

00181

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA



## TECNOLOGÍA DE MATERIALES COMPUESTOS Y SUS POSIBILIDADES DE APLICACIÓN EN ARQUITECTURA



*"Desarrollo tecnológico de un material cerámico de tipo reforzado"*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN ARQUITECTURA  
PRESENTA:

SILVERIO HERNÁNDEZ MORENO



m341410

2005

Hernández Moreno, Silverio



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo académico.

NOMBRE: Hernández Moreno  
Silveo

FECHA: 25 - febrero - 05

FIRMA: Silveo

## JURADO

Dr. Jesús Aguirre C.: Presidente.

Mtro. Francisco Reyna G.: Tutor.

Dr. J. Diego Morales R.

Dr. Manuel Aguirre O.

Dr. Humberto Acedo E.

Dr. Agustín Hernández H.

Dr. Gabriel Mérito B.

# PRESENTACIÓN

Los materiales compuestos en la actualidad tienen numerosas aplicaciones en las distintas industrias en el mundo. En la industria de la construcción y arquitectura no es la excepción, ya que por sus características que ofrecen, como altas resistencias mecánicas, térmicas, a la corrosión, así como bajo peso y durabilidad, entre muchas más ventajas. Los materiales compuestos, recientemente han generado mucho interés en estudiantes de muchas áreas relacionadas con distintas industrias alrededor del mundo. Asimismo el interés de todo aquel profesionista que utilice materiales dentro de su actividad; por lo que el incremento de nuevos materiales está surgiendo a raíz de nuevos requerimientos y necesidades que debemos cubrir en el quehacer profesional. Lo anterior da motivos para un mejor desarrollo regional, como país, y como sector en la construcción en nuestro caso, ya que genera nuevas oportunidades de trabajo y de soluciones a los problemas de producción en la industria en general.

Este trabajo presenta el ¿cómo? se puede generar un nuevo material a partir de las necesidades y requerimientos arquitectónicos y estructurales, hasta la correcta selección y evaluación de los materiales para cubrir dichas aplicaciones. Las escuelas de arquitectura e ingeniería ofrecen cursos de materiales y procedimientos de construcción, los cuales son muy importantes en la formación académica del alumno, pero no consideran la implementación y desarrollo de nuevos materiales para nuevas necesidades en la actividad profesional. Por lo que el presente trabajo se puede utilizar como complemento a esos cursos, de tal manera que este trabajo se recomienda también a los estudiantes del Posgrado de arquitectura en áreas de tecnología e ingeniería civil del área de construcción. Este trabajo se recomienda acompañarlo, al principio con literatura referente a temas de ciencia e ingeniería de materiales, aunque no es necesario, pero eso va a ayudar a entender mejor algunas metodologías y conceptos de selección de materiales.

Este trabajo rompe con los formatos tradicionales de temas relacionados con materiales de construcción, ya que se da un enfoque distinto, en donde el lector puede diseñar sus propios materiales a partir del seguimiento del modelo y de los métodos y las técnicas que se plantean, para satisfacer necesidades diferentes a aplicaciones tradicionales; por lo que es importante el criterio y experiencia profesional del arquitecto, ingeniero o diseñador de los materiales. Asimismo, se da un enfoque para la producción industrial de materiales, pero no necesariamente, ya que se puede utilizar este modelo de aplicación de nuevos materiales en el cotidiano quehacer profesional de arquitectos e ingenieros civiles.

En la presente investigación se proporcionan herramientas tales como modelos, métodos y técnicas, para facilitar el trabajo de evaluar nuevos materiales para diversas aplicaciones, lo cual puede servir también en muchas áreas afines a la arquitectura e ingeniería, por lo que se reitera su recomendación como una introducción a temas de nuevos materiales en arquitectura y construcción.

El lector va a encontrar este trabajo muy interesante. Por lo que espero sus comentarios y sugerencias del mismo en: [silverhm2002@yahoo.com.mx](mailto:silverhm2002@yahoo.com.mx)

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo que me ofreció para desarrollar el presente trabajo de Investigación, a la Facultad de Arquitectura y su División de Posgrado, particularmente a mis asesores del Programa de Doctorado, así como a la Facultad de Ingeniería y sus Laboratorios de materiales y estructuras, que fue en donde se desarrolló el caso experimental del presente trabajo, también agradezco al Instituto de Investigaciones en Materiales por abrirme sus puertas para acceder a información referente a Ciencia e Ingeniería de materiales.

Agradezco por supuesto a mi Familia y a Dios.

Silverio Hernández Moreno

# INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta una tecnología propia para aplicar nuevos materiales Compuestos en Arquitectura y Construcción, lo cual implica abordar en muchos aspectos y criterios que se han integrado en un modelo (ANUMARQ), por medio de subsistemas que se interrelacionan entre sí, para generar y aplicar dichos materiales.

Este modelo propone integrar de manera sistémica varios aspectos importantes, tales como criterios de arquitectura, estructura y ecología, lo que determina qué es lo que se va a hacer, y por medio de metodologías y técnicas propuestas, se define el cómo se va realizar, lo cual implica otros subsistemas. ANUMARQ que significa. aplicación de nuevos materiales Compuestos en Arquitectura y Construcción, se compone de tres subsistemas, el primero en donde se incluyen los criterios arquitectónicos, estructurales y ecológicos, que nos permiten ubicar el problema a resolver, desde el punto de vista del Arquitecto o Diseñador de los materiales. El segundo subsistema aborda la manera en que se genera el material a usar, y a su vez, se determina y asegura su calidad desde el seleccionamiento de las materias primas a usar, así como las técnicas de procesamiento a emplear en la fabricación del material y la aplicación. En el tercer subsistema se desarrolla la parte práctica del procedimiento que consiste en cómo obtener el material, valorar su funcionamiento por medio de experimentación y métodos de prueba y finalmente proponer la solución o soluciones que se deben de tomar para la aplicación.

El modelo ANUMARQ es una propuesta que trabaja por sistemas y trabaja por etapas de manera subsecuente, siendo un modelo que parte de lo conceptual a lo formal, debido a que plantea el problema y genera a su vez las soluciones. Este modelo incluye un método particular para la selección de materiales para la fabricación de Compuestos que ofrezcan soluciones en los nuevos y variados requerimientos arquitectónicos y constructivos de la actualidad.

En este trabajo se hace también una propuesta de un nuevo material, como caso de estudio para la comprobación del método y del modelo planteados; por lo que se obtuvo un material confiable que ilustra los pasos a seguir en la parte experimental del modelo propuesto. Este modelo ANUMARQ permite también la experimentación en materiales para cubrir nuevas necesidades y depurar técnicas de control de calidad sobre materiales.

Hablando particularmente del método, de Selección y Evaluación de materiales, éste contempla todos los aspectos que encierra el diseño de materiales desde su determinación en costos y propiedades, hasta aspectos de durabilidad y eficiencia. El modelo ANUMARQ está dirigido tanto a estudiantes de arquitectura como a los profesionistas de áreas afines.

Este trabajo contiene, actividades que se realizaron en Laboratorio como parte principalmente de la comprobación del método de Selección y Evaluación de materiales que se está proponiendo, asimismo para la verificación del modelo propuesto; pero en sí, los pasos a seguir para generar y aplicar nuevos materiales Compuestos en Arquitectura y Construcción son más concretos de lo que parece en el caso de estudio, debido a que el caso de estudio se encuentra detallado en su análisis y procedimiento porque así era necesario para la presentación de la comprobación de las metodologías planteadas.

ANUMARQ es el producto principal del presente trabajo y puede ser utilizado como guía para seleccionar y aplicar nuevos materiales de tipo Compuesto en las escuelas de Arquitectura y en lo general en la Industria de la Construcción.

# ÍNDICE DEL CONTENIDO

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DEL CONTENIDO</b>	<b>7</b>
<b>FUNDAMENTACIÓN DEL MARCO TEÓRICO</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I. TECNOLOGÍA ACTUAL DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN MÉXICO</b>	<b>15</b>
<b>I.1. – Nuevos Materiales Compuestos y posibilidades de aplicación en la Construcción y Arquitectura</b>	<b>16</b>
<b>I.2. – Los Cerámicos como respuesta a necesidades en nuevos Materiales</b>	<b>17</b>
<b>I.2.1. – Concepto y significado de Cerámicas</b>	<b>18</b>
<b>I.2.2. – Clasificación funcional de los Materiales Cerámicos en Construcción</b>	<b>19</b>
<b>I.2.3. – Principales materias primas sintéticas y naturales para la manufactura de cerámicas tradicionales</b>	<b>21</b>
<b>I.2.4. – Principales materias primas para la elaboración de Compuestos Cerámicos avanzados</b>	<b>23</b>
<b>I.2.5. – Costos relativos a materiales diversos en Arquitectura e Ingeniería incluyendo principalmente las Cerámicas</b>	<b>23</b>
<b>I.3. – Calidad de los materiales desde su procesamiento o producto del Triángulo (PAT)</b>	<b>25</b>
<b>I.3.1 – Tamaño y forma de los Materiales Cerámicos para su Procesamiento</b>	<b>27</b>
<b>I.3.2. – Sistema Alúmina – Dióxido de Silicio ( <math>Al_2O_3 - SiO_2</math> )</b>	<b>28</b>
<b>I.3.3. - Principal Técnica de Procesamiento de Compuestos Cerámicos</b>	<b>29</b>
<b>I.3.4. – Etapa de Sinterización</b>	<b>30</b>
<b>I.4. – Introducción a los Compuestos de Matriz Cerámica</b>	<b>31</b>
<b>I.4.1.- Bases de Diseño de formación de Compuestos cerámicos mediante 2° fase o reforzamiento para la propuesta</b>	<b>32</b>
<b>I.4.2- Procesamiento para Compuestos de Matriz Cerámica</b>	<b>35</b>
<b>I.4.3.- Propiedades y Costos de un Compuesto con fibras cortas de cerámica</b>	<b>36</b>
<b>I.5.- Resumen de este Capítulo</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO II.- CONSIDERACIONES PREVIAS DE DISEÑO MECÁNICO Y ECOLÓGICO PARA FABRICAR MATERIALES COMPUESTOS</b>	<b>38</b>
<b>II.1. Principales propiedades mecánicas para Materiales de tipo cerámico similares al de la Propuesta</b>	<b>39</b>
<b>II.1.1.- Fractura por Fragilidad del Material</b>	<b>39</b>
<b>II.1.2.- Fatiga estática</b>	<b>42</b>
<b>II.1.3.- Cedencia</b>	<b>42</b>

II.2.-Principales propiedades y criterios de Diseño mecánico para Materiales Compuestos, reforzados con fibras, en dos Fases	43
II.3. – Principales consideraciones de tipo Ecológico para la fabricación de nuevos materiales, específicamente el caso de la Propuesta (Compuestos de tipo Cerámico)	48
II.3.1. – Impacto ambiental de nuevos materiales (caso de la Propuesta)	48
II.3.2. – Necesidad de una Infraestructura para el Reciclamiento de nuevos Materiales	49
II.3.3. – Criterio ecológico de materiales similares al de la Propuesta	50
II.4. – Resumen de este capítulo	52
<b>CAPÍTULO III.- DESARROLLO DE UNA TECNOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE NUEVOS MATERIALES EN ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN (MODELO ANUMARQ)</b>	<b>53</b>
III.1. – Antecedentes	54
III.2. – Introducción a la Selección de Materiales para el desarrollo de Productos Tecnológicos	54
III.2.1. – Propiedades de los materiales y Parámetros de Diseño estructural para su aplicación en la Propuesta de selección de materiales	55
III.2.2. – Efectos generales de los Procesos de Fabricación sobre los parámetros de Diseño de los Materiales	56
III.3. - Metodología o guía para la Selección y Evaluación de los Materiales	58
III.3.1. – Descripción paso por paso de la guía o metodología para la selección de nuevos materiales en Arquitectura y Construcción	59
III.3.2. – Descripción del modelo (ANUMARQ) como tecnología generada para la aplicación de nuevos materiales en Arquitectura y Construcción	65
III.4. – Resumen de este capítulo	74
<b>CAPÍTULO IV.- EJECUCIÓN DE LOS PASOS ESPECÍFICOS EN EL PROCESO DE SELECCIÓN DE MATERIALES EN LA PROPUESTA EXPERIMENTAL (APLICACIÓN DEL MODELO ANUMARQ)</b>	<b>75</b>
IV.1. - Desarrollo y ejecución de los pasos específicos en el proceso de la Selección de materiales para la propuesta experimental (aplicación del modelo y del método propuestos)	76
IV.2. – Fabricación de Modelos físicos y elementos (Bloques), para pruebas en Laboratorio y Evaluación final del Material Propuesto	92
IV.2.1. – Determinación de los especímenes para pruebas previas sobre el material de la Propuesta	92
IV.2.2. – Determinación del modelo físico y elemento o componente a fabricar con el material de la Propuesta	92
IV.3. – Evaluación final y pruebas de laboratorio	



del elemento (bloque) del material de la Propuesta	100
<b>IV.3.1.</b> – Pruebas físicas destructivas para Compresión simple sobre las pilas del material de la propuesta	102
<b>IV.3.2.</b> –Pruebas físicas destructivas de Compresión Diagonal para la obtención del Cortante sobre el murete del material de la propuesta	106
<b>IV.3.3.</b> –Pruebas de Compresión simple sobre piezas del bloque del Material de la propuesta	110
<b>IV.3.4.</b> – Determinación de las resistencias de diseño a Compresión, Cortante, así como de los módulos de elasticidad y cortante de los muretes ensayados y la resistencia de diseño de Compresión simple por pieza o bloque	113
<b>IV.3.5.</b> – Presentación de resultados de las Pruebas y Evaluación final del material dentro del modelo propuesto	116
<b>IV.3.5.1.</b> – Presentación de resultados de las pruebas físicas del Material del caso experimental	116
<b>IV.3.5.2.</b> – Evaluación final del material dentro del modelo propuesto por sistemas	118
<b>IV.3.6.</b> – Aplicación final del material de la propuesta y postura técnica para su comercialización	123
<b>IV.3.6.1.</b> – Descripción técnica para la comercialización del bloque en muros de mampostería	123
<b>IV.3.6.2.</b> – Procedimiento general para la solicitud de Patente y modelos de utilidad	133
<b>IV.4.</b> – Otras aplicaciones del material desarrollado y sus posibilidades de uso en la Arquitectura y Construcción	137
<b>IV.5.</b> - Resumen de este capítulo	143
<b>CONCLUSIONES Y EL FUTURO DE ESTE TRABAJO</b>	<b>144</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN</b>	<b>146</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>147</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>158</b>

# FUNDAMENTACIÓN DEL MARCO TEÓRICO

## ORIGEN DEL PROYECTO

Gracias a los grandes avances en procesos y técnicas para la obtención de nuevos Materiales Compuestos, principalmente en base a cerámicas, y sus aplicaciones; desarrollados en Japón, Estados Unidos, Alemania y Francia principalmente, tales Materiales y otros Compuestos de excelentes propiedades mecánicas, ópticas, eléctricas, refractarias, anticorrosivas, etc., conforman la innovación en Materiales a pesar de sus inconvenientes en fabricación, moldeo, fragilidad, y unión entre piezas, en industrias como la Construcción y Aeronáutica, están compitiendo con los polímeros y los metales cada día en más aplicaciones.

En México es un campo relativamente joven, y en muy pocas Instituciones se llevan a cabo investigaciones con nuevos materiales, como es el caso del Instituto de Materiales de la UNAM (el cual está a la vanguardia) con el estudio de nuevos Materiales Compuestos, Cerámicos, metálicos y poliméricos, aunque todavía sin aplicaciones directas a la Construcción; en el caso del Instituto Científico de Yucatán se llevan a cabo líneas de Investigación relacionadas a Materiales nuevos para Construcción predominando los polímeros. Algunas instituciones privadas como Cemex y el IMCYC realizan investigaciones pero para mejorar sus propios Productos como es el caso aislado de los cementos y Concretos. En Universidades como el ITESM, I. de Materiales de Chihuahua, y el CINVESTAV, por citar algunos ejemplos, están trabajando al respecto; Así tenemos como realidad lo siguiente a nivel mundial:

INVERSIÓN EN INVESTIGACIÓN DE NUEVOS MATERIALES-COMPUESTOS- CERÁMICOS	USS
JAPÓN	530 millones al año
ESTADOS UNIDOS	340 millones al año
ALEMANIA Y FRANCIA	300 millones al año

Tabla A. Comparativa de inversión (\$) en Investigación de Materiales Cerámicos.<sup>1</sup>

Por tanto, podemos ver que en el ámbito mundial se están investigando y desarrollando procedimientos para mejorar las aplicaciones y propiedades de los Materiales en general y particularmente los Cerámicos-Compuestos. Todos esos casos de Investigación para mejorar las características físicas como la fragilidad entre las más importantes; se utilizan diversos procesos de fabricación y métodos de selección de materias primas, etc., lo cual se presenta en el Desarrollo de este trabajo.

La presente Investigación se enfoca al Desarrollo Tecnológico de fabricación y Procesamientos de un material de tipo cerámico por varios métodos de diseño y rutas de producción, asimismo, se pretende obtener dentro de la mezcla un Compuesto de tipo cerámico para mejorar su resistencia y propiedades; y buscar obtener una matriz de liga del Compuesto a desarrollar mediante materias primas naturales y sintéticas de tipo cerámico y metálico en menor proporción, para obtener un material Compuesto de matriz cerámica que logre sustituir a las matrices de liga que se usan comúnmente (como cementos y resinas) por otros de tipo cerámico de efectos similares, en materiales para la industria cerámica y de Construcción. Asimismo, la utilización de polvos Cerámicos finos como arcillas y Aluminatos, materiales óxidos y no óxidos; que se basan en ensayos previos en laboratorio, en donde se propone el uso de Alúmina principalmente, para tal efecto sobre la mezcla, por lo que en la presente Investigación se conjuntarán dichas materias primas para la obtención y Desarrollo de un material cerámico que contenga propiedades similares al de los Concretos y otros similares usados para la prefabricación en la Construcción; por lo tanto, será un material Compuesto que sustituya en algunas aplicaciones al Concreto. Cabe mencionar que tengo experiencia en la investigación con Materiales por haber logrado reemplazar los agregados comunes del Concreto ligero por otros de origen natural y de desperdicio, como cenizas volcánicas; por lo que ahora pretendo como caso de estudio, sustituir y reemplazar la matriz de liga comúnmente utilizada (cemento hidratado) por una de tipo cerámica que nos dé la propiedad aglutinante, mediante el Desarrollo de la misma Tecnología del Procesamiento y diseño del Compuesto, para algunas aplicaciones en la Construcción.

<sup>1</sup> Fuente: Pagina WWW de 3M Corporation, USA.

Asimismo y profundizando más en la Propuesta del material, la Investigación se basa en el Desarrollo de una Tecnología aplicada al estudio de los Materiales Compuestos, particularmente de Cerámicos de matriz aglutinante, en donde se pretende por medio del análisis teórico y práctico desarrollar un método (acompañado por un modelo) apropiado a la Arquitectura, para la Selección de materiales y su correcta Evaluación, y también dar soluciones mediante Materiales naturales y sintéticos de tipo cerámico (y en casos especiales con polímeros y metales), para formar Compuestos en donde podamos obtener una matriz de liga que mejore las propiedades de resistencia, durabilidad y estética; ya que todo material Cerámico es propenso a sufrir fallas por contracción, esto se debe a que las matrices de Silicatos más utilizadas son de naturaleza frágil de falla, la cual ocurre bajo esfuerzos de tensión o cargas de impacto. Esto se ha venido solucionando parcialmente mediante el uso de aceros y mallas y aún fibras en el Concreto normal y en materiales de muy baja densidad, aún no existen antecedentes para apoyarnos y aún menos en el campo de los Cerámicos sinterizados de matrices aglutinantes. Como antecedente está el estudio del Concreto Convencional reforzado con fibras metálicas y también Compuestos reforzados con distintos tipos de fibras. Se han propuesto dos mecanismos para predecir la resistencia al agrietamiento, el primero se relaciona con el espaciamiento entre los centroides de las fibras y el otro se relaciona con el límite de proporcionalidad, orientación y relación entre las fibras. Cabe mencionar que en el proceso de fabricación del material propuesto se pretende obtener un material heterogéneo resultado de la unión de los Materiales homogéneos constituyentes, para nuestro caso mediante dos fases, cada una de las partes de materias primas a usar; obteniendo así también la adecuada cohesión de los elementos, a raíz del cambio en la Matriz de liga. Por lo que en esta investigación se propone mejorar la matriz de liga y los materiales dispersoides comúnmente usados en cerámicas estructurales.

Lo anterior aunado a otras soluciones que en el presente trabajo se pretenden generar mediante la utilización de Óxidos, los cuales poseen una doble función dentro de la mezcla: como agregado y como aglutinante por sus propiedades cementantes. También mediante el uso de toda la Tecnología disponible en México para mejorar los procesados y fabricación de los Materiales en cuestión, como Laboratorios de pruebas físicas y químicas.

Todo lo anterior para obtener una Tecnología (modelo) aplicable para la óptima producción de este tipo de materiales y tener apropiadas aplicaciones en la Arquitectura y Construcción para generar nuevos Materiales capaces de desarrollarse masivamente y poder ser utilizados en un futuro no muy lejano como Materiales de Construcción de uso común. Asimismo, se utilizarán materias primas cerámicas las cuales, aunque todavía no tienen muchas aplicaciones en la Construcción de Estructuras de edificios, en un futuro se usarán como ahora se utilizan todos los utensilios de cerámica que usamos de manera cotidiana como vajillas, y que la industria utiliza como recubrimientos y conductores, entre otras aplicaciones. De igual manera que los plásticos y los metales se utilizan de manera frecuente en la Construcción y en la vida cotidiana.

Como ya lo hemos mencionado en la presente propuesta de Investigación que va desde la creación de una Tecnología (modelo) para el Desarrollo y obtención de un material nuevo, que sea capaz de adaptarse a los sistemas tradicionales de Construcción y en un futuro sustituir a muchas de sus aplicaciones; así como el desarrollo de un Método para la selección de materias primas y su Evaluación tanto cuantitativa como cualitativa, por medio de este modelo que integre todos esos criterios (arquitectónicos, estructurales y ecológicos), ya que en el área de la Arquitectura no hay un modelo similar que nos sirva de guía para generar y aplicar nuevos materiales.

Sin embargo la atracción de muchos arquitectos por la evolución tecnológica en el ámbito particularmente de Materiales no ha sido bien aceptada en las cadenas de producción industrial de elementos de Construcción generalmente para el uso de nuevos Materiales; esto debido a la falta de actualización en materia de Tecnologías que se pueden aplicar directamente a la solución de problemas de todo tipo.

Al igual que la falta de aceptación y credibilidad por parte del usuario al desconocer y desconfiar de los nuevos elementos ya sean Materiales o técnicas de Construcción, los cuales requieren de un tiempo razonable para su aceptación en forma comercial, esto debido a que los sistemas tradicionales de Construcción están muy arraigados en nuestro país por falta de información y uso de las nuevas Tecnologías por parte de los que tenemos que ver en la actividad de la Construcción. A pesar de todo, la Tecnología no solo ha estado siempre presente como medio sino que ha constituido un fin en sí mismo por lo menos de manera funcional. La Tecnología ha motivado e inspirado muchas propuestas para solucionar problemas parciales o totales dentro de la rama de la Construcción y el diseño, por lo que nosotros que estamos involucrados en esta actividad tenemos la responsabilidad de utilizar las Tecnologías y medios que estén a nuestro alcance para solucionar los problemas actuales y del futuro; enriqueciéndonos de otras ciencias como la Ingeniería de materiales, la química, la física y en

algunos casos hasta la biología; todo ello para el Diseño de nuevos materiales que tengan acceso en aplicaciones en Arquitectura y Construcción.

## JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

El tema es de importancia en la actualidad ya que el estudio de los nuevos Materiales y sus aplicaciones son una necesidad hoy en día, por lo que va dirigido al sector público y privado de la Construcción para aumentar la inversión en materia de Tecnologías y Ciencia en Materiales, en un país como el nuestro en donde la inversión en ello es mínima. Esta Investigación también está dirigida a los arquitectos y estudiantes de arquitectura quienes son los responsables directos de la adecuada utilización y aprovechamiento de los nuevos Materiales de Construcción. Se justifica también por la importancia que hay en crear nuevas metodologías y herramientas para generar y aplicar los nuevos materiales en nuestro campo.

Dicha experimentación con Materiales nos ayuda a probar variantes, en este caso de Materiales Compuestos, como del Concreto el cual es el más usado, utilizando las Tecnologías y materias primas disponibles para tal efecto, dentro de un contexto en donde la mayoría de los arquitectos nos desenvolvemos; además, esta Investigación es un apoyo al Desarrollo del interés en el campo de los Materiales y su proceso industrial, también de fomentar el uso de Materiales limpios lo cual brinda un carácter ecológico al medio ambiente en que vivimos. Respecto al carácter tecnológico de la presente propuesta, y su papel en la Construcción, la progresiva producción de la Construcción constituye la justificación en materia de técnicas y nuevos Materiales necesarios para dicha actividad. Por lo que concierne al carácter económico de la presente propuesta de Investigación y la cual es también muy importante, por lo que confiere al utilizar Materiales de fácil accesibilidad, nos lleva a un ahorro significativo para su industrialización.

Dicho Desarrollo y aplicación de Tecnologías como la presente propuesta (modelo ANUMARQ), considero desde mi punto de vista que es positiva dentro del programa de Postgrado en nuestra Institución, y que con diversos apoyos ésta puede culminarse de manera eficaz, ya que contribuirá en buena medida a la Investigación en el área de Tecnología, también se justifica el estudio de la presente propuesta dentro del Posgrado de Arquitectura, ya que en otras Universidades y Facultades del país es nula, y en Instituciones diversas del país son casi nulas estas líneas de Investigación dedicadas a la Construcción.

Además profundizando en el aspecto técnico de la Investigación, el estado actual del estudio de los Materiales Compuestos está muy avanzado en el caso de Materiales destinados a las aplicaciones en electrónica, medicina, robótica y otras similares siempre en el contexto 100% industrial, lo que no ocurre en Materiales destinados a la industria de la Construcción, lo cual aún en países desarrollados como son los que mencionamos anteriormente en la fundamentación del proyecto, dichos países se dedican a la Investigación de Materiales en esas áreas industriales, reduciendo el interés en Materiales enfocados exclusivamente a la Construcción. Por tanto, la presente propuesta de Investigación estimula el estudio de los nuevos Materiales de Construcción dentro del Posgrado de Arquitectura. Por otro lado, y aparentemente se pudiera pensar que la falta de equipo de medición para pruebas de estudios de Materiales dentro del Postgrado de Arquitectura es nula; por lo que en el presente Proyecto de Investigación se pretenden realizar las pruebas en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y también con apoyo del Instituto de Investigaciones en Materiales también de la UNAM.

Enfocándonos a la parte técnica de la Investigación, y como ya se ha mencionado, las pruebas físicas se realizarán en Laboratorio de tal forma que se logre un material de condiciones óptimas para la construcción y prefabricación de estructuras ligeras y revestimientos de edificios con propiedades excelentes de resistencia a la compresión y flexión, así como anticorrosivo, además Térmico y acústico.

El propósito de usar materias primas comerciales y de fácil accesibilidad, estriba en economizar la producción al máximo por lo que se hace más factible su comercialización y su aplicación, además de dar ventajas técnicas como son: mecánica, de resistencia acústica, térmicas, estéticas y ecológicas por su carácter reciclable y de aprovechamiento de técnicas nuevas de Procesamiento, particularmente en el caso de la propuesta; también sería factible utilizar este material en cadenas de producción industrial de manera 100% prefabricada.

## OBJETIVOS

El **objetivo principal** es generar un nuevo Material por medio de un modelo (que también se va a proponer), que se pueda usar en la Industria de la Construcción, el cual contenga buenas características mecánicas, térmicas, de bajo peso y sobre todo de bajo costo, por lo que será un material de tipo Compuesto. De este Objetivo principal se derivan las siguientes metas:

### Generales:

- ✓ Establecer un estudio teórico preliminar a la experimentación que nos dé las bases para el estudio técnico del material.
- ✓ Dar un panorama de la situación actual de los Materiales Compuestos de tipo cerámico en nivel nacional, que nos permita tener una referencia fundamental.
- ✓ Conocer y manejar de forma apropiada las Tecnologías y los procesos de Fabricación de Materiales Compuestos de tipo cerámico, para aplicarlo al Desarrollo del material de la propuesta.
- ✓ Conocer y desarrollar las Tecnologías complementarias para el Desarrollo del material como Producto tecnológico de la propuesta y su correcta aplicación en el sector de la Construcción, tales como técnicas de Procesamiento y métodos de Selección y Evaluación de Materiales.
- ✓ Realizar un modelo propio a seguir en donde se integren nuevas Tecnologías para la aplicación de nuevos materiales Compuestos en Arquitectura y la Construcción civil; y a su vez, proponer un método particular para la selección y evaluación de nuevos materiales en Arquitectura y Construcción.

### Particulares:

- ✓ Proponer y conocer las propiedades físicas y químicas de las materias primas de la propuesta.
- ✓ Proponer la guía o metodología apropiada para la secuencia de ensayos de laboratorio o pruebas físicas.
- ✓ Conocer previamente criterios estructurales, ecológicos y arquitectónicos óptimos para la aplicación y Desarrollo de dicho material.
- ✓ Hacer la mezcla adecuada correspondiente a la propuesta, de manera que se obtenga una nueva matriz de liga y nuevos agregados que sustituyan a los comúnmente usados, mediante el uso de cerámicas y fibras sintéticas, así como de partículas de metal, entre otras materias primas que arrojen los resultados de evaluación y selección de materiales.
- ✓ Realizar especímenes tanto del material cerámico propuesto como de Materiales similares a los usados comúnmente para hacer un estudio comparativo.
- ✓ Asimismo, proponer materias primas para el proceso de reforzamiento del material mediante métodos en donde no afecte la matriz de liga del Compuesto.
- ✓ Realizar las pruebas físicas de los especímenes a ensayar tanto del material cerámico propuesto como de Materiales similares para hacer una comparativa y dar a conocer los resultados numéricos de los mismos.

### HIPÓTESIS:

Se propone generar una nueva Tecnología (modelo ANUMARQ) para el Desarrollo de nuevos materiales en Arquitectura y Construcción Civil, por medio de una Metodología basada en Ciencia de Materiales que da como resultado un Producto de alta Calidad, y que intervienen tres factores esenciales en su Producción, tales son: Propiedades de los materiales, materias primas disponibles y Procesamientos apropiados de manufactura y Producción.

Se sugiere también sobre la Evolución del Diseño Arquitectónico y los mismos Procedimientos constructivos a partir de la Evolución de los nuevos materiales de Construcción; lo cual se relaciona directamente

con el Modelo que se pretende desarrollar en la presente Investigación llamado modelo sistémico para la aplicación de nuevos materiales en la Arquitectura y Construcción (ANUMARQ).

Lo anterior con ayuda de la generación de nuestras propias Tecnologías y nuevas propuestas como la presente investigación y combinadas con Procesos de Producción para nuevos Materiales, encontrando así nuevas técnicas y también apoyándonos en la transferencia de Tecnología; entonces estaremos generando Tecnologías propias de Materiales nuevos para su aplicación en nuestro propio contexto y para nuestras necesidades económicas y tecnológicas. Asimismo, se propone desarrollar un Método cuantitativo y cualitativo de Selección y Evaluación de materias primas para la conformación de nuevos Materiales basado en la Ciencia de Materiales y otras ciencias como química, física y estadística; dicho método se propone adecuarlo a las necesidades de Selección y Evaluación de Materiales en la Arquitectura y Construcción.

### LIMITACIONES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El Proyecto se enfocará principalmente al estudio de los Materiales Compuestos de tipo cerámico/cerámico, haciendo un estudio comparativo con Materiales similares existentes. Por otra parte el estudio de otros Materiales que no entren en el rubro señalado no serán estudiados en la presente propuesta de investigación y solo se harán menciones de dichos Materiales como polímeros, solo como referencia al Proyecto.

Por lo que se refiere particularmente a la propuesta técnica o experimental del Desarrollo del material, este estará limitado solo a pruebas de laboratorio sobre elementos de ensaye o especímenes, porque cabe mencionar que las pruebas de carga que se realizarán en laboratorio estarán plenamente controladas por lo que difiere del uso de los Materiales en donde las condiciones de humedad y temperatura, entre otras, no se pueden controlar de manera similar; por lo que en la siguiente tabla se explica dicha comparación:

PRUEBAS EN LABORATORIO	APLICACIÓN EN FÁBRICA
Momentos de flexión no distribuidos	Distribución de momentos de flexión
Esfuerzos cortantes mayores	Esfuerzos cortantes menores
Adherencia adyacente nula	Adherencia adyacente completa
No prevención de movimientos verticales	Prevención de movimientos verticales
Contracción no prolongada	Contracción prolongada
La capacidad de carga no se incrementa	La capacidad de carga se incrementa
	Se reducen las deformaciones
En lo general no se pueden medir algunas propiedades que solo en las aplicaciones se manifiestan	La propiedades acústicas, térmicas y de resistencia mecánica mejoran notablemente
Varía el Procesamiento de Materiales de laboratorio a fabrica en ciertos porcentajes minoritarios	Procesado en fabrica de los elementos varia del laboratorio debido a situaciones de clima y diferencia de equipo.

Tabla B. – Limitaciones de la Propuesta experimental del Proyecto de Investigación

En lo referente a la posible obtención de la Patente del material estará condicionado a sus propias virtudes y de los resultados obtenidos en el caso del presente Proyecto, según las normas técnicas existentes en el ámbito nacional, lo cual pueda regular el Producto de la presente Investigación.

# CAPÍTULO I

## TECNOLOGÍA ACTUAL DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN MÉXICO

---

### OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

- Dar un panorama de los nuevos materiales Compuestos y sus posibilidades de aplicarlos en la Arquitectura y Construcción.
- Definir a los Compuestos Cerámicos como respuesta a necesidades en nuevos materiales en Edificación.
- Alcanzar un esquema de Calidad en los materiales desde su Procesamiento, principalmente de los Cerámicos, para su aplicación en nuevos requerimientos.

## I.1. - LOS NUEVOS MATERIALES COMPUESTOS Y SUS POSIBILIDADES DE APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN Y ARQUITECTURA

Antes de presentar un modelo y proponer una determinada materia prima para aplicarla en la elaboración de un Compuesto ya sea como parte de la matriz de liga<sup>2</sup> o como material aglutinado, es necesario partir del conocimiento general de los Materiales Compuestos.

Los nuevos Materiales Compuestos consisten en una matriz que lo mismo puede ser una resina orgánica, un metal o una cerámica, éstas, combinadas con fibras de alta resistencia que se mezclan con la matriz. Una de las fibras más comunes dentro de estos nuevos Materiales es el grafito, pero también se pueden aplicar de diversos Materiales como las de vidrio, Boro, carburo de silicio, Kevlar ( fibra orgánica), y metales en filamentos<sup>3</sup>. El papel de la matriz es mantener unido al Compuesto. Debido a la matriz, es posible diseñar el material para que tenga ciertas propiedades mecánicas y térmicas entre otras. Los Materiales Compuestos son más resistentes que el acero, más rígidos que el titanio, y más ligeros que el aluminio, además ofrecen otras propiedades importantes como: resistencia mecánica elevada y a la corrosión, y a las altas temperaturas y durabilidad. Por estas razones son particularmente efectivos como material estructural ligero<sup>4</sup> y de revestimiento. La Tecnología relativa a los revestimientos también está recibiendo especial atención y se han desarrollado recubrimientos de Cromo, Aluminio y aleaciones de itrio con Hierro, cobalto o níquel que ofrecen protección a temperaturas tan altas como los 1 700 ° C, por citar algún ejemplo.

A través de la historia de la humanidad se ha explotado a la naturaleza para la obtención de recursos útiles para el hombre, en caso particular de los Materiales para la fabricación y construcción de todo tipo de herramientas y moradas. Hoy la búsqueda de nuevos Materiales no radica en la obtención directa de Materiales ni de la exploración de yacimientos, sino de la combinación y mezclas de los mismos Materiales provocando mejores características y propiedades por medio de nuevos procesos de obtención y producción de Materiales. A todos los Materiales en que se combinan dos o más materias primas básicas, se les llama Materiales Compuestos, los cuales contienen una matriz aglutinante y agregados también llamados dispersoides; la matriz puede ser una resina, un metal o una cerámica y también una combinación entre estas como una matriz metal-cerámica, metal-polímero o cerámica-polimérica; y los agregados pueden ser minerales inertes o fibras ya sean orgánicas e inorgánicas y sus combinaciones. Por lo tanto, los Materiales en el mundo se dividen principalmente en cuatro rubros:

- **Polímeros**
- **Cerámicos**
- **Metálicos**
- **Compuestos**

Para la aplicación de dichos Materiales en el sector industrial como de comunicaciones, industria pesada, electrónica, medicina, etc. estos Materiales poseen diferentes usos, pero en el sector de la Construcción las aplicaciones son aún limitadas, aún así hay diversos Materiales Compuestos que responden satisfactoriamente, pero en algunos casos las condiciones de resistencia, densidad, corrosión aspecto térmico-acústico; son pocos los Materiales que responden y satisfacen a dichas necesidades; por ejemplo los metales que en general tienen puntos de fusión altos y tienen buena resistencia a la flexión, tienen la desventaja en que su densidad es muy alta y aunque satisface a necesidades estructurales, en otras como de capacidad térmica-acústica y ligereza, no las satisfacen, por lo que hay que buscar otras opciones; por otro lado, los polímeros que suelen ser menos densos que los metales, su proceso de obtención es más complicado para su aplicación en elementos estructurales y de revestimiento en la Construcción. Por lo tanto los Cerámicos parecen ser una solución viable para los problemas y necesidades antes planteadas.

Ahora, los Cerámicos parecen cobrar importancia en los casos actuales, como pasó al inicio en que la humanidad se abrió paso mediante la explotación de recursos naturales para su causa. Es importante mencionar también que lo anterior no quiere decir que el estudio de los Polímeros y los Metálicos no tengan importancia en el Desarrollo de nuevos Materiales, sino que incluso se pueden obtener matrices combinadas entre sí, como

<sup>2</sup> Matriz de liga. es el material que funciona para unir al Compuesto y que funciona como aglutinante.

<sup>3</sup> Filamentos: son fibras hechas de metal similares a las fibras sintéticas de forma alargada.

<sup>4</sup> En este trabajo se desarrollará un material que se pueda usar en estructuras ligeras con resistencias mecánicas óptimas para resistir sin problemas esfuerzos dinámicos o combinados.



interfases<sup>5</sup> de metal-polímero, metal-cerámico o polímero-metálico, como ya lo habíamos expuesto con anticipación. Además de sus numerosas aplicaciones en diversas industrias.

## I.2. - LOS CERÁMICOS COMO RESPUESTA A LAS NECESIDADES EN NUEVOS MATERIALES

Tanto en México como en el mundo gracias a los grandes avances en procesos<sup>6</sup> y técnicas para la obtención de Materiales Cerámicos se ha desarrollado un grupo de Cerámicas denominadas " técnicas ", por sus excelentes propiedades mecánicas, ópticas, eléctricas, refractarias, anticorrosivos, etc., constituyen uno de los nuevos Materiales que a pesar de sus inconvenientes (fragilidad, dificultad de obtención de piezas complejas, difícil reproductividad, dificultad de unión entre piezas y el mismo costo), han revolucionado el uso de nuevos Materiales además de coadyuvar al Desarrollo de Materiales similares para uso en numerosos sectores industriales; todo ello hace que los Cerámicos, "Materiales del pasado", se conviertan nuevamente en el material del futuro sustituyendo en algunas aplicaciones a polímeros y metálicos.

La siguiente gráfica muestra el avance de los Cerámicos, vía Compuestos, y su importancia hacia el futuro de los Materiales en Ingeniería y Construcción.

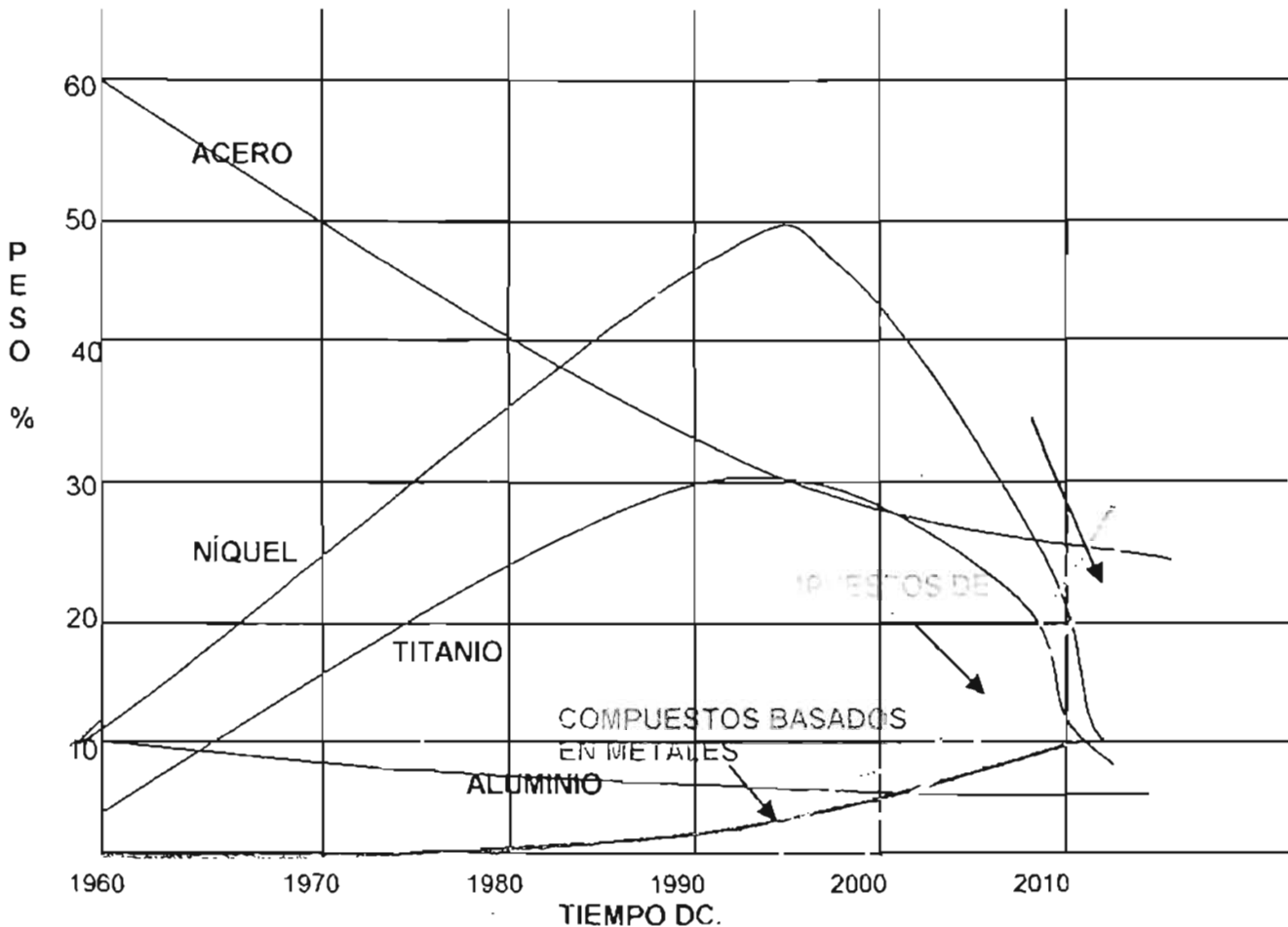


Figura 1.- Acerca de la evolución de los Cerámicos via Compuestos<sup>7</sup> y su importancia hacia el futuro

Inicialmente el Desarrollo de nuevos Productos Cerámicos se efectuó en gran parte en la industria automovilística, y claro, sin olvidar en ningún momento que el concreto esta dentro del rubro de los Cerámicos, por

<sup>5</sup> Momento en que los materiales se combinan desde su microestructura

<sup>6</sup> Procesos, se refiere a las distintas rutas y técnicas para la transformación de los Materiales en Productos terminados

<sup>7</sup> Cortesía de la Empresa Rolls-Royce Ltd.

lo que es el material cerámico tradicional (no de las cerámicas técnicas), más usado en la Construcción. Pero volviendo a la industria automovilística, uno de los Productos más usados de las cerámicas técnicas es la bujía de encendido de los motores de combustión, para poder mejorar el rendimiento de trabajar a altas temperaturas, así en el ejemplo, tenemos que en la elevación de la temperatura al momento de arrancar el motor desde la cámara de combustión, entre más resistente sea la cerámica más rendimiento de potencia produce al momento de arrancar el motor, por lo que ningún metal sería capaz de rendir. Los Materiales Cerámicos son aquí ventajosos respecto a los metales y polímeros, por citar un ejemplo.

### **I.2.1. - Concepto y significado de Cerámicas**

Significado de Materiales Cerámicos. – Antes de definirlos podemos decir que los Materiales Cerámicos han estado con nosotros desde las primeras comunidades del Neolítico (5000 años a.C.) en Mesopotamia, pero se han ido transformando de sus funciones tradicionales a nuevas e innovadoras aplicaciones que hoy en día se realizan; por lo tanto, el tema de Cerámicas Avanzadas proviene de esas nuevas necesidades y el mejoramiento del mismo material mediante nuevos Procesamientos de obtención, caracterización y de control físico y químico de las materias primas empleadas para la formación de los Compuestos.

Los Cerámicos actualmente han logrado sustituir en muchas aplicaciones a Materiales tradicionales en muchas ramas de la Industria. Existe en la actualidad algunas diferencias entre los conceptos para definir a las cerámicas, tanto en países como Japón, Estados Unidos y Europa; ya que varía dependiendo del punto de vista científico, por lo que el proceso de Estandarización aún se está llevando a cabo; por tal motivo en el presente trabajo definiremos a las Cerámicas, partiendo de la base físico y química de los Compuestos de la siguiente forma: los Cerámicos son Materiales consolidados de forma policristalina basados en Compuestos de los grupos no metales del III y VI de los elementos químicos, de uno y otro grupo y/ o en combinación con algunos metales, realizada mediante Tecnología de Transportación de masa dando como resultado componentes de enlace iónico. En otras palabras son materiales que en su estructura atómica no poseen electrones libres, lo cual hace que sean materiales frágiles.

En sí, las Cerámicas Avanzadas han tenido un Desarrollo enorme en pocos años; ya se han mencionado algunas de sus aplicaciones en las distintas industrias desde la Medicina hasta la Electrónica. Una cerámica se puede caracterizar de la siguiente manera:

De acuerdo a varios autores en la actualidad de los Materiales Cerámicos el siguiente criterio se usa para caracterizar a los Materiales en cuestión:

- Naturaleza: (orgánica, inorgánica)
- Composición: (elemento, Compuesto)
- Estado: (polvo, fibra, película, material consolidado)
- Estructura: (cristalina. Amorfa)
- Método de Producción: (Tecnología usada)
- Aplicaciones (Por uso y función)

Cabe señalar que una cerámica no necesariamente debe de pasar por Procesamiento de sinterizado y cocción, como es el caso de las cerámicas tradicionales, aunque es el Procesamiento de obtención más usado incluso en las cerámicas avanzadas, en algunos casos no es necesario este proceso, tal es el caso de los Concretos y de los morteros los cuales también son una clase de cerámicas, pero estos a diferencia de la mayoría, pasa por un Procesamiento químico mediante una matriz de liga que es el cemento, y aunque este a su vez es un material cerámico ya que previamente ha sido también sinterizado.

También cabe señalar que un Vidrio no es un material cristalino, de tal forma que no es exactamente una cerámica, a menos que se manipule su estructura entre las celdas que conforman el Compuesto; esto se verá más adelante en el Capítulo referente al Diseño estructural y consideraciones mecánicas que se deben tomar en cuenta para la fabricación de estos materiales.

La estandarización<sup>8</sup> de los términos en Materiales Cerámicos se está realizando actualmente y su aplicación será inmediata para regular conceptos "personales" o propios, por lo que habrá una mayor eficiencia en el entendimiento entre los profesionales del campo Cerámico y los usuarios.

### 1.2.2. - Clasificación Funcional de los Materiales Cerámicos para la Industria de la Construcción

Como ya lo hemos mencionado con anterioridad actualmente los Cerámicos reciben el nombre de avanzados o cerámicas técnicas, y se tratan de materiales con alto grado de pureza, constituidas por partículas ultra finas, sinterizadas y tratadas bajo condiciones perfectamente controladas. Su diferencia con los Materiales Cerámicos tradicionales es que estos se basan principalmente en silicatos, mientras que la cerámica avanzada incluye nitruros, carburos, óxidos, carbonatos, etc. Estos Materiales poseen propiedades especiales como su alta resistencia mecánica y a la temperatura, a la corrosión y al uso, y propiedades eléctricas y ópticas que los hacen sumamente útiles para un gran número de aplicaciones en la Construcción como se muestra en la siguiente tabla de las cuales algunas son propuestas del presente trabajo:

La siguiente tabla nos muestra las aplicaciones en la Industria de la Construcción en general y en electrónica que se vincula a la construcción e instalaciones de edificios, de los principales Materiales y Compuestos Cerámicos, tanto de manera tradicional como de manera reciente:

**Materiales Cerámicos aplicados a la industria de la Construcción general y en la electrónica:**

MATERIAL CERÁMICO:	APLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN:
Cerámica estructural: Gres (arcillas, feldespatos y cuarzo), Cermet: (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO, etc.), Aluminatos y silicatos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cermet</li> <li>➤ Concreto</li> <li>➤ Vidrio</li> <li>➤ Herramientas de corte</li> <li>➤ Piezas de maquinas</li> <li>➤ Revestimiento de tuberías para instalaciones</li> <li>➤ Construcción de pisos industriales</li> <li>➤ Revestimientos para pisos y acabados arquitectónicos.</li> <li>➤ Ventiladores</li> <li>➤ Tejas y baldosas.</li> <li>➤ Alfarería para decoración.</li> <li>➤ <i>Material aglutinante para matriz.</i></li> </ul>
Cerámicas reforzadas con fibras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Herramientas de corte</li> <li>➤ Componentes de maquinaria industrial</li> <li>➤ <i>Posibles usos en componentes dimensionados para estructura y acabados. (propuesta)</i></li> <li>➤ <i>Elementos prefabricados para climatización pasiva. (propuesta)</i></li> <li>➤ <i>Componentes especiales para Construcción (propuesta)</i></li> </ul>
Cerámica refractaria: Aluminosa hidratada (AL <sub>3</sub> O <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ladrillos refractarios</li> <li>➤ Tuberías refractarias</li> </ul>

<sup>8</sup> La estandarización: es un procedimiento que están desarrollando grupos relacionados con la producción de los Materiales Cerámicos, tales como científicos, ingenieros, Productores y consumidores para un mejor entendimiento a nivel mundial.

o Bauxita.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Crisoles</b></li> <li>➤ <i>Para muros aislantes.</i></li> </ul>
Porcelana: (arcilla blanda hidratada)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aisladores eléctricos en instalaciones</li> <li>➤ <i>Revestimiento para paneles laminados.</i></li> </ul>
Vidrio: Sílices fundidas, arenas y cales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vidrios avanzados moduladores de luz inteligentes</li> <li>➤ Ventanas y domos</li> <li>➤ Muros divisorios y de ornamentación</li> <li>➤ Blindaje</li> </ul>
Concreto y morteros: matiz aglutinante + agregados	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Estructuras armadas para edificios</li> <li>➤ Muros y cubiertas de concreto armado</li> <li>➤ Morteros</li> <li>➤ Gran diversidad de usos en la Construcción.</li> <li>➤ <i>Concreto con aditivos refractarios.</i></li> </ul>
Cermets: óxidos y metales con fases cerámicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Herramientas de corte</li> <li>➤ Toberas</li> <li>➤ Tuberías industriales.</li> <li>➤ <i>Paneles laminados reflectantes</i></li> </ul>
Substratos inorgánicos Cerámicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Recubrimiento cerámico en laminados metálicos para resistencia a la corrosión y a la abrasión.</li> </ul>
Cerámicas con funciones electro-magnéticas: (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , BeO, MgO ). Para uso en edificios inteligentes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Material aislante</b></li> <li>➤ <b>En circuitos, cableados, resistores, e interconexiones electrónicas.</b></li> <li>➤ <b>Materiales piezo - eléctricos</b> para vibradores y sensores de temperatura, elementos calefactores.</li> <li>➤ <b>Materiales semiconductores</b> para fabricación de sensores de calor, sensores, infrarrojos, eliminación de ruido, sinterizado para celdas solares, calentadores en miniatura, sensor de oxígeno y pH.</li> </ul>
<p>Cerámica con funciones ópticas: Para iluminación artificial:</p> <p>Alúmina traslúcida Magnesio traslúcido Cerámica PLZT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lámparas de vapor de sodio a alta presión.</li> <li>➤ Tubos para iluminación de lámparas especiales.</li> <li>➤ Elementos modulares de luz, válvulas de luz, elementos de memoria de luz.</li> </ul>

<p>Cerámicas con funciones químicas: ZnO, Fe2O3</p> <p>Mg, Gr2O4, TiO2</p>	<p>➤ alarmas</p> <p>➤</p> <p>➤</p> <p>➤</p> <p>➤</p> <p>humedad</p>	<p>Sensores de gas para</p> <p>Ventiladores</p> <p>Detectores de fluor y carbón</p> <p>Sensores de humedad</p> <p>Elementos de control de</p>
<p>Cerámica con función térmica: Zr O2, TiO2</p>	<p>➤</p> <p>➤</p>	<p>Aislantes Cerámicos</p> <p>Radiadores infrarrojos</p>
<p>Cerámica con resistencia a la fricción</p>	<p>➤</p> <p>➤</p> <p>➤</p> <p>➤</p> <p>industriales</p>	<p>Sensores de presión</p> <p>Selladores mecánicos</p> <p>Piezas mecánicas-</p> <p>Pisos industriales.</p>
<p>Cerámica resistente al calor: Al2O3, Si3N4, SiC.</p>	<p>➤</p>	<p>Quemadores para soldadura.</p>
<p>Cerámica con funciones nucleares: C, SiC, B4C.</p>	<p>➤</p> <p>➤</p>	<p>Revestimiento en reactores</p> <p>Blindaje en reactores.</p>

Tabla 1- Clasificación de Cerámicas aplicadas a la Construcción

Por lo tanto podemos decir que las cerámicas tanto avanzadas como tradicionales son Materiales muy dinámicos ambos de una amplia innovación Tecnológica<sup>9</sup> y con un Desarrollo amplio en Investigación. Las expectativas en las nuevas cerámicas funcionales son muy interesantes y requieren avances en investigación en distintos campos del conocimiento y resultados en el adecuado uso de la Tecnología para nuevas y mejores aplicaciones, principalmente métodos de selección y evaluación de materiales, lo cual se presentará más adelante.

Para su aplicación al mercado se requiere tener una acertada clasificación clara y concisa de los Materiales Cerámicos y de sus requerimientos funcionales. Esto hace que la estandarización sea urgente y apropiada en nivel mundial, tanto en los países Productores y consumidores de dichas Tecnologías.

### I.2.3. - Principales materias primas sintéticas y naturales para la Manufactura de Cerámicas Tradicionales

Para cerámicas Clásicas: se utilizan principalmente Materiales de Arcilla como Caolines, Arcillas finas y arcillas comunes. Las Arcillas son minerales con estructuras de silicatos el elemento principal de su estructura es un SiO (óxido de Silicio), otro elemento que las compone son los Hidróxidos de Aluminio, Fe3 y de magnesio; ejemplo: Al(OH)3. todos derivados de enlaces iónicos (que intercambian electrones en átomos libres.)

De acuerdo al tamaño de las partículas las arcillas están formadas por tamaños de diámetro < 3-9nm a varias micras pero para uso experimental va de 2-3 nm (nanómetros).

Las Arcillas más usadas en la cerámica son: Caolines, arcillas finas y comunes.

Estas pueden ir solas o en combinación con Materiales no arcillosos como: el cuarzo, cristobalita, feldespato, micas, calcita, y dolomita.

El Caolín es muy usado para porcelanas y contiene Kaolita, silicatos de Aluminio amorfo entre otros minerales.

<sup>9</sup> La innovación Tecnológica: como en todos los campos científicos es necesario que los Productores de cerámicas avanzadas respondan a las nuevas necesidades en la Industria en general, produciendo más y mejores Materiales con diversas propiedades y usos.

Otros Materiales usados aparte del caolín son:

- Bentonitas
- Arcillas ilíticas
- Arcillas comunes
- Arcillas aluviales y arenosas ( para ladrillo y tejas)
- Etc.

Recordando los principales Materiales no- arcillosos:

- Cuarzo.-Este se puede mezclar con sílice para formar Compuestos más sólidos.
- Feldespato. Son rocas sedimentarias, magmáticas y metamórficas, ( $KAlSi_3O_8$ ,  $NaAlSi_3O_8$ ,  $CaAl_2Si_2O_8$ : También los hay de Litio. Y se utiliza para cerámicas de alta dureza y resistencia al choque Térmico, son también Materiales no óxidos al igual que el cuarzo.
- Carbonatos. Son usados para teja porosa, se recomienda usar como complemento de los Compuestos ( $CaMg(CO_3)$ ), se obtiene del procesado de la Dolomita y se puede mezclar con Calcita.

Por lo tanto las arcillas, el cuarzo y los feldespatos son los Materiales más usados en cerámicas clásicas y se puede combinar para mejorar los Materiales con:

- Talco. ( $Mg(OH)_2Si_4O_{10}$ ), para Porcelanas.
- Silimanita, Kianita, y andalucita ( $Al_2Si_2O_5$ ), tienen origen metamórfico y se usan para porcelana y refractarios.
- Balastonita. ( $CaSiO_3$ ), como complemento para una buena contracción.
- Incorporaciones de degasificadores. La técnica cerámica para la industria de tejas hizo la introducción de aceleradores de cocimiento. El tiempo de 20 hrs. Se redujo a 30 minutos; esto por otro lado, causa inconveniente en mezclas formadas con arcillas comunes; la rápida vitrificación evita la liberación de agua, Bióxido de Carbono, y Oxígeno de adentrarse en el material, por lo que se forman grandes burbujas y celdas, pero estos degasificadores previenen este inconveniente; dichos aditamentos son: lapilli, escorias volcánicas, suelo de basaltos, arenas no carbonatadas, escoria de homos, caolines, y arcillas calcinadas, también son usadas.
- Materiales para vidrios: Boratos ( $NaCaB_5O_9$ , se funde fácilmente. Y el Circón es el más usado en Materiales de vidrios y sus características principales es su dureza y refractario y buena resistencia al choque térmico.

Enlistando lo anterior, tenemos: ( para Cerámicas tradicionales o Clásicas)

- Terracota
- Gres
- De loza-barro
- Feldespato-porcelana suave
- Feldespato-porcelana dura
- Arcilla pesada
- Arcilla blanda
- Barro vitrificado
- Gres Vitrificado
- Gres Común
- Barro calcáreo
- Barro duro feldespático
- Cordierita
- Silimanita
- Mullita
- Nefelita-cordierita
- Esteatita
- Feldespato de magnesio
- Alúmina- Sílice
- Alta alúmina
- Magnesia
- Cromo- Magnesia

- Zirconia estabilizada
- Alúmina fundida
- Caolín
- Porcelana Dental.

#### **1.2.4. - Principales Materias primas para la elaboración de Compuestos Cerámicos Avanzados**

Lo siguiente es una recopilación de los Materiales más usados en la industria y manufactura de Cerámicas Avanzadas de la actualidad:

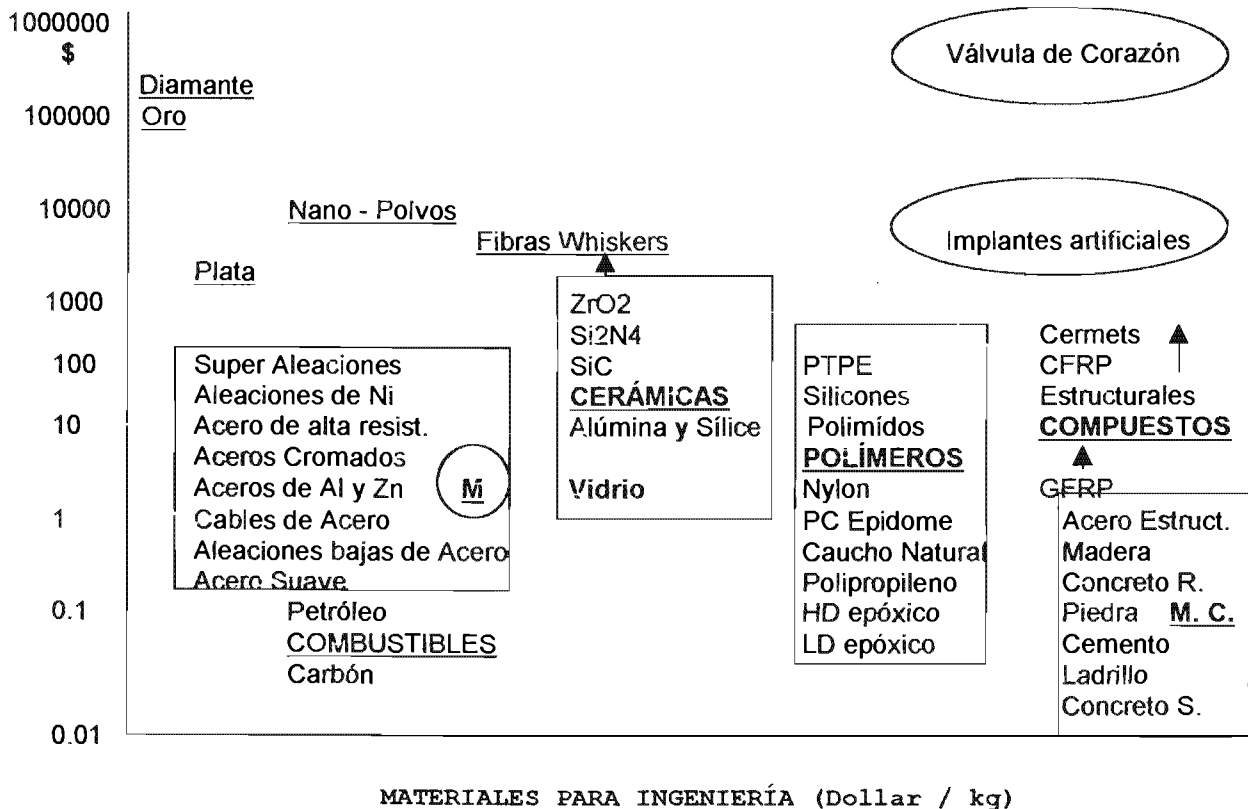
- SiC, Sílice: usada para vidrios.
- TiN, Nitruro de Titanio. para películas delgadas.
- ZrO<sub>2</sub>, ZrSiO<sub>4</sub>, SiO<sub>4</sub>, ... Zirconia y óxido de Zirconia para fabricación de sólidos
- Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Nitruro de silicio y Alúmina para diversas combinaciones de Cerámicas.
- Óxidos de: Aluminio, Berilio, Magnesio, y MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, ZrSiO<sub>4</sub>, SiC (BeO<sub>9</sub>, AlN: para combinación en Materiales térmicos y eléctricos
- BaTiO<sub>3</sub>, SrTiO<sub>3</sub>, PbTiO<sub>3</sub>: para Materiales ferro eléctricos.
- PZT, BaTiO<sub>3</sub>, Pb(Ti, Zr): para material piezoeléctrico.
- BaTiO<sub>3</sub>, MoSi<sub>2</sub>, SiC, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, etc.: para semiconductores.
- B-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>: conductores.
- Mo-LaCrO<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: termiónicos.
- La<sub>2</sub>-BaCuO<sub>4</sub>, Sr<sub>2</sub>BaCuO<sub>4</sub> y BaCuO<sub>4</sub>: para superconductores.
- MeFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: ferritas
- Me<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>, Me-Y, y otras tierras raras: para dispositivos de microondas.
- PLZT (cerámicas especiales): electrónica.
- Alúmina traslúcida: para iluminación y fabricación de lámparas.
- GaAs, InP, LiNb<sub>3</sub>: para electrónica
- ZnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub>: para sensores de gas.
- MgCrO<sub>4</sub>- TiO<sub>2</sub>: para sensores de humedad.
- Cordierita y Alúmina: otros sensores.
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, RuO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>: separadores de líquido o gas.
- Alúmina, Sílica, Magnesita, Cromo-magnesita, Zirconia estabilizada y Alúmina fundida: Materiales refractarios.
- Caolines, minerales, y fibras de alúmina y Sílice: Materiales térmicos.
- SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Cordierita: revestimientos.
- ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>: radiadores.
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, mullita: fibras térmicas.
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>: súper refractarios.
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ZrO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, B<sub>4</sub>C: de propiedades mecánicas.
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC, SiC, Whiskers: propiedades mecánicas.
- SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>: Materiales óptimos para el choque térmico.
- Fibra glass y Cerámica glass: para el choque térmico
- LTI, ULTI: carbonos isotrópicos. Para fibras de carbono y carbono cristalino superresistentes.
- Fosfato de Calcio, Hidroxiapatita: vidrios.
- C, SiC, B<sub>4</sub>C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BeO, SiC-C: Materiales para blindaje y procedimientos nucleares.
- Entre los principales Materiales no óxidos podemos mencionar a: SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, TiC, TaC (carburo de Tantalio), B<sub>4</sub>Cy C (grafito), entre otros.

