



NUEVOS MATERIALES APLICADOS A LAS ESTRUCTURAS

NANOTECNOLOGÍA EN LA ARQUITECTURA – CASO DE ESTUDIO: FIBRA DE CARBONO

Javier Aarón Gaytán Martínez

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura

Ciudad Universitaria
México

MMVII



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



NUEVOS MATERIALES APLICADOS A LAS ESTRUCTURAS
NANOTECNOLOGÍA EN LA ARQUITECTURA – CASO DE ESTUDIO: FIBRA DE CARBONO

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ARQUITECTURA, CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA

PRESENTA
JAVIER AARÓN GAYTÁN MARTÍNEZ

PROGRAMA DE MAestrÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO, FACULTAD DE ARQUITECTURA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO.



Ciudad Universitaria
México

MMVII



JURADO:

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Jesús Aguirre Cárdenas

SINODALES:

M. en Arq. Francisco Reyna Gómez

Dr. Manuel Aguirre Osete

M. en Arq. Jorge Rangel Dávalos

M. en Arq. Ernesto Ocampo Ruiz

AGRADECIMIENTOS:

A MIS PADRES

POR UN AMOR SIN CONDICIONES, DARME LAS HERRAMIENTAS
PARA CONSTRUIR MI CARRERA Y ORIENTARME EN LA VIDA.

A MI HERMANA

QUIEN A CONFIADO EN MI, POR SUS CONSEJOS Y PACIENCIA.

A MI FAMILIA

POR SU AMOR, CARIÑO Y APOYO MORAL.

A MIS AMIGOS

POR SU TOLERANCIA, FE Y AYUDA EN LAS BUENAS Y EN LAS
MALAS.

A LOS ARQ. LUIS FERNANDO SOLIS Y JAVIER GAYTAN GARCIA (MI PADRE)

POR SUS BRILLANTES E INCONTABLES CONSEJOS EN LA
REALIZACIÓN DE ESTA MAESTRÍA.

A MIS TUTORES

POR SU ACERTADA DIRECCIÓN EN LA REALIZACIÓN DE ESTA
TESIS, Y COMPARTIR SU EXPERIENCIA Y CONOCIMIENTO.

A LA UNAM

POR EL APOYO RECIBIDO DURANTE LA MAESTRÍA

SÍNTESIS

El guiar a arquitectos, diseñadores, constructores e investigadores, ya que se concentran los usos y características de los nuevos materiales; Promocionar la investigación de estos nuevos materiales; Recopilar los materiales existentes, sus uso y aplicación en las obras arquitectónicas dependiendo su función estructural; y los distintos tipos de los sistemas estructurales; Registrar el avance, evolución y tendencia de los distintos materiales tradicionales, nuevos, nanoestructurados y de los sistemas estructurales con los que se cuenta en la arquitectura; Definir los términos de esta nueva era de materiales, considerando la aplicación de éstos.

En especial se da a Conocer a fondo la mecánica de la fibra de carbono como material estructural, se investigan sus limitaciones, características, usos, mantenimientos y durabilidad en la industria de la construcción; y se muestran ejemplos, para dar a conocer ventajas y desventajas.

La información fue recopilada de diversas fuentes: revistas de investigación científica, libros de muy distintos tipos y principalmente de la red de Internet.

Algunas conclusiones son que el arquitecto usa como herramienta los conocimientos de la ciencia moderna y tecnología de materiales, y en combinación con procedimientos adecuados para su selección, podrá obtener materiales de construcción convenientes para la construcción, Como la fibra de carbono, que es una realidad, no como material "Medular", sino como una adición a estructuras existentes, ya sea para refuerzo, reparación o restauración; A futuro se podría realizar cualquier tipo de elemento constructivo a partir de las fibras de carbono. La tendencia en la construcción con nuevos materiales se da de la evolución de los que ya conocemos, pues en un futuro inmediato es difícil el incorporar por completo materiales nanoestructurados.

ÍNDICE TEMÁTICO

Introducción	1
1. Antecedentes Generales	5
2. Materiales Tradicionales	14
3. Sistemas Estructurales	36
4. Evolución	42
5. Nuevos materiales aplicados a las estructuras	50
6. Fibra de Carbono en la Arquitectura	66
7. Aplicación	91
Conclusiones generales	108
Bibliografía	111
Glosario	115
Apéndice	120

ÍNDICE GENERAL

Introducción	1
1. Antecedentes Generales	5
1.1. Definiciones	6
1.1.1. Definición de material	6
1.1.2. Propiedades y características de los materiales	7
1.1.3. Definición de estructura	9
1.1.4. Definición de nanotecnología	10
2. Materiales Tradicionales	14
2.1. Madera	14
2.2. Piedra	16
2.3. Adobe	18
2.4. Ladrillo	19
2.5. Textiles	21
2.6. Concreto	22
2.7. Acero	25
2.8. Aluminio	26
2.9. Vidrio	28
2.10. Concreto armado	31
2.11. Plástico	33

3. Sistemas Estructurales	36
3.1. Solicitaciones	36
3.1.1. Cargas	36
3.1.1.1. Estáticas	37
3.1.1.2. Variables	37
3.1.1.3. Accidentales	37
3.1.1.4. Permanentes	37
3.1.1.5. Térmicas	37
3.1.2. Esfuerzos	37
3.1.2.1. Tensión	38
3.1.2.2. Tracción	38
3.1.2.3. Compresión	38
3.1.2.4. Flexión	38
3.1.2.5. Cortante	38
3.1.2.6. Torsión	39
3.1.3. Requerimientos esenciales	39
3.1.3.1. Economía	39
3.1.3.2. Equilibrio	39
3.1.3.3. Estabilidad	39
3.1.3.4. Estética	39
3.1.3.5. Funcional	39
3.1.3.6. Resistencia	39
3.2. Su clasificación	39

4. Evolución	42
4.1. De los materiales	43
4.2. De las estructuras	44
5. Nuevos materiales aplicados a las estructuras	50
5.1. La nanotecnología y los materiales	50
5.1.1. Relación de la nanotecnología con la arquitectura	51
5.1.2. Clasificación de los nuevos materiales	53
5.1.2.1. Cerámicos	53
5.1.2.2. Polímeros	55
5.1.2.3. Metálicos	57
5.1.2.4. Semiconductores	58
5.1.2.5. Compuestos	59
5.1.2.6. Fibras orgánicas	61
5.1.2.7. Fibras inorgánicas	62
5.1.2.8. Otros	64
5.2. Aplicación a las estructuras	65
5.2.1. Medulares	65
5.2.2. Adicionales	65

6. Fibra de Carbono en la Arquitectura	66
6.1. Propiedades	69
6.1.1. Concentración de tensiones	69
6.1.2. Fatiga	71
6.1.3. Fractura	74
6.1.3.1. Comportamiento en fractura de materiales compuestos	75
6.1.3.2. Prevención de fracturas	83
6.2. Obtención y componentes	84
6.3. Producción y fabricación	87
7. Aplicación	91
7.1. El material	91
7.1.1. Definición del modelo	91
7.1.2. Descripción, referencias y características del proyecto seleccionado	92
7.1.3. Otros casos en México	94
7.1.4. Casos en el extranjero	95
7.2. Resultados obtenidos	96
7.2.1. Comparación de materiales tradicionales con nanoestructurados	96
7.2.2. Posible desarrollo industrial y costos	97
7.2.3. Nuevos materiales: existentes en el mercado o de próxima comercialización	102

7.2.3.1. Madera	103
7.2.3.2. Adobe	103
7.2.3.3. Ladrillo	103
7.2.3.4. Textiles	104
7.2.3.5. Concreto	104
7.2.3.6. Acero	105
7.2.3.7. Aluminio	105
7.2.3.8. Vidrio	105
7.2.3.9. Plástico	106
7.2.3.10. Otros	106
7.2.4. Durabilidad	107
7.2.5. Mantenimiento	107

Conclusiones generales	108
-------------------------------	------------

Bibliografía	111
---------------------	------------

Glosario	115
-----------------	------------

Apéndice	120
-----------------	------------

A. Autoensamble en la arquitectura	120
B. Instrumentación de la nanotecnología	123
C. Centros, empresas y productos nanotecnológicos	128
D. Destrucción en la nanotecnología	131

INTRODUCCIÓN

Como profesional me he dado cuenta de que el arquitecto, no solamente debe dedicarse a proyectar los espacios, sino también intervenir en los aspectos técnicos y tecnológicos de la obra arquitectónica y no dejarlos del todo a otros profesionistas.

Tras varios años de trabajar en el área de proyectos en despacho, definiría la actividad de seleccionar materiales, como la parte más importante y clave para especificarlos según su función en la estructura que conformara el esqueleto de la obra arquitectónica, por lo que conocer materiales y los distintos tipos de sistemas estructurales se vuelve fundamental.

A algunos arquitectos, en su vida profesional, no les gusta participar con los profesionistas de otras especialidades que están vinculados en su proyecto, como son: la definición de la estructura, las instalaciones, la automatización del inmueble, el equipamiento, los aspectos financieros, el programa de mantenimiento y el correcto uso de materiales, además de otras.

El poder estar a la vanguardia y con las herramientas necesarias para poder competir en el campo profesional, me motivaron, tanto como las experiencias y aprendizajes que he podido recabar y que me han demostrado que es de importancia seguir actualizándose y qué mejor manera que sea a través de una tesis que está acorde con mis inquietudes. El introducir técnicas para validar nuevas ideas a nivel arquitectónico, teniendo en cuenta el impacto de la implementación de nuevas tecnologías.

Durante el proceso de diseño de una nueva propuesta arquitectónica es imprescindible poder obtener análisis fiables de su comportamiento en la estructura, rendimiento de materiales, tiempo de vida útil, área, consumo, costo, proceso constructivo, entre otros. Y de esta forma poder evaluar, comparar y validar distintas propuestas antes de seleccionar una de ellas.

Las herramientas como el Método Prospectivo (el futuro es probable, múltiple y depende de las acciones que se llevan a cabo actualmente); estudia las causas técnicas, económicas y sociales que aceleran la evolución del mundo moderno y la previsión de las situaciones que podrían derivarse de sus influencias conjugadas; El Método Histórico que está vinculado al conocimiento de distintas etapas en la historia en su sucesión cronológica, por la necesaria razón de que para conocer un material y las estructuras es necesario saber su historia y sus etapas en que se ha desarrollado; el Método Científico por el cual se denotan los diferentes procesos que ayudan a construir la ciencia, sirve para entender la naturaleza de la misma y tiene su fundamento en la observación del mundo circundante, tiene por objeto averiguar la verdad de las proposiciones para obtener resultados que merezcan la confianza de la comunidad especialista, además de ser un modo ordenado de proceder a la investigación con sus técnicas.

Actualmente y durante 3 semestres he sido adjunto en la clase de Sistemas Estructurales que imparte el Arq. Luis Fernando Solís Ávila en la Facultad de Arquitectura en la UNAM; en C.U. México; en dicha clase se ha desarrollado una clasificación de sistemas estructurales dependiendo de los tipos de esfuerzos y los distintos materiales, desde sus orígenes hasta la actualidad y se relaciona con esta investigación por el tipo de conocimiento que se maneja como son materiales,

clasificación de estructuras, el conocer como trabajan las estructuras a partir de sus esfuerzos y características.

La información presentada en el desarrollo de esta investigación es recopilada de diversas fuentes: revistas de investigación científica, libros de muy distintos tipos, desde los de materiales de construcción, otros más actuales de materiales nanoestructurados, algunos documentos de carácter filosófico, otros técnico y científico, e inclusive de ciencia ficción; pero principalmente de la red de Internet.

Durante el proceso de investigación, que comenzó desde el primer semestre de la maestría, se fueron anexando y desechando distintas posibilidades en bonanza de que se conformará una correcta integración del documento.

El contacto con otros investigadores sobre el tema se llevó a cabo vía Internet, un intercambio académico en la Universidad Nacional de Córdoba en Argentina, durante el último semestre de la maestría y videoconferencias, dado que la mayoría se encontraban a distancias remotas; también se buscó algún tipo de investigación en campo o laboratorio en donde se hicieran visitas periódicas para saber el avance de dichas tecnologías.

Uno de los objetivos de esta tesis es guiar a los arquitectos, diseñadores, constructores e investigadores en su hacer, ya que se concentran los usos y características de los nuevos materiales, muchas de ellas probadas en laboratorio o en la práctica; esta misma, sirve para promocionar y seguir investigando todos estos nuevos materiales en la industria de la construcción, ya sea pública o privada.

Recopilar los materiales existentes, sus uso y aplicación en las obras arquitectónicas dependiendo su función en las

estructuras; y a su vez los distintos tipos y clasificación de los sistemas estructurales.

Registrar el avance, evolución y tendencia de los distintos materiales tradicionales, nuevos, nanoestructurados y de los sistemas estructurales con los que se cuenta en la arquitectura actual.

Definir cada uno de los términos de esta nueva era de materiales, desconocidos actualmente para arquitectos y diseñadores en la rama de la construcción, considerando la aplicación de éstos.

Investigar los usos y características en las estructuras arquitectónicas, de los nuevos materiales y compararlos con los existentes, para que arquitectos e empresarios de la industria de la construcción participen en su desarrollo.

Saber cuales materiales nanotecnológicos son compatibles en la industria de la construcción; y catalogarlos en conjunto con los diversos materiales que se están desarrollando y demostrar que éstos solo son utilizados de manera conjunta con los tradicionales.

Especificar y describir los distintos materiales modernos que se están descubriendo día con día a partir de las nanotecnologías para poder saber cual de ellos se adecua a los distintos tipos de estructuras en la construcción, para así seleccionar de distintas tablas y conocerlos a través de sus características antes de utilizarlos.

Conocer a fondo la mecánica de la fibra de carbono como material estructural, investigar sus limitaciones, sus principales características, sus usos, mantenimientos y durabilidad en la industria de la construcción; Mostrar ejemplos realizados con este material, para así dar a conocer sus ventajas y

desventajas en el uso de esta en la industria de la construcción.

También con base en ésta investigación se podrán adecuar materiales de la nueva generación, ya existentes o en investigación, y que están próximos a entrar al mercado y a la industria de la construcción en México.

Los materiales que primordialmente se emplean son los mismos que se han utilizado durante 5000 años, pero en el siglo pasado, se duplico su numero, para el próximo, se espera una explosión en el descubrimiento de nuevos materiales, muchos de estos materiales serán los actuales, pero mejorando sus características, por otro lado, los distintos tipos de estructuras cada vez más novedosas, requieren de un conocimiento amplio de los nuevos materiales dependiendo de su función.

Conociendo y dominado las características suficientes sobre cada material, sus usos, aplicaciones y ventajas, se podrá propiciar la fabricación para la industria nacional, como consecuencia, se aminorará el costo en la adquisición, se aumentará la oferta de trabajo y se reducirán las importaciones de dichos productos e inclusive se podrán exportar a otras naciones.

Esta investigación incluye cuadros de características y otros comparativos, entre los materiales tradicionales y los nuevos, y demuestra, que estos últimos se podrán aplicar de fácil manera y con muchísimas ventajas dadas sus características a las estructuras en la industria de la construcción y en un futuro cercano (5 a 10 años) a un menor costo, para hacerlos mas accesible a la mayoría de la población y reducir costos en la obra arquitectónica.

El conocer y describir los distintos materiales modernos que se están descubriendo día con día a partir de las

nanotecnologías para poder saber cual de ellos se adecua a los distintos tipos de estructuras en la construcción, para así seleccionar las distintas tablas y conocerlos a través de sus características para una decisión adecuada de su utilización; además que a partir de dichas propiedades, facilitar a los productores la industrialización de los mismos, para que de esta forma no se haga un producto costoso y exclusivamente de importación, como actualmente lo es.

Debido a los nuevos descubrimientos de materiales, se cambiarán sustancialmente los esquemas de producción en la industria de la construcción por sus particularidades de ligereza, resistencia y rapidez en su elaboración a diferencia de los materiales habituales; con reducción de costos y aumento general de la eficiencia.

Se reducirá el consumo general de materiales y de energía en su elaboración por su composición nanotecnológica, al igual que se podrán hacer reutilizables y así reducir los desperdicios y a su vez la contaminación.

Las investigaciones fundamentales sobre las nanoestructuras y las aplicaciones que surgen de las mismas requieren una infraestructura particular, además de la ya habitual en los modernos laboratorios de desarrollo y ensayo de materiales. La manipulación de los átomos que se puede realizar por medio del microscopio de fuerza atómica y del microscopio de efecto túnel además del uso de laboratorios no disponible en el país, y que en un futuro se contará con ellos por la comercialización de éstas herramientas.¹

Existen diferentes investigaciones referentes a los nuevos tipos de materiales, algunos de origen natural y otros de origen fósil: que son procedentes del Carbono y del Petróleo; Aleaciones y

fusiones entre los ya existentes, entre otros. Para esta investigación los que se analizarán son los del origen del Carbono, como son los nanotubos y su empleo en las estructuras.

Diseñar o crear nuevos materiales derivados del carbono como es la fibra de carbono y comercializarlos dentro de nuestro país, y no solo como un material costoso y poco común, si no también, pasar a la etapa de comercio e industrialización.

En este documento se distinguen claramente siete partes, en la primera se incluyen los antecedentes y definiciones de los conceptos a tratar, en la segunda de los materiales tradicionales, en la tercera la clasificación y requerimientos de las estructuras, la cuarta la evolución de los materiales y las estructuras, la quinta de los nuevas materiales que se aplican a las estructuras, la sexta de la fibra de carbono y la séptima de la ejemplificación de su uso. Los alcances son muy amplios, y cada capítulo abre nuevas alternativas para su posterior exploración en futuras investigaciones.

