependiendo de la temperatura.
- Conductividad térmica a 100° C: 1 J (s m k), ya que requerimos de una baja conductividad térmica, para poder obtener un material aislante y acústico para nuestros propósitos de aplicaciones en la construcción (Hernández, 2004).

Selección de la materia prima a usar. En el momento de seleccionar el tipo de arcilla (de la región de *Hidalgo*) se tomaron en cuenta aspectos como su color y textura, pero lo más importante fue que en nuestro procedimiento del *método de selección por comparación* (Hernández, 2004), tomamos como parámetros: plasticidad, consistencia, homogeneidad y moldeo, lo cual nos arrojó los mejores resultados entre la lista de materiales evaluados. En lo que se refiere al tipo de fibra que se seleccionó, fue por medio de escoger también la técnica de refuerzo por *precipitación*, y a través del *método por comparación* propuesto se llegó a seleccionar de entre una lista de 4 opciones a las fibras cerámicas de alúmina.

Adecuación de la materia prima. Se realizó principalmente un gran ajuste granulométrico debido al gran número de partículas grandes que componían la arcilla (antes de agregar la fibra). Este ajuste se hizo en dos tipos de piletas por medio de humedad (arcilla mojada) y mallas, la primera malla con número de tamiz de 16 (American Society of Testing and Materials, ASTM) para separar las posibles basuras, y después se pasó por el tamiz 100 (150 micras) y por último por el tamiz 200 para alcanzar una finura de 75 micras y poder tener una mayor homogeneidad en el amasado (Cima, 1992). Estamos hablando de 0,15 a 5 micras para la matriz de liga (arcilla). En lo referente a las fibras de refuerzo, éstas vienen en distintas presentaciones pero las más económicas son las de *a granel*, las cuales se integran directamente a la masa y se hace una mezcla homogénea con el material de la matriz, que es para nuestro caso la arcilla. En lo referente al ajuste por contracción se agrega un 5 % de arenas

de sílice y un 10 % de la cantidad de matriz es de polvo de alúmina calcinada, lo cual ayuda a la resistencia mecánica. La cantidad de agua necesaria para el mezclado del material, se utiliza en una proporción respecto al peso de la arcilla de 1: 0,12, es decir un 12 % del peso de la arcilla. Cabe señalar que la proporción de la fibra se realiza de 1 kg de fibra por cada 24 kg de arcilla o 66 gr de fibra por cada bloque o pieza del material de 1,6 kg.

Moldeo de las piezas. Ya con una arcilla de granulometría adecuada se procede a terminar de mezclarla con agua hasta que alcance su estado plástico, lo cual se puede conocer mediante una prueba que consiste en moldear una muestra de la matriz dándole forma esférica (De Vries, 1995), además de las pruebas previas que realizamos con especímenes cilíndricos; cuando se aplastaron estas muestras no se presentaron fisuras en su contorno. Así pues, la mezcla estará lista para continuar el proceso. Simultáneamente se aceitan las caras internas de los moldes para lograr una mínima adhesión entre la arcilla y el molde.

El material compuesto por la arcilla y las fibras se introdujo al molde aplicándole presión de forma tal que ocupara cada uno de los espacios vacíos del mismo para que no quedara en capas dentro del molde. La presión fué de aproximadamente 11 kgf.

Secado de las piezas. Ya con el material adentro del molde, éste se expuso durante 14 días al medio ambiente (en una parte seca) evitando los rayos solares directos al material, durante ese tiempo se eliminó el mayor porcentaje posible de humedad libre quedando menos del 10 % de esta humedad, debido al largo tiempo de exposición. Como consecuencia se presentaron contracciones, las cuales fueron minimizadas un 40 % con ayuda de las fibras de refuerzo.

Cocción de las piezas. El sinterizado se llevó a cabo en un horno de cámara de cañón durante 6 hr a una temperatura promedio de 800 °C, controlado por medio de una válvula de alimentación del combustible para regular el alcance de las *fases* entre plástica y sólida, principalmente tomando en cuenta los materiales fundentes como sílice y las cales que conforman la arcilla, es decir, los silicatos.

Normalización de las piezas. Se les hicieron varias pruebas a los bloques para compararlos con las normas estándares del mercado en lo referente al procedimiento de fabricación y también a su dimensionamiento, en lo que concierne a ensayos de resistencias mecánicas se verá más adelante en las pruebas destructivas.