#### **1.2.5. – Costos relativos a Materiales diversos en Ingeniería (incluyendo a los Cerámicos)**

La tendencia en costos de Materiales Cerámicos es competir con el resto de los Materiales en Ingeniería, estamos hablando que para el año del 2010 aproximadamente, los Materiales Cerámicos abaratarán mucho sus costos debido al incremento que tendrá su demanda. Actualmente los nuevos Materiales Cerámicos aplicados a la Industria de la Construcción de manera estructural son incosteables si lo comparamos directamente con el Concreto Reforzado, pero, como en la mayoría de las industrias como la Farmacéutica, la Biología, la Medicina, la Electrónica, Nuclear, etc., son de gran importancia y aplicación, y en la Construcción es también importante desarrollar materiales nuevos.

Asimismo la nano – fase Cerámica y el uso de polvos y fibras ultrafinas o nanoestructuradas, quedan por el momento, fuera del alcance del presente trabajo; no así como el uso de Técnicas como Dopado y sinterizado a presión, el uso de Técnicas propias dentro de la propuesta experimental, que se realizará más adelante y que de acuerdo a un estudio previo, es posible aplicarlo a la Industria de la Construcción mediante paneles ligeros y/ o bloques para muros de mampostería resistentes para construcciones ligeras de manera homogénea o combinadas con Materiales tradicionales, en el caso del desarrollo de Compuestos cerámicos. Usando materias primas disponibles y accesibles en el mercado, lo cual coadyuve a los procesos de Producción o Procesamiento del material y a los parámetros de Diseño a alcanzar.<sup>10</sup>

Las siguientes son graficas que muestran los principales Materiales en Ingeniería: Precio en Dollar/ Kilogramo como Producto terminado.



Por lo que se refiere a **Productos manufacturados**, los costos están de la siguiente manera:

- 1.-MATERIALES BIOMÉDICOS ( Válvula de corazón a implantes en dientes y otras partes del cuerpo)
- 2.-MATERIALES PARA IND. AERONÁUTICA ( Naves espaciales, aviones militares a aviones Comerciales)
- 3.-IND. AUTOMOTRIZ ( Ferrari, Radha, Royca, hasta Autos compactos y miniautos)
- 4.-IND. MARÍTIMA Y COSTERA (Yates de lujo, Transbordadores, a contenedores)
- 5.-IND. DE EMPAQUES ( Metal, polímero, vidrio y plástico)
- 6.-IND. CONSTRUCCIÓN.

Figura 2. – Precio por Kilogramo de peso de Materiales y Productos por uso y características

<sup>10</sup> Propiedades que cumplan con los requisitos y normas de Construcción.



### I.3. CALIDAD DE LOS MATERIALES DESDE SU PROCESAMIENTO O PRODUCTO DEL TRIÁNGULO (PAT)

Se propone un producto de calidad para la elaboración de cualquier material, que se distingue en base a la calidad del Producto final, aplicado a Materiales Cerámicos para futuros desarrollos de nuevos materiales, denominado: el Producto del triángulo, que debe dar alcance a Materiales los cuales pueden ser fabricados mediante una micro estructura o nanoestructura ideales, capaz de dar valores de resistencia cercanos a los valores teóricos previstos. Este triángulo es parte importante del modelo ANUMARQ que se propone más adelante.

#### El Producto del triángulo para Calidad en la Producción de Materiales

En general, las propiedades de los Cerámicos y en particular de las propiedades específicas de resistencia y densidad, módulo de Young, etc.; son llamados cerámicas de Ingeniería y cerámicas avanzadas o técnicas.; ahora, están atrayendo considerablemente la atención de los investigadores de la materia de Ciencia de Materiales y en general las Ingenierías. Tales propiedades específicas son encontradas en Materiales de disponibilidad accesible y potencialmente de bajo costo; entonces parece difícil entender ¿por qué no se usan y se explotan para mayores y nuevas aplicaciones?.

Sin embargo estas propiedades interesantes son solo una tercera parte de lo que puede describir el "Producto del triángulo", (Producto de alta Tecnología), como se muestra a continuación:

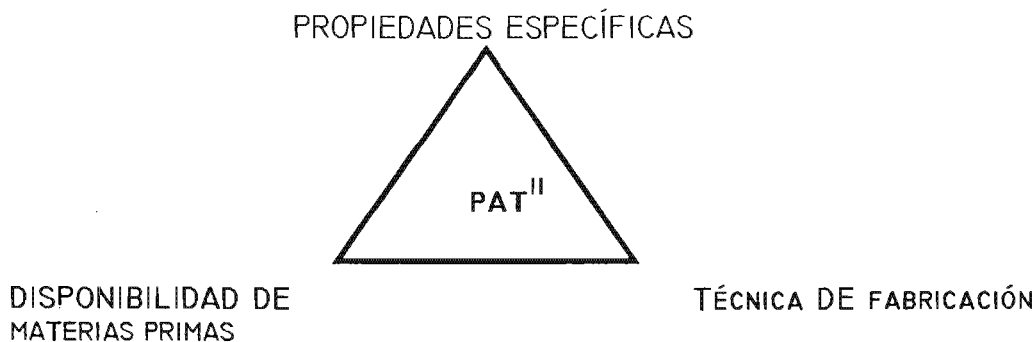


Figura 3. El "Producto del Triángulo (calidad en Materiales de alta Tecnología)

La figura muestra que las propiedades y las materias primas no son las únicas claves de los Productos de alta Tecnología en nuevos Materiales, la tercera parte del triángulo señala la técnica de fabricación o Procesamiento del material a usar, sin la cual sería imposible abrir y alcanzar el centro del triángulo: el Producto de alta Tecnología (PAT).

La infraestructura (planta o fabrica) para la fabricación debe ser establecida solo sí un material nuevo puede tener éxito comercialmente. Los nuevos Materiales normalmente desarrollan nuevas rutas de Procesamiento pero rara y difícilmente se proponen nuevos conceptos o propuestas. Hay muchos Desarrollos de técnicas para fabricar más y más Materiales; sin duda las cerámicas modernas no son la excepción.

Por siglos la técnica de fabricación de las cerámicas y sus ciencias relacionadas han continuado relativamente de la misma manera de acuerdo a los procesos actuales, como en la figura siguiente, con algunos cambios en la materia prima y en la técnica de fabricación un tanto variada de la original.

<sup>11</sup> PAT: para este caso significa Producto de Alta Tecnología, lo cual es el resultado del Producto del Triángulo ya referido.

## NUEVAS TÉCNICAS CERÁMICAS:

## TÉCNICAS TRADICIONALES:

## CERÁMICAS

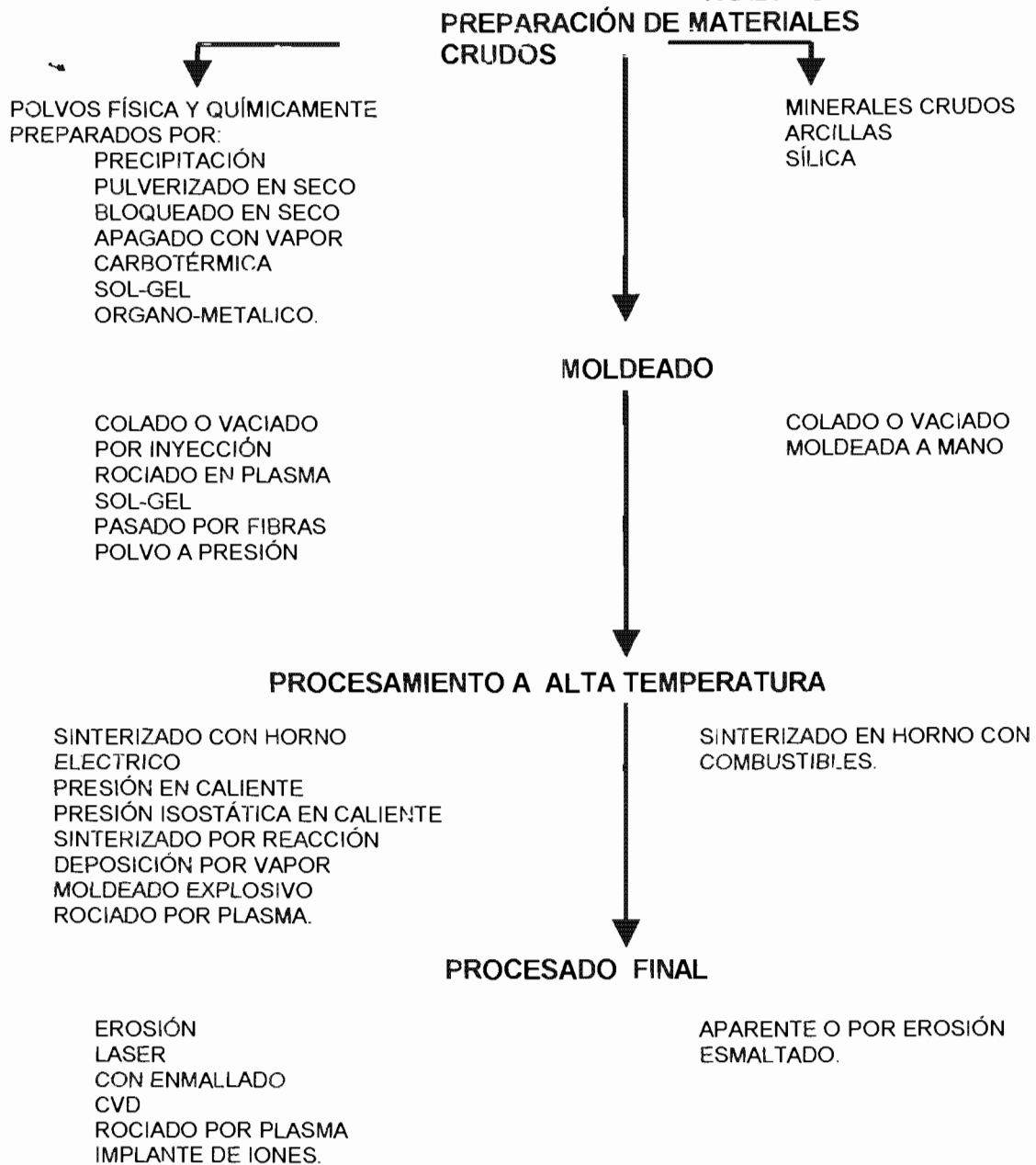


Figura 4. Las 4 etapas del Procesamiento cerámico y las distintas técnicas para obtener una cerámica tradicional o una avanzada.

Los pasos anteriores del Procesamiento cerámico se muestran tanto en el lado derecho para cerámicas tradicionales como el del lado izquierdo para cerámicas avanzadas o especiales. En el proceso del lado derecho solo es aceptable usarse para cerámicas clásicas. Por tanto se han desarrollado otras técnicas de Procesamiento para nuevas cerámicas (las de lado izquierdo), lo cual permite una evolución en el área de los Cerámicos y por lo tanto esta ha tomado de otras áreas de la ciencia la ayuda necesaria para nuevas Tecnologías de fabricación. Las Cerámicas han aprendido de áreas como: metalurgia, polímeros, física y química principalmente. En el futuro, sin duda, serán los Compuestos de vital importancia para la mayoría de las industrias incluyendo a la Construcción. En el siguiente tema se describirán los principales Procesamientos para la obtención de Cerámicas más a detalle.

### 1.3.1. Tamaño y forma de los Materiales Cerámicos para su Procesamiento

Sabemos que dependiendo del tamaño y forma de las partículas del material, ya sea polvos, granos o fibras, va a estar determinado el comportamiento de la estructura del material.

Debemos de tomar en cuenta requerimientos mínimos de Selección de materias primas: polvos, partículas o fibras, para preparar una mezcla óptima. Teóricamente se ha determinado por medio de pruebas en Japón y estados Unidos, que a nivel nano - estructural es recomendable que un material este conformado y tan cerca una partícula de otra, de tal modo que la sección transversal de una falla, (ancho de las grietas), no sea mayor que 4 nm, de lo contrario la falla en el agrietamiento podría ocurrir de manera perjudicial. Lo anterior nos hace ver que a nivel nanoestructural requiere un control de calidad minucioso en el tamaño y forma de las partículas de la materia prima a emplear; y también es un proceso tan delicado y caro, debido a que está aún en Desarrollo e investigación, por lo cual sería incosteable recomendarlo para el uso de la producción de volúmenes grandes, tal como se presenta en la industria de la Construcción, aunque no está por demás saber los detalles de su comportamiento ya que quizá en el futuro los costos de producción sean más bajos y entonces si sea posible utilizarlos de manera que abarque a todo el sector de la Construcción, no solo a las industrias que actualmente atiende como son: electrónica, medicina, y telecomunicaciones; y aunque aún esta en proceso de pruebas e investigación la técnica de Cerámicas por nanofase tendrá buenos dividendos para el futuro en la aplicación de la mayoría de las diversas industrias.

Volviendo al tema de Tamaño y Forma, lo recomendable para procesos Micro estructurados se basa en el número de micras del tamaño del material ya sea en polvo, fibra o partícula, para su buen funcionamiento dentro del enlace del Compuesto. Las fallas en Contracción no necesariamente se deben a fallas dúctiles del material, sino vienen acompañadas de fallas por rigidez y por el mismo tamaño y forma de las partículas.

En los nuevos Cerámicos como en el Concreto, un bajo Módulo de Elasticidad ocasiona fallas de varios tipos, como: de compresión, flexión y contracción. Ahora, analizando un detalle importante en la Micro estructura del material asumiendo la falla de la grieta con una orientación de 45° a la dirección del esfuerzo de tensión aplicado, permite disminuir un poco el error de deformación, siempre y cuando esté sometido a Flexión pura y sujetado en sus extremos.

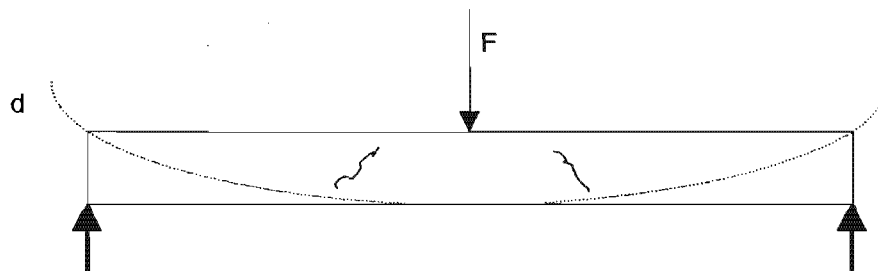


Figura 5. Orientación de las fibras a usar para el reforzamiento de las grietas, en esfuerzos a Tensión

En un nivel nano -estructural una grieta de 0.25nm necesitaría para Compuestos de matriz Cerámica/ Cerámica, una fibra de 6nm de Diámetro debidamente orientada para reforzar dicha falla en dicha acción mecánica.

Ahora, haciendo una analogía entre los valores en fases nanoestructurales y valores micro estructurales, podemos manejar cantidades óptimas para la producción de volúmenes mayores de nuevos Compuestos Cerámicos, de la siguiente manera:

#### Recomendaciones de Diseño de Cerámicas reforzadas con fibras cerámicas:

- Que la sección transversal de la grieta, no sea > de 4 micras para su corrección.

- Que la grieta tenga una orientación aproximadamente de 45° en dirección del esfuerzo aplicado, para disminuir el error.
- Que una grieta de 0.25 micras de sección transversal, sea corregida con una fibra de 6 micras de Diámetro.
- Tratar de combinar granos finos y un poco más gruesos para evitar mayores fallas por fragilidad en las cerámicas

Los Compuestos Cerámicos reforzados con fibras amorfas, resisten más esfuerzos de tensión y contracción que los Compuestos con partículas cristalinas.

Ahora, hablando de la forma del material en Compuestos, las formas redondas dan estabilidad al esfuerzo a la Compresión, pero para soportar mejor los esfuerzos de Tensión es recomendable que las fibras y partículas sean de forma alargada y paralela a la carga. Los datos anteriores se refieren a teorías en pruebas que se han investigado de acuerdo a comportamientos distintos en varios procesos de cerámica Sinterizada, de ahí que se deben de investigar y desarrollar nuevos y más finos polvos Cerámicos sean óxidos o no óxidos para futuras aplicaciones de Síntesis Nano- estructurales.

### **1.3.2. – Sistema Alúmina – Sílice (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub>) Característica de los materiales Cerámicos**

Dentro de la industria de la Cerámica el diagrama Binario Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub>, es tan importante como lo es el diagrama de Fe – Fe<sub>3</sub>C para la Industria del Acero. Varias cerámicas de importancia están dentro de este sistema; sobre todo las cerámicas refractarias y estructurales (por su buen comportamiento al choque térmico y su buena resistencia mecánica respectivamente. Tiene un gran uso en ladrillos para hornos de cerámica, (mostrados en la foto) con base sílice y complemento Alúmina, ambos componentes de manera pura; para dichos ladrillos para la construcción de hornos que se someten a temperaturas que rebasan los 1600° C. Es importante minimizar el contenido de Alúmina, esto es importante para el proporcionamiento posterior del material.

Un incremento muy alto en la capacidad refractaria o resistencia a la temperatura se presenta en la Composición de Mulita (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2SiO<sub>2</sub>, cuya fusión es incongruente.<sup>12</sup>)

Se debe de tener cuidado en los proporcionamientos de Alúmina para evitar Fase líquida, debido al difícil equilibrio entre Fases sólida y líquida de los componentes binarios de la Fase Alúmina – Sílice.

Los usos principales se dan precisamente en los ladrillos para construcción de hornos para Sinterización de Materiales Cerámicos, crisoles para fundición, vidrio refractario, crisoles de laboratorio y otras piezas refractarias y de revestimiento.



Figura 6. – Ladrillos para construcción de hornos para cerámicas

<sup>12</sup> Una controversia sobre la fusión de la Mulita se ha dado por varias décadas ya que no es fácil el establecimiento del equilibrio en sistemas Cerámicos de alta temperatura. Los vidrios de Silicatos son ejemplos similares de este aspecto; aunque es recomendable estar abierto a resultados de investigaciones futuras

La siguiente figura representa el Diagrama de Fases de la Mulita la cual es un material Compuesto intermedio con estequiometría<sup>13</sup> ideal. ( SS = Fase sólida, L = Fase líquida):

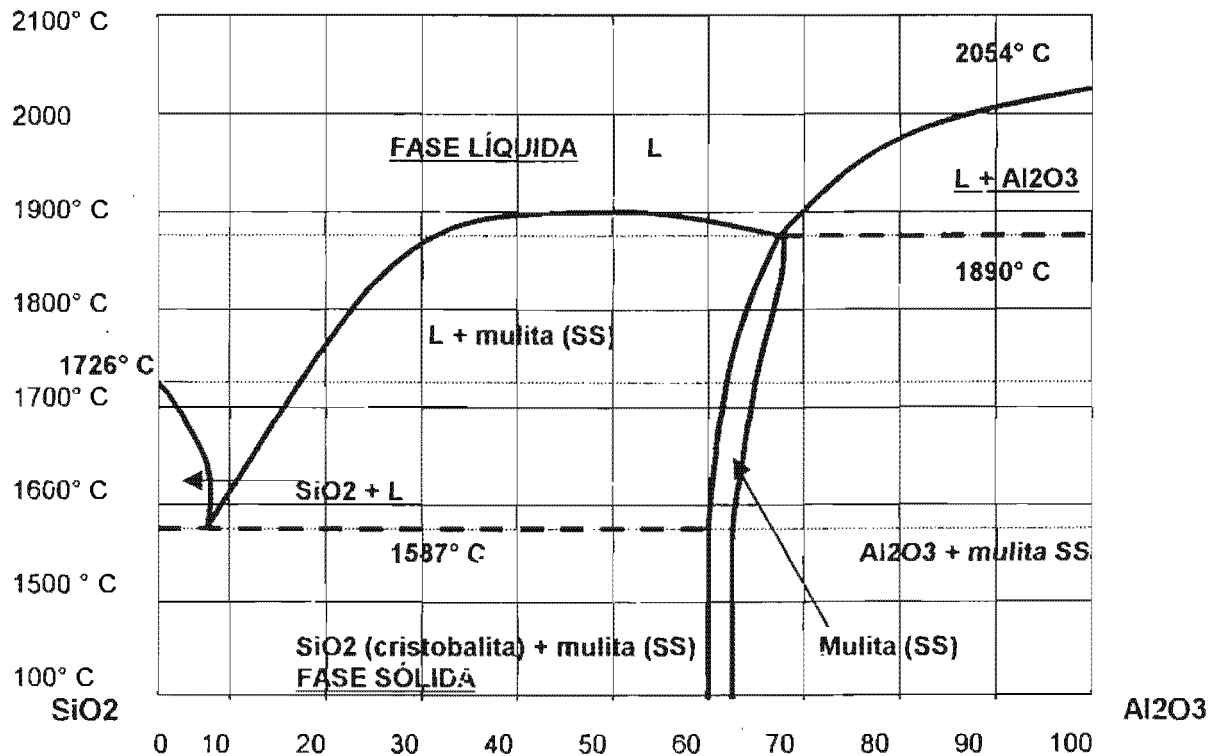


Figura 7. – Diagrama de Fases Alúmina – Sílice. (la más importante de las cerámicas)

La Figura anterior<sup>14</sup> representa entonces el diagrama o "mapa" con la que nos podemos guiar para establecer y comprender la fase binaria más importante de los Materiales Cerámicos. Note que la fase líquida es el área más grande en el Diagrama, el Sílice se funde primero que la Alúmina. La mulita aunque en un % menor alcanza la fase líquida mucho después que la Cristobalita.

### I.3.3. – Principal Técnica de Procesamiento de Compuestos Cerámicos

Esta parte del trabajo consta de un adelanto en donde se estudiará lo relacionado a los Compuestos de Matriz cerámica más a fondo. pero que nos ayudará a introducirnos a ese tema de manera oportuna. Tenemos dentro de la Tecnología Cerámica Avanzada la siguiente Técnica de producción mayormente usada en Cerámicos de tipo estructural:

#### Proceso Continuo de 2 fases. –

Es un proceso en donde se alcanzan resistencias mecánicas del material muy elevadas y se usan en numerosos campos de la industria, principalmente en cerámicas estructurales. Para esto se han tenido que desarrollar nuevos conceptos de Procesamiento cerámico basado en el manejo de otros Materiales; tal como lo muestra la siguiente figura que representa el proceso continuo, que se basa en una serie de pasos similares a los

<sup>13</sup> Parte de la Química que estudia las proporciones en que reaccionan los sistemas, para este caso de Materiales.

<sup>14</sup> Diagrama tomado de F. J. Klug – S. Prochazka, Ceramics Soc. – 70, 750 (1987):

usados en la industria de los Polímeros y evitando dentro de lo posible, altas temperaturas que normalmente se usan, mediante el uso de agentes químicos como los sistemas de fosfatos.<sup>15</sup>

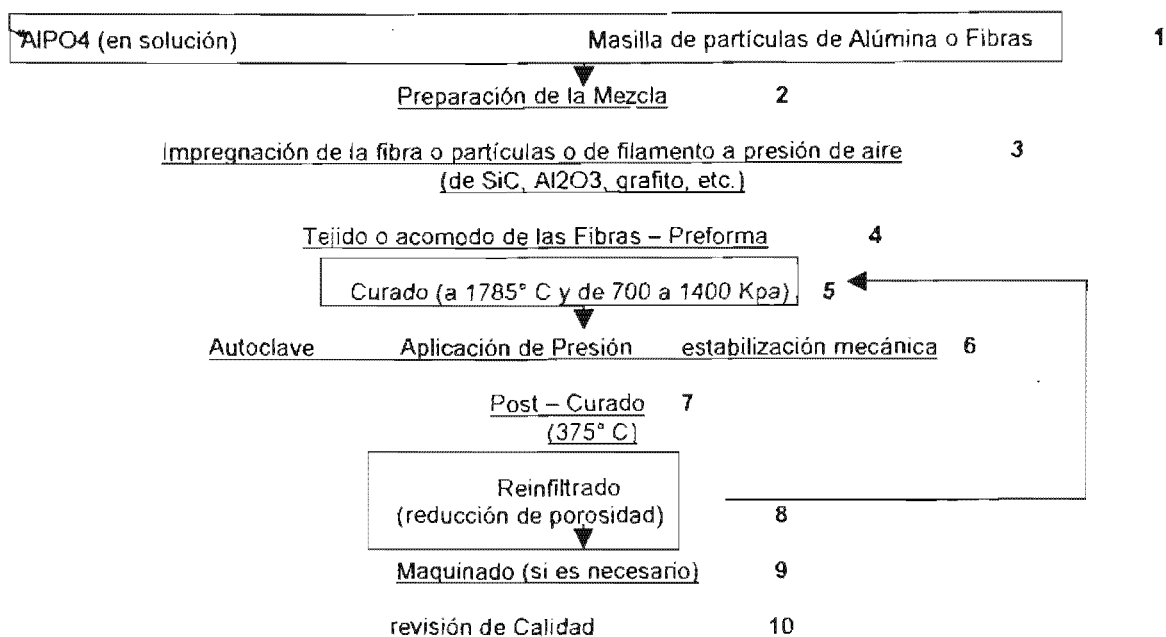


Figura 8.- Proceso continuo para la Fabricación de Compuestos de SiC - AlPO4 (cortesía de la empresa ALCOA)

La mezcla de AlPO4 (solución) y las fibras o partículas son combinadas mediante 3 vías (mostradas en el paso número 3 de la figura), lo cual pasa por un proceso de curado a 175° C y con una presión baja se incorporan los filamentos o fibras distribuidos en la berlinita (ALPO4). El proceso a alta temperatura generalmente daña las fibras así que se usa este tipo de Compuesto para formar dos fases: la matriz de AlPO4 y las fibras unidas y distribuidas en la matriz de liga.

Las ventajas en el uso del proceso continuo son las siguientes:

- Pérdida de Peso menor que 1%.
- Contracción lineal menor del 1%.
- Uso con temperaturas de 1500° C.
- Resistencia a la Fractura valorada arriba de 16 MNm (-2/3)
- Esfuerzos de Tensión arriba de 312 MNm (-2)

### 1.3.4. – Etapa de Sinterización

Básicamente es el proceso mediante el cual se somete al fuego las materias primas moldeadas y secadas, para producir una cocción intensa de los Componentes para la compactación del Producto.

Estos procesos de Cocción se deben llevar a cabo controlando la temperatura de la cual dependerá varias de las características del Producto, ya que si es mal manejada la Temperatura, puede haber problemas con el Producto, por ejemplo la generación de deformaciones microestructurales, produciendo agrietamientos. Este control se realiza mediante pruebas y comparaciones con respecto a nuestros parámetros de Diseño.

<sup>15</sup> La empresa Alcoa que es un Productor de diversos Productos derivados de Materiales Compuestos de todo tipo, ha desarrollado este Proceso en donde se pueden usar materias primas que van desde óxidos y no óxidos y uso de Fibras para reforzamiento por precipitación y doble Fase.

Con el objetivo de obtener una adecuada gasificación para nuestra Propuesta experimental, serán necesarias temperaturas de alrededor de 800° C, y ciclos de cocción dependiendo del control y de las pruebas destructivas. La Sinterización o Cocción se realizará en un Horno tipo semi- industrial de arco a base de gas y altamente refractario.

Técnicamente se produce un proceso de fusión del material moldeado, el cual se funde y a la vez se compacta por medio de las altas temperaturas a la cual se someten las partículas del material. Así los componentes de las materias primas en cuestión interactúan entre si formando enlaces iónicos y covalentes<sup>16</sup> en un estado sólido de la materia por medio de la acción del calor. Finalmente se enfría el material siendo ya un Compuesto con matriz, (para nuestro caso arcilla y Alúmina) y dispersoides (fibras) consolidados.

## I.4.- INTRODUCCIÓN A LOS COMPUESTOS DE MATRIZ CERÁMICA

Las cerámicas avanzadas como la Alúmina, Zirconia, Nitruro de Silicón y Carburo de Silicón, etc., se caracterizan por su buena resistencia mecánica a la oxidación y a la corrosión cuando se comparan con los metales y polímeros. Tienen varias aplicaciones en Metalurgia, en sistemas de maquinas sujetas a alta temperatura y en otro tipo de industrias como la Construcción aeroespacial. Sin embargo el uso de los Materiales Cerámicos monolíticos<sup>17</sup> es limitado, en la mayoría de los casos por su fragilidad, que es la tendencia a la falla total del elemento construido con estos Materiales, debido al crecimiento de sencillas grietas que se originan desde un pequeño desperfecto a nivel microestructural. Las cerámicas monolíticas<sup>18</sup> se caracterizan por su relativamente baja resistencia mecánica y probablemente las fuerzas de fractura son determinadas por una serie de desperfectos inherentes. En los pocos años anteriores muchos estudios han sido enfocados en el mejoramiento del aspecto mecánico de cerámicas monolíticas, principalmente en la reducción de series o grupos de desperfectos en la estructura del material y en el mejoramiento de la microestructura. Por ejemplo en Cerámicas con base en Silice nítrico se le ha dado una gran importancia al tamaño y forma de las partículas o polvos para obtener una microestructura de grano fino con granos de tipo fibra alargados, esto ha sido llevado a cabo y se han presentado incrementos de resistencia mecánica tanto a Tensión como Compresión de forma notable.

Recientemente las mejoras en grandes resistencias han sido obtenidas debido al diseño de nuevas Microestructuras que consisten en incorporar fibras o partículas dispersas como una segunda fase del material en una Matriz cerámica. El rendimiento químico de los Compuestos Cerámicos son aún limitados comparados con las cerámicas monolíticas o puras. Los orígenes de tales limitaciones fueron esencialmente de gran importancia en la Fase de refuerzo y su integración a Materiales Compuestos dificulta un poco en el Procesamiento. Como primera consideración técnica en el manejo de diseño del material Compuesto de nuestro caso experimental, está el tamaño y diámetro de las fibras el cual debe ser menor que el tamaño de los defectos en la matriz cerámica (20-50 micras), y como segundo, que la segunda fase debe densificar y unir y reducir el espacio entre partículas y fibras a una dimensión más pequeña que la medida del desperfecto en la matriz cerámica del material.

El reciente Desarrollo de polvos Cerámicos microscópicos y fibras finas refractarias mejora la Producción cerámica, esto explica el resurgimiento del interés en Compuestos de matriz cerámica. El presente trabajo trae como consecuencia un estudio sobre las Tecnologías actuales referentes a Compuestos principalmente de matriz cerámica, su manufactura, sus propiedades mecánicas y su potencial de su Desarrollo en el área de la Construcción en los próximos años. Especial atención será puesta en cerámicas reforzadas con fibras o partículas las cuales al integrarse a la matriz cerámica, se pueden obtener resultados muy satisfactorios en Compuestos de matriz cerámica de segunda fase (con fibras) por ser buenos promisorios en el futuro. Por sus buenas propiedades mecánicas y físicas y relativamente fácil Procesamiento y fabricación. Por razones de estandarización el termino correcto a emplear para este tipo de Compuestos será: Matriz / dispersoide, en donde la matriz se presentará de forma cerámica y el dispersoide será una partícula ya sea fibra o polvos de otra naturaleza estructural.

<sup>16</sup> Propios de las cerámicas.

<sup>17</sup> Cerámicas sin combinarse.

<sup>18</sup> Las cerámicas monolíticas son aquellas que se conforman de Materiales 100% Cerámicos y su estructura son solo polvos o partículas finas de un solo grupo cerámico.

#### **I.4.1. – Bases de diseño de formación de Compuestos Cerámicos con la 2° fase o reforzamiento para la propuesta**

Existe entonces un gran interés en los Compuestos Cerámicos debido a su extenso potencial de aplicaciones. Las propiedades físicas de la matriz cerámica pueden modificarse de acuerdo a la aplicación para la cual se pretende, adicionando una apropiada segunda fase, para nuestro caso nos interesa el aumento de la resistencia a Flexión para evitar fractura causada por la conformación microestructural del material. Así también se puede modificar sus propiedades al choque térmico el cual es importante para cerámicas refractarias y para elementos de revestimientos y mejoramiento de las propiedades térmicas del material para uso en la edificación como aislador. Por tanto, la motivación más común para el Desarrollo de Compuestos de matriz cerámica se origina en la posibilidad de un incremento en la resistencia mecánica resultado del mejoramiento en las propiedades físicas en un Compuesto mecánico. (objeto principal de la parte experimental de este trabajo) especialmente la resistencia a la fractura por falla a flexión. Los siguientes mecanismos nos van a ayudar a dicho propósito principal del trabajo de investigación:

- **Transferencia de carga de las partículas del material**
- **Prereforzamiento**
- **Microagrietamiento**
- **Fase de transformación**
- **Impedimento de grietas**
- **Mezclado de fibras y**
- **Punteado de grietas y fisuras importantes.**

Nota: el propósito de este trabajo no es reportar detalles de teoría mecánica de resistencia de Cerámicas, las cuales ya han sido analizadas y modeladas en distintas investigaciones publicadas, sino presentar criterios de diseño de Materiales Compuestos para aplicaciones estructurales.

Continuando con los puntos para el Desarrollo de criterios de diseño mecánico para Compuestos Cerámicos de dos fases, tenemos:

##### **Transferencia de Carga**

Muchos de estos mecanismos operan en presencia de campos de esfuerzo de Tensión a lo largo de la fase matriz / dispersoide esperando un equilibrio en la expansión térmica<sup>19</sup> y/ o en el módulo de elasticidad. Esto es así en el caso de la resistencia esperada a la transferencia de carga la cual se da en las cerámicas reforzadas con fibras de un desequilibrio en el módulo elástico entre la matriz y las fibras. La transferencia de carga entre la matriz y las fibras requiere que el modulo de Young de las fibras ( $E_f$ ) sea mayor que el modulo ( $E_m$ ) de la matriz de liga; y en porcentaje ( $E_f$ ) ( $E_m$ ) > 2, sería más favorable.

Este mecanismo es más eficiente con fibras largas, más que una distribución al azar de fibras cortas. Esto es un factor determinante para la resistencia en Compuestos de este tipo (cerámica – cerámica) de matriz/ fibra; tal como los de carbono/ carbono y/ o de carburo de silicón/ carburo y especialmente para las de fibras largas que son de Carbono o carburo de silicón en vidrio reforzado y Compuestos de vidrio- cerámica reforzada los cuales son los que tomaremos como apoyo para el Desarrollo de nuestro caso experimental.

##### **Prereforzamiento**

El Prereforzamiento de la matriz o de los dispersoides surgen del desequilibrio de expansión térmica entre la matriz y los dispersoides que actúan durante el enfriamiento en la temperatura de la etapa de Procesamiento por sinterización en cualquiera de los esfuerzos de tensión o compresión en la matriz de liga. Es un mecanismo muy común en la mayoría de los Compuestos de cerámica en donde la naturaleza de los dispersoides es diferente de esa matriz. En los Compuestos de cerámica- cerámica no se presenta esta situación.

<sup>19</sup> Debido a las altas temperaturas que se manejan en la etapa de Sinterización de los elemento a fabricar.



## Microagrietamiento

El desequilibrio en la expansión térmica también puede ocasionar en la matriz un Microagrietamiento que puede afectar a la resistencia mecánica por medio de la ramificación de las grietas. Un análisis detallado del Microagrietamiento y su resistencia a tal efecto ha sido reportado por Rice y Cole.<sup>20</sup>

Estrictos requerimientos para el dimensionamiento microestructural y su uniformidad son necesarios para una efectividad en el problema del Microagrietamiento.

## Fase de Transformación

La fase de transformación también puede ser un factor importante en el Microagrietamiento, sin embargo la fase de transformación y su resistencia para sistemas prácticos, principalmente se originan de esfuerzos relacionados con la posición geométrica de la microestructura (esfuerzos tetragonales) estos son minorizados cuando el material se reacomoda estructuralmente mediante distintos mecanismos como la utilización de adecuados tamaños de partículas de Materiales que se policristalizan bien, como la Zirconia la cual contiene propiedades que concentran los esfuerzos cercanos al extremo de las grietas. Ejemplo como el anterior nos sirve para la correcta Selección de las materias primas además de los criterios a seguir para el Desarrollo del material. Por lo que en nuestra propuesta experimental podemos adelantar que utilizaremos arcillas de base Silicatos en adición con el óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ).

### Ejemplo del modelamiento<sup>21</sup> de la resistencia de la Zirconia estructural y su manera de actuar:

El aumento de la resistencia del material surge de la expansión del volumen de Zirconia durante la fase de transformación de las partículas de las fases de acomodo estructural que causa la relajación del esfuerzo de tensión de la matriz de liga del material cerca de la punta o extremo del agrietamiento. Una medida del efecto agrietante ha sido observada, por lo que las partículas de Zirconia se contraen debajo de una medida crítica más estable de la microestructura geométrica (tetragonal) durante el enfriamiento del Procesado; mientras las partículas mayores de 1 micra se transforman espontáneamente a fases más estables (monoclínicas) pese al forzado en la matriz y al fenómeno del agrietamiento microestructural. La transformación de las partículas cercanas a la superficie de Zirconia durante el proceso de endurecimiento y transformación cerámica de la Zirconia resulta en esfuerzos de compresión sobre la superficie de los planos de la microestructura que también puede ocasionar endurecimiento o reforzamiento del material en cuestión.

La Zirconia endurecida con Alúmina es un Compuesto cerámico común que cuenta con el mecanismo de endurecimiento en su transformación cerámica, lo cual es objeto de numerosos estudios en la actualidad. El Nitruro de Silicón también ha sido reforzado por medio de partículas de Zirconia en una segunda fase.

## Impedimento de grietas

Estos mecanismos requieren de una segunda fase para mejorar la resistencia mecánica mediante la utilización de fibras y/ o partículas preparadas para ello, y son de suma importancia en la relación con la matriz de liga la cual pretenden fortalecer, y con la misma estructura del material la cual pretenden reforzar. Esto es la parte medular de este trabajo en el caso experimental ya que de aquí depende el mejoramiento de cerámicas para aplicaciones estructurales en el sector de la Construcción y edificación en un futuro.

Técnicamente, la grieta inicial que se presente en el material puede ser detenida o desviada por una interface matriz / dispersoide, los cuales son preferidos por las rutas o caminos que suelen tomar las grietas. Una típica microestructura del Compuesto carburo de titanio (TiC) reforzado con Nitrado de Silicón (SiN), resultado de la desviación de la grieta se muestra en la siguiente figura como ejemplo:

<sup>20</sup> Investigadores del Instituto de Ciencias en Materiales de la Universidad de Boston, Inglaterra.

<sup>21</sup> Este estudio ha sido desarrollado por varios autores, y actualmente es uno de los elementos químicos más utilizado para estudios de Desarrollo de Cerámicas avanzadas.

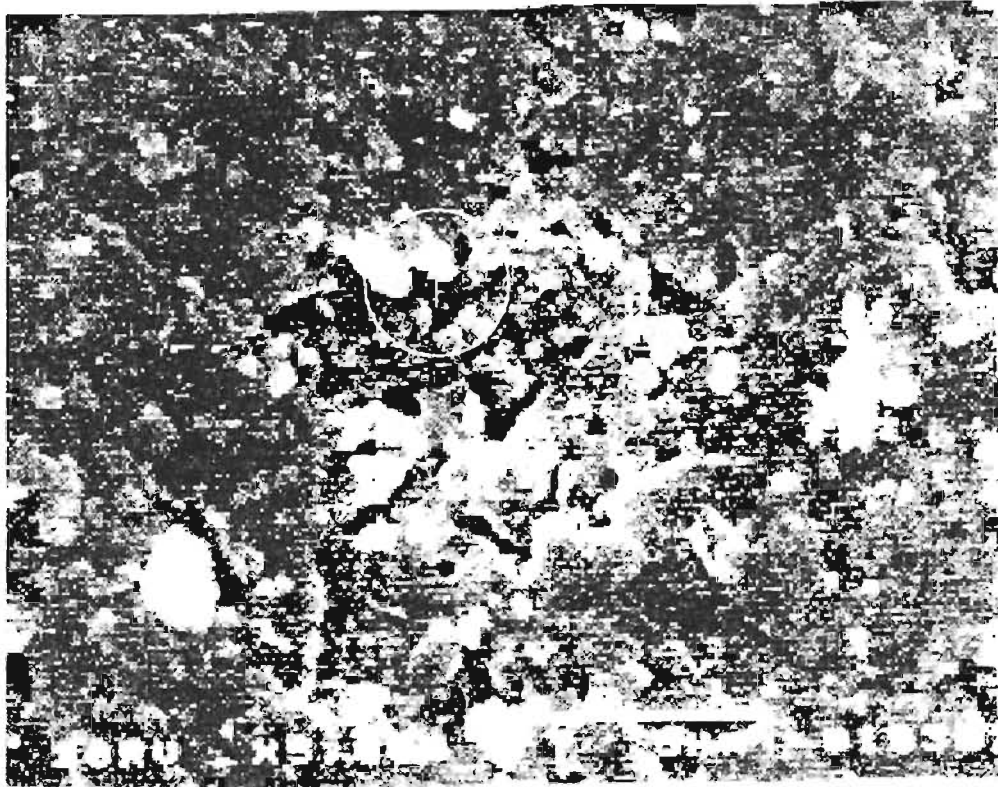


Figura 9. – Estructura del Compuesto de carburo de Titanio reforzado con Nitruro de Silicio

La grieta aquí mostrada es desviada por la aspereza de las partículas de Carburo de Titanio que aparecen como granos sobresalientes en la superficie rugosa de la fractura señalada con una flecha.

Un criterio teórico para la resistencia del Compuesto derivada de una desviación de la grieta ha sido propuesta por Faber y Evans. Eso indica que la resistencia de la desviación de la grieta es altamente dependiente de la forma de los dispersoides, en este caso las partículas de Zirconia. Este incremento en la resistencia mecánica del material de alrededor del 100% puede esperarse para Compuestos de matriz / dispersoides, reforzados con partículas esféricas o de pequeñas barras con una proporción ( longitud- diámetro) menor de 3; y para Compuestos reforzados con fibras cortas, puede tener un porcentaje de 7 a 12.

La resistencia mejorada con fibras es de dos veces mayor que con partículas y puede alcanzar un mejoramiento global de unas 4 veces la resistencia de la matriz de liga. Estos Compuestos de fibras cortas son Materiales muy atractivos para aplicaciones estructurales por sus cualidades mecánicas y por su relativa facilidad de fabricación, esta técnica puede tener gran efecto en la producción de cerámicas reforzadas con partículas de nitridos de Boro y silicio (B<sub>6</sub>NC), las cuales han sido desarrollados recientemente para aplicaciones en la fabricación y construcción de elementos con una alta resistencia mecánica y al choque térmico.

## Puenteo de grietas (correcciones)

Finalmente el puenteo de grietas es un mecanismo de resistencia muy importante en partículas alargadas o en fibras cortas de cerámicas reforzadas por Precipitación<sup>22</sup>. Lo cual hace que no tome lugar un acercamiento entre puntas de los agrietamientos. En contraste a otros mecanismos el puenteo de grietas afecta a un área grande detrás de la punta del agrietamiento.

Un modelo de este mecanismo ha sido desarrollado usando Alúmina de granos ásperos. La resistencia resulta de entrelazar las dos superficies de fractura de la grieta mediante dispersoides (fibras). Ellos inducen a la unión de fuerzas sobre la superficie de la grieta, provocando una reducción en el factor de la intensidad de la falla por tensión. Los efectos del Puenteo son frecuentemente detectados en Compuestos de fibras cortas o de partículas largas. El reforzamiento de Cerámicos por fibras cortas (*Whiskers*). En el reforzamiento con fibras el puenteo entre grietas es una importante contribución al reforzamiento de la matriz cerámica. Una típica microestructura de Alúmina reforzadas con fibras de SiC con puenteo en agrietamientos. Por tanto las cerámicas reforzadas con fibras ya sean cortas o largas son mucho más resistentes que las cerámicas monolíticas o combinadas con otros polvos.

Los distintos mecanismos de reforzamiento descritos anteriormente son frecuentemente combinados. La contribución de cada mecanismo es difícil de determinar en porcentajes respecto a la contribución global en el mejoramiento del material. Mecanismos dominantes son identificados como dependientes en la naturaleza de la 2° fase (reforzamiento por precipitación de fibras o partículas), por ejemplo: con fibras largas, cortas y otras partículas para segunda fase. Cabe destacar que una apropiada combinación de segundas fases pueden provocar un notable mejoramiento en las propiedades mecánicas de distintos mecanismos de reforzamiento presentes.

Este es el caso de Compuestos basados en Alúmina reforzados con partículas de Zirconia y otros de origen no oxido.

El potencial de las aplicaciones de este tipo de Compuesto en el sector industrial ha incrementado ahora sus casos de estudio, pero los Compuestos de matriz cerámica pueden mostrar diferentes propiedades y usos con características que mejoran la resistencia mecánica y dureza de los Materiales. Esta es la razón principal del Desarrollo de la Alúmina para aplicaciones estructurales y refractarias con sus distintas combinaciones con diferentes materias primas. Los Materiales para Construcción no deben estar excluidos de estos avances en Tecnologías de nuevos Materiales.

### 1.4.2- Procesamiento de Compuestos de matriz Cerámica

El Procesamiento de los Compuestos de matriz cerámica es más complejo que la de cerámicas monolíticas porque consiste en multifases de los Materiales.

Las dificultades se presentan en el proceso de "formado" o moldeo y en el mismo sinterizado o cocción. La fase de reforzamiento debe distribuir uniformemente las fibras en la matriz cerámica de manera que evite el agrupado del dispersoide que podría bajar la densidad de la segunda fase en la región circundante al agrupamiento. Esto hace que el área de la matriz sea mayor y que las grietas se incrementen fácilmente. Dificultades en el sinterizado pueden surgir debido al desequilibrio en la expansión térmica o en la contracción entre la segunda fase y la matriz, entonces la técnica de presión caliente es requerida para completar la densificación del material en estos casos. Varios métodos de Procesamiento de Compuestos de fibras alargadas, tales como el de infiltración o técnicas físico-químicas han sido desarrolladas para la producción de Compuestos de este tipo, mientras que los procesos de cerámicas convencionales son usados después de la modificación de Compuestos de fibras o partículas recortadas.

---

<sup>22</sup> Es el fortalecimiento de un material mediante la precipitación controlada de partículas uniformemente dispersas de una segunda fase que actúan como barreras para el movimiento de dislocación. (utilización de fibras diversas).

### I.4.3- Propiedades y costos de un Compuesto con fibras cortas de Cerámica

Sus propiedades térmicas son muy buenas y elevadas, sus propiedades eléctricas son moderadamente buenas pero lo que nos interesa son sus propiedades mecánicas, las cuales en los Compuestos de este tipo son excelentes ya que proporciona a los Materiales realizados con base a estos Compuestos, una gran resistencia a la Tensión, flexión, cortante, torsión y Compresión para distintos componentes o elementos a fabricar. Por citar algunos ejemplos tenemos que son utilizados en las siguientes industrias: para herramientas de Corte, metalurgia y revestimiento, Ind. Automotriz, aeroespacial y blindaje. Para lo que concierne con nuestro trabajo nos es de gran utilidad para seleccionar los criterios de diseño del material. Continuando con las propiedades mecánicas, solo para tomar un parámetro de resistencia mecánica, los Compuestos de Zirconia con fibras cortas de Cerámica poseen una resistencia a la Tensión  $> 10000 \text{ Kg/cm}^2$ . Las propiedades dependen del porcentaje de la matriz y del dispersoide (% de las fibras a utilizar), la propiedad del choque térmico o refractario son de aprox.  $500^\circ \text{ C}$ .

El Costo<sup>23</sup> de las cerámicas reforzadas con fibras cortas de cerámica para aplicaciones como en prótesis o en dispositivos electrónicos, son muy altos: específicamente veremos en esta parte el costo para los Compuestos Cerámicos reforzados que se usan para Herramientas de Corte y tenemos: que la producción de Compuestos de Alúmina pura de alta calidad + fibras cortas de cerámica (Whisker) esta alrededor de 18 dólares el Kilogramo, lo cual aún es muy caro, por lo que un Investigador del I. Tecnológico de Massachussets, Karpmany Clarck, dice que se debe reducir a \$4.5 dólares por Kg. si este quiere competir con los demás Materiales en el futuro. En la Industria de la Construcción estos precios serían incosteables, ya que dichos Materiales se usan de forma pura y para volúmenes muy pequeños; en la Construcción por el contrario se usan volúmenes muy grandes, por lo que el objetivo de las propuestas metodológicas y caso experimental de este trabajo es reducir de manera considerable dicho Costo, mediante la incorporación de arcillas en la Matriz, las cuales son de muy bajo costo, además de lo que resulte de la Evaluación de las materias primas y utilizando fibra cerámica a granel, por ejemplo, la cual posee muy buenas características para nuestro propósito. De igual manera estaremos reduciendo Costos en las Técnicas de Procesamiento a seguir sin poner en riesgo las propiedades que requerimos del material para su empleo en la Construcción. Se estima que el costo del material de la propuesta solo rebase de un 10 a 15 % el Costo en peso de lo de una teja de barro sinterizado para techo; pero a su vez , estaremos obteniendo un material que se pueda utilizar para componentes estructurales de manera prefabricada, es decir, un costo similar al de materiales de cerámica de barro recocido.

---

<sup>23</sup> El costo lo podemos ver de manera más detallada en los anexos de costos de Materiales para Ingeniería de la presente investigación.

## I.5. - RESUMEN DE ESTE CAPÍTULO

Este Capítulo trata de la situación actual de los materiales Compuestos en nuestro país y describe los conceptos y las razones del por qué estos materiales son de gran interés en la mayoría de las industrias, y particularmente en la Ind. de la Construcción y la Arquitectura. Lo cual es para nosotros de mucho interés puntualizar en estos temas, ya que ésta investigación trata de aportar un Modelo que nos sirva de guía para la correcta aplicación y evaluación de nuevos materiales Compuestos en la Arquitectura y Construcción.

Este capítulo se basa en mostrar un panorama general de los materiales nuevos que se pueden utilizar en la Construcción, y particularmente nos hemos enfocado al estudio de los Cerámicos, ya que estos materiales son de gran importancia para la Construcción, debido a sus excelentes propiedades y características físicas y de Costo. Este capítulo clasifica y designa algunas aplicaciones importantes en el campo de la Construcción y arquitectura así como un estudio general acerca de los Compuestos Cerámicos y una serie de combinaciones con otros materiales que pueden sustituir muchas aplicaciones en la Industria de la Construcción, principalmente como material estructural, anticorrosivo, térmico y para lo que llamamos "arquitectura aparente"<sup>24</sup>; ya que esta investigación trata de aportar un Modelo que nos sirva de guía para la correcta aplicación y evaluación de nuevos materiales Compuestos en la Arquitectura y Construcción.

Particularmente en el caso de los Compuestos con fibras cortas de Cerámica el uso de la Presión Isostática en caliente (unidireccional de forma axial) también contribuirá a la reducción de los Costos.

Actualmente se están desarrollando en Japón y Estados Unidos técnicas para mejorar el Sinterizado mediante la fabricación de nuevos dispositivos para hornos con eficiencia en energía. Principalmente para reducir los costos, proponemos lo siguiente:

- Modificaciones en el Proceso de Moldeo.
- Adecuada selección de la materia prima (evaluación por medio del método ANUMARQ).
- Reducción de número de pasos.
- Mejoramiento en la densificación de partes de componentes o elementos.
- Mejoramiento microestructural de materias primas .
- Combinación de materias primas accesibles y costeables con materias primas avanzadas.
- Que se realice en forma eficiente la Calidad del Producto del Triangulo, antes visto.
- Así como la aplicación integral del modelo a proponer para la posible aplicación de nuevos materiales en la Arquitectura.

### Las aplicaciones

Las aplicaciones aún no abarcan la mayoría de las Industrias, debido a que se esta trabajando en eso; pero se estima que en los próximos 10 años se van a usar en distintos sectores además de los ya usados en la industria aeroespacial y en la fabricación de herramientas de corte, se estima su uso en la Construcción sustituyendo muchos Materiales metálicos y poliméricos, (como uso de material estructural).

---

<sup>24</sup> Esta definición surge de la necesidad de nombrar a los materiales capaces de soportar las inclemencias del tiempo y además ser un material de gran durabilidad, estética y resistencia mecánica; más adelante en los capítulos finales mostraremos aplicaciones del material de la Propuesta, tales como mampostería aparente de gran utilidad en la Arquitectura.

## CAPÍTULO II

# CONSIDERACIONES PREVIAS DE DISEÑO MECÁNICO Y ECOLÓGICO PARA FABRICAR MATERIALES COMPUESTOS

---

### OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

- Definir las principales propiedades mecánicas para materiales de tipo Compuesto- Cerámico similares al del caso experimental.
- Definir las consideraciones y recomendaciones de tipo ecológico para la fabricación de nuevos materiales y del caso experimental.

## II.1.- PRINCIPALES PROPIEDADES MECÁNICAS PARA MATERIALES SIMILARES AL DEL CASO EXPERIMENTAL (COMPUESTOS CERÁMICOS)

Para aplicaciones estructurales las propiedades mecánicas de los Compuestos en general y específicamente en los Cerámicos tienen una gran importancia para la Selección adecuada de las materias primas a emplearse, según sea el caso y tipo de material a proponer.

Empecemos en orden de importancia mecánica:

### II.1.1. - Fractura por fragilidad del Material

Por lo regular encontramos que las aleaciones de metal presentan una cantidad significativa de deformación plástica en pruebas de Tensión simple, por el contrario, las cerámicas y los vidrios no la presentan.

La siguiente figura muestra los resultados característicos para la carga Uniaxial de una prueba realizada en Laboratorio de Materiales, de la Alúmina policristalina ( $Al_2O_3$ ):

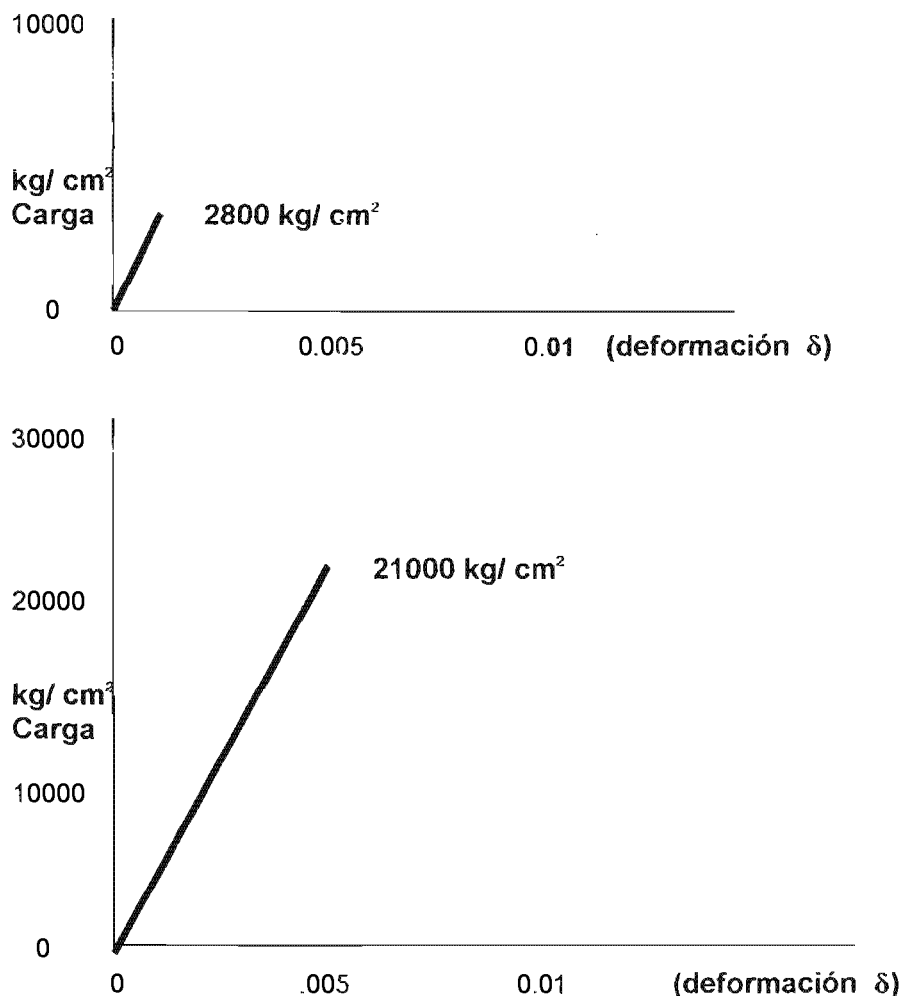


Figura 10- Resultados de las pruebas de Tensión y Compresión para la cerámica Alúmina Pura

En la Prueba de Tensión, la falla se presentó en la región elástica. Esta falla por fragilidad es característica de todas las cerámicas y vidrios monolíticos o no reforzados. La otra característica importante está en la Prueba de Compresión la cual mostró una relativa alta resistencia a Compresión, por tanto debemos de reforzar la matriz de liga con una segunda Fase como ya se ha venido planteando anteriormente.

La siguiente tabla muestra el Módulo de elasticidad y la resistencia mecánica para varios tipos de Cerámicas y vidrios:

CERÁMICA	E (Kg/ cm <sup>2</sup> ) X 10 <sup>4</sup>	Módulo de ruptura <sup>25</sup> (Kg/ cm <sup>2</sup> )
Porcelana de mulita	69	690
Porcelana de esteatita	69	1400
Ladrillo pesado de arcilla quemada	97	50.2
Cristales de Alúmina	380	3400- 10000
Alúmina sinterizada	370	2100- 3400
Porcelana de Alúmina	370	3400
Magnesia sinterizada	210	1000
Ladrillo de magnesita	170	280
Aluminato de Magnesia (espinela)	238	900
Zirconia estabilizada sinterizada	150	830
Berilio sinterizado	310	1400- 2800
Carburo de silicio denso	470	1700
Carburo de silicio enlazado	340	140
Carburo de Boro prensado caliente <sup>26</sup>	290	3400
Boro prensado caliente	83	480- 1000
Vidrio de sílice	72.4	1070
Vidrio de Boro- silicato	69	690

Tabla 2 <sup>27</sup>.- Módulo de elasticidad y Módulo de Ruptura para algunas cerámicas y Vidrios

El Módulo de Ruptura es similar en magnitud a la Resistencia a tensión, ya que el modo de falla en Flexión es por Tensión.

Para apreciar más de cerca el comportamiento mecánico de las Cerámicas estructurales, debemos regresar a nuestra consideración de la concentración de esfuerzo en las puntas de las grietas; dicha consideración ya ha sido vista en el capítulo anterior. Apoyándonos en Griffith<sup>28</sup>, recordando un poco, él determinó que en cualquier material real habría numerosas grietas de forma elíptica en la superficie o en el interior del material. La fabricación de Cerámicas, incluso Compuestos con fibras, no se salva de éstas micro grietas, las cuales deben ser controladas mediante mecanismos de manejo de dos fases y control en el Procesamiento como ya se ha visto.

Volviendo a las pruebas de Flexión, éstas generan un módulo de Ruptura, este parámetro de resistencia es similar en magnitud a la Resistencia de Tensión, como ya habíamos apuntado. Por lo tanto, el módulo de ruptura de forma simple, se puede obtener de la siguiente manera:

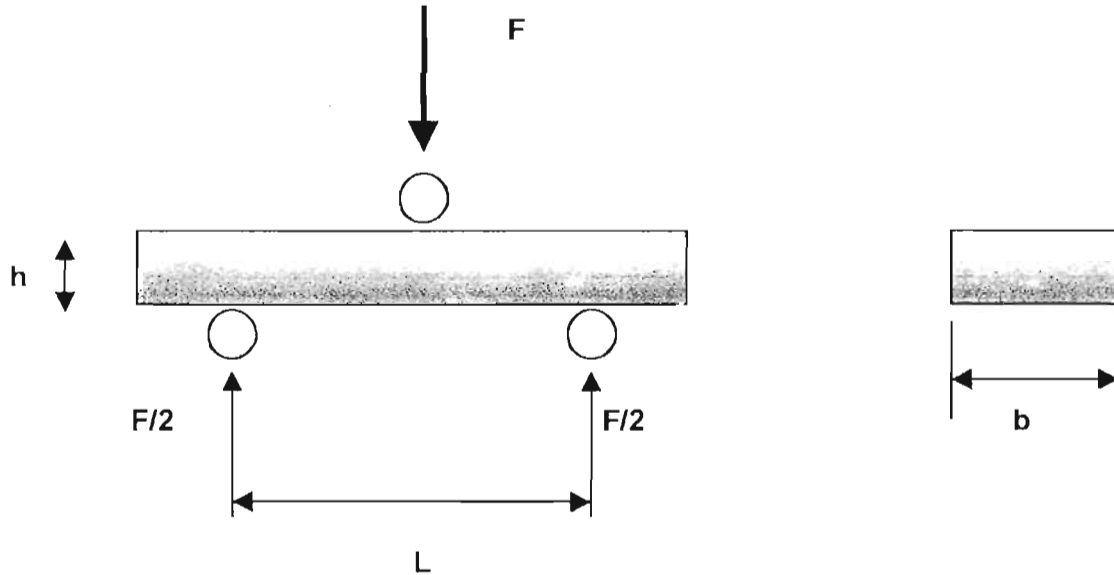
<sup>25</sup> El parámetro de resistencia del módulo de Ruptura es un valor calculado a partir de Pruebas de Tensión en cerámicas, por: James Shackelford, del Instituto de Ingeniería de la Universidad de California, Estados Unidos.

<sup>26</sup> El Prensado en caliente se refiere al Procesamiento de Sinterización acompañada por la aplicación a alta Presión.

<sup>27</sup> Fuente: W. D. Kingery, *Introduction of Ceramics*, 2° ed. John Wiley and Sons, Inc., Nueva York 1976.

<sup>28</sup> Alan Arnold Griffith (1893- 1963), Ingeniero Británico. La carrera de Griffith fue principalmente la de la Ingeniería Aeronáutica. Fue de los primeros en sugerir que la turbina de gas para aviones sería un sistema factible de propulsión. En 1920 publicó su investigación sobre la resistencia de las fibras de vidrio lo que hizo de su nombre uno de los más conocidos en el campo de Ingeniería de Materiales.





Módulo de Ruptura =  $\frac{3FL}{2bh^2}$

Figura 11. criterio estructural para el módulo de ruptura en elementos sujetos a Flexión

De ahí que estos Materiales son relativamente bajos en Resistencia a Flexión, como ya habíamos apuntado de manera monolítica. En cambio, una carga a Compresión tiende a cerrar, no a abrir, los defectos de Griffith (de las grietas) y, en consecuencia no disminuye la resistencia inherente del Material con los enlaces iónicos y/ o covalentes.

Últimamente se ha logrado mejorar la resistencia a Tensión y Flexión mediante el uso de segundas fases con el reforzamiento de partículas y fibras, como ya se ha visto:

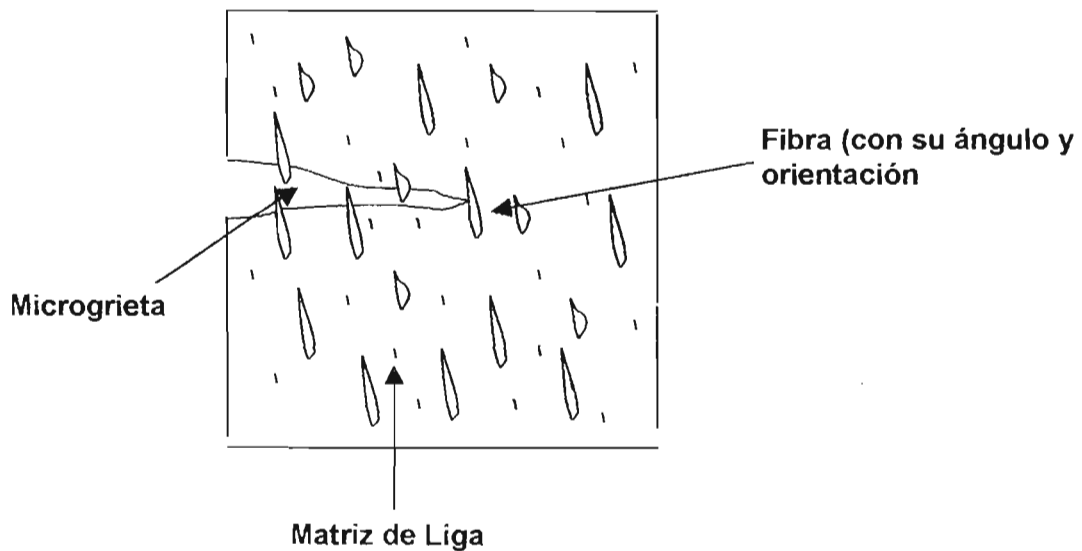


Figura 12- Bloqueo de una Grieta mediante fibras de refuerzo para Compuestos de matriz Cerámica con dos fases

A continuación se muestran algunos valores típicos de Tenacidad a la fractura para varias Cerámicas y Vidrios:

MATERIAL	K <sub>1c</sub> (Mpa √m)
Zirconia parcialmente estabilizada	9
Porcelana eléctrica	1
Alúmina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3- 5
Magnesia (MgO)	3
Cemento- Concreto no reforzado	0.2
Carburo de Silicio (SiC)	3
Nitruro de Silicio (Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> )	4- 5
Vidrio de sosa (Na <sub>2</sub> O- SiO <sub>2</sub> )	0.7- 0.8

Tabla 3<sup>29</sup>.- Valores típicos de tenacidad a la fractura K<sub>1c</sub>, para varias Cerámicas y vidrios

### II.1.2.- Fatiga estática

Para los metales, la fatiga se define como una pérdida de la resistencia creada por daños microestructurales generados durante cargas cíclicas. Para las cerámicas y los vidrios el fenómeno de fatiga se observa, pero sin ser sometidos a cargas cíclicas. La razón es que está involucrado un mecanismo químico en vez de uno mecánico.