¹ Consultar: Microscopio de fuerza atómica y del microscopio de efecto: Instrumentación de la nanotecnología, en Apéndice.

CAPÍTULO I **ANTECEDENTES GENERALES**

Tomando en cuenta, claro está, que en un campo como el de las nanotecnologías, en rápida evolución, y en el cual, en los países desarrollados, las entidades estatales y las principales empresas están invirtiendo importantes recursos, se proponen continuamente nuevas técnicas. Otras que recubren un interés potencial para su aplicación práctica, pero que no están todavía suficientemente desarrolladas como para hacer previsiones realistas sobre la factibilidad técnico-económica de su difusión en el campo de los materiales.

Un material como el concreto que al ser aplicado a elementos estructurales como muros, por mencionar algún ejemplo, y que al destinársele componentes nanotecnológicos se pudiera hacer mas ligero, mas maleable, mas resistente e inclusive translucido o transparente, teniendo en cuenta sus propiedades y características.

Entre los diversos factores que condicionan el desarrollo industrial de las nanotecnologías se deben considerar, en primer lugar, los costos, actualmente muy elevados; que para reducirlos es necesario actuar de manera integrada según dos directrices principales: a) la investigación sobre procesos (simplificación de las tecnologías y de los métodos de control, así como el logro de economías de escala) y b) la difusión amplia de los materiales nanoestructurados y de las soluciones tecnológicas basadas en las nanotecnologías que contribuyan a las pequeña y mediana economía.

El difundir sus aplicaciones y limitaciones en la arquitectura actual y el proyectar nuevas soluciones a las necesidades del

hombre, con diseños innovadores y de máximo aprovechamiento, además de otros diversos usos.

Las aplicaciones de los materiales nanoestructurados y de las nanotecnologías para producirlos se están desarrollando muy rápidamente y un simple listado de un número inevitablemente limitado de aplicaciones sólo puede dar una idea reducida de sus potencialidades. Algunas de ellas, ya presentes en los mercados o cerca de su comercialización.

1.1. Definiciones.

Para obtener el concepto de las ideas iniciales de las que se explican en esta investigación, se tiene que aclarar el punto de vista, comenzando con definir cada uno de ellos.

1.1.1. Definición de material.

Todos tenemos el conocimiento de que la materia es todo lo que existe en el universo, por lo que todo objeto que existe esta compuesto de ésta. Dicha materia se constituye por partes infinitamente pequeñas, llamadas átomos, éste a su vez esta dividido en varias partes aun más pequeñas como el núcleo, los quarks, etc. Pero el conjunto de átomos se agrupan en forma de moléculas, los átomos, son la parte esencial de los materiales, pues su congregación y configuración² conforman los elementos químicos de la materia.

Combinando los elementos químicos entre si, se pueden generar compuestos. La combinación de dichos elementos depende de cada elemento y sus electrones faltantes o excedentes en la última de sus órbitas.

² De la cantidad de electrones, neutrones y protones agrupados dentro de un átomo se compone un elemento, Ernesto Ocampo Ruiz, Evolución y evaluación de nuevos materiales y sistemas constructivos, México, 1999.

Los materiales son sustancias complejas constituidas de distintos tipos de elementos químicos entrelazados, formando compuestos.

Un material puede existir en la naturaleza de distinta forma, líquido, gas, plasma o sólido, este último es la base de las estructuras, dado que tienen forma y volumen definido, que son capaces de mantener aun con los cambios climáticos del ambiente, los otros estados, por lo regular solo son utilizados en su elaboración.

Un material reaccionará de una forma característica ante las diversas acciones que sobre él se pueden ejercer. Las formas de las reacciones ante cada acción, depende de las características del material, definen sus propiedades y éstas determinarán si un material es adecuado o no para cumplir una función. Lo primero que debe cumplir un material es existir y existir en cantidad suficiente. Existen cuatro factores clave, para que un material se adecuado:

- Estético: Para satisfacer la necesidad de la belleza del ser humano.
- Económico: El gasto que suponga la obtención del material no debe ser nunca superior al beneficio. Este factor económico podría decidir la eliminación de un material, aunque sus propiedades fuesen difícilmente sustituibles por otros.
- Durabilidad: La permanencia de cada uno de los materiales elegidos, dependerán de sus características y esta directamente relacionado con los anteriores.
- Funcionalidad: Que tenga una utilización adecuada para lo que se le va a manejar en la construcción.

1.1.2. Propiedades y características de los materiales.

Todos los materiales tienen distintas propiedades pero, en la práctica, se dice que un material posee una propiedad cuando la posee en un grado determinado.

No todas las características se pueden estudiar en todos los materiales, aunque las presenten y solo algunas son realmente evaluadas en la arquitectura; por resumir muchas de las propiedades de los materiales se ha generado la siguiente clasificación:

- Generales: conformadas principalmente por lo que podemos apreciar a simple vista.
 - Estético.
 - Económico.
 - Durabilidad.
 - Funcionalidad.
 - Inmedibles.
 - o Textura.
 - o Homogeneidad.
 - o Aspereza.
 - o Color.
 - o Transparencia.
 - o Defectos.
- Físico Químicas: constituidas por sus características a nivel molecular.
 - Masa y energía.
 - Calor y temperatura.
 - o Capacidad calorífica.
 - Calor específico.
 - Dilatación térmica.
 - o Transferencia de calor.
 - Radiación.
 - Convección.
 - Conducción.
- Mecánicas: Una mezcla de las anteriores, donde dependen de su constitución atómica, situación relativa de átomos, características químicas del material, ambiente exterior en el que se encuentre el material, pero se considera básico, los esfuerzos a los que ha sido sometido anteriormente, características del esfuerzo soportado y forma de aplicación.
 - Resistencia.
 - Rigidez.
 - Elasticidad.
 - Plasticidad.
 - Maleabilidad.
 - Ductibilidad.
 - Fragilidad.
 - Tenacidad.
 - Resiliencia.
 - Concentración de tensiones.
 - Fractura.
 - Fatiga.
 - Creep.
- Transporte de materia.
 - Cohesión.
 - Densidad.
 - Tensión superficial.
 - Capilaridad.

Para definir un material, tomamos en cuenta principalmente sus propiedades mecánicas, dependiendo de la función a desarrollar dentro de una estructura ya que son las más importantes en los materiales de construcción pues generalmente éstos, están destinados a soportar esfuerzos mecánicos; Dentro de las más importantes están:

- Resistencia: Depende de cuanto es lo que puede soportar los distintos esfuerzos en su interior, sin llegar a la segregación o destrucción del mismo. Estos esfuerzos

se refieren a la tracción y compresión y su combinación, todos los materiales estructurales deben ser resistentes en uno o ambos sentidos. La resistencia tiene diferentes valores en la madera, concreto armado y acero; pero los tres materiales tienen la capacidad de resistir tensión y compresión, es decir, a ser jalado o empujado por grandes o pequeñas fuerzas antes de romperse bajo la fuerza de una carga.

- **Rigidez:** Es la propiedad que expresa la capacidad de un material para oponerse a ser deformado por la acción física de una fuerza. El valor de la ésta no es numérico sino que se establecen comparaciones en base a como reacciona un cuerpo ante otro determinado, que se toma como patrón y un tipo de esfuerzo determinado de éste. La dureza depende de las fuerzas de unión existentes entre las partículas del material. Su alargamiento bajo tensión o acortamiento bajo compresión no se puede apreciar a simple vista, pero siempre ocurre ya que no existe ningún material perfectamente rígido.
- **Elasticidad:** Si las cargas actúan sobre la estructura, ya sea de forma permanente, intermitente o por un periodo corto de tiempo; el alargamiento o acortamiento de sus elementos no deben incrementarse indefinidamente y deben desaparecer cuando la acción de las cargas termina. Lo primero garantiza que el material no se alargue o acorte tanto que eventualmente se rompa bajo el trabajo de las cargas. Lo segundo asegura que el material, y por lo tanto la estructura, regresen a su forma original cuando se descarga. Un material cuyo cambio en la forma desaparece rápidamente cuando se quitan las cargas se comporta de manera elástica. Todos los materiales estructurales deben ser elásticos hasta cierto punto,

aunque ninguno lo es perfectamente bajo grandes cargas.

Todos los materiales estructurales se comportan de manera elástica si las cargas se encuentran dentro de un determinado límite.

- **Plasticidad:** Cuando las cargas están por arriba de estos límites, los materiales desarrollan grandes deformaciones que ya no son proporcionales a las cargas. Estas deformaciones, que ya no desaparecen al quitar las cargas, se llaman permanentes o residuales. Cuando esto ocurre, el material tiene un comportamiento plástico o inelástico. Si las cargas siguen aumentando después del comportamiento plástico, los materiales fallan en instantes. No debe pensarse que la plasticidad es completamente una desventaja en los materiales estructurales, ya que también puede ser muy útil. Si progresivamente se aumenta la carga en una estructura y se mide el aumento en la deformación, y las deformaciones son mayores que las cargas, entonces es un aviso de peligro, la estructura está por colapsarse. En otras palabras, los materiales que se comportan de manera elástica bajo cargas relativamente pequeñas y plásticamente bajo cargas mayores no alcanzan de repente su punto de quiebra. Una vez que terminan de comportarse de manera elástica, continúan acortándose bajo cargas que se incrementan hasta que continúan haciendo lo mismo aún sin que se aumenten las cargas. Sólo entonces fallan. Si un cable de acero es suficientemente cargado, se seguirá estrechando o deformando bajo una carga constante. De tal manera que es un aviso de una falla inminente. Los materiales que no se deforman son frágiles y no pueden ser usados para estructuras, esto porque se

comportan de forma elástica hasta su punto de quiebra y fallan repentinamente sin previo aviso.

- Maleabilidad: Se refiere a la plasticidad ante las tensiones de compresión, es decir, de aplastarse permanentemente, esto permite forjar y laminar los metales, transformándolos en láminas.
- Ductibilidad: Se considera la plasticidad ante las tensiones de tracción, es decir, capacidad de estirarse permanentemente, esto permite estirar metales para producir alambres.
- Fragilidad: Propiedad opuesta a la plasticidad, un material frágil se rompe cuando se supera la tensión que lo lleva a su límite de elasticidad sin deformaciones permanentes.
- Tenacidad: Combinación de resistencia elevada con gran capacidad de deformación permanente, sin llegar a la rotura.
- Resiliencia: Capacidad de absorber energía de un material, deformándose elásticamente bajo una carga, sin romperse; implica una alta capacidad de deformación elástica, combinación de resistencia con elasticidad.
- Concentración de tensiones: Es la congregación de fuerzas en determinado espacio tridimensional de alguna pieza estructural.
- Fatiga: Es la presencia de cambios estructurales progresivos localizados frecuente o permanente de tensiones cuyo valor máximo es menor al soportado por el material.

- Fractura: Propiedad extrema que presenta un material y consiste en la rotura del mismo.
- Creep: Fatiga a largo plazo, presentada principalmente por los materiales fibrosos.

1.1.3. Definición de estructura.

“Orden y unión de las partes de un organismo que se forma con arreglo a un fin unitario”.³

“La 'estructura' debería de entenderse como una red de relaciones de elementos o de procesos elementales. La estructura aparece donde quiera que los elementos se combinan en un todo significativo, cuya disposición sigue leyes definidas. La totalidad en la que descubrimos y examinamos es lo que llamamos un 'sistema'. Así, hay sistemas inorgánicos, orgánicos, sociológicos, técnicos y estéticos”.⁴

De todos los mecanismos que componen una forma material rígida (un edificio, una máquina, un árbol o cualquier ser animado) la estructura es lo esencial. Todos los objetos materiales tienen estructuras. Sin la estructura, la forma no puede ser preservada, y sin ésta, al organismo no le es posible funcionar. De aquí se desprende el impedimento de existencia de ningún organismo, animado o inanimado, al no haber estructura. En consecuencia el diseño de estructuras es una parte del problema general del proyecto para todos los objetos físicos.

La estructura, en su sentido fundamental, es la unidad creada por las partes y las articulaciones de las formas. El concepto de estructura está estrechamente relacionado a los conceptos de orden, forma, complejidad con orden,

³ Immanuel Kant.

⁴ Wolfgang Wieser.

integridad o procedimiento. Este concepto hoy en día se revela "...como el nuevo principio ordenador en todos los ámbitos del pensamiento creativo y su aplicación práctica en nuestro tiempo".⁵

De las estructuras inorgánicas, a las plantas y animales; de los movimientos de éstos a sus normas de comportamiento, y hasta en las relaciones humanas, la estructura tiene una importancia fundamental. Así como ahora entendemos que la estructura molecular rige los mecanismos genéticos de las formas vivas a través de la estructura del DNA; La estructura ha asumido tal importancia formal, que se ha convertido en el rasgo determinante de los proyectos arquitectónicos. En el diseño estructural, las fuerzas de compresión, tensión, momento y resistencia se convierten en un modelo claramente legible de fuerzas y, al mismo tiempo, en un esquema, tan tangible como éste, de neutralización de fuerzas: visible y comprensible, demostrativo de las propiedades de los materiales con los que se plasman las formas.

En la obra arquitectónica, la estructura la entendemos como el armazón y entramado de madera, piedra, plástico, metal, u otro material sólido que constituye el esqueleto de una construcción. Debe poseer estabilidad y soportar cualquier tipo de carga.⁶

Más adelante dentro de este mismo capítulo se presenta una clasificación de los sistemas estructurales y el porque de está.

⁵ Kepes, G., 1965.

⁶ Farias Arce, Rafael; Léxico básico mecánico estructural, Apuntes de la Facultad de Arquitectura, UNAM, 1990.

1.1.4. Definición de Nanotecnología

La Nanotecnología puede ser definida como la ingeniería y ciencia⁷ del estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales, la explotación de fenómenos y propiedades de la materia a través del control a niveles atómicos y moleculares (nano escala). Así como nosotros, en la actualidad construimos a partir de materiales manipulables en nuestra escala humana como ladrillos, bloques, concreto o barro y de componentes industrializados, de manera análoga los científicos han comenzado ya a construir experimentalmente si no a nivel atómico al menos a nivel molecular.

Las nanotecnologías son tecnologías que permiten la manipulación de la estructura de la materia en pequeñísima escala, del orden de los nanómetros permitiendo así la obtención de materiales y estructuras con características diferentes de aquellos utilizados corrientemente.

Para poder explicar el tamaño de un nanómetro se puede considerar un cabello humano. Típicamente suele tener un espesor de unos 100 micrómetros (μm)⁸. Una bacteria normal es unas 100 veces más pequeña, con un diámetro de alrededor de 1 μm . Un virus del resfriado común es aproximadamente 10 veces menor, con un tamaño de unos 100 nm. Una proteína típica de las que componen la envoltura de dicho virus tiene unos 10 nm de espesor. Una distancia de 1 nm equivale a unos 10 diámetros atómicos, y corresponde a las dimensiones de uno de los aminoácidos que componen esa proteína. Por tanto, puede verse que 1 nm supone una tolerancia dimensional extremadamente

⁷ Drexler, K. Eric; "Nanotecnología. El surgimiento de las máquinas de creación.

⁸ Consultar tabla de medidas en la página 134.

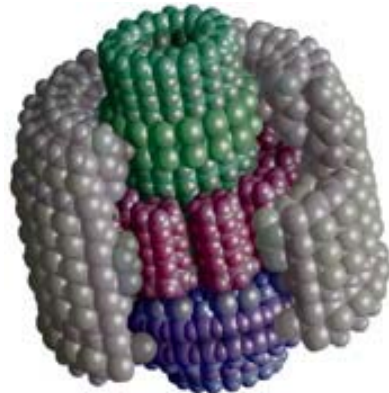
pequeña, pero ya hay varias tecnologías que están próximas a alcanzarla.⁹

La Nanotecnología también recibe el nombre, de "Tecnología Atómica", esto porque la nanotecnología solo se refiere a las moléculas y a los átomos por su tamaño nano, pero la tecnología atómica también estudia los subcomponentes de los átomos, que a nivel nano contiene partículas subatómicas como los quarks.

Las nanotecnologías se podrían generalizar en dos grandes grupos: el ensamblaje detallado, que alude a la necesidad de lograr que los componentes moleculares elegidos lleguen al sitio designado para su ubicación y la autorreplicación que significa la capacidad de las nanomáquinas de copiarse a sí mismas a medida que el producto se eleva progresivamente en la escala de agregación de componentes.

Dentro de la nanotecnología se dan un sin fin de nuevos conceptos y términos, de los cuales su significado es el siguiente:

- Nanorrobot, nanobot, nanomáquinas, nanoagente: hace referencia a una imaginaria máquina o "robot nano" de una escala de pocos centenas de nanómetros construido



10. Nanomáquina construida a partir de átomos diversos, imagen tomada del Foresight Institute.

⁹ Basada en la definición de la *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 05*. © 1993-2004 Microsoft Corporation.

para tareas específicas.¹⁰

Algunos nanorrobots tendrían conceptualmente la capacidad de auto replicarse así mismos.

Una gran parte del mundo científico cree que los nanobots son un gran mito, sin que existan investigaciones verosímiles sobre nanorrobots que permitan hacer realidad su fabricación por el momento.

- Nanocable: Es un cable que es un nanómetro de grueso. Son usados como semiconductores, diodos emisores de luz, etc. dependiendo de su composición química. Podemos definirlos como estructuras moleculares con propiedades eléctricas u ópticas. Son uno de los componentes clave para la creación de chips electrónicos moleculares. Fáciles de producir, estos pueden ser juntados a modo de rejilla y llegan a constituir la base para los circuitos lógicos a nanoescala.
- Nanociencia: es un área emergente de de la ciencia que se ocupa del estudio de los materiales de éstas dimensiones. Comprende un sin numero de ciencias como la física, química, biología, etc.