Pruebas físicas en laboratorio

a) Prueba de compresión simple sobre pila ver figura 1:

Resumen de la prueba de una corrida de 6:

- Tiempo transcurrido (seg): 16,50.
- Material: Cerámica reforzada con fibras de alúmina (*Reforcer®*).
- Nombre del procedimiento: Compresión simple sobre pilas del material.
- Carga máxima: 74 304 (kg- f).
- Área bruta (cm²): 816.
- Resistencia a compresión simple (kg/cm²): 91,05.

b) Prueba de compresión diagonal sobre murete ver figura 2:

Resumen de la prueba de una corrida de 6:

- Tiempo transcurrido (seg): 12.
- Material: Cerámica reforzada con fibras de alúmina (*Reforcer®*).
- Nombre del procedimiento: Compresión diagonal sobre pilas del material.
- Carga máxima: 9 361,97 (kg- f).
- Área bruta (cm²): 1 261,4.
- Resistencia a cortante (kg/ cm²): 7,42.
- Esfuerzo cortante de diseño (kg/ cm²): 4,89.
- Módulo de elasticidad E (kg/cm²): 22 025,50.
- Módulo de cortante G (kg/cm²): 6 607,65 (por reglamento de construcción).

c) Prueba de compresión simple sobre piezas individuales ver figura 3:

Resumen de la prueba de una corrida de 6:

- Tiempo transcurrido (seg): 23,7.
- Material: Cerámica reforzada con fibras de alúmina (*Reforcer®*).

- Nombre del procedimiento: Compresión simple sobre piezas del material.
- Carga máxima: 98 900 (kg- f).
- Área bruta (cm²): 295,2.
- Resistencia a cortante (kg/cm²): 335,02.

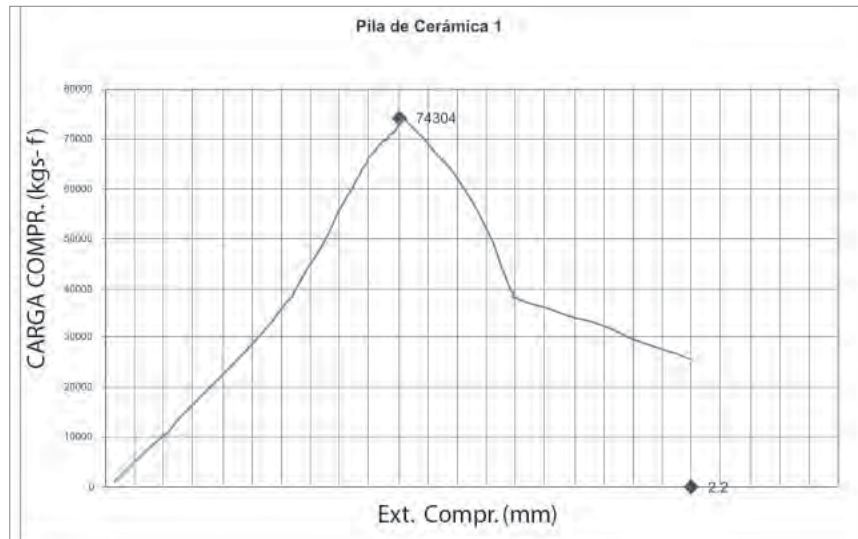


Figura 1. Esfuerzo- deformación de una prueba de compresión simple sobre una pila del material.

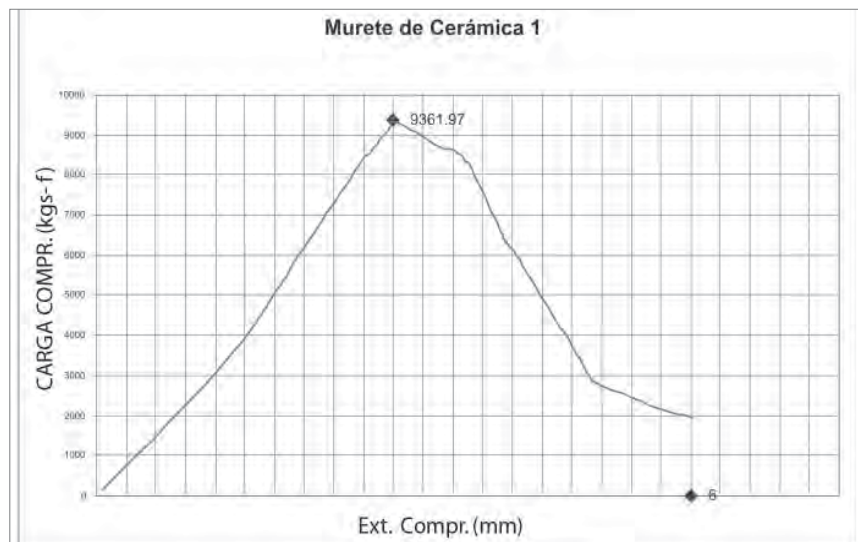


Figura 2. Esfuerzo- deformación de una prueba de compresión diagonal sobre un murete del material.