El mecanismo se dice químico ya que la intervención del agua de la humedad en el ambiente natural afecta la microestructura de las propiedades físico- químicas para algunas cerámicas de vidrio. Ejemplo de esto, se da en los vidrios de silicato comunes en donde se observa que el papel del H<sub>2</sub>O en la fatiga estática, depende de su reacción con la red de silicato. Una molécula de H<sub>2</sub>O y un segmento de silicato (-Si-O-Si-) genera dos unidades de Hidróxido (-Si-OH-), esto equivale a un rompimiento en la red de la estructura del Material.

Las unidades de Hidróxido no se enlazan unas con otras, por lo que dejan una ruptura en la red de silicato. Cuando ocurre esta reacción en la punta o extremo de una grieta, la grieta se prolonga un paso a escala atómica (no microestructural); y esto se tiene que evitar, como ya lo hemos dicho, creando otra fase junto a la Matriz de liga.

Afortunadamente el problema se manifiesta en Materiales con altos silicatos como vidrios y refractarios, por lo que en el propósito de la presente propuesta de material no es de mayor importancia, debido a los Materiales que se están previendo. Aunque no está de más considerarlo como parte del Diseño del Material en cuestión.

### II.1.3.- Cedencia

Lo mismo que en los metales, la Cedencia es la deformación plástica o permanente, que se presenta a una Temperatura relativamente alta bajo carga constante de Trabajo, dentro de un periodo largo. La Cedencia es tal vez más importante en las cerámicas que en los Metales, debido a que las aplicaciones a altas Temperaturas son más frecuentes. El papel de los mecanismos de difusión<sup>30</sup> de la Cedencia de las cerámicas es más complejo que en el caso de los metales porque los Cerámicos sus enlaces atómicos son combinados entre iónicos y covalentes. Como resultado las fronteras de granos de partículas con frecuencia juegan un papel dominante en la Cedencia de cerámicas.

<sup>29</sup> Fuente: datos de GTE Laboratories, Waltham, Mass y M.F. Ashby y D.R. H. Jones, *Engineering Materials – an Introduction to their properties and applications*, Pergamon Press, Inc., Elmsford, N.Y., 1980.

<sup>30</sup> Difusión: es la transferencia de materia dentro de otro sólido, un líquido o un gas. Es importante en los eventos de endurecimiento de superficie, de precipitación (con fibras), soluciones, envejecimiento, templado y fragilidad del entorno.

El deslizamiento de partículas adyacentes a lo largo de estas fronteras de grano mantiene el "arreglo" microestructural durante la deformación por Cedencia. En algunas cerámicas refractarias relativamente impuras, puede estar presente una capa sustancial de fase Vítrea en las fronteras de grano, la cual daña a la microestructura general o total del material. En este caso la Cedencia puede manifestarse por el mecanismo de deslizamiento de fronteras de grano debido a la deformación viscosa de la fase vítrea; pero solo por Temperatura y para el tipo de cerámicas sometidas a muy altas temperaturas. En estructuras es importante hacer mención de esta característica del material ya que se debe de considerar en los Materiales la Piroresistencia para el buen comportamiento estructural, para nuestro caso de edificios; o bien poder ser utilizados como Materiales de revestimiento en estructuras de acero o Concreto armado. La siguiente Tabla muestra datos de velocidad de Cedencia para varios tipos de Cerámicas policristalinas:

MATERIAL	Exp. A 1300° C, 1800 psi (120 Kg/cm <sup>2</sup> ) (mm/(mm) h) X 10 <sup>6</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.3
BeO	300
MgO (suspensión líquida fundida)	330
MgO (presionado Hidrostático)	33
MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ( 2- 5 micras)	263
MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1- 3 mm)	1
THO <sub>2</sub>	1000
ZrO <sub>2</sub> (estabilizada)	30

Tabla 4 <sup>31</sup>.- Datos de velocidad de Cedencia para varias cerámicas policristalinas

Por otro lado, las propiedades ópticas, eléctricas, térmicas y la deformación viscosa son otras propiedades típicas de algunas cerámicas; pero para nuestro estudio, éstas deben de pasar desapercibidas, ya que dichas cerámicas son de naturaleza diferente a la de la propuesta, debido a sus propiedades de alta resistencia a la temperatura; y a nosotros nos interesa las cerámicas de buen comportamiento mecánico y estructural además de su buena resistencia a la corrosión y agentes externos.

## II.2.- PRINCIPALES PROPIEDADES Y CRITERIO DE DISEÑO MECÁNICO PARA MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS (EN DOS FASES)

### Compuestos aglutinados o aglomerados

La Fibra de Vidrio es un ejemplo conveniente y familiar de los Compuestos reforzados con fibras. Por analogía, el Concreto es un excelente ejemplo de un Compuesto aglutinado; como ya sabemos, este material es el más utilizado en la Construcción ya que el volumen de Concreto que se utiliza cada año excede al de todos los metales juntos.

En el Concreto, el termino Agregado se refiere, como ya lo sabemos, a la combinación de arena y grava; se seleccionan de materias primas naturales y contienen principalmente silicatos endurecidos en roca; su preparación es de todos conocida: se miden los agregados mediante mallas y se mezclan con Cementos Pórtland, generalmente, en proporciones según se requiera, mediante agua potable y se trabaja de manera espesa para Concretos y morteros. Y estos se vierten en moldes en donde se endurecen alrededor de los 28 días; pero al igual que muchos Compuestos, las sustancias químicas que lo componen siguen haciendo efecto aún pasado un largo periodo de tiempo.

<sup>31</sup> Fuente: W. G. Kingery, Introduction to Ceramics, 2º ed., John Wiley and Sons, INC., Nueva York 1976.

Para los Compuestos relativamente nuevos o actuales, se utilizan (como ya se ha venido comentando) materias primas para formar Matrices y Dispersoides. Estos tipos de Compuestos al igual que los Concretos poseen propiedades mecánicas que se derivan desde su microestructura.

Ahora toca el turno estudiar el comportamiento mecánico general para Compuestos tipo "Composites" o reforzados con fibras. En los Compuestos reforzados llámese de Matriz cerámica, polimérica o metálica; las propiedades mecánicas varían de acuerdo a la concentración y a la geometría de la Fase discontinua<sup>32</sup>, ya que juegan un papel muy importante. El estudio en Laboratorio, regularmente se obtienen resultados bajo cargas paralelas a las fibras de refuerzo muy bien controladas; lo cual es difícil de controlar en Fabrica. Es importante también considerar las propiedades mecánicas de las materias primas a usar como Componentes de ambas fases del Material Compuesto. La siguiente Tabla da algunas propiedades mecánicas claves para algunos de los Materiales para matrices más comunes:

CLASE	EJEMPLO	MÓDULO ELÁSTICO (Kg/ cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Kg/ cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA EN COMPRESIÓN 28 DIAS (Kg/ cm <sup>2</sup> )	MÓDULO DE RUPTURA (Kic) (MPa)	PORCENTAJE DE ELONGACIÓN AL FALLAR
Polímero:	Epoxi	69000	690 T. S. <sup>33</sup>	-	0.3- 0.5	0
	Poliéster	69000	280 T. S.	-	-	0
Metal:	Al	69 X 10 <sup>4</sup>	760 T. S.	-	-	-
	Cu	115 X 10 <sup>4</sup>	1700 T. S.	-	-	-
Cerámica:	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	5500	-	4- 5	-
	SiC	-	5000	-	4	-
	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	-	2600	-	2- 3	-
Cemento Pórtland	Tipo I	-	20.4 T. S.	240	-	-
	Tipo II	-	20.3 T. S.	240	-	-
	Tipo III	-	20.6 T. S.	210	-	-
	Tipo IV	-	20.1 T. S.	140	-	-
	Tipo V	-	20.3 T. S.	210	-	-

Tabla 9<sup>34</sup>.- Datos de Propiedades mecánicas para algunos Materiales comunes para Matriz

La siguiente tabla nos muestra datos similares pero para Materiales para Dispersoides o fase dispersa:

GRUPO	FASE DISPERSA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kg/ cm <sup>2</sup> )	TENSIÓN SIMPLE (Kg/ cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA EN COMPRESIÓN (Kg/ cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE ELONGACIÓN AL FALLAR
Fibra de Vidrio	Vidrio C	69 X 10 <sup>4</sup>	31000	-	4.5
	Vidrio E	72.4 X 10 <sup>4</sup>	34000	-	4.8
	Vidrio S	85.5 X 10 <sup>4</sup>	48000	-	5.6
Fibra de Cerámica	C (grafito)	340- 380 X 10 <sup>4</sup>	22000- 24000	-	-
	SiC	430 X 10 <sup>4</sup>	24000	-	-
Whisker de Cerámica	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	430 X 10 <sup>4</sup>	21 X 10 <sup>4</sup>	-	-

<sup>32</sup> La Fase discontinua es aquella que permite la interrelación separada de un Componente homogéneo que se integra a la matriz de liga, dicho de otra forma, se refiere a la 2° fase en donde intervienen las Fibras o dispersoides que se estén utilizando para tal efecto.

<sup>33</sup> T. S. = Tensión Simple.

<sup>34</sup> Fuente: datos de A. J. Klein, Advances Materials and Processes, 2, 26, 1996.

Fibra de Polímero	Kevlar	$131 \times 10^4$	38000	-	2.8
Filamento de Metal	Boro	$410 \times 10^4$	34000	-	-
Concreto aglomerado	Piedra triturada y arena	$34-69 \times 10^4$	10.4- 140	70- 1000	-

Tabla 5 <sup>35</sup>.- Datos de Propiedades mecánicas para algunos Materiales comunes de fase dispersa

Notemos que para cerámicas reforzadas aumenta la resistencia a la fractura por tensión y por tanto a flexión; ya que para cerámicas no reforzadas esta propiedad es relativamente baja.

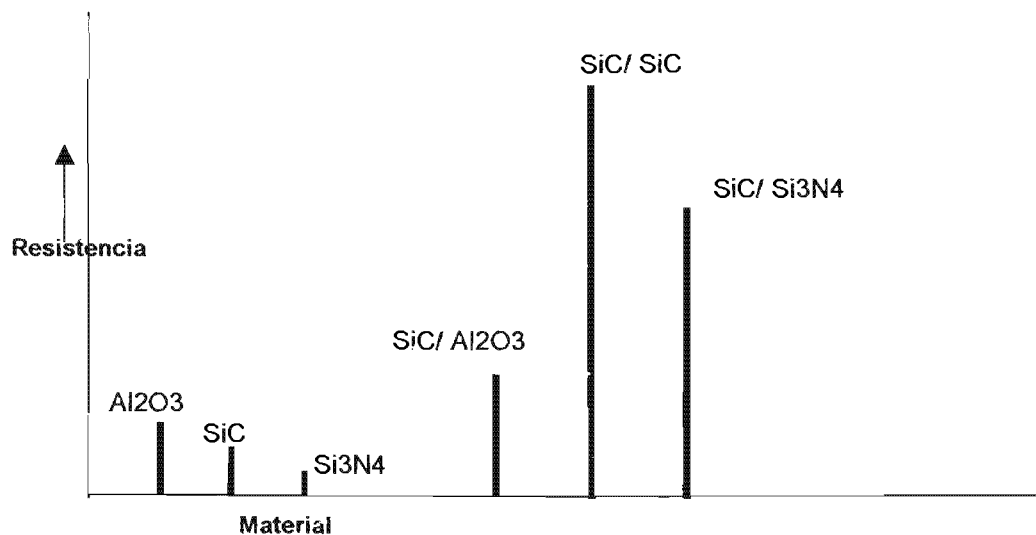


Figura 13.- La tenacidad a la fractura de estas cerámicas estructurales se incrementa substancialmente mediante una fase de refuerzo

La siguiente tabla nos muestra las Propiedades mecánicas para distintos sistemas de Compuestos, la cual es de gran utilidad para ir preseleccionando los parámetros necesarios en la Selección de materia prima para la propuesta:

CLASE	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kg/ cm <sup>2</sup> )	TENSIÓN SIMPLE (Kg/ cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Kg/ cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/ cm <sup>2</sup> )	MÓDULO DE RUPTURA (Kg/ cm <sup>2</sup> )
<b>Matriz polimérica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Vidrio E (73.3% de volumen) en Epoxi (con carga paralela de fibras continuas)</li> </ul>	$56 \times 10^4$	16400	-	-	420- 600

<sup>35</sup> Fuente: datos de A. K. Dhingra, Du Pont Company

<ul style="list-style-type: none"> <li>Whiskers de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (14% de Volumen) en Epoxi (carga paralela)</li> </ul>	41 X 10 <sup>4</sup>	7790	-	-	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>Grafito C (67%) en Epoxi (carga paralela)</li> </ul>	221 X 10 <sup>4</sup>	12060	-	-	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kevlar (82%) en Epoxi (carga paralela)</li> </ul>	86 X 10 <sup>4</sup>	15170	-	-	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>Boro B (70%) en Epoxi (carga paralela a los filamentos continuos)</li> </ul>	210- 280 X 10 <sup>4</sup>	14000-21000	-	-	460
<b>Matriz metálica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aluminio reforzado por dispersión</li> </ul>	-	3300	-	-	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alúmina (10% de volumen)</li> </ul>	260 X 10 <sup>4</sup>	11000	-	-	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>W<sup>36</sup> (50%) en cobre (carga paralela a los filamentos continuos)</li> </ul>	190 X 10 <sup>4</sup>	3800	-	-	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>Partículas W (50%) en Cobre</li> </ul>	190 X 10 <sup>4</sup>	3800	-	-	-
<b>Matriz de Cerámica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Whiskers SiC en Alúmina</li> </ul>	-	-	8000	-	80.7
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fibras de SiC en SiC</li> </ul>	-	-	7500	-	250
<ul style="list-style-type: none"> <li>Whiskers de SiC en Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> unidos por reacción</li> </ul>	-	-	9000	-	200
<b>Madera:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Abeto Douglas, secado al horno con 12% de humedad con carga perpendicular al grano</li> </ul>	13.4 X 10 <sup>4</sup>	850.5	-	490.9	110- 130

<sup>36</sup> W = Volframio

<b>Concreto:</b>					
• Concreto estándar <sup>37</sup> razón de 4 de agua/ cemento (después de 28 días)	-	-	-	410	2
• Concreto estándar razón de 4 de agua/ cemento (después de 28 días) con retenedor de aire	varía	-	-	330	-

Tabla 6 <sup>38</sup>.- Datos de Propiedades mecánicas para algunos sistemas de Compuestos comunes

Por lo antes visto, se considera que las cerámicas son apropiadas como material estructural y con distintas combinaciones de materias primas como arcillas y silicatos, además de los ya vistos anteriormente, podemos prever una serie de *parámetros* que nos van a auxiliar en el diseño del material desde su elección hasta su Procesamiento técnico. Aunado a lo anterior, tenemos algunas consideraciones de diseño para el mejoramiento estructural de los Materiales de Cerámicos, y son las siguientes:

- Refuerzo de la Matriz Cerámica con fibras de calidad.
  - Que la sección transversal de la grieta, no sea > de 4 micras para su corrección.
  - Que la grieta tenga una orientación aproximadamente de 45° en dirección del esfuerzo aplicado, para disminuir el error.
  - Que una grieta de 0.25 micras de sección transversal, sea corregida con una fibra de 6 micras de Diámetro.
- Inclusiones dúctiles con Partículas o filamentos de metal (Cermets)
- Mejoramiento del esfuerzo de Tensión inducido con distintas clases de dispersoides.
- Expansión Térmica en fases de transformación de la materia, localizadas de una alta a baja densidad.
- Produciendo una estructura uniforme y cristalina desde la Selección de materias primas y el tamaño de las Partículas, granos, fibras y/ o filamentos, generalmente finas.
- Desarrollando rutas de Procesamiento que eviten defectos principales en las primeras etapas del Procesamiento.
- Haciendo varias pruebas de mezclas y proporcionamientos diversos en especímenes.
- Utilización y control de fases de Transformación de una baja densidad polimorfa.
- Hacer mezclas con componentes 100% homogéneos.
- Control de temperatura mediante pruebas que la regulen, dependiendo el tipo de material y sus proporcionamientos.
- Control de Proporcionamientos para mejorar costos y calidad del material a proponer.
- Principal atención en la resistencia a Compresión y a Tensión como base de calidad del material.
- Finalmente si se sigue un modelo apropiado se podrá aplicar correctamente el método de aplicación de nuevos materiales en la Arquitectura.

<sup>37</sup> Es un valor medio de resistencias posibles, dentro de un rango grande.

<sup>38</sup> Fuente: datos de M. F. Ashby y D. R. H. Jones, Engineering Materials- an Introduction to their Properties and Applications, Pergamon Press, Inc., Elmsford, N. Y., 1980.

## II.3.- PRINCIPALES CONSIDERACIONES DE TIPO ECOLÓGICO PARA LA FABRICACIÓN DE NUEVOS MATERIALES Y EL CASO EXPERIMENTAL

### II.3.1. - Impacto ambiental del material de la propuesta

En sí, el material de la Propuesta y los materiales Cerámicos en general, deben ofrecer grandes ventajas en materia de Ecología, ya que dentro de sus cualidades están su bajo índice en Factor contaminante, desde su fabricación, uso y aplicación, así como sus grandes posibilidades de reciclamiento y reuso.

El material de la Propuesta es un Compuesto Cerámico el cual puede reutilizarse para la producción de nuevos materiales de manera óptima a través de procesos de Reciclamiento comunes. Es importante mencionar que materiales como el de la Propuesta son amigables con el medio ambiente, y que dichas ventajas están por encima de otros materiales Compuestos como es el caso específico de los Polímeros los cuales no ofrecen las mismas ventajas de reciclamiento vía mecánica, lo cual es un proceso más limpio que la normalmente utilizada para el reciclamiento de polímeros que es por la vía química, además esta última es más cara.

En nuestro caso experimental, hemos considerado desde un inicio el manejo de materiales amigables con el medio ambiente además de procesos de producción limpios; asimismo, intentamos en este capítulo describir el uso de métodos de reciclamiento para la reutilización de los mismos materiales a fabricar; ello, por medio de dichos métodos mecánicos que se describirán más adelante con detalle, para que por medio del reciclamiento se pueda ayudar *no solo al medio ambiente sino a los mismos costos de Producción de dicho material de la Propuesta*. Por lo tanto, podemos considerar a nuestro material como un "Producto Verde", amigable con el medio ambiente, reciclable y factible económicamente para su Producción y aplicación en el sector de la Construcción. De igual manera cada material nuevo por diseñar debe tener características ecológicas.

A continuación veremos, como ejemplo, en qué se puede reutilizar dicho material de la Propuesta y como podemos hacerlo, mediante que métodos de Reciclamiento:

- En que se puede reutilizar ?
- Cómo podemos reutilizarlo?

Se sabe que el incremento en el uso de materiales Compuestos en diversas industrias, trae como consecuencia la producción indirecta de toneladas de desechos y pedacería de materiales los cuales se podrían utilizar; El sector de la Construcción es uno de ellos y es en donde más se da este fenómeno del desecho. En todo el mundo se están trabajando acuerdos y normas para la regulación de desechos en la mayoría de las empresas manufactureras para su *correcto reaprovechamiento y reciclamiento bajo reglamentos y normas de operación*.

En México tenemos la necesidad *no solo de innovar nuevos materiales sino también buscar métodos apropiados de reciclamiento para nuestros productos de desecho*; lo cual es conveniente que debemos hacerlo en conjunto con la innovación y producción de nuevos materiales Compuestos. En el caso de la Propuesta tenemos, un material cerámico reforzado con fibras metálicas o cerámicas, las cuales pueden recuperarse mediante métodos de separación, además el material aglutinante restante puede molerse y pulverizarse para poder ser reutilizado en nuevos Compuestos Cerámicos como parte de la segunda fase acompañando a la matriz de liga. De ahí que es importante el aspecto ambiental dentro del modelo de aplicación de nuevos materiales (ANUMARQ) que mas adelante se detallará.

Todo ello da respuesta a los problemas de Impacto ambiental que sufrimos de todas las Industrias no solo del sector de la Construcción; por lo tanto tenemos tres categorías para el manejo de desechos de materiales (en nuestro caso):

- Reutilización del material como relleno.
- Molienda para la pulverización y su reutilización en la fabricación de nuevos Compuestos.
- Recuperación de las fibras y de partículas especiales dentro de una segunda fase del material Compuesto.



Debido a que los materiales en general producen desechos sólidos, debemos utilizar los métodos mecánicos de reciclamiento, los cuales son más baratos y menos contaminantes:

El Método apropiado para el material de la Propuesta experimental es la Molienda y la separación de las fibras metálicas. El resultado del Subproducto se puede utilizar en:

- Parte de la nueva matriz de liga en el Compuesto.
- Partículas de polvo para la reutilización en una segunda fase.
- Como relleno.
- Como agregado en Concretos y morteros de Cemento.
- La reutilización de las fibras para el reforzamiento de nuevos materiales en una segunda fase del material, acompañando a la Matriz de liga.

### **II.3.2. - Necesidad de una infraestructura para el reciclamiento de materiales nuevos**

Es de gran importancia mencionar que en México no existe Infraestructura para la recuperación de desechos sólidos provenientes de materiales Compuestos, como es el caso de la Propuesta. Por ello, debemos proponer un Programa de recuperación de materiales provenientes de la Industria en general y particularmente de la Industria de la Construcción, como pueden ser los casos siguientes:

- Industria Cerámica (producción de ladrillos, tejas, etc.)
- Metálica (láminas, tuberías, estructuras, etc.)
- Polimérica (Poliestireno, plásticos, etc.)
- De materiales Compuestos (como es el caso de Concretos, algunos termoplásticos, fibra de vidrio y el caso de la presente Propuesta, entre otros.)

Antes de activar el reciclamiento en diversas industrias del país, debemos imponer y fomentar conceptos ecológicos en el Proceso administrativo y de Producción en cualquier área industrial, para nuestro caso directamente en la Construcción, mediante asesoramiento público y privado del Gobierno y la Industria respectivamente, mediante Asesores que gestionen y fomenten la importancia técnica de la Ecología en los sistemas de Producción industrial.

Es también importante proteger al medio ambiente y hacer un balance entre Producción y Ecología para regular Costos y así controlar la Economía en general. El propósito del presente trabajo en el aspecto ecológico es que mediante criterios de reciclamiento de materiales se ayude a economizar recursos con la aplicación de nuevas tecnologías ecológicas de materiales lo cual se integran al proceso de Producción que aunados a otras actividades ecológicas se protege al medio ambiente. Para ello es importante que el Gobierno legisle y norme de forma más detallada en materia de Ecología a todas las cadenas de Producción Industrial en México. Cabe mencionar que el reciclamiento total aún es difícil de alcanzar en la mayoría de las industrias, pero se han tenido logros en muchos campos industriales sobre todo en materiales sólidos, que muchos de sus desechos ya no van a parar a rellenos de residuos sólidos sino que se están aprovechando mejor a raíz del reciclamiento industrial en muchos países de los llamados desarrollados; por lo que en países como el nuestro, en vías de desarrollo, se deben adoptar estas medidas ecológicas para el aprovechamiento de los recursos y materias primas, así como para el mejoramiento del medio ambiente en que vivimos.

Para este mejor aprovechamiento de los desechos se debe realizar un modelo de desarrollo sustentable para cada caso o región en especial; y con ayuda, en nuestro caso, de transferencia de tecnología ecológica de otros países y adaptarla a nuestros problemas y recursos. Un punto básico es ¿quién debe financiar el proceso ecológico en la Producción industrial?

- Primero que nadie los productores industriales a manera de retroalimentación dentro de los procesos de Producción de sus productos.
- Otra parte el Gobierno junto con iniciativas comunales o regionales (como sería el caso en zonas y corredores industriales), para el mejoramiento de zonas y áreas propensas a sufrir daños ecológicos por desechos y residuos de todo tipo de industria.

A continuación mostramos un gráfico que reúne los porcentajes de Volumen de material Reciclado por tipo a nivel mundial:

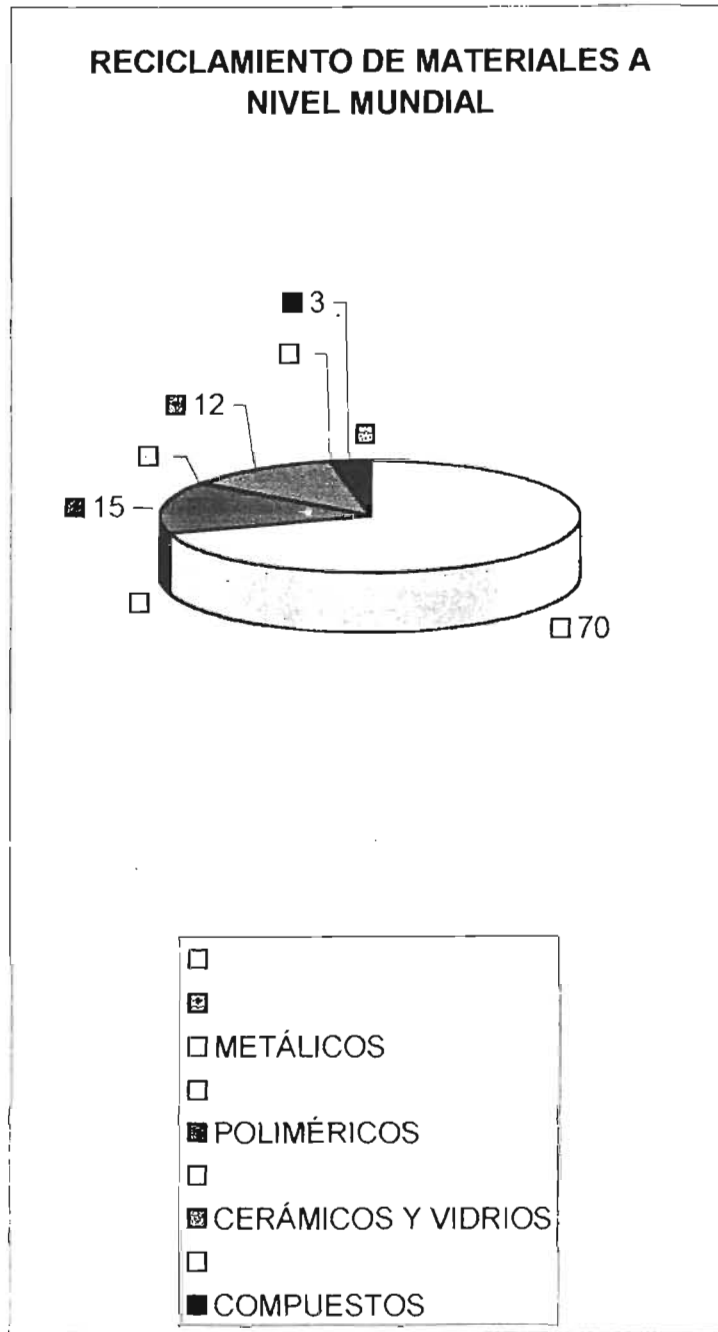


Figura 14- Porcentaje de volumen de Materiales Reciclados por tipo a nivel mundial

### II.3.3. - Criterio ecológico de materiales similares al de la propuesta

La base del criterio ecológico para la Producción de algunos materiales, como es el caso de nuestra Propuesta, es el manejo y la aplicación del reciclamiento en el Proceso de Producción y la misma reutilización de dichos materiales. En lo que se refiere a materiales similares de tipo cerámico al de la Propuesta, hoy en día se

## Reciclamiento por molienda fina de cerámicas

Este procedimiento de recuperación de polvo cerámico para la fabricación de nuevos Compuestos para nuevos productos se puede realizar utilizando el mismo equipo y las mismas técnicas usadas para el paso de molienda de la materia prima cruda utilizada generalmente en la manufactura de cerámicas, de la siguiente manera:

- La molienda se efectúa por molinos de impacto, diseñados para no aportar residuos metálicos al producto de molienda.
- Las granulometrías finas se efectúan con molinos de bolas obteniendo finuras inferiores a 50 micras.
- Los molinos de martillos son utilizados para la molienda de arcillas y caolines de poca dureza.
- Todos los procesos productivos deben dotarse de electroimanes de alta intensidad.
- Debe de haber una total trituración previa para hacer más fácil el proceso de molienda y así obtener los tamices deseados.

### II.4. – RESUMEN DE ESTE CAPÍTULO

Este capítulo trata de los criterios estructurales o de tipo mecánico y del criterio Ecológico propio de los materiales a diseñar y a proponer. De las consideraciones de tipo mecánico nos van a auxiliar a diseñar los materiales y por consecuencia los productos de manera tal que los parámetros a seguir en el diseño sean los correctos dentro del Criterio arquitectónico, constructivo y dentro de las normas técnicas que marca el reglamento de Construcciones.

Lo que se refiere al Criterio ecológico la Propuesta de material estará enmarcada dentro de las normas ambientales lo que cuida el impacto ambiental dentro de la producción de materiales en México, mediante una propuesta de gestión ambiental para materiales, no solo en la industria de la Construcción sino en general. Esto incluye además de la supervisión de las normas a la necesidad de una infraestructura de reciclamiento dentro de la industria de la Construcción y empresas afines, así como un criterio ecológico dentro del modelo de la Propuesta a considerar y tomar en cuenta en el diseño y selección de materiales a emplear en la Arquitectura y Construcción (modelo ANUMARQ de la Propuesta del presente trabajo que se desarrolla en el siguiente capítulo)

están probando varios métodos de Reciclamiento principalmente en Compuestos reforzados con fibras en una segunda fase, asimismo reforzados con diversas partículas de polvo con características especiales.

## **Reciclamiento de Compuestos reforzados con fibras**

Es el reciclamiento que se lleva a cabo, en nuestro caso, en cerámicas Compuestas con fibras y/ o partículas como segunda fase y de reforzamiento por precipitación del material.

**¿Qué tipos de Procedimientos son usados para el reciclamiento de Compuestos?** Hay dos principales uno mecánico y otro Químico.

**¿Por qué es complejo el reciclamiento de Compuestos?** Porque existen muchas variables en los distintos tipos del material; como es el caso de las fibras largas vs. cortas, fibras de vidrio vs. fibras de Carbón, fibras cerámicas vs. fibras metálicas; y de otro tipo de partículas para reforzamiento como las que se proponen en la propuesta (partículas recicladas de polvo de Cerámicos mezclada con Alúmina calcinada)

**¿Cuáles son los distintos pasos en el reciclamiento mecánico de Compuestos reforzados con fibras cortas?** Estas son: trituración, separación, lavado, secado y extracción.

**¿En donde es usado el reciclado de Compuestos de fibras cortas?** El material ya reciclado se reutiliza en forma de polvo y fibra; El polvo se reutiliza como parte de la pasta para la fabricación de Compuestos de Cerámica/ cerámica, mientras que las fibras son usadas para reforzamiento de Compuestos en segunda fase, si las fibras son cerámicas, igual son Compuestos de Cerámica / cerámica. Una vez recicladas muchas veces no poseen las mismas propiedades originales ya que en su resistencia mecánica pierden un 20% de su valor, pero en cambio para resistencias térmicas, ganan un pequeño porcentaje. En el caso de los materiales reciclados de Polímeros estas propiedades se reducen aún mucho más.

**¿Por qué el método químico de reciclamiento no es tan conocido como el método mecánico?** Porque el proceso químico es muy costoso. Procesos como el de la pirolisis (descomposición de materiales en un ambiente libre de Oxígeno) produce muchos gases; y la hidrogenación produce un alto contenido de masilla y residuos del material; sin embargo GM™ (General Motors Co.) ha adaptado la Pirolisis para el reciclamiento de partes de materiales Compuestos de sus vehículos automotores. Por otro lado hay residuos en algunos Compuestos como gases y aceites que son recuperados, mientras otros residuos de tipo sólido como la masilla son usados en la pasta del Concreto y para el caso de nuestra propuesta la proponemos también incorporarla en materiales Cerámicos como tejas y específicamente en la aplicación del bloque que se va a proponer en el caso experimental.

Otro problema en el proceso químico de reciclamiento es el contenido de cloro que se utiliza para la pirolisis y otros métodos químicos. En este caso los pedazos triturados necesitan ser deshalogenados después de la separación, especialmente si fibras de carbón fueron usadas como reforzamiento del Compuesto. Las fibras de vidrio en Compuestos reciclados también presentan el problema de baja resistencia mecánica específicamente en compresión para el nuevo material, aunque cabe hacer notar que ésta disminución es mínima y en muchos caso no afecta el resultado estructural deseado como parámetro de diseño del material y de la estructura.

**¿Qué se puede hacer cuando el costo de reciclamiento rebasa el volumen del material que se quiere reciclar y reutilizar?** Si es un Polímero lo recomendable es incinerarlo o usarlo como combustible; en el caso de los mátales no existe este problema, debido a que el proceso de fundición funciona muy bien; y en el caso de los Cerámicos el reciclaje es también factible al igual que en los metálicos, aunque el procedimiento es distinto ya que en estos casos se trituran y se muelen en partículas o bien se recuperan las fibras como ya lo hemos visto; en el caso de los Cerámicos Compuestos, como ya hemos mencionado es más laborioso el reciclamiento debido a que hay más factores y variables, pero en el caso de que el costo rebase el proceso de reciclado, lo mejor es la molienda simple y la reutilización del material como relleno; aunque claro que lo recomendable es utilizarlo en la producción de nuevos productos, como es el caso de nuestra Propuesta experimental.

## CAPÍTULO III

# DESARROLLO DE UNA TECNOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE NUEVOS MATERIALES EN ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN (MODELO ANUMARQ)

---

### OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

- Hacer una introducción al lector acerca de la importancia en la selección de materias primas, sus propiedades y procesamientos para desarrollar nuevos productos tecnológicos, es decir, nuevos materiales para nuevas aplicaciones.
- Definir una metodología o guía para la selección de nuevos materiales en Arquitectura y Construcción; asimismo, definir un método particular para la evaluación de materias primas a usar en nuevos materiales.
- Describir, paso a paso y por medio de ejemplos referentes al caso experimental o de estudio, el modelo ANUMARQ como tecnología generada para la aplicación de nuevos materiales Compuestos en Arquitectura y Construcción.

### III.1.- ANTECEDENTES

En capítulos anteriores hemos visto parte del Desarrollo tecnológico que requerimos para la Propuesta experimental del material. Hemos analizado como se da el fenómeno de la formación de Compuestos desde su micro- estructura, mediante enlaces químicos característicos de los Cerámicos; y la manera como influyen ciertos Componentes específicos para la obtención de Compuestos de Cerámica; también se han analizado los Procesamientos más comunes para este tipo de Materiales estructurales de matriz cerámica, partiendo del tamaño y forma de los polvos o partículas que los componen, asimismo, y como propuesta del presente trabajo, hemos presentado a partir del conocimiento de las fases y sistemas de Materiales Cerámicos, algunos mecanismos que nos ayudan a establecer una metodología dentro del Procesamiento o Manufactura del material de la Propuesta, lo cual se va a describir en el presente capítulo, y comprobar en el último capítulo. También hemos visto ya las principales materias primas que se utilizan en la formación de Cerámicas, tales como: silicatos, aluminatos, arcillas, feldspatos, caolines, así como las fibras más usadas en el actual Desarrollo de este tipo de Materiales Compuestos. Lo anterior aunado a procesos de Formado y Sinterizado del material mediante técnicas avanzadas y tradicionales, de donde nosotros formaremos un procedimiento propio mediante variantes de Procesos similares a una combinación entre técnicas avanzadas y tradicionales, mediante un modelo integral, el cual nos ayude para generar y aplicar futuros materiales en distintas aplicaciones y necesidades.

De igual forma se ha visto parte de la Factibilidad general en el Costo de los Cerámicos y su comparación con otros Materiales que se utilizan en diversos sectores de la Industria en general y particularmente de la Construcción; por lo que hemos llegado a reunir bases de Diseño mecánico- estructural para el material de la Propuesta, ya que se recomiendan pruebas físicas en laboratorio sobre materias primas (en nuestro caso de estudio como aluminatos y silicatos, los cuales serán parte esencial de la matriz de liga del material de nuestra Propuesta). Dichas pruebas no son las definitivas, sino que nos sirven para prever y preseleccionar parámetros de Diseño de los Materiales que son candidatos fuertes a usarse en posteriores aplicaciones, tal y como se realizó en el caso de estudio o Desarrollo de la Propuesta experimental; con la ayuda también del método de evaluación que se propone.

Partiendo de todos estos antecedentes teóricos y experimentales, toca el turno en este capítulo profundizar un poco en la Metodología a usar para la Propuesta; de la Selección adecuada de los Materiales a emplearse en cualquier aplicación.

### III.2.- INTRODUCCIÓN A LA SELECCIÓN DE MATERIALES PARA DESARROLLO DE PRODUCTOS TECNOLÓGICOS

Desde los capítulos iniciales hemos hecho mención a las 4 categorías principales de Materiales estructurales (metales, Cerámicos, polímeros y Compuestos) por tanto en estas 4 categorías se engloban todos los Materiales requeridos para el diseño de ingeniería de Materiales, particularmente de Materiales estructurales por su buen comportamiento mecánico.

Para un determinado diseño o Producto la tarea de la Selección del material correcto, en una primera instancia parece ser muy difícil, debido a que el número de Materiales disponibles es inmenso. El trabajo de revisar las diferentes opciones para lograr una Selección óptima requiere de un enfoque sistemático basado en el entendimiento de la naturaleza de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales pero de igual forma el papel en este caso del Arquitecto o/ y del Ingeniero o responsable del Diseño del material, son de suma importancia, ya que para estos casos hay que trabajar de manera conjunta con especialistas del área, intercambiando ideas y conocimiento para tal efecto.

En este trabajo se ha hablado desde el segundo capítulo acerca del Producto de alta Tecnología, y al hablar de alta Tecnología no necesariamente se trata de Tecnologías complicadas y caras, ya que nos estamos refiriendo a la premisa que hicimos que para que un Producto sea de alta Tecnología o de muy buena calidad manufacturera, debemos de aplicar el Producto del triangulo (lo cual forma parte del modelo integral ANUMARQ que se describirá en breve), el cual ya lo comentamos y trata básicamente de que al elaborar el Producto se tomen en consideración tres aspectos básicos: 1° la Selección adecuada de los Materiales, 2° la importancia del Procesamiento del material y sus técnicas para la producción y 3° y no menos importante, la consideración de los parámetros o Propiedades a las que se quiere llegar para una adecuada aplicación del material.

Un paso importante para establecer un procedimiento o metodología sistemática para la Selección de Materiales, es el uso de las 4 categorías de Materiales antes mencionadas. En este capítulo se discutirá la competencia primero de manera general dentro de las 4 categorías, y de forma más detallada la competencia interna entre la Selección de materias primas de una misma categoría, que para nuestro caso será la de las Cerámicas, para poder llegar así a conformar una metodología sistémica.

Tal vez este Desarrollo de la metodología no abarque todos los detalles completos de los procedimientos requeridos para producir especificaciones de la mayoría de los Materiales similares al de la Propuesta, ya que el objetivo es abordar los Materiales más propicios para la propuesta y aplicaciones en la Industria de la Construcción mediante un determinado Producto, en el caso de sub Productos, se presentarán en un último inciso, una descripción de aplicaciones similares con subproductos similares al del caso experimental. Aún cuando quizá estos detalles, queden fuera de nuestro alcance, podemos, no obstante, delinear la Metodología general de la Selección de los Materiales. Primero, debemos reconocer que cada una de las propiedades de los Materiales descritas en capítulos anteriores, pueden ser traducidas a parámetros de diseño, empleados por nosotros para especificar cuantitativamente los requerimientos de Materiales para el diseño en cuestión. Segundo, analizaremos un tema muy importante acerca de la influencia en la Selección de los Materiales el cual son los Procesamientos de manufactura de los Materiales Compuestos y en especial Cerámicos, que también ya se ha tenido la oportunidad de revisar y estudiar; entonces estos tienen un gran efecto sobre los parámetros de diseño que se puedan establecer. Para nuestro caso, la Selección de Materiales dentro de una categoría de material la cual vamos a emplear para las cerámicas, incluye una discusión de competencia entre Materiales de la misma categoría, no solamente entre las 4 categorías.

### **III.2.1.- Propiedades de los materiales y parámetros de diseño estructural para su aplicación en la propuesta de selección de materiales**

Al ver los fundamentos en los capítulos I y II y los distintos tipos de Materiales Cerámicos; se han definido numerosas propiedades básicas de dichos Materiales principalmente de Cerámicas y Compuestos de estos. Para la Ciencia de los Materiales la naturaleza de estos Materiales, constituyen un fin en si misma. Constituyen la base del entendimiento del estado sólido de la materia. Para el diseño en Ingeniería de Materiales las propiedades asumen un nuevo papel que se derivan en parámetros de Diseño, los cuales constituyen la base de la Selección de un material determinado para una cierta aplicación. Lo siguiente es un ejemplo básico que representa los parámetros de un material Compuesto tipo aleación USN de varios componentes, desde un punto de vista ingenieril, por llamarlo de algún modo, y lo cual nos da un Formato a seguir para establecer los parámetros dentro del sistema de Materiales que deseemos:

Ejemplo de parámetros de materiales:

---

**Nombre del material:** *Alúmina pura*

**Tipo de Procesamiento:** Por Sinterización

**Composición química:** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**Aplicaciones generales:** Estructuras, refractarios, revestimientos, aplicaciones para blindaje, y Materiales térmicos.

**Propiedades mecánicas:**

- Resistencia a la Compresión: 21000 Kg/ cm<sup>2</sup>
- Resistencia a la Tensión Simple: 2800 Kg/ cm<sup>2</sup>
- Módulo de elasticidad; 370 X 10<sup>4</sup> Kg/ cm<sup>2</sup>

- Módulo de Ruptura: 2100 a 3400 Kg/ cm<sup>2</sup>
- Velocidad de Cedencia a 1300° C y 120.4 Kg/ cm<sup>2</sup>: 1.3 (mm/ mm h) X 10<sup>6</sup>
- Flexión con refuerzo de fibras Whiskers: 5500 Kg/ cm<sup>2</sup>
- Razón de Poisson: 0.26
- Tenacidad a la fractura (K<sub>1c</sub>): 3 a 5 MPa √m
- Coeficiente de Expansión térmica de 0 a 1000° C: 8.8 (mm/mm (° C) ) X 10<sup>6</sup>
- Conductividad térmica a 100 ° C: 30 J/ (s\* m \* k)

Tabla 7- Propiedades y datos básicos de la Alúmina, que nos ayuda a obtener parámetros definidos para la adecuada Selección de las materias primas a utilizar dentro de la Propuesta Experimental

### III.2.2.- Efectos generales de los procesos de fabricación sobre los parámetros de diseño de materiales

Al ver las cuatro categorías de Materiales estructurales, prestamos mayor atención al Procesamiento de los Cerámicos (por la naturaleza del Trabajo). El tema de los Procesamientos lo hemos revisado de manera teórica y concisa de acuerdo a lo más común dentro de la Manufactura de Cerámicas Avanzadas y Tradicionales; y también de manera somera en pruebas sobre especímenes, a las que se van a realizar en el laboratorio de manera más formal y mediante la metodología que precisamente estamos describiendo. Entonces, conocemos los Procesos más importantes de dichos Materiales Cerámicos y muchas de las materias primas que los componen ( capítulo I). Este conocimiento acerca del Procesamiento tiene dos objetivos dentro de la Selección de Materiales: primero, proporciona un entendimiento más completo de la naturaleza de cada material; segundo y más importante, permite apreciar los efectos del Procesamiento sobre las Propiedades.

MÉTODOS DE PROCESAMIENTO CERÁMICO
MEZCLADO SIMPLE
VACIADO O COLADO (DE FUSIÓN O PLÁSTICO)
DOPADO O TÉCNICA MIXTA
POR INYECCIÓN
SINTERIZACIÓN
PRENSADO ISOSTÁTICO EN CALIENTE
FORMADO DE VIDRIO
Devitrificación CONTROLADA
PROCESAMIENTO SOL- GEL

Tabla 8. Algunos de los principales métodos de Procesamiento para las Cerámicas y los Vidrios

La tabla resume algunas de las principales Técnicas de Procesamiento para Cerámicas y Vidrios. Muchas de estas técnicas son una analogía directa de los Procesamientos para la manufactura de metales, sin embargo, los procesos varían por la naturaleza de los Materiales y los tipos de enlaces químicos que son distintos a los de los metales, además por ejemplo, el proceso de forjado no existe para las cerámicas. La formación por deformación en las cerámicas esta limitada por su inherente fragilidad; aunque el trabajo en frío o a muy altas temperaturas no son muy prácticos, se cuenta con una variedad más amplia de técnicas de Vaciado o colado. El vaciado de Fusión se refiere a un proceso equivalente al vaciado de los Metales, pero no es muy predominante debido a sus altos puntos de fusión de los polvos. El vaciado liquido o de barbotina, es la técnica más usada en el Procesamiento de Cerámicas; En este caso el vaciado se hace a temperatura ambiente, la "Barbotina" es una mezcla de polvos y agua que es vaciada en un molde poroso (generalmente de yeso), donde gran parte del agua es absorbida por el molde, dejando una pieza de polvo relativamente rígida que puede ser retirada del molde. Para desarrollar un Producto fuerte la pieza debe ser calentada o secada, inicialmente el agua remanente es extraída, y finalmente la pieza es quemada o sinterizada alrededor de los 1000 ° C. Gran parte de la resistencia de la pieza



sinterizada se debe a la difusión del estado sólido. Para muchas Cerámicas, en especial las de barro- arcilla, reacciones adicionales de alta temperatura se ven involucradas. El agua combinada químicamente puede ser extraída, diversas transformaciones de fase pueden ocurrir y sustanciales fases vítreas (tales como los silicatos), pueden formarse de manera superficial. La sinterización es la analogía directa de la Metalurgia de polvos. La sinterización se vio en el capítulo I, por lo que la Sinterización es la Técnica de Procesamiento de Cerámicas mayormente usada.

Al igual que en la metalurgia de polvos, el prensado isostático en caliente, encuentra cada vez mayores aplicaciones en la Cerámica, como ya se ha visto, especialmente para proporcionar Productos muy densos y con propiedades mecánicas superiores.

Una técnica para fabricación de Vitro- cerámicas, que no hemos analizado aun, debido a que no la vamos a utilizar de manera directa pero si de forma teórica para saber que materias primas emplear; y que además es de gran importancia para fabricación de Materiales de recubrimiento como pisos y azulejos, es la *Devitrificación controlada*, (es decir, cristalización) esta conduce a la formación de Vitro- cerámicas en las cuales se adquieren propiedades de fase cerámica y una pequeña cantidad de fase vítrea en la superficie del material, esto debido a uno de los componentes que forman dichas Vitro- cerámicas.

Otra técnica que también es muy nueva y de hecho está en proceso de Desarrollo es la de Sol- gel, y que tampoco la vamos a utilizar pero nos sirve de referencia dentro de las nuevas Tecnologías que se usarán en un futuro inmediato, y que también ya vimos en capítulos anteriores, que lo más sobresaliente de esta técnica es la producción de polvos ultrafinos para fase nanoestructural; Lo cual consiste en obtener una solución de polvos ultrafinos para su pre- tratamiento, para después formar un gel mediante agentes gelificadores, y así poder formar y moldear las piezas mediante presiones altas de vapor y a elevadas temperaturas, para conformar Materiales muy densos y por consecuencia de muy altas resistencias a la compresión. Estos Materiales nanoestructurales, cabe mencionar que aunque son muy interesantes para numerosas aplicaciones, son muy costosos, por eso los hemos descartado de nuestra pre- Selección de técnicas para el caso experimental.

Por otro lado, y continuando con los antecedentes para nuestro Desarrollo de la Metodología a emplear, se presenta una tabla con los principales métodos de Procesamiento para tres Compuestos representativos dentro de Materiales de tipo Compuesto:

COMPUESTO:	MÉTODOS DE PROCESAMIENTO:
Fibra de Vidrio	Molde abierto Preformado Molde Cerrado
Madera	Aserrado Secado en horno
Concreto	Manufactura del Cemento Pórtland Diseño de la mezcla (mezclado de: cemento, agregados y agua) Reforzamiento (con varillas de acero o fibras poliméricas)

Tabla 9. Algunos de los principales métodos de Procesamiento para tres Compuestos representativos para esta categoría de Materiales

Los Compuestos representan un rango tan vasto de Materiales estructurales que una lista breve de las Técnicas de Procesamiento no pueden ilustrar todo este campo. La tabla anterior se limita a ejemplos comunes de Materiales muy usados en la Construcción, pero aún siendo pocos, representan un conjunto diverso de técnicas de Procesamiento. Por ejemplo: la fabricación de las configuraciones más usadas de la Fibra de vidrio, es una muestra clara de las múltiples combinaciones de distintas Matrices de liga y de los mismos Dispersoides; éstas son con frecuencia métodos típicos de Procesamiento de Polímeros agregando fibras de vidrio en un punto apropiado dentro del Procesamiento; un factor principal son las propiedades y orientación de las fibras, como ya lo hemos

visto en el estudio de los Compuestos de Matriz Cerámica en el capítulo I. En el caso de la madera, que es un Compuesto natural, la configuración y sentido del Aseñado en las fibras longitudinales, pueden afectar la estructura de la madera y por consiguiente a la naturaleza del Producto; también se presenta una variación de la densidad que ocurre al alcanzarse el equilibrio con los diversos niveles de humedad atmosférica o del ambiente; las propiedades mecánicas en la madera por lo general especifican un "estado estándar" tales como el secado en horno al 12% de humedad.

Por otro lado y finalmente, el Procesamiento del Cemento Pórtland, es un proceso de manufactura complejo. La etapa final de la producción de Concreto es de todos nosotros conocida, se hace en la revolvedora o mezcladora o a mano si es el caso, en la cual el Cemento Pórtland en combinación con los agregados y agua potable, en distintas proporciones dependiendo su aplicación. Las consideraciones principales que hay que tomar en cuenta en esta etapa son la relación agua- Cemento y el grado de aire retenido dentro de la mezcla.

Lo anterior se menciona en esta parte del trabajo, como antecedente en el manejo de distintos Compuestos, que para el caso de nuestra Propuesta se orientará al uso y aplicaciones de Construcción, y tomando en cuenta que se encuentra dentro de la categoría de los Materiales Compuestos, ya que el material que se va a proponer es un Compuesto de Matriz Cerámica, como ya se ha venido planteando a lo largo de los pasados capítulos.

Por lo tanto teniendo estos antecedentes importantes para la Selección de Materiales, toca ahora el turno proponer y desarrollar la Metodología o guía para la Selección de los Materiales a emplear para la Propuesta experimental.

### III.3.- METODOLOGÍA O GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

El comportamiento y calidad de un Producto depende de los tipos de los Materiales usados en su Fabricación, así como del tipo de Procesamiento a emplear y las Propiedades a las que se quiere llegar (Producto del triángulo). Hay más de 50, 000 Materiales disponibles comercialmente en el mundo para el Diseño y manufactura de un Producto. En el área de la Construcción no es la excepción, un sinnúmero de Materiales para una aplicación determinada, sin embargo hay una gran necesidad por seleccionar el material más propicio para un Producto en especial. Dependiendo de la Selección de los Materiales, el diseño, la fabricación y el Costo, así como la Calidad y el rendimiento cambian. En el campo de la Industria de la Construcción, principalmente para estructuras, la Selección de los Materiales es vital y de suma importancia, ya que el Costo del material significa el 50% aproximadamente del total del Producto final (edificio o estructura, etc.). En cambio para otras industrias como la Electrónica con Productos tales como computadoras y cámaras fotográficas, el Costo del material se estima alrededor de un 5% solamente. Ello debido a que en la Construcción los volúmenes son muy altos, por tanto la innovación tecnológica en el Desarrollo de Materiales es mayor y de más diversificación.

Esta parte del capítulo presentará el ¿cómo? las propiedades de los Materiales y los métodos de Selección sistemática, son importantes en la rápida y efectiva Selección de los Materiales propicios para determinado Producto. Costo vs. Análisis de Propiedades y la Comparación del valor específico de las Propiedades de cada material, son herramientas que nos ayudan a la Selección de Materiales considerando uso y aplicación.

Lo siguiente resume por pasos la metodología a seguir:

- La necesidad de seleccionar los Materiales.
- Las razones para seleccionar Materiales para un Producto o aplicación dada.
- La información de las Propiedades del material.
- Los métodos para la Selección de los Materiales.
- Los pasos específicos en el proceso de Selección de Materiales. Son 4 los cuales se verán en este punto más adelante de manera detallada.<sup>39</sup>

<sup>39</sup> Véase también en la parte de los anexos, después del Modelo ANUMARQ desglosado, un diagrama de procedimiento para la propuesta de selección de materiales en la Construcción.

### **III.3.1. – Descripción paso a paso de la guía o metodología para la selección de materiales**

**1° La necesidad de Seleccionar los Materiales** es de suma importancia ya que los avances tecnológicos de nuevos sistemas de Materiales y Procesamientos, están siendo desarrollados y creciendo más rápido que nunca, además de los nuevos requerimientos y necesidades en Materiales de las distintas industrias. El acero y el Aluminio han sido dominantes para el Diseño de Productos en general. Actualmente existen nuevas necesidades en diversos sectores de la Industria y los nuevos Materiales son Propuestas reales a dichas necesidades, pero no aún con una aceptación total en el mercado, debido a que requieren un periodo de adaptabilidad. Aún así el incremento de las demandas de los diversos nuevos usuarios que requieren calidad y rendimientos mayores distintos a los de los Materiales tradicionales. Esto hace que surjan nuevas empresas con nuevas propuestas de nuevos Materiales. Dichas empresas manufactureras se han dado a la tarea de incrementar el uso de nuevos Materiales para un mejoramiento de la Calidad. Los gobiernos de todo el mundo, incluyendo los más importantes de Latinoamérica, han emitido diversos reglamentos y leyes para proteger y mejorar el medio ambiente. lo que hace que los Materiales jueguen un papel sobresaliente e importante. Por ejemplo, los Programas de mejoramiento del aire hacen que la industria automotriz fabrique vehículos con catalizadores y con menos peso y mayor rendimiento del combustible; así pues, y en general, los Materiales de baja densidad y alta resistencia mecánica están ganando importancia en muchos sectores, incluyendo por supuesto a la Construcción.

Cada industria elige sus Materiales para sus fines prácticos; asimismo la Construcción elige Materiales viables, factibles en costo, estructuralmente resistentes a la fractura, además de limpios y su posible reciclamiento a futuro. El interés de Materiales de poco peso y buena resistencia estructural han abierto el campo de los Materiales Compuestos de los cuales hemos visto su comportamiento y fabricación; los cuales proporcionan soluciones en muchas industrias.

#### **2° Son dos las razones principales para la Selección de los Materiales para un Producto:**

1° que permita la adecuada fabricación, reciclamiento, mejoramiento de propiedades, bajo costo, rentabilidad, bajo peso, buenas resistencias, etc., dentro de un Producto ya existente.

2° la Selección de material para un nuevo Producto o aplicación.

Recientemente muchos Compuestos han sustituido en numerosas aplicaciones al uso de aceros y aluminio, por citar un ejemplo. Cabe hacer notar que aparentemente el costo en los Compuestos es mayor que en los metales. Pero si entendemos la economía en la Producción en volúmenes grandes y que además, estos, mejoran propiedades tanto estructurales como de corrosión y estéticas y otras propiedades, según sea el caso, se logra un ahorro global, muchas veces en el mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

#### **3° La información de las Propiedades del Material requerido**

Los datos y propiedades de los Materiales entran en los distintos pasos del diseño y Selección de Materiales dentro de su Procesamiento para una aplicación o Producto; pero la información de cada una de las propiedades de los Materiales a emplear difiere en cada paso del proceso de distinta forma. En la etapa inicial del Proceso de diseño (o etapa conceptual, por llamarla de algún modo) la información queda abierta para distintas posibles aplicaciones generales, es decir, existe un abanico grande de usos y aplicaciones. La información técnica para cada material a emplear prevé información básica acerca de varios tipos de Materiales Compuestos para nuestro caso. La siguiente tabla muestra esa información previa, la cual nos va ir ayudando poco a poco en ir seleccionando los Materiales adecuados dentro de los parámetros de Diseño que nosotros requerimos para nuestra Propuesta Experimental.

Propiedades:	Compuestos de Matriz Cerámica:	Otros tipos de Compuestos: (con matrices metálicas, poliméricas)
Volumen de fibra necesaria (dispersoide)	Bajo a alto	Medio a alto
Longitud de fibras	Largas y cortas	Largas y cortas
Tiempo de Formado	Rápido y lento <sup>40</sup>	Rápido y lento
Energía de Formado	De alta a baja	De baja a alta
Costo del material	Bajo a alto	Bajo a medio
Seguridad y manejo	Excelente	Bueno
Resistencia mecánica	Excelente	Muy buena
Resistencia al calor	Excelente	Buena
Capacidad de reciclaje	Muy buena	Excelente
Volumen de matriz	Media a alta	Media
Óptimo para la Construcción	Excelente	Buena

Tabla 10- Características de las Propiedades generales en los Materiales Compuestos

Dicha información recavada puede ayudar como una evaluación previa de estos Materiales. En la etapa preliminar debemos identificar que matriz y dispersoides (fibras) debemos usar o cuales son más propicios a usar.<sup>41</sup>

Por ejemplo, para cierta aplicación, la resina de Poliéster sería la más adecuada, asimismo en otra aplicación quizás una matriz Cerámica o Metálica serían las más propicias, para nuestro caso, la Matriz cerámica es la más adecuada por las propiedades que buscamos en el material final (material estructural). Similarmente hay sistemas que ya hemos visto en Materiales como Cobre- Níquel (para los metálicos) o Alúmina- Sílice (para los Cerámicos) los cuales son de gran importancia para determinados usos y dependiendo de sus respectivas combinaciones.

En un Proceso de Manufactura de un material, debemos señalar de manera clara y concisa las características típicas de la materia prima a emplear a los que se han venido manejando como *Parámetros de Diseño*. Dichos parámetros o información Técnica del Material se puede encontrar en manuales, bases de datos, fichas técnicas o en cualquier literatura confiable publicada y aceptada para dichos fines. Durante el Diseño final del material, en nuestro caso, ampliaremos esta información por medio de pruebas en laboratorio para llegar a las propiedades reales del Material sin alejarnos demasiado de nuestros parámetros de Diseño. Pero por el momento basta con aproximarnos a la información siguiente como parámetros de diseño preliminares:

- **Tipo de la Matriz:** Matriz en base Óxidos como alumino- silicatos.
- **Tipo de reforzamiento:** Reforzamiento por precipitación (inclusión de fibras y partículas de polvo cerámico).
- **Tipo de fibra:** Para nuestra Propuesta se probarán partículas de Polvo de Cerámica Reciclada y en una proporción adecuada se utilizarán fibras de cerámica a granel.
- **Patrón de reforzamiento:** En base a los que se ha venido estudiando, será mediante fibras cortas, orientadas en el sentido transversal del Componente a fabricar.
- **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 90%. (estamos pensando para nuestra Propuesta usar dos componentes en esta Fase)

<sup>40</sup> Dependiendo el tipo de Procesamiento y técnicas de Producción.

<sup>41</sup> Ver los puntos referentes al tipo de Matrices y dispersoides a usar en los Materiales Compuestos estructurales. Los cuales son nuestros primeros parámetros de Diseño de nuestro Material de la Propuesto, (páginas de la 37 a 40)

- **Porcentaje medio del Dispersoide:** debido al Costo (el cual es más elevado que el de la Matriz), se requiere de un 10% como máximo.
- **Propiedades mecánicas de los Componentes del material (matriz y dispersoide combinados):** Para la matriz, requerimos a Compresión de 200-250 Kg/cm<sup>2</sup> y en tensión simple 100- 300 Kg/cm<sup>2</sup> 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/cm<sup>2</sup> como mínimo.

También debemos señalar las especificaciones mínimas que requerimos o Parámetros del Material a fabricar:

- Resistencia mínima a Compresión: 200- 250 Kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia mínima a Tensión: 50- 100 Kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia a Cortante: 3.5 Kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia a Flexión o carga de trabajo: 600 Kg/m<sup>2</sup> (para componentes de losas de entrespiso)
- Densidad del material: 700- 1800 kg/m<sup>3</sup>
- Temperatura de Procesado: de 300 ° C a 800° C (para ahorro de Energía)
- Ciclo de sinterizado (hrs.): de 8 a 20 Hrs. , 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.

Que para nuestro caso se trata de un Material estructural de tipo cerámico para uso en la Construcción de componentes estructurales prefabricados y para uso en revestimiento de edificios y otros usos como material para protección piroresistente e incluso decorativo en algunas piezas complejas.

#### **4° Método para la Evaluación de Materiales a emplear en la Propuesta Experimental**

No hay un solo método ni técnica propicia para la Selección y Evaluación de Materiales para las distintas aplicaciones de la Industria, por lo que algunas veces se selecciona el material o se elige el material de acuerdo a la experiencia en Productos o Aplicaciones hechas con Materiales similares o también con lo que otros Productores o Constructores están usando; lo anterior no es recomendable ya que se pueden repetir los mismos errores de otros, de hecho, resulta muchas veces contra producente llevando a sus Productos o edificios a bajos rendimientos, que da como resultado mayor Costo en mantenimiento y reparación, y se corre el riesgo de verse superado por la Competencia. La relativa nueva Ciencia e Ingeniería de Materiales ofrece mucho más que eso, obteniendo Materiales y mejorando Procesos de Manufactura y nuevas Tecnologías que mejoran los Costos de Producción y ayudan a la Economía de los Consumidores y usuarios de Materiales no solo en la Construcción sino en cualquier Industria.

El siguiente es el método mediante el cual vamos a Evaluar y Seleccionar apropiadamente nuestros Materiales para la Propuesta.

Explicaremos en que consiste dicho método a emplear en la Propuesta para posteriormente en el inciso IV.I. poder desarrollarlo de manera practica y experimental.

#### **Método de Evaluación o selección de Materiales por Comparación entre Materiales similares**

Este método se trata de que sea flexible, debido a que siempre hay distintos factores de Propiedades (como densidad, resistencia, costo, durabilidad, trabajabilidad, e incluso reciclamiento) que pueden ser de suma importancia para la aplicación. El nivel de importancia de cada factor es distinto para cada aplicación, dependiendo de las características que le queramos dar a nuestro Producto final. Por ejemplo, en nuestro caso, hemos mencionado la importancia de las Propiedades que caracterizarán a nuestro Material, pero igual tenemos que

considerar el Costo como parte de dichos factores a emplear. Se ha mencionado que en la Industria de la Construcción Civil, el Costo de los Materiales representa el 50% del valor total del Edificio, el cual es el segundo más caro después de la Fabricación de Automóviles. En cambio en la Industria de la Electrónica, el Costo solo representa un 5- 10% del valor total del Producto. Por tanto, es indispensable considerar un factor de Costo dentro de la Selección de nuestros Materiales.

De acuerdo a este método, a cada Propiedad se le asigna un cierto valor, dependiendo de la importancia durante su uso, porque las Propiedades se miden en distintas unidades, por lo tanto, cada Propiedad es regulada para alcanzar un determinado valor numérico de funcionalidad. Esto se da por un método o técnica de Escalatoria, de tres formas, dependiendo en el tipo de Propiedades requeridas. Como sigue:

**A) Escalatoria para Propiedades de valores máximos requeridos**

Hay Propiedades de Materiales, tal como la resistencia a Tensión, a Compresión, Módulo de elasticidad, rigidez, etc., que están convenidas dentro de la estructura del material a ser valores máximos; cada propiedad esta ajustada o escalada en un rango de 0- 100, de la siguiente forma:

$$\text{Propiedad escalada} = \alpha$$

$$\alpha = \frac{\text{Valor numérico de una Propiedad}}{\text{Valor más alto en la misma Categoría}} \times 100$$

**B) Escalatoria para Propiedades de valores mínimos requeridos**

$$\alpha = \frac{\text{Valor más bajo en la misma Categoría}}{\text{Valor numérico de una Propiedad}} \times 100$$

**C) Escalatoria para Propiedades no cuantitativas**

Son Propiedades tales como: Reparabilidad, reciclabilidad, trabajabilidad, etc. Que no pueden ser cuantificadas exactamente con valores numéricos. Cada propiedad esta valorada de manera subjetiva como se muestra en la siguiente tabla:

Ejemplo:

Materiales bajo consideración:

Propiedad	A	B	C	D	F
Reciclabilidad	Pobre	Bueno	Excelente	Satisfactorio	Muy bueno
Valor subjetivo	1	3	5	2	4
Propiedad Escalada	20	60	100	40	80

Tabla .11- Escalatoria de Propiedades no Cuantitativas

Una vez que todas las Propiedades del Material son escaladas, el *Indicador de Rendimiento del Material* ( $\gamma$ ) se determina como sigue:

$$\gamma = \sum w_i \alpha_i$$

En donde;

**W** = Factor de importancia en escala del 0- 100 (asignado por nosotros, el diseñador, Arquitecto o Ingeniero)

$\alpha$  = Una Propiedad escalada

$i$  = La suma de cada una de ambas Variables

## 5° Pasos específicos en el Proceso de la Selección de Materiales

Estos son los 4 pasos que vamos a seguir para nuestra adecuada Selección de los Materiales de nuestra Propuesta, y son:

- 1.- *Determinación de las Propiedades y requerimientos para el Diseño del Material o Producto (parámetros)*
- 2.- *Preselección de posibles Materiales a usar*
- 3.- *Determinación de los Materiales definitivos a usar (obtención mediante el método por comparación)*
- 4.- *Ejecución de Pruebas en Laboratorio y evaluación final (caracterización y comprobación del método y del modelo ANUMARQ)*

### 1.- Determinación de las Propiedades y requerimientos para el Diseño del Material

El primer paso en la identificación del Material es definir prioritariamente las necesidades o requerimientos, como ya lo hemos venido planteando; tales como: resistencias, densidad, costos, plasticidad, trabajabilidad, conductividad térmica, etc., entre las principales, para el Producto final (Propuesta). Hay muchos Materiales que quizá cumplan los propósitos de Diseño para ciertas aplicaciones, pero algunas necesidades son un tanto especiales al momento de la aplicación del Material; por ejemplo, para nuestro caso la densidad y la resistencia mecánica son de suma importancia en la Selección de los Materiales a emplear en la aplicación del bloque cerámico, en cambio para otras aplicaciones como en el ramo metal- mecánico el choque térmico debe ser de mayor importancia. Por lo tanto es importante priorizar las necesidades de los Materiales, para dicho Producto o Aplicación. Para nuestro caso de estudio, tenemos que irnos aproximando a las características que requerimos, y como material estructural de tipo cerámico (Propuesta), tenemos que las siguientes propiedades son de suma importancia: Resistencias a Tensión y Compresión, tipo de Procesamiento, densidad, costo, resistencia a la humedad, conductividad térmica y resistencia a la Corrosión principalmente.