Se ha convertido en un importante campo científico con entidad propia. Una es la disponibilidad de nuevos instrumentos capaces de "ver" y "tocar" a esta escala dimensional. En respuesta a estas nuevas posibilidades los científicos han tomado conciencia de potencial futuro de la actividad investigadora en estos campos.

¹⁰ En la obra *Engines of Creation*, Drexler visiona nanobots capaces de destruir células cancerígenas, recoger radicales o reparar el daño sufrido en los tejidos celulares.

La mayor parte de los países han institucionalizado iniciativas para promover la nanociencia y la nanotecnología, en sus universidades y laboratorios.

- **Nanocristales:** Contiene cientos a decenas de millares de átomos los cuales están dispuestos ordenadamente, siguiendo una estructura cristalina. Puesto que esta ordenación cristalina debe terminar en la superficie del nanocrystal, los átomos de la superficie tienen menos "vecinos" que los que están en el fondo del nanocrystal. La forma de los nanocristales debe ser tal que minimice la energía libre o "tensión de superficie". Esto es por lo que los nanocristales son estructuras compactas que se asemejan a esferas.

Los nanocristales pueden ser usados como bloques estructurados para nanomateriales estructurados.

Las primeras imágenes muestran una forma triangular, más que hexagonal. Esta nueva información podría ayudar a los investigadores a mejorar el proceso químico.



18. Cristales que hasta en manera natural y de forma visible se ordenan hexagonalmente, Salar de Uvuni, Bolivia.

- **Nanomateriales:** pueden ser subdivididos en nanopartículas, nanocapas y nanocompuestos. El enfoque de los nanomateriales es una aproximación

desde abajo hacia arriba a las estructuras y efectos funcionales de forma que la construcción de bloques de materiales son diseñados y ensamblados de forma controlada.

Un reciente informe de Small Times¹¹ predice un fuerte crecimiento de los ellos. En él se comentan los diferentes tipos existentes en la actualidad. Muchos de estos avances los están llevando a cabo las PyMES¹² norteamericanas en colaboración con empresas líderes o entidades dedicadas a la investigación como universidades.¹³

- **Nanopartículas:** Son más grandes que los átomos y las moléculas. No obedecen a la química cuántica, ni a las leyes de la física clásica, poseyendo características propias. Están avanzando con descubrimientos casi diarios en muchos frentes. Es el caso de los biosensores, las nanopartículas con base hierro contra tejidos cancerosos, etc. En general, la biomedicina y la biotecnología son dos campos muy prometedores de potenciales aplicaciones.
- **Nanotubos:** Normalmente de carbono, representan el más importante producto derivado de la investigación en los fullerenos. Estos se componen de una o varias láminas de grafito u otro material enrolladas sobre sí mismas. Algunos nanotubos están cerrados por media esfera de fullereno, y otros no. Existen nanotubos de una capa y multicapa (varios tubos metidos uno

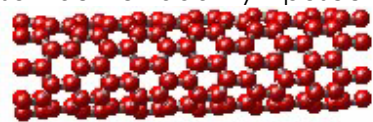
¹¹ Fuente: SmallTimes.com PennWell Corporation, Tulsa, OK.

¹² PyMES: Se refiere a las pequeñas y medianas empresas, por su abreviación en México.

¹³ De la lectura: The Nanomaterials Market Is Starting to Climb the Growth Curve.

dentro de otro, al estilo de las famosas muñecas rusas). Tienen un diámetro de un nanómetro sin embargo, su longitud puede ser de hasta un milímetro, por lo que dispone de una relación ancho, longitud, tremendamente alta.

La investigación sobre nanotubos de carbono es muy compleja por la variedad de sus propiedades electrónicas, térmicas y estructurales que cambian según el diámetro, la longitud, la forma de enrollar, etc. Son las fibras más fuertes que se conocen. Un solo nanotubo perfecto es de 10 a 100 veces más fuerte que el acero por peso de unidad y poseen propiedades eléctricas muy interesantes; tiene propiedades intermedias entre semiconductores y metales.



34. Nanotubo de carbono de una sola capa, imagen obtenida por la University of Wisconsin.

CAPÍTULO II MATERIALES TRADICIONALES

En la actualidad los materiales utilizados en la industria de la construcción, no son muchos y apenas empiezan a aparecer en el mercado algunos, distintos de la madera, la piedra (mampostería), concreto armado (aglutinados), el acero, el tabique, los plásticos, entre otros.

El nombre de tradicionales surge del uso cotidiano y común que se les da a estos, siendo la principal diferencia de los nuevos materiales y de los nanoestructurados, los cuales al no estar tan comercializados son mucho mas costosos y poco populares.

2.1. Madera

Indisputablemente, éste fue el primer material utilizado por el hombre, las enramadas apoyadas en troncos proporciona protección contra la intemperie.

Pocos materiales tienen las propiedades de ésta, de origen natural, bajo costo y peso, reciclable, alta resistencia a tensión en el sentido de las fibras, entre otros, sin embargo es un elemento



34. Construcción realizada con troncos de manera burdamente tallados, Curitiba, Brasil.

orgánico, el cual tiene un periodo corto de duración y se destruye fácilmente por acción del fuego, los cambios de humedad y el ataque de insectos.

Además es un material anisotrópico, el cual tiene una variedad muy amplia de trabajo dependiendo la dirección de sus componentes.



10. Actualmente la madera laminada y correctamente tratada se utiliza continuamente en campamentos de altura y centros de skí, Bariloche, Argentina.

El moderno avance en agregados y recubrimientos para su protección, sumado a los usos de maderas laminadas y comprimidas le dan mayor resistencia, durabilidad y versatilidad, lo que permite diversos usos en la actualidad, desde recubrimientos hasta armaduras, pasando por el mobiliario y elementos decorativos.

- Composición: es muy parecida en los distintos tipos de madera.
 - Celulosa: como su nombre lo dice, son las células que componen la madera y constituye del 45 al 50% aproximadamente.
 - Hemi-celulosa: aglomera las células, del 20 al 25%.
 - Lignina: es el adhesivo que da la resistencia y rigidez y constituye del 18 al 28%.
 - Extractivos: no son parte de la estructura pero aportan propiedades tales como color, olor y resistencia al deterioro, pueden ser almidones,

resinas, aceites, grasas, ceras y se pueden eliminar mediante disolventes.

- Minerales formadores de cenizas, que constituyen desde el 0.2 al 1.0% y son los elementos nutrientes del árbol.
- Función constructiva:
 - Como material resistente: para columnas, armaduras, muros, cerramientos, pilotes, vigas, etc.
 - Como material decorativo: chapeados, muebles, pisos, revestimientos, molduras, persianas, escalones, tallados, etc.
 - Como aislante térmico y acústico: en paneles, plafones, pisos, etc.
- Clasificación: La madera como otros materiales se pueden clasificar de varias formas, tamaño, uso, componentes, estructura anatómica y más, pero sin embargo una forma sencilla de hacerlo es por su dureza ya que es la principal variante en calidad, esta se basa en la contracción por su contenido de humedad y la cantidad de imperfecciones que disminuyen su resistencia, como nudos, grietas, etc.
 - Duras (decidua): presentan una mayor contracción en el secado y son muy densas, entre las más comunes están el fresno, el nogal y el roble. A su vez se clasifican por la cantidad de madera utilizable en una pieza en: primera, segunda, selecta.
 - Blandas (siempre verde): presentan una menor contracción en el secado y son poco densas, entre las más comunes están el abeto, el cedro y el pino. A su vez se clasifican por su uso en madera de patio, estructural y para fábrica y taller.

- Estructura: ya que es un material anisotrópico tiene un constante cambio de ordenación en sus células dependiendo su ubicación.
 - Médula: es la parte central del árbol y de tejido blando en torno al cual tiene la primera formación de madera.
 - Duramen: Da resistencia al tronco y está compuesta por células inactivas después de haber cesado en gran parte su conducción de savia y presenta una coloración más oscura.
 - Albura: Conduce la savia desde las raíces hasta las hojas y almacena los nutrientes, presenta una coloración más clara.
 - Cambium: Células capaces de desdoblarse que originan el crecimiento de la madera y la corteza.
 - Corteza: compuesta de una parte interior que conduce los nutrientes y otra externa para protección contra daños exteriores.
- Propiedades y características:
 - Compresión: con un buen desempeño dependiendo de su dureza desde 12 MN/m² en el álamo y hasta 70 MN/m² en el algarrobo.
 - Cortante: trabaja de manera aceptable pero solo paralelo a las fibras desde 4 MN/m² en el álamo y hasta 18 MN/m² en el roble blanco.



10. Corte esquemático de un tronco de madera en donde se aprecia su estructura.

- Choque térmico: Buena resistencia a los cambios de temperatura, inclusive como aislante térmico, pero el fuego la consume rápidamente.
- Atacada por hongos, insectos y cambios de humedad.
- Peso:
 - o duras de 433 a 855 Kg/m³.
 - o blandas de 348 a 703 Kg/m³.
- Reciclable.
- Buen aislamiento acústico.
- En secciones pequeñas: bajo costo y peso ligero.
- En secciones grandes: alto costo y gran peso.
- En madera laminada: alto costo sin la industria adecuada y peso medio.

2.2. Piedra

Uno de los materiales más antiguos desde que el hombre tuvo la necesidad de un techo para protegerse de los agentes externos y que todavía existen vestigios.

En un principio estas se colocaban de forma directa, sin ajuste alguno, como en Stonehenge, posteriormente se fue labrando para conseguir un correcto ensamble para mejorar sus propiedades, hasta llegar casi a la perfección, como en las antiguas civilizaciones Egipcia, Griega, Romana, Azteca, Inca y otras.

Este material, junto con la madera son los únicos materiales que se pueden utilizar en la construcción en su estado natural; a esta se le llama roca, pero al ser separada o reducida para su industrialización recibe el nombre de "Piedra".

El único esfuerzo que soportan estas es el de la compresión dadas sus características, la resistencia a la tracción es casi nula. Muchos de sus usos fueron en muros, columnas, arcos bóvedas, cerramientos, entre otros.

Las piedras no solo tienen cualidades estructurales, sino también de carácter estético, ya que en ellas se puede labrar y pintar.

Actualmente ya no tiene el mismo uso, pues este es más costoso y casi de carácter artesanal, sin embargo, prácticamente no existe obra en la arquitectura que no contenga en alguno de sus elementos dicho material, pues se utiliza en pequeñas dimensiones como agregado para muchos compuestos como es la grava y la arena en el concreto.



14. En la cultura inca como en otras se encuentran rocas labradas y piedras ensambladas casi de manera perfecta, Machu Pichu, Perú.

- Composición: Las piedras se componen de partículas minerales de diversos tipos, principalmente de silicio, hierro, aluminio, calcio, sodio, potasio, magnesio y de otros compuestos naturales como el oxígeno.
- Función constructiva:
 - Como material resistente: para muros, columnas, cerramientos, escalones, repisones, pisos, etc.
 - Como material decorativo: monumentos, lapidas, revestimientos, pisos, cubiertas, etc.

- Como material de agregado: para formar concreto, pisos, revestimientos, cubiertas, pavimentos y pinturas.
- Clasificación:
 - Ígneas: resultado de la solidificación a partir de un estado de fusión como el Granito, compuestas principalmente por sílice.
 - Sedimentarias: formada por el rompimiento de piedras existentes, posteriormente desplazadas por el agua y finalmente compactadas por presión mecánica o cementadas por acción química u orgánica como el Mármol o la Pizarra, compuestas principalmente por carbonato de calcio.
 - Metamórficas: producto de piedras ígneas como sedimentarias por presión, calor, humedad o la combinación de fuerzas como la Caliza o la Arenisca, compuestas principalmente por carbonato de calcio.
- Propiedades y características:
 - Compresión: buena resistencia desde 18 MN/m² en caliza y hasta 212 MN/m² en granito.
 - Tensión o ruptura: mucho menor que la resistencia a compresión desde 4 MN/m² en caliza y hasta 124 MN/m² en la pizarra.
 - Choque térmico: mala resistencia a los cambios rápidos de temperatura extrema.
 - Coeficiente de expansión: de 0.0000084 a 0.0000110 °C.
 - Abrasión: está directamente relacionada dependiendo de su dureza.
 - Peso: de 1959 a 2750 Kg/m³.
 - Densidad específica: de 2.10 a 2.80.
 - Reciclable.

- Pueden verse afectadas por irregularidades, imperfecciones, grietas o inclusiones.
- En piedras comunes y pequeñas bajo costo.
- En piedras duras y grandes alto costo.

2.3. Adobe

Proveniente de la palabra árabe *atob*, que significa ladrillo secado al sol¹⁴; formado a partir de la tierra, es el material más universal que existe en la arquitectura y data desde hace muchos miles de años, cuyos métodos de elaboración casi no han cambiado hasta los últimos años en donde diversas investigaciones mejoran constantemente sus cualidades; las primeras

construcciones de las que se tiene conocimiento se localizan en el Medio Oriente en donde datan del 8300 a.C. que cuya forma de las edificaciones recuerdan a los *Trullis* italianos, también la torre de Babel era de dicho material¹⁵.



16. Vivienda construida de manera rustica con muros de adobe, Salta, Argentina.

La utilización de molde para la elaboración de las piezas fue llevada desde África a España y de ahí a ciertos lugares de

¹⁴ Mario Camacho Cardona, Diccionario de arquitectura y urbanismo, Trillas, México, 1999.

¹⁵ Richard Watson, Materiales, forma y arquitectura, Blume, Singapur, 2003.

Asia, Europa y a América por los conquistadores en el siglo XVI; aunque anteriormente el uso del adobe se da en todas las culturas de América y Asia.

Aproximadamente el 50% de la población de los países en desarrollo, incluyendo la mayoría de la población rural y por lo menos el 20% de la población urbana y urbano marginal, viven en casas de tierra¹⁶; Por ejemplo, en Perú, 60% de las casas son construidas con adobe o con tapial. En India, de acuerdo al Censo de 1971, 73% de todas las edificaciones son hechas de tierra (67 millones de casas habitadas por 374 millones de personas). En general, este tipo de construcción ha sido usada principalmente por la población rural de bajo ingreso económico.¹⁷

Prácticamente se pueden fabricar en cualquier parte del mundo donde la geología y el clima lo permitan a partir de arcilla calcárea arenosa o de cualquier arcilla desértica aluvial con buenas cualidades plásticas.



20. Habitación elaborada con bloques maquinados con una porción de cemento común, Coahuila, México.

Donde se aprovecha mejor es en lugares con amplia oscilación térmica, ya que una de sus grandes propiedades es el ser un buen aislante térmico.

¹⁶ Houben y Guillard, 1994.

¹⁷ www.world-housing.net

Su elaboración consiste en el mejorar un material del subsuelo adecuado, agregarle agua y paja o alguna otra fibra para impedir el agrietamiento durante el curado; la masa se revuelve manualmente o en una máquina hasta que tome la consistencia adecuada para moldearla y una vez lograda se coloca en el molde y se deja secar alrededor de 10 días.

- Composición: el adobe se compone principalmente de arena, limo y arcilla; pero parte fundamental es la paja o fibras que sirven como estabilizante para impedir el agrietamiento.
 - Del 45 al 50% arena y hasta 80%; Una proporción muy alta aumenta la disgregación.
 - Del 25 al 30% Limo y mínimo del 10%.
 - Del 15 al 20% Arcilla y mínimo del 10%; Una proporción muy alta produce fisuras.
 - En algunos casos se puede agregar cemento.
 - 2% de paja o fibra; más del 3% produce descomposición.
 - Hoy en día se le puede agregar asfalto emulsionado que cuando se le mezcla con agua, barro y arcilla, dependiendo de la proporción, se obtiene un adobe resistente al agua (semi-estabilizado) o totalmente impermeabilizado (completamente estabilizado).
- Función constructiva:
 - Como material resistente: para muros y columnas.
 - Como material decorativo: celosías y muros divisorios.
- Dimensiones: No existe una sola dimensión de adobe y varía de un lugar a otro del planeta, al igual que su composición, producción y colocación; éste es solo un ejemplo.
 - Antiguamente sus dimensiones eran mayores.

- 13 x 25 x 50 cm.
- 10 x 20 x 40 cm.

- Propiedades y características:
 - Compresión: resistencia aceptable.
 - Ruptura: mucho menor que la resistencia a compresión.
 - Choque térmico: excelente resistencia a los cambios rápidos de temperatura.
 - Desgaste: el agua es su principal discrepante y está directamente relacionada dependiendo de su dureza.
 - Peso: depende de la cantidad de fibras y del subsuelo a utilizar.
 - Reciclable.
 - Siempre se coloca sobre una base impermeable; y se aplicara un aplanado para evitar la desintegración por la humedad.

2.4. Ladrillo

Del latín *later, eris*, ladrillo cocido¹⁸ y también llamado tabique, es un material muy antiguo de técnica milenaria en el Cercano Oriente, en la antigua Mesopotamia y Egipto hace 3000 años a.C. éste se elabora a partir de arcilla recocida y forma de paralelepípedo, con medidas variables dependiendo la región y el uso.

El cocido en hornos liberó a la producción de ladrillos de las limitaciones de un clima adecuado y fueron avanzando a tal grado que un horno holandés del siglo XVII podía producir hasta 600.000 ladrillos en una tanda, un siglo después se

¹⁸ Mario Camacho Cardona, Diccionario de arquitectura y urbanismo, Trillas, México, 1999.

duplico el numero; En el siglo XIX se sustituyo por un horno de túnel continuo y la producción manual por una prensa mecánica y la producción holandesa llegaba hasta África, Asia y América, por lo que Richard Goldthwaite menciona que "es probable que ninguna industria de material de construcción haya tenido nunca una distribución tan amplia de sus productos".¹⁹

Por sus cualidades se le considera como una piedra de pobres características, pero mucho más económico, práctico y fácil de producir.