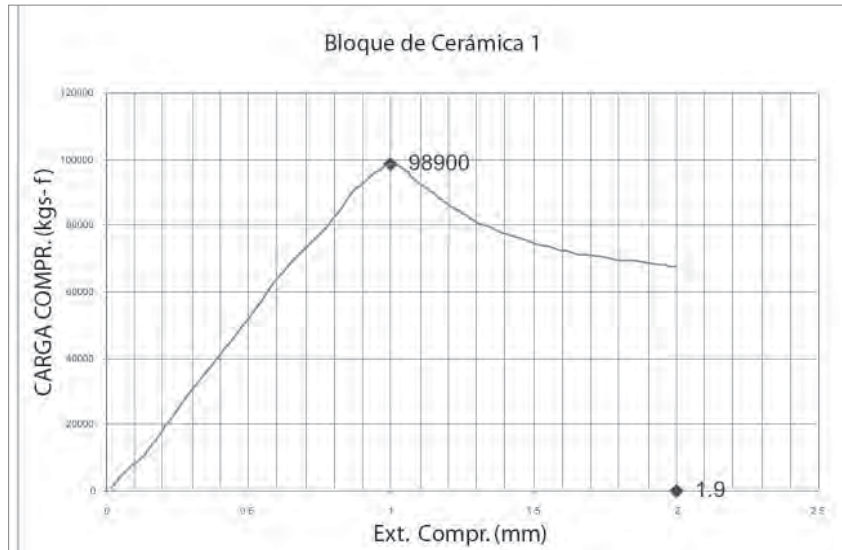


Figura 3. Esfuerzo- deformación de una prueba de compresión simple sobre una pieza (bloque hueco) del material

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las siguientes tablas 1, 2 y 3 presentan el resumen de resultados de las pruebas físicas complementarias, realizadas a los bloques cerámicos de arcilla cocida de 6 X 12 X 24 cm reforzados con fibras cerámicas de alúmina:

En la tabla se muestra la densidad del material ya sinterizado, el cual corresponde a los bloques similares del mercado que pesan alrededor de 2 kgs por pieza por lo que podemos decir que nuestro producto está dentro de la norma solicitada por NMX y aún más, ya que con el material de la propuesta se pue-

Tabla 1. Densidad (kgs) de los bloques del material propuesto.

Densidad Kg	Piezas					
Muestra	1	2	3	4	5	6
Densidad Sinterizado (kg)	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,6

Tabla 2. Porcentaje de la superficie de perforaciones por cada pieza.

% de Superficie de Perforaciones (NMX)	Piezas					
Muestra	1	2	3	4	5	6
Superficie perforada %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %

den realizar bloques con más altos porcentajes de perforaciones en su superficie (como se muestra en la tabla 2), lo cual da mayor confiabilidad en el uso como muros ligeros, en estructuras ligeras de edificios y como excelentes aislantes térmicos y acústicos.

Las superficies de perforaciones también corresponden a la norma NMX señalada en la sección de metodología e incluso rebasa las expectativas planteadas para bloques huecos similares en el mercado de la construcción, ya que como lo hemos señalado arriba, esto permite que el material pueda ser mayormente perforado para fines estructurales, de resistencia térmica y acústica.

Tabla 3. Resumen de propiedades evaluadas, y presentadas a manera de ficha técnica, para el material del experimento.

Conceptos	Resumen de Resultados:
Control dimensional por pieza	Muy bueno o 9
Aspecto	Muy bueno o 9
Durabilidad	Excelente
Densidad del material	1 543,20 Kg/ m ³
Superficie de perforaciones o huecos (40% por pieza)	Excelente o 10
Absorción	7 % por pieza
Conductividad térmica	1,5 (J/ smK)
Resistencia acústica	Alta
Resistencia a la corrosión	Alta o (inerte al H2O)
Resistencia de diseño a la compresión del sistema de mampostería	62,93 kg/ cm ²
Resistencia de diseño al Cortante del sistema de mampostería	4,89 kg/ cm ²
Resistencia a compresión por pieza	222,88 kg/ cm ² (industrial)
Módulo de elasticidad de sistema de mampostería	22 025,50 kg/ cm ²
Módulo de Cortante del sistema de mampostería	6 607,65 kg/ cm ²
Costo (\$) (como material para comercializarse)	De 3,50 a 4 pesos/pieza
Reciclabilidad	100 % por molienda

La tabla 3, resume todas las propiedades del material *Reforcer*® en una ficha técnica, en donde además se presentan las características principales del material en las cuestiones de resistencia mecánica, térmica y acústica, las cuales superan por mucho a las propiedades de materiales y productos similares del mercado de la construcción, que fueron vistas en la sección de *parámetros* del material a diseñar dentro de la metodología, específicamente las propiedades que se encuentran subrayadas en la tabla 3.