### 2.- Preselección de posibles Materiales a usar

Basados en los requerimientos y necesidades anteriores para dicha aplicación, se deben de determinar las posibles Materias primas y procedimientos de fabricación para cubrir satisfactoriamente esas necesidades o Propiedades ya puntualizadas y subrayadas arriba, para nuestra Propuesta del Material. En capítulos anteriores hemos visto ya algunos de los Procesos más usados para la manufactura del Material en cuestión (cerámica reforzada con fibras), asimismo ya hemos estado revisado y preseleccionado los Materiales más usados en la Fabricación de Cerámicas de todo tipo, desde el inicio del documento, los cuales son muy numerosos; por lo que se trata ahora de seleccionar los más adecuados para nuestra aplicación. Para nuestro caso de estudio debemos definir un Procesamiento de manufactura o fabricación que nos permita cubrir los requerimientos y necesidades planteadas, para nuestro caso, el Costo es importante, pero también lo es obtener resistencias mecánicas para que cumplan como Materiales estructurales en la Construcción; por lo tanto debemos de seleccionar una Técnica de Sinterización a medianas temperaturas mediante el método de moldeo plástico (ya revisado en capítulos anteriores) en moldes porosos (de yeso por economía) para la absorción del agua extraída, para acelerar el proceso de secado y formado a temperatura ambiente para no elevar los costos en procedimientos del uso de alta temperatura y presiones elevadas a vapor, lo cual consume mucha energía y requiere de mayor infraestructura para su Fabricación o Manufactura.

La intención de este paso (el cual se desarrollará inmediatamente después del termino de este inciso) en la Selección de Materiales es obtener respuestas casi definitivas y proponer una lista breve de Materiales a usar para la Propuesta, que engloben las características señaladas en los requerimientos, para este caso, un material estructural de tipo cerámico. La Selección de dichos posibles Materiales a emplear, se obtienen de consultar la

información de libros, manuales, incluso pruebas previas de laboratorio y bases de datos nacionales e internacionales de Materiales para ingeniería (se recomienda la base de datos MATWEB), específicamente para Materiales estructurales. También se pueden consultar fichas técnicas de Materiales disponibles en el mercado que sean convenientes al material que se quiere implementar.

### 3.- Determinación de los Materiales definitivos

Una vez que se tenga dicha lista breve de posibles Materiales a emplear, y de acuerdo con nuestra Guía de Selección de Materiales, antes vista, el siguiente paso es determinar por completo los Materiales que se van a usar, y para nuestro caso, se trata de un material Compuesto, por lo que requerimos Materiales para dos Fases: la matriz de liga y los dispersoides (en este caso fibras dispersas en la matriz), los cuales deben cumplir con las características de resistencia y costo, para cubrir las necesidades de la aplicación final del material (Propuesta del bloque cerámico); para hacerlo es necesario plantear métodos propios de Selección, de acuerdo a los parámetros planteados y a la materia prima disponible y accesible. Dichos métodos nos ayudan a ir reduciendo o filtrando opciones de materiales y nos ayudan a evaluar directamente las materias primas para cada necesidad en cuestión.

En la etapa conceptual de Diseño del material, es donde nace el futuro Producto, en donde más de un material y Procesamientos son preseleccionados para su Fabricación, debido a que debemos dejar un margen grande para la posible innovación de Diseños. Los Productos que se deriven de dicho material a implementar, se dejan abiertos; por ejemplo: en nuestro caso el Producto final será un material de Cerámica estructural de óptimas condiciones para fabricar bloques prefabricados para muros de mampostería; pero a su vez se dejan opciones abiertas para la fabricación de ladrillos, paneles para techo y muros prefabricados, tejas o incluso recubrimientos para acabados y piezas de decoración, etc. (lo que hemos llamado subproductos)

Por lo tanto, en este punto se considera que las cerámicas monolíticas no servirían para tales efectos y quizá los metales por si solos tampoco, ni los Polímeros por sus elevados costos; por lo que se ha decidido optar por cerámicas reforzadas con fibras por la técnica de Precipitación, lo cual ya hemos visto en capítulos anteriores. Todo ello para cubrir las necesidades planteadas en los requerimientos y parámetros de Diseño en la Selección de los Materiales a emplear. Por lo tanto, un material Compuesto de matriz cerámica, es la mejor opción para dicho Producto de la Propuesta final, y también para los derivados de este, ya que dicho material debe de ofrecer ventajas en resistencia mecánica, térmica, baja densidad y un costo económico, además de Procesamientos de manufactura accesibles a la Industria mexicana; y por medio de la producción industrial el costo se compensa, en la aplicación prefabricada, la cual ahorra tiempo y cimbra en el proceso constructivo, que es parte del propósito del material de la Propuesta.

Por lo que se refiere al tipo de matriz y dispersoide a emplear, depende de una sub- Selección de materias primas, la cual se aplica la misma metodología de preseleccionar e ir reduciendo opciones hasta obtener los Materiales adecuados para tal propósito.

La técnica de Procesamiento del material para su manufactura que hemos propuesto es el método de Sinterización a presión normal y medianas temperaturas de Cocción y moldeo plástico por medio de molde poroso.

Ahora, en cuestión de Materiales, debido a que se requieren volúmenes grandes en la Industria de la Construcción, no es posible aplicar materia prima de costo elevado, aunque la haya y de muy buena calidad; por lo que hemos decidido realizar mezclas y combinaciones adecuadas, con arcillas (de muy bajo costo) con Materiales como Alúmina y otros similares (de un costo relativamente alto, pero económico a la vez) en proporciones inferiores a la de la arcilla, lo cual mejora las propiedades de resistencia mecánica, las cuales están dentro de la prioridad de los requerimientos del Producto de la Propuesta final; lo anterior aunado a fibras a granel de tipo metálico o cerámico para reforzamiento por precipitación del material en una segunda fase, lo cual mejorará enormemente la resistencia a tensión y por consecuencia a Flexión del material y a cortante. Así, los costos se van regulando y reduciendo en comparación de cerámicas muy avanzadas como las de matriz de Nitruro de Silicio o Zirconia, los cuales si son excesivamente caros y quedan fuera de la Selección de Materiales para nuestra Propuesta. Así igual, los pros y contras de los Materiales a emplear deben de ser checados de acuerdo a las necesidades planteadas desde un principio y corroboradas con Pruebas básicas de laboratorio que en nuestro caso se realizaron de Compresión simple y Compresión diagonal; se pueden realizar otras pruebas mecánicas si así lo requiere la implementación del material y dependiendo de las necesidades de la aplicación.

El Costo y algunas Propiedades del material varían de acuerdo a los proporcionamientos usados, por lo que se ha previsto en el caso de estudio obtener los materiales adecuados con el método y modelo propuestos; por



lo que estaremos controlando en pruebas de Laboratorio (antes mencionadas) registros de las pruebas y de los proporcionamientos usados en los especímenes de prueba. Lo anterior prácticamente es la parte final de la Evaluación dentro del proceso de diseño del Material planteado, que se requiere para su aprobación y posterior aplicación en la Construcción.

#### **4.- Pruebas y Evaluación final**

Antes de determinar los Materiales definitivos para un Producto final, es necesario hacer pruebas para poder evaluar dicho material Compuesto, como se mencionó en la parte final del punto anterior.

Los especímenes sirven de objeto de prueba para establecer y obtener las Propiedades reales de dicho material Compuesto (Compresión y Tensión<sup>42</sup>, de las cuales obtendremos por medio indirecto el módulo de elasticidad y el módulo de Cortante, dependiendo la aplicación)

En el caso de estudio, se van a proponer grupos de especímenes o elementos estructurales a probar (por ejemplo el bloque cerámico) por cada tipo de Prueba, para tener un amplio rango de muestras las cuales por desviación estándar y otros análisis estadísticos, obtendremos las apropiadas para las resistencias mínimas y medias. En otros casos de aplicaciones como (piezas especiales), las pruebas deben ser más exhaustivas y que cubran numerosas variables como de Temperatura, análisis químico, resistencias mecánicas completas, corrosión, etc. , Para nuestro caso con las tres pruebas mecánicas propuestas (además de la densidad), nos bastan para determinar un módulo de elasticidad, el cual sirva de referencia teórica y técnica para las posibles aplicaciones del material de la Propuesta y su implementación tanto técnica como comercial.

### **III.3.2.- Descripción del modelo (ANUMARQ) como tecnología generada para la aplicación de nuevos materiales en Arquitectura y Construcción**

Esta parte del trabajo reúne la integración de las partes o cabos sueltos del método (para selección y aplicación de nuevos materiales en Arquitectura) en un Modelo sistémico que abarca desde los criterios arquitectónico, estructural y ecológico; hasta la obtención, caracterización y aplicación final de los materiales. Haremos la integración y descripción de dicho Modelo (ANUMARQ) para que nos sirva de guía en el desarrollo y ejecución de los pasos específicos a seguir en el proceso de selección y Evaluación de materiales para la Propuesta final.

Dicho Modelo se resume en un esquema general (ver siguientes dos figuras) en el cual se señalan los sistemas y subsistemas que se integran en uno solo para su correcta implementación en la aplicación de nuevos materiales Compuestos en Arquitectura y Construcción civil. De ahí viene su denominación sistémica porque dichos subsistemas interactúan para un propósito en común.

---

<sup>42</sup> Esta propiedad será evaluada de acuerdo al tipo de aplicación y requerimientos del material, por ejemplo, en el caso de pruebas de elementos para mampostería requerimos la Tensión Diagonal del material. Si la aplicación fuera para paneles de entrepiso, requeriríamos pruebas de Flexión del elemento estructural a evaluar.

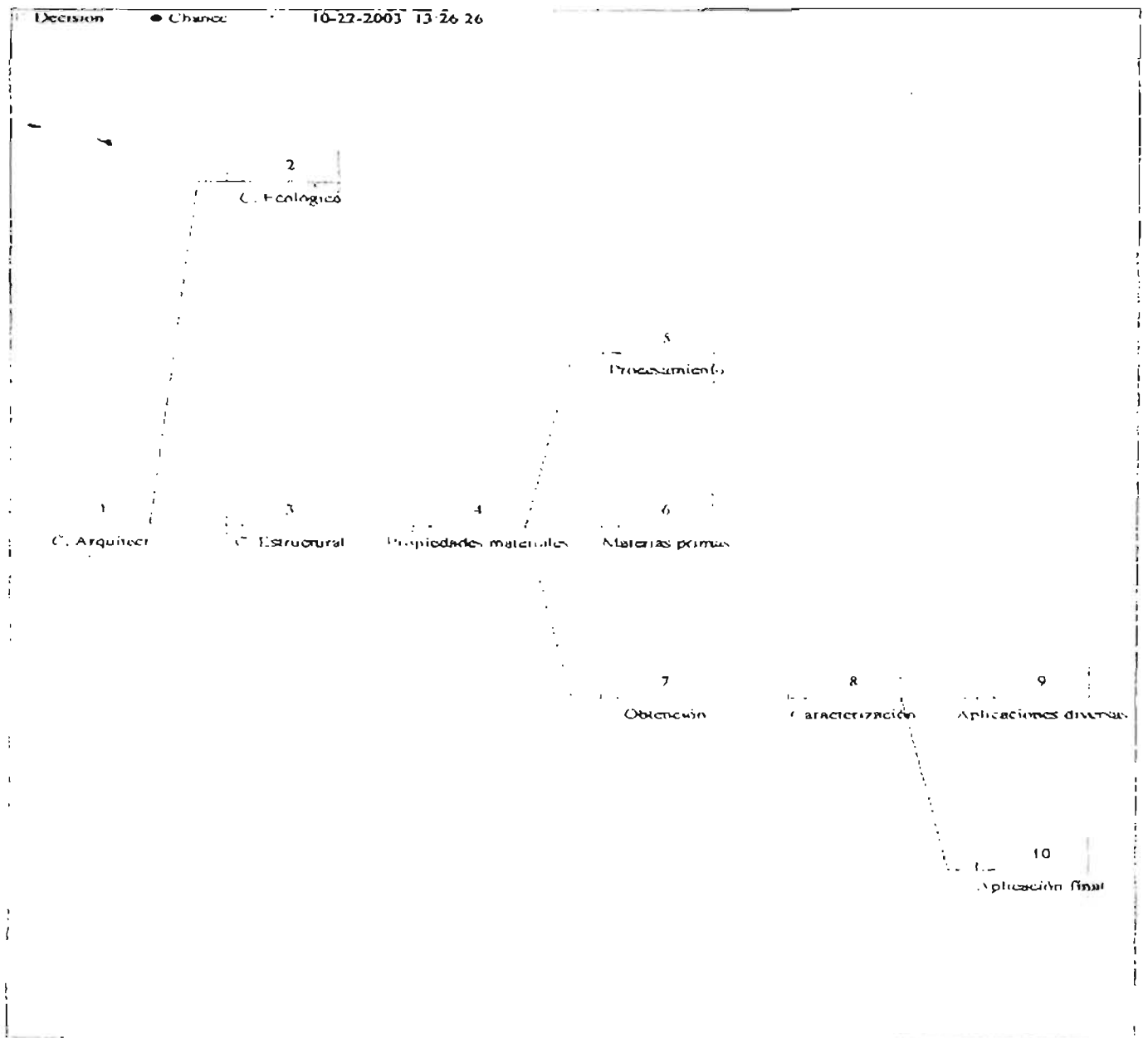
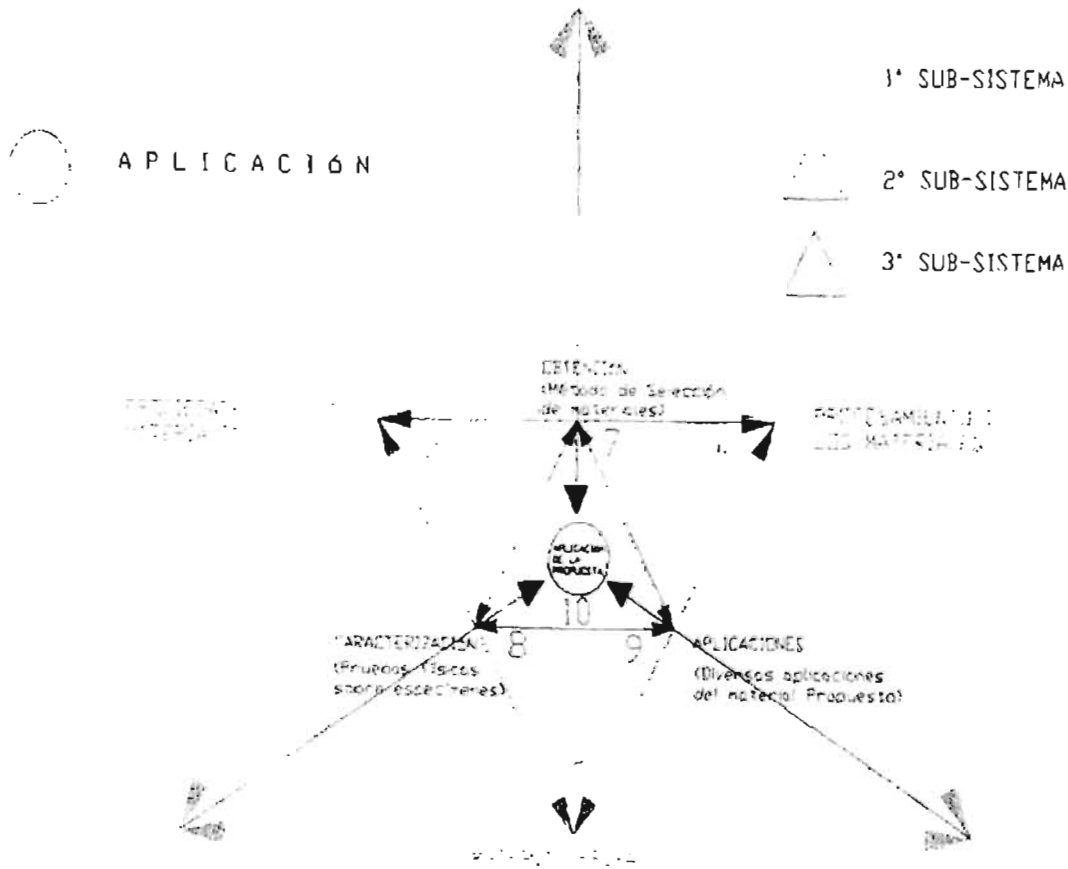


Figura 15. – Ruta de decisión para el Modelo (ANUMARQ) planteado

Nótese que en la figura siguiente cada subsistema está en colores distintos, lo cual hace una mejor identificación dentro del diagrama general.



Por M. Arq. Silverio Hernández Moreno, Programa de Doctorado en Arquitectura, U N A M

## MODELO SISTÉMICO PARA LA APLICACIÓN DE NUEVOS MATERIALES COMPUESTOS EN LA ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN CIVIL.

Figura 16 –Esquema general del Modelo para la aplicación de nuevos materiales Compuestos en Arquitectura y Construcción civil (ANUMARQ)

Por lo tanto, en la siguiente parte del trabajo se describirá y desglosará cada uno de los Subsistemas que integran el Modelo propuesto para dichos fines de aplicar nuevos materiales a la Arquitectura y a la Construcción civil.

## CRITERIO ARQUITECTÓNICO DENTRO DEL MODELO PROPUESTO (primer punto del modelo)

El modelo que se propone en el presente trabajo, el cual nos va a ayudar a la aplicación de nuevos materiales en la Arquitectura y Construcción, requiere de un manejo sistémico por los diversos factores que intervienen (aspectos estructurales, ecológicos y arquitectónicos). El Proceso del Proyecto arquitectónico en sí mismo es un sistema, el cual se conforma de varios subsistemas que tienen que ver con fases de Diseño y de Proyecto. Para nuestro caso de estudio, se deben de tomar en cuenta los requerimientos cualitativos, cuantitativos y su relación con el desarrollo constructivo independientemente de la fase conceptual, pero que van estrechamente correlacionados con ella (con la fase conceptual).

Debido a que cada vez más los sistemas constructivos apuntan a la rapidez, calidad y producción en serie, mediante sistemas innovadores de procesos constructivos (como los elementos prefabricados), es necesario que el proyecto arquitectónico sea manejado de acuerdo a criterios de modulación de espacio mediante dimensiones comercialmente aceptadas y reguladas, por ejemplo: 1.22 X 2.44 mts. (en el caso de la utilización de paneles que es la segunda opción para aplicación de la propuesta del material) , u otras que puedan surgir de estudios completos de productos realizados con nuevos materiales como es el caso del presente trabajo. Lo anterior de acuerdo a un módulo rectangular definido en estrecha relación con las dimensiones generadas por el arreglo espacial del Proyecto. Para nuestra primera opción se utilizarán bloques de cerámica fabricadas bajo las normas técnicas respectivas (ver anexos) para la Construcción de dicho sistema de muro de mampostería y para alturas no mayores de 13 metros o tres niveles. (según bloques convencionales existentes en el mercado)

Cabe mencionar que el proceso de creación es independiente, pero a su vez se correlaciona con el criterio arquitectónico que se está planteando para la propuesta de generación y aplicación de nuevos materiales en la Arquitectura y Construcción.

Por lo tanto, el aspecto arquitectónico requiere de los siguientes puntos para la generación del material apropiado, dentro del sistema global planteado inicialmente como modelo sistemático de tres triángulos, que permita lo siguiente:

- Utilización de bloques de cerámica para Construcción de muros de carga de mampostería según la Norma técnica oficial y el Reglamento de Construcciones vigente. (primera opción de aplicación)
- Modulación arquitectónica flexible de acuerdo a dimensiones de 1.22 X 2.44 mts. Con múltiplos y submúltiplos. (segunda opción de aplicación)
- Crecimiento a futuro de manera vertical tanto horizontal del edificio.
- Buena apariencia y Estética definida mediante el Proyecto y los materiales usados.
- Buen comportamiento mecánico a compresión y Flexión, que permita la construcción de hasta 3- 4 niveles, y si se permite una mayor altura, mejor.
- Construcción prefabricada incluyendo todas sus ventajas de calidad, rapidez y producción en serie.
- Economía y Costo accesible industrialmente.
- Material para intemperie y anticorrosivo.
- Material térmico y acústico.
- Material piroresistente.
- Buena trabajabilidad, almacenamiento y transporte del material.
- Posibilidad de utilizar instalaciones y sistemas inteligentes integradas al edificio.
- Que permita también el uso de elementos pasivos de climatización, diseñados por el arquitecto e integrados al proyecto, para el ahorro de energía y mejoramiento del Confort del edificio.
- Criterio arquitectónico que respete el medio ambiente.

## CRITERIO ESTRUCTURAL DENTRO DEL MODELO PROPUESTO (segundo punto del modelo)

Este es un aspecto muy importante dentro del modelo para la aplicación de nuevos Compuestos en los procesos de Construcción y Arquitectura; ya que en este aspecto intervienen los principales puntos y parámetros a tomarse en cuenta para la Selección y Evaluación de materiales apropiados para uso en edificaciones. En este punto del modelo se toman en cuenta los requerimientos estructurales principalmente de resistencias mecánicas óptimas para un buen comportamiento estructural, para así poder seleccionar los materiales adecuados que cubran dichos requisitos estructurales, mediante el seguimiento de los pasos del modelo y su secuencia sistémica.

A través de este documento se han desarrollado y explicado los criterios del manejo estructural del material de manera detallada, por lo que lo siguiente es una síntesis que nos va a ayudar a la explicación del punto del criterio estructural de nuestro modelo planteado.

El material a proponer requiere de los siguientes aspectos:

- Buenas resistencias mecánicas, óptimas para la edificación de los componentes y elementos constructivos sujetos a compresión, flexión, cortante y tensión diagonal.
- Módulo de elasticidad
- Módulo de cortante
- Buena estabilidad
- Material piroresistente
- De baja a mediana densidad
- Material anticorrosivo
- De buena trabajabilidad y manejo en obra
- Buen comportamiento a la contracción
- Buena resistencia a la fractura
- Baja absorción a la humedad
- Buen comportamiento térmico y acústico.
- Buen comportamiento a la Corrosión
- Buen comportamiento al aplastamiento

**Criterio estructural** (para el caso de estudio) que permita buen desempeño al cortante y a la tensión diagonal para el caso de los muros de carga de mampostería con bloques cerámicos.

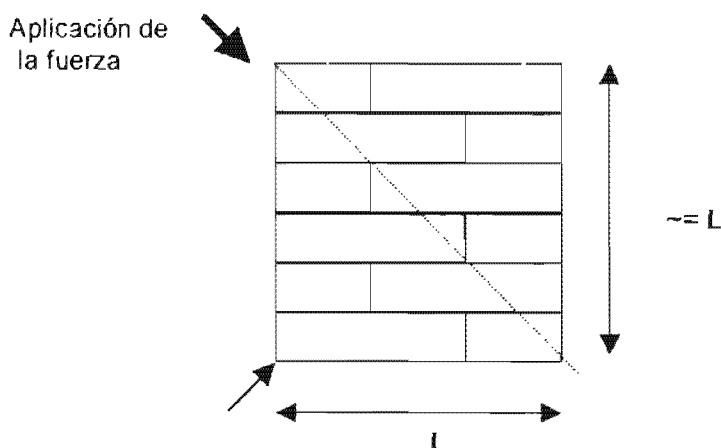


Figura 17 Criterio estructural para obtención del cortante

En las Pruebas físicas sobre los elementos en el laboratorio (del caso de la 1ª opción para aplicación de la propuesta), se obtendrá la Compresión y el esfuerzo cortante de la siguiente manera: mediante la norma oficial mexicana NOM C36; para compresión se aplicará la carga axial a lo largo de la esbeltez del murete y se medirá

con relación al área bruta definida, a partir de la resistencia a compresión de las piezas y de los morteros a utilizar, se utilizará un factor de esbeltez adecuado para dichos valores:

$$\text{Resistencia a Compresión (RC)} = mrc / 1 + 2.5fRC$$

El esfuerzo cortante medio se determinará dividiendo la carga máxima entre el área bruta del murete sobre la misma diagonal, como lo muestra la siguiente ecuación:

$$\text{Esfuerzo de cortante (V)} = mv / 1 + 2.5fv$$

## CRITERIO ECOLÓGICO DENTRO DEL MODELO PROPUESTO (tercer punto del modelo)

La síntesis para el aspecto ecológico para el funcionamiento del modelo planteado para la aplicación de materiales Compuestos en la Arquitectura y Construcción, lo podemos resumir de la siguiente manera:

**A. – Aspectos administrativos y de gestión ambiental.**

**B. Aspectos técnicos propios de los materiales. (incluyendo principalmente la Propuesta Experimental)**

A)

- Legislación completa de la normatividad y reglamentación para la regulación de la producción industrial y el respecto de los recursos naturales del medio ambiente, así como reciclamiento principalmente de: agua, energía, aire, suelo y materias primas usadas en la Producción en cualquier actividad industrial.
- Manejo de un modelo de desarrollo sustentable a niveles Municipal, Estatal, Regional y Federal.
- Transferencia de Tecnología ecológica con otros países, adaptadas a nuestros problemas y recursos.
- Manejo ecológico de los procesos de Producción industrial en donde se incluye a la Construcción y sus materiales Constructivos.
- Control y desarrollo de corredores industriales con manejo de desechos de las mismas industrias.
- Incluir la regulación de normas ecológicas dentro del Proceso administrativo en cualquier Industria y empresa; en cada fase del proceso administrativo para un mejor control del sistema.
- Gestión obligatoria de supervisión ecológica por especialistas, en términos de correlación entre Gobierno- Industria.

B)

- Utilización de material producto de desperdicio industrial para reforzamiento (caso de las fibras cerámicas)
- Reciclamiento del material de la Propuesta mediante la técnica de la molienda.
- Utilización de materiales cerámicos (y de otro tipo si las propiedades lo permiten) reciclados en el Proceso de manufactura y Producción.
- Recuperación de polvos y de partículas especiales.
- Reutilización del producto reciclado en el mismo material de la Propuesta, tanto para la nueva matriz de liga como para el nuevo dispersoide.
- Reutilización de la materia prima reciclada en la fabricación de otros productos como: concretos, morteros, rellenos, etc.

## SEGUNDO TRIÁNGULO DEL MODELO

Este segundo triángulo o subsistema del modelo propuesto se refiere al "Producto de los triángulos" o PAT de alta calidad, visto en el capítulo I, y se refiere al subsistema que contiene tres aspectos importantes a tomarse en cuenta cuando se quiere diseñar un nuevo material; estos tres puntos son: las propiedades de los materiales (punto 4 del modelo), el tipo de Procesamiento de los materiales (punto 5 del modelo) y las materias primas (punto 6 del modelo) que son convenientes utilizar para dicho propósito. A continuación lo describiremos punto por punto:

### PROPIEDADES DE LOS MATERIALES (PUNTO 4 DEL MODELO)

Las Propiedades de los Materiales son los Parámetros para todo Diseño de Materiales y se obtienen de bases de datos o de manuales de Propiedades de Materiales. También los podemos obtener mediante Pruebas físicas y experimentación en laboratorio sobre especímenes; asimismo, las podemos obtener de simulaciones matemáticas mediante predicciones y otras ecuaciones que determinan ciertas Propiedades de los Materiales.

Los principales Parámetros de Diseño de materiales son:

Nombre y tipo del material, composición química, procesamiento de obtención, propiedades mecánicas: compresión, flexión, tensión, corte, tensión diagonal, densidad, módulo de ruptura, módulo de elasticidad, Cedencia, fusión, razón de Poisson, tenacidad a la fractura, coeficiente de expansión térmica, conductividad térmica, corrosión, capacidad de reciclamiento, trabajabilidad, manejabilidad, principalmente. También el Costo, rendimiento, y disponibilidad para ser Comercializado.

### PROCESAMIENTO DE LOS TIPOS DE MATERIALES (PUNTO 5 DEL MODELO)

Las principales Técnicas de procesamiento de los materiales son: fundición para los metales, sinterización para los cerámicos, moldeado a baja temperatura y polimerización para los plásticos. El tipo de procesamiento para la fabricación y obtención de los materiales es muy importante ya que de acuerdo a esto, podemos variar las distintas propiedades y características de los materiales, asimismo influye en el Costo y los tiempos de Producción.

La técnica de Procesamiento para el caso de estudio o de la propuesta experimental es:

#### TÉCNICA CERÁMICA GENERAL:

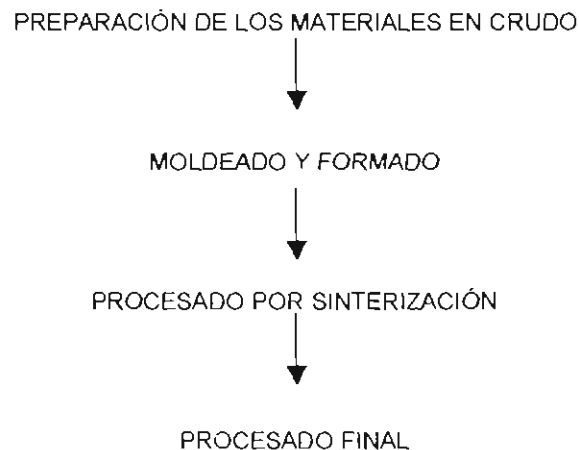


Figura 18. Técnica general para el procesamiento de cerámicas

## MATERIAS PRIMAS (PUNTO 6 DEL MODELO)

Para nuevos materiales o en su modificación para mejorarlos, existen comercialmente infinidad de productos tradicionales y nuevos, los cuales se pueden utilizar pero de acuerdo al análisis 4 y 5 del presente subsistema.

Las materias primas de las cuales podemos disponer son de origen: metálico, cerámico, polimérico e incluso de Compuestos, los cuales al combinarlos entre sí obtendremos materiales Compuestos y especialmente de tipo estructural (caso de nuestra propuesta o caso de estudio); tenemos entonces para nuestros fines experimentales el siguiente grupo de materias primas óxidos y no óxidos:

Caolín, gres, cordienta, mulita, arcillas, alúmina, sílice, feldespato, magnesio, porcelana, alta alúmina, barro calcáreo, silicio, Nitruro de titanio, de silicio, óxido de silicio, de Boro, bario, zinc, ferrita, espinel, fibra de vidrio, etc.

Las materias primas anteriores en forma de polvo fino, partículas de fibras a granel, cortas, largas; y todos los materiales con sus propiedades previamente definidos para poder ser estudiados y considerados para la formación de nuevos materiales.

## TERCER TRIÁNGULO DEL MODELO

Este subsistema es la parte medular del modelo propuesto para la generación de nuevos materiales, ya que es este punto en donde se realiza la Selección y evaluación de los materiales a usar y la caracterización del material propuesto en donde se experimenta físicamente para la determinación de las Propiedades del material para su posterior aplicación. Por tanto, los tres puntos en este subsistema son: Obtención (punto 7 del modelo), Caracterización (punto 8 del modelo) y Aplicaciones del material (punto 9 y penúltimo)

### OBTENCIÓN (PUNTO 7 DEL MODELO)

En este punto se ha desarrollado y propuesto un Método llamado por comparación de Selección y Evaluación de materias primas para la obtención de Nuevos Materiales Compuestos; debido a las siguientes razones que hay para Seleccionar materiales para determinado producto:

- Que permita la adecuada fabricación, mejoramiento o reciclamiento de un material ya existente.
- La selección de materias primas para un Nuevo Material.

Los pasos específicos en el Proceso de Selección y Evaluación de Materiales son:

- 1 . – Determinación de las Propiedades (parámetros) y requerimientos para el diseño del material en cuestión (para el producto final).
- 2 . – Preselección de posibles materiales a usar.
- 3 . - - Determinación de los materiales definitivos a usar (por medio del método propuesto).

#### Síntesis del método propuesto:

*Método por comparación* entre materias primas similares. -

Escalatoria de materiales para valores que se requieran al máximo (ej. Resistencias mecánicas):

Valor numérico de una propiedad/ valor más alto de la categoría (100)

Escalatoria de materiales para valores que se requieran al mínimo (ej. Conductividad térmica):

Valor más bajo en la misma categoría/ valor numérico de una Propiedad (100)



4 . – Ejecución de Pruebas de Laboratorio y presentación de resultados. (CARACTERIZACIÓN O PUNTO 8 DEL MODELO), lo cual nos sirve para la comprobación del método y la definición de las propiedades y características finales del material y saber en que pueden ser aplicados dichos materiales obtenidos.

## APLICACIÓN FINAL (PUNTOS 9 Y10 DEL MODELO)

### Aplicación Final

Este punto final se refiere a la conclusión del sistema del Modelo propuesto, en donde se aplicará el resultado del material obtenido en los subsistemas anteriores; Para el caso de la Propuesta del caso de estudio hemos realizado una lista general de donde escogeremos una aplicación final para dicho material obtenido; lo cual ejemplificará este último punto del Modelo propuesto:

Aplicaciones a proponer: **Estructuras de edificios**, cerramientos de edificios, recubrimientos especiales, tejas y baldosas de dimensiones grandes, paneles para losa y muro, **material aislante, térmico y acústico** para edificios, elementos decorativos, **ladrillos especiales**, domos, cúpulas, paneles laminados para blindaje, estructuras antisísmicas, **material piroresistente para muros y puertas**, selladores, texturas y revestimientos anticorrosivos en acabados, elementos modulares prefabricados, artefactos para mobiliario, etc. (PUNTO 9 DEL MODELO)

De lo anterior escogeremos la aplicación que se ha venido manejando desde el desarrollo de la propuesta del material, partiendo del criterio arquitectónico ya planteado desde el inicio del presente Modelo. Dicha aplicación se refiere a la aplicación de elementos cerámicos (ya sean bloques o paneles) para ser utilizados de manera estructural en losas para techo, entrepiso, **muros divisorios y de carga**, así como otros elementos de apoyo; para la edificación de casa tipo (en tres niveles) para vivienda plurifamiliar en conjuntos habitacionales. (PUNTO 10 DEL MODELO)

Primera opción sería la aplicación de bloques cerámicos para muro de mampostería de carga de 1 a tres niveles a una altura máxima de 13 metros como lo marca el reglamento de Construcciones.

Y como segunda opción un Proyecto mediante un sistema constructivo con base en paneles modulados con un factor de 1.22 X 2.44 mts. en múltiplos y submúltiplos; a partir de un arreglo espacial definido por un diseño arquitectónico independiente del factor de modulación constructiva, ( el cual no se desarrollo ni se analizó, debido a que se determinó escoger la primera opción)

Las siguientes dos figuras se refieren a las aplicaciones en Arquitectura y Construcción de dicho elemento (bloque de cerámica reforzada) del caso de estudio.



Figura 19 Construcción de edificios con bloques huecos cerámicos



Figura 20. Construcción de habitaciones con bloques de cerámica

Una vez estudiado el modelo anterior, desarrollaremos los pasos específicos del Proceso planteado y tomando en consideración todos los criterios y los factores definidos en el esquema general o modelo sistémico ANUMARQ, podremos entonces aplicar el método de Selección y Evaluación de materiales a partir de un problema experimental que se debe plantear como lo señala y desarrolla el siguiente capítulo del documento.

#### III.4. - RESUMEN GENERAL DE ESTE CAPITULO

Este capítulo define y describe, tanto a la metodología general o guía para Selección de los materiales, como el modelo ANUMARQ por medio del caso experimental. En la guía de Selección de materiales se define el procedimiento a seguir para la correcta Selección y Evaluación de las materias primas a usar en la obtención de Compuestos, el cual a su vez contiene el método por Comparación para evaluar y seleccionar materiales para determinada aplicación. En este capítulo también se describe paso a paso el modelo para aplicación de nuevos materiales Compuestos en Arquitectura y Construcción civil, por medio de un caso de estudio, que nos permite entender mejor este procedimiento. El modelo ANUMARQ engloba todos los métodos y herramientas para el desarrollo de nuevos materiales en Arquitectura y Construcción.

# CAPÍTULO IV

## **EJECUCIÓN DE LOS PASOS ESPECÍFICOS EN EL PROCESO DE SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA PROPUESTA EXPERIMENTAL (APLICACIÓN DEL MODELO ANUMARQ)**

---

### OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

- Aplicar el método de Evaluación y selección de materiales llamado método por comparación, para la solución y obtención de las materias primas para el material de la Propuesta experimental.
- Asimismo, aplicar y desarrollar el modelo ANUMARQ, como procedimiento que ejemplifica la generación y aplicación del material del caso de estudio.
- Y por último, comprobar por medio de pruebas físicas de laboratorio, la eficacia del método por comparación y del mismo modelo ANUMARQ, determinando las propiedades finales del material obtenido y definir sus aplicaciones en la Industria de la Construcción.

## IV.1.- Desarrollo y ejecución de los pasos específicos en el proceso de la Selección y Evaluación de materiales para la propuesta experimental (aplicación del modelo y del método propuestos)

El Diseño y Selección de los Materiales definitivos para Manufactura de nuestro material en cuestión, continua en esta sección, por lo que se debe tomar en cuenta los parámetros y las consideraciones anteriores.

### PROBLEMA EXPERIMENTAL DE LA NECESIDAD DE UN NUEVO MATERIAL

#### Planteamiento Técnico

Evaluar dentro de distintas opciones de Materiales, para utilizarlos en la Fabricación de muros de Mampostería para Construcción Civil, como elemento estructural, térmico, acústico, de baja absorción a la humedad y resistente a la corrosión (resistente al intemperie y durable), para sistemas de Construcción de edificios de 1 a 3 niveles. Teniendo como consideraciones básicas para el criterio Estructural de la importancia en las características del material, lo siguiente: Costo, Resistencia a la Tensión, Conductividad Térmica y Densidad; Considerando de acuerdo a las necesidades de la aplicación en cuestión, y en base con mi experiencia, el grado de importancia para cada Propiedad, tenemos:

- **Costo (45%)**
- **Resistencia a la Tensión (20%)**
- **Conductividad Térmica (20%)**
- **Densidad (15%)**

---

Total 100%

Y teniendo como **Parámetros de Diseño preliminares**, lo siguiente:

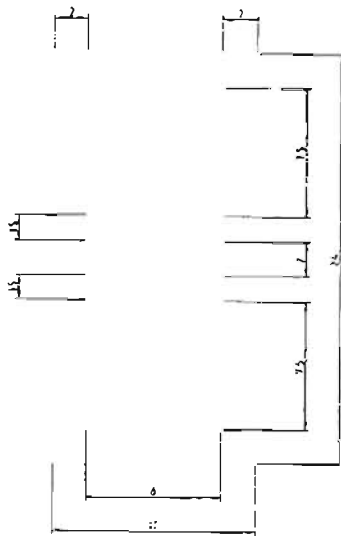
- **Tipo de la Matriz:** Matriz en base a materiales cerámicos.
- **Tipo de reforzamiento o Dispersoide:** Reforzamiento por precipitación (inclusión de fibras y partículas)
- **Tipo de fibra:** Para nuestra Propuesta se probarán partículas Recicladas o en su caso se utilizarán fibras a granel.
- **Patrón de reforzamiento:** En base a los que se ha venido estudiando, será mediante fibras cortas, orientadas en el sentido transversal del Componente a fabricar.
- **Diámetro de las fibras:** entre 20 y 60 micras
- **Longitud de la fibra:** entre 240 y 300 micras
- **Porcentaje de volumen medio de la matriz:** Se requiere que este porcentaje esté cerca del 90%. (estamos pensando para nuestra Propuesta usar dos componentes en esta Fase)
- **Porcentaje de volumen medio del Dispersoide:** debido al Costo (el cual es más elevado que el de la Matriz), se requiere de un 10% a 20% como máximo.
- **Propiedades mecánicas de los Componentes del material (matriz y dispersoide combinados):** Para la matriz, requerimos a Compresión de 175 Kg/cm<sup>2</sup> y en tensión simple 50 Kg/cm<sup>2</sup> ambas como mínimo, y por lo que se refiere al dispersoide, en nuestro caso las fibras, una resistencia a la Tracción de 1500- 2000 Kg/cm<sup>2</sup> como mínimo.

También debemos señalar las especificaciones mínimas que requerimos o **Parámetros del Material a fabricar:**

- **Resistencia mínima a Compresión:** 150 Kg/cm<sup>2</sup> como mínimo (para pieza del bloque) y 47 Kg/cm<sup>2</sup> (para el sistema de mampostería)

- Resistencia mínima a Tensión: 50 Kg/cm<sup>2</sup> (en la Matriz solamente)
- Resistencia a Flexión o carga de trabajo: 600 Kg/m<sup>2</sup> (para componentes de losas de entrepiso que es la segunda opción.
- Cortante: 2.5 a 3 Kg/cm<sup>2</sup> para el sistema de mampostería que es la primera opción (caso de estudio)
- Resistencia al aplastamiento: 0.6 de la resistencia a compresión de diseño de la Mampostería (28.2 Kg/cm<sup>2</sup>)
- Modulo de elasticidad: 350 de la Resistencia compresión (16 450 Kg/cm<sup>2</sup>)
- Modulo de cortante: 0.3 de esfuerzo Cortante ( 4935 Kg/cm<sup>2</sup>)
- Tensión diagonal: dentro de la norma NOM- C6 del producto que se utilice como parámetro del Diseño.
- Densidad del material: 700- 1800 kg/m<sup>3</sup>
- Temperatura de Procesado: de 700 ° C a 800° C (para ahorro de Energía)
- Ciclo de sinterizado (hrs.): de 8 a 115 Hrs., dependiendo de la Temperatura.
- Conductividad térmica a 100° C: 1 l (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.
- De manera cualitativa requerimos: excelente comportamiento anticorrosivo, durabilidad, estética en el acabado ya que es para prefabricados.

La siguiente figura es un prediseño para el elemento de la opción de aplicación del material (un bloque de cerámica)



#### OBSERVACIONES

bloque cerámico de arcilla cocida de 24 X 12 X 6 de bitura  
 Superficie de perforaciones 45% como lo marca la Norma técnica  
 Q35- M II (norma de calidad de los materiales SCT/NOM)

Figura 21 – Bloque de cerámica para la aplicación del material de la Propuesta

---

# **SOLUCIÓN:** mediante el método de Escalatorias (punto 7 del modelo)

---

## **I. – SELECCIÓN DE LA MATRIZ DE LIGA O PRIMERA FASE DEL MATERIAL**

Siguiendo la Guía de Selección de Materiales, ya vista, y debido a las necesidades que se han venido planteando como: obtener buenas resistencias Mecánicas, baja Conductividad térmica, bajo Costo y alta resistencia a la Corrosión, además una relativa baja densidad, principalmente, se propone un Procesamiento de fabricación de una cerámica reforzada en dos fases y Procesada por Sinterización a medianas temperaturas; todo ello para que nos pueda resultar un material con las Propiedades ya mencionadas en los Parámetros de Diseño y requerimientos, (bloque hueco cerámico para muros de mampostería)

Por lo tanto, para manejar dos fases, es necesario tener una matriz y un dispersoide o agregado (en este caso las fibras), empezaremos por la selección de las materias primas para la matriz de liga del material.

### **1º. – Determinación de los requerimientos, como ya se ha venido planteando:**

Utilizando la guía de Selección de Materiales y el Método cuantitativo por Comparación, tenemos los parámetros de diseño de la siguiente manera, las cuales son las principales Propiedades que requerimos:

- **Costo (0.45)**
- **Resistencia a la Tensión (0.20)**
- **Conductividad Térmica (0.20)**
- **Densidad (0.15)**

Estas características hacen a nuestro material diferente en gran medida a sus similares en la Industria de la Construcción, ya que se podría aplicar directamente al intemperie y de manera estructural, además de su buena apariencia estética.

### **2º. – Preselección de posibles materias primas**

En el primer capítulo se presentaron materias primas para la fabricación de Cerámicas tradicionales y avanzadas, de ahí tomaremos una lista más corta que nos va a proporcionar la materia prima para nuestra Propuesta; dicha materia prima es para cerámicas estructurales independientemente de las Técnicas de Procesamiento. Las técnicas de Procesamiento vienen ligadas directamente a los requerimientos del Material de la Propuesta, por lo que se requiere del uso de la Cocción o Sinterización. Dicha lista de posibles materias primas a usar, y son las siguientes:

- Caolines
- Arcillas finas
- Arcillas comunes
- Bentonitas
- Feldespatos
- Carbonatos
- Cuarzo
- Espinela
- Gres
- Mulita
- Cristobalita
- Alúmina

- Sílice
- Zirconia
- Nitruro de Titanio
- Carburo de Silicio
- Nitruro de Silicio
- Grafito
- Polvos metálicos de Hierro, Cobre, Zinc, Aluminio, etc.
- Entre otros óxidos y no óxidos

**Nota:** cabe señalar que debido a los requerimientos de la Aplicación de la propuesta del material, los materiales Poliméricos y metálicos quedan descartados, debido a que no cumplen los principales Parámetros de Diseño propuestos.

### 3°. – Determinación de un grupo de materiales característicos para la Evaluación y Selección

Cabe recordar que no existe ningún método exacto para la Evaluación y Selección de materiales; En Ingeniería y Arquitectura, la mayoría de las selecciones se hace en base a comparaciones y experiencia de diversos materiales similares para una determinada Aplicación, o un poquito peor, muchas veces se copia o emula procedimientos de otros colegas, que aparentemente han dado buenos resultados pero para determinadas aplicaciones. Lo que se está haciendo en este Trabajo es proponer una secuencia o guía elemental para la selección de materiales, sin alejarnos de los criterios y las experiencias propias, las cuales complementan la Selección de nuestros materiales que como arquitectos e ingenieros debemos de evaluar para distintas aplicaciones en la Construcción y la Arquitectura.

Con experiencia propia y con ayuda de manuales en donde podemos encontrar los valores cuantitativos y cualitativos para un sinnúmero de materias primas para uso estructural, tenemos que dentro de la lista anterior, hacemos un filtro más de acuerdo a los Parámetros de diseño planteados desde el inicio. Lo siguiente es una lista más corta, pero más propicia para la correcta evaluación final:

- Feldespato
- Caolín
- Alúmina
- Arcilla común
- Carburo de Silicio
- Cemento Pórtland
- Nitruro de Silicio
- Polímero Epoxi

Notamos que hemos dejado fuera a materiales como la Bentonita, Carbonatos, Cuarzo, Sílice, etc., debido a que son materiales que difícilmente aglutinan de manera aislada. Y también se dejan fuera a materiales como la Espinela, la Zirconia, Nitruro de Titanio, Nitruro de Silicio, grafito, etc., debido a que son materiales de Costo muy elevado.

Ahora nos enfocaremos a reducir este grupo de materiales a 4 o 5 para posteriormente hacer una Evaluación más detallada con el método descrito de Comparación de Materiales, tomando en cuenta los Parámetros de Diseño ya ponderados; todo ello para llegar a los materiales definitivos para la Propuesta y la Aplicación.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

MATERIA PARA LA MATRIZ	CLASE	MÓDULO DE ELASTICIDAD (E) Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA A TENSIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	PLASTICIDAD	PROCESAMIENTO	TRABAJABILIDAD	ANTICORROSIVO
Feldespatos	Cerámico	15000	40	REGULAR	BUENO	REGULAR	REGULAR
Caolín	Cerámico	110 X 10 <sup>4</sup>	25	EXCELENTE	BUENO	REGULAR	BIEN
Alúmina	Cerámico	370 X 10 <sup>4</sup>	2800	EXCELENTE	EXCELENTE	MUY BUENA	BIEN
Alúmina calcinada	Cerámico	210 X 10 <sup>4</sup>	1100	MUY BUENA	EXCELENTE	EXCELENTE	MUY BIEN
Arcilla	Cerámico	97 X 10 <sup>4</sup>	52	EXCELENTE	EXCELENTE	MUY BUENA	BIEN
Carburo De Silicio	Cerámico	450 X 10 <sup>4</sup>	2400	MUY BUENA	MUY BUENO	MUY BUENA	BIEN
Cemento Pórtland	Cerámico	20000	45	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENA	MAL
Nitruro de Silicio	Cerámico	350 X 10 <sup>4</sup>	3000	MUY BUENA	EXCELENTE	MUY BUENA	BIEN
Polímero Epóxico	Polímero	70000	700	BUENA	REGULAR	BUENA	BIEN

Tabla .12 – Propiedades Mecánicas para algunos materiales propicios para la matriz de liga del material de la Propuesta

De la tabla anterior y de acuerdo a las calificaciones de cada uno y a un criterio práctico, vamos a seleccionar solo 4 materiales para la Evaluación definitiva y exacta; la razón del siguiente "filtro", es determinada por la Técnica de Procesamiento que se tiene que utilizar y la cual ya ha sido mencionada con anterioridad, lo cual juega un papel primordial en referencia a la Calidad del Producto en donde intervienen: las Materias primas, las Propiedades y la técnica de Procesamiento (*producto del triangulo* dentro del modelo a proponer). Recuerde que las propiedades de las materias primas a emplear se obtendrán de manuales o de base de datos que están disponibles para consulta, se recomienda para estos efectos la base de datos electrónica MATWEB en la cual están disponibles cerca de 50, 000 materiales distintos con sus propiedades y características definidas de forma cuantitativa y cualitativa.

Por lo tanto, los materiales más propicios para nuestra Matriz Cerámica y de acuerdo al Procesamiento de Sinterizado y de acuerdo también al costo, tenemos por su excelente plasticidad, resistencias mecánicas y anticorrosivas y muy buena trabajabilidad a los siguientes materiales:

- CAOLÍN
- ALÚMINA CALCINADA
- ARCILLA COMÚN
- FELDESPATO

Los cuales son de Costos similares (criterio para agrupamiento)



Los cuales los vamos a analizar por el método de Comparación de Propiedades. Para ello requerimos de las Propiedades de estos materiales, para tener los Parámetros de Diseño del Material de la Propuesta. Estas Propiedades se buscan en dichos Manuales de Propiedades Mecánicas de Materiales para uso en la Ingeniería, en el caso experimental, nosotros buscamos en las bases de datos electrónicas de MATWEB (dirección electrónica: [www.matweb.com](http://www.matweb.com)), en donde se pueden conseguir todos los valores numéricos de dichas Propiedades de los Materiales; e incluso si no se encuentran los materiales deseados en estas bases de datos, se deben hacer pruebas de laboratorio tanto para el análisis químico como físico de las materias primas que se disponen.

MATERIAL	COSTO (KG.)	RESISTENCIA A TENSION (Kg/cm <sup>2</sup> )	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (J (s m k))	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	ANTI CORROSIVO
CAOLÍN	2.30	25	1.7	2000	SATISFACTORIA
ALÚMINA C.	7.40	1100	3	400	SATISFACTORIA
ARCILLA C.	0.50	52	1.1	1500	SATISFACTORIA
FELDESPATO	2.30	40	2.5	900	SATISFACTORIA

Tabla 13 – Propiedades de los Materiales a evaluar mediante el Método de Comparación de Propiedades para la Propuesta

#### 4°. – Aplicación del método de Comparación de Materiales para la Selección y Evaluación de las materias primas de la matriz y dispersoides:

Empecemos recordando la Ponderación de los Parámetros de Diseño que para nuestro material quedaron de la siguiente forma:

##### Para la matriz:

- Costo (0.45)
- Resistencia a la Tensión (0.20)
- Conductividad Térmica (0.20)
- Densidad (0.15)

Ahora en la siguiente sección y de acuerdo al método propuesto, desarrollaremos las Escalatorias de cada material para normalizarlos dentro de un rango del 100% con ayuda de hojas de *Math CAD*, para lo cual deben escalarse para valores máximos y otros para valores mínimos, tal y como ya se ha explicado en el método Propuesto; lo anterior de la siguiente manera:

## EVALUACIÓN DE MATERIALES PARA LA MATRIZ DE LA PROPUESTA DE MATERIALES COMPUESTOS

A continuación y debido a que son más de 1 factores (propiedades) los involucrados (4), se le ha dado a cada factor (propiedad) un porcentaje de importancia de acuerdo a su rendimiento y servicio en la aplicación final: por lo que tenemos lo siguiente.

CT := 0.45	COSTO
RT := 0.20	RESISTENCIA A LA TENSIÓN
COT := 0.20	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA
D := 0.15	DENSIDAD

Ahora y de acuerdo al método de Comparación de Propiedades, ya estudiado; tenemos:

El desarrollo de escalatorias de Propiedades.

Datos generales:

**Para el Caolín:**

ctc := 2.30	Pesos por Kg
rtc := 25	Kg por cm <sup>2</sup>
cotc := 1.7	J (s m k)
dc := 2000	Kg por m <sup>3</sup>

**Para la Alúmina Calcinada:**

cta := 7.40	Pesos por Kg
rta := 1100	Kg por cm <sup>2</sup>
cota := 3	J (s m k)
da := 400	Kg por m <sup>3</sup>

**Para la Arcilla Común:**

ctar := 0.50	Pesos por Kg
rtar := 52	Kg por cm <sup>2</sup>
cotar := 1.1	J (s m k)
dar := 1500	Kg por m <sup>3</sup>

**Para el Feldespato CS:**

ctcs := 2.30	Pesos por Kg
rtcs := 40	Kg por cm <sup>2</sup>
cotcs := 2.50	J (s m k)
dcs := 900	Kg por m <sup>3</sup>

1.- Escalatoria para el Caolín: de acuerdo al método de Comparación de Materiales;

- Primero el **Costo**, por ser una propiedad en la cual buscamos un mínimo, la vamos a escalar hacia abajo o de forma mínima: ■

$$(\text{Valor menor de la misma categoría/ Valor numérico de la Propiedad}) \times 100 = \text{Costo esc.}$$

$$\frac{ctar}{ctc} \cdot 100 \cdot CT = 9.783 \quad CT1 := 9.783$$

- Segundo la **Resistencia a Tensión**, que por ser una propiedad mecánica, la vamos a escalar al máximo:

$$(\text{Valor numérico de la Propiedad/ Valor más alto de la misma categoría}) \times 100 = \text{RT esc.}$$

$$\frac{rtc}{rta} \cdot 100 \cdot RT = 0.455 \quad RT1 := 0.455$$

- Tercero la **Conductividad térmica** para el Caolín, la requerimos en un valor mínimo, así que la escalaremos hacia abajo:

$$(\text{Valor menor de la misma categoría/ Valor numérico de la propiedad}) \times 100 = \text{C. térm. esc.}$$

$$\frac{cotar}{cotc} \cdot 100 \cdot COT = 12.941 \quad COT1 := 12.941$$

- Cuarto la Densidad para este material, la requerimos al mínimo:

$$\frac{dar}{dc} \cdot 100 \cdot D = 11.25 \quad D1 := 11.25$$

$$CT1 + RT1 + COT1 + D1 = 34.429 \quad \text{Puntos}$$

2.- Escalatoria para la Alúmina: de acuerdo al método de Comparación de Materiales;

- Primero el **Costo**, por ser una propiedad en la cual buscamos un mínimo, la vamos a escalar hacia abajo o de forma mínima: ■

$$(\text{Valor menor de la misma categoría/ Valor numérico de la Propiedad}) \times 100 = \text{Costo esc.}$$

$$\frac{ctar}{cta} \cdot 100 \cdot CT = 3.041 \quad CT2 := 3.041$$

- Segundo la **Resistencia a Tensión**, que por ser una propiedad mecánica, la vamos a escalar al máximo:

$$\frac{r_{ta}}{r_{ta}} \cdot 100 \cdot RT = 20 \qquad RT_2 := 20 \qquad \text{RT esc.}$$

- Tercero la **Conductividad térmica** para la Alúmina, la requerimos en un valor mínimo, así que la escalaremos hacia abajo:

$$\frac{c_{otar}}{c_{ota}} \cdot 100 \cdot COT = 7.333 \qquad COT_2 := 7.333 \qquad \text{C. térm. esc.}$$

- Cuarto la Densidad para este material, la requerimos al mínimo:

$$\frac{d_{ar}}{d_{a}} \cdot 100 \cdot D = 56.25 \qquad D_2 := 56.25$$

$$CT_2 + RT_2 + COT_2 + D_2 = 86.624 \quad \text{Puntos}$$

### 3.- Escalatoria para la Arcilla Común: de acuerdo al método de Comparación de Materiales;

- Primero el **Costo**, por ser una propiedad en la cual buscamos un mínimo, la vamos a escalar hacia abajo o de forma mínima:

$$\frac{c_{tar}}{c_{tar}} \cdot 100 \cdot CT = 45 \qquad CT_3 := 45 \qquad \text{Costo esc.}$$

- Segundo la **Resistencia a Tensión**, que por ser una propiedad mecánica, la vamos a escalar al máximo:

$$\frac{r_{tar}}{r_{ta}} \cdot 100 \cdot RT = 0.945 \qquad RT_3 := 0.945 \qquad \text{RT esc.}$$

- Tercero la **Conductividad térmica** para la Arcilla, la requerimos en un valor mínimo, así que la escalaremos hacia abajo:

$$\frac{c_{otar}}{c_{otar}} \cdot 100 \cdot COT = 20 \qquad COT_3 := 20 \qquad \text{C. térm. esc.}$$

- Cuarto la Densidad para este material, la requerimos al mínimo:

$$\frac{dar}{dar} \cdot 100 \cdot D = 15 \qquad D3 := 15$$

$$CT3 + RT3 + COT3 + D3 = 80.945 \quad \text{Puntos}$$

**4.- Escalatoria para el Feldespato:** de acuerdo al método de Comparación de Materiales;

- Primero el **Costo**, por ser una propiedad en la cual buscamos un mínimo, la vamos a escalar hacia abajo o de forma mínima: ■

$$\begin{aligned} & (\text{Valor menor de la misma categoría/ Valor numérico de la Propiedad}) \times 100 = \text{Costo esc.} \\ & \frac{ctar}{ctcs} \cdot 100 \cdot CT = 9.783 \qquad CT4 := 9.783 \end{aligned}$$

- Segundo la **Resistencia a Tensión**, que por ser una propiedad mecánica, la vamos a escalar al máximo:

$$\begin{aligned} & (\text{Valor numérico de la Propiedad/ Valor más alto de la misma categoría}) \times 100 = \text{RT esc.} \\ & \frac{rtcs}{rta} \cdot 100 \cdot RT = 0.727 \qquad RT4 := .727 \end{aligned}$$

- Tercero la **Conductividad térmica** para la Alúmina, la requerimos en un valor mínimo, así que la escalaremos hacia abajo:

$$\begin{aligned} & (\text{Valor menor de la misma categoría/ Valor numérico de la propiedad}) \times 100 = \text{C. térm. esc.} \\ & \frac{cotar}{cotcs} \cdot 100 \cdot COT = 8.8 \qquad COT4 := 8.8 \end{aligned}$$

- Cuarto la Densidad para este material, la requerimos al mínimo:

$$\frac{dar}{dcs} \cdot 100 \cdot D = 25 \qquad D4 := 25$$

$$CT4 + RT4 + COT4 + D4 = 44.31 \quad \text{Puntos}$$

**EL RESULTADO DE LOS DOS MATERIALES MÁS ALTOS SON EL DE LA ALÚMINA Y EL DE LA ARCILLA COMÚN, POR TANTO, SE VAN A UTILIZAR AMBAS EN PROPORCIONES DISTINTAS PARA LA MATRÍZ DE LIGA DEL MATERIAL DE LA PROPUESTA.**

El resumen para la Evaluación de las materias primas para la conformación de la Matriz de la Propuesta, se muestra en la siguiente tabla:

MATERIAL	EVALUACIÓN CUALITATIVA		EVALUACIÓN CUANTITATIVA				
	Corrosión	Plasticidad	COSTO (45%)	RESIST. TENSIÓN (20%)	CONDUCT. TÉRMICA (20%)	DENSIDAD (15%)	ÍNDICE RENDIM. (PUNTOS)
CAOLÍN	S	E	9.78	0.45	12.94	11.25	<b>34.42</b>
ALÚMINA CALC.	S	E	3.04	20	7.33	56.25	<b>86.62</b>
ARCILLA C.	S	MB	45	0.94	20	15	<b>80.94</b>
FELDESPATO	S	B	9.78	0.72	8.8	25	<b>44.31</b>

El resultado mayor de esta evaluación corresponde a la Alúmina Calcinada., la cual va a ser la matriz de liga del Compuesto de la propuesta, acompañado por la Arcilla C. ambas para mejorar la Resistencia a Tensión y el mejoramiento de las condiciones Térmicas en las aplicaciones del Material de la Propuesta.

Tabla 14- Resumen de la Evaluación de Materiales para la Matriz del Compuesto de la Propuesta

## II.- EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS PARA LA SEGUNDA FASE DEL MATERIAL O DISPERSOIDES (REFORZAMIENTO MECÁNICO DEL MATERIAL)

Ahora, con el mismo método y el mismo procedimiento vamos a seleccionar y a evaluar los materiales para la Segunda Fase del Material de la Propuesta o dicho de otra manera, la elección de los dispersoides. Debido a que los Dispersoides serán la segunda Fase que reforzará la matriz de liga del Material de la Propuesta, debemos señalar, primeramente, la importancia de las Propiedades o Parámetros de diseño que necesitamos para el Dispersoide.

### 1º. – Determinación de los requerimientos para los Dispersoides

- Costo = 0.45
- Resistencia a la Tensión = 25% o 0.25
- Conductividad térmica = 15% o 0.15
- Punto de Fusión = 0.15

## 2°. – Preselección de posibles materias primas

por lo tanto, y de acuerdo al mismo Método de Comparación de materiales, tenemos que los materiales más propicios para este fin (segunda Fase dispersa) y considerando que la técnica de Procesamiento del Material es la Sinterización a relativamente bajas temperaturas, tenemos lo siguiente:

- Fibras Whiskers de Cerámica (Alúmina)
- Fibras de grafito
- Fibras de Acero refractario
- Fibras de Cerámica a granel de carburo de Silicio
- Partículas de Polvo de Cerámica Reciclada
- Fibras de vidrio

## 3°. – Determinación de un grupo de materiales característicos para la Evaluación y Selección

Por razones de Procesamiento del material quedan descartadas las Fibras poliméricas y por razones de Costo, quedan descartadas las Fibras de Grafito (carbono) y de Cerámica pura; de igual forma contamos con manuales y bases de datos de propiedades de materiales, por lo tanto, las que vamos a evaluar son las que se presentan en la siguiente tabla:

MATERIAL PARA 2° FASE (FIBRAS)	COSTO POR KG. (\$ PESO)	RESISTENCIA A TENSIÓN EN (Kg/cm <sup>2</sup> )	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (J* s m k)	PUNTO DE FUSIÓN °C
FIBRAS DE ALÚMINA A GRANEL	19.00	1000	3	1500
FIBRAS DE A CERO REFRACTARIO INTERMEDIO	14.00	1500	700	700
FIBRAS DE VIDRIO	15	1070	4.5	150

Tabla 15.- Información de Propiedades para las Fibras preseleccionadas

## 4°. – Aplicación del método de Comparación de Materiales para la Selección y Evaluación de las materias primas de la matriz y dispersoides (fibras)

Recordando nuestros parámetros para los **Dispersoides**, tenemos:

- **Costo = 0.45**
- **Resistencia a la Tensión = 0.25**
- **Conductividad térmica = 0.15**
- **Punto de Fusión = 0.15**

Y ahora, de acuerdo con el mismo método, tenemos el desarrollo de la Evaluación para la segunda fase del Material de nuestra Propuesta.