- Composición: Depende mucho de el tipo de ladrillo y su función a cumplir, pero el común, que es el mas utilizado es una combinación de: Arcilla, que técnicamente se le conoce como silicato hidratado de albúmina ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), óxidos de hierro, calcio, magnesio, potasio, sodio, titanio y azufre.



18. Realizada con ladrillos, la Torre de la Giralda es un claro ejemplo de la dominación musulmana en Europa, Sevilla, España.

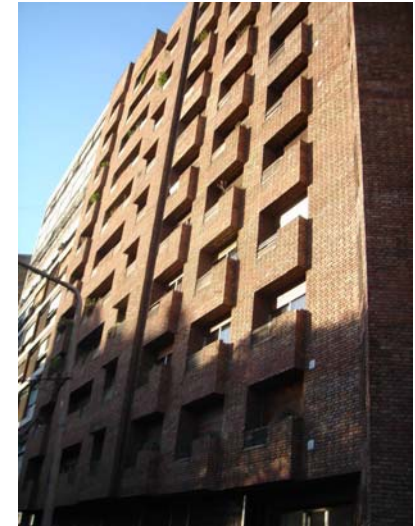
- Función constructiva:
 - Como material resistente: para muros, columnas, arcos, túneles y cubiertas abovedadas o planas.

¹⁹ Richard A. Goldthwaite, The Building of Renaissance Florence, Johns Hopkins University Press, E.U.A., 1982.

- Como material decorativo: celosías, muros, cubiertas, pisos, pavimentos, etc.
- Como material adicional: en azoteas y en desperdicio para rellenos.

- Clasificación:

- Común: compuesto de arcilla de 4 x 12 x 24 cm., aunque originalmente 5 x 14 x 28 cm.
- Tabique: igual que el ladrillo, pero es un poco mas alto: 6 x 12 x 24 cm. y antes 7 x 14 x 28 cm.
- Recocho: tiende a cocerse mas, presenta un color violeta y se obtiene una mayor dureza.
- Refractario: de arcilla refractaria y con mayor alúmina, soporta mayores temperaturas.
- Vidriado: de arcilla caliza y fundentes minerales, con mayor resistencia a la compresión y al agua.
- Abovedado: con forma curva.
- Cuña: ligeramente mas pequeño que el común 5 x 10 x 20 cm.
- Portero: mas claro y procede de una cocción defectuosa.
- Hueco o perforado: presenta oquedades para introducir instalaciones, varillas o simplemente aligerarlo, pero se reduce ligeramente su capacidad de compresión.



20. Fachada portante de tabique aparente, Buenos Aires, Argentina.

- También están los ladrillos compuestos de otros materiales como los de vidrio o Vitrobloc, de arena y cal o silicocalcareo, y los de concreto o tabicón.
- Propiedades y características:
 - Compresión: buena resistencia de hasta 150 Kg/cm² en el ladrillo común, 250 Kg/cm² en el recocho y 350 Kg/cm² en el vidriado.
 - Tensión o ruptura: mucho menor que la resistencia a compresión.
 - Choque térmico: mala resistencia a los cambios rápidos de temperatura extrema por sus pequeñas dimensiones.
 - Desgaste: está directamente relacionada dependiendo de su dureza, pero se afecta gravemente por el hielo, el azufre y la eflorescencia.
 - Peso: aproximado de 1450 Kg/m³.
 - Reciclable.
 - Pueden verse afectadas por irregularidades, imperfecciones, grietas y falta o exceso de cocción.

2.5. Textiles

En los orígenes de la humanidad, cuando los pueblos eran nómadas o actualmente en regiones desérticas, la arquitectura consistía en estructuras muy sencillas a base de madera y pieles o bien algún tipo de textil; algunos ejemplos de esto son los indios americanos, los mongoles, y las cubiertas negras usadas por los nómadas del Sahara, entre muchos otros.

Univ



“Tejerás también piezas de tela de pelo de cabra, para que a modo de tienda cubran la morada...”²⁰

Las primeras **20. Tienda Tipo, usada en el Medio Oriente.** tiendas²¹ conocidas emanan de las regiones cercanas de los ríos Tigris y Éufrates; así se conoce la existencia de palacios a base de cubiertas de tela de gran tamaño, y de ciudades de tiendas las cuales todavía encontrar actualmente en Oriente Medio; estas cubiertas muestran la tecnología de la era preindustrial.

Un notable ejemplo de tiendas construidas en la antigüedad es el de la Tienda negra, que en su interior contenía muy pocos postes de madera que trabajaban a compresión y prácticamente toda la tensión la recibía la cubierta

En la cultura romana se dieron grandes ejemplos de cubiertas en espacios público, se conocían como “velum” o “velarium”²², y ubicaban sobre los teatros, calles y plazas.

En el siglo XX creció la demanda de cubiertas grandes en su mayoría usadas para el entretenimiento de masas, tales como circos o exposiciones las cuales incrementaron su resistencia y se volvieron más económicas gracias a la producción en serie.

Mediante el análisis de este material, se hace evidente que no debemos menospreciar los textiles por su sencillez, pues es

²⁰ Éxodo 26 : 7

²¹ deriva del latín *tendre*, estirarse.

²² similitud que existe con las velas de los barcos. Se sabe que eran marineros retirados los que izaban las velarías en el coliseo romano.

precisamente esta cualidad, la que le da portabilidad, ligereza y flexibilidad.

Hoy en día este material es sumamente exitoso y reciben un desarrollo tecnológico para aumentar sus características y han conformado un material más complejo que recibe el nombre de membranas.

- Composición: todos los textiles están fabricados a partir de fibras de distintos tipos y en algunos casos recubiertos de alguna resina que le da mejores cualidades; las fibras utilizadas en la industria de la construcción se dividen en:



20. Velaria de fibras sintéticas formando una cubierta con paraboloides hiperbólicos, Glasgow, Escocia.

- Naturales: de origen vegetal, animal o mineral.
 - Regeneradas: de celulosa, de proteínas y de vidrio.
 - Sintéticas.
 - Metálicas.
 - Actualmente las que prometen un mayor avance en su utilización son las de fibra de carbono.
- Función constructiva:
 - Como material resistente: para cubiertas, no solo temporales, sino, permanentes, cubre grandes claros con un mínimo de peso.

- Como material decorativo: en mobiliario y en protección de la luz (persianas o cortinas).
 - Como material adicional: en azoteas y juntas con otros agregados.
- Propiedades y características:
 - Compresión: nula.
 - Ruptura: su mayor cualidad y depende de la fibra utilizada.
 - Choque térmico: la mayoría de las fibras son bastante afectadas y algunas se dañan por los rayos ultravioletas.
 - Desgaste: está directamente relacionada dependiendo de la fibra y algunas se afectan gravemente por el tiempo, el fuego y la humedad.
 - Las fibras naturales y metálicas si son reciclables y solo algunas de las regeneradas.

2.6. Concreto

Un material inventado por los romanos, que entre sus grandes ejemplos de obras construidas con éste se encuentra el Panteón de Agripa, y se da por la introducción de la puzolana en los morteros.

Aunque los romanos explotaron muy bien el concreto²³, posteriormente se dejó de utilizar y no fue hasta mediados del siglo XIX cuando al introducirle acero en su interior se hizo muy popular.

²³ Del latín *concretus*, que significa: crecemos juntos.

También llamado hormigón, lo definimos como al resultado de mezclar elementos áridos con la pasta que se obtiene de agua y un conglomerante.

Una y tal vez la característica favorita del concreto es que se puede moldear y dar la forma deseada vertiendo la mezcla en moldes, correctamente llamados cimbra; ya una vez solidificado se vuelve un material muy parecido a la piedra con una gran resistencia, dureza y durabilidad.



20. Iglesia realizada en su totalidad con concreto, con refuerzo de acero, Viña del Mar, Chile.

- Composición: Como ya se menciono el concreto se conforma de tres grupos principalmente.
 - Áridos: En la grava no deben contener impurezas como carbón, escorias, plásticos o yeso; En la arena no debe haber mas del 3% de arcilla, ni materia orgánica.
 - Ligeros: Dens. real del grano $< 2 \text{ g/cm}^3$.
 - Normales: $2 \text{ g/cm}^3 < \text{D.r.g.} < 3 \text{ g/cm}^3$.
 - Pesados: Dens. real del grano $> 3 \text{ g/cm}^3$.
 - Agua: debe evitar la materia orgánica y en suspensión, no se recomienda el agua de mar, ya que oxida el acero en caso de utilizarse en el concreto armado.
 - Conglomerante: El yeso y la cal son conglomerantes de baja resistencia, por lo que se creó el cemento artificial, el cual se ha ido

mejorando a lo largo del tiempo: Cemento Pórtland: patentado en 1824 se producía quemando cal y arcilla en un horno y se ha mejorado desde ese momento.

- Tipo I: normal.
- Tipo II: moderado.
- Tipo III: de alta resistencia.
- Tipo IV: de bajo calor de hidratación.
- Tipo V: resistente a los sulfatos.
- Aditivos: dependiendo del solicitado se obtendrán cualidades distintas como son:
 - Fluidificantes: reduce el contenido de agua, mejora el manejo y aumenta la resistencia.
 - Plastificantes: permite la modificación de la cantidad de agua y mejora el manejo y permeabilidad.
 - Aceleradores: apuran el tiempo de fraguado.
 - Retardadores: aplazan el tiempo de fraguado.
 - Hidrófugos: plastificante que tapa los poros para evitar filtración de agua.
 - Anticongelantes: Evitan la formación de hielo en el concreto fresco.
 - Colorantes: tienen que ser compatibles con el resto de componentes.
 - Otros.
- Función constructiva:
 - Como material resistente: zapatas, muros de cimentación y contención, muros, columnas, diques, muelles, tanques, pisos y pavimentos, etc.
 - Como material decorativo: en mobiliario, piedra artificial, etc.
 - Como material adicional: para el concreto armado.
- Clasificación:

- Mortero: cuando el agregado árido es fino y no mayor de 6 mm.
- Común: se obtiene al mezclar cemento, agua y áridos minerales de tamaños variados, de alrededor de 5 mm.
- En masa: No contiene en su interior armadura de ninguna clase. Apto para resistir esfuerzos a compresión.
- Armado: con armadura de acero, debidamente dimensionada y situada. Es apto para resistir a flexión y compresión.
- Pretensado: con una armadura de acero especial, sometida a tracción previamente a la puesta en obra.
- Postensado: con cables de acero, sometido a tracción después de puesto en obra.
- Ciclópeo: Es el que tiene embebidos en su masa grandes bloques de dimensión mínima de 30 cm., y de forma tal que no pierde la compacidad.
- Aerocluso o aireado: se le incorpora aire no mayor del 6 % de su volumen uniformemente distribuido en toda su masa, en forma de burbujas cuyo tamaño esta comprendido entre 0'05 y 0'1 mm.
- Unimodular: Es el concreto con áridos de un solo tamaño.
- Ligero: Compuesto con áridos ligeros. Una variante es el concreto celular que contiene burbujas independientes de gas uniformemente repartidas.
- Inyectado: Cuando se inyecta en un molde o cimbra rellena de árido ($\phi > 25$ mm.) mortero de relleno.
- Blindado: Unidad de obra utilizado en pavimentaciones, compuesta por una capa de espesor variable de concreto común y otra superior de asfalto.

- Preparación:
 - Mezcla: Cuando se combinan los ingredientes y puede hacerse de forma manual, con revoladora o en camiones, está última la más recomendada, pero depende del volumen.
 - Colocación: Cuando se vierte para moldear, las capas no pueden ser mayores a 50 cm.
 - Vibrado: si esté presenta oquedades o es muy espeso se puede sacudir.
 - Fraguado: Proceso de solidificación del concreto.
 - Curado: Para impedir la perdida acelerada de humedad y evitar el agrietamiento (mín. 7 días).
 - Descimbrado o Desencofrado: retiro de los moles sin golpeo y hasta que el concreto haya alcanzado su resistencia máxima (± 28 días).
- Propiedades y características:
 - Compresión: su mejor cualidad, hasta 48000 KN/m².
 - Ruptura: sin un armado no soporta tracción a la tensión.
 - Choque térmico: excelente resistencia a los cambios rápidos de temperatura, y depende de sus grosor.
 - Desgaste: fisuras, grietas y por diversos factores químicos o físicos.
 - Peso: depende de sus agregados, alrededor de: 2400 Kg/m³.
 - Reciclable.
 - Es económico y no es atacado por el fuego.

2.7. Acero

Varias son las cualidades por las que se utiliza el acero en las estructuras, entre ellas que es un material duro y resistente a

distintos esfuerzos, como lo son la contracción y la tracción; pero además de esto es un material muy estético que se puede combinar con otros.

El descubrimiento del acero significó un cambio radical de la industria de la construcción y la vida de la humanidad.

Los primeros aceros se obtuvieron tal vez por accidente, aunque no se sabe dónde y cómo. Los aceros de Damasco y Toledo utilizados para hacer espadas eran aceros al molibdeno. Mas tarde, las barras de acero fundido se empacaban con carbón en recipientes de arcilla y se calentaban



22. Realizada en su totalidad de acero, la cubierta del estacionamiento en la ciudad de las artes, Valencia, España.

y se calentaban durante varios días hasta obtener un hierro mas duro y fuerte, es donde el hierro absorbía carbono suficiente para transformarse en lo que ahora se conoce como acero cementado o acero. Este era el único método conocido hasta mediados del siglo XIX y aunque era de buena calidad solo se podía producir en pocas cantidades.

La producción moderna de acero emplea altos hornos que son modelos perfeccionados de los usados antiguamente por Henry Bessemer. Desde la década de 1960 funcionan varios mini hornos que emplean electricidad para producir acero a partir de material de chatarra. Sin embargo, las grandes

instalaciones de altos hornos continúan siendo esenciales para producir acero a partir de mineral de hierro.

Después de la II Guerra Mundial se introdujo un importante avance en la tecnología de altos hornos: la presurización de los hornos. Estrangulando el flujo de gas de los respiraderos del horno es posible aumentar la presión del interior del horno hasta 1,7 atmósferas o más, esto permite una mejor combustión del coque y una mayor producción de hierro de hasta 25%. También se ha demostrado que la producción se incrementa enriqueciendo el aire con oxígeno.

El método principal de trabajar el acero se conoce como laminado en caliente. En este proceso, el lingote colado se calienta al rojo vivo en un horno denominado foso de termodifusión y a continuación se hace pasar entre una serie de rodillos metálicos colocados en pares que lo aplastan hasta darle la forma y tamaño deseados. La distancia entre los rodillos va disminuyendo a medida que se reduce el espesor del acero.

- Composición: el hierro se convierte en acero al contener carbono en su composición.
 - Hierro no menor al 95.00%
 - Carbono no mayor al 2.00%
 - No se especifica o requiere un mínimo de: aluminio, boro, cromo, cobalto, colombio, molibdeno, níquel, titanio, tungsteno, vanadio o circonio.
 - Cobre del 0.40% al 0.60%.
 - Manganeso menor a: 1.65%.
 - Silicio menor a: 0.60%.
- Función constructiva:
 - Como material resistente: prácticamente para cualquier elemento estructural –columnas, trabes, losas, cubiertas–, cimbras, puertas, muros, etc.

- Como material decorativo: celosías, mobiliario, herrajes, cercas, barandas, etc.
- Como material adicional: como varilla en concreto armado, mallas de refuerzo, etc.
- Clasificación:
 - Suaves: de 0.05 a 0.25% de carbono.
 - Medianos: de 0.25 a 0.70% de carbono, utilizados mayormente para la industria de la construcción.
 - Resortes: 0.70 a 0.80% de carbono.
 - Perlíticos: de 0.75 a 0.85% de carbono.
 - Aceros al alto carbono: de 0.85 a 1.20% de carbono para fabricación de herramientas.
 - Fundiciones: mas del 2.00% de carbono.
 - Aleaciones: cuando el manganeso, silicio o cobre sobrepasan el limite, o cuando se especifica el contenido de aluminio, boro, cromo, cobalto, colombio, molibdeno, níquel, titanio, tungsteno, vanadio o circonio.
 - Acero Inoxidable: 11.00% de cromo y un mayor porcentaje de níquel y otros elementos, que los mantienen brillantes y resistentes a la oxidación.
 - Acero Oxidado o Cor-ten: contiene cobre que crea una capa de oxido protectora en la superficie.
 - Acero Laminado o estirado: aumenta su fuerza al eliminar sus fallas microscópicas (grietas de Griffiths).
- Estructura: El tamaño de grano influye tanto en la resistencia como en la tenacidad del acero:
 - Grano fino: resistencia y ductilidad superior, tenacidad muy superior y moldeabilidad inferior.
 - Grano grueso: resistencia, ductilidad y tenacidad inferior y moldeabilidad superior.También en esté influyen los siguientes factores: composición del acero, clase de procesamiento y

tratamiento en caliente, pero sobre todo el nivel de temperatura al que se trabaja; entre menor sea la temperatura, menor será el grano.

- Propiedades: Acero estructural
 - Tensión: mínima de 400 a 550 MN/m² y máxima de 820 MN/m².
 - Compresión: de 1000 a 12000 Kg/cm².
 - Fatiga: mínima de 250 a 450 MN/m².
 - Fluencia: 200 a 480 MN/m².
 - Choque térmico: Es muy inestable, aumenta con el calor y disminuye con el frío; Además de perder rápidamente sus cualidades de trabajo con temperaturas superiores a 150 °C, por lo que antes se recubría de algún material pétreo, actualmente se puede hacer con recubrimientos intumescentes que se le aplican a la pintura.
 - Desgaste: está directamente relacionada dependiendo del acabado y compuesto del acero, pero en general todos presentan corrosión y no tiene resistencia al fuego; Existe una gran cantidad de recubrimientos para retardar y aumentar su resistencia a la corrosión y el fuego.