La tabla 4 corresponde a los resultados evaluados en el experimento y su relación con un material similar del mercado, en donde podemos hacer el punto de comparación entre ambos materiales.

Tabla 4.

Resumen comparativo del material de la propuesta y otro similar dentro del mercado de la construcción.

Propiedades	Bloques Fabricados con <i>Reforcer</i> ®	Bloques Similares (Bloque comercial de marca <i>Novoceramic</i> ®)
Densidad del material	1 543,20 kg/ m ³	1 670 kg/ m ³
Superficie de perforaciones	Excelente o 10	Buena u 8
Absorción	7 % por pieza	11 % por pieza
Conductividad térmica	1,5 (J/ smK)	2,8 (J/ smK)
Resistencia de diseño a compresión del sistema en mampostería	62,93 kg/ cm ²	50 kg/ cm ²
Resistencia de diseño al cortante del sistema en mampostería	4,89 kg/ cm ²	3,5 kg/ cm ²
Resistencia a compresión por pieza	222, 88 kg/ cm ² (industrial)	150 kg/ cm ² (industrial)
Módulo de elasticidad	22 025,50 kg/ cm ²	16 450 kg/ cm ²
Módulo de cortante	6 607,65 kg/ cm ²	4 935 kg/ cm ²
Costo	De 4 pesos/ pieza	3,80 pesos/ pieza

CONCLUSIONES

El presente trabajo está resumido en las tablas anteriores referentes a los resultados de las pruebas de laboratorio, los cuales arrojaron resultados satisfactorios, en donde nos permiten saber que el material sometido a experimentación reúne los requisitos que el reglamento de construcciones para el D. F. exige

para la construcción de muros de mampostería con bloques huecos de cerámica de arcilla cocida; incluso se mejoran muchas de las propiedades que materiales similares ofrecen en el mercado de la construcción.

Se concluye así, particularmente del experimento, que se mejoraron muchas propiedades y lo hace más versátil que sus similares, y que el desarrollo de nuevos materiales en la industria de la construcción trae como consecuencia nuevas oportunidades en la fabricación de elementos constructivos que mejoran las propiedades y características de los materiales, abriendo así el campo en las aplicaciones nuevas o mejorando las aplicaciones tradicionales en el sector de la construcción y la arquitectura. El material *Reforcer*®, resultado del experimento, se encuentra actualmente en trámite de patente, con la primera etapa del procedimiento de patente cubierta.

AGRADECIMIENTOS

Se hace patente la gratitud tanto a la Facultad de Ingeniería de la UNAM, y a su laboratorio de materiales, como al laboratorio de materiales de la Universidad de Guanajuato, que fue en donde se desarrolló la parte experimental de este trabajo (pruebas físicas destructivas sobre los especímenes). También se agradece a las personas que hacen posible la Revista *Acta Universitaria*.

REFERENCIAS

- Cima M. J. (1992). *Ceramic Transactions*, E. U. A., Massachusetts Institute of Technology.
- De Vries A.H. (1995). *Ceramic Processing*, Londres, Inglaterra, Chapman and Hall.
- Hernández S. (2004). *Introducción a la Aplicación de Nuevos Materiales en Arquitectura y Construcción*, México, Facultad de Arquitectura, UNAM.
- Kaw A. K. (2000). *Mechanics of Composite Materials*, Florida, E. U. A., CRC Press.
- Mazundar S. K. (2000). *Composite manufacturing*, Florida, E. U. A., CRC Press.
- Normas de Procedimientos de Pruebas de Materiales* de la SCT. (1992). México, Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Normas Mexicanas de Procedimientos de Pruebas de Materiales*, NMX. (1999). México, Secretaría de Economía.
- Potter K. (1997). *An Introduction to Composite Products*, Inglaterra, Chapman and Hall, University of Bristol.
- Reglamento de Construcciones para el D. F. (1995). México, Normas Técnicas Complementarias, Gobierno del D. F.
- Shackelford J. F. (1995). *Ciencia de Materiales para Ingenieros*, México, Pearson Education.