Empezaremos escalando las propiedades de cada material, tanto al mínimo como al máximo, según sea necesaria, con el mismo método de la Evaluación como se hizo con la Matriz:

## EVALUACIÓN DE MATERIALES PARA EL DISPERSOIDE DE LA PROPUESTA EN MATERIALES COMPUESTOS

A continuación y debido a que son más de 1 factor (propiedades) los involucrados (4), se le ha dado a cada factor (propiedad) un porcentaje de importancia de acuerdo a su rendimiento y servicio en la aplicación final; por lo que tenemos lo siguiente:

CT := 0.45	COSTO
RT := 0.25	RESISTENCIA A LA TENSIÓN
COT := 0.15	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA
F := 0.15	PUNTO DE FUSIÓN

Ahora y de acuerdo al método de Comparación de Propiedades, ya estudiado; tenemos:

El desarrollo de escalatorias de Propiedades:

### Datos generales:

#### Para las Fibras de Cerámica a granel:

ctw := 19.00	Pesos por Kg
rtw := 1000	Kg por cm <sup>2</sup>
cotw := 3	J (s m k)
fw := 1500	° C

#### Para las Fibras de acero de alto Carbón:

cta := 14	Pesos por Kg
rta := 1500	Kg por cm <sup>2</sup>
cota := 700	J (s m k)
fa := 700	° C

#### Para las Fibras de Vidrio:

ctc := 15	Pesos por Kg
rtc := 1070	Kg por cm <sup>2</sup>
cotc := 4.5	J (s m k)
fc := 150	° C

1.- Escalatoria para las Fibras de Cerámica a granel: de acuerdo al método de Comparación de Materiales;

- Primero el **Costo**, por ser una propiedad en la cual buscamos un mínimo, la vamos a escalar hacia abajo o de forma mínima (de manera descendente):

(Valor menor de la misma categoría/ Valor numérico de la Propiedad) X 100=

**Costo esc.**

$$\frac{ctc}{ctw} \cdot 100 \cdot CT = 35.526 \quad CT1 := 35.526$$



- Segundo la **Resistencia a Tensión**, que por ser una propiedad mecánica, la vamos a escalar al máximo:

$$\left( \frac{\text{Valor numérico de la Propiedad}}{\text{Valor más alto de la misma categoría}} \right) \times 100 = \text{RT esc.}$$

$$\frac{rtw}{rta} \cdot 100 \cdot RT = 16.667 \quad RT1 := 16.667$$

- Tercero la **Conductividad térmica** para los whiskers, la requerimos en un valor mínimo, así que la escalaremos hacia abajo:

$$\left( \frac{\text{Valor menor de la misma categoría}}{\text{Valor numérico de la propiedad}} \right) \times 100 = \text{C. térm. esc.}$$

$$\frac{cotw}{cota} \cdot 100 \cdot COT = 15 \quad COT1 := 15$$

- El **punto de fusión** para este material, lo requerimos al máximo:

$$\frac{fw}{fwa} \cdot 100 \cdot F = 15 \quad F1 := 15$$

$$CT1 + RT1 + COT1 + F1 = 82.193 \quad \text{Puntos}$$

## 2.- Escalatoria para las fibras de Acero: de acuerdo al método de Comparación de Materiales;

- Primero el **Costo**, por ser una propiedad en la cual buscamos un mínimo, la vamos a escalar hacia abajo o de forma mínima:

$$\left( \frac{\text{Valor menor de la misma categoría}}{\text{Valor numérico de la Propiedad}} \right) \times 100 = \text{Costo esc.}$$

$$\frac{ctc}{cta} \cdot 100 \cdot CT = 48.214 \quad CT2 := 48.214$$

- Segundo la **Resistencia a Tensión**, que por ser una propiedad mecánica, la vamos a escalar al máximo:

$$\left( \frac{\text{Valor numérico de la Propiedad}}{\text{Valor más alto de la misma categoría}} \right) \times 100 = \text{RT esc.}$$

$$\frac{rta}{rta} \cdot 100 \cdot RT = 25 \quad RT2 := 25$$

- Tercero la **Conductividad térmica** para las de acero, la requerimos en un valor mínimo, así que la escalaremos hacia abajo:

$$\left( \frac{\text{Valor menor de la misma categoría}}{\text{Valor numérico de la propiedad}} \right) \times 100 = \text{C. térm. esc.}$$

$$\frac{cotw}{cota} \cdot 100 \cdot COT = 0.064 \quad COT2 := 0.064$$

- Cuarto el **punto de fusión** para este material, la requerimos al máximo:

$$\frac{fa}{fv} \cdot 100 \cdot F = 7 \qquad F2 := 7$$

$$CT2 + RT2 + COT2 + F2 = 80.278 \quad \text{Puntos}$$

**3.- Escalatoria para las Fibras de Vidrio A:** de acuerdo al método de Comparación de Materiales;

- Primero el **Costo**, por ser una propiedad en la cual buscamos un mínimo, la vamos a escalar hacia abajo o de forma mínima:

$$(\text{Valor menor de la misma categoría/ Valor numérico de la Propiedad}) \times 100 = \text{Costo esc.}$$

$$\frac{ctc}{ctc} \cdot 100 \cdot CT = 45 \qquad CT3 := 45$$

- Segundo la **Resistencia a Tensión**, que por ser una propiedad mecánica, la vamos a escalar al máximo:

$$(\text{Valor numérico de la Propiedad/ Valor más alto de la misma categoría}) \times 100 = \text{RT esc.}$$

$$\frac{rtc}{rta} \cdot 100 \cdot RT = 17.833 \qquad RT3 := 17.833$$

- Tercero la **Conductividad térmica**, la requerimos en un valor mínimo, así que la escalaremos hacia abajo:

$$(\text{Valor menor de la misma categoría/ Valor numérico de la propiedad}) \times 100 = \text{C. térm. esc.}$$

$$\frac{cotw}{cotc} \cdot 100 \cdot COT = 10 \qquad COT3 := 10$$

- Cuarto el punto de Fusión para este material, la requerimos al máximo:

$$\frac{fc}{fv} \cdot 100 \cdot F = 1.5 \qquad F3 := 1.5$$

$$CT3 + RT3 + COT3 + F3 = 74.333 \quad \text{Puntos}$$

**EL RESULTADO DE MAYOR PUNTUACIÓN CORRESPONDE, PARA ESTE CASO, A LAS FIBRAS DE CERÁMICA A GRANEL (DE ALÚMINA), CON UN PUNTAJE DE: 82.193 DE 100 POSIBLES, POR LO TANTO ES EL DISPERSOIDE QUE SE INCORPORARÁ A LA MATRIZ DE LIGA DEL MATERIAL COMPUESTO DE LA PROPUESTA. Y FUNCIONARÁ COMO REFORZAMIENTO DE LA MISMA.**

Por lo tanto, el resumen de la Evaluación de los Materiales para la fase dispersa ( en este caso las fibras cerámicas de Alúmina a granel), queda de la siguiente manera:

**EVALUACIÓN CUALITATIVA**

**EVALUACIÓN CUANTITATIVA**

MATERIAL	Corrosión	TRABAJABILIDAD	COSTO - (50%)	RESIST. A TENSIÓN -(25%)	CONDUCT. TÉRMICA (15%)	PUNTO FUSIÓN - (10%)	ÍNDICE REND. (PUNTOS)
<b>FIBRAS DE ALÚMINA A GRANEL</b>	EXCELENTE	EXCELENTE	35.526	16.66	15	15	<b>82.193</b>
<b>FIBRAS DE ACERO DE MEDIO CARBÓN</b>	MALA	MALA	48.214	25	0.064	7	80.27
<b>PARTÍCULAS DE POLVO CERÁMICO RECICLADO</b>	EXCELENTE	MUY BUENA	45	17.83	10	1.5	74.33

El resultado mayor de esta Selección corresponde a las Partículas de Cerámica Reciclada, las cuales van a ser las que van a reforzar a la matriz de liga mejorando así la resistencia a la fractura del Material de la Propuesta.

Tabla 16. – Resumen de la Evaluación de Materiales para la Fase dispersa del Material de la Propuesta

**RESUMEN DEL RESULTADO DE LA SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES COMPONENTES PARA EL CASO DE LA PROPUESTA DE APLICACIÓN DEL MATERIAL: (paso 7 del Modelo referente a la Obtención del material)**

Aquí resumimos los resultados que el método propuesto determinó para la fabricación del Componente o Elemento a utilizar en muros de mampostería de tipo aparente, referido anteriormente como aplicación del material:

Por lo tanto, el material que se propone será de tipo Compuesto de matriz Cerámica de arcilla en combinación con un Dispersoide o refuerzo por precipitación de Fibras cerámicas de Alúmina. 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 el siguiente inciso del presente capítulo se determinarán las Pruebas físicas del material para así determinar si es un material óptimo para tal aplicación y para la comprobación de las metodologías usadas. Lo anterior por medio de pruebas en laboratorio respetando las normas de ensaye respectivas tanto para Compresión y Cortante de la Norma Oficial Mexicana. A continuación pasaremos al punto 8 y penúltimo del modelo que se refiere a la Caracterización del material en cuestión.

## **IV.2. – FABRICACIÓN DE MODELOS FÍSICOS (BLOQUES Y ESPECÍMENES) COMO ELEMENTOS PARA PRUEBAS Y EVALUACIÓN FINAL DEL MATERIAL PROPUESTO; Caracterización y Comprobación del método (paso número 8 y penúltimo del modelo propuesto)**

En esta parte del trabajo experimental, nos va a permitir determinar las características del material para su aplicación final, y comprobar que la metodología planteada para la Selección de Materiales es confiable, y también dentro del marco del modelo ANUMARQ para su aplicación; además es donde también comprobamos el funcionamiento del método de Selección y evaluación de materiales.

Esta parte se refiere al 4° paso en la guía o Metodología de Selección de materiales, por lo que ya se ha explicado su importancia y por qué de hacer pruebas con especímenes y componentes en laboratorio. Como se ha explicado, se harán varios grupos de especímenes (cilindros, bloques, pilas y muretes) del material de la Propuesta para obtener por medio de Pruebas destructivas las Propiedades en resistencias mecánicas tanto a compresión como de esfuerzo cortante, lo cual nos va a servir para saber el comportamiento del material del caso de estudio; y así poder proponer ciertas aplicaciones en Arquitectura, y ejemplificar mejor el modelo ANUMARQ.

### **IV.2.1. – Determinación de los especímenes para pruebas previas**

Esta Parte del Proceso experimental del trabajo nos va a determinar el tipo de espécimen ideal para la mejor obtención de resultados durante las pruebas de laboratorio; para obtenerlo, debemos de considerar su geometría y sus dimensiones lo cual influye directamente sobre los resultados de las pruebas mecánicas. Para determinarlo, hemos diseñado un experimento con ayuda de la probabilidad y de la estadística mediante la teoría de los Diseños factoriales<sup>43</sup>; en donde se realizaron pruebas con dos tipos de especímenes cilíndricos de distinto diámetro y altura para determinar los efectos de estos factores en el material, teniendo como variable de respuesta las fisuras en el sinterizado de los especímenes; y por medio de un análisis de varianza (ANOVA) cuyos detalles del experimento se muestran en los anexos del presente documento, se evaluarán dichos efectos en el material de la propuesta.

Con el mismo procedimiento estadístico determinaremos la solución para el producto del material a diseñar, mediante el control de los factores que se involucren o influyan en las Pruebas físicas. Para el caso propiamente de la propuesta (opción de un bloque cerámico para mampostería), los factores que debemos controlar serán: % de perforaciones del elemento, temperatura de sinterizado y % de fibras o reforzamiento del mismo. Todo ello será de gran utilidad para la determinación final de las propiedades del material y propiamente del producto final para la aplicación en cuestión; teniendo como variable de respuesta, en este segundo experimento, las resistencias de tensión diagonal y cortante del sistema de murete hecho con el elemento de la propuesta.

### **IV.2.2. – Determinación del Modelo físico (material) y elemento o componente a fabricar con el material de la propuesta**

Teniendo el material a emplear en la fabricación del Componente y a su vez también la aplicación que consta de muros de mampostería aparente, mediante el producto que hemos definido como un *bloque hueco de cerámica de arcilla cocida*, nos queda solamente realizar las pruebas en laboratorio para definir sus propiedades técnicas, lo cual servirá para poder ser aplicado dicho producto y material a la industria de la Construcción y a su vez será el último paso del modelo ANUMARQ de aplicación y evaluación de nuevos materiales Compuestos en la Arquitectura y Construcción.

Sabemos que el material que proponemos es un Compuesto Cerámico con Matriz de arcilla y dispersoide de fibras de Alúmina, en donde el procesamiento de fabricación será el moldeo a temperatura ambiente y conformación por Sinterizado. También sabemos que será un bloque hueco de cerámica, para su aplicación en

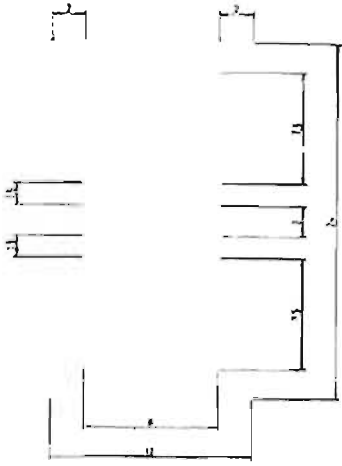
---

<sup>43</sup> El procedimiento del análisis del Diseño experimental fue realizado de acuerdo con el diseño tipo Factorial de dos niveles resumido del texto "Design and Analysis of Experiments" escrito por: Douglas C. Montgomery.

muros de mampostería para fines de construcción de edificios no mayores de 13 metros o de tres niveles como lo marca el reglamento de construcciones vigente para muros con este material; asimismo orientamos nuestra aplicación a una zona sísmológica intermedia o de transición. Teniendo lo anterior en cuenta, mostraremos el elemento a probar y haremos su descripción técnica acompañada de valores<sup>44</sup> que nos servirán como parámetros de diseño del elemento (bloque), los cuales ya los hemos determinado con anterioridad pero que los requerimos aquí para su evaluación y comparación con el material de la Propuesta.

**BLOQUE HUECO DE CERÁMICA DE ARCILLA COCIDA DE 12 X 24 X 6 CMS.**, con un 40% de huecos o perforaciones como lo marca la norma 025- M.11, inciso (b) y en relación con las paredes del bloque definido por la norma 025- M.10, incisos a y b, de las Normas de calidad de materiales de la SCT del libro 4, basadas en las NOM o NMX vigentes. También dicho elemento tendrá caras externas lisas, como marca la norma 025- M.02 del tipo I; en lo referente a la absorción de humedad se determinará bajo la norma 025- M.04 incisos a y b, de las mismas normas de calidad de materiales o la NMX C- 37 para absorción que se refieren a las mismas bases. Las resistencias mecánicas de Compresión y Cortante se determinarán de acuerdo con la norma NMX C36 equivalente a la 025- M.05 de la SCT; y en lo referente a su fabricación y acabado estará dentro de las normas 025- M.06, 07 y 08 de las mismas Normas de la SCT. En lo que respecta a la tolerancia en las dimensiones del Bloque se hará de acuerdo a la norma 025- M.09 a 16 de las normas de la SCT/ NOM.

La figura siguiente muestra el elemento a Fabricar y a Evaluar:



**OBSERVACIONES**  
 Bloque cerámico de arcilla cocida de 24 X 12 y 6 de altura  
 Superficie de perforaciones 45% como lo marca la Norma Técnica  
 025- M.11 (norma de calidad de los materiales, SCT/NOM)

Figura 22 – Elemento del material de la propuesta (aplicación del material) a Evaluar mediante pruebas físicas en Laboratorio

<sup>44</sup> Dichos valores fueron obtenidos del Reglamento de construcciones vigente, inciso 2.4, referente a Mampostería

## FABRICACIÓN DEL ELEMENTO (BLOQUE HUECO DE CERÁMICA REFORZADA)

### Objetivos

- Producir en el ámbito de laboratorio un Bloque hueco cerámico, descrito en el punto anterior, y evaluar sus propiedades comparándolo con uno similar de existencia en el mercado.
- Aplicar los pasos de producción de un Bloque cerámico. Establecer la granulación, compacidad y cantidad de agua para la mejor trabajabilidad del Compuesto.
- Conocer las características y propiedades que deben tener los Bloques de este tipo.
- Analizar el comportamiento de los Bloques ante posibles eventos que serán emulados mediante ensayos de laboratorio (Compresión y Cortante)
- Ver que propiedades debe tener la arcilla con la cual se hacen los Bloques. Asimismo analizar el tipo de fibras que se propone para el reforzamiento de la matriz de arcilla.
- Conocer cómo se deben analizar las posibles fallas de un Bloque cerámico, mediante los resultados que arrojen los ensayos de laboratorio.

### Procedimiento

El procedimiento que se debe seguir para la producción de un Bloque cerámico, según lo expuesto en las normas NMX descritas en el inciso IV.2.2. de la presente investigación, es el siguiente:

#### SELECCION DE LA MATERIA PRIMA

Al principio de este capítulo se ha revisado todo lo referente al método de selección de materiales y a la evaluación de las materias primas a utilizar en determinada aplicación; lo que se mostrará enseguida se refiere a la Composición química de la arcilla seleccionada mediante el método por comparación del presente trabajo, lo cual ya se analizó.

- Contenido de Alkalies and Acids: menor del 0.2%.
- Sustancias solubles (sales: sulfato sódico, sulfato de magnesio): menor al 0.04%.
- Piritas (Sulfuros de Hierro). Su exceso puede producir una deposición sulfúrica, en el momento de la cocción, ocasionando coloraciones indeseables y agrietamiento sobre el material.
- Contenido de Alúmina: 20% - 30%: Imparte plasticidad a la arcilla, y un exceso provoca contracciones altas en el secado.
- Contenido de Sílice: 50% - 60%: Da baja contracción, previene el agrietamiento, imparte formas uniformes al Bloque. Asociada con la durabilidad. Su exceso disminuye la cohesión entre partículas.
- Oxido de Hierro: Imparte coloración rojiza a la cerámica, previene que la cal produzca la función de la arena. Su exceso produce una coloración azul oscura (generalmente no ocasiona otra molestia).
- Cal : Debe estar dispersa (diámetro 0.2 mm) o sea cal viva más agua. Es un fundente que permite bajar la temperatura de fusión de la sílice. Si hay un exceso puede fundir demasiado provocando agrietamiento y deformación de la pieza.

- **MgO** : Imparte coloración amarilla a la cerámica. Ayuda a decrecer la deformación. Sé exceso produce deterioro por expansión de la superficie.

- Además la arcilla debe tener un bajo contenido de material orgánico para que en el proceso de la cocción no queden espacios vacíos por el consumo de este material.

#### ADECUACION DE LA MATERIA PRIMA

- **Ajuste granulométrico:** Dependiendo de la finura de la arcilla ésta tendrá mayor o menor grado de plasticidad. El ajuste para la propuesta se hará por medios manuales, lo mismo para el caso de la Compacidad.

- **Ajuste por contracción:** consiste en agregar arena o arcillas no plásticas u otros polvos.

- **Ajustes por humedad:** Se realiza teniendo en cuenta las especificaciones dadas por los límites de Atterberg<sup>45</sup>.

- **Mezcla homogénea:** se debe lograr una misma composición en toda la matriz ya sea por batidora o por otros procesos mecánicos y más aún en el caso de nuestra propuesta en donde reforzamos a la matriz por medio de fibras cerámicas.

#### MOLDEO

Depende del proceso de producción, en este caso se utilizará un molde para dar la forma al material. Se debe establecer un valor para la Compacidad del material en el moldeo.

#### SECADO

Tiene por objeto eliminar la humedad libre y parte de la combinada con una exposición al ambiente de las piezas, lo cual se hace así por costos y velocidad de contracción, lo que nos da una mejor calidad.

#### COCCION O SINTERIZACIÓN DEL MATERIAL

Proceso mediante el cual se somete al fuego el material moldeado y seco, para producir una sinterización intensa de la arcilla, y una vitrificación adecuada.

Estos procesos de cocción se deben llevar a cabo manejando una curva de temperaturas de la cual dependerán varias de las características del bloque, ya que si es mal manejada esta curva pueden haber problemas con el bloque, por ejemplo la generación de esfuerzos residuales en el bloque, produciendo agrietamientos.

#### PROPIEDADES DE LOS BLOQUES Y SU NORMALIZACION

Existen unas normas para los ensayos que se hacen a los Bloques, la norma NMX- C-006.

La normalización de los bloques consiste en producir unos datos estándares para poder compararlos con otros bloques similares, y así poder clasificarlos. El reglamento de Construcciones marca en el inciso referente a Muros de Mampostería, estos tipos de bloques y su clasificación.

---

<sup>45</sup> Se refiere a los límites que se presentan para hacer un ajuste de granulometría en el material y se refiere a que no haya saturación entre las partículas que conforman el material, para el caso de las arcillas éstas varían dependiendo de su composición química, principalmente por sus características plásticas, como pueden ser porcentajes de alúmina y sílice, entre otros materiales similares.

## Ejecución del Procedimiento anterior

Teniendo en cuenta el proceso de producción dado en el punto anterior, podemos afirmar que el proceso por nosotros seguido fue algo más empírico; más sin embargo efectivo para nuestros fines de ensayos; acerca de la teoría de lo que se hace realmente en una Bloquera, en donde el bloque es cocido en hornos industriales y en donde se puede controlar de mejor manera una curva de temperaturas y la compacidad es por medios mecánicos. A continuación se hará una descripción del proceso que se siguió:

### SELECCION DE LA MATERIA PRIMA

En el momento de seleccionar el tipo de arcilla tuvimos en cuenta aspectos como su color y textura, pero lo más importante fue que en nuestro procedimiento del método de Selección por comparación tomamos como parámetros de Diseño a la Resistencia a tensión simple, corrosión, fusión y costo, lo cual nos arrojó los mejores resultados entre la lista de materiales evaluados. A nuestro parecer, la arcilla que mejores condiciones presentó, ya que esta fue la de mayor plasticidad, consistencia, homogeneidad y moldeo al adicionarle agua, a pesar de parecer un poco arenosa, fue la de un estrato de la zona de Hidalgo, que analizamos previamente en laboratorio del Instituto de Materiales de la UNAM. Y lo que se refiere al tipo de fibra que seleccionamos, fue por medio de escoger también la técnica de reforzamiento 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.



Figura 23 – Selección de los estratos de arcilla a usar

### ADECUACION 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 (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. Estamos hablando de 0.15 a 5 micras para la matriz de liga (arcilla). Lo concerniente 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. Para conocer información de éstas fibras véase el anexo correspondiente y la figura siguiente. En lo referente al ajuste por contracción se agregó 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 utilizó 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 kgs. de arcilla o 66 grs. de fibra por cada bloque de 1.6 kgs. Con un costo de fibra por bloque de 1 peso, sumado al costo de 0.70 centavos de la arcilla más el sinterizado, da un total de 3 pesos más la comercialización da un total de 4 pesos aproximadamente, precio similar al del material que vamos a comparar más adelante en el inciso de los resultados.



Figura 24 – Fibra cerámica de Alúmina a granel para reforzamiento del material

## MOLDEO

Ya con una arcilla de granulometría adecuada, procedimos a terminar de mezclarla con agua hasta que alcanzara su estado plástico. Esto lo pudimos conocer mediante una prueba que consiste en moldear una muestra de la matriz, dándole forma esférica, además de las pruebas previas que realizamos con especímenes cilíndricos. Cuando al aplastar esta muestra no se presentan fisuras en su contorno. Lo concerniente 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. 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 molde para que no quedara en capas dentro del molde. Esta presión se hizo de manera manual mediante la presión de la tapa del molde, por tanto, la Compacidad ejercida fue la del peso de la tapa del molde más la presión ejercida a mano durante el moldeo de la pieza, esto se calcula aproximadamente en 11 kgf, véase el molde en la figura siguiente:

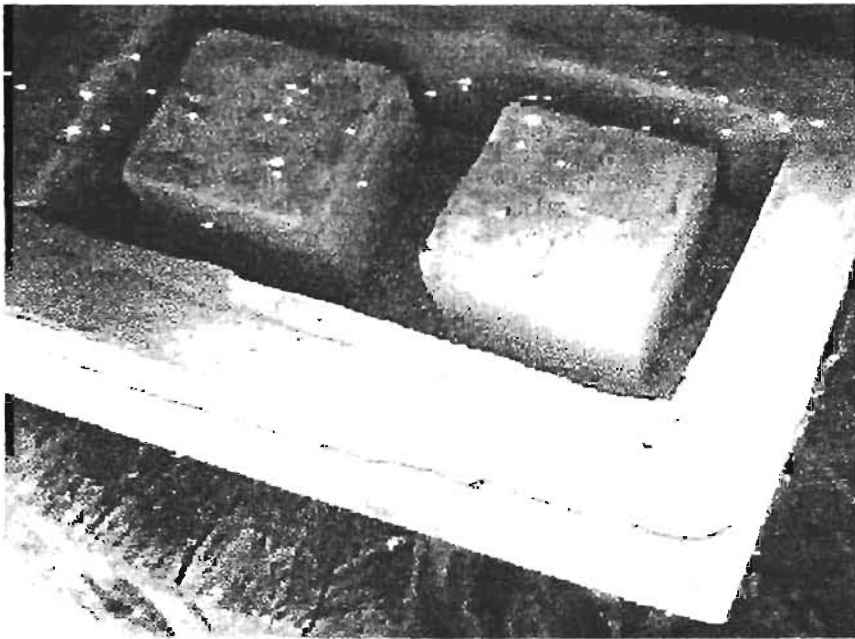


Figura 25. Molde de yeso para la fabricación de los bloques de cerámica reforzada

#### SECADO

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



Figura 26 – Moldeo y secado de los bloques de cerámica reforzada para pruebas

#### COCCIÓN

El sinterizado se llevó a cabo en un horno de cámara de cañón durante 6 hrs., 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 líquida y sólida, principalmente tomando en cuenta los materiales fundentes como sílice y las cales que conforman la arcilla, es decir, los silicatos.

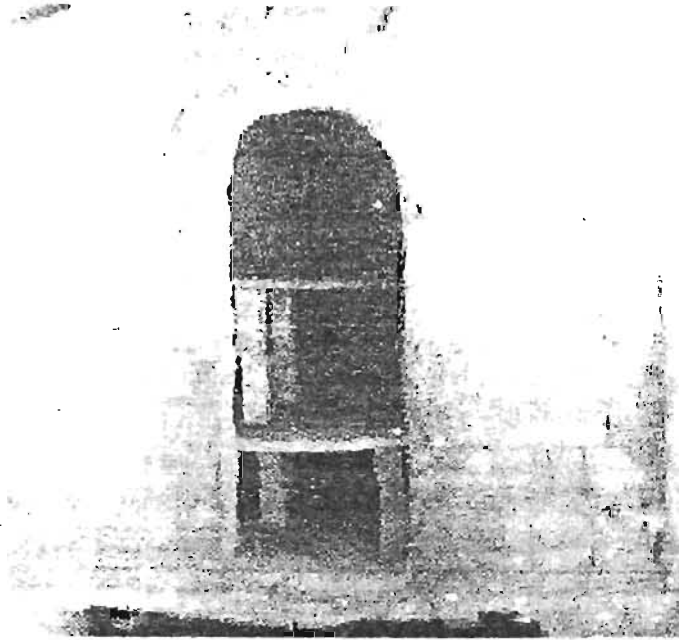


Figura 27 – Horno de gas para Sinterización de elementos de cerámica, que funciona a 800° C.

## NORMALIZACION

Se les hicieron varias pruebas a los Bloques para compararlos con las normas estándares del mercado en lo referente al procedimiento de fabricación y referente también a su dimensionamiento, en lo que concierne a ensayos de resistencias mecánicas se verán más adelante cuando se tengan determinados estos elementos o piezas para sus pruebas destructivas.

La determinación de la densidad real y densidad aparente por medio del cual se midió la porosidad fue la siguiente: para hallar la densidad real se tomo una muestra pulverizada del material que quedó después del ensayo mencionado anteriormente. Esta muestra se pesa y posteriormente se sumerge en una probeta con un volumen de agua establecido para así establecer el volumen del material a través del desplazamiento de la superficie de agua.

Para hallar la densidad aparente se sigue dos métodos denominados peso suelto y peso compactado. Peso suelto: se toma un recipiente del cual se conoce su volumen y su peso. Poniendo dentro de éste una muestra del material pulverizado de manera que quede lleno el recipiente, luego se pesa, y así hallamos el peso y el volumen de la muestra, con lo cual se encuentra la densidad. Peso compactado: Se repite el procedimiento anterior, con la única diferencia que al echar la muestra al recipiente, se le hace una fuerza de 11 kgsf para que quede compactado.

Otro ensayo es el de absorción de humedad, el cual se hizo mediante la norma NMX C- 037, resumida de la siguiente manera: se procedió a meter los bloques al horno 12 horas, cerca de los 150 grados centígrados, para eliminar completamente la humedad, luego se halló su peso cuando estaban secos, y se sumergieron en agua otras 12 horas, hasta el punto de saturación. Cuando se sacaron, se secan superficialmente y se pesan nuevamente. Con estos datos se halla el porcentaje de absorción parcial y el total se hace después del sinterizado.

Los resultados de estos ensayos serán expuestos en la sección llamada Presentación de Resultados acompañados de los resultados de las pruebas destructivas, de este mismo capítulo.

### **PARÁMETROS DE DISEÑO NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DEL BLOQUE CERÁMICO:**

Requerimos que nuestro elemento (bloque hueco para muros) supere los siguientes parámetros mínimos de Diseño que marca las Normas Técnicas del Reglamento de Construcciones vigente, inciso 2.4. referente a Mampostería y un bloque similar de los del mercado, para este caso de comparación utilizaremos el de ARCICONSA de las mismas dimensiones al del caso experimental.

Bloque comercial de marca *ARCICONSA*:

- Resistencia a Compresión para sistemas de muro de mampostería: 47 Kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia al Cortante para el sistema: 2.5 Kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia al Aplastamiento: 0.6 de la resistencia a Compresión = 28.2 Kg/cm<sup>2</sup>
- Modulo de Elasticidad: 350 veces la resistencia a la Compresión = 16, 450 Kg/cm<sup>2</sup>
- Modulo de Cortante: 0.3 de E = 4, 935 Kg/cm<sup>2</sup>
- Costo: 4. 50 por pieza. (puesto en obra)

Por lo tanto el nuevo material se evaluará de acuerdo a los métodos de Ensaye del siguiente inciso.

### **IV.3. – Evaluación final y Pruebas de laboratorio del elemento del material de la propuesta**

Para la evaluación del material de la Propuesta se realizarán las pruebas de acuerdo al método de ensayos que rige el reglamento de Construcciones y que marca la Norma Oficial Mexicana NOM C36, la cual se resume en el Diseño del elemento que se empleará un valor de resistencia a Compresión medido sobre un área bruta de un murete, el cual se determinará por un 98% del total de las pruebas destructivas. Asimismo para las pruebas de Cortante se usará la misma norma C36 y las otras normas citadas en el anterior inciso para pruebas de resistencia mecánica; en lo referente a las normas a usar para los morteros a emplear en el sistema de mampostería del murete, se hará de acuerdo a la norma C61. Particularmente en las pruebas de Compresión y de cortante, las resistencias se obtendrán de la siguiente manera:

#### **Para la obtención de la Compresión simple**

Estas pruebas se realizarán sobre pilas construidas con las piezas (bloques huecos) y los morteros que marca el reglamento como líricos con proporciones cal- cemento- arena de 1:2.5:4. Las pilas estarán formadas por lo menos de tres piezas sobrepuestas, pero en nuestro caso utilizaremos pilas de 5 piezas. La relación altura- espesor de la pila estará comprendida entre 2 y 5; las pilas se ensayarán a la edad de 28 días. Para el almacenamiento de los especímenes, el cabeceado y el procedimiento de ensaye se seguirán, en lo que sean aplicables, las normas que rigen para el ensaye a Compresión de cilindros de concreto de la norma oficial mexicana NMX C83. Asimismo se corregirá con un factor de esbeltez que marca el reglamento de construcciones en el inciso 2.4.1. de las normas técnicas complementarias, en la página 12 de las mismas. Y el cálculo será dividir la carga última entre el área bruta de la pila de manera axial, y corregidos por esbeltez.

Así pues, la resistencia a Compresión se obtendrá con la siguiente fórmula:

$$\text{Resistencia Compresión de Diseño} = R_c / 1 + 2.5 C_m$$

En donde:

$R_c$  = media de las resistencias a la Compresión de los muretes ensayados y corregidas por esbeltez.

$C_m$  = Coeficiente de variación de la resistencia a Compresión en los muretes y las piezas ensayadas = 0.15

**Corrección por esbeltez:** para nuestro caso experimental la relación de esbeltez se calculará con la siguiente fórmula: altura del murete/ espesor del murete, que debe ir de 2 – 5<sup>46</sup>, de la siguiente manera:

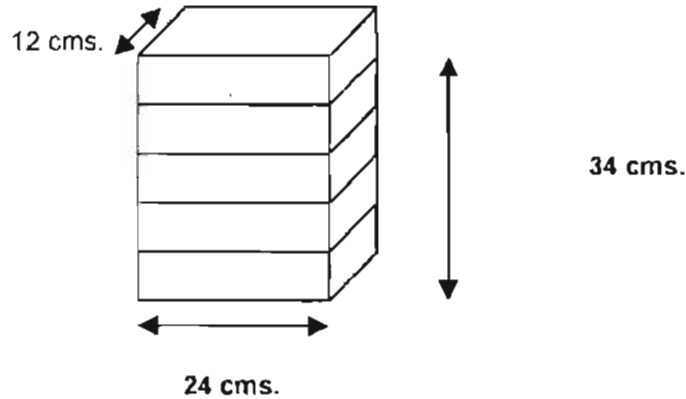


Figura 28 – Dimensiones de las pilas promedio para las pruebas físicas de Compresión Simple

**Factor de esbeltez** = altura de la pila/ espesor de la pila =  $34/12 = 2.83 \approx 3$ , y según la norma técnica complementaria<sup>47</sup> el factor correctivo para el valor 3 es = 0.90

Por lo tanto, la Resistencia a Compresión del murete o pila del caso experimental o de estudio se calculará como sigue:

$$R_c = R_{\hat{c}} (0.90) / 1 + 2.5 C_m$$

En donde:

$R_c$  = resistencia a la Compresión para el murete o pila.

$R_{\hat{c}}$  = media de las resistencias a compresión de los muretes o pilas ensayados

(0.90) = factor de esbeltez para el caso de estudio

$C_m$  = Coeficiente de variación de la resistencia a Compresión de los muretes o pilas ensayados = 0.15

El cabeceado del murete o pila será el mismo que se utiliza en las pruebas con cilindros (NMX C83) y los muretes se ensayaran a los 28 días de su construcción, como lo señalan las normas técnicas vigentes

**Nota importante:** para calcular la resistencia a Compresión por pieza o bloque, la fórmula será la misma solamente no se considera el factor de esbeltez y el Coeficiente de variación de ensayos es = 0.20, en lugar de 0.15.

### Para la realización de las pruebas por Compresión diagonal

Se aplicará la carga axial en una máquina de pruebas universal a lo largo de la diagonal del murete, todo ello para obtener una carga última sobre la diagonal del sistema o murete en este caso de estudio. Obtendremos un esfuerzo o carga última la cual nos servirá para calcular la resistencia al Cortante del murete.

<sup>46</sup> Según la norma técnica complementaria NOM C36

<sup>47</sup> Normas técnicas complementarias, inciso 2.4.1. de la página 12.

Dicho murete se realizará con una longitud de al menos 1 y ½ la máxima dimensión de la pieza o bloque y que la altura sea igual a la longitud.

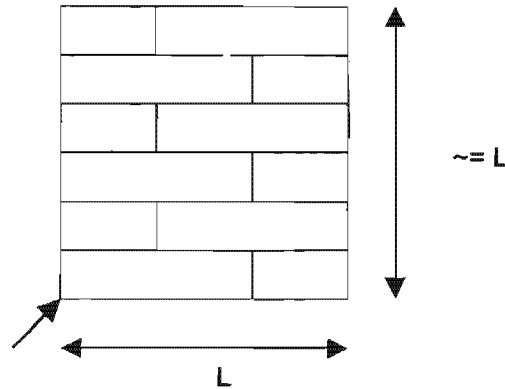


Figura .29– Murete para prueba<sup>48</sup> por Tensión Diagonal para la obtención del Cortante

### Para la obtención del esfuerzo Cortante de Diseño

Para el cálculo del Cortante en las pruebas con murete utilizaremos la misma norma NMX C36 y el mismo procedimiento, con la diferencia de que el esfuerzo cortante medio se determinará dividiendo la carga máxima entre el área bruta del murete sobre la misma diagonal, usando la siguiente formula:

$$V = v / 1 + 2.5 C_v$$

En donde:

V = Esfuerzo cortante del murete

v = El promedio de todos los esfuerzos cortantes de los ensayos en los muretes

Cv = Coeficiente de variación para cortante (0.20)

### IV.3.1 –Pruebas físicas destructivas de Compresión simple sobre pilas del material de la propuesta

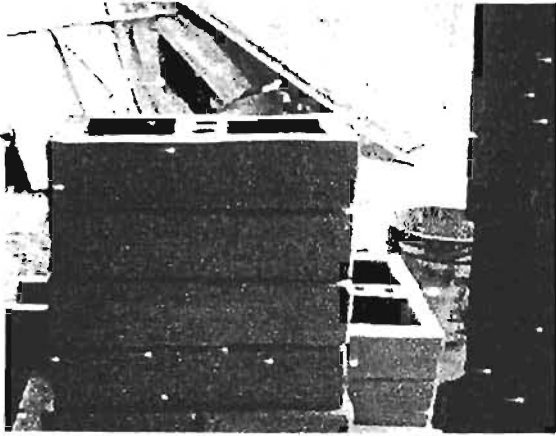
Utilizaremos como ejemplo, una prueba de una pila perteneciente a una corrida de 6 pilas según marca el reglamento, para la ilustración del procedimiento de pruebas destructivas sobre las pilas del material del caso de estudio, y mostraremos los resultados en el inciso correspondiente.; así mismo mostraremos la gráfica de esfuerzo-deformación en el momento de la falla de la pila seleccionada, para la determinación de la resistencia a la Compresión S. del sistema del material en cuestión.

#### 1º. – Fabricación de las pilas<sup>49</sup> como se muestra en la siguiente figura:

Primero, la siguiente figura muestra las piezas del material de la propuesta para la fabricación de las pilas para pruebas a Compresión:

<sup>48</sup> Según la norma técnica NMX C36

<sup>49</sup> Mediante las normas que se han descrito en incisos anteriores (inciso III.4.2.)



Piezas a utilizar para la fabricación de las pilas.

Figura 30 Piezas del material de la propuesta para la fabricación de pilas para las Pruebas a Compresión

Por lo tanto, y siguiendo con el procedimiento ya descrito, previamente se humedecen las piezas para proceder a su asentamiento con mortero cal- cemento- arena en proporción 1- 2.5- 4, de la siguiente manera:



Figura 31 Pila promedio de 33.7 cms. de altura X 24 cms. de ancho para pruebas de Compresión

**2º. – Ejecución de las Pruebas destructivas en Laboratorio, como lo muestran las siguientes figuras:**

En las siguientes figuras se muestra el procedimiento empleado en la ejecución de las pruebas destructivas, la primera, ilustra el cabeceado de las pilas para evitar diferencias de cargas, la segunda figura muestra la colocación de la pila<sup>50</sup> en la Máquina universal para su subsiguiente destrucción:

<sup>50</sup> Dicha pila se puede observar en la figura previamente instrumentada para así obtener las lecturas de los momentos, lo cual nos servirá más adelante en la obtención del módulo de elasticidad del material de la propuesta por el método de lectura de momentos.



Figura 32 Piezas cabeceadas, pilas y muretes para las distintas pruebas físicas sobre el material

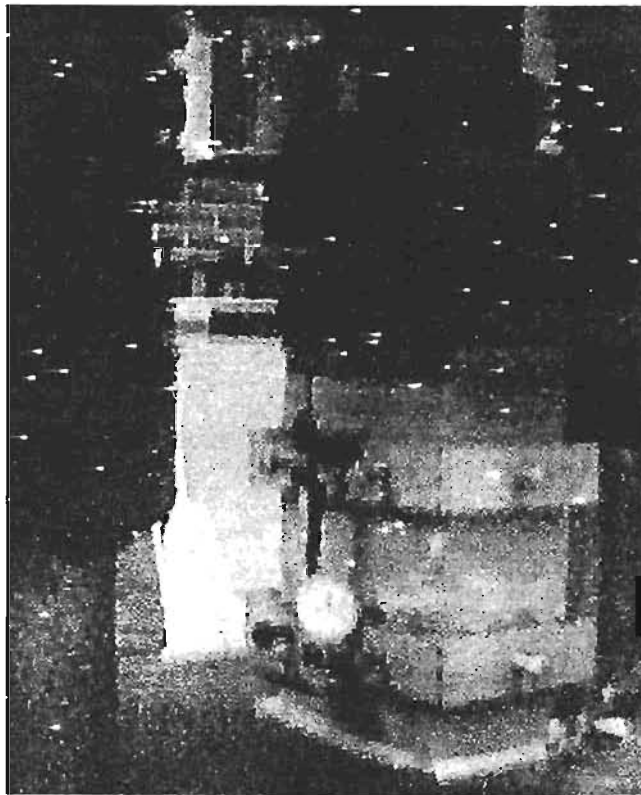


Figura 33 Colocación e instrumentación de una pila del material para pruebas de Compresión y obtención de lecturas de momentos para módulo de elasticidad

**3° – Momento de la falla en la pila de muestra, (véase también la gráfica generada por la maquina de pruebas en las siguientes figuras)**

Las siguientes figuras muestran el momento de falla en la prueba de Compresión simple de la misma pila y su gráfica correspondiente:



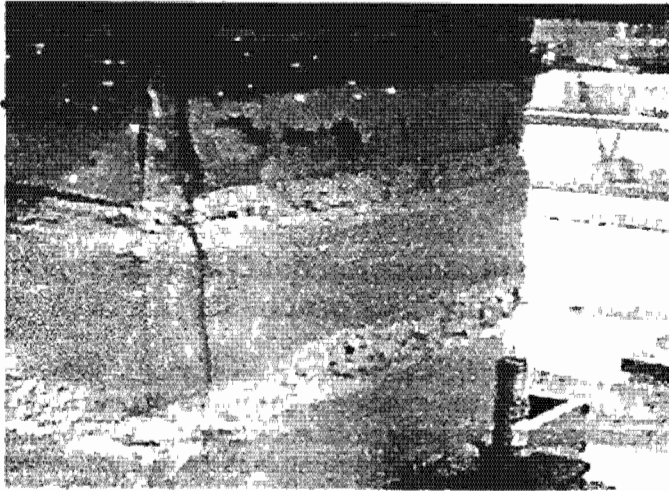


Figura 34. Momento de falla de la pila en prueba de Compresión simple

A continuación se muestra una gráfica que revela el momento de la falla de la pila, observándose el esfuerzo en Kilogramos y su deformación en milímetros:

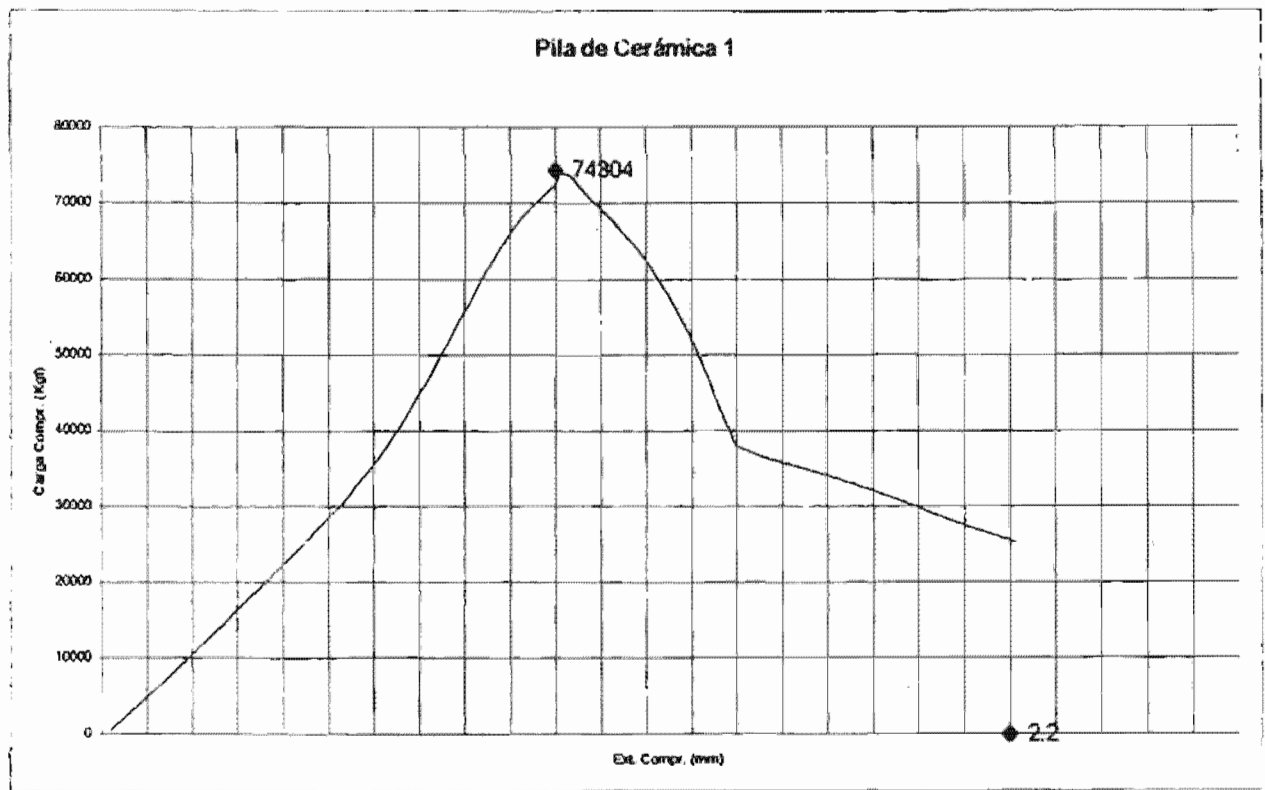


Figura 35. Gráfica de Esfuerzo – Deformación de la prueba de Compresión Simple sobre una Pila de un grupo de 6

Resumen de la prueba:

Tiempo transcurrido (seg): 16.50  
 Material: Cerámica reforzada

Operador: Dn. Pancho  
Nombre del procedimiento: Compresión Simple  
Fecha de ensaye: 19/01/04  
Probado por: Silverio

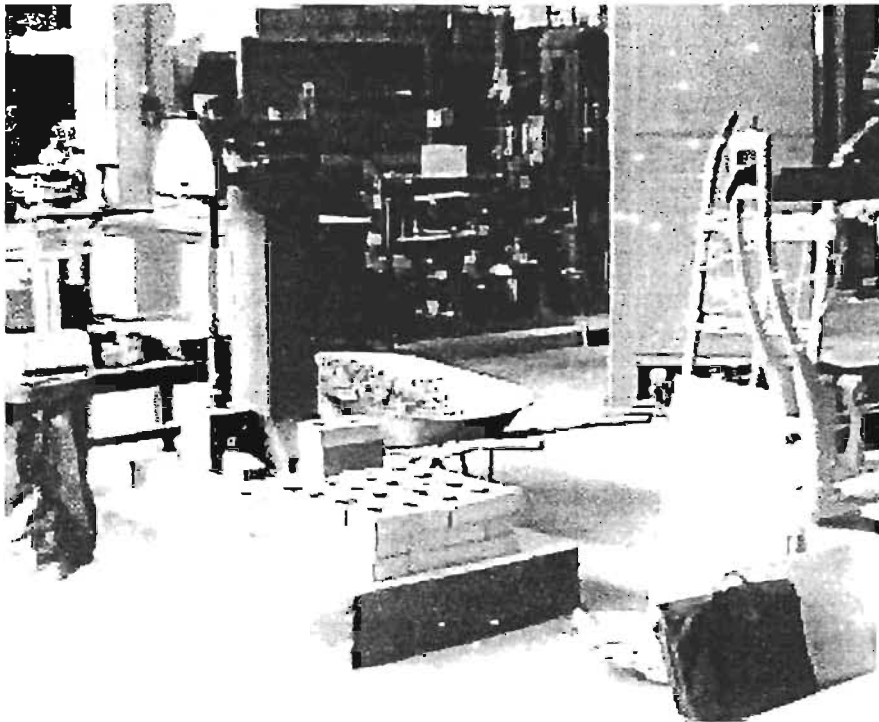
Carga máxima (Kgf): 74,304  
Área bruta ( $\text{cms}^2$ ): 816  
Resistencia a Compresión S.: ( $\text{Kgf}/\text{cm}^2$ ): 91.05

#### IV.3.2. – Pruebas físicas destructivas para la obtención del Cortante por Tensión diagonal sobre muretes del material de la propuesta

En este tipo de pruebas utilizaremos el mismo procedimiento anterior para ilustrarlo. Utilizaremos como ejemplo, un murete perteneciente a una muestra de 6 muretes según marca el reglamento, para la ilustración del procedimiento de pruebas destructivas sobre los muretes del material del caso de estudio, y mostraremos los resultados en el inciso correspondiente.; así mismo, a continuación mostraremos la gráfica de esfuerzo-deformación en el momento de la falla del murete seleccionado, para la determinación de la resistencia de esfuerzo Cortante del sistema del material en cuestión.

1º. – Fabricación del murete<sup>61</sup> como se muestra en la siguiente figura:

Primero, la siguiente figura muestra las piezas a usar en la fabricación del murete:



Piezas a utilizar para la Fabricación de los muretes.

Figura 36. Piezas de los bloques del material de la propuesta para la realización de los muretes para las Pruebas físicas de tensión diagonal y cortante

En la siguiente figura se muestra la fabricación de los muretes los cuales tienen en promedio una altura de 34 cms. y 37 de ancho:

<sup>61</sup> Mediante las normitas que se han descrito en incisos anteriores. (inciso III.4.2.)



Figura 37. Construcción de los muretes en laboratorio para Pruebas de Compresión o Tensión diagonal y Cortante del sistema del material de la propuesta

A continuación se muestra una parte de muretes del material de la propuesta para pruebas a Tensión diagonal, los cuales tienen como medida de su diagonal de 50 cms. en promedio todos los muretes a emplear:

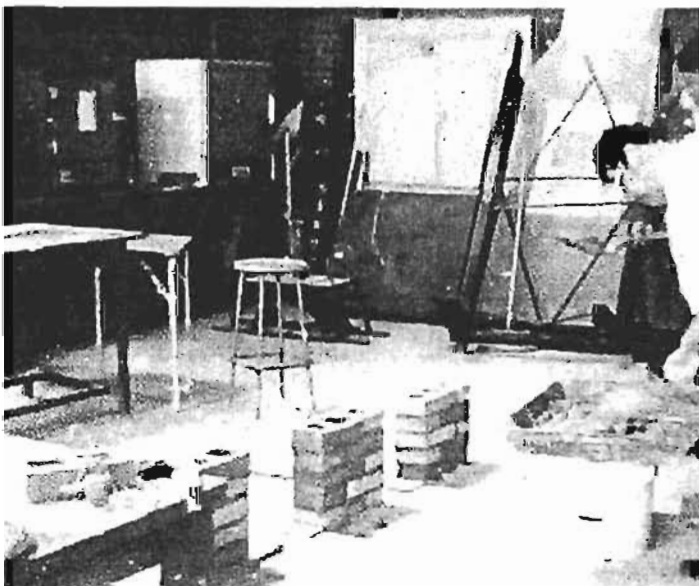


Figura 38. Muestra de muretes del material de la propuesta para pruebas de Tensión o Compresión diagonal

**2º. – Ejecución de las Pruebas destructivas en Laboratorio, como lo muestran las siguientes figuras:**

En la siguiente figura se puede observar la colocación del murete en la maquina de pruebas, de tal manera que se ejerza la carga de manera axial sobre la diagonal del murete lo cual nos va ayudar a determinar la Compresión diagonal ejercida, para así poder calcular por los métodos de prueba ya vistos, el esfuerzo cortante para cada murete:



Figura 39. Colocación del murete en la maquina de pruebas para la obtención de la Compresión Diagonal

**3º. – Momento de la falla del murete de muestra, (véase también la gráfica generada por la maquina de pruebas en las siguientes figuras)**

Por tanto, después de ejercer la carga última se puede notar en la figura el momento de falla del murete:

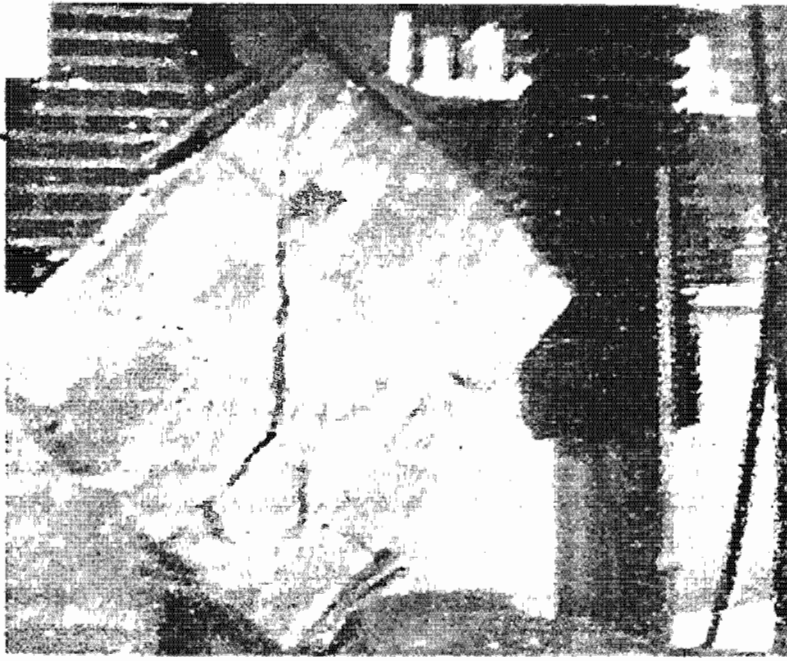


Figura 40. Momento de la falla del murete en pruebas de Compresión Diagonal

A continuación se muestra una gráfica que revela el momento de la falla del murete, observándose el esfuerzo en Kilogramos y su deformación en milímetros:

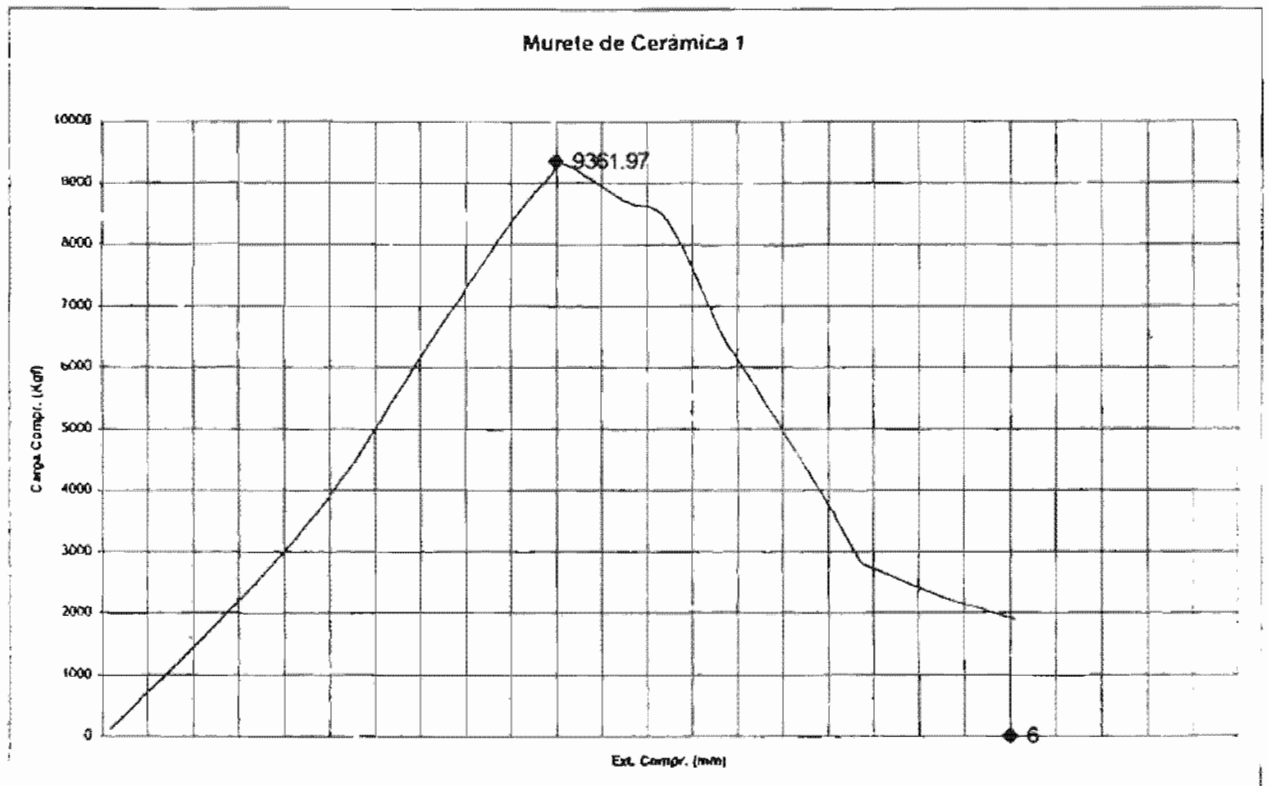


Figura 41. Gráfica de Esfuerzo - Deformación de la prueba de Compresión Diagonal sobre un murete de un grupo de 6

### Resumen de la prueba:

Tiempo transcurrido (seg): 12

Material: Cerámica reforzada

Operador: Dn. Fancho

Nombre del procedimiento: Compresión Diagonal

Fecha de ensaye: 11/02/04

Probado por: Silverio

Carga máxima (KgF): 9,361.97

Área bruta (cms<sup>2</sup>): 1,261.4

Resistencia a Cortante: (Kgf/cm<sup>2</sup>): 7.42

**Nota:** Véase en los anexos, la gráfica de esfuerzo/ deformación correspondiente a la prueba de Compresión diagonal de muretes hechos con bloques de ARCICONSA, mediante lo cual podemos comparar los resultados con nuestro material. Observe también que se obtuvo una resistencia al cortante de 3.35 Kgf/cm<sup>2</sup> inferior al del material de la propuesta. Nótese también en la gráfica que el material de ARCICONSA se deforma en mayor grado que el de la propuesta al momento de la falla, esto debido a su menor resistencia mecánica.

### IV.3.3. –Pruebas físicas de Compresión simple sobre piezas del bloque del material de la propuesta

En este inciso se presenta de manera ilustrativa una prueba de una corrida sobre piezas de los bloques por unidad para la determinación del Esfuerzo a Compresión simple, más adelante se presentarán los resultados para el total de la corrida de la misma manera que las otras pruebas sobre muretes y pilas.

1°. –Pieza o bloque cabeceado como se muestra en la siguiente figura:



Figura 42. Bloques cabeceados para pruebas de Compresión por pieza

2º. – Ejecución de las Pruebas destructivas en Laboratorio, como lo muestran las siguientes figuras:



Figura 43. Colocación de una pieza del bloque en la maquina de pruebas

3º. – Momento de la falla de la pieza de muestra. (véase también la gráfica generada por la maquina de pruebas en las siguientes figuras)

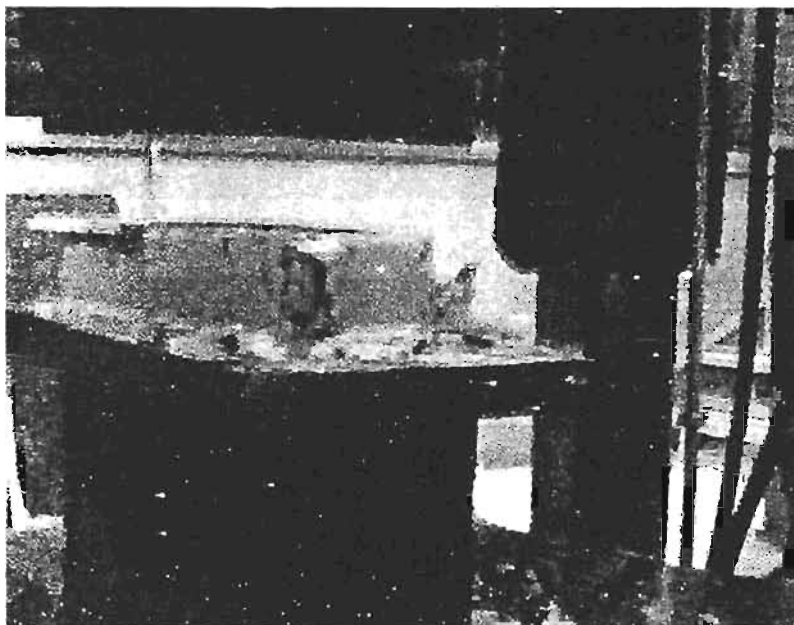


Figura 44. Momento de la falla de la pieza en pruebas de Compresión Simple

A continuación se muestra una gráfica que revela el momento de la falla de la pieza, observándose el esfuerzo y su deformación:

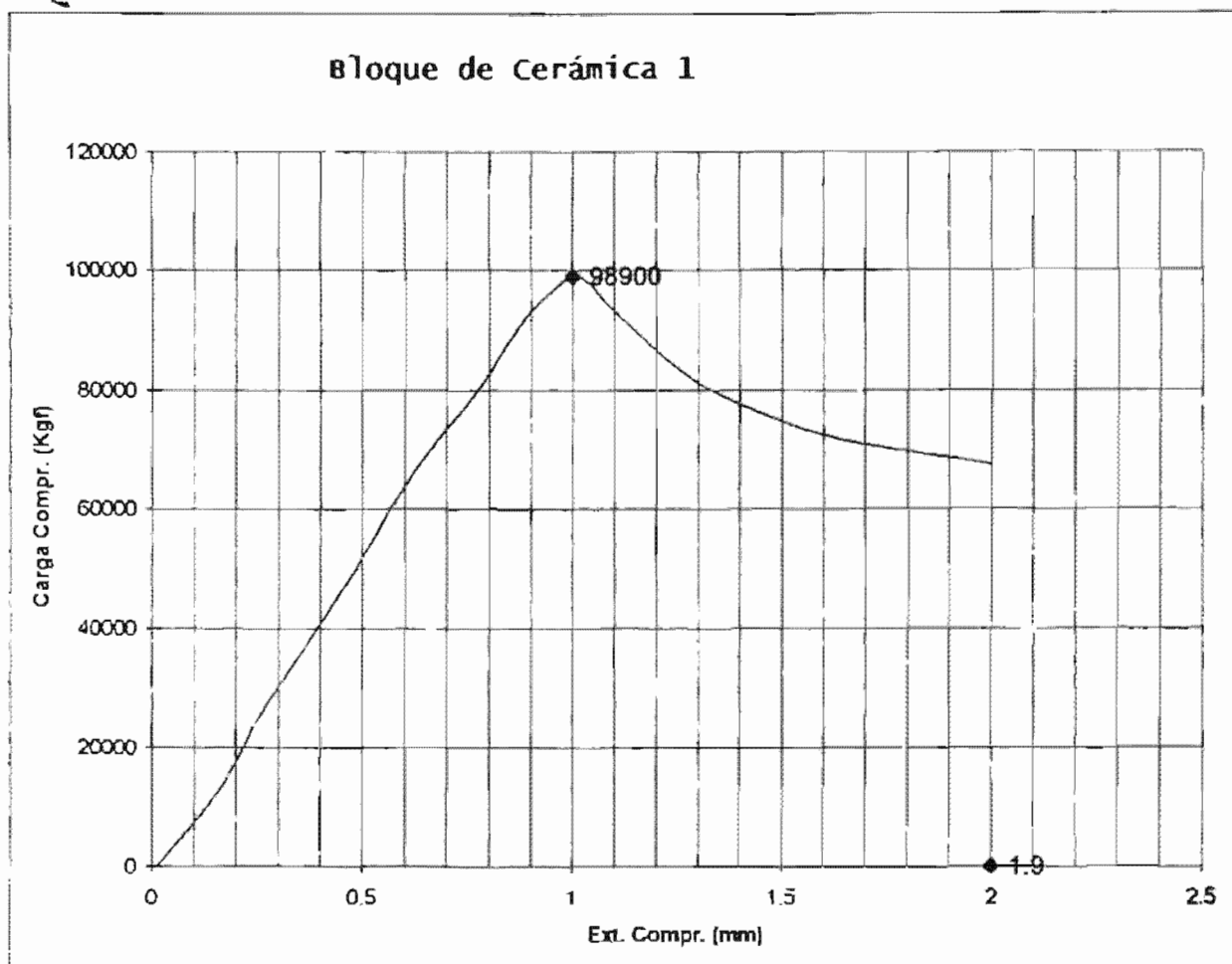


Figura 45. Gráfica de Esfuerzo - Deformación de la prueba de Compresión N° 1 del grupo de 6 piezas

#### Resumen de la prueba:

Tiempo transcurrido (seg): 23.70  
Material: Cerámica reforzada  
Operador: Dn. Mario  
Nombre del procedimiento: Compresión Simple  
Fecha de ensaye: 12/02/04  
Probado por: Silverio

Carga máxima (Kgf): 98,900  
Área bruta (cms<sup>2</sup>): 295.2  
Resistencia a Compresión Simple (Kgf/cm<sup>2</sup>): 335.02



**IV.3.4. – Determinación de las Resistencias de Diseño a Compresión, Cortante, así como de los módulos de Cortante y de Elasticidad de los muretes ensayados y la Resistencia a Compresión simple por pieza o bloque**

Obtención de la resistencia de Diseño a Compresión simple para el material de la Propuesta

**INFORMACIÓN DE LABORATORIO**

<b>RESULTADOS DE PRUEBAS DE COMPRESIÓN SOBRE PILAS</b>						
PILA	1	2	3	4	5	6
ÁREA BRUTA EN CM <sup>2</sup>	816	808.08	813.6	816	820.8	818.4
CARGA DE ROTURA EN KGS	74304	74808	73509	73870	74501.8	73540.72
RESISTENCIA COMPRESIÓN KG/ CM <sup>2</sup>	91.05	92.49	90.75	90.52	90.76	89.85
RESISTENCIA MEDIA	90.90					

Tabla 17. Resultados de pruebas de Compresión sobre pilas del material de la propuesta

Según las normas técnicas ya revisadas para determinar las resistencias de Diseño en sistemas de mampostería y con la información de la tabla anterior, tenemos:

Para obtener la Compresión de Diseño. –

Mediante pilas, con la siguiente formula:  $R_c = R_c (F_{esb}) / 1 + 2.5 C_m$

En donde;

$R_c$  = Promedio de las resistencias a compresión de las pilas ensayadas.