2.8. Aluminio

Este es uno de los materiales más nuevos, a pesar de que es el elemento mas abundante en la corteza terrestre; utilizado desde el año 500 a.C. como astringente y fijador cáustico.

Alrededor del año 1200 se purificaron sales minerales a forma de alumbre cristalizado, y en el siglo XVI se produjo el alumbre (Al²(SO⁴)³), a partir de la arcilla. En 1809, Davy demostró que el alumbre tenia base metálica, produjo el oxido de aluminio y le

dio el nombre de "aluminium". Después de muchos años de investigación, en una época, el aluminio era más apreciado que el oro, Napoleón ordeno elaborar cubiertos de aluminio y ponerlos a lado de los de oro y plata. No fue sino hasta 1856, cuando se dio el primer uso del aluminio a la arquitectura como perfiles estructurales y en 1886 apareció la industria del aluminio, Hall en E.U.A. y Heroult en Francia descubrieron simultáneamente el método electrolítico de producción (dato curioso, ambos nacieron en 1863 y murieron el mismo año), esto hizo caer los precios de US\$11.00 por libra en 1886 hasta US\$0.50 en 1893.



24. El famoso "Armadillo", esta conformado con lamina y cancelaría de aluminio, Glasgow, Escocia.

El primer uso estructural del aluminio aliado con cobre fue en los zeppelines construidos por los alemanes y en la industria de la aviación en la I y II guerra mundial.

El aluminio comenzó a utilizarse en la industria de la construcción a principios del siglo XX y de ahí aumento continuamente hasta nuestros días.

- Composición: El aluminio que se ocupa para la industria de la construcción es en su mayoría aluminio puro, mezclado con pequeñas cantidades de hierro, silicio y otros metales.
 - Aluminio: del 99.4 al 99.6%

- Silicio: 0.2%
- Hierro: 0.2%
- Cobre, magnesio, manganeso, zinc y titanio: un máximo de 0.03% de cada uno.

- Función constructiva:
 - Como material resistente: postes, armaduras, perfiles, tubos, cubiertas, piezas sólidas, etc.
 - Como material decorativo: ventanas, puertas, antepechos, barandas, cercas, mobiliario, herrajes, etc.
 - Como material adicional: Abrasivos, aditivos, cemento, pigmentos, recubrimientos, losetas, textiles, soldadura, etc.
- Anodizado: Consiste en una oxidación electrolítica de las superficies de las piezas de aluminio, seguida de una inmersión en agua, en la que la superficie del óxido formado se hidrata formando una capa impermeable que protege a la primera. Antes de dar el sellado, puede colorearse la capa de óxido con objeto de dar un diferente acabado estético.
- Propiedades y características:
 - Símbolo y No. atómico: Al, 13.
 - Densidad Relativa: 2.70 a 20°C.
 - Punto de fusión: 658°C.
 - Compresión: similar al del acero (1500 a 16000 Kg/cm²).
 - Tensión: 48 MN/m² y hasta 680 MN/m² con algunas aleaciones.
 - Choque térmico: Excelente conductor de calor y no presenta una dilatación tan elevada como el acero.
 - Corrosión: gracias a que se combina fácilmente con el oxígeno se crea una película protectora en

su superficie, pero debe aislarse de otros metales por su acción eléctrica.

- Peso: Es el metal más ligero después del magnesio: 2800 Kg/m³.
- Reciclable.
- Es económico y fácil de trabajar.

2.9. Vidrio

Se puede definir como una sustancia inorgánica de estado continuo similar al líquido, pero que, como consecuencia de haber sido enfriado desde un estado fundido, ha alcanzado tan alto grado de viscosidad que puede considerarse a todos los efectos

como un sólido, pero tal es el ejemplo de las catedrales góticas, los vitrales decorativos son más anchos en su parte baja, por que a través de los años la parte superior se adelgaza y la inferior aumenta su espesor.

Es difícil saber cuando comenzó la humanidad a fabricar vidrio, los primeros intentos de fabricar el vidrio fueron consecuencia de la fabricación de la cerámica.



26. Galería comercial, cubierta en su totalidad por una gran pirámide de vidrio, Glasgow, Escocia.

Probablemente fue en Mesopotamia donde se fabricó el primer vidrio artificial, aunque luego pasó la hegemonía del vidrio a Egipto siendo el vidrio puro más antiguo que se conoce del año 7000 antes de Jesucristo.

El vidrio en la antigüedad tenía la misma consideración que las piedras preciosas y se utilizaba para motivos ornamentales. Un siglo o dos antes de Jesucristo la industria del vidrio sufrió una gran revolución con la invención del vidrio soplado, extendiéndose enormemente su uso.

Fue a principio de la Era Cristiana cuando se produjo el primer vidrio transparente de relativa claridad. Paradójicamente, se le dio el nombre de cristal por su semejanza con el cristal de roca, todavía hoy es frecuente esta denominación. El cetro de la fabricación de vidrio pasa a Roma y siglos después pasa a Venecia.

La industria sigue extendiéndose por Europa ganando justa fama los vidrios tallados en Bohemia, Silesia y Baviera. Poco se utiliza el vidrio coloreado en la arquitectura románica, pero se usa con gran profusión en la gótica para formar magníficas vidrieras. Los trozos de vidrio, que forman un verdadero mosaico, se encuentran dispuestos dentro de una red irregular de tiras de plomo. En España, las más ricas vidrieras se encuentran en la catedral de León.

El mayor impulso lo recibe esta industria a principios del siglo XX y durante el mismo. Los métodos de fabricación masivas de bombillas y botellas, los procedimientos continuos para fabricar vidrio plano, la fabricación de vidrios resistentes al fuego, de vidrio inastillable, de bloques de vidrio; todo ello conduce hasta un momento en que la fabricación artesana de elementos de adornos se pasa a la fabricación industrial para muchísimas aplicaciones y cuyo uso en construcción se amplía por momentos, además de que su mayor auge se da en la arquitectura.

- Composición: Para su fabricación se cuenta con vidrio reciclado como materia prima; generalmente estos desperdicios oscilan entre el 25 y el 75%. En la mayoría de los vidrios comerciales pueden observarse típicamente y no obligatoriamente diez óxidos:
 - Sílice SiO_2 , se obtiene de la arena.
 - Óxido de boro B_2O_3 , se obtiene del bórax y el ácido bórico.
 - Alúmina Al_2O_3 , se obtiene de los feldespatos y el caolín.
 - Óxido sódico Na_2O , se obtiene del carbonato sódico.
 - Óxido potásico K_2O . Se obtiene del carbonato potásico o del nitrato potásico.
 - Cal viva CaO , se obtiene de la caliza y la dolomía.
 - Magnesia MgO se obtiene por la dolomía o por la magnesita.
 - Óxido de plomo PbO , se obtiene del litargio.
 - Óxido de bario BaO , se obtiene del carbonato bórico.
 - Óxido de cinc ZnO , se obtiene por oxidación del metal.
- Función constructiva:
 - Como material resistente: ventanas, pisos, cubiertas, puertas, barandas, muros, etc.
 - Como material decorativo: ventanas, puertas, celosías, mobiliario, herrajes, protección solar, muros, etc.
 - Como material adicional: Textiles, aditivos, filtros y como aislante.
- Clasificación: Los vidrios comerciales son fabricados con óxidos inorgánicos y el principal es el sílice, pero generalmente va acompañado por otros óxidos. Las

proporciones en que entran los diversos componentes en un vidrio pueden variar dentro de ciertos límites.

- Flotado: Tiene una superficie perfectamente plana, sustituyo al vidrio planchado por evitar el pulido de sus caras.
- Laminado: Dos o mas capas de diferentes tipos de plásticos, el cual al romperse el vidrio mantiene unido los fragmentos.
- Templado: A uno flotado se eleva su temperatura y se enfría súbitamente, obteniendo una gran resistencia por equilibrio interno de tensiones y compresiones.
- Polarizado: recubiertas con una sustancia química orgánica que concentra la luz transmitida.
- Celular: Contiene burbujas y flota en el agua, presenta un buen aislamiento térmico.
- Esmerilado: presenta un gravado en su superficie que evita la visual, este se da por chorro de arena o ataque químico.
- De sílice: Es el obtenido por enfriamiento de masas fundidas de sílice pura conseguida por fusión de arenas de cuarzo y tiene cualidades magníficas.
- Con refuerzo de alambre: contiene fibras de alambre en medio del vidrio, es resistente al fuego y no se separa aun después de romperse o agrietarse.
- Soluble: cuando a la sílice se le añaden otros óxidos que actúen de fundentes y reduzcan su viscosidad y es soluble al agua, se emplea para protección contra la intemperie de otros materiales de construcción.
- De cal: aumenta la durabilidad química y la dificultad de fusión, se usa para botellas, ventanas, lámparas eléctricas, etc.
- De plomo: se le añade óxido de plomo PbO , por lo que se rebaja aún más el punto de fusión y se

- mejoran sus condiciones de trabajo, su principal uso es el eléctrico y no permite el paso de los rayos X.
- De borosilicato (pirex): se utiliza como fundente el óxido bórico B_2O_3 , por lo que requiere mayor temperatura de fusión y es más fácil de fabricar; Presenta una gran resistencia al choque térmico y excelente estabilidad química.
- Traslúcido u opal: Se utiliza para envases, globos de lámparas y difunden muy bien la luz.
- Óptico: Muy especializados que con muy bajo contenido de hierro ferroso, no transmite la luz ultravioleta, ni la radiación solar.
- Para fibra: para su fabricación se emplea un vidrio sin compuestos alcalinos, tiene un punto de reblandecimiento más bien alto.
- Coloreado o tintado: Es producido por la adición de los óxidos de distintos elementos como: titanio, vanadio, cromo, manganeso, hierro, cobalto, níquel o cobre.
- Bloque de vidrio o Vitroblock: Fabricado a partir de dos vidrios cuadrados y cóncavos fundidos a altas temperaturas.
- Entre muchos otros.
- Propiedades y características:
 - Dureza al rayado: Comprendida entre el 5 y el 7 de la escala de Mohs.
 - Elasticidad: 7000 Kg/mm² y tiene baja deformabilidad.
 - Fragilidad: Es altamente frágil que se debe a la lentitud con que se relajan las tensiones mecánicas a que se ve sometido puesto que no experimenta deformación plástica.
 - Compresión: Es notablemente mayor que la resistencia a la tracción, comienzan en pequeñas imperfecciones que producen una gran concentración de tensiones y sobreviene la rotura y va de entre 5000-10000 Kg/cm².
- Tensión:
 - o Vidrio recocido 500 Kg/cm².
 - o Vidrio templado: 2000-2500 Kg/cm².
- Durabilidad química: posee una estabilidad química mucho mayor que la de los demás materiales de construcción y depende del tipo. Lo atacan:
 - o Ácido fluorhídrico.
 - o Ácido fosfórico concentrado.
 - o Alcalis concentrados y calientes.
- Choque térmico: Resiste mejor el paso brusco de frío a calor que el inverso.
 - o Calor específico: el coeficiente de dilatación del vidrio plano es del orden de $85 \cdot 10^{-7}$ cm/°C.
- Ópticas: Su principal misión es el de permitir el paso de la luz.
 - o Transparente: cuando permite observar a través de él los objetos sin ninguna deformación.
 - o Traslúcido: no es posible obtener una imagen clara de objetos a través de él, pero pasa la luz.
 - o La proporción de luz reflejada suele ser poca y depende del Índice de refracción y el ángulo de incidencia.
- Eléctricas: Se utilizan en instalaciones eléctricas debido a su elevada resistencia volumétrica, dieléctrica y superficial.
- Reciclable.
- Peso: Dependiendo de su composición alrededor de 2.5 Kg/m² por 1 mm. de espesor.

2.10. Concreto armado

También llamado hormigón armado, del latín formare, que significa moldear o dar forma²⁴.

El mezclar el acero y el concreto se hizo posible ya que por coincidencia se cuentan casi con el mismo coeficiente de dilatación térmica, por lo que no se presentan agrietamientos; el acero absorbe los esfuerzos de tensión y torsión, mientras que el concreto trabaja compresión y protege al acero del medio ambiente y la oxidación.

Tal vez el reforzar un material tan abundante como el barro con paja o ramas dio como resultado la idea de reforzar el concreto con un metal. Desde la época de los romanos se reforzaba con varillas de bronce insertadas en el concreto, pero esto se había ignorado hasta mediados del siglo XIX.



30. Gracias a su moldeabilidad y a su refuerzo de acero se pueden realizar formas casi imposibles, Cuartel general del ejercito, Oscar Niemeyer, Brasilia, Brasil.

En 1850 el francés François Coignet reforzaba las losas de concreto con vigas de hierro forjado, y no fue hasta 1857 cuando en Inglaterra W. V. Wilkinson recibió la patente, desde

²⁴ Mario Camacho Cardona, Diccionario de arquitectura y urbanismo, Trillas, México, 1999.

ese momento se aplicó a las edificaciones y en 1897 François Hennebique culminó el molino Charles VI con una estructura de concreto armado.

Durante el siglo XX se convirtió en el material favorito y más utilizado en la arquitectura y a tenido un gran desarrollo, aunque el concepto básico continúa siendo el mismo, parte fundamental de las estructuras.

- Composición:
 - Concreto común o modificado según sea necesario.
 - Varillas de acero, alambón, alambre, malla de acero, tela de alambre o algún derivado del acero.
 - Algún aditivo opcional o recubrimiento para proteger el acero.
- Función constructiva:
 - Como material resistente: pilotes, zapatas, cimentaciones, muros de todo tipo, columnas, trabes, losas, cubiertas, cerramientos, pisos y pavimentos, pretensados, postensados, membranas, prefabricados, un derivado de éste puede ser el ferrocemento, etc.
 - Como material decorativo: en mobiliario, monumentos, prefabricados, etc.
- Corrosión: Es, en la mayoría de los casos, la causa determinante de la vida útil de una estructura de concreto armado.
El concreto le confiere al acero una protección doble:
 - Una barrera física protectora del medio ambiente.
 - El líquido encerrado en los poros del concreto es un electrolito que puede formar una "película protectora de óxido" que se mantenga en el tiempo.

El electrolito está constituido principalmente por iones OH⁻ (oxidrilo) provenientes del hidróxido de calcio, de sodio o de potasio. A esta alcalinidad y con el contenido de O₂ del aire, el acero se cubre con una película pasiva de óxido de hierro muy adherente, compacta e invisible, que lo preserva indefinidamente de la corrosión.

Los efectos de la corrosión en el acero producen un volumen de 4 a 12 veces mayor que el metal, esto hace que aumente la tensión dentro del recubrimiento y produce la fractura del concreto, acelerando el proceso de destrucción.

- Tipos de corrosión:
 - Localizada: Por picaduras, por aireación diferencial, corrosión bajo tensión o por corrientes de interferencia.
 - Uniforme o generalizada: Disminución del pH por lixiviación o por carbonatación
 - Por picado: Las picaduras se forman por disolución localizada de la película pasiva por ingreso de iones cloruro, que provienen del exterior, o incorporados al concreto en aditivos, agua, cemento o en los áridos.
 - Aireación diferencial: Cuando sobre la superficie del metal existe un espacio lo suficientemente resguardado que evita el acceso continuo del oxígeno.
 - Bajo tensión: Cuando se da conjuntamente un esfuerzo de tracción sobre el acero y se trabaja en un medio agresivo.
 - Por corrientes de interferencia: Cuando estas fluyen sobre la estructura y que no forman parte del circuito eléctrico/celda electroquímica específica.

- Galvánica: Se da cuando dos metales diferentes están en contacto directo, por lo que se genera un medio electrolítico.
- Protección contra corrosión: Se basan en eliminar alguno de los cuatro elementos que conforman la celda de corrosión: ánodo, cátodo, conductor iónico, conductor electrolítico. Indirectamente se puede minimizar la corrosión empleando pinturas; revestimientos del acero y recubrimientos sobre el concreto; protección catódica; agregado de inhibidores de corrosión; eliminando los iones cloruro y re-alcalinizando el concreto. En estructuras nuevas el correcto uso del concreto o el manejo de aditivos.
- Propiedades y características:
 - Compresión: en el concreto un f'c mínimo de 100 a 300 kg/cm² para elementos de la construcción comunes.
 - Ruptura: en el acero de refuerzo un f'c mínimo de 4200 kg/cm²
 - Choque térmico: Presentan el mismo choque térmico y prácticamente las afectaciones por el calor son mínimas pero considerables.
 - Peso: depende de sus agregados, alrededor de: 2400 Kg/m³.
 - Reciclable; aunque el acero en el interior casi siempre se encuentra oxidado.
 - Es económico y no es tan fácilmente atacado por el fuego, dado que el concreto recubre al acero.

2.11. Plásticos

Los plásticos se caracterizan por una relación entre resistencia y densidad alta, tienen una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes. Cuentan con una baja conductividad eléctrica y térmica, resistencia limitada y debe evitarse su uso a temperaturas elevadas.

Son un producto de la integración de conocimiento científico de la química, la física y la biología.

Su origen se da a mediados del siglo XIX con investigaciones en la fécula, melanina, nitrocelulosa y la producción de prensa manual; pero no fue hasta que Hyatt en 1970 patentó la celulosa, que se empleó como molde de placas dentales y cuellos de camisas.