$F_{esb}$  = Factor de esbeltez (0.90)

$C_m$  = Coeficiente de variación de las resistencias ensayadas (0.15)

Sustituyendo, tenemos;

$$R_c = 90.90(0.90) / 1 + 2.5 (0.15)$$

$$= 81.81 / 1 + 0.37$$

<b>RESISTENCIA DE DISEÑO A COMPRESIÓN</b>	<b><math>R_c = 62.93 \text{ Kg/ cm}^2</math></b>
---	--

Obtención de la resistencia al esfuerzo Cortante para el material de la propuesta

**INFORMACIÓN DE LABORATORIO**

<b>RESULTADOS DE PRUEBAS DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES</b>						
MURETE	1	2	3	4	5	6
ÁREA BRUTA EN CM <sup>2</sup>	1261.4	1272.53	1272.8	1268.52	1264.4	1272.24
CARGA DE ROTURA EN KGS	9361.97	8949	9302	9504	9780.24	8931.32
RESISTENCIA AL CORTANTE EN KG/ CM <sup>2</sup>	7.42	7.03	7.30	7.49	7.72	7.05
RESISTENCIA MEDIA	7.33					

Tabla 18. Resultados de pruebas de Compresión diagonal sobre muretes del material de la propuesta

Según las normas técnicas antes revisadas, para la determinación de las resistencias de Diseño en mampostería, tenemos lo siguiente:

Para obtener el Cortante de Diseño, mediante muretes probados a Compresión diagonal:

$$V = v / 1 + 2.5 C_v$$

En donde:

V = Esfuerzo cortante del murete

v = El promedio de todos los esfuerzos cortantes de los ensayos en los muretes

Cv = Coeficiente de variación para cortante (0.20)

Sustituyendo tenemos:

$$V = 7.33 / 1 + 2.5 (0.20)$$

$$= 7.33 / 1.5$$

<b>ESFUERZO CORTANTE DE DISEÑO V= 4.89 Kg/ cm<sup>2</sup></b>
---

Obtención de la Resistencia de diseño a Compresión por pieza del material de la propuesta

#### INFORMACIÓN DE LABORATORIO

RESULTADOS DE PRUEBAS DE COMPRESIÓN POR PIEZA								
PIEZA	1	2	3	4	5	6	7	8
ÁREA BRUTA EN CM <sup>2</sup>	295.2	296.46	296.43	295.24	296.43	296.43	294.02	289.2
CARGA DE ROTURA EN KGS.	98900	98956	98540	98202	98008	98956	98330	98902
RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN KG/CM <sup>2</sup>	335.02	333.79	332.42	332.61	330.62	333.82	334.43	341.98
RESISTENCIA MEDIA	334.33							

Tabla 19. Resultados de pruebas de Compresión sobre piezas del material de la propuesta

Según la norma técnica del reglamento para la obtención de la resistencia de Diseño a Compresión por pieza, se aplica lo siguiente:

$$R_{cp} = R_p / 1 + 2.5 (C_p)$$

En donde:

Rcp= Resistencia de Diseño a Compresión por piezas

Rp= Promedio de todas las resistencias de compresión ensayadas sobre las piezas.

Cp= Coeficiente de variación de las resistencias ensayadas (0.20) para piezas industriales y (0.35) para piezas artesanales.

Sustituyendo valores, tenemos:

$$R_{cp} = 334.33 / 1 + 2.5 (0.35)$$

$$= 334.33 / 1.875$$

<b>RESISTENCIA COMPRESIÓN</b> $R_{cp} = 185.73 \text{ Kg/ Cm}^2$ <u>para piezas artesanales.</u>
<b>RESISTENCIA COMPRESIÓN</b> $R_{cp} = 222.88 \text{ Kg/ Cm}^2$ <u>para piezas industriales o mecanizadas.</u>

### Obtención del Módulo de Elasticidad para el material de la Propuesta

De acuerdo a las normas técnicas para mampostería, tenemos que el módulo de elasticidad para este tipo de material es aproximadamente de 350 veces la Resistencia de Compresión, por lo tanto tenemos:

$$E = 350 (R_c) \\ = 350 (62.93 \text{ Kg/ Cm}^2); \text{ para cargas sostenidas.}$$

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD</b> $E = 22,025.50 \text{ Kg/ Cm}^2$
---

**Nota importante:** Comparándolo con lo que pide el reglamento y con materiales similares, el material de la propuesta está por arriba de manera holgada.

### Obtención del módulo de Cortante para el material de la Propuesta

De acuerdo a las normas técnicas para mampostería, tenemos que el módulo de Cortante para este tipo de materiales y sistemas de mamposterías es aproximadamente de 0.3 veces el módulo de elasticidad (E)

Por lo tanto;

$$\text{Módulo de Cortante (G)} = 0.3 (E); \text{ para cargas sostenidas: } 0.3 (22,025.50 \text{ Kg/ Cm}^2) \\ = 6,607.65 \text{ Kg/ Cm}^2$$

<b>MÓDULO DE CORTANTE</b> $G = 6,607.65 \text{ Kg/ Cm}^2$
---

**IV.3.5. – Presentación de resultados de las Pruebas y Evaluación final del material dentro del modelo propuesto**

**IV.3.5.1. - Presentación de resultados de las Pruebas físicas del material del caso de estudio**

**I N F O R M E D E E N S A Y O S**  
 Por: Silverio Hernández Moreno  
 Laboratorio: L. de Materiales de la Fac. de Ingeniería,  
 UNAM.

**ELEMENTO O PIEZA PROBADOS: BLOQUE CERÁMICO DE ARCILLA COCIDA DE 12x24x6, REFORZADO CON FIBRAS CERÁMICAS.**

(VÉASE EL INCISO IV.2.2 DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN PARA MÁS DETALLES)

**PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS PARA LA FABRICACIÓN DEL BLOQUE Y MURETES DE BLOQUES:**

- PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS BLOQUES EXTRUIDOS DE 6X12X24 CMS. SEGÚN LAS NORMAS 025- M.06 A 16 DE LA SCT/ LIBRO 4, BASADAS EN LAS NMX.
- PROCEDIMIENTO PARA DEFINIR LAS PERFORACIONES DE DICHS 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 LA DEFINICIÓN 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.

**TABLAS DE RESULTADOS**

<b>CONTROL DIMENSIONAL PZA.</b>								
Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Largo en cms.	24	24.3	24	24.2	24.1	24.1	24.1	24
Ancho en cms.	12	12	12.3	12.2	12.1	12.3	12.2	12
Alto en cms.	6	6	6	6	6.1	6.1	6.1	6.1
Espesor pared externa	2.1	2	2.2	2.3	2	2.1	2.2	2.3
Espesor pared interna	1.8	1.6	1.8	1.9	2	2	1.8	1.9

<b>ASPECTO</b>						
Muestra	1	2	3	4	5	6
Pieza fracturada	No	No	No	LIG	No	No

<b>DENSIDAD KG</b>						
Muestra	1	2	3	4	5	6
Densidad sinterizado (kgs.)	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6

<b>% DE SUPERFICIE DE PERFORACIONES (NMX)</b>						
Muestra	1	2	3	4	5	6
Superficie perforada %	40%	40%	40%	40%	40%	40%

RESISTENCIA A COMPRESIÓN POR PIEZA								
Pieza	1	2	3	4	5	6	7	8
Area bruta en cm <sup>2</sup>	295.2	296.46	296.43	295.24	296.43	296.43	294.02	289.2
Carga de rotura en kgs.	98900	98956	98540	98202	98008	98956	98330	98902
Resistencia a Compresión en kg/cm <sup>2</sup>	335.02	333.79	332.42	332.61	330.62	333.82	334.43	341.98
Resistencia media	334.33							
Resistencia de Diseño a Compresión por pza. en Kg/cm <sup>2</sup>	185.73	222.88						
	artesanal	mecanizado						

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE POR PILA						
Muestra	1	2	3	4	5	6
Largo	24	24	24	24	24	24
Espesor	12	12	12	12	12	12
Alto	34	33.7	33.9	34	34.2	34.1
Área bruta en cm <sup>2</sup>	816	808.8	813.6	816	820.8	818.4
Carga de rotura en Kgs.	74304	74808	73509	73870	74501.8	73540.72
Resistencia Compr. Kg/cm <sup>2</sup>	91.05	92.49	90.75	90.52	90.76	89.85
Resistencia media	90.90					
Resistencia de Diseño Compresión Simple en Kg/cm <sup>2</sup>	62.93					

RESISTENCIA A LA TENSIÓN DIAGONAL (CORTANTE) POR MURETE						
Muestra	1	2	3	4	5	6
Largo	37.1	37.1	37	37.2	37	37.2
Espesor	12	12	12	12	12	12
Alto	34	34.3	34.4	34.1	34.2	34.2
Área bruta en cm <sup>2</sup>	1261.4	1272.53	1272.8	1268.52	1265.4	1272.24
Carga de rotura en Kgs.	9361.97	8949	9302	9504	9780.24	8931.32
Resistencia Cortante En Kg./cm <sup>2</sup>	7.42	7.03	7.30	7.49	7.72	7.05
Resistencia media	7.33					
Resistencia de Diseño Cortante	4.89					

Tabla 20. Resultados parciales de las pruebas sobre especímenes del bloque del material del caso de estudio

A continuación se muestra la ficha técnica del material de la propuesta, en donde se resume cada uno de los aspectos anteriores:

**FICHA TÉCNICA DEL MATERIAL PROPUESTO O DE CASO DE ESTUDIO**

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 Kgs/ m <sup>3</sup>
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 H <sub>2</sub> O)
Resistencia de Diseño a la Compresión del sistema de mampostería	62.93 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia de Diseño al Cortante del sistema de mampostería	4.89 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a Compresión por pieza	222.88 kg/Cm <sup>2</sup> (industrial)
Módulo de elasticidad de sistema de mampostería	22,025.50 Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Cortante del sistema de mampostería	6,607.65 Kg/cm <sup>2</sup>
Costo (\$) (como material para comercializarse)	De 3.50 a 4 pesos/ pieza
Reciclabilidad	100% por molienda

Tabla 21. Resultados generales de las pruebas sobre especímenes de los bloques del material del caso de estudio (Cerámica Reforzada)

La siguiente tabla es una evaluación formal de cada una de las propiedades del material obtenido en el caso de estudio. La evaluación formal se realizó por sistemas.

**IV.3.5.2. - Evaluación final del material dentro del modelo propuesto por sistemas (punto 9 del modelo)**

A continuación se interpretarán los resultados numéricos de las Pruebas de laboratorio, y se expondrá de manera escueta la aplicación general de la propuesta en sistemas de mampostería para edificación y Arquitectura, lo cual es el resultado principal del caso estudiado.

CONCEPTOS (Sistema del modelo ANUMARQ)	INTERPRETACIÓN TÉCNICA DE RESULTADOS DE EVALUACIÓN DEL MATERIAL PARA BLOQUES HUECOS DE CERÁMICA REFORZADA EN EDIFICACIÓN (PROPUESTA):
Control dimensional por pieza (Arquitectónico)	Se logró un excelente control en el dimensionamiento de las piezas producidas de manera artesanal, por lo que de manera mecanizada los

	<p>resultados serían aún mejores. En su aplicación en edificios cumple con el dimensionamiento adecuado.</p>
<p>Aspecto (Arquitectónico)</p>	<p>Las piezas producidas lucían con una buena apariencia estética; y en lo referente a deformaciones del bloque no hubo, ya que el material tuvo un buen sinterizado y a su vez un buen comportamiento de procesado en su fabricación. Tampoco hubo fisuras importantes, esto gracias al reforzamiento por precipitación mediante fibras cortas de cerámica; lo cual ayudará al material en no contraerse y ser más estable dentro del sistema de mampostería.</p>
<p>Densidad del Material (Estructural)</p>	<p>La densidad del material alcanza parámetros comparables a los del Concreto ligero en edificación, por lo que se puede utilizar además de muros confinados para carga, como muros divisorios y de excelente resistencia térmica, acústica y de absorción a la humedad. Por lo tanto se puede utilizar de manera eficaz en elementos prefabricados en muchas aplicaciones dentro de la Industria de Construcción y Arquitectura. También dentro de este rubro o concepto podemos mencionar su fácil trabajabilidad y transporte seguro, ya que a pesar de ser una cerámica se logró bajar el índice de fractura por fragilidad debido al reforzamiento ya citado.</p>
<p>Durabilidad (Arquitectónico, estructural y ecológico)</p>	<p>La durabilidad hoy en día es de suma importancia ya que los materiales están expuestos a todo tipo de condiciones químicas y físicas, por lo que podemos asegurar que el material de la propuesta resiste tanto a la corrosión, por su composición físico-química y a esfuerzos por vibración, por su conformación microestructural, ya que posee polvos finos y fibras resistentes. En resumen a este concepto y aunado a la baja absorción, este material se puede utilizar de manera aparente en cerramientos de edificios.</p>
<p>Corrosión (Arquitectónico y Estructural)</p>	<p>El material de la propuesta responde satisfactoriamente a agentes como el ácido sulfúrico pero de manera</p>

	<p>inerte al agua, por lo que es un buen material para su uso en exteriores, siendo a su vez de buena apariencia y durabilidad. La corrosión por efectos mecánicos y de vibración externa se predice que debe aminorarse, lo cual es una cualidad enorme en la edificación de varios niveles.</p>
<p>Piroresistencia (Estructural)</p>	<p>Este material por sus características físicas y químicas y por su naturaleza cerámica, así como al reforzamiento de la matriz de liga con fibras cerámicas de alúmina, este material es apto para utilizarse como material piroresistente en la estructuración y cerramientos de edificios.</p>
<p>Superficie de perforaciones o huecos de 40% por pieza (estructural)</p>	<p>La superficie de perforaciones en las piezas se tomó de las normas técnicas de fabricación de este tipo de elementos (bloques huecos); por lo que estos bloques son ideales para la disminución de carga en los edificios y como elementos ideales en cerramientos con mampostería.</p>
<p>Absorción (Arquitectónico)</p>	<p>Su absorción de solo el 7% es ideal para su aplicación en muros aparentes y expuestos al exterior. Además de su bajo peso y su buena resistencia a la corrosión, hacen de este material óptimo para muchas aplicaciones en edificación.</p>
<p>Conductividad térmica y acústica (Arquitectónico)</p>	<p>La resistencia a la Conductividad Térmica y acústica del material estudiado es muy alta, por lo que se puede utilizar además de elemento estructural, como muro o panel divisorio en donde se requiera aislamiento tanto térmico como acústico.</p>
<p>Resistencia de Diseño a la Compresión del sistema de mampostería (Estructural)</p>	<p>Las cerámicas en sí tienen muy buen comportamiento a la Compresión, y este material de la propuesta responde por arriba de materiales similares del mercado, por lo que además de su buena durabilidad, este material es muy recomendable para estructuras de mampostería, ya que además responde muy bien a la Compresión diagonal.</p>
<p>Resistencia de Diseño al Cortante del sistema de mampostería (Estructural)</p>	<p>Aunado al punto anterior, este material responde muy bien al esfuerzo cortante, por lo que lo hace un excelente material para mampostería, también la fragilidad del material disminuyó de manera notable</p>



	<p>debido al reforzamiento con fibras ya citado. Cabe señalar que el sistema de mampostería probado en laboratorio como parte del caso de estudio se realizó con morteros líricos para juntas como marca el reglamento de Construcciones y sus normas para mampostería; por lo que si se cambiara a otro tipo de morteros para juntas más resistentes mecánicamente, el sistema innovado sería de mayor resistencia tanto a Compresión como Cortante, pero aún así los resultados fueron muy satisfactorios porque se disminuyó la falla por fragilidad de forma importante.</p>
<p>Resistencia a Compresión por pieza (Estructural)</p>	<p>Este dato nos complementa el comportamiento mecánico del material y es importante para referirnos a su uso en la edificación; según los valores obtenidos de resistencia el bloque cerámico del caso de estudio es óptimo y confiable para su utilización en sistemas de mampostería.</p>
<p>Módulo de elasticidad de sistema de mampostería (Estructural)</p>	<p>Este concepto es tal vez el de mayor importancia para la interpretación numérica de resultados de pruebas sobre materiales, ya que abarca muchos aspectos estructurales y de resistencia mecánica que hacen que el material sea óptimo para edificaciones. El módulo de elasticidad alcanzado por el material de la propuesta y caso de estudio arrojó resultados muy buenos ya que se encuentra por arriba del valor que marca el reglamento por una tercera parte más; esto nos da las bases para decir que es un material confiable para estructuras de edificios siempre y cuando sean muros reforzados normalmente. Pudiendo alcanzar niveles en edificios de 5 o 6, es decir, el doble de lo que marca el reglamento para bloques similares existentes en el mercado.</p>
<p>Módulo de Cortante del sistema de mampostería (Estructural)</p>	<p>Por tanto, el módulo de Cortante del material es también elevado y nos da un margen de seguridad estructural confiable para su uso en muros de mampostería para edificaciones de mediana altura. Aunque aún falta mucho</p>

	por hacer en materia de cerámicas y mejorar más su fragilidad, éstas cada vez son de mayor importancia, no solo en la Industria de la Construcción sino en otras industrias a nivel mundial.
Costo (Arquitectónico, estructural y ecológico)	Este material por ser de origen cerámico y por utilizar materiales arcillosos, los cuales son muy abundantes en todo el mundo, los costos son similares a los de materiales similares. El ahorro de la propuesta estriba en que se mejoran muchas características y propiedades principalmente estructurales, térmicas, de resistencias a la corrosión, acústica y Piroresistencia; por lo tanto, podemos afirmar que es más económico que sus competidores.
Reciclabilidad del material (Ecológico)	Este material por ser de carácter ecológico y dentro del modelo que se propone, nos permite reciclarlo al 100 % reutilizando todos sus componentes ya sea como matriz o dispersoide.

Tabla 22. Interpretación técnica de resultados de Evaluación del material para bloques huecos de cerámica reforzada en edificación (propuesta):

### SÍNTESIS DE LA INTERPRETACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL:

El Material que hemos denominado REFORCER (bloque de cerámica reforzada), ha arrojado como resultados satisfactorios de propiedades y características del material y del dimensionamiento de la pieza, que lo hacen un material apropiado para su posible comercialización e industrialización ya que posee características óptimas de resistencias mecánicas y propiedades térmicas, acústicas, anticorrosivas y relativas a piro resistencias elevadas, para poder ser contemplado en aplicaciones en edificios mediante sistemas de mampostería principalmente. Todo esto se avala mediante el reporte de laboratorio y la adecuada aplicación del método de Selección y Evaluación de materiales para la Arquitectura y Construcción dentro del modelo ANUMARQ, propuesto en el presente trabajo de Investigación.

#### **IV.3.6. – APLICACIÓN FINAL DEL MATERIAL DE LA PROPUESTA Y POSTURA TÉCNICA PARA SU COMERCIALIZACIÓN (punto 9 del modelo)**

##### **IV.3.6.1 - DESCRIPCIÓN TÉCNICA PARA LA COMERCIALIZACIÓN DEL BLOQUE EN MUROS DE MAMPOSTERÍA**

###### **DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE BLOQUE CERÁMICO PROPUESTO**

El Bloque Cerámico de arcilla reforzada obtenido experimentalmente lo llamaremos Bloque "REFORCER"<sup>52</sup>, el cual es un bloque cerámico de arcilla reforzada, obtenido por moldeo, secado y cocción de una pasta arcillosa, a la que se añaden fibras cortas de cerámica (Alúmina), reforzando así el material y elevando su resistencia mecánica, térmica, acústica y a la corrosión.



Figura 46. Edificios de varios niveles realizados con materiales similares al de la Propuesta

###### **RESISTENCIA MECÁNICA**

La primera característica de este material radica en su condición de elemento resistente y por tanto utilizable, con función estructural en muros; además de su aplicación en cerramientos.

Es un bloque adaptable a las diferentes necesidades, en función de las características exigidas en los muros de mampostería.

<sup>52</sup> Al final del presente inciso se presentará el procedimiento a seguir para el registro de marca de propiedad industrial en el caso que se desee patentar el producto, en donde se pueden ver también los formatos que pide el Instituto mexicano de propiedad industrial para nuestro caso.

Dimensiones de 24 cms. de largo, 12 cms. de ancho y 6 cms. de alto.

### **AISLAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO**

El elevado aislamiento térmico se consigue debido a dos razones fundamentales:

En primer lugar al propio diseño del Bloque, con huecos en un 40% del total del volumen, hace que ante la ausencia de materia sólida se rompa el proceso de conducción.

Y, debido a la naturaleza física y química de los materiales que lo componen.

Los muros realizados con Bloque REFORCER, no necesitan la incorporación de ningún tipo de material aislante adicional, ya que el propio bloque realiza esta función. Se trata de un material constructivo con aplicaciones convencionales en estructuras (buena resistencia a Compresión y Cortante) y de cerramientos (resistencia, aislamiento acústico, protección, etc.), pero que nos permite obtener los mismos valores de resistencia térmica que los conseguidos en muros de doble hoja con material aislante. Por esto mismo, nos inclinamos a designar el bloque cerámico REFORCER, como un material constructivo resistente y con propiedades aislantes. Al realizar una doble función, tenemos garantizada la inalterabilidad del aislamiento, que lo constituye el propio material, ya que la mayoría de los materiales aislantes se degradan con el paso del tiempo, o son atacados por la humedad.

### **RESISTENCIA A LA CORROSIÓN**

Como ya se ha venido mencionado, por sus características en la composición de sus materiales, este material responde de forma óptima a la degradación ambiental y a la corrosión de agentes externos e internos.

### **AHORRO ECONÓMICO**

El ahorro del material estriba en el mejor servicio que ofrece sobre otros bloques similares de igual dimensionamiento y similar composición. En sí, el costo es el mismo que sus competidores pero como vuelvo a repetir, el ahorro está en que REFORCER supera las resistencias al cortante y aislamiento térmico y acústico que sus competidores, por lo que lo hace más económico.

### **CALIDAD**

Nuestro material puede ser sometido a un riguroso control de calidad desde su fabricación hasta su distribución. Ya que de manera artesanal obtuvimos buenos resultados al emplearse con mecanización y automatización en su procesamiento, se obtendrán mejores resultados, por tanto, cumple con los requisitos mínimos de las Normas NMX y de las del reglamento de construcciones que garantiza la calidad de nuestro bloque a lo largo de todo el proceso productivo,

Todos los lotes se ensayaron de acuerdo a la normativa vigente, esto se traduce a que se puede tener un control exhaustivo de calidad de manera industrializada. (véanse los ensayos del laboratorio para verificar resultados.)

### **PIEZAS ESPECIALES**

La disponibilidad de piezas especiales, como en "U", mitades, esquinas, terminación, etc. Se pueden fabricar con el mismo material de la propuesta. La utilización de estas piezas es importante, ya que proporcionamos a los muros una continuidad de material en la cara exterior, que minimiza en gran medida, la aparición de fisuras por cambios de temperatura.

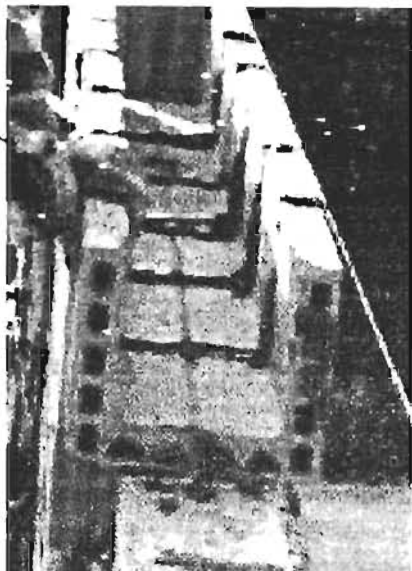


Figura 47. Piezas especiales que se pueden fabricar con el material de la Propuesta

### LIMPIEZA Y RAPIDÉZ DEL TRABAJO DE OBRA

La ejecución de muros con bloque REFORCER favorece la limpieza de obra, ya que al no llevar aplanados y acabados finales, se producen muchas menos pérdidas que al ejecutar muros de manera tradicional.

## DATOS TÉCNICOS

### AISLAMIENTO TÉRMICO

Para conseguir un bienestar de confort interior es necesario diseñar los cerramientos con altas resistencias térmicas; con el bloque REFORCER de la propuesta, evitaremos que nuestro edificio deba tener sistemas de acondicionamiento costosos y con grandes consumos energéticos. Una característica básica de un cerramiento es evitar la pérdida de energía que se utiliza para acondicionar el ambiente interior. El bloque REFORCER, tiene en este sentido, un grado de eficacia superior a los restantes tipos de cerramientos que se utilizan en Construcción.

Coefficiente de transmisión térmica (K) de un muro de REFORCER:

$$\text{REFORCER} = 1.31 \text{ Kcal/h}^\circ\text{Cm}^2 \\ (1.53 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2)$$

### AISLAMIENTO ACÚSTICO

Dado el volumen relativamente elevado que proporciona este material; con él se consiguen aislamientos acústicos que compiten también con ventaja con otros sistemas constructivos, como se aprecia en la siguiente comparación

$$\text{REFORCER} = 46 \text{ dB(A)}$$

Lo que equivale a un aislamiento acústico similar al de la TABLAROCA®.

## RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a Compresión mínima admisible de los bloques es de 47 Kg/ cm<sup>2</sup>, que es el valor mínimo que admite la norma para bloque hueco. Nuestro bloque REFORCER cumple sobradamente esta condición (62 Kg/ cm<sup>2</sup>), según se deriva de los ensayos de Laboratorio ya realizados. (véase inciso correspondiente a las pruebas físicas destructivas sobre pilas y muretes). Por lo tanto el módulo de elasticidad es superior a sus competidores similares.

## RESISTENCIA AL CORTANTE

Lo mismo para la resistencia al Cortante, la norma mínima pide 3 Kg/ cm<sup>2</sup> para sistemas de muro de mampostería con bloque hueco, y para este aspecto, el REFORCER cumple también de manera sobrada llegando a tener un esfuerzo cortante de 4.8 Kg/ cm<sup>2</sup>. Por tanto, el módulo al Cortante que presenta es superior al de sus competidores.

## RESISTENCIA AL FUEGO O PIRORESISTENCIA

El comportamiento frente al fuego se refiere a la combustibilidad y al peligro de emisión de gases tóxicos, explosión, etc. A este respecto el bloque cerámico REFORCER, está fabricado con materiales de naturaleza refractaria, es decir, material incombustible, que no emite gases ni humos en contacto con la llama.

## PERMEABILIDAD AL AGUA DE LLUVIA

Su característica de material Compuesto Cerámico, unida a las perforaciones (huecos) que componen su diseño, proporciona un buen comportamiento frente al agua de lluvia. En el ensayo realizado en el Laboratorio de materiales de la Fac. Ingeniería, obtuvimos los siguientes resultados:

Absorción solo del 0.07 porcentual.

Aunque el bloque REFORCER se comporta mejor que otros materiales con respecto al paso de la humedad, no debemos olvidar que las juntas deben ser cuidadosamente ejecutadas. Por eso, debe prestarse más atención a la impermeabilización del mortero, que al propio bloque, ya sea por incorporación de aditivos al mortero u otros métodos de impermeabilización para evitar filtraciones en juntas.

## DISEÑO DE MUROS

En esta parte del documento mencionamos algunas recomendaciones básicas a tener en cuenta en cualquier obra ejecutada con muro de REFORCER. Las propiedades básicas de la producción del bloque, como son el buen comportamiento ante las cargas, estabilidad, durabilidad, etc., dependen en buena parte de la deformabilidad y resistencia de sus componentes, así como la unión que existe entre ellos. Para evitar un mal comportamiento del muro es aconsejable seguir las recomendaciones de ejecución de muros con REFORCER que se citan más adelante.

## PROYECTO DE MUROS

- En el proyecto de muros deben especificarse la necesidad de la utilización de piezas especiales para conseguir un acabado correcto de las diferentes soluciones constructivas. Para adecuar el muro a la altura de las trabes en edificios con estructura de Concreto, es importante modular con piezas completas siempre que sea posible como observamos en la siguiente imagen:

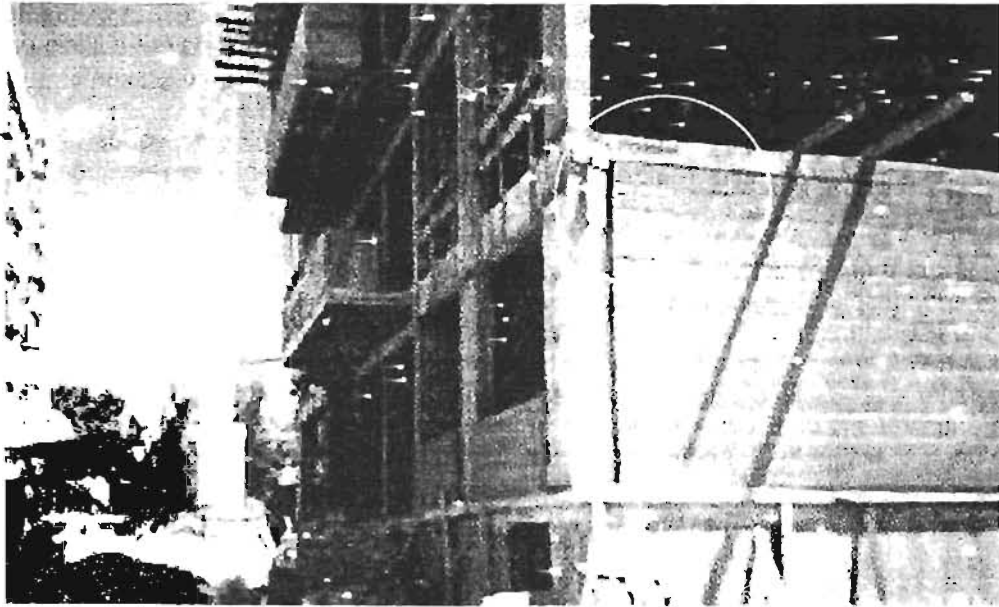


Figura 48. Construcción de edificios con bloques huecos (nótese el cerramiento justo de la parte lateral)

- Para conseguir esta colocación, debemos modular la altura de la trabe en función de la altura del bloque REFORCER (con múltiplos de 6 cms.), así como la distancia entre columnas en función de la longitud de la pieza (múltiplos de 24 cms.), para que se minimice al máximo la utilización de piezas especiales.
- Hay que prestar atención a los puntos de concentración de esfuerzos en los muros: cargas concentradas en apoyos, columnas, trabes, etc. Deben reforzarse convenientemente estas zonas, mediante la adecuada colocación de acero.
- Toda perforación realizada en la estructura la debilita en mayor o menor grado.
- La disposición de puertas y ventanas en muros de carga debe ser tal que asegure la transmisión de cargas a lo largo del muro.
- El espesor de la junta debe mantenerse entre 1 y 1.5 cms.
- Es importante hacer hincapié en la dosificación del mortero, ya que para mejorar la trabajabilidad del mortero, el maestro de obra tiene tendencia a aumentar la cantidad de cemento, lo que aumenta considerablemente la contracción del mortero y la posible fisuración de las piezas (del sistema de mampostería), para estos casos se recomienda una dosificación que incluya cal.

### REFORZAMIENTO DE MUROS HECHOS CON BLOQUE REFORCER

Además del reforzamiento microestructural hecho con las fibras cortas de cerámica, los muros deben de reforzarse también con acero por ser muros hechos con bloque hueco, surge la necesidad pues de armar y confinar el muro de REFORCER debido principalmente por dos razones:

a) Para que sea capaz de absorber los cortantes que se puedan producir en el conjunto del muro en edificios de varios niveles. En nuestro sistema constructivo, se utilizan los huecos, que nos permiten alojar toda clase de refuerzo con acero.

b) En los casos especiales como:

- Empujes importantes del terreno (en el caso de sótanos)
- Muros esbeltos con una fuerte exposición al viento.
- En Construcciones ubicadas en zonas de peligrosidad sísmica, incluso las de transición.

En estos casos, el armado estructural del edificio o la confinación de los muros se realiza mediante marcos como en la mayoría de los edificios, este tipo de estructuración es propiamente el armazón del edificio en sí, pero cuando se requiere armar y reforzar los muros para obtener mejores resultados se realiza lo siguiente:

Para reforzar el muro, en el caso de muro de carga o divisorio de edificios de varios niveles, y con condiciones de cargas laterales adversas, utilizaremos lo siguiente (independientemente del refuerzo que brinda la estructura del edificio):

Antes de desplantar el muro se deben anclar varillas de refuerzo (a cada 72 cms para muros de 12 cms. espesor ) en la cadena de desplante para que esto ayude a reforzar los muros verticalmente cuando las condiciones de estabilidad estructural lo exijan, de lo contrario no es necesario. (véase la siguiente figura). Cabe señalar que la separación de 72 cms. es por norma para bloques existentes en el mercado, los cuales tienen una resistencia al cortante menor que el bloque REFORCER de la propuesta, por lo tanto, la separación puede ser mayor hasta de 1.20 m entre refuerzos. En los extremos y en las esquinas, así como en encuentro de dos muros en "T", deben colocarse dos varillas juntas y 3 en el caso de encuentro en "T".

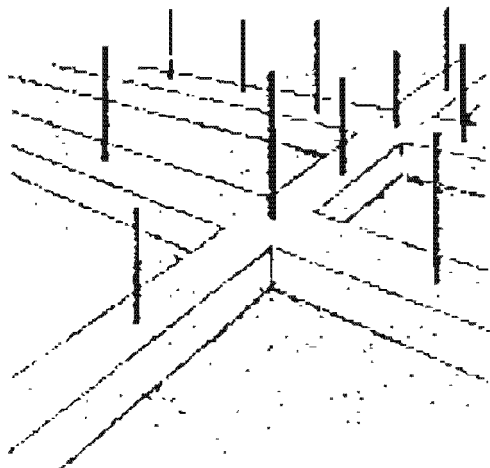


Figura 49. Anclaje de refuerzos verticales desde la cimentación o cadena de desplante

También se utilizan refuerzos horizontales además de verticales, para la estabilidad del muro cuando las condiciones ya señaladas lo ameriten. Estos refuerzos horizontales tienen las siguientes características:

- Con varillas de acero del número 3 y de grado 42.
- A una distancia o separación de 80 cms a 100 cms.
- Continuo y sin traslapes entre castillos.
- Anclarse en sus extremos.

## RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS CON BLOQUE REFORCER

### PLANTEAMIENTO HORIZONTAL

- Aplomar a distancias no mayores de 4 m., y siempre en cada esquina, hueco, quiebro, mocheta o junta de constructiva.
- Iniciar el desplante desde los paños marcados u otras referencias como las esquinas, huecos y juntas de construcción.
- Utilizar piezas complementarias o cortadas para ajustes.
- Mantener una separación no menor de 7 cm. entre juntas verticales de hiladas consecutivas.
- En los muros de cerramiento en edificios de varias alturas se definirá el plano de la fachada mediante plomos que se bajarán desde la última planta hasta la primera.



## PLANTEAMIENTO VERTICAL

- Tomar el punto más alto de la trabe o cimentación como referencia de nivel, disponiendo el espesor de mortero necesario bajo la primera hilada, para compensar las deficiencias de nivelación.
- Marcar la modulación vertical indicando el nivel de la trabe, así como los del antepecho y otras referencias señaladas.
- Ajustar la modulación variando el espesor de la junta de mortero (entre 1,00 y 1.50 cm.).
- Queda prohibido el empleo de otro tipo de piezas para ajustar la altura del muro.

## APOYO DEL MURO SOBRE LA CIMENTACIÓN

- La cimentación de cualquier muro debe ser suficientemente rígida, no admitiéndose asientos relativos entre dos puntos de manera excedida.
- Disponer una barrera impermeabilizante en la sección del muro y cimentación para evitar la ascensión capilar del agua.
- Impermeabilizar correctamente la cara exterior del muro en contacto con el terreno, realizando además un drenaje perimetral.

## COLOCACIÓN DE LOS BLOQUES

- Humedecer las piezas antes de su colocación para evitar la deshidratación del mortero. El control del efecto de succión excesiva sobre el mortero se hace con el humedecimiento de las piezas.
- Los cementos empleados en la confección del mortero cumplirán las especificaciones que marca la norma de construcción.
- Utilizar morteros mixtos de cemento y cal con resistencias a compresión de 75 a 150 Kg/ cm<sup>2</sup> aproximadamente, o mortero lírico de cal. La cal para la confección de morteros suele ser apagada, generalmente en polvo o en pasta. La cal se utiliza para mejorar la plasticidad del mortero y hacer más claro su color. En general su empleo es aconsejable cuando la relación en volumen cemento arena es inferior a 1:4.
- En el caso de utilizar aditivos en el mortero fresco, (plastificante, de fraguado rápido, etc.), es necesario que estén aceptadas por control de calidad.
- El amasado de los morteros se realizará preferentemente con revolvedora. Se utilizará dentro de las 2 horas inmediatas a su amasado. Pasado el plazo de dos horas se desechará, sin intentar volverlo a hacer utilizable.
- Con objeto de disponer uniformidad en el asentado del bloque y suficiente cantidad de mortero, situar una regla de 3x5 cm. en posición horizontal, en el centro de la hilada a modo de guía, para enrasar el mortero. Retirar la regla y sentar los bloques verticalmente.
- Se extenderán dos bandas paralelas de mortero sobre el asiento, o la última hilada, y se colocará el bloque de manera que quede alineado al bloque contiguo de la misma hilada, anteriormente colocado.
- Se apretará verticalmente el bloque, hasta que el mortero rebose la línea de tendido, quitando con la cuchara los excesos de mortero. No se moverá ningún bloque después de efectuada esta operación. Si fuera necesario corregir la posición de un bloque, se quitará, retirando también el mortero.
- La separación central final entre las bandas de mortero será de 1-2 cm.
- Los muros deben levantarse por hiladas horizontales en toda la extensión de la obra, siempre que sea posible. Cuando dos partes del muro tengan que levantarse en tiempos distintos, la que se ejecute primero se dejará escalonada.
- Es aconsejable reforzar el muro en zonas propensas a la fisuración como pueden ser los cambios de sección, esquinas, encuentros y huecos. Se utilizarán mallas en los encuentros de las distintas secciones (cerramiento-estructura), éstas quedan embebidas en la estructura de concreto en este caso, evitando la posibilidad de fisuración del mismo. Y para el caso de muros de carga, si es necesario se utiliza el mismo procedimiento de refuerzo, independiente del confinamiento o reforzamiento de concreto armado de la estructura del mismo edificio.

- Los muros no deben ser cargados hasta que hayan alcanzado la resistencia suficiente de 28 días o más.
- Golpear con un mazo de goma hasta llevar el bloque a su nivel y espesor de la hilada terminada: entre 10 y 15 mm.
- Cada 100 bloques colocados, retirar uno para comprobar la correcta utilización de la junta horizontal.
- Dejar transcurrir el tiempo suficiente (1 semana aproximadamente) desde la terminación del muro hasta el colado de la estructura, con objeto de asegurar que los esfuerzos originados por la contracción del Concreto no provoquen fisuración horizontal en el muro.

#### Otros aspectos relativos a la Construcción de muros:

- Protección de los muros durante su construcción:
  - De la lluvia: Cubrir con plásticos (evitar lavado de los morteros, erosión de juntas y acumulación de agua en el interior del muro).
  - Del calor: Mantener húmeda la fábrica para evitar una rápida evaporación del agua del mortero.
- Arriostrar los muros durante su construcción para evitar derrumbos debidos a acciones horizontales imprevistas (vientos, etc.).
- No ejecutar una altura excesiva en una jornada para evitar el aplastamiento del mortero (no exceder un nivel o 3 m.).

#### CONDICIONES DE LAS TRABES DE LA ESTRUCTURA (CONCRETO)

- Dotar a los elementos de la estructura peralte suficiente para evitar deformaciones y giros en los apoyos (condición de rigidez).
- La estructura debe tener una adecuada rigidez en su plano horizontal para poder transmitir acciones horizontales que no provoquen daño entre los elementos.
- Debe garantizarse una buena unión entre estructura y muros de carga.
- Curar adecuadamente el Concreto de la estructura para evitar contracciones excesivas.

Supervisar los siguientes parámetros de diseño del material en el mortero:

- Relación agua/ cemento (relaciones elevadas producen contracciones excesivas).
- Granulometría (granulometrías muy finas aumentan la contracción).
- Tipo de cemento utilizado.
- El problema de la aparición de fisuras horizontales debido a la contracción excesiva de la estructura se acentúa en las esquinas del edificio.
- Aislar suficientemente la estructura de cubierta para evitar que las dilataciones y contracciones térmicas produzcan esfuerzos horizontales excesivos sobre los muros.
- Atención con algunos elementos prefabricados, los cuales sufren dilataciones.
- En cualquier caso, las trabes de la estructura deben colocarse sobre el muro cuando éste haya madurado suficientemente y las juntas estén endurecidas.

#### UNIÓN MURO DE CARGA – TRABE DE ESTRUCTURA

- Para evitar el relleno de las perforaciones de los bloques de coronación del muro con el concreto de la trabe, deberán taparse con mortero, o bien disponer papel entre los huecos de la última hilada.
- El relleno de la primera fila de bloques bajo la trabe acentúa la aparición de fisuras en su junta con la hilada inferior, debido al giro en el apoyo, además de producir un puente térmico al reducir la capacidad aislante del bloque.

- Cuando el frente de la trabe se recubra con piezas del mismo material de la propuesta, de ser posible éste debe formar parte del cimbrado, por la parte de adentro, quedando adheridas al mismo con el propio Concreto de la trabe.
- Es conveniente realizar una junta horizontal en el revestimiento rellena con masilla de poliuretano o silicón, a la altura del encuentro entre trabe y muro inferior sobre el que apoya, dada la posibilidad de fisuración en dicho punto, si la estructura no cumple las condiciones de rigidez, aislamiento y curado anteriormente expuestas.
- En las trabes de cubierta o superiores, cuando no se cumplan las condiciones citadas, puede interponerse entre la hilada de coronación de los muros exteriores y la trabe, un elemento elástico como una malla fina de acero o fibra de vidrio embebida en el concreto que permita el movimiento de la trabe sin transmitir esfuerzos horizontales al muro.
- Cuando se utilice esta solución, deberán existir muros interiores de carga que ayuden a la estabilización de la trabe para transmitir las acciones horizontales a la cimentación mediante otra vía. Debe recordarse que esta situación es excepcional, en el sentido de que siempre debe garantizarse la adecuada transmisión de acciones horizontales entre muros y trabes.
- En cubiertas, el apoyo de trabes inclinadas sobre muros debe hacerse adecuadamente, evitando que aparezcan empujes horizontales que el muro no pueda asumir.

### UNIÓN MURO DE CERRAMIENTO O DIVISORIO – TRABE DE ESTRUCTURA

- Los bloques de la primera hilada deberán apoyar en la cadena o trabe al menos 2/3 de su espesor, debiendo ser continua la junta de mortero entre bloque y trabe.
- Entre la hilada superior del cerramiento y la trabe de cerramiento se dejará una holgura de 2 cm que se rellenará con mortero, habiendo transcurrido al menos 24 horas desde la terminación del muro.
- Se recomienda comenzar a ejecutar el cerramiento por la planta superior del edificio, de forma que cuando se realiza el cerramiento de cada planta, ya se haya producido la deformación de la trabe de cerramiento superior.
- El frente exterior de la trabe se recubrirá con piezas del mismo material (especiales), unidas a la trabe con un mortero de alta adherencia.
- Es conveniente realizar una junta horizontal en el revestimiento rellena con masilla de poliuretano, a la altura del encuentro entre la trabe y el muro inferior, dada la posibilidad de fisuración en dicho punto si la estructura no tiene rigidez suficiente.

### UNIÓN MURO DE CERRAMIENTO - SOPORTE VERTICAL

- La superficie de contacto entre la cara interior de la pieza y el soporte vertical quedará separada mediante una lámina de polietileno, que permita la libre deformación entre los distintos elementos.
- Las piezas de REFORCER utilizadas para el recubrimiento exterior de las columnas tendrán un espesor mínimo de 2 o 3 cm.
- Con objeto de evitar fisuración del cerramiento junto a las columnas o castillos, se incorporará una junta de relleno con silicón entre columna y borde de muro.
- Se recomienda el empleo de anclajes laterales de acero a los castillos o columnas (tres en cada borde vertical).

### CLAROS O VANOS

- El complemento de los claros se rellenarán con piezas medias, piezas de terminación o piezas cortadas.
- Las trabes de liga que se formen deben tener una rigidez adecuada para evitar la fisuración sobre la misma en forma de arco de descarga.
- El peralte de la trabe de liga en el muro de apoyo debe ser mayor o igual a 30 cm.
- Las zonas alrededor del claro en las que pueden producirse tracciones locales o concentraciones de carga, deben reforzarse empleando varillas de acero de por lo menos 1/ 4" de diámetro.

## JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN O MOVIMIENTO

- Realizar juntas de movimiento para evitar la aparición de grietas y fisuras causadas por la dilatación y contracción de los materiales.
- La distancia máxima aconsejable entre juntas de movimiento es de 15 m en caso de armar los muros; la distancia máxima puede aumentarse hasta 20 m. En los muros expuestos y de la parte superior del edificio, debe acortarse esta longitud a la mitad. La distancia entre la junta de movimiento y una esquina del edificio debe también disminuir aproximadamente en esta proporción. El ancho de la junta estará comprendido habitualmente entre 10 y 20 mm.
- Situar las juntas de movimiento en el desplante, debiendo comenzar la colocación de las piezas a partir de éstas.
- Ejecutar adecuadamente el sellado para garantizar la estanqueidad de la junta.

## ACABADOS

La impermeabilidad al agua de lluvia del muro con REFORCER se consigue directamente con la constitución del bloque liso y sistema de juntas de forma aparente, sin necesidad de revestirse o de aplanarse. Si se desean mejores resultados se puede pasar una capa trasparente de sellador para zonas de mucha precipitación pluvial.

## PROTECCIÓN DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

- Al realizar el curado del mortero, no debe realizarse de manera que penetre el agua en el interior del muro.
- Cuando se prevean fuertes lluvias se protegerán las partes recientemente construidas con láminas de material plástico u otros medios, a fin de evitar la erosión de las juntas de mortero.
- En tiempo extremadamente seco y caluroso se mantendrá húmedo el muro recientemente ejecutado, a fin de que no se produzca una fuerte y rápida evaporación del agua del mortero, la cual alteraría el normal proceso de fraguado y endurecimiento.

## RANURAS

Los bloques REFORCER, pueden ser taladrados, lo que resulta favorable al colocar la instalación de gas, agua y electricidad. Siempre que sea posible se evitará hacer ranuras en los muros después de levantados, permitiéndose únicamente ranuras verticales o de pendiente superior a 70°. Las ranuras han de realizarse con medios mecánicos, siendo aconsejable una cortadora de doble disco para piedra.

## RECOMENDACIONES PARA PREVENIR LA FISURACIÓN HORIZONTAL EN LOS MUROS CON REFORCER

Las trabes de cerramiento superiores o de cubierta, habitualmente sometidas a variaciones importantes de temperatura, producen empujes horizontales sobre los muros en que se apoyan. Por este motivo, como en todo muro de carga de materiales convencionales, en alguna ocasión se han detectado fisuras horizontales a la altura del apoyo de la trabe o en las hiladas inferiores. Con el fin de evitar este problema es aconsejable tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Mojar los bloques antes de su colocación para evitar la deshidratación del mortero. Utilizar un mortero con buena plasticidad y suficiente resistencia (mínimo 80 Kg/ cm<sup>2</sup>).
- Disponer mortero en cantidad suficiente para que al sentar el bloque penetre al menos 1 cm en la pieza inferior, así como en la superior.
- Cuando se realice la junta discontinua (constructiva), tan sólo deberá existir una franja central sin mortero de 2 a 3 cm. Una mayor anchura de la franja o banda central sin mortero penaliza gravemente la resistencia a Cortante del muro.

Con las anteriores recomendaciones se consigue una perfecta adherencia mortero-bloque, mejorando la resistencia a flexión y Cortante del muro. Para la desconexión rígida del apoyo de la trabe superior o de cubierta en el muro, se dispondrá una lámina (neopreno, PVC, tela asfáltica), sobre la coronación del muro con objeto de evitar el contacto directo entre el Concreto de la trabe o estructura y el bloque. Previamente y con el fin de regularizar la superficie de apoyo se extenderá una capa de mortero de elevada resistencia sobre la coronación del muro. Además, se interpondrá una franja de material elástico (Poliestireno expandido, espuma de polietileno, etc.), de 3 o 5 cm, entre la pieza que cubre el canto de la trabe y el Concreto. De este modo, los pequeños movimientos horizontales de la trabe debidos a las variaciones térmicas, no se transmiten al muro, evitando empujes horizontales y fisuración. Por último, no debe olvidarse la colocación de una malla de fibra de vidrio embebida en el mortero, cubriendo el canto de la trabe y las hiladas superior e inferior, así como todas las zonas en las que se reduce el espesor del muro.

#### **IV.3.6.2. – PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA SOLICITUD DE PATENTE Y MODELOS DE UTILIDAD**

A continuación se expondrán los pasos y requisitos que se deben seguir para tramitar la patente de determinado producto o proceso de invención. Antes de exponer los requisitos y el procedimiento administrativo, es importante mencionar que la obtención de patentes es importante para asegurar la propiedad intelectual de algún producto de investigación; asimismo es muy importante para permitir las actividades de transferencia de tecnología a nivel nacional e internacional.

Ahora si, expondremos el procedimiento y los requisitos para tales efectos de patentar productos. Para los casos del material REFORCER y el modelo ANUMARQ, es importante definir que es lo que se va a registrar, en nuestros casos serían el material como producto industrial de la Construcción y el modelo ANUMARQ, como proceso de invención para ejecución de materiales nuevos en la Construcción, del cual nos permitió llegar al material REFORCER.

##### **Información general acerca de Patentes:**

La propiedad industrial protege: a) invenciones, modelos de utilidad, diseños industriales y esquemas de trazados de circuitos electrónicos; y b) los signos distintivos como son: marcas, avisos y nombres comerciales y las denominaciones de origen.

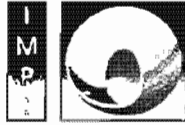
Las solicitudes de patente y de modelo de utilidad podrán iniciar su trámite internacional si al solicitante le conviene incursionar a otros países con su tecnología de acuerdo a la Guía PCT que es un tratado internacional al respecto.

Los documentos básicos aquí en México para la presentación de las solicitudes son:

- Formato de solicitud debidamente llenado y con firma autógrafa en tres tantos (uno para acuse de recibo y expediente personal de quien la solicita)
- Comprobante del pago de la tarifa vigente (original y copia rosa)
- Descripción de la invención por triplicado.
- Reivindicaciones por triplicado.
- Resumen de la descripción de la invención por triplicado.
- Dibujos técnicos por triplicado en su caso.

Para ver el procedimiento administrativo de solicitudes de Patente y Modelos de utilidad, se recomienda revisar el capítulo V, página 14, de la Guía de Patentes y Modelos de utilidad del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

A continuación se muestra el Formato que se utiliza para la solicitud de Patentes y registro de diseños industriales:



<input type="checkbox"/>	Solicitud de Patente
<input type="checkbox"/>	Solicitud de Registro de Modelo de Utilidad
<input type="checkbox"/>	Solicitud de Registro de Diseño Industrial
<input type="checkbox"/>	Modelo Industrial
<input type="checkbox"/>	Dibujo Industrial

Uso exclusivo Delegaciones y Subdelegaciones de la Secretaría de Economía y Oficinas Regionales del IMPI.	Uso exclusivo del IMPI
Sello	No. de expediente
Folio de entrada	No. de folio de entrada
Fecha y hora de recepción	Fecha y hora de presentación

Antes de llenar la forma lea las consideraciones generales al reverso

I	<b>DATOS DEL (DE LOS) SOLICITANTE(S)</b>	
El solicitante es el inventor <input type="checkbox"/>		El solicitante es el causahabiente <input type="checkbox"/>
1) Nombre (s):		
2) Nacionalidad (es):		
3) Domicilio: calle, número, colonia y código postal:		
Población, Estado y País:		
4) Teléfono (clave):		5) Fax (clave):

II	<b>DATOS DEL (DE LOS) INVENTOR(ES)</b>	
6) Nombre (s):		
7) Nacionalidad (es):		
8) Domicilio: calle, número, colonia y código postal:		
Población, Estado y País:		
9) Teléfono (clave):		10) Fax (clave):

III	<b>DATOS DEL (DE LOS) APODERADO(S)</b>	
11) Nombre (s):		12) R G P:
13) Domicilio: calle, número, colonia y código postal:		
Población, Estado y País:		14) Teléfono (clave):
15) Fax (clave):		16) Personas Autorizadas para oír y recibir notificaciones

17) Denominación o Título de la Invención:		
18) Fecha de divulgación previa		19) Clasificación Internacional uso exclusivo del IMPI
Día	Mes	Año
20) División de la solicitud		21) Fecha de presentación
Número	Figura jurídica	Día Mes Año
22) Prioridad Reclamada:	Fecha de presentación	
País	Día Mes Año	No. de serie


Lista de verificación (uso interno)			
No. Hojas		No. Hojas	
[ ]	Comprobante de pago de la tarifa	[ ]	Documento de cesión de derechos
[ ]	Descripción y reivindicación (es) de la invención	[ ]	Constancia de depósito de material biológico
[ ]	Dibujo (s) en su caso	[ ]	Documento (s) comprobatorio(s) de divulgación previa
[ ]	Resumen de la descripción de la invención	[ ]	Documento (s) de prioridad
[ ]	Documento que acredita la personalidad del apoderado	[ ]	Traducción
		[ ]	<b>TOTAL DE HOJAS</b>
<b>Observaciones:</b>			
Bajo protesta de decir verdad, manifiesto que los datos asentados en esta solicitud son ciertos.			
_____ Nombre y firma del solicitante o su apoderado		_____ Lugar y fecha	

**Consideraciones generales para su llenado:**

- Este formato de solicitud debe llenarse preferentemente a máquina, no obstante podrá presentarse con letra de molde legible y su distribución es gratuita.
- Este formato de solicitud debe presentarse por duplicado
- Sólo se recibirá el formato de solicitud debidamente requisitado y en idioma español.
- El formato de solicitud y sus documentos anexos deben presentarse en el Coordinación Departamental de Recepción y Control de Documentos de la Dirección Divisinal de Patentes del IMPI, ubicado en Arenal 550, Colonia Tepepan Xochimilco, Delegación Xochimilco, C.P. 16020, México, D.F., en el horario de 8:45 a 16:00 horas de lunes a viernes o en la ventanilla de las Delegaciones o Subdelegaciones Federales de la Secretaría de Economía u Oficinas Regionales del IMPI.
- La firma del solicitante debe ser autógrafa en cada formato de solicitud.
- En el formato de solicitud marque con una cruz en el recuadro la solicitud que desea presentar.
- En caso de Registro de Diseño Industrial señale además si se trata de un modelo o un dibujo.
- La denominación o título debe ser connotativa de la invención.
- Si la invención fue divulgada dentro de los doce meses previos a la fecha de presentación de la solicitud, indique la fecha de divulgación y anexe la información comprobatoria que marca el Reglamento de la Ley de la Propiedad Industrial.
- En la solicitud de invención que sea divisinal de una solicitud previamente presentada, deberá proporcionar el número de expediente, la figura jurídica y la fecha de presentación de dicha solicitud.
- El derecho de reclamar la prioridad sólo tiene lugar si la presente solicitud ha sido previamente presentada en algún país miembro del Convenio de París para la Protección de la Propiedad Industrial. Proporcionar los siguientes datos:
  - País donde se presentó por primera vez la solicitud, fecha y número asignado a la solicitud en dicho país.
- Las solicitudes podrán remitirse por correo, servicios de mensajería u otros equivalentes, asimismo se podrán presentar por transmisión telefónica facsimilar en términos del artículo 5o. del Reglamento de la Ley de la Propiedad Industrial.
- En el listado de documentos que se anexan mencione el total de hojas que comprende cada documento y al final el total de hojas
- Se autoriza la libre reproducción del presente formato, siempre y cuando no se altere

Trámite al que corresponde la forma: - Solicitud de Patente, Registro de Diseño Industrial y Registro de Modelo de Utilidad  
 Número de Registro Federal de Trámites y Servicios: IMPI-00-001  
 Fecha de autorización de la forma por parte de la Dirección General Adjunta de Servicios de Apoyo del IMPI: 9-V-03  
 Fecha de autorización de la forma por parte de la Comisión Federal de Mejora Regulatoria: 30-V-03

**Fundamento jurídico-administrativo:**

Ley de la Propiedad Industrial (D.O.F. 27-VI-91, reformas D.O.F. 02-VIII-94; 26-XII-97, 17-V-99) arts. 38-47, 50, 52, 54 53, 55.-61.  
 Reglamento de la Ley de la Propiedad Industrial (D.O.F. 23-XI-94) arts. 5-8, 16, 24-39, 43, 45 y 46.  
 Acuerdo que establece las reglas para la presentación de solicitudes ante el IMPI (D.O.F. 14-XII-94, reforma 22-III-99) arts.3-10.  
 Acuerdo por el que se establecen los plazos máximos de respuesta a los trámites ante el IMPI (D.O.F. 10-XII-96) art. 3 inciso I y VIII.  
 Acuerdo por el que se da a conocer la tarifa por los servicios que presta el IMPI (D.O.F. 23-VIII-95, reformas 28-XII-95, 10-XII-96, 2-V-97, 4-V-98 y 23-II-99, 11-X-00, 14-III-02 y 04-II-03) art. 1 inciso a), 9, inciso a) y demás aplicables.  
 Acuerdo por el que se da a conocer la lista de instituciones reconocidas por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial para el depósito de material genético (D.O.F. 30-V-97).  
 Acuerdo por el que se dan a conocer los honorarios de trabajo del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (D.O.F. 31-III-99) art. 3 y 6.

**Documentos anexos:**

Solicitud de Patente y Registro de Modelo de Utilidad

- Comprobante de pago de la tarifa correspondiente (original y copia)
- Descripción, reivindicación, resumen y dibujo (duplicado)
- Solicitud de Registro de Diseño Industrial
- Comprobante de pago de la tarifa (original y copia)
- Descripción, reivindicación y dibujo o fotografía (duplicado)
- Documentos adicionales que deberán presentarse en su caso:
- Constancia de depósito de material biológico
- Acreditación de personalidad del apoderado, en su caso (original)
- Acreditación del poderdante en el caso de persona moral, señalando el instrumento donde obran dichas facultades y acta constitutiva (original)
- Documento donde se acredita el carácter del causahabiente o de cesión de derechos (original)
- Documento comprobatorio de divulgación previa, en su caso (original y copia)
- Documento de prioridad y su traducción, en su caso (copia certificada expedida por la oficina extranjera)
- Escrito solicitando el descuento del 50%, cuando corresponda (original)

**Criterios de resolución del trámite**

- Presentar toda la documentación requerida y pagos de la tarifa conforme a la legislación nacional y convenios internacionales de los que México forma parte.
- Será suficiente el cumplir con los requisitos formales al momento de presentar su solicitud.

**Tiempo de respuesta:**

El plazo máximo de primera respuesta es de 3 meses. No aplica la positiva ni la negativa ficta.

**Número telefónico para quejas:**

Contraloría Interna en el IMPI 5624-04-12 ó 13 (directo)  
5624-04-00 (conmutador)  
Extensiones: 4703, 4705.  
Fax: 56-24-04-35  
Correo electrónico: [buzon@impi.gob.mx](mailto:buzon@impi.gob.mx)

Para cualquier aclaración, duda y/o comentario con respecto a este trámite,  
sírvase llamar al Sistema de Atención Telefónica a la Ciudadanía-SACTEL a los  
teléfonos: 5480-20-00 en el D.F. y área metropolitana, del interior de la  
República sin costo para el usuario al 01-800-00-14800 o desde Estados  
Unidos y Canadá al 1-888-594-3372.

**Número telefónico del responsable del trámite para consultas:** 5334 07 00 extensiones 5098, 5026 y 5027

Tabla 23 . Formato para solicitud de Patentes del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, Secretaría de Economía

Para revisar la descripción de la invención que se tiene que realizar como parte de la solicitud de una Patente, en este caso la de nuestro producto que llamamos REFORCER, vaya a la pagina de anexos, en donde se muestra dicha descripción de acuerdo a los requisitos que hace el Instituto de la Protección Industrial.



#### IV.4. – OTRAS APLICACIONES POSIBLES DEL MATERIAL DE LA PROPUESTA (punto 10 y último del modelo)

En esta parte del documento se hará mención a otras aplicaciones que con el material de la propuesta y otros materiales nuevos similares, se pueden llevar a cabo, utilizando a su vez, el modelo propuesto. Por lo tanto, recordaremos el último punto del modelo propuesto para aplicación de nuevos materiales en la Construcción (ANUMARQ) en donde se presentan las aplicaciones a proponer para el material de la propuesta (Compuesto cerámico reforzado); lo siguiente se refiere a éstas aplicaciones:

Tenemos, como ya lo hemos venido planteando en el caso de estudio, la aplicación del material en Estructuras de edificios, cerramientos de edificios, recubrimientos especiales, tejas de mayor tamaño, paneles para losa y muro, material aislante, térmico y acústico para edificios, elementos decorativos, ladrillos *y bloques*, cúpulas, material piroresistente, bovedillas para techo y otros elementos especiales para la edificación. Cabe señalar que todos los elementos anteriores entran en el rubro de los prefabricados. También este material se puede emplear en la Arquitectura Bioclimática, porque es un material que responde eficazmente para su utilización como material térmico y acústico, además de su resistencia al fuego y sus buenas propiedades mecánicas. Sus aplicaciones en edificios Inteligentes se refieren propiamente a Compuestos cerámicos similares al de la propuesta, pero con variantes más complejas como materiales ópticos, como los vidrios especiales y las vitrocerámicas; por estas razones cabe señalar en esta parte del documento las distintas posibilidades de aplicaciones de materiales similares al de la propuesta en la Arquitectura de edificios Inteligentes. La aplicación de Compuestos cerámicos reforzados y tratados con polvos finos metálicos en su mayoría, se pueden aplicar en obras con necesidades de edificios Inteligentes. El método de Selección y Evaluación de materiales Compuestos en Arquitectura y Construcción que estamos proponiendo, también es útil para este tipo de necesidades arquitectónicas, ya que los materiales en edificios inteligentes demandan un diseño óptimo y más completo que las propuestas empíricas que se puedan hacer. Así, los materiales como vidrios, vitrocerámicas, por sus cualidades térmicas y ópticas (de transmisión de luz), absorción de energía solar, resistencia mecánica y al fuego, estética, de fabricación accesible, entre muchas otras propiedades, atrae a los arquitectos para su uso en este tipo de edificaciones. Asimismo otro tipo de Compuestos que puedan surgir como los laminados metálicos revestidos de cerámicos, así como otros de matriz cerámica puedan ser empleados en distintas partes del edificio que se puedan aplicar de manera sistémica, como se muestra en la siguiente propuesta, que se basa además en el modelo ANUMARQ:

SISTEMA	APLICACIONES	MATERIALES
ARQUITECTURA Y OBRA CIVIL	ESTRUCTURAS, MUROS, PANELES, TECHUMBRES, CERRAMIENTOS, PISOS, RECUBRIMIENTOS, REVESTIMIENTOS, ETC.	CONCRETOS, CERÁMICOS, ACEROS, PLÁSTICOS, MATERIALES COMPUESTOS.
BIOCLIMATIZACIÓN	CONTROLADORES DE CALOR, AMBIENTACIÓN, VENTANAS TERMOAISLANTES, PANELES TERMOACÚSTICOS, ELEMENTOS PASIVOS, ETC.	AISLANTES, VIDRIOS, VITROCERÁMICAS, MORTEROS ESPECIALES, CONCRETOS ESPECIALES, CELDAS, ETC.
EDIFICIOS INTELIGENTES	DISPOSITIVOS DE CLIMATIZACIÓN, MICROPERSIANAS, MATERIALES FOTSENSIBLES, DETECTORES DE CALOR, HUMO, LUZ, ETC.	COMPUESTOS ESPECIALMENTE MANUFACTURADOS Y PREDISEÑADOS.
INTERIORISMO	MÓDULOS Y MUEBLES ERGOMÉTRICOS, ELEMENTOS MACIZOS ESPECIALES COMO MUROS MÓVILES O CUBIERTAS DIVISORIAS.	COMPUESTOS DE CERÁMICOS, METÁLICOS O POLIMÉRICOS.
MANTENIMIENTO, REMODELACIÓN Y RESTAURACIÓN DE EDIFICIOS	ESTRUCTURA, ACABADOS Y PIEZAS ESPECIALES DE CONSTRUCCIÓN.	COMPUESTOS CERÁMICOS, COMPUESTOS DE POLÍMEROS Y OTROS COMPUESTOS ESPECIALES.

Tabla 24 – Desarrollo de Materiales para aplicaciones en el Diseño Arquitectónico por medio Sistémico (basado en el modelo ANUMARQ)

En sí, este modelo y método de selección de materiales propuestos cubren un amplio área para la producción de materiales para distintas aplicaciones. La calidad y eficiencia de las aplicaciones dependerá directamente de la experiencia del constructor y diseñador de los materiales, así como del control de los mismos por medio de las metodologías planteadas de manera sistémica dentro del modelo propuesto (ANUMARQ). La metodología planteada ayuda a seleccionar los mejores materiales para su uso en la Arquitectura y Construcción y dentro de ésta, en la Arquitectura Bioclimática y de edificios Inteligentes como ya lo hemos señalado. Particularmente en la Arquitectura Bioclimática el método selecciona materiales adecuados para el correcto control térmico del edificio, ya que cada material capta el calor de distinta manera y en distintos periodos de tiempo, entre otras características y ventajas en la aplicación del modelo y métodos propuestos.

En resumen y refiriéndonos exclusivamente al material del caso de estudio, sus principales usos han sido descritos en tres principales rubros:

- Estructuras
- Aislantes térmico- acústicos
- Material anti- corrosivo y piroresistente

En **Estructuras de edificios** entran varios elementos que se pueden fabricar con este material de la propuesta, tales como: bloques para muro de mampostería, paneles para losa y techo, bovedillas, celosías, pisos y cúpulas. Las propiedades del material de la propuesta antes descritas, reúnen las características principales para la construcción de elementos para estructuras de edificios; lo cual cumple con los requisitos de resistencias mecánicas y térmico- acústicas, además del costo y de otras propiedades cuantitativas y cualitativas requeridas para su construcción. A continuación se muestran dichas aplicaciones.

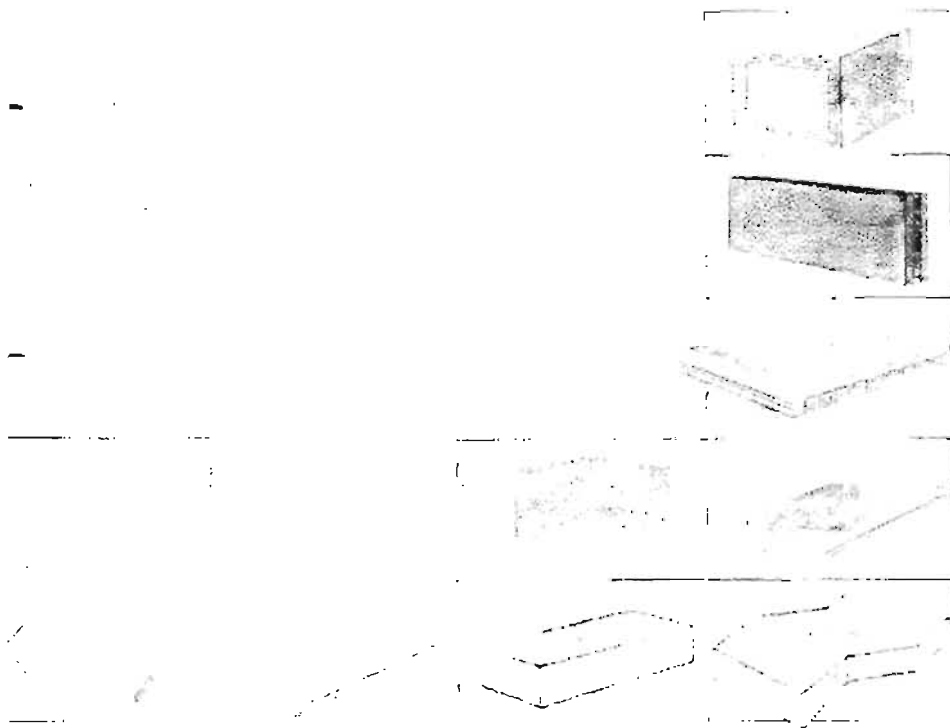


Figura 50. Algunas aplicaciones en elementos de bloques y paneles de cerámica para la Construcción

En la figura anterior aunada a la siguiente se muestran algunas aplicaciones que con el material de la propuesta se pueden hacer, ahí se presentan los bloques para mampostería (caso de estudio), losas y paneles para muro y techo, pisos y recubrimientos así como piezas para celosías.

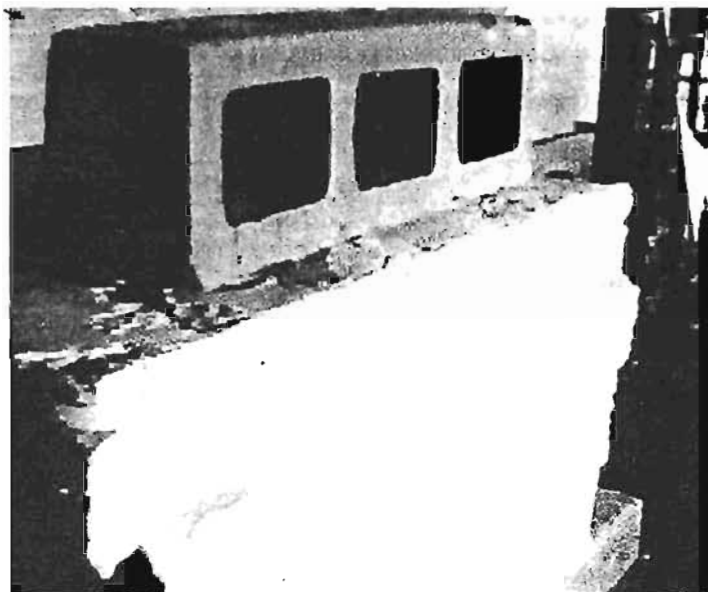


Figura 51. Bloque cerámico para uso en mampostería y bovedillos (material de la Propuesta)

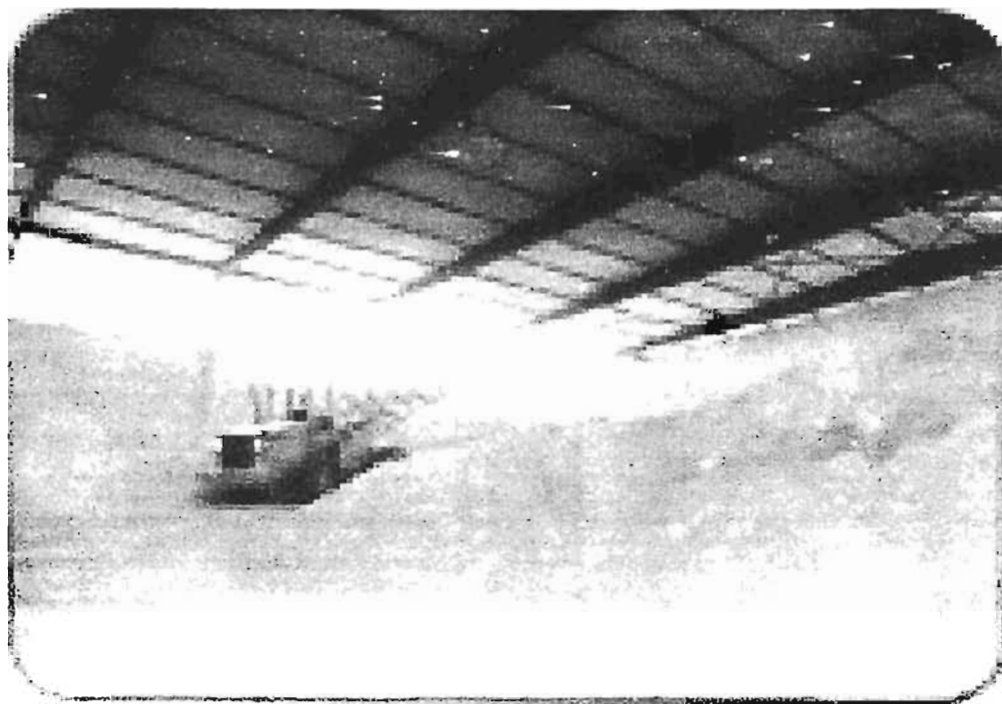


Figura 52. Paneles cerámicos para losa y techo

Lo siguiente, se trata de recomendaciones para uso del material de la Propuesta o caso de estudio (REFORCER), en aplicaciones de cúpulas y bóvedas.

~ Las cúpulas que se podrían realizar con este tipo de material de la propuesta sería las del tipo de cubierta lisa (no nervada) que se subdivide además en cúpulas de espesor uniforme y variable uniforme, de base circular o en determinados casos poligonal. Las recomendaciones principales son las siguientes:

- Reforzar la base de la cúpula.
- Se recomienda el espesor variable uniforme para mayor estabilidad.
- De preferencia sin lucernario.
- El espesor que disminuya hacia la parte superior.
- Se recomienda suponer los esfuerzos paralelos a una superficie equidistante de las superficies exterior e interior de la cúpula, cuando esta es de espesor variable.

REFORCER se recomienda porque:

- Reduce la contracción de los esfuerzos.
- Excelentes resistencias a Compresión, cortante y módulo de elasticidad.
- Sobre todo buen comportamiento al Cortante.
- Buen desempeño a Tensión debido al refuerzo con fibras de la matriz de liga del material.
- Disminuye la fragilidad.
- Refuerza no solo la base, sino toda la estructura y cuerpo de la cúpula, lo cual soporta la tensión inferior o presión de empuje hacia fuera.
- Si se desea utilizar lucernarios, el material es confiable, aunque se requiere un excelente control de calidad y de construcción.

En el caso de las bóvedas es similar al de las cúpulas, solo que en las bóvedas los empujes son en un solo sentido, y se debe considerar mayor reforzamiento en la parte inferior e intermedia de la estructura.

La relativa baja densidad del material REFORCER permite la disminución de los empujes laterales, y a su vez, los muros o apoyos de las bóvedas pueden ser más esbeltos.

En sí, se manejan las mismas consideraciones que de las cúpulas para las bóvedas construidas con REFORCER.

A continuación se muestran otras figuras en donde se presentan más aplicaciones para nuevos materiales Compuestos similares e iguales al de la propuesta del caso de estudio:

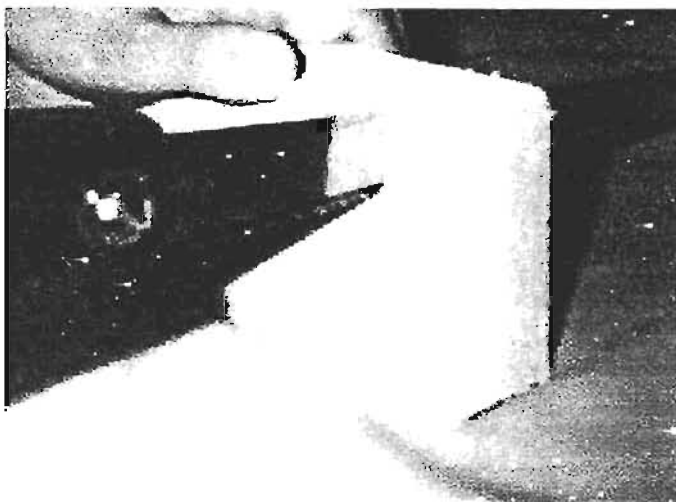


Figura 53. –Nuevos materiales para uso en la construcción de baja densidad y aislantes térmico y acústico

En la figura anterior se muestra un tipo de cerámica no sinterizada que presenta características similares al concreto ligero hecho a base de cenizas volcánicas (Zincret). La figura siguiente es un material que se usa para **revestimientos anticorrosivos** y son hechos mediante distintas técnicas de procesamiento, también a base de cerámicas.

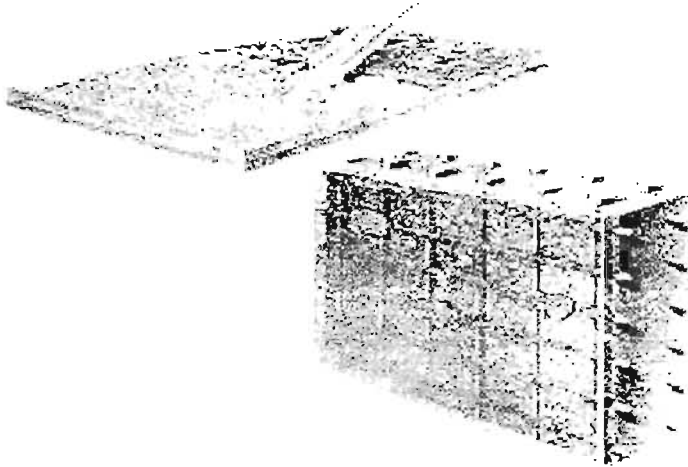


Figura 54. –Material empleado para mejorar las condiciones de corrosión en elementos estructurales en la Construcción

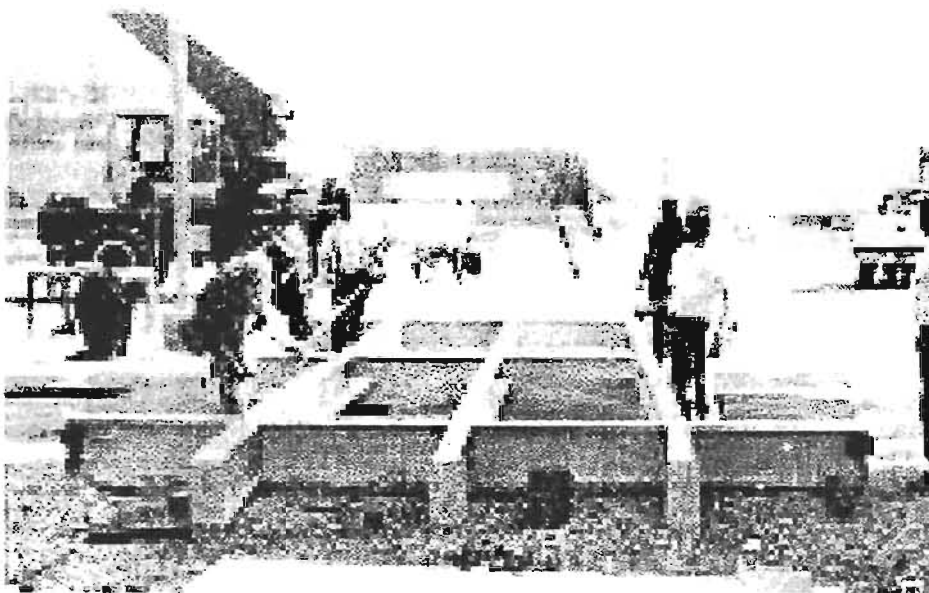


Figura 55. –Desarrollo de nuevos materiales para la industria de la Construcción prefabricada

La siguiente figura muestra paneles cerámicos para la construcción de techumbres y pisos en la industria de la Construcción tanto para viviendas y fabricas:

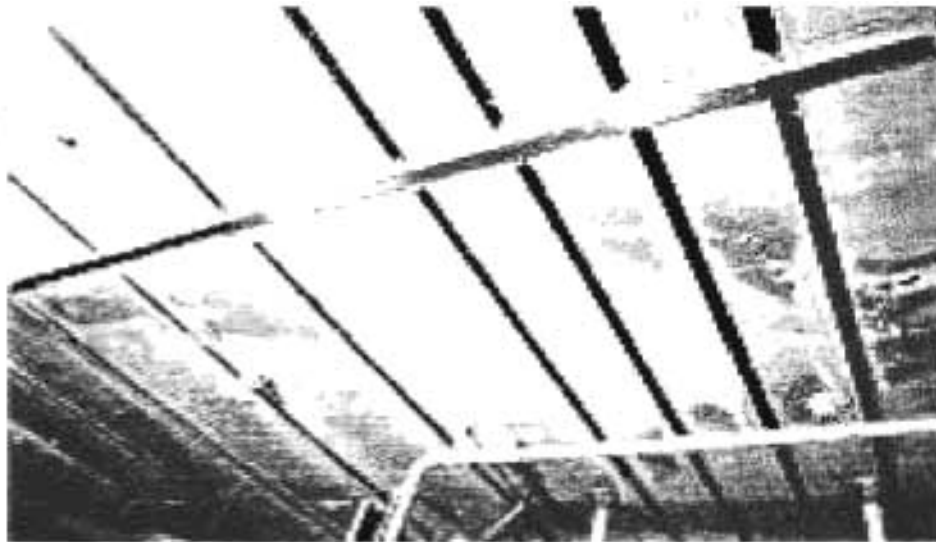


Figura 56. –Paneles de tipo cerámica sinterizado para la construcción de techos y entrepisos

El material de la propuesta por sus excelentes **calidades térmicas y acústicas** se puede utilizar también como barrera protectora o en muros aislantes de ruidos, ya sea en forma de bloque o de paneles; sobre todo en áreas urbanas en donde el ruido ejerce una contaminación importante. ideal para viviendas y edificios industriales, la siguiente figura muestra algunos detalles de estos elementos realizados en paneles:

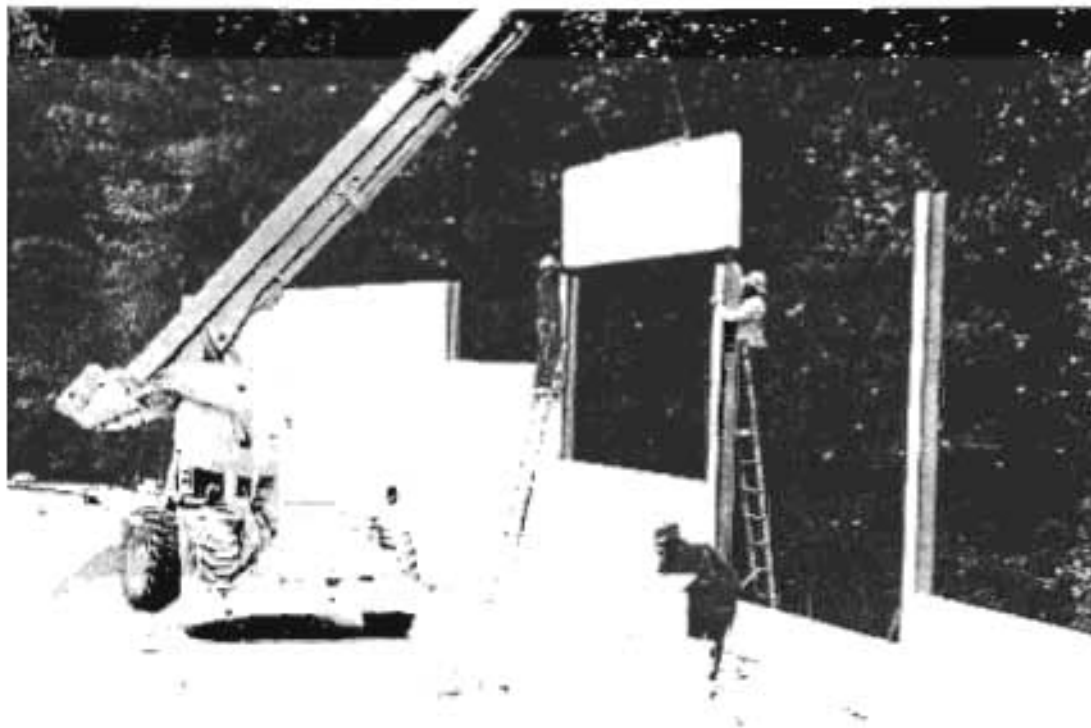


Figura 57. –Paneles de nuevos materiales para el aislamiento acústico

La siguiente imagen consiste también en nuevos materiales que se están desarrollando actualmente en Japón, los cuales están en un proceso de investigación para su confiable aplicación en la Construcción; estos son mucho más ligeros que el concreto normal e igualmente resistentes además de **anticorrosivos y durables**:

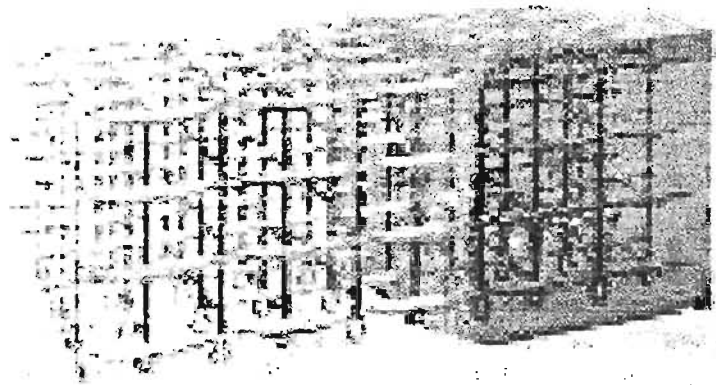


Figura 58. -Nuevos materiales para la Industria de la Construcción hechos con base de polímeros y cerámicos, mediante Compuestos especiales

Cabe señalar que las aplicaciones mostradas en las figuras anteriores se refieren a nuevos materiales similares al del caso de estudio y algunos de ellos están siendo aún investigados, como es el caso del material de la propuesta, pero que las respuestas a las necesidades estructurales, térmico- acústicas y de corrosión han sido muy satisfactorias en la mayoría de los casos desarrollados. En nuestro caso, la respuesta ha sido también muy satisfactoria, como ya lo hemos mostrado en los resultados del laboratorio en lo que se refiere a las resistencias mecánicas; en lo que concierne a los aspectos térmico y acústico, se deduce que son satisfactorias las respuestas, debido a la naturaleza del material Cerámico reforzado con fibras cerámicas. Y por último en lo que se refiere a la prueba realizada para determinar la respuesta a la corrosión por agentes químicos que se realizó en laboratorio y la cual fue también satisfactoria, solo se refiere a agentes externos de tipo químico, sin tomar en cuenta los factores internos como los de la vibración micromolecular del material que conforma los materiales en casos estructurales, asimismo el desmoronamiento por vibración que a través del tiempo se da, los cuales son temas de estudios posteriores.

### III.5. - RESUMEN GENERAL DE ESTE CAPITULO

El presente capítulo, el más grande y detallado de todos los que integran esta tesis, contiene el estudio de todas las propuestas referentes al caso de estudio relacionadas con la teoría y práctica de desarrollo de nuevos materiales en la Arquitectura y Construcción; dichas propuestas van desde la guía para la Selección de materiales, el método por Comparación para evaluación de los materiales, el desarrollo del material como propuesta de caso de estudio hasta la generación y desarrollo del modelo general que integra todas estas propuestas antes mencionadas, dicho modelo que hemos denominado ANUMARQ que significa literalmente aplicación de nuevos materiales Compuestos en Arquitectura y Construcción, del cual podemos decir que es el producto principal del presente trabajo.

# CONCLUSIONES Y EL FUTURO DE ESTE TRABAJO

## CONCLUSIONES

### De las metodologías y materiales planteados de este trabajo.-

- Del material del caso de estudio
- Del método de Selección y Evaluación de nuevos materiales en Arquitectura y Construcción
- Del modelo de aplicación de nuevos materiales Compuestos en Arquitectura y Construcción (ANUMARQ)

**Del material (cerámica reforzada).** – Podemos concluir en base a las pruebas físicas y a los resultados del Laboratorio, que el material es una nueva variante de Cerámica la cual tiene como principal virtud, que es una cerámica reforzada desde su microestructura, lo cual hace que se mejoren muchas de sus propiedades tanto mecánicas como térmicas, etc. , que da como resultado una amplia durabilidad en los elementos construidos con este material.

El material del caso de estudio, es por tanto, un resultado directo del método de Selección de materiales propuesto, y de forma global, del modelo ANUMARQ que incluye a las otras dos propuestas. Por lo que es también muy conveniente concluir tanto del método de Selección como del modelo de aplicación ANUMARQ.

**Del método de Selección de materiales propuesto.** – Este método de selección de nuevos materiales Compuestos en Arquitectura y Construcción, se realiza mediante la comparación de materias primas similares entre sí, tanto en costo como en propiedades, que deben ser seleccionadas mediante “filtros” previos, y finalmente mediante Escalatorias que ajustan y regulan las propiedades entre dichos materiales comparados, teniendo como base parámetros de diseño del material y los requerimientos en cuestión.

En resumen, es un método confiable para la Selección de nuevos materiales en Arquitectura, ya que se ha podido comprobar mediante los resultados del Laboratorio, además del análisis técnico del aspecto constructivo mediante el caso de estudio.

**Del modelo de aplicación de nuevos materiales propuesto (ANUMARQ).** – Tanto la propuesta del material (cerámica reforzada), como la propuesta del método de Selección, son parte fundamental del modelo propuesto para aplicar nuevos materiales en la Arquitectura y Construcción, ya que el modelo trabaja por sistemas definidos, que incluyen a su vez distintos aspectos y subsistemas que coadyuvan al desarrollo de materiales nuevos y a su aplicación en distintos sistemas de construcción y aplicaciones.

En resumen, podemos asegurar que este modelo es una buena opción para generar nuevos materiales a la Industria de la Construcción y Arquitectura en general, cuya industria es una de las que más demandan nuevas opciones en materiales, y que a su vez, es en donde surgen nuevos y mayores requerimientos y necesidades, que los problemas actuales exigen. Incluso puede servir como curso complementario en las carreras de Arquitectura e Ingeniería Civil y áreas afines, pudiendo ser incorporado a los programas de estudio como tema especial.

Este modelo ANUMARQ, dirigido desde estudiantes de arquitectura y áreas afines, arquitectos, ingenieros civiles, e incluso pudiendo ser adoptado por productores industriales de materiales de Construcción en México.

Este modelo en sí, se basa o es similar al modelo diamante, porque parte de una problemática central, que es el cómo aplicar nuevos materiales a la Arquitectura, y se plantea un modelo conceptual entre sistemas (de Arquitectura, Estructuras y Ecología), para que a partir de una propuesta formal, lleguemos a dar soluciones a la problemática planteada con los subsecuentes pasos y subsistemas del modelo de solución, como son la obtención de los materiales, su caracterización y finalmente su aplicación.

**Se propone también una asignatura del área de Tecnología** para las escuelas de Arquitectura e Ingeniería Civil, en donde se impartan temas que complementen a las asignaturas de Materiales de Construcción; ésta asignatura llevaría por nombre *INTRODUCCIÓN A NUEVOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS*, (por favor véase la última parte de los anexos para analizar el temario del plan de estudios propuesto).



## EL FUTURO DE LAS METODOLOGÍAS PLANTEADAS

El futuro de las propuestas emanadas de este trabajo, (principalmente ANUMARQ), se planea depurar y mejorar el modelo de acuerdo al uso que se le haya dado en ese momento, para la posible obtención de una patente internacional. Y un poco más a futuro, se planea que ANUMARQ podrá ser complementado con la realización de un sistema experto basado en el presente modelo y métodos de Selección, que permita la mejor aplicación y uso de nuevos materiales en Arquitectura y Construcción, con el uso de computadoras más potentes, modelos automatizados y métodos de prueba de materiales más desarrollados, además de la ampliación de bases de datos de información de materiales y sus propiedades enfocados a la Construcción y mediante el uso de sistemas.

Propiamente, el futuro de los materiales es inmenso a pesar de haber miles de patentes, también hay muchas nuevas necesidades dentro de la Construcción y Arquitectura. Por este motivo es necesario depurar ANUMARQ y desarrollar nuevos métodos de selección y evaluación de nuevos materiales Compuestos en la Arquitectura y Construcción.

# FUENTES DE INFORMACIÓN

## BIBLIOGRAFÍA

- Cima, Michael J., *Ceramic Transactions*, Massachusetts Institute of Technology, 1992.
- Bednarek, Mariusz, *Tecnología de grupos*, AGT Editor, 1996.
- Villas, B.R.C., *Sustainable Development and the Advanced Materials*, Johnson Editor, 1995.
- De Vries, A.H., *Ceramic Processing*, Chapman and Hall, London, 1995.
- Vincenzini, P., *Ceramics*, NRC, Research Institute for Ceramics Technology, Faenza, Italy.
- Wurm, J.G., *Engineering Ceramics*, Commission of the European Communities, Brussels, Belgium, 1998.
- Shackelford, James F., *Ciencia de materiales para Ingenieros*, Pearson Education, 1995.
- Kaw, Autar K., *Mechanics of Composite Materials*, CRC Press, 2000.
- Haldane, J. B., *Mechanical properties of materials*, MRS Bulletin, New York, 2002.
- Dagani, R., *Intelligent Gels*, Chemical and Engineering News, London, 1997.
- Brezhnev, L. I., *Los laboratorios cósmicos Saliut*, Agencia de prensa Nóvosti, Moscú, 1975.
- Sistema de clasificación de materiales pétreos y suelos*, División de estudios superiores de la Universidad de Chihuahua, 1990.
- Mazundar, Sanjay K., *Composite manufacturing*, CRC Press, Florida, 2000.
- Potter, Kevin, *An Introduction to Composite Products*, Chapman and Hall, University of Bristol, UK, 1997.
- Day, Robert, *Cómo escribir y publicar trabajos científicos*, OPS, 1990.
- Taha, H., *Investigación de Operaciones*, Alfa- Omega Editores, Universidad de Arkansas, USA, 1992.
- Montgomery, *Diseño y análisis de Experimentos*, Wiley and Sons, USA, 2002.
- Manual de Diseño de Experimentos del Software SAS*, 2004.
- Rascón, Ch. O., *Estadística descriptiva*, Facultad de Ingeniería de la UNAM, 1998.
- The Science reports of the Research Institutes*, Tohoku, University of Sendai, Japan, 1994.
- Ochoa, Felipe, *Método de sistemas*, Posgrado de Ingeniería de la UNAM, 1997.
- Sánchez, Gabriel, *Un marco teórico para la Evaluación de sistemas*, Posgrado de Ingeniería, UNAM, 1997.
- Suárez, Javier, *Un modelo cualitativo del proceso de solución de problemas*, Posgrado de Ingeniería, UNAM, 1995.
- Fuentes, Arturo, *El problema general de la Planeación*, Posgrado de Ingeniería, UNAM, 1998.
- Metodología de Investigación en Organización y Métodos*, Comisión de la administración pública de la Secretaría de la Presidencia, 1975.
- Reglamento de Construcciones para el D.F. y Normas técnicas complementarias.*
- Comentarios y ejemplos de las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de Mamposterías*, series del Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1992.
- Díaz, Infante, *Curso de edificación*, editorial Trillas, 1999.
- Comportamiento del concreto en estructuras de alta resistencia*, IMCYC, 1993.
- Ekkehard, S.R.B., *Construcciones Industriales y Prefabricadas*, Leipzig editor, Alemania, 1990.
- Fitzgerald, Robert, *Mecánica y resistencia de materiales*, representaciones e Ingeniería, 1990.
- Monroy, *Manual de Marplain (software)*, *Análisis estructural de marcos planos*, UNAM.
- Monroy, Fernando, *Estructuras isostáticas*, UNAM, 1995.
- Monroy, Fernando, *Manual de Demye (Diagramas de elementos mecánicos y elástica de barras de eje recto)*, División de Ingeniería Civil, topográfica y Geodésica, UNAM.
- Normas de procedimientos de pruebas de materiales de la SCT*, 1992.
- Normas mexicanas de procedimientos de pruebas de materiales (NMX)*, 1999.

## DIRECCIONES WEB DE IMPORTANCIA

[www.aci.com](http://www.aci.com)  
[www.matweb.com](http://www.matweb.com)  
[www.cicy.gob.mx](http://www.cicy.gob.mx)  
[www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)  
[www.ARCICONSA.com](http://www.ARCICONSA.com)  
[www.aitavista.com](http://www.aitavista.com)  
[www.cosmos.com](http://www.cosmos.com)

# GLOSARIO

## A

**Acrílico.** Ácido acrílico es el ácido propenoico. Líquido incoloro de olor sofocante que polimeriza fácilmente. Se usa en las industrias de detergentes, plásticos, pinturas, cauchos sintéticos, etc.; De uno de sus derivados se obtienen las fibras acrílicas.

**Agregado.** Material que se usa en un compuesto como un aglomerado, el cual se une mediante un material aglutinante o de liga. Y es una fase no fibrosa dispersa en el Material Compuesto. En el concreto se refiere a la arena y la grava.

**Aislante.** Es aquel material el cual tiene la propiedad de no conducir la electricidad, el ruido o el calor según sea el caso.

**Aleación.** Metal compuesto por más de un elemento.

**Aleación con memoria de forma.** Es uno de los nuevos materiales que se están desarrollando actualmente en todo el mundo y son aleaciones metálicas que se comportan de una manera peculiar en que cambian su forma debido a condiciones como la temperatura; y se utilizarán más en la industria de la electrónica en los próximos años.

**Alfarería.** Es una actividad artesanal de tiempos muy antiguos de la humanidad, la cual consiste en cocer materiales como arcillas y otras tierras en hornos, dándoles una preforma, principalmente de uso doméstico como vasijas y tejas. Su equivalente se le nombra Cerámica Clásica.

**Alúmina.** Es un compuesto de una sola fase ( $Al_2O_3$ ) que se usa para la elaboración de numerosos materiales, principalmente cerámicos y tiene la propiedad de ser un elemento refractario y de liga. Se extrae de la Bauxita.

**Aluminatos.** Son aquellos materiales que contienen Alúmina y aluminio en su estructura.

**Amorfo.** Son los materiales que su estructura no está debidamente simétrica y contiene vacíos, lo cual hacen la estructura del material sin forma.

**Anisotrópico.** Material que tiene propiedades que varían con la dirección de los planos de su estructura molecular.

**Anticorrosivo.** Es la propiedad de los materiales para resistir la corrosión dentro de su estructura. Y la corrosión es la disolución de un material mediante agentes químicos.

**Arcilla.** Son materiales óxidos que se conforman principalmente de materias primas como aluminatos y silicatos los cuales tienen la capacidad plástica para moldearse con agua y ser cocidos en hornos.

**Argamasa.** Es una mezcla de arenas y cales que utilizaban en la antigüedad Romanos y mayas para juntar mampostería y edificar. Fue evolucionando a tal grado que se usaron numerosas mezclas y materias primas como yesos y cenizas para su elaboración. Fue el primer mortero.

## B

**Baquelita.** Material polímero que se usa en forma de placa en la Electrónica.

**Biomateriales.** Son aquellos materiales Compuestos ya sea de cualquier matriz de liga como polímera o cerámica-metálica, que se usan en la síntesis de materiales que tienen la capacidad de sustituir a alguna parte del cuerpo humano, principalmente los huesos, los dientes y las articulaciones.

## C

**Cal.** (CaO), óxido de calcio; Se prepara por calcinación del carbonato, Nitrato o Hidróxido Cálcico. Es una masa blanca que funde a 2,570° C.

**Carbo térmica.** Es una propiedad de resistencia a calor por medio del uso de materiales de grafito.

**Carburo.** Son todos los compuestos que se combinan de manera binaria con una fase con el Carbón.

**Carga de impacto.** Se refiere a las cargas eléctricas ya sean positivas o negativas en la combinación de electrones en un método de Enlace.

**Cedencia.** Deformación plástica o permanente que se presenta a una temperatura relativamente alta, bajo carga constante, dentro de un periodo largo.

**Cemento.** Material matriz del Concreto, que por lo general son aluminosilicatos de calcio.

**Ceniza Volcánica.** La ceniza es material producto de la calcinación de material de carbón y otros componentes; la de origen volcánico es el material piro clástico que se expulsa cuando el volcán tiene actividad y se conforma de numerosos minerales óxidos.

**Cerámica.** Sinónimo de alfarería, es la actividad que se realiza para la producción de materiales cerámicos los cuales son obtenidos en su mayoría por arcillas y actualmente con materiales no óxidos que se obtienen mediante sinterización o quema; que previamente se moldean y se dejan secar para obtener piezas útiles.

**Cerámica avanzada.** Las cerámicas avanzadas se denominan así, porque se utilizan en ellas materiales puros y de difícil obtención, para obtener propiedades que mejoran a las cerámicas tradicionales.

**Cerámica clásica.** La cerámica clásica es la que utiliza materiales tradicionales y hornos tradicionales para su procesamiento o fabricación. La diferencia entre la cerámica clásica y la avanzada, es la utilización de distintos métodos o técnicas para su procesamiento, así como los nuevos aparatos de rayos X y las técnicas para pulverizar los polvos, ya sean químicas o físicas.

**Cerámica cristalina.** Material cerámico con estructura atómica predominantemente cristalina, es decir, que su estructura molecular se encuentra debidamente ordenada en el espacio.

**Cerámica estructural.** Son los materiales cerámicos que sirven para utilizarlos en estructuras de maquinaria o piezas sujetas a esfuerzos dinámicos. En La industria de la Construcción las aplicaciones son pocas las de mayor peso estructural son en combinación con resinas poliméricas.

**Cermet.** Es la combinación de materiales cerámicos y metálicos. Por lo general son de matriz cerámica.

**Ciencia de materiales.** Es donde se estudian los fenómenos referentes a los elementos químicos conocidos y sus combinaciones para la formación de nuevos Compuestos; en esta Ciencia interfieren otras como la Física, matemáticas, Química, resistencia de materiales, geología, Termodinámica, etc.

**Colado o vaciado.** Es la etapa en la fabricación de materiales para moldear un elemento por medio de un recipiente y estos se vierten en tal recipiente.

**Compactación.** En ciencia de materiales es la unión inducida de partículas en la estructura, debido a los procesos físicos y químicos empleados en su elaboración; como pérdida del agua y la intervención de aglutinantes.

**Componente.** Sustancia química distintiva; ejemplo: el Aluminio (AL)

**Compresión directa.** Es el esfuerzo que se presenta en un material de forma axial en donde las partículas del material tienden a comprimirse hasta que se produce una falla.

**Compuesto**, Es un material que se forma de varios elementos en cadenas y combinaciones innumerables, por medio de enlaces ya sean iónicos y covalentes. Estos pueden resultar Polímeros, Metálicos, Polímeros y orgánicos.

**Compuesto de matriz Metálica**. Es un compuesto material que se basa en materiales metálicos como Fase primaria y combinado con otros como cerámicos, fibras y polímeros.

**Compuesto de matriz Cerámica**. Es un compuesto material que se basa en materiales cerámicos como fase primaria y combinado con otros como metálicos y Polimétricos, así como fibras; en una o más fases.

**Compuesto reforzado con fibras**. Material reforzado con una fase fibrosa más cualquier matriz de liga.

**Concreto**. Es un material cerámico que no requiere de sinterización debido a que su fabricación ya esta presinterizada; ya que se usa el cemento como matriz de liga, y este se combina con grava, arena y agua el cual también se moldea y se cura.

**Conductividad térmica**. Constante de proporcionalidad en la relación entre la transmisión de calor y el gradiente de temperatura, en cierta medida es lo reciproco a la resistividad de calor.

**Conductor térmico**. Es todo material que permite la conducción del calor.

**Conductor eléctrico**. Es todo material que permite la conducción de la electricidad sin dificultades.

**Contracción**. Es la acción en los materiales que por motivos de cambios de temperatura, de humedad y reacciones químicas que generan grietas no deseadas en los materiales; por lo que dice la misma palabra: contraer.

**Cristalino**. Estado de la Materia caracterizada porque las partículas elementales aparecen distribuidas ordenadamente en el espacio según ciertas leyes y propiedades de los materiales.

## D

**Densidad**. Es la consolidación del material como resultado de las materias primas que lo conforman y su distribución estructural, lo cual se traduce en un peso específico.

**Deposición**. La deposición es un fenómeno en una de las etapas del procesamiento de materiales que se refiere a la acumulación residual de alguna o algunas sustancias químicas de las materias primas usadas.

**Desgaste por fricción**. En Ingeniería de materiales se refiere al desgaste de las piezas usadas en la maquinaria o en los discos para herramientas de corte, debido precisamente a la fricción entre los materiales o rozamiento continuo.

**Desvitrificación controlada**. Técnica de Procesamiento para Vitro- cerámicas en la cual se transforma el material de una fase vítrea en una Cerámica cristalina de grano fino.

**Diagrama binario**. Es el "mapa" de fases de dos componentes de un Compuesto.

**Diseño Micro – estructural**. Es el cálculo que se debe de realizar antes de probar un material en la practica; y este se hace a nivel micro - estructural tomando en cuenta las características de los elementos químicos.

**Dopado**. El Dopado es una técnica que se realiza para procesar materiales por medio de materias primas mixtas. Formando compuestos más complejos.

**Dúctil**. Es la propiedad que tienen algunos materiales para doblarse sin permitir deformación irreversible en la estructura del material.

## E

**Electrón de valencia.** Un electrón de valencia (-e), es aquel que queda libre para ser repartido o compartido según sea el caso, para la formación básica de compuestos.

**Enlace.** Significa unión Química y electrónica de átomos para formar Compuestos.

**Enlace iónico.** Es cuando pasan electrones de valencia de un átomo a otro para formar Compuestos.

**Enlace covalente.** Es cuando comparten electrones de valencia los átomos y se forman Compuestos.

**Epóxico.** Se refiere a un material derivado de polímeros.

**Esfuerzo.** Es el empleo enérgico de una fuerza Física contra algún impulso o resistencia. En el caso de los materiales existen distintos como: Tensión, Compresión, Torsión, etc.

**Esmaltado.** Es el acabado que se le da a las cerámicas clásicas por medio de esmaltes y pinturas de diversos tipos, en condición simple o combinada.

**Espécimen.** Es una muestra o modelo que sirve para experimentar u observar algún fenómeno.

**Estado.** Condición de un material que se define comúnmente en términos de una temperatura y composición química específicas.

**Expansión térmica.** Es cuando en la estructura de los materiales las partículas se separan un poco debido a cambios de calor en su cuerpo. Y el volumen tiende a aumentar.

## F

**Fase.** Parte químicamente homogénea de una micro estructura.

**Fase binaria.** Se presenta en un compuesto que se forma de dos fases

**Fatiga estática.** Para ciertas cerámicas y vidrios, es la degradación de la resistencia que se presenta sin cargas cíclicas.

**Ferrita.** Aleación ferrosa basada en la estructura BCC (cúbica centrada en el cuerpo), del Hierro puro a temperatura ambiente. También, cerámica ferromagnética basada en la estructura de espíneta inversa.

**Fibra.** Filamento o partícula alargada de material compuesto y sirve de refuerzo en el material y actúa como segunda fase después de la matriz de liga.

**Fibra continua.** Fibra para refuerzo de un Compuesto que no tiene interrupción dentro de la matriz.

**Fibra corta..** Fibra para reforzamiento fraccionada en segmentos.

**Fibra de vidrio..** Sistema de Material Compuesto, formado por una matriz de Polímero reforzada con fibras de vidrio.

**Filamento.** Partícula alargada generalmente metálica y principalmente de acero que sirve como refuerzo en segunda fase del Compuesto o material.

**Fractura frágil..** Falla de un material que sigue a la Deformación mecánica cuando no hay mucha ductilidad.

**Frágil..** Material que no tiene capacidad de deformación.

**Frontera de grano..** Región desalineada entre dos granos o partículas adyacentes en una microestructura policristalina.

## G

**Grados de libertad.** Número de variables independientes, disponibles para especificar una microestructura en equilibrio.

**Grafito.** Carbono que cristaliza en el sistema hexagonal; es de color gris oscuro, de brillo metálico a mates, de tacto untuoso a graso y muy buen conductor del calor y la electricidad en su forma pura.

**Grano..** Cristalito individual, formado por partículas en una microestructura policristalina.

**Gres.** Término de origen francés, utilizado para designar la cerámica de alta Temperatura. También es equivalente a StoneWare o cerámica compacta principalmente de arcilla.

**Grieta.** Es una fractura frágil o falla de un material que sigue a la deformación mecánica cuando no hay mucha ductilidad. La grieta es generalmente de forma alargada.

## H

**Heterogéneo.** Sustancia o mezcla en donde la composición y estructura no son uniformes y poseen varios elementos distintos.

**Homogéneo.** Sustancia o compuesto cuyos elementos son de igual naturaleza o condición y su estructura es uniforme.

**Horno.** Cámara o aparato que genera calor para procesar algunos materiales que poseen ciertas propiedades para tal efecto y en donde el material sufre transformaciones físicas y químicas.

## I

**Ingeniería de Materiales.** Es la actividad que va de la mano con la Ciencia de materiales pero que se diferencia de ella porque en la Ingeniería se ven las aplicaciones industriales propiamente dicho de la ciencia de materiales, por lo que aquí se diseñan materiales para un determinado uso o aplicación y con determinadas propiedades físicas y químicas.

**Isotrópico..** Material que tiene Propiedades no variables respecto con la dirección de los planos de la microestructura.

## J

## K

**Kevlar.** Es un Compuesto en forma de fibra la cual es artificial de base orgánica. Y sirve para reforzamiento y blindaje en algunas industrias.

## L

**Laboratorio de materiales.** El laboratorio de materiales es un lugar generalmente edificado especialmente para contener aparatos para pruebas mecánicas y químicas de materiales moldeados o dimensionados. El laboratorio sirve para fines de observación del comportamiento cuantitativo y cualitativo de la materia a estudiar.

**Lapilli.** Es un material de origen volcánico, de estructura cristalina y es propiamente parte de la espuma de la lava de dichos volcanes. Este material sirve como agregado ligero en la fabricación de mezclas para concreto. Y pulverizado sirve para reducir el peso en los morteros de matriz cemento u otros de tipo cerámico o polimérico.

## M

**Mallas de acero.** Las mallas de acero son usadas para el reforzamiento continuo de concretos principalmente. Y su base es una retícula de varillas dependiendo los calibres y el fin practico.

**Materiales.** Son todo aquello opuesto a lo espiritual. Y se resume en todo aquello que no se crea ni se destruye y que solo se transforma.

**Materiales cerámicos.** Los materiales cerámicos son aquellos que provienen de materiales no metales y algunos metales, y de materias primas óxidos y algunas no óxidos. Los materiales cerámicos son los más abundantes en el planeta.

**Materiales compuestos.** Los materiales compuestos son aquellas combinaciones entre metales, cerámicos, polímeros y algunos materiales orgánicos.

**Materiales Fotónicos.** Son materiales nuevos que se realizan mediante procesos que tienen que ver con partículas de masa nula correspondiente al cuanto de radiación electromagnética. Su energía es el producto de la frecuencia de la radiación por la constante de acción de Planck.

**Materias primas.** Son todos aquellos materiales que se pueden utilizar en la elaboración de Compuestos.

**Matriz de liga.** Es la parte del Compuesto o Material que actúa como aglutinante dentro de la mezcla y es una Fase del Compuesto.

**Matriz cerámica.** Es la parte o fase de un compuesto aglutinado mediante material cerámico.

**Matriz metálica.** Es la parte o fase de un Compuesto aglutinado por un metal.

**Matriz polimérica.** Es la parte o fase de un Compuesto aglutinado mediante un polímero.

**Metálicos.** Son materiales que se realizan con base a elementos químicos caracterizados por brillo peculiar, por dar cationes en disolución, por formar óxidos e hidróxidos, de carácter básico y por actuar sólo como reductores. Los metales poseen pocos electrones en su ultimo nivel ocupado, son poco electronegativos y su potencial de ionización es bajo; son buenos conductores, dúctiles, sólidos y maleables.



**Metalurgia de polvos..** Técnica de Procesamiento para metales en la que hay adhesión en estado sólido, de un polvo de grano fino, para formar un Producto policristalino. De igual manera se le puede tratar con polvos cerámicos con algunas variantes en el Procesamiento.

**Métodos.** Son procedimientos o maneras de realizar una cosa o actividad, mediante el análisis y el razonamiento con reglas ordenadas.

**Metodología de Investigación.** Es la secuencia a seguir para realizar cualquier proyecto en donde se involucran factores de métodos científicos y razonamientos y elementos de reflexión durante el proceso.

**Micro- agrietamiento..** Es una falla del material a nivel micro- estructural, en donde se forman grietas o fisuras.

**Micro estructurados.** Son los materiales que se realizan tomando la unidad de medida en micras para definir su estructura.

**Minerales crudos.** Son materias primas que aún no han sido procesadas para su empleo en la producción de materiales.

**Módulo de Young. (Módulo de elasticidad)** Es el valor que nos sirve para determinar la relación esfuerzo – deformación de cualquier material en su rango elástico.

**Moldeado de masa..** Método de Procesamiento para Cerámicas en el cual se vierte una mezcla de polvo y agua en un molde poroso.

**Moldeado por fusión..** Técnica de Procesamiento de cerámicas, semejante al de Colado en los metales. Que lleva por nombre técnica de Vaciado.

**Moldeo.** Proceso y etapa en la producción de materiales en forma de piezas dimensionadas a través del uso de moldes.

**Moldeo súper plástico..** Técnica de conformación de partes metálicas de formas complicadas a partir de ciertas aleaciones de grano fino, a elevadas temperaturas.

**Molécula..** Grupo de átomos unidos por enlazamiento primario, que por lo general es covalente.

**Momento flexionante.** Es el momento en que un elemento esta sujeto a un esfuerzo de flexión.

## N

**Nano - estructurados.** Son materiales que se fabrican con base a medidas de polvos y partículas nanométricas para la formación de su estructura.

**Nanómetro.** Es la billonésima parte de un metro.

**Nitruros.** Compuestos binarios del nitrógeno con un elemento menos electronegativo que él.

**Nuevos materiales.** Los nuevos materiales son aquellos que se están inventando en este momento y los de hace relativamente poco tiempo ( 20 años) y son para nuevas aplicaciones y usos, debido a las nuevas necesidades en materiales.

## Ñ

## O

**Óxido..** Compuesto que se forma entre uno o varios elementos metálicos y Oxígeno.

## P

**Parámetro de diseño..** Propiedad de un material que sirve como base para su selección en determinada aplicación.

**Partícula.** Constituyente fundamental de la materia a escala subatómica. En los compuestos se refiere a materia pulverizada para su interacción en la formación de materiales con micro – estructuras o nano – estructuras.

**Plano micro – estructural.** Plano de red cristalográfica en la estructura de los materiales.

**Polímero.** Macro – molécula constituida por unidades moleculares repetitivas llamadas Monómeros, Sus propiedades dependen del tipo de monómero y de la estructura de la macro – molécula, Entre los naturales están: el caucho, las proteínas, los polisacáridos, etc. Y los artificiales están: plásticos, fibras sintéticas, etc. La estructura puede ser lineal o con uniones cruzadas y el polímero resultante puede ser amorfo o cristalino.

**Poivos cerámicos.** Son aquellas partículas pulverizadas de material cerámico. Sirven para formar materiales y compuestos cerámicos.

**Precipitación,** Se trata del reforzamiento del material en base a partículas y polvos uniformemente dispersas en una segunda fase y controladas por precipitación, y dichos polvos o fibras actúan como barrera a las posibles dislocaciones de la estructura del material.

**Precursor.** Es una materia prima que actúa como base del cual se formará un determinado material de igual o diferente naturaleza por medio de mecanismos de procesamiento y transformaciones químicas.

**Predicciones.** Sirven para anunciar lo que puede pasar en el futuro, particularmente en el caso de los materiales se realiza por medio de ecuaciones algebraicas y parámetros de las propiedades de los materiales.

**Procesamiento.** Es el procedimiento que se emplea para producir, sintetizar o manufacturar materiales.

**Propiedades** del material. Son aquellas características que hacen distintos a algunos materiales de otros, como su resistencia mecánica, su capacidad de resistir calor, propiedades acústicas, conductoras, densidad, etc.

**Proyecto de Investigación.** Es un estudio teórico y práctico para resolver una hipótesis planteada para determinado problema.

**Pulverización.** Es el efecto de reducir a polvo un material o en partículas muy pequeñas de micras aproximadamente.

## Q

## R

**Reforzamiento.** Acción de combinar materiales para hacer más fuerte la estructura en la matriz de un Compuesto.

**Reforzamiento por precipitación.** Reforzamiento de un material mediante fibras en una segunda fase.

**Reforzamiento por transformación.** Mecanismo para obtener mayor tenacidad a la fractura en una cerámica parcialmente estabilizada (con distintas partículas, generalmente polvos) en la mayoría de los casos con Zirconio, en el que interviene una transformación de fase inducida por esfuerzos de granos dentro de la estructura del material.

**Refractario.** Material cerámico que se emplea en estructuras o aparatos sometidos a elevadas temperaturas. Pueden estar formados por silicatos de aluminio, magnesita, sílice, dolomita, o minerales de Cromo. Y se emplean principalmente como revestimientos de maquinaria.

**Resina orgánica.** Polímero de estructura tridimensional constituido por estructuras rígidas de peso molecular relativamente bajo. Las naturales son las obtenidas de plantas como la resina de los árboles, Y las sintéticas como las poliamidas, Poliéster, resinas acrílicas, etc.

**Resistencia.** Es la capacidad que tiene un cuerpo para sufrir deformaciones en su estructura o superficie.

**Revestimiento.** Es el recubrimiento que se le da a materiales como metales los cuales se corroen fácilmente. Y generalmente son de origen cerámico.

## S

**Sección transversal de una grieta.** Es el ancho de la fisura o grieta en el material.

**Sensores.** Son dispositivos utilizados para determinar el valor actual de una magnitud controlada de un sistema. (para edificios en antiincendios, alarmas para fugas o detectores, etc.)

**Silicatos.** Son todos los compuestos que tienen como fase principal el Sílice.

**Sílice.** ( $\text{SiO}_2$ ) dióxido de silicio; se encuentra en un gran número de minerales; es un cuerpo polimórfico que se presenta en la naturaleza en forma de cuarzo o cristal de roca (tridimita, cristobalita, y coesita) químicamente es una sustancia muy estable.

**Sinterización.** Es el proceso que se le da a los materiales para cocerlos por medio de hornos y así se realicen las transformaciones deseadas.

**Síntesis.** Es la manera como se realizan materiales artificiales. Ya que los elementos químicos se van seleccionando y combinando de tal forma que se produzcan compuestos de manera intencional.

**Sistemas de materiales.** Conjunto ordenado de familias de materiales que poseen características afines debido a su estructura y comportamiento Físico y Químico.

**Sol – gel.** Se refiere a una solución química en estado de gel.

**Solución Química.** Es un medio estable que sirve para combinar distintas sustancias químicas; principalmente un medio líquido.

**Solución sólida.** Mezclado mutuo a escala atómica de más de una especie sólida de materiales en estado sólido.

**Solvente.** Es una sustancia química que sirve para disolver otras.

**Substrato.** Origen o base de un material tipo muestra, perceptible a veces en estado natural.

## T

**Tecnología.** Es la sistematización de los conocimientos aplicables a cualquier actividad, especialmente en los sectores industriales.

**Temperatura Eutéctica..** Temperatura mínima en la cual funde por completo un sistema binario.

**Tenacidad a la Ruptura..** Valor crítico del factor de intensificación de esfuerzo en el extremo de una grieta, necesario para producir falla total.

**Tensión.** Es cuando en un material sus partículas que forman la estructura tienden a separarse en direcciones opuestas dentro de un mismo plano, como en la Flexión o alguna combinación de esfuerzos.

**Torsión.** Deformación que experimenta un cuerpo por la acción de dos pares de fuerzas opuestas y situados en planos paralelos.

**Trabajabilidad.** Es la capacidad que tiene una pasta para ser moldeada o trabajada libremente sin problemas de incapacidad plástica o demasiado escumamiento del agua que la conforma.

**Transformación química.** Son los cambios internos en la estructura física y química del material mediante procesos de manufactura o técnicas de producción.

## U

—

## V

**Vaciado** Es cuando una mezcla trabajable se vierte en un molde o recipiente para ser procesado.

**Valencia..** Carga total de un ión.

**Variables de estado.** Propiedades de un material, variables como la Temperatura y la Composición química; se emplean para definir un estado.

**Vidrio.** Sustancia amorfa, translúcida, dura y frágil a la temperatura ambiente. Resiste la acción química de la mayoría de reactivos. Se obtiene por fusión de Sílice, sosa o cal y una serie de aditivos complementarios (óxidos de sodio, calcio y silicio) que varían según las características deseadas. Y su estructura no es cristalina sino amorfa. La mayor parte de los vidrios en ventanas y botellas son de este material.

## W

**Whiskers.** Fibras cerámica procesada con SiO ( óxido de silicio.). Se le conoce también como Bigotes.

## X

Y

Z

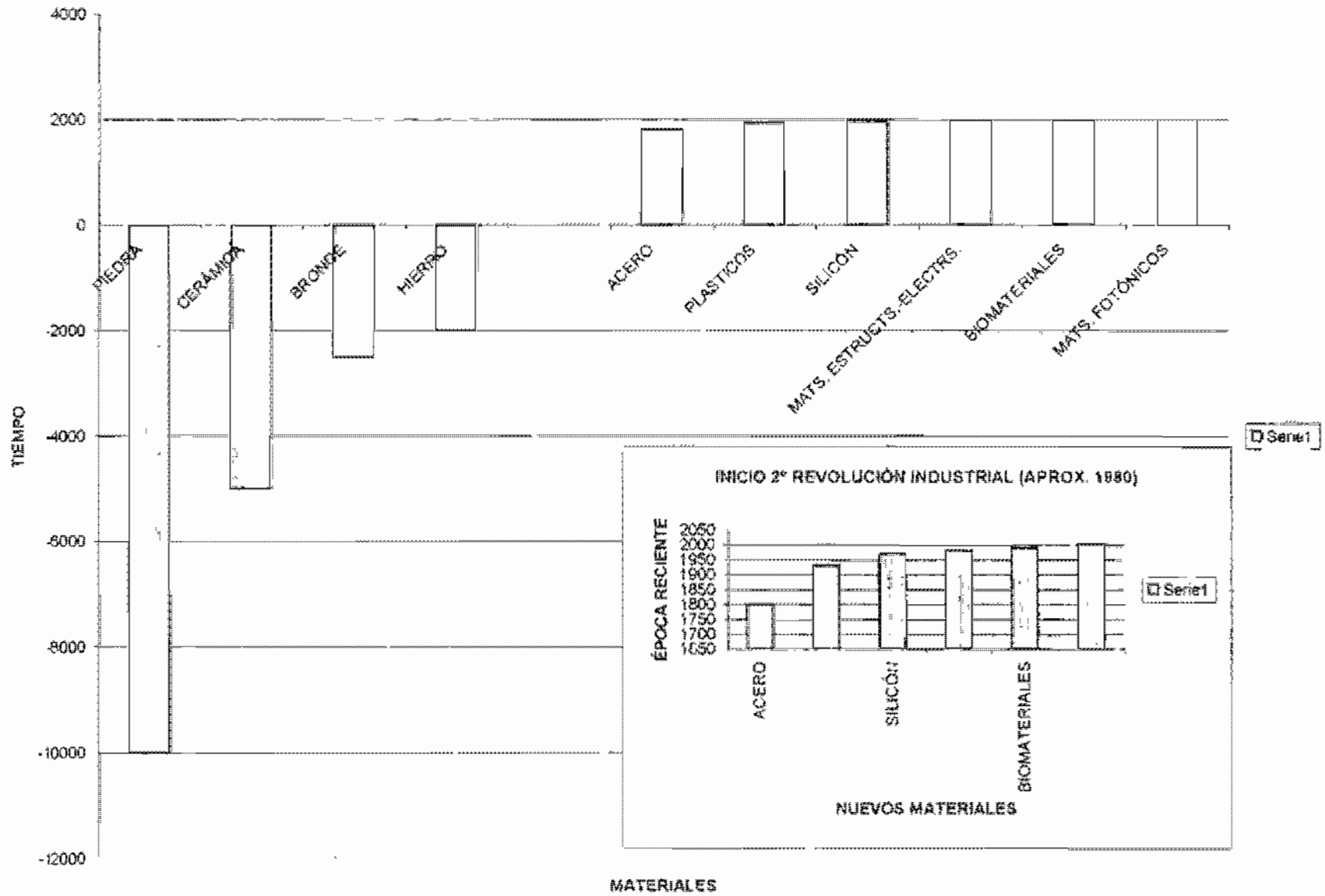
**Zirconio** (Zr), Elemento químico situado en el Grupo IVb de la tabla periódica de los elementos, compartiéndolo con el titanio y el Hafnio; metal blanco con mucho brillo, es paramagnético. Su estructura electrónica determina que su valencia normal sea la IV, se le conoce también la II y III. Reacciona con el O, N, H y halógenos (F, Cl, Br, Y y As).

**Zirconia parcialmente estabilizada.** Cerámica de  $ZrO_2$ , con un poco de un Componente agregado como: CaO, que produce una microestructura de dos fases.