A finales del siglo XIX y principios del XX ya muchos investigadores estaban involucrados en el tema y entre sus grandes desarrollos fueron la película fotográfica, recubrimientos, vidrio de seguridad, herramientas, armazones de lentes y muchos otros artículos. Durante y después de las guerras mundiales se produjeron grandes avances en dicha industria.



18. Construido casi en su totalidad con elementos plásticos el módulo temporal de Rem Koolhaas en la Serpentine Gallery, Londres, Inglaterra.

Desde la II Guerra mundial hasta hoy los plásticos han influido en el concepto de material y diseño en la construcción, desde elementos como cubiertas, tubos, cancelería, adhesivos y mas hasta en el empleo de morteros y concreto.

- **Composición:** Los materiales empleados para su fabricación son resinas en forma de bolitas, polvo o solución de distinto origen.
- **Función constructiva:**
 - Como material resistente: para placas, ductos, tubos, cancelería, columnas, muros, pisos, láminas, cuerdas, juntas, cimbra, etc.
 - Como material decorativo: para revestimientos, mobiliario, cubiertas, espumas, tragaluz, paneles decorativos, tarjas, muebles sanitarios, etc.
 - Como material de agregado: para formar concretos especiales, revestimientos, aislamientos eléctricos, térmicos o acústicos, cubiertas, alfombras, plafones, pinturas, etc.
- **Formación:**
 - **Extrusión:** El material caliente y fluido se hace pasar a través de orificios que le dan la forma deseada.
 - **Moldeo por compresión:** La materia prima plástica, en forma de polvo seco, se introduce en el molde, se la somete a presión y temperatura elevada, hasta que el material plástico que rellena el molde se solidifica.
 - **Moldeo por inyección:** La materia prima se calienta en un cilindro de presión que inyecta la resina fundida, a través de una boquilla, en la cavidad de un molde provisto de un sistema de refrigeración que solidifica rápidamente en plástico inyectado; un sistema automático expulsa la pieza fuera del molde.

- Termoformado: Las hojas de polímero termoplástico son calentadas hasta llegar a la región plástica y se pueden conformar sobre un dado para producir diversos productos. El conformado se puede efectuar utilizando dados, vacío y aire a presión.
- Calandrado: Consiste en verter plástico fundido en un juego de rodillos con una pequeña separación. Los rodillos, que pudieran estar grabados con algún dibujo, presionan al material y forman una hoja delgada del polímero.
- Hilado: El polímero termoplástico fundido se empuja a través de un dado, que contiene muchas perforaciones pequeñas. El dado, conocido como hilador puede girar y producir un hilado. En algunos materiales, como el nylon, la fibra puede ser posteriormente estirada para alinear las cadenas, para que queden paralelas al eje de la fibra; este proceso incrementa su resistencia.
- Colado: La mayoría de los polímeros se pueden colar en moldes, dejando que se solidifiquen. Los moldes pueden ser placas de vidrio, para producir hojas de plástico gruesas, o bandas de acero inoxidable para colado continuo de hojas más delgadas. Un proceso especial de colado es el moldeo centrífugo, en el cual el polímero fundido se vacía en un molde que gira sobre dos ejes. La acción centrífuga empuja al polímero contra las paredes del molde, produciendo una forma delgada.
- Moldeo por transferencia: Requiere de una cámara doble. El polímero en una de las cámaras es calentado a presión. Una vez fundido se inyecta en la cavidad del dado adyacente.
- Espumas: Para lograr espacios en el polímero se produce en pequeñas bolitas que contienen un agente espumante, que al ser calentado se

descompondrá, generando algún gas. Durante este proceso de preexpansión, las bolitas aumentan de tamaño 50 veces y se hacen huecas. A continuación, las bolitas pre-expandidas se inyectan dentro de un dado, para fundirlas y unir las.

- Mecanizado: Muchos plásticos son de fácil mecanización una vez transformados en productos industriales, de ahí que se pueda tornearse, limarse, taladrarse, etc. Este procedimiento sólo se utiliza si se trata de obtener pocas piezas que no compense el construir el molde.
- Clasificación:
 - Termoestables: Endurecen bajo la acción del calor y presión, y su endurecimiento es irreversible por haber sufrido una modificación en su estructura química, ya no se pueden remodelar o ablandar bajo la acción del calor y presión. Son comparables a la arcilla, que una vez endurecida con el calor (cocida), su forma es definitiva.
 - Termoplásticos: El calor les da plasticidad y fluidez, así se pueden inyectar a presión en un molde determinado, adoptando la forma del hueco del molde, se pueden laminar, etc., pero endurecen tan pronto como se enfrían. Los termoplásticos se pueden remodelar, por consiguiente pueden aprovecharse las piezas defectuosas, los recortes, etc. Haciendo una analogía, se podrían comparar con la cera, que se endurece con el frío, pero este no es definitivo.
 - Elastómeros: Tienen una estructura intermedia, en la cual se permite que ocurra una ligera transformación de enlaces cruzados entre las cadenas moleculares. Los elastómeros son capaces de deformarse elásticamente en grandes

magnitudes sin cambiar de forma permanentemente. Los típicos son polímeros amorfos, no cristalizan fácilmente. Tienen una baja temperatura de transición vítrea y las cadenas se pueden deformar elásticamente con facilidad al aplicar una fuerza.

- Adhesivos: Son polímeros que se utilizan para unir otros polímeros, metales, materiales cerámicos, compuestos o combinaciones de todos los anteriores. Los adhesivos se utilizan para una diversidad de aplicaciones.
- Estructura: Son grandes estructuras moleculares creadas a partir de moléculas orgánicas los cuales que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada. Estás pueden ser de origen natural, como la celulosa, la cera y el hule o caucho, o sintéticas, como el polietileno y el nailon.
- Propiedades y características:
 - Compresión: dependiendo de sus compuestos puede ser muy resistente.
 - Tensión: también depende de los elementos que lo integran.
 - Peso: varía mucho dependiendo del tipo de plástico, pero por lo general son muy ligeros.
 - Reciclable, sin embargo contaminan bastante en el proceso.
 - De estructura no cristalina.
 - No son conductores de electricidad y de calor relativamente baja.
 - Resistentes a los ambientes químicos y corrosivos.
 - Se conforman fácilmente a formas complejas y tienen un comportamiento viscoelástico.
 - Es un material muy económico y tal vez el que más desarrollo tiene hoy en día.

CAPÍTULO III SISTEMAS ESTRUCTURALES

3.1. Solicitaciones

Partiendo del concepto de estructura como la parte esencial en un proyecto arquitectónico, éstas deben de considerar de manera importante nociones, como son las cargas, los esfuerzos y el requerimiento esencial en la obra arquitectónica.

3.3.1. Cargas

Una carga se le considera a todo tipo de acción que tenga algún tipo de afectación a las estructuras y estas se clasifican dependiendo su estado.

Todas las estructuras por el simple hecho de su existencia, están sometidas a la acción de diversas cargas, y deben resistirlas.

La localización de las cargas que operan sobre una estructura es un problema complejo. La naturaleza de las cargas varía dependiendo del proyecto, el tipo de materiales y la ubicación de la misma; Por lo que condiciones de carga de una estructura podrían modificarse muy lentamente, o bien cambiar rápidamente de un instante a otro, afectándola.

En el proceso de materialización de un proyecto estructural, se investigan primeramente las características e intensidad de las cargas, mediante un análisis de las mismas. Esto representa las solicitaciones que afectan a una estructura; las principales son las siguientes:

3.3.1.1. Estáticas

Estas cargas no se modifican de manera brusca. Se conforman por el peso propio de la estructura y los elementos permanentes que existan en ella, y constituyen la base para el proyecto estructural. Puede superar varias veces a las demás cargas. El peso propio de una estructura produce un efecto estático sobre ella. Las cargas permanentes, también llamadas así, se calculan con facilidad, una vez determinadas las dimensiones de la estructura, se calcula su peso con las tablas de pesos unitarios de materiales estructurales.

3.3.1.2. Variables

Denominadas también cargas útiles o vivas, esta clase de cargas incluye todo el peso móvil que debe soportar una estructura: seres humanos y animales, máquinas y accesorios, como automóviles y mamparas u otros elementos no estructurales. Una carga variable es, técnicamente, cualquier cosa que no se aplique permanentemente, como una fuerza sobre la estructura. En el reglamento de construcciones del DDF (México) se menciona como cargas vivas y se refiere a las cargas de diseño supuestas en la forma de cargas gravitacionales distribuidas sobre superficies de techo y piso, debidas a la ubicación y al uso particular del edificio.

Los efectos de las fuerzas o cargas dinámicas son muy diferentes a los producidos por las estáticas.

3.3.1.3. Accidentales

Dentro de esta categoría encontramos la acción la lluvia, el hielo, la nieve, la presión o succión del viento, la presión del agua, el empuje de la tierra y el sismo. Muchas de estas cargas son de índole tan incierta que requieren la fijación de valores promedio en los códigos y reglamentos de edificación, pues a veces resulta imposible su análisis caso por caso.

3.3.1.4. Permanentes

Otra condición cuyos efectos equivalen a los de cargas pesadas puede obedecer al asentamiento regular o irregular de la cimentación de un edificio. Mientras que un asentamiento regular, que es permanente, continuo, infinito y no causa daños, cuando éste no es uniforme o existe una alta compresibilidad del mismo, se pueden presentar hundimientos diferenciales que se traducen grandes esfuerzos e incluso culminan en la falla de la estructura.

3.3.1.5. Térmicas

Todas las estructuras están expuestas a cambios de temperatura, y varían de forma y dimensiones durante el ciclo de temperaturas diurnas y nocturnas, como también durante el ciclo de invierno y verano. Los efectos de la variación de dimensiones debida a la dilatación y contracción térmicas, equivalen a menudo a grandes cargas, las cuales pueden resultar muy peligrosas por ser invisibles.

3.3.2. Esfuerzos

Las estructuras por complejas que parezcan tienden a desarrollar su cometido básicamente a través de dos acciones elementales: jalar y empujar. No importa cuan variadas sean las cargas y que tan compleja geométricamente sea la estructura, sus elementos siempre experimentarán este tipo de acciones. Éstos son jalados por las cargas, y en consecuencia se estiran; o son empujados, y en consecuencia se aplastan. En lenguaje estructural, se dice que las cargas provocan esfuerzos sobre la estructura y ésta se *deforma* bajo los esfuerzos.

Cuando un material es jalado, se dice que está bajo *tensión*. La tensión es fácil de reconocer pues alarga el material, esto es muy evidente en materiales sumamente elásticos como una liga de hule; Cuando un material es aplastado, se dice

que está bajo *compresión*. La compresión, en cierto sentido, es lo opuesto a la tensión, debido a que comprime o aplasta dicho material.

Todos los materiales deben tener resistencia a la tensión y a la compresión dependiendo su función. Estos valores de resistencia son diferentes en los materiales, pero tienen en distinta cantidad la capacidad de resistir antes de colapsarse.

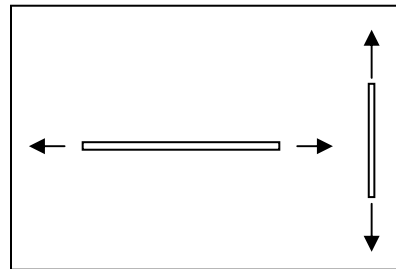
Aunque las deformaciones se originan por acciones de fuerzas externas, afectan a la estructura con resultados directos de acciones de fuerzas internas. Por lo que acciones de tensión, compresión, cortante, flexión y torsión son la exposición de una condición de esfuerzos internos en el material de la estructura y por lo regular no se presentan de forma única o aislada, otros como la torsión son la combinación de varios de ellos.

3.3.2.1. Tensión

Es el estado de un cuerpo físico, que solicitado por fuerzas externas lo mantienen, ya sea alargado, o comprimido. En el primer caso se trata de una tensión trabajando a la tracción, y en el segundo de una tensión trabajando a la compresión.

3.3.2.2. Tracción

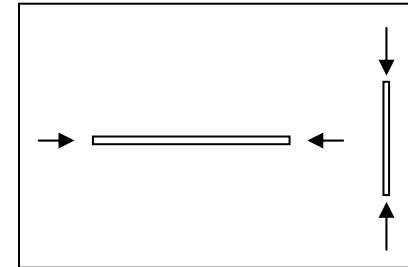
Acción de dos fuerzas en sentido contrarias, que actuando axialmente sobre un cuerpo físico sólido, tienden a alargarlo o estirarlo en la dirección del eje en que se aplican; Las partículas del material tienden a separarse, el acero y el aluminio trabajan bien a tracción.



18. Barras sometidas a tracción, ambas, tratan de alargarse o estirarse.

3.3.2.3. Compresión

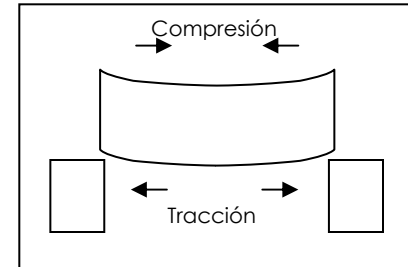
Acción producida por fuerzas que tienen por efecto reducir el volumen de un cuerpo al apretarlo o presionarlo, produciendo en él una disminución de las distancias que separan a las partículas que lo componen; Las partículas del material se aprietan entre sí, las piedras y el concreto trabajan bien a compresión.



18. Barras sometidas a compresión, ambas, tratan de acortarse o aplastarse.

3.3.2.4. Flexión

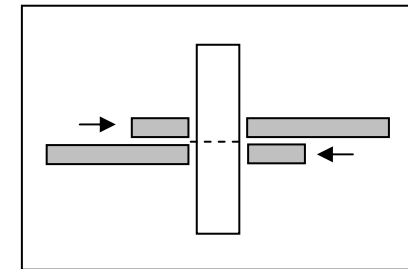
Es una combinación de las anteriores (Tracción y Compresión) por ejemplo en un tablón de madera sometido a flexión las fibras superiores se expanden mientras las inferiores se comprimen, además de que las intermedias no tienen variación; como ejemplo: en los elementos de concreto armado las varillas trabajan a la tracción y el concreto a la compresión.



18. Barra sometida a flexión, en la parte superior sometida a compresión y en su parte inferior a tensión; en la parte media existe un punto neutro.

3.3.2.5. Cortante

Se habla como cada una de las fuerzas iguales, paralelas y de sentidos contrarios además de ser infinitamente próximas, que actuando casi

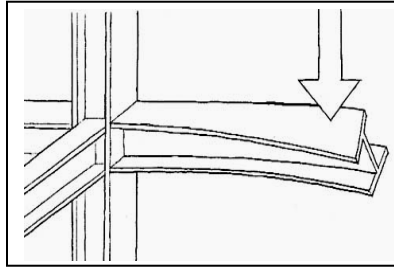


18. Barra que presenta el esfuerzo a cortante justo en la parte media del elemento intermedio en blanco.

tangencialmente en una sección de un cuerpo sólido, tratan de dividirlo en dos partes, cortándolo.

3.3.2.6. Torsión

Deformación de un cuerpo material sólido sometido a dos pares de fuerzas que actúan en sentidos opuestos y en planos paralelos, de modo que cada sección del mismo, paralela a los planos de los pares, experimenta una rotación respecto a otra sección inmediata.



18. Viga sometida a un esfuerzo de torsión, esta presenta una rotación por las fuerzas aplicadas en sentido

3.3.3. Requerimientos esenciales

El diseñador debe buscar combinar todos estos requerimientos para lograr elementos eficientes, es decir, que sean capaces de lograr los objetivos propuestos en el menor trabajo posible y de la mejor manera, utilizando la más adecuada de toda la amplia gama de formas estructurales que existen en un problema estructural específico. Esto redundará en economía y funcionalidad. Para que las estructuras sean eficientes deben de cumplir los siguientes puntos:²⁵

3.3.3.1. Economía

No se debemos confundir el término económico, con el barato, un término clave del que en el que se basan las estructuras, pues el uso correcto de materiales y técnicas constructivas nos ahorra el recurso más valioso que es el monetario.

²⁵ Extraídos de material académico del Arq. Luis Fernando Solís Ávila.

3.3.3.2. Equilibrio

Estado de reposo de un cuerpo físico que se presenta cuando las fuerzas y momentos que actúan sobre él se anulan mutuamente, es decir la suma de éstos es igual a cero.

3.3.3.3. Estabilidad

Capacidad de las estructuras de conservar su posición y resistir las fuerzas y momentos que actúen sobre ellas, sin sufrir daños ni movimientos, hundimientos, desplomes o deformaciones permanentes.

3.3.3.4. Estética

La arquitectura es considerada arte, una obra agraciada es clave, es tarea básica del proyectista el satisfacer el deleite del cliente.

3.3.3.5. Funcional

La característica de utilidad y correcta distribución de los espacios y considerando el uso interno y externo de las estructuras.

3.3.3.6. Resistencia

Propiedad que tienen los cuerpos materiales sólidos de soportar las acciones de agentes mecánicos físicos o químicos sin romperse, deformarse definitivamente, o cortarse.

3.3.4. Su clasificación

Tomando en cuenta las cargas, esfuerzos y requerimientos, existen varias formas de clasificar las estructuras, en dicho análisis encontramos por lo menos cuatro formas de realizar esta clasificación:

- Por su forma.
- Por su masa.
- Por su material de construcción.
- Por sus esfuerzos de trabajo.

La clasificación que parece lograr un estudio más sencillo y claro de los tipos de estructuras es, definitivamente, aquella que las ordena de acuerdo a sus esfuerzos básicos de trabajo. Pues a menudo el clasificarlas por su forma o sus materiales genera confusiones, debido a la amplitud de tipos que un sólo género abarca bajo esta organización.