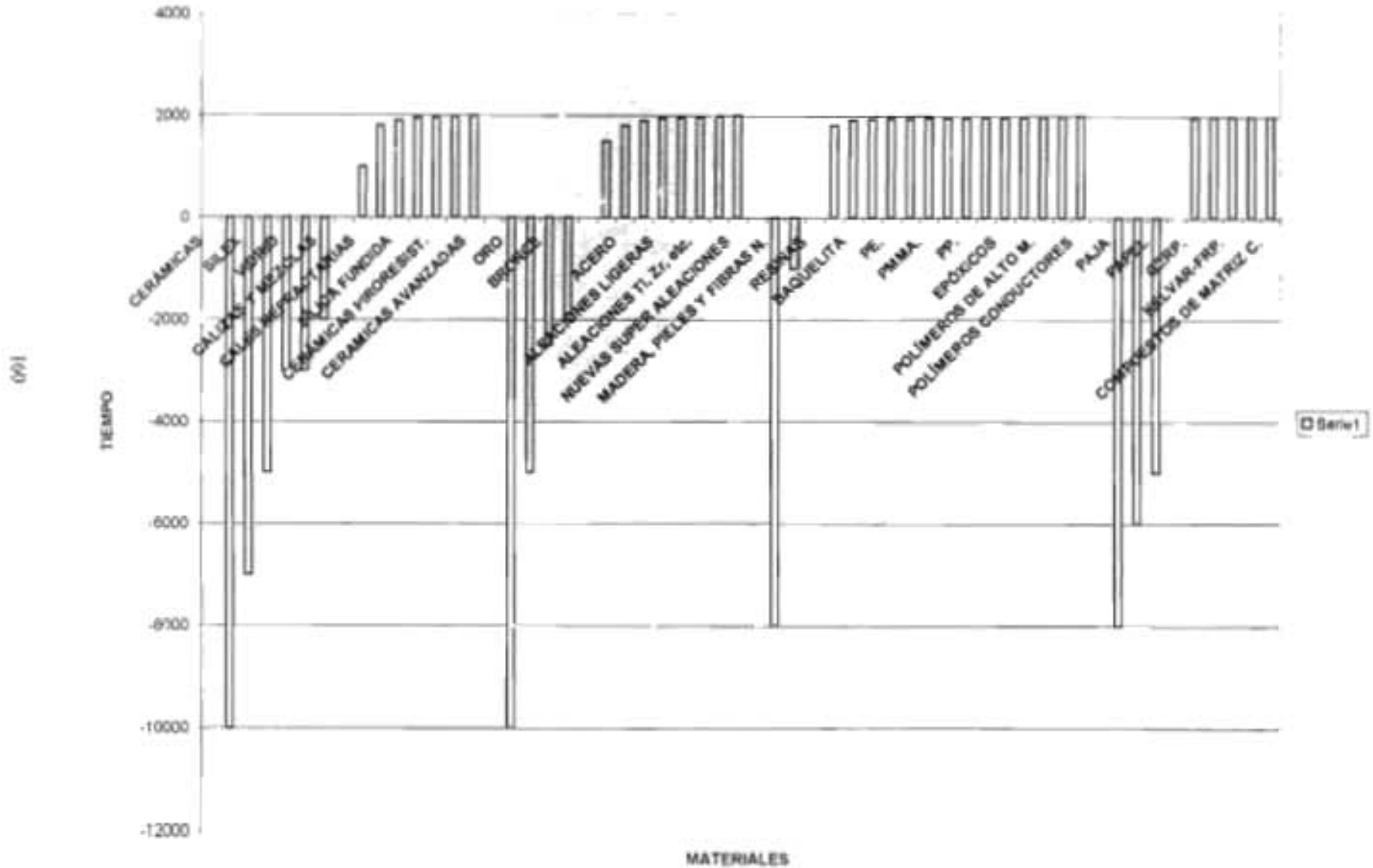
## ANEXOS:

TABLA DE CRECIMIENTO TECNOLÓGICO DE MATERIALES	159
EVOLUCIÓN DE MATERIALES EN ARQUITECTURA E INGENIERÍA	160
EVOLUCIÓN DE METALES EN ARQUITECTURA E INGENIERÍA	161
EVOLUCIÓN DE POLÍMEROS EN ARQUITECTURA E INGENIERÍA	162
EVOLUCIÓN DE CERÁMICAS EN ARQUITECTURA E INGENIERÍA	163
EVOLUCIÓN DE COMPUESTOS EN ARQUITECTURA E INGENIERÍA	164
MODELO <i>ANUMARQ</i> DESGLOSADO	165
DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA GUÍA DE SELECCIÓN DE NUEVOS MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN	171
GRÁFICA DE PRUEBA DE COMPRESIÓN DIAGONAL PARA MURETES CON BLOQUES COMERCIALES ARCICONSA	172
FICHA TÉCNICA REFERENTE A LAS FIBRAS DE ALÚMINA PARA REFORZAR EL MATERIAL DE LA PROPUESTA	173
ANÁLISIS DE UN EXPERIMENTO FACTORIAL PARA LA EVALUACIÓN DEL SINTERIZADO DEL MATERIAL DE LA PROPUESTA EXPERIMENTAL	174
ANÁLISIS DE EXPERIMENTO FACTORIAL PARA FABRICACIÓN DE BLOQUES HUECOS DE ARCILLA COCIDA (PROPUESTA EXPERIMENTAL)	179
FORMATO PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE MATERIALES PROPUESTO	184
PROPUESTA DE UNA ASIGNATURA PARA LAS ESCUELAS DE ARQUITECTURA EN LICENCIATURA O POSGRADO, EN EL ÁREA DE TECNOLOGÍA	185
DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION PARA TRÁMITE DE REGISTRO DE LA PATENTE DE <i>REFORCER</i>	186
FORMATO PARA PRUEBAS Y EXPERIMENTOS CON DISEÑO Y ANÁLISIS FACTORIAL (COMPLEMENTO DE ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS)	190

# CRECIMIENTO TECNOLÓGICO DE MATERIALES

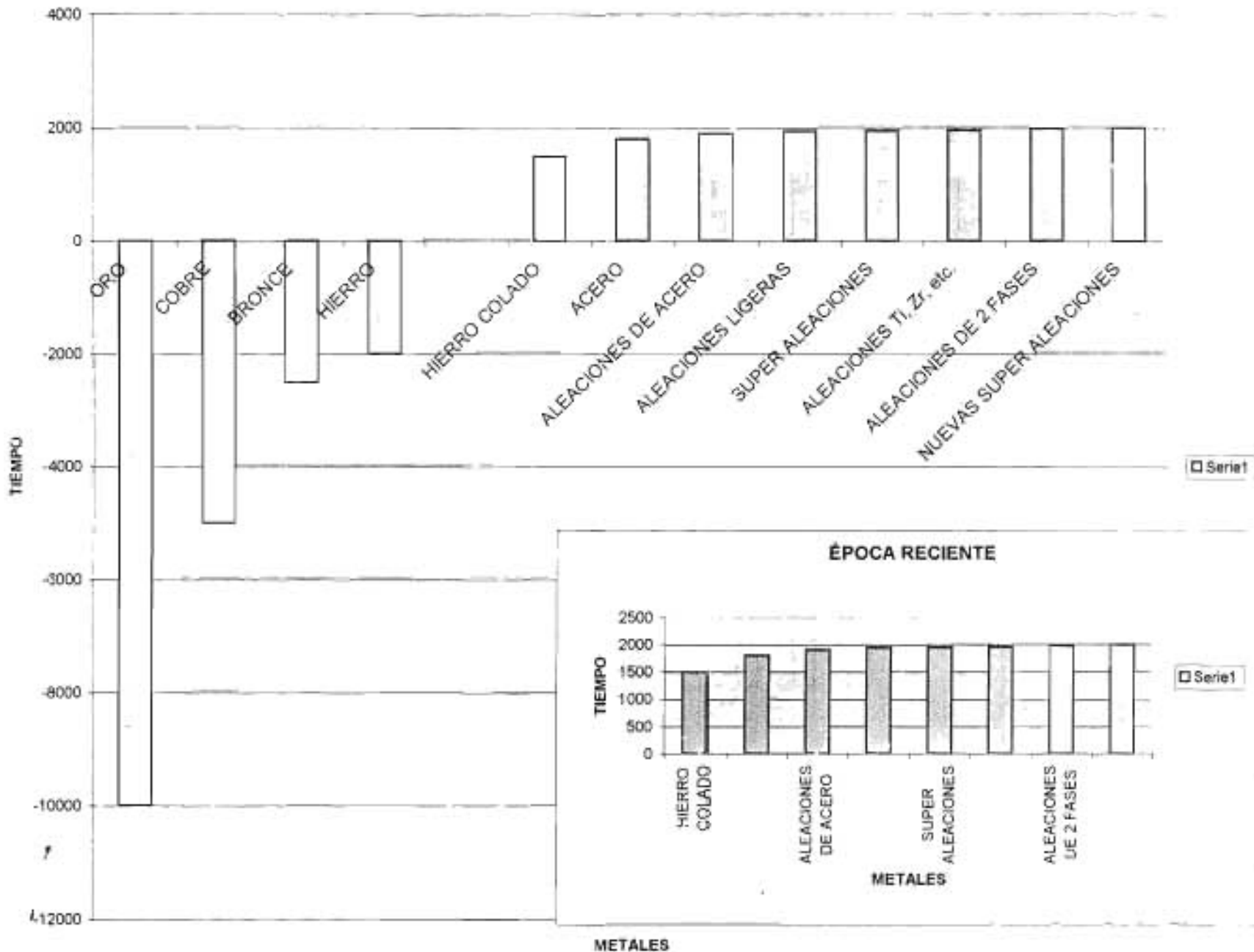


# EVOLUCIÓN DE MATERIALES EN ARQUITECTURA E INGENIERÍA

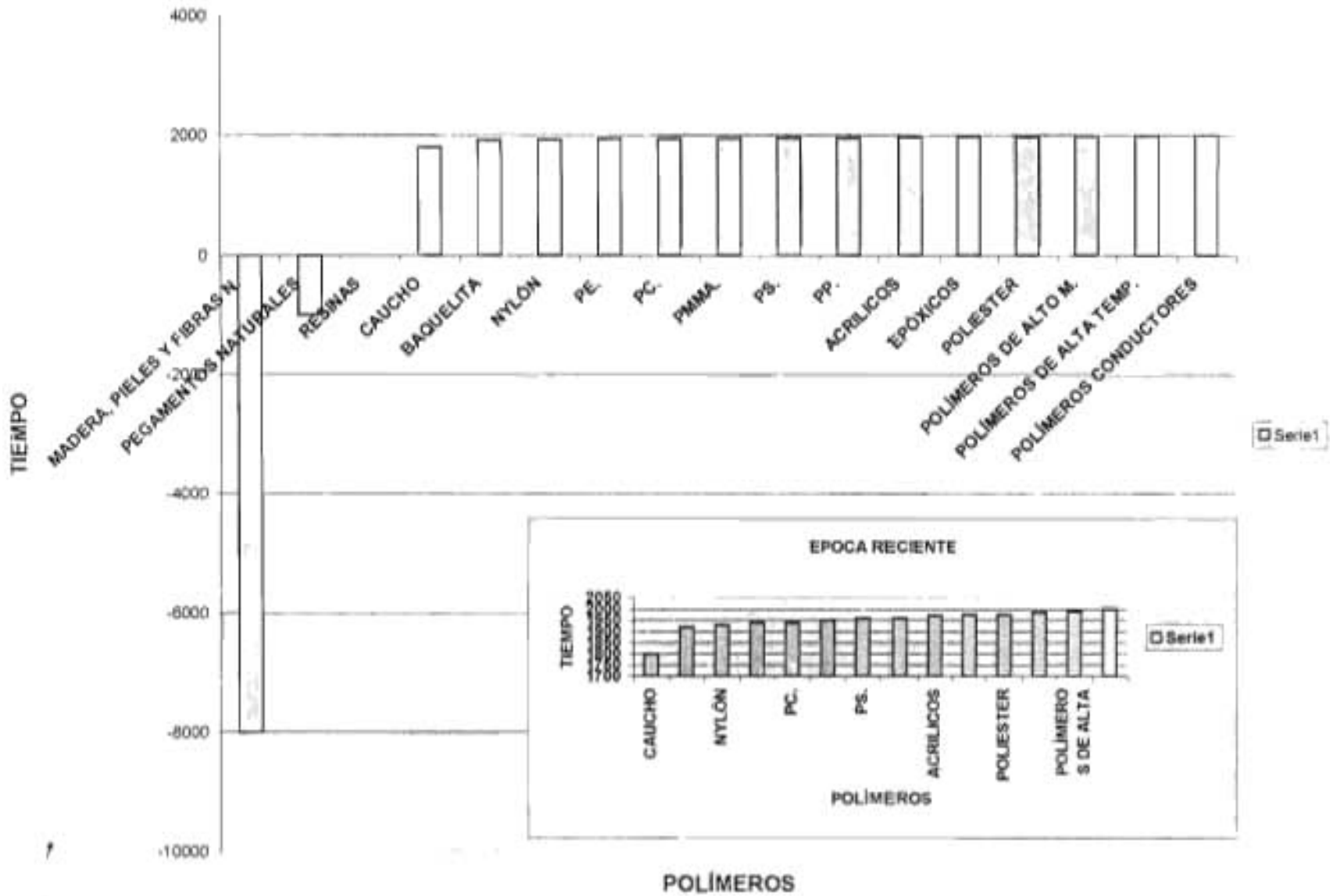




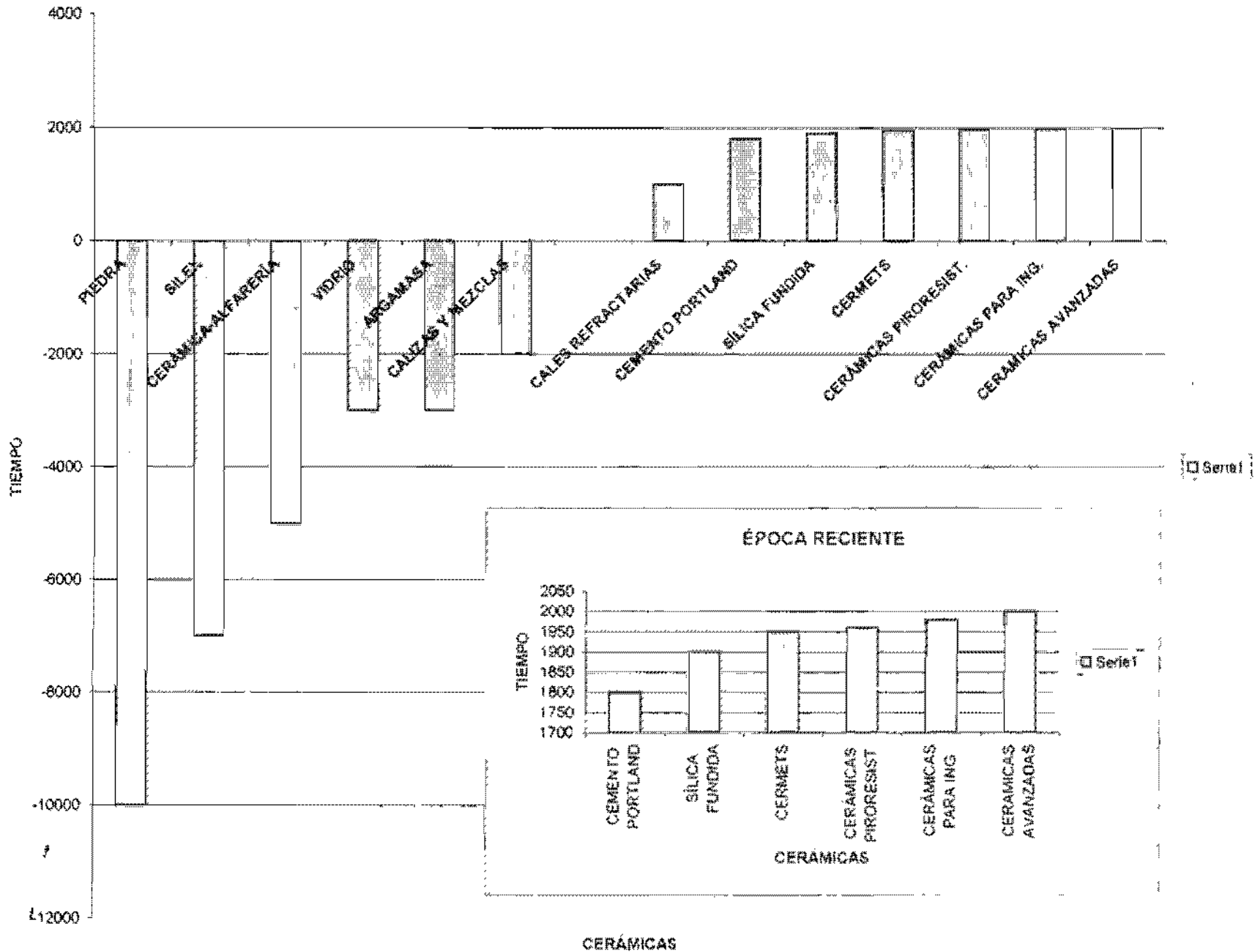
### EVOLUCIÓN DE METALES EN INGENIERÍA



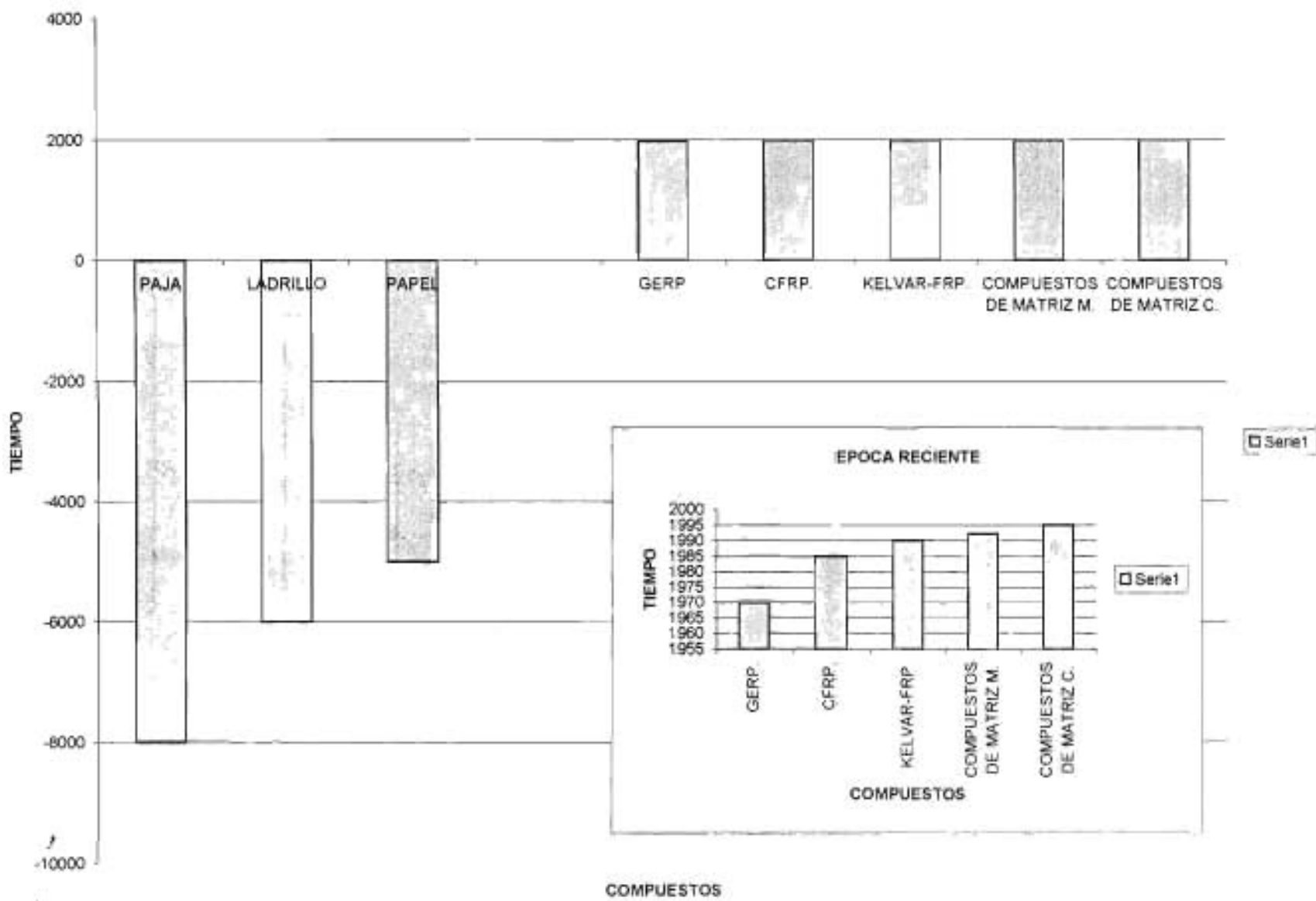
# EVOLUCIÓN DE POLÍMEROS EN INGENIERÍA



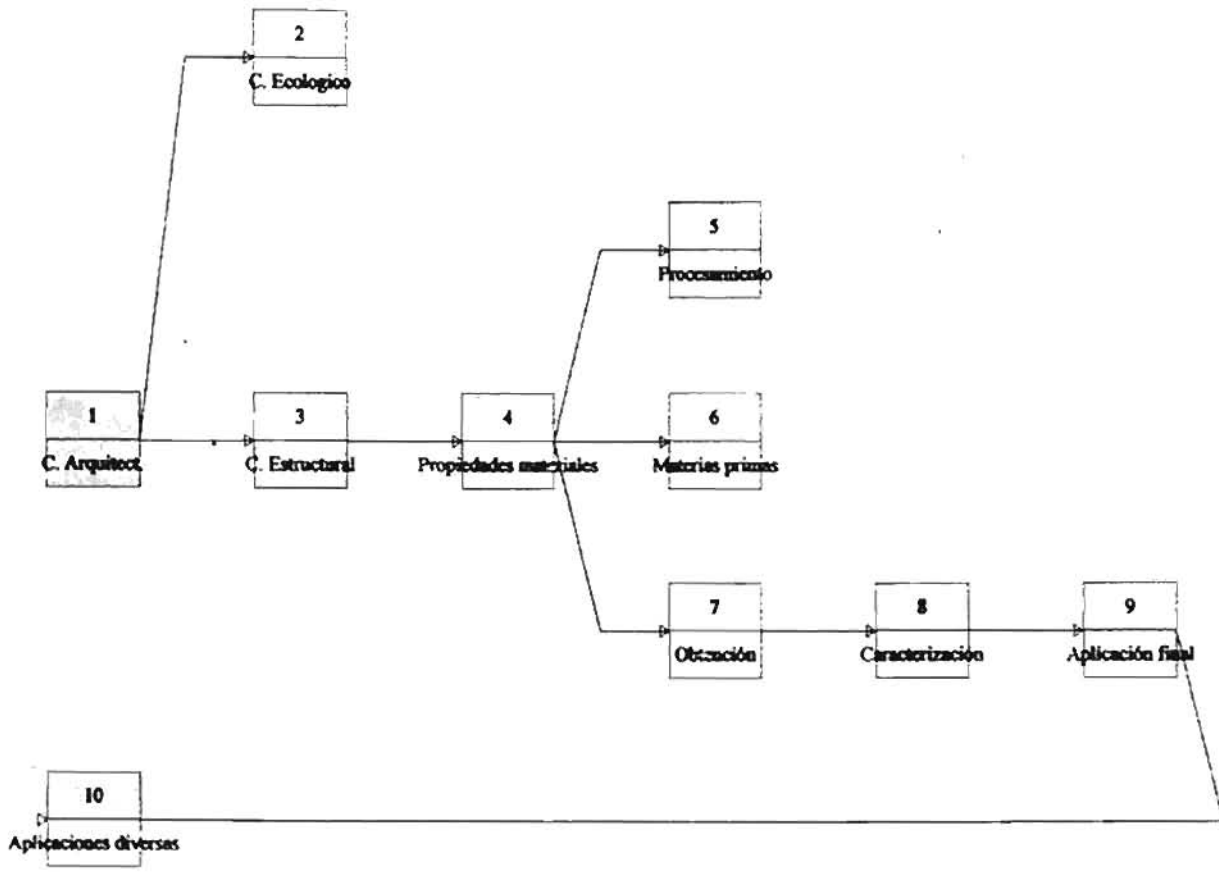
# EVOLUCIÓN DE CERÁMICAS EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

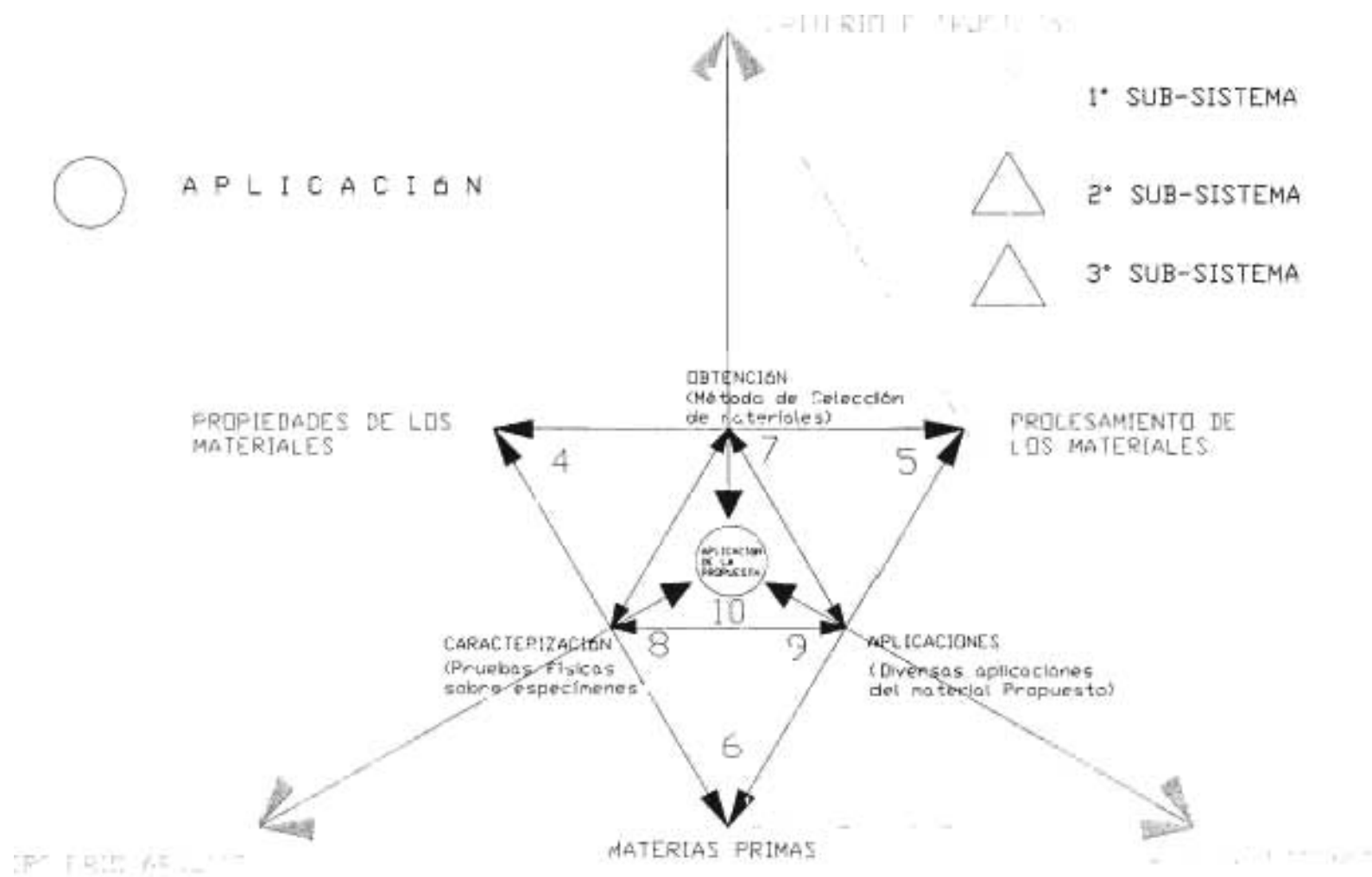


### EVOLUCIÓN DE COMPUESTOS EN INGENIERÍA



# Decisión Tree for ANUMARQ

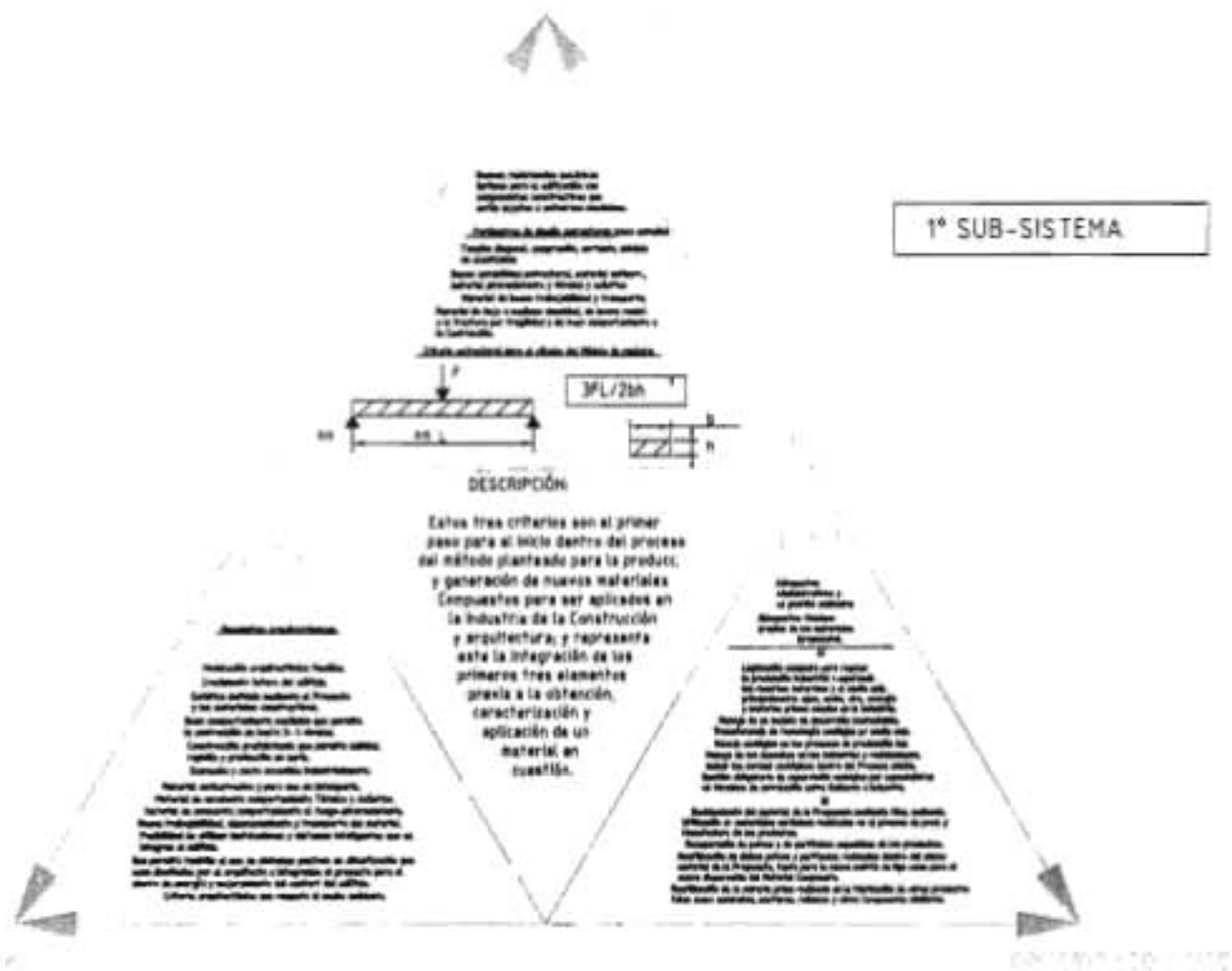




'ANUMARQ'

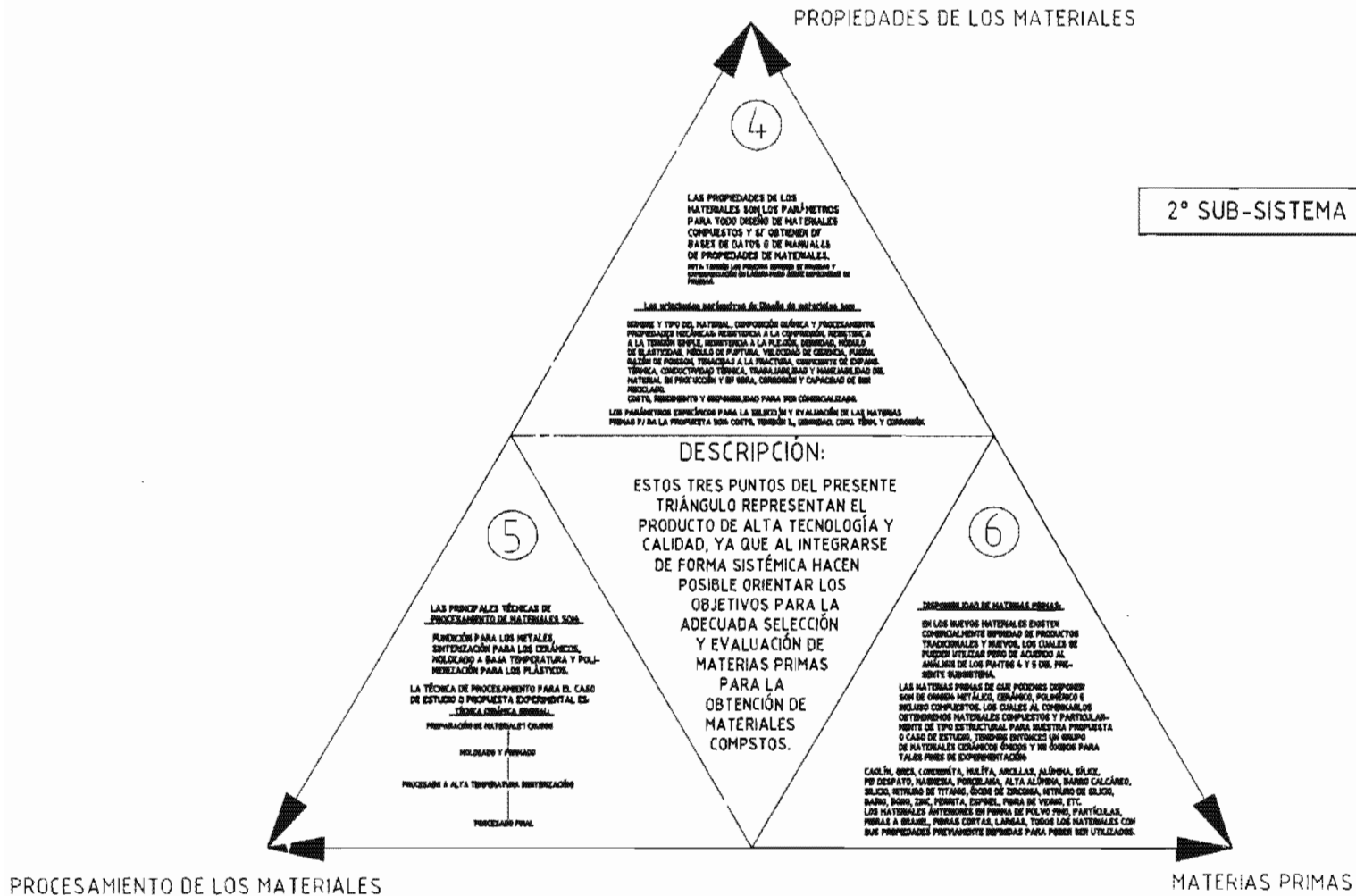
Por: H. Arq. Silverio Hernández Moreno, Programa de Doctorado en Arquitectura, U N A M.

MODELO SISTÉMICO PARA LA APLICACIÓN DE NUEVOS MATERIALES COMPUESTOS EN LA ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN CIVIL.



Por: M. Arq. Silverio Hernández Moreno  
Programa de Doctorado en Arquitectura de la UNAM.

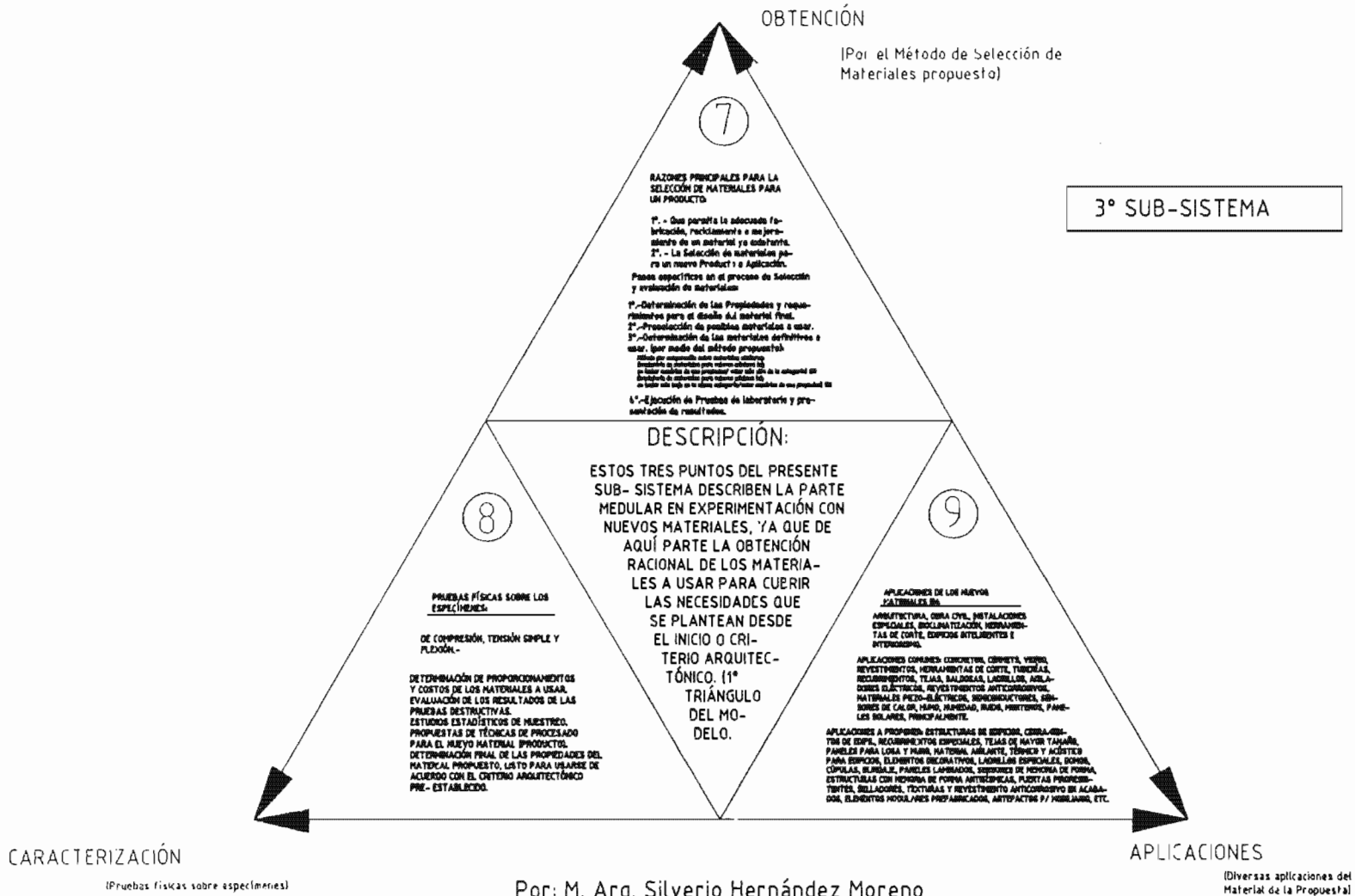
## PRIMER TRIÁNGULO DEL SISTEMA PARA EL MODELO PROPUESTO



Por: M. Arq. Silverio Hernández Moreno  
Programa de Doctorado en Arquitectura de la U N A M.

## SEGUNDO TRIÁNGULO DEL SISTEMA PARA EL MODELO PROPUESTO





# TERCER TRIÁNGULO DEL SISTEMA PARA EL MODELO PROPUESTO

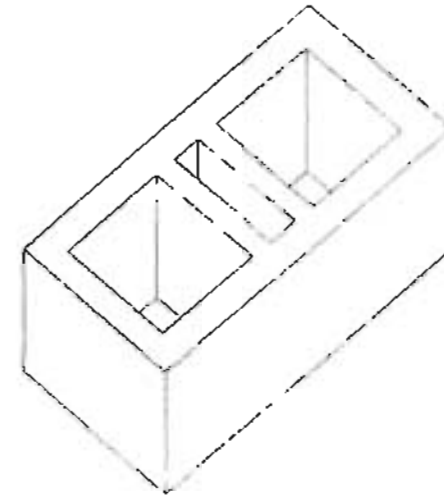
10

APLICACIÓN FINAL. -

APLICACIONES A PROPONER: ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS, CERRAMIENTOS DE EDIF. REQUERIDOS ESPECIALES, TEJAS DE MAYOR TAMAÑO, PANELES PARA LUSA Y MUROS MATERIAL AISLANTE, TÉRMICO Y ACÚSTICO PARA EDIFICIOS, ELEMENTOS DECORATIVOS, LADRILLOS ESPECIALES, DOMOS, COPULAS, BÚDICAJE, PANELES LAMINADOS, APILIC. TÉRMICAS Y ACÚSTICAS, BLOQUES CERÁMICOS PARA MUROS DE CARGA Y DIVISORES, PUERTAS PROGRESIVAS, TEXTURAS Y REVESTIMIENTO ANTICORROSIVO EN ACABADOS, ELEMENTOS MODULARES PREFABRICADOS, BOVEDILLAS PARA TECHO, ETC.

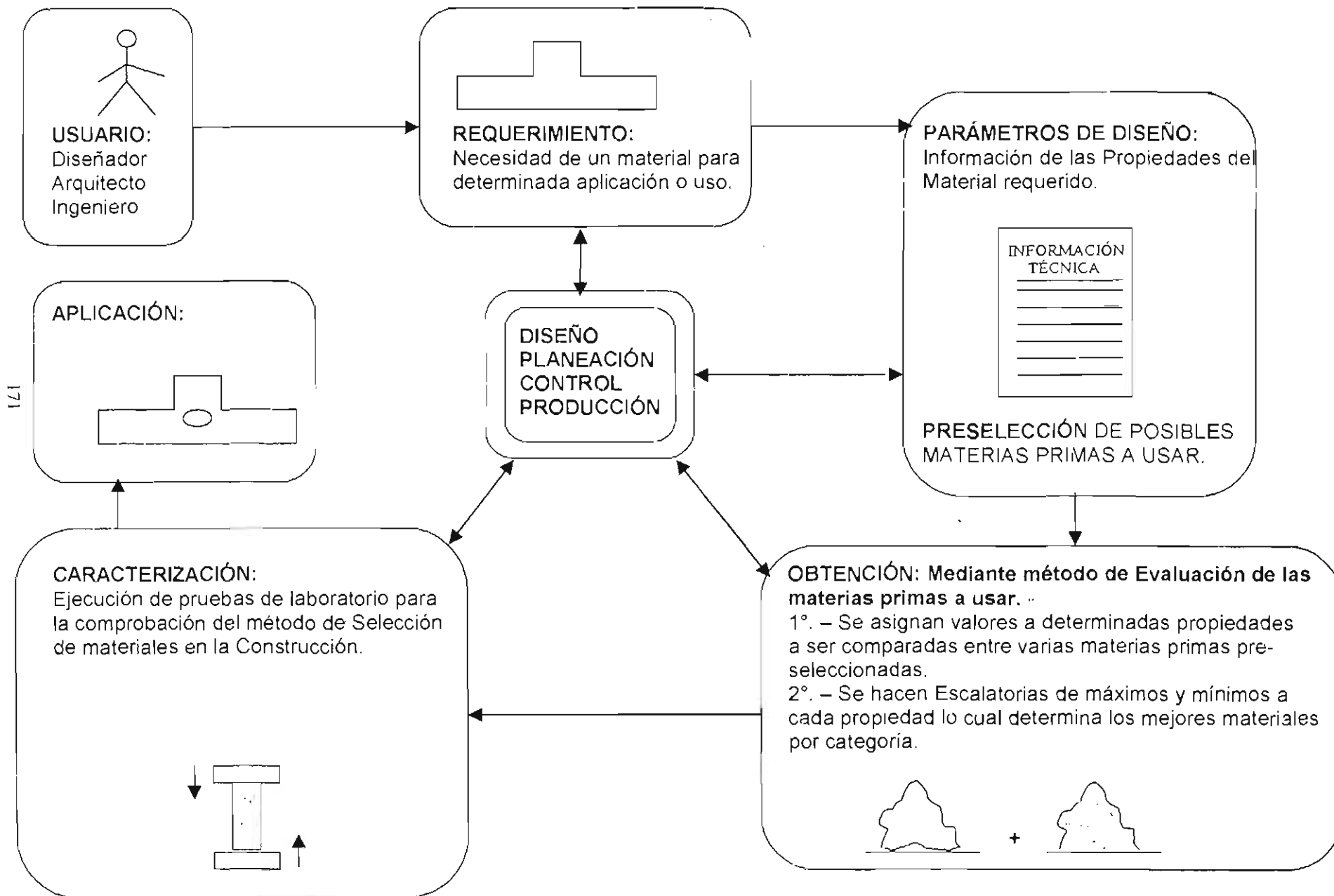
DE LO ANTERIOR ESCOGEREMOS LA APLICACIÓN QUE SE HA VENIDO MANEJANDO DESDE EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA DEL MATERIAL, PARTIENDO DEL CRITERIO ARQUITECTÓNICO YA PLANTEADO DESDE EL INICIO DEL PRESENTE MODELO. DICHA APLICACIÓN SE REFIERE A LA PREFABRICACIÓN DE BLOQUES CERÁMICOS PARA SER UTILIZADOS DE MANERA ESTRUCTURAL EN MUROS DE MAMPOSTERÍA TANTO DE CARGA COMO DIVISORIOS ASÍ COMO OTROS ELEMENTOS DE APOYO; PARA LA EDIFICACIÓN DE TRES NIVELES DE UN PROYECTO PARA CASA- HABITACIÓN, CUBRIENDO ASÍ UNA NECESIDAD ARQUITECTÓNICA Y ESTRUCTURAL.

ELEMENTO DEL MATERIAL DE LA PROPUESTA  
BLOQUE CERÁMICO



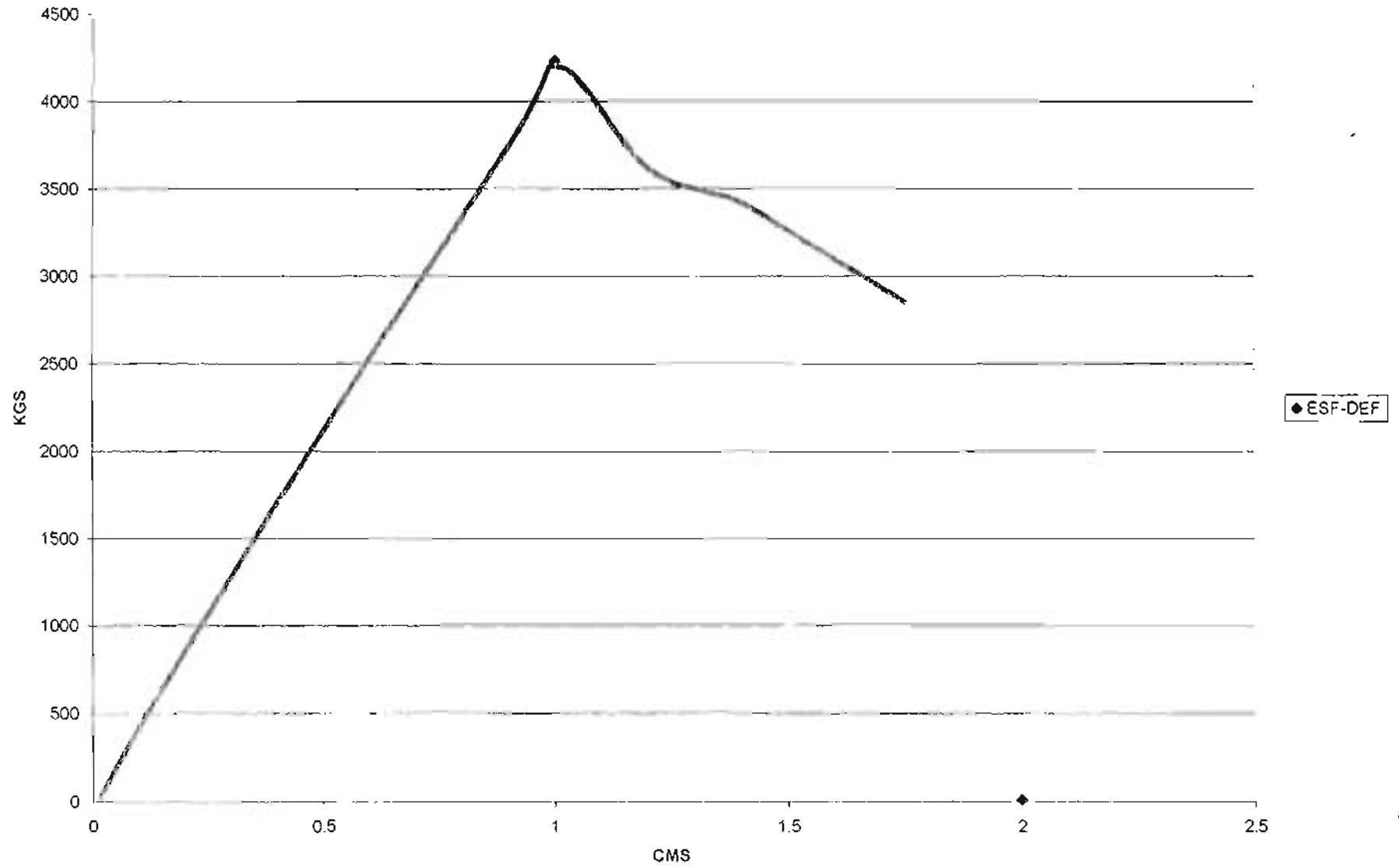
Por: M. Arq. Silverio Hernández Moreno  
Programa de Doctorado en Arquitectura de la UNAM

# DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN:



# COMPRESIÓN DIAGONAL PARA MURETES DE BLOQUE CERÁMICO COMERCIAL

172



## Product Information

### Kaowool® Ceramic Fiber

#### Physical/Chemical Properties

	Kaowool	Cerafiber	Cerachem	Cerachrome	Saffil
Color	white	white	white	blue/green	white
Maximum temperature rating up to °F (°C)	2300 (1260)	2400 (1316)	2600 (1427)	2600 (1427)	3000 (1649)
Melting point, °F (°C)	3200 (1760)	3200 (1760)	3200 (1760)	3200 (1760)	3300 (1816)
Continuous use limit, up to °F (°C)	2000 (1093)	2150 (1177)	2400 (1316)	2500 (1371)	2800 (1538)
Specific gravity (ASTM C135)	2.56	2.65	2.65	2.65	3.3
Specific heat, Btu/lb °F @ 1800°F (J/kg x K @ 982°C)	.26 (1088.57)	.26 (1088.57)	.26 (1088.57)	.26 (1088.57)	.25 (1046.7)
Fiber tensile strength, psi (kg/cm <sup>2</sup> )	1.5 x 10 <sup>6</sup> (10,545)	-	-	-	2.9 x 10 <sup>6</sup> (20,387)
Fiber tensile modulus, psi (N/cm <sup>2</sup> )	12.2 x 10 <sup>6</sup> (8.4 x 10 <sup>7</sup> )	-	-	-	43 x 10 <sup>6</sup> (29.6 x 10 <sup>7</sup> )
Chemical Analysis, nominal (% weight basis after firing)					
Alumina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 45	46	35	43	98
Silica	SiO <sub>2</sub> 54	54	50	54	4
Zirconia	ZrO <sub>2</sub> -	-	15	-	-
Chromium oxide	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -	-	-	3	-
Other	1 - 2	Trace	Trace	Trace	-

#### Available Forms

Grade	Fiber Index	Fiber Length	Fiber Lubrication	Standard Packaging*
KaoIn	D	50	3 in. (avg)	unlubricated 40 lb bag
	BU-00	50	4 in. (avg)	lubricated 40 lb bag
	A	50	4 in. (avg)	lubricated 50 lb bag
	HM-12	50	5 in. (max)	unlubricated 50 lb bag
	HM-25	50	1 in. (max)	unlubricated 50 lb bag
	HM-50	50	2 in. (max)	unlubricated 50 lb bag
Cerachrome	VFS	50	up to 4 in.	unlubricated 40 lb bag
	111	50	up to 10 in.	lubricated 40 lb bag
	112	50	up to 10 in.	unlubricated 40 lb bag
	HM-12	50	5 in. (max)	unlubricated 50 lb bag
	HM-25	50	1 in. (max)	unlubricated 50 lb bag
	HM-50	50	2 in. (max)	unlubricated 50 lb bag
Engineered Fiber**	various	80-99	various	unlubricated 25 lb cart
Saffil	-	99	up to 4 in.	unlubricated 22 lb bag

\* Optional packaging for all products: 10, 40, 50 lb bags, and 25 lb cartons. Premium costs may apply to non-standard packaging.

\*\* See your sales representative for information.

Data are average results of tests conducted under standard procedures and are subject to variation. Results should not be used for specification purposes.

Refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS) for recommended work practices and other product safety information.

For further information, contact your nearest Thermal Ceramics technical sales office or your local Thermal Ceramics authorized distributor. You may also fax us toll-free at 1-800-KAOWOOL or write to Thermal Ceramics, P. O. Box 923, Dept. 140, Augusta, GA 30903.

AUGUSTA, GA  
 (706) 756-4280  
 Fax: (706) 756-4324

CHARLOTTE, NC  
 (704) 552-0066  
 Fax: (704) 552-5032

DALLAS, TX  
 (972) 982-1450  
 Fax: (972) 490-3728

LOS ANGELES, CA  
 (952) 921-8657  
 Fax: (714) 521-4660

PITTSBURGH, PA  
 (412) 921-7500  
 Fax: (412) 921-7071

INTERNATIONAL  
 (706) 756-4278  
 Fax: (706) 756-4280

BATON ROUGE, LA  
 (504) 293-5225  
 Fax: (504) 297-4081

CHICAGO, IL  
 (312) 527-0700  
 Fax: (312) 527-0250

DETROIT, MI  
 (313) 558-2231  
 Fax: (313) 459-7860

NEW YORK, NY  
 (212) 253-0750  
 Fax: (610) 254-0588

MONTREAL, ON  
 (514) 252-3557  
 Fax: (514) 252-5066

BUFFINGTON, ONTARIO, CANADA  
 (905) 336-3414  
 Fax: (905) 336-3414

MEMPHIS, TN  
 (901) 988-0225  
 Fax: (901) 988-3095

CLEVELAND, OH  
 (216) 831-4444  
 Fax: (216) 831-4455

HOUSTON, TX  
 (713) 861-9161  
 Fax: (713) 861-3623

PHILADELPHIA, PA  
 (610) 293-3150  
 Fax: (610) 254-0588



ADX Report for SINTERIZADOEXP

Today's date: 14JUN2001  
 Experiment creation date: 25FEB2004

DESIGN DETAILS

Design type: Full Level  
 Number of runs: 12  
 Resolution: Full

RESPONSE

Response	Precision
SINTERIZ	0.05

CONFOUNDING RULES

No confounding rules

DESIGN POINTS (Coded)

RUN	DIAMETRO	LONGITUD	SINTERIZ
9	-1	-1	100
4	1	1	95
1	-1	1	100
3	1	1	97
7	-1	-1	100
6	1	1	96

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

10	-1	1	100
12	1	1	90
2	1	-1	99
8	1	1	92
11	1	-1	96
5	-1	-1	95

DESIGN POINTS (Uncoded)

RUN	DIAMETRO	LONGITUD	SINTERIZ
9	5	10	100
4	7	14	95
1	5	10	100
3	7	14	97
7	5	10	100
6	7	14	96
10	5	10	100
12	7	14	98
2	5	10	99
8	7	14	92
11	5	10	96
5	5	10	95

ANOVA for SINTERIZ

Source	DF	SS	Model			Predictor			
			MS	F	Pr > F	DF	SS	MS	Pr > F
DIAMETRO	1	0			0.0001	1	0		0.0001

LONGITUD	0	0		0.0001	0	0			0.0001	
DIAMETRO*LONGITUD	0	0		0.0001	0	0			0.0001	
Model	1	60.9523	60.952	9.8765	0.0104	1	60.9523	60.952	9.8765	0.0104
Error	10	61.7142	61.714			10	61.7142	61.714		
Total	11	122.666				11	122.666			

Fit Statistics for SINTERIZ

	Master Model	Predictive Model
Mean	96.66667	96.66667
R-square	49.69%	49.69%
Adj. R-square	44.66%	44.66%
RMSE	2.484236	2.484236
CV	2.569899	2.569899

Alias Structure for SINTERIZ

Master Model	Predictive Model
DIAMETRO + LONGITUD	DIAMETRO + LONGITUD

Predictive Model for SINTERIZ

Coded levels (-1,1):

$$\text{SINTERIZ} = 96.28571 + 2.285714 \cdot \text{DIAMETRO}$$



Uncoded Levels:

SINTERIZ = 110 - 2.285714\*DIAMETRO

Effect Estimates for SINTERIZ

Term	Master Model				Predictive Model			
	Estimate	Std Err	t	Pr >  t	Estimate	Std Err	t	Pr >  t
DIAMETRO	-4.571429	1.4546	-3.143	0.0105	-4.571429	1.4546	-3.143	0.0105

GENERAL NOTES:

SILVERIO HERNANDEZ MORENO; DOCTORADO ARQ; UNAM

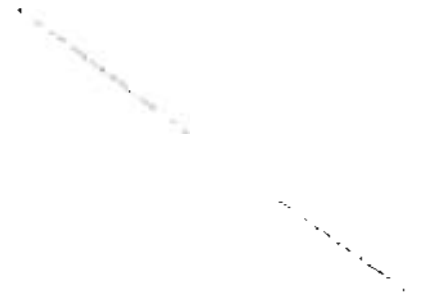
EL PRESENTE EXPERIMENTO TRATA DE EVALUAR LOS EFECTOS DE LOS FACTORES DIAMETRO Y LONGITUD DE DOS TIPOS DE ESPALMOS PARA PRUEBAS FISICAS, TENIENDO COMO VARIABLE DE RESPUESTA LA CALIDAD DEL SINTERIZADO DE LOS MISMOS.

RESULTADOS PARA EL EXPERIMENTO N° 1. NOTESE LOS MEJORES RESULTADOS

INTERIO

95% Confidence Intervals

178



DIAMETRO



LONGITUD

Report for B1000 (FRAMCO)

Today's date: 02AUG2000  
 Experiment creation date: 02AUG2000

DESIGN DETAILS

Design type: Two-level  
 Number of runs: 4  
 Resolution: Full

RESPONSE

Response	Target
CORTANIE	0.05

CONFOUNDING RULES

No confounding rules

DESIGN POINTS (Folded)

RUN	DUICO	FIBRA	CORTANIE
1	1	1	4.89
2	1	1	3.70
3	1	1	5.05
4	1	1	4.10

DESIGN POINTS (Uncoded)

RUN	HUECO	FIBRA	CORTANTE
1	40	5	4.89
2	50	5	3.70
3	40	10	5.05
4	50	10	4.10

ANOVA for CORTANTE

Source	DF	Master Model				Predictive Model				
		SS	MS	F	Pr > F	SS	MS	F	Pr > F	
HUECO	1	1.1449	1.1449	.	0.0001	1	1.1449	1.1449	.	0.0001
FIBRA	1	0.0784	0.0784	.	0.0001	1	0.0784	0.0784	.	0.0001
HUECO*FIBRA	1	0.0144	0.0144	.	0.0001	1	0.0144	0.0144	.	0.0001
Model	3	1.2377	0.4125	.	0.0001	3	1.2377	0.4125	.	0.0001
Error	0	241E-1	.	.		0	241E-1	.	.	
Total	3	1.2377		.		3	1.2377		.	

Fit Statistics for CORTANTE

	Master Model	Predictive Model
Mean	4.435	4.435
R-square	100.0%	100.0%
Adj. R-square	.	.

.MSE

>>

Alias Structure for COHANTE

Master Model            Predictive Model

No effect aliased.    No effect aliased.

Predictive Model for COHANTE

Code Level (1,1)

COHANTE = 4.935 + 0.535\*HUECO + 0.147\*FIBRA + 0.067\*HUECO\*FIBRA

Decoded Levels

COHANTE = 10.45 + 0.143\*HUECO + 0.167\*FIBRA + 0.0048\*HUECO\*FIBRA

Effect Estimates for COHANTE

Term	Master Model				Predictive Model			
	Estimate	Std Err	t	Pr >  t	Estimate	Std Err	t	Pr >  t
HUECO	1.07	.	.	0.0001	1.07	.	.	0.0001
FIBRA	0.28	.	.	0.0001	0.28	.	.	0.0001
HUECO*FIBRA	0.12	.	.	0.0001	0.12	.	.	0.0001

GENERAL NOTES:

ESTE EXPERIMENTO CONSTA DE DOS FACTORES QUE SON DE GRAN IMPORTANCIA EN EL MATERIAL. LA VARIABLE DE RESPUESTA MARCA EL ESFUERZO CORTANTE RESULTANTE DE DICHAS COMBINACIONES DE PRUEBAS DE MATERIALES. SE PUEDE NOTAR MEDIANTE LOS RESULTADOS QUE ENTRE MAYOR SEA EL PORCENTAJE DE HUECOS EN EL BLOQUE, Y MENOR SEA LA CANTIDAD DE FIBRA EMPLEADA PARA EL REFUERZO, ES MENOR LA RESISTENCIA AL CORTANTE Y VICEVERSA. VÉASE EL ANÁLISIS DE VARIANZA Y EL GRÁFICO CORRESPONDIENTE.

RESULTADOS PARA EL EXPERIMENTO N.º NOTENSE LOS MEJORES RESULTADOS

PORTANTE

95% Confidence Interval



HUECO

PIERA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## FORMATO PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE MATERIALES POR COMPARACIÓN PROPUESTO

---

1°. - PLANTEAMIENTO TÉCNICO. - Se manifiesta el problema.

2°. - LA NECESIDAD. - Se expone la necesidad de utilizar un nuevo material.

3°. - LA SOLUCIÓN. - Se presenta la solución más viable del problema.

1°. - DEL PLANTEAMIENTO TÉCNICO. - Se establecen los parámetros de Diseño del material, tanto su porcentaje en importancia como el valor de las propiedades de las materias primas a evaluar.

---

---

---

2°. - DE LA NECESIDAD. - Se deja clara antes de dar la solución.

---

---

---

3°. - DE LA SOLUCIÓN. - Se aplica el método por comparación, tanto para la matriz y el dispersoide del Compuesto, y se eligen los materiales para la nueva aplicación la cual va a cubrir la necesidad planteada.

---

---

---



PROPUESTA DE UNA MATERIA O ASIGNATURA PARA LAS ESCUELAS DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL EN LICENCIATURA Y/ O POSGRADO EN EL ÁREA DE TECNOLOGÍA

**MATERIA:** INTRODUCCIÓN A NUEVOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS.

**OBJETIVO:** QUE EL ALUMNO COMPLEMENTE SUS CONOCIMIENTOS SOBRE MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN A TRAVÉS DEL CONOCIMIENTO ACTUAL DE LOS NUEVOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES EN ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN MEDIANTE UN MODELO SISTÉMICO Y FORMAL LLAMADO ANUMARQ, EL CUAL CONSTA DE TEORÍA Y EXPERIMENTOS, LO CUAL LE AYUDARÍA AL FINAL DEL CURSO A SELECCIONAR Y A EVALUAR MATERIAS PRIMAS PARA NUEVOS MATERIALES Y NUEVAS APLICACIONES EN ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN.

**TEMARIO:**

1. **INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DE NUEVOS MATERIALES APLICADOS A LA ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN**
  - 1.1. Conceptos de nuevos materiales en Arquitectura
  - 1.2. Clasificación de nuevos materiales en Arquitectura y Construcción
  - 1.3. Propiedades de los materiales
  - 1.4. Procesamientos de los materiales
2. **CALIDAD DE LOS MATERIALES DESDE SU FABRICACIÓN**
  - 2.1. Tamaño y forma de los componentes
  - 2.2. Calidad de los materiales (Producto de los triángulos)
3. **INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES DE TIPO COMPUESTO**
  - 3.1. Bases de diseño para la conformación de Compuestos
  - 3.2. Tipos comunes de procesamientos de fabricación
  - 3.3. Propiedades y Costos de un Compuesto
4. **CONSIDERACIONES DE TIPO ARQUITECTÓNICO, ESTRUCTURAL Y ECOLÓGICO PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS**
  - 4.1. Criterio arquitectónico
  - 4.2. Criterio estructural
  - 4.3. Criterio ecológico
  - 4.4. Integración de criterios en un subsistema
5. **MODELO ANUMARQ PARA LA INTEGRACIÓN DE SUBSISTEMAS PARA LA APLICACIÓN DE NUEVOS MATERIALES EN ARQUITECTURA**
  - 5.1. Descripción Del modelo ANUMARQ
  - 5.2. Metodología general. de Selección de nuevos materiales en Arquitectura y Construcción
  - 5.3. Propiedades como parámetros de diseño de nuevos materiales
  - 5.4. Procesamientos como modos de fabricación de nuevos materiales
  - 5.5. Método específico "por comparación" para la Evaluación de nuevos materiales en arquitectura y Construcción
6. **CASO DE ESTUDIO (experimental)**
  - 6.1. Desarrollo de un nuevo material aplicando el modelo ANUMARQ
  - 6.2. Solución del caso de estudio
7. **MÉTODOS DE COMPROBACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO**
  - 7.1. Fabricación de modelos físicos y especímenes para pruebas en laboratorio
  - 7.2. Evaluación final y pruebas de laboratorio del material en cuestión
  - 7.3. Presentación de resultados del caso experimental
  - 7.4. Evaluación del material dentro del modelo ANUMARQ
  - 7.5. Aplicaciones diversas de nuevos materiales en Arquitectura y Construcción (Un enfoque sistémico)
8. **PRÁCTICAS Y EJERCICIOS CON EXPERIMENTOS SOBRE NUEVOS MATERIALES A PROPONER EN BASE AL MODELO ANUMARQ**
  - 8.1. Experimentos y propuestas de nuevos materiales para Arquitectura y Construcción.

"CERÁMICA REFORZADA"

(REFORCER)

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Existen actualmente numerosos materiales derivados de las cerámicas, entre ellos las de arcilla cocida, con los cuales se hacen nuevos productos, pero que a su vez tienen propiedades físicas insuficientes para resistir momentos de fractura, condiciones refractarias, características térmicas, acústicas y de absorción, por citar algunos ejemplos, ya que son insuficientes en muchas aplicaciones sobre todo en aplicaciones estructurales. Para mejorar las cerámicas de este tipo se ha desarrollado en presente invento el cual es un nuevo material cerámico de arcilla cocida que mejora notablemente las propiedades mecánicas del material, así como su capacidad anticorrosiva, piroresistente, térmica y acústica, entre otras características como la durabilidad, costo y rendimiento, lo que es una innovación en materiales para Construcción.

## DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Esta invención consiste en lo siguiente: se trata de un material cerámico reforzado con fibras que se fabrica a partir de arcillas comunes en base a Silicatos y Aluminatos principalmente, los cuales se procesan en combinación con fibras sintéticas de Alúmina, las cuales tienen como papel reforzar el material de manera tal que las resistencias mecánicas aumenten en proporción del volumen de fibras empleadas, y a su vez, otras características y propiedades mejoren, tales como la anticorrosiva, la resistencia térmica y acústica y de durabilidad, principalmente. Por sus buenos resultados en las pruebas físicas empleadas, y sus excelentes propiedades y características, se recomienda el uso de REFORCER en la industria de la Construcción.

## REIVINDICACIONES

5 REFORCER es un material nuevo y versátil para la construcción de elementos estructurales de cerramiento y revestimiento de edificios el cual se emplea de manera prefabricada, ya que es una cerámica de tipo sinterizada la cual tiene un procesamiento en fabrica y homo alrededor de 800° C y con reforzamiento por precipitación con fibras cerámicas, lo que proporciona una gran resistencia mecánica en elementos constructivos.

0 REFORCER es un material de tipo Compuesto diseñado en base a un método particular de selección de materias primas llamado ANUMARQ, que evalúa las materias primas y las selecciona de manera justa y adecuada para las distintas aplicaciones y necesidades planteadas.

5 Considero que no existe en el mercado un material cerámico similar a REFORCER, por lo que reitero a esta invención como novedosa y de gran importancia en la fabricación de elementos constructivos, por lo que la reclamo como de mi exclusiva propiedad.

## RESUMEN DE LA INVENCION

Esta invención se refiere a un nuevo material de tipo cerámico en base a arcillas plásticas reforzado con fibras cerámicas de Alúmina, lo cual es un material que posee altas resistencias mecánicas y mejora la fragilidad de las cerámicas en general.

# EXPERIMENTO N° \_\_\_\_\_

1. - NOMBRE DEL EXPERIMENTO:

---

2. - DESCRIPCIÓN:

---

---

---

---

3. - OBJETIVOS:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4. - RESUMEN:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

5. - HIPÓTESIS  
EXPERIMENTAL:

---

---

---

---

---

6. – TIPO DE DISEÑO EXPERIMENTAL:

---

7. – FACTORES:



8. – N° DE CORRIDAS:

---

9. – VARIABLE DE RESPUESTA:

---

10. – ANÁLISIS  
ESTADÍSTICO:

---

---

---

---

11. – RESULTADOS Y  
CONCLUSIONES:

---

---

---

---