Dentro de la clasificación de las estructuras por sus esfuerzos, podemos ver que éstos se dividen en: la compresión o tensocompresión, la tracción o tensotracción y la flexión. Para cada uno de estos tipos de esfuerzos se pueden diseñar una gran variedad de formas estructurales mezclando, inclusive dos o más sistemas estructurales en un edificio.

Con objeto de hacer un ordenamiento a nivel macro, se muestra una lista genérica de los diferentes tipos de estructuras que se revisaron; según H. Engel.²⁶

- Tensocompresión.
 - Arcos.
- Tensotracción.
 - Membranas.
 - Estructuras de cables.
 - Cubiertas colgadas con cables.
 - Estructuras neumáticas de una o varias capas.
- Flexión.
 - Vigas.
 - Losas.
 - Vigas en celosía.
 - Armaduras o cerchas.
 - Marcos o pórticos.
 - Estructuras espaciales.
 - Simple curvatura.
 - Doble curvatura.
 - Laminas.

²⁶ Engel, H. Sistemas estructurales. Barcelona, GG, 2001; paginas 46 a 53.

Sin embargo en la práctica y elaboración de diversas tablas para la clasificación de las estructuras se llegó a la siguiente categorización²⁷.

- Tensocompresión.
 - Arcos.
 - o Lineales.
 - o Articulados.
 - o Híbridos.
- Tensotracción.
 - Tiendas.
 - o Apuntadas.
 - o Onduladas.
 - o Indirectamente apuntadas.
 - Cables.
 - o Paralelos.
 - o Radiales.
 - o Biaxiales.
 - o Celosías.
 - Neumáticas.
 - o Sobrepresión.
 - o Depresión.
 - o Mixtas.
 - o Portantes.
- Flexión por su forma.
 - Bóvedas
 - o Cañón.
 - o Crucería.
 - o Claustro.
 - o Apoyadas.
 - o Mixtas.
 - Retículas abovedadas.
 - o Perímetro plano.
 - o Arcos perimetrales.

²⁷ En colaboración con la clasificación del Arq. Luis Fernando Solís Ávila.

- Flexión por su sección.
 - Vigas.
 - Apoyadas.
 - Continuas.
 - Pórticos.
 - Reticulares.
 - Concéntricas.
 - Losas.
 - Macizas.
 - Nervadas.
 - Voladizos.
- Flexión por su dirección.
 - Armaduras.
 - Acordonadas.
 - Lineales.
 - Plegadas.
 - Cruzadas.
 - Curvas.
 - Mallas.
 - Espaciales.
 - Plegadas.
 - Curvas.
 - Lineales.
- Flexión por su superficie.
 - Láminas.
 - Lineales.
 - Cruzadas.
 - Plegaduras.
 - Intersectadas.
 - Cascarones.
 - Lineales.
 - Cruzados.
 - Doble curvatura.
- Flexión por su distancia
 - Altura.
 - Reticulares.

- Perimetrales.
- Medulares.
- Longitud.

Cada uno de estos sistemas tiene sus propias capacidades para ciertos usos.

El conocimiento de las características específicas de los diversos sistemas estructurales es esencial para la arquitectura y se puede obtener tras un exhaustivo estudio; Pero sin duda, una presentación completa de todas las posibilidades de cada sistema, sus méritos y limitaciones, en una combinación con la amplia variedad de materiales en que pueden ser construidos, llenaría varios volúmenes.

CAPÍTULO IV EVOLUCIÓN

La arquitectura es joven, en comparación con otras actividades humanas, ya que se remonta aproximadamente a 12 000 años, cuando la humanidad, al descubrir la agricultura, dejó de ser nómada. Hasta entonces habían estado expuestos al clima, efímeramente protegidos en cuevas y tiendas compuestas de ramas y pieles de animales.

Al volverse sedentarios, las tiendas y chozas fueron reemplazadas por moradas precariamente hechas de piedra, lodo, madera y paja. Un gran número de chozas construidas con estos nuevos sistemas de edificación se estableció en tierras fértiles, el contacto entre familias se volvió más íntimo y frecuente; las aldeas crecieron. Entre aldea y aldea se entrelazó una red de caminos; éstos a veces cruzaban ríos y barrancas, lo que dio lugar a la construcción de puentes o pasos hechos de troncos, suspendidos con cuerdas de materiales vegetales; Se generó la necesidad de chozas más grandes donde los asuntos de la aldea pudieran discutirse; Estas estructuras, mayores en tamaño, sirvieron de la casa del pueblo y el templo.

Los progresos iniciales fueron lentos. Los principios fundamentales de la construcción hubieron de aprenderse con ensayos y errores; había que inventar y fabricar herramientas, encontrar y transportar los materiales, adquirir y desarrollar la destreza manual. Algunas civilizaciones consiguieron mantenerse en continuo progreso, resolviendo los problemas según surgían. Paulatinamente la marcha se fue acelerando progresivamente. El hombre descubrió que tenía un talento natural para construir.

Los últimos doce mil años abarcan más de cuatrocientas generaciones, pero aún analizando los increíbles cambios que trajo a nuestras culturas la revolución industrial, podríamos concluir que la arquitectura no ha cambiado sus fundamentos, por lo menos en los últimos cinco mil años.

Esta constancia se traduce como que la arquitectura satisface necesidades fisiológicas que no han cambiado desde que el Homo-sapiens pisó la tierra hace tres millones de años. Comemos la misma comida que nuestros ancestros, dormimos en posición horizontal y nos protegemos del clima. La arquitectura es la más conservadora de las artes y de las ciencias, porque obedece a estas necesidades casi inalterables del ser humano.

Ser capaces de apreciar el desarrollo y los cambios estructurales y los materiales que tuvo la producción constructiva de la humanidad en los últimos doce mil años, para así poder identificar de forma natural las diferentes estructuras y materiales.

Un lema muy famoso de la industria deportiva dice: "No cambies, evoluciona"²⁸, esto enfatiza la gran diferencia entre el cambio, que es un fin y un comienzo, y la evolución, que es un avance en cuanto a las características básicas existentes, eso es lo que se aplica en la industria de la construcción, en los sistemas estructurales y los materiales, y es a lo que tiende la arquitectura.

²⁸ De la industria de calzado deportivo marca Nike, E.U.A., 2001.

4.1. De los materiales.

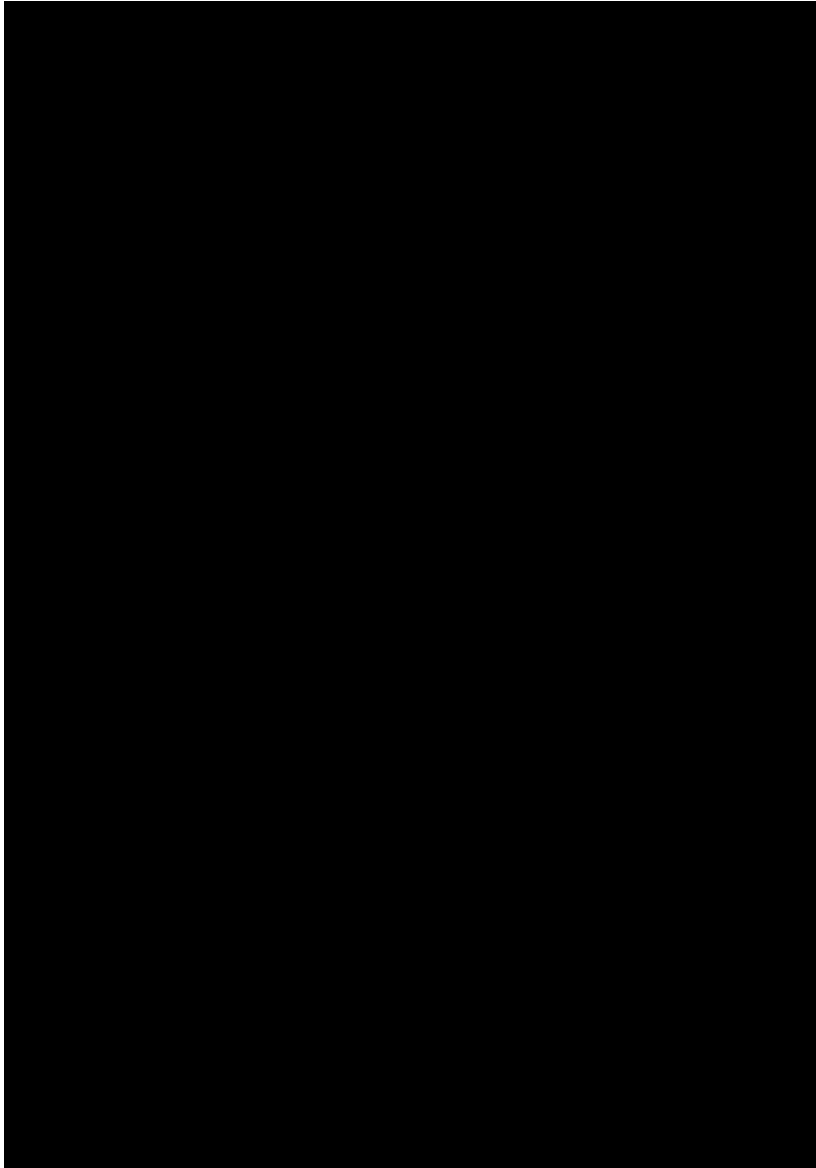
La evolución de los materiales a sido prácticamente escasa, sin contar los avances del ultimo siglo, la piedra y la madera se utilizan todavía en forma bruta, otros materiales modernos como el acero y el concreto has sido mejorados para optimizar sus características, pero a través de los años estos avances en materiales y el numero de ellos esta creciendo exponencialmente.

La utilización en las edificaciones del vidrio, los plásticos, otros metales distintos del acero se esta haciendo mas común día con día y es difícil pensar en el futuro, pues cuando se piensa en éste, los avances lo han superado.

Además, gracias a los últimos avances de la tecnología, se han creado un sin numero de aleaciones, materiales compuestos y nanomateriales, que no solo se aplican a la construcción de edificios, sino de estaciones espaciales, mobiliario, vestuario, electrónica, de entre muchos otras de sus aplicaciones.

El desarrollo de los semiconductores para la industria electrónica, a principios de la década de 1960, dio el primer gran impulso a la ciencia de materiales. Después de descubrir que se podía conseguir que materiales no metálicos como el silicio condujeran la electricidad, científicos e ingenieros diseñaron métodos para fabricar miles de minúsculos circuitos integrados en un pequeño chip de silicio. Esto hizo posible la miniaturización de los componentes de aparatos electrónicos como los ordenadores o computadoras.

A finales de la década de 1980, la ciencia de los materiales tomó un nuevo auge con el descubrimiento de materiales



Para facilitar el entendimiento de la evolución de los materiales, fue necesaria la elaboración del esquema anterior, donde se aprecian los periodos de uso de los materiales más utilizados y en donde se muestra: el avance en el periodo del imperio romano, la posterior desaparición de algunos materiales al concluir y el descubrimiento materiales nuevos de forma exponencial en los últimos años; extraído y analizado de diversas fuentes.

cerámicos que presentan superconductividad a temperaturas más elevadas que los metales.

Aunque los últimos avances de la ciencia de materiales se han centrado sobre todo en las propiedades eléctricas, las propiedades mecánicas siguen teniendo una gran importancia. En la industria aeronáutica, por ejemplo, los científicos han desarrollado materiales compuestos no metálicos, más ligeros, resistentes y fáciles de fabricar que las aleaciones de aluminio y los demás metales actualmente empleados para los fuselajes de los aviones.

4.2. De las estructuras.

El desarrollo y cambios en las estructuras en los últimos doce mil años, son muy variados y se ha desarrollado en una forma casi exponencial, siendo en últimas fechas más rápido.

Con la fin de brindar una guía de la diversidad de sistemas estructurales dentro de las épocas y los estilos arquitectónicos y dejar claros sus componentes y evolución.²⁹

- Prehistoria (Del 10 000 a.C. al 1000 a.C.).
Básicamente dos tipos de estructuras, los megalitos, que aunque varían enormemente en tamaño y forma,

²⁹ La investigación previa de algunos de estos temas, con tablas de acontecimientos, autores, obras y sus métodos constructivos, junto con mapas y gráficas que los sitúan en tiempo, circunstancia y espacio, fueron investigado de la tesis de la Arq. Jimena Torres Rojas, de la Facultad de Arquitectura de la UNAM y el Libro Hitos Estructurales en la Arquitectura Mexicana del Arq. Luis Fernando Solís Ávila.

- se ubican en Europa occidental y comprenden tres categorías: el menhir, el cromlech y el dolmen; además, las construcciones en forma de tienda utilizando madera, lodo, paja y pieles animales constituyen también un importante elemento arquitectónico.
- Principales ejemplos: Stonehenge y las diversas construcciones en forma de tienda.
 - Mesopotamia (Del 4000 a.C. al 500 a.C.).
Se da la utilización de elementos constructivos a base de arcilla sin cocer, bloques, tabiques y formas monolíticas, construidas también en plataformas, torres macizas y escalonadas.
 - Principales ejemplos: Zigurat de Sakkara, de Borsippa y Palacio del rey Sargón.
 - Egipto (Del 3500 a.C. al 100 a.C.).
Primordialmente se da la utilización de bloques de piedra como elemento estructural y constructivo, la pirámide, la repetición como lenguaje arquitectónico y símbolo de estabilidad y permanencia; Además se da un gran conocimiento de las matemáticas y la astronomía, sumado al interés estético y religioso.
 - Principales ejemplos: Templo de Karnak y Las Pirámides de Gizeh.
 - Grecia (Del 3000 a.C. al 140 a.C.).
Se dan construcciones rectangulares en su mayoría pórticos soportados en columnas para crear pasillos en sombra, la utilización de bloques de piedra como elemento constructivo, estructuras de madera para las techumbres y el desarrollo avanzado en las técnicas de junta y unión de elementos constructivos, son:
 - Dórico (Año 900 a.C.): Estructuras simples, puestas directamente sobre el terreno, fustes estriados sin ornamento en su parte superior, a menudo con una apariencia maciza.
 - Jónico (Año 600. a.C.): Ricos bajorrelieves, fustes angostos puestos sobre una base y una doble voluta en la parte superior.
 - Corintio (Año 400 a.C.): En los relieves se representaba el acanto, un cardo foliado que se presenta en la estilización. Se ponían volutas jónicas sobre las guirnaldas hechas con estos cardos.
 - Principales ejemplos: La Acrópolis, fuerte de Mecenas, tesoro de Atreo, el Partenón, los Propileos y los teatros.
 - Roma (Del 750 a.C. al 400 d.C.).
Las grandes aportaciones son la cúpula, el arco y una continuación de las columnas libres; La utilización de bloques de piedra y de arcilla como elementos constructivos. La Basílica con una nave central y dos laterales, que remata con un espacio semicircular abovedado y construcciones a base de pilares y de arcos, con bóvedas de cañón y cúpulas. También se adapta el terreno para colocar los edificios en los que algunos fueron circulares cubiertos por cúpulas y telares.
 - Principales ejemplos: Panteón de Agripa, Arco del triunfo, Termas de Caracala y de Dioclesiano y el Coliseo.
 - China (Del 5000 a.C. al 1860 d.C.) y Japón (Del 593 a.C. al 1700 d.C.).
Construcciones de madera, con techumbres curvadas de teja de barro, se dio la utilización del sistema de vigas y columnas, estructura ligera con paredes de papel debido a los frecuentes terremotos, y de forma rectangular. Muros lisos, laqueados en el exterior, que rodean las construcciones.

- Principales ejemplos: La Ciudad Prohibida, Castillo Himeji y la Muralla China.
- India (Del 500 a.C. al 1700 d.C.).
Desarrollo de la arquitectura religiosa y fúnebre, se da la integración total de la escultura con la arquitectura, especialmente con el altorrelieve, además de varios estilos de arco.
 - Principales ejemplos: El Taj Marjal, la tumba de Humayun, el Fatehpur SIPRI, templo de Lingaraja, Khajuraho y templo de Gol Gumbaz.
- América Precolombina (Del 1500 a.C. al 1500 d.C.).
Grandes ciudades y centros ceremoniales abiertos, con arquitectura religiosa piramidal escalonada mediante varios sistemas, amplias calzadas, juegos de pelota, observatorios astronómicos, dispuestas en torno a grandes plazas, el uso del talud y tablero-talud. Se construyeron amplias escalinatas en una o varias caras de la pirámide, bordeadas por anchas alfardas y templos adoratorios en lo alto de las pirámides, básicamente de piedra, coronadas por altas cresterías. El uso del arco falso o "arco Maya". Los palacios llegaron a tener decenas de cuartos alineados en diversas filas y a veces en varios niveles además de utilizar el estuco.
 - Principales ejemplos: Pirámides Mayas, Aztecas, Incas, Olmecas y las ciudades de Teotihuacán, Tulúm, Palenque, Labna, Uxmal, Chichen-Itzá, Tástíl y Cuzco.
- Bizantino (Del 400 al 1000 d.C.).
Estilo cristiano primitivo, influido por los estilos romano y oriental; Se desarrollo la Pechina que permite la construcción de las cúpulas de gran claro sobre planta cuadrada y se pone especial atención en la planta.
- Principales ejemplos: Iglesia de Santa Sofía, Constantinopla, San Vitale y San Marcos.
- Románico (Del 500 al 1200 d.C.).
Se le considera el primer estilo de Europa Occidental, se aportó la forma basilical, que consiste en una nave central y dos o más laterales y se le agregan torres y un coro elevado, la utilización de planta cruciforme, la cubierta abovedada y a dos aguas, estructura de madera para la techumbre, bóvedas de arista o de cruceña, arcos dobles, y soportes transversales.
 - Principales ejemplos: San Zenó, Santa María de Naranco, Baptisterio de Parma y Pisa, Capilla Palatina, Catedral de Durham y San Fermín.
- Islam (Del 740 al 1500 d.C.).
Son típicas las paredes de estuco y los pisos de cerámica, el Minarete o torre de oración, la modulación y ritmo en el espacio, la gran variedad estructural como arcos, bóvedas y cúpulas y se utilizan los bloques de piedra y arcilla.
 - Principales ejemplos: La mezquita de Córdoba y la del sultán Hassan, La Alambra y Los jardines del Aljerife.
- Gótico (Del 1100 al 1400 d.C.).
Grandes ventanas y columnas de sección sumamente esbelta que permiten el paso de mucha luz, la utilización de rosetones, arbotantes, nervaduras y arcos ojivales. La planta se basa en un espacio a cinco naves, circundando en ocasiones al coro.
 - Principales ejemplos: Catedral de Colonia, Milán, Glasgow, Salisbury, Nuestra Señora de París y la Abadía de Westminster.

- Renacimiento y Manierismo (Del 1420 al 1650 d.C.).
Empieza en Italia y se da el uso de la sección áurea en las proporciones al proyectar en planta y en alzado. Edificios centralizados, fachadas sólidas y paredes fuertes (se eliminan los arbotantes), se desarrollo el sistemas constructivos avanzados para la realización de cúpulas de gran claro y gran altura, cornisas en las partes superior e inferior de las ventanas.
 - Principales ejemplos: Catedral de Florencia, Basílica de San Pedro, La Villa Rotonda, El Escorial, Palacios de Strozzi, Farnese y Sforza.
- Barroco (Del 1600 al 1760 d.C.).
Formas fundamentales y diversos elementos se mezclan en gran cantidad unos con otros, plasticidad escultórica y el manejo de la luz y hay poca sinceridad estructural.
 - Principales ejemplos: Columnata de San Pedro, Palacio de Versailles, el Louvre y Catedral de San Pablo, Anticuarium de la Residenz.
- Eclecticismo y Neoclasicismo (Del 1700 al 1850 d.C.).
Se retoman los elementos de orden y composición de griegos y romanos, y en ocasiones se adicionan otros como el gótico o el barroco, se da la utilización de la piedra y del tabique primordialmente, introducción de nuevos materiales estructurales y de reforzamiento como: el acero, usado la mayoría de las veces bajo un forro de tabique o piedra.
 - Principales ejemplos: Arco de la estrella, Sainte Genevive y Panteón de Paris.
- Modernismo y Art Nouveau (Del 1840 al 1920 d.C.).
Progreso de nuevas técnicas constructivas a base de los recientes descubrimientos científicos, como el concreto y el acero; Aparición de una civilización

industrial, cambio de las formas de vida y de producción, Mayor cantidad de puentes y de complejos habitacionales múltiples, comienza la construcción de rascacielos. Incorporación de formas orgánicas en la arquitectura desde su concepción estructural hasta los detalles formales.

- Principales ejemplos: Palacio de Cristal, Pabellón de las máquinas y de las Palmeras del Jardín Botánico de Kew, la Torre Eiffel, Escuela de Glasgow y Parque Güell.
- Siglo XX
Los avances del siglo pasado fueron muy diversos, también así sus corrientes y estilos.
 - Cubismo, Francia (Del 1885 al 1950 d.C.): Inspirado en los principios de la pintura cubista, que considera que la realidad no es otra cosa que una serie de planos bidimensionales que interactúan y se complementan. Ha jugado principalmente el papel de antítesis de las estructuras neoclásicas, considerando la rigidez que sus características imponen, determinan una monotonía. Se aboca principalmente a la utilización del concreto y el acero y en ocasiones el tabique.
 - o Principales ejemplos: Notre Dame de Hout, Casa Dominó, Villa Saboya, Pabellón de Phillips en Bruselas y la Casa del Hombre.
 - Funcionalismo (del 1880 al 1940 d.C.): La arquitectura es elaborada racionalmente en vista a las necesidades sociales, utilitarias y empleo de materiales modernos como acero y concreto, se industrializa de la vivienda. En Alemania la Bau Haus cuenta son la articulación, el acoplamiento de volúmenes descompuestos y la variación entre espacios llenos, masivos y vacíos.

- Principales ejemplos: Pabellón del siglo, Fabrica de turbinas, Pabellón de Barcelona, Teatro de Manheim, Edificio Guaranty.
- Orgánico (Del 1900 al 1960 d.C.): Principalmente Mendelsohn: busca formas dramáticas en las cosas. Lo que interesa más es la plástica del conjunto y no la exteriorización de un cálculo racional y meditado. Esta se preocupa por las necesidades individuales de los habitantes de un edificio.
 - Principales ejemplos: Torre Einstein, la Casa de la Cascada, Casa de Edgar J. Kaufmann, Museo Guggenheim, Conjunto Johnson y Wax.
- Resto del Siglo XX y principio del XXI
Para los distintos adelantos que se dieron en las estructuras, no se pueden agrupar fácilmente en estilos, por lo que solo se destacara el arquitecto, sus avances y algunas de sus obras:
 - R. Buckmaster Füller
 - Experimentó con cúpulas de entramado utilizando acero, principalmente.
 - Pabellón de E.U.A. en Montreal, Wichita House.
 - M. Nowicki
 - Profundizó en cubiertas colgantes y estructuras a base de arcos o marcos de concreto con cables tensores metálicos.
 - Arena Raleigh.
 - Eladio Dieste
 - Bóvedas gausas y autoportantes de tabique de barro.
 - Iglesia de la Atlántida y San Pedro, Mercado de Porto Bello, Pabellón de Productores.
 - Louis Kahn
 - Instituto Biológico Salk, Museo de Bellas Artes Kimbell, Lab. de Investigaciones Médicas A.N. Richards, Centro Gubernamental Blanganagar.
- Alvar Aalto
 - Opera de Essen, Iglesia del Centro Parroquial de Seinajoki y de Wolfsburg, Ayuntamiento de Säynätsalo, Auditorio del Politécnico de Otaniemi.
- Frei Otto
 - Cubierta de Olimpiapark, Estadio de Munich, Pabellón en Mannheim, Pista de baile en Colonia, Arco de acceso en la Exposición de Colonia.
- Pier Luigi Nervi
 - Hangar militar, Palacio del Deporte y del Trabajo, Fabrica de papel, Salón de hilaturas del Lanificio Gatti.
- Oscar Niemeyer
 - Museo de arte Moderno en Caracas, Catedral de Brasilia, Palacio de Alborada, Palacio Itamarati, Museo Oscar Niemeyer.
- Félix Candela
 - Capilla del Altillio, Iglesia de la Virgen Milagrosa, Pabellón de Rayos Cósmicos, Planta embotelladora de Bacardi y Cia., Palacio de los Deportes.
- Eero Saarinen
 - Arco de St. Louis, Capilla y auditorio Kresge, Memorial de Guerra, Aeropuerto Dulles, Pista de patinaje.
- Kenzo Tange
 - Sala de asambleas en Matsuyama y en Shizuoka, Club de golf de Totsuka, Catedral de Sta. Maria, Palacio de Deportes.
- James Stirling
 - Salón de Asambleas en Camberwell, Laboratorios en la Universidad de Leicester, Facultad de Historia en Cambridge, Escuela de

- o formación Olivetti, Ampliación de la Staatsgalerie.
- Phillip Johnson
 - o Edificio Seagram, Casa de Cristal, Iglesia de la Comunidad en California.
- Peter Eisenmann
 - o Casa III y IV, Centro de Artes Visuales Wexner.
- I. M. Pei
 - o Museo de Arte Everson, Biblioteca John F. K, Centro de convenciones J. K. Javits, Pirámide del Museo del Louvre, Banco de China.
- Frank O. Gehry
 - o Edificio Administrativo de Disneyland, Centro de Artes Visuales de la Universidad de Toledo, Museo Guggenheim en Bilbao, Edificio Nationale-Nederlanden.
- Renzo Piano
 - o Centro G. Pompidou, Renovación de la Fabrica Lingotto, Sala de la colección Menil y Galería Cy Twombly, Estadio San Incola, Aeropuerto Internacional de Kansai.
- Norman Foster
 - o Edificio HSBC, Commerzbank, Distribuidora Renault, Aeropuerto de Stansted, Nuevo Reichstag.
- Jean Nouvel:
 - o Instituto del Mundo Árabe, Opera de Lyon, Galerías Lafayette en Berlín, Centro Cultural en Zurci, Torre Agbar.
- Santiago Calatrava
 - o Ciudad de las Artes y las Ciencias, Cubiertas para la Escuela Catonal Kawo Wohlen, Torre de Montjuic, Estación de Ferrocarril Bahnhof Stadelhoffen, Puente del Alamillo.
- Lina Bobardi
 - o Centro MASP, Fabrica Pompeia, Ayuntamiento de Sao Paulo, Iglesia del Espirito Santo do Cerrado.
- Herzog y de Meuron
 - o Tate Modern Museum, Almacenes de Ricota, Biblioteca Pfaffenhotz, Signal Box, Tienda de Prada.
- Zaha Hadid
 - o Estación de bomberos, Expo de Zaragoza, Puente Ebro, Intercambiador de Transportes de Estrasburgo.
- Teodoro González de León
 - o Centro Arcos Bosques, Embajada de México en Brasilia, Universidad Pedagógica nacional, Fondo de Cultura económica.
- Cesar Pelli
 - o Torres Petronas y Mutua, Embajada de Estados Unidos en Tokio, Connecticut Center for Science and Exploration.
- Tadao Ando
 - o Jingumae 4, Pabellón de la Expo de Sevilla 92, Iglesia Sobre el Agua y de la Luz, Museo Forth Worth, Centro Clark de Massachussets.
- Daniel Libeskind
 - o Studio Weil de Port d'Andratx, Museo de la Guerra Imperial, Victoria and Albert y Judío, Nuevo World Trade Center de New York.
- Rem Koolhaas
 - o Netherlands Dance Teather, Conjunto Urbano en Hong Kong, Embajada de Holanda en Berlín, Casa de la Música, Edificio de la Central Televisión de Pekín.

CAPÍTULO V

NUEVOS MATERIALES APLICADOS A LAS ESTRUCTURAS

5.1. La nanotecnología y los materiales.

En griego, nanos significa "enano";³⁰ Hoy esta palabra se refiere a la materia creada por el hombre que, por su tamaño, es invisible sin la ayuda de un microscopio.

"La nanotecnología es, por ahora, nanociencia"³¹. Trata de estudiar y encontrar formas de manipular la materia en una escala que el ojo humano no puede captar, es decir a escala nanométrica.

La Nanotecnología parece estar transformando nuestra forma de concebir el mundo, pues compone un punto prominente en el desarrollo de como modificar las propiedades de los materiales, puesto al cual la sociedad tecnológicamente avanzada llega por dos caminos concurrentes: por un lado el camino histórico, que ha permitido enriquecer sin detenerse el inventario de los materiales disponibles; por el otro es el desarrollo de tecnologías de gestación de los materiales en escalas cada vez menores, lo que permitió el desarrollo de la microelectrónica y de otras creaciones micrométricas. La concurrencia de ambos se ha convertido en adelantos cada vez más vertiginosos y de un vasto alcance tecnológico, económico y social.

El progreso en un campo determinado, como en las tecnologías de la información, permiten evaluar el impacto

³⁰ Nano, prefijo que, colocado ante el nombre de una unidad, la divide por mil millones. Larousse de ciencias y técnicas, México, 1999.

³¹ Asegura el químico estadounidense George Whitesides.

científico y económico nacido de la posibilidad de manipular la materia a escala micrométrica. Algo similar sería aun más extenso, complejo y diverso en los materiales nanoestructurados.

Por tanto, se puede suponer que la capacidad de operar sobre la organización de los materiales a escala nanométrica originará consecuencias inimaginables, que tendrá incidencia en todos los sectores de la humanidad, y claro su economía, en ésta la industria de la construcción y la arquitectura. Como resultado, en totalmente acertado el plantearnos que actualmente nos encontramos en la naciente etapa de una curva exponencial, no comparada ni siquiera la que se origina a comienzos de la década del 70 cuando se dio la entrada del microchip.

Al desarrollar dicha tecnología a nanoescala, los investigadores buscan modificar y controlar los distintos elementos de la tabla periódica, de la misma forma que un virtuoso de la música controla los ritmos y notas musicales. Intentan crear nuevos materiales y transformar o mejor dicho, evolucionar, los ya existentes, para el beneficio de la humanidad.

Con la nanotecnología, se construirá con objetos manipulados en escala molecular. Así como nosotros, construimos a partir de materiales manipulables a escala humana como ladrillos, concreto o barro y de componentes industrializados; de manera semejante ya se ha comenzado a construir experimentalmente con materiales altamente desarrollados.

A esto también se le suman los avances en el diseño de nuevos materiales, que a partir de moléculas comunes como la de la fibra de carbono, se ordena su estructura atómica y lo hace muchísimo más liviano y resistente. No se requiere precisamente de inventar un nuevo material, sino de mejorarlo

a partir del ya existente, de este se pueden obtener un sin fin de avances, este es ya un Nuevo Material, que se utiliza en la actualidad.

5.1.1. Relación de la nanotecnología a la arquitectura.

En la actualidad, la Nanotecnología tiene más promesas que logros y en las estructuras arquitectónicas esto se acentúa. Sin embargo sus posibilidades de aplicación son enormes.

Los arquitectos hemos sido enseñados con la demanda de que la estabilidad y peso en una edificación es un requisito y este exceso ha provocado que nuestra arquitectura sea estática, masiva, maciza, por tanto cargada e inmóvil.

Los nuevos materiales nos dan la oportunidad de modificar este pensamiento y costumbre, pues son cada vez mas ligeros, reciclables y tienden a la arquitectura móvil, mas no efímera, en un principio el ser humano fue errabundo, al conseguir el dominio en la agricultura, este se tuvo que establecer y desarrollar lo que es una de su grande comodidad de evolución, el edificar su morada, hoy en día el tener un hogar da salud, seguridad y confianza, pero principalmente protege del medio en donde viven sus habitantes, sin embargo, imaginemos que esta fuera móvil, por su principal características de ligereza, no podría haber mayor comodidad y a la vez recreación en algo antes creado, se produciría un nuevo estilo de vida similar al de los nómadas, pero con la comodidad del sedentarismo, viajando por toda la tierra y en un futuro muy audaz por el sistema solar.

Distintos proyectos, ya enfocados a la arquitectura, como una pirámide en la costa de Tokio, superando su tamaño por 52 veces a la antigua pirámide de Keops en Egipto, esta diseñada en base a Nanotecnología, mucho más ligera y más resistente con sistemas a base de fibras de carbono y micro

robots que auto construyen; otro por realizar como el Puente de Gibraltar sustituirá la clásica losa de concreto, por una placa material compuesto de fibra, colada en una matriz polimérica, con ocho carriles de ancho, y una longitud aproximada de 20 millas, unirá África con Europa en el Estrecho del mismo nombre.

Por mencionar un ejemplo, un puente, donde existe tránsito pesado de vehículos que viajan de Estados Unidos a México y viceversa, fue diseñado mediante la inclusión de tubos de fibra de carbono de 355 mm. de diámetro como principales elementos estructurales y una cubierta de fibra de vidrio sobre la cual se puso una superficie de rodamiento de 20 mm. de concreto polimérico. Cada uno de los seis tubos requeridos por claro fue relleno de concreto para incrementar su masa y mejorar la transferencia de las cargas a su interior, y fueron sujetos con anclas de acero. A su vez, los tubos fueron sujetos a los soportes con acero de refuerzo; A éste se le aplicaron fuerzas cuatro veces mayores a las que podía resistir, no haciéndolo fallar, sin duda, un puente que supera ampliamente su resistencia y su ligereza de un común, pero a la vez y de momento su costo.³²

El crear materiales nanoestructurados nos da la capacidad actual de imaginar construcciones más altas y más ligeras que las que conocemos, edificios de más de un kilómetro de altura y con pesos menores que el de las Torres Petronas en Kuala Lumpur³³, con una estructura menos robusta y con capacidad de soportar grandes terremotos o huracanes, materiales en muros, pisos y techos que cambiaran de color o se volvieran

transparentes, casas que se pudieran transportar fácilmente por su ligereza y resistencia.

Un material el cual fuera completamente reciclable y aun mejor, que cambiara de forma dependiendo el uso, como los "metales con memoria de forma", que actualmente se investigan, resortes que se deforman y al aplicárseles calor, recuperan su estructura original; que al aplicarse en fachadas en edificios u otros elementos, no solo se cambien de color y forma, sino también se auto limpiaran, o más bien rechazaran los contaminantes.

Más perspicaz, es el pensar en máquinas proyectores de imágenes en tres dimensiones, que aceptaran la manipulación por medio de los movimientos de los dedos, tan poderosas y pequeñas que no estorbarían; serían completamente portátiles y una herramienta básica, para que un arquitecto, diseñara sus obras en cualquier lugar.

Uno de los trabajos más importantes sobre el estudio de nanomateriales se hace actualmente en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas en la Universidad de Concepción, pero en realidad es una detonación global que no solo se desarrolla en Universidades de España, Francia, Inglaterra, Suiza, Japón, Estados Unidos y Canadá; sino en universidades, laboratorios e industrias de todo el mundo; en México ya se construye actualmente el telescopio más grande del mundo con la ayuda de la Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) en Tonantzintla, México y la Universidad de Massachusetts (UMass) en Amherst a base de fibra de carbono y otras tecnologías de origen nanotecnológico.

³² Fuente: California Department of Transportation Journal, octubre-diciembre (2000).

³³ Hasta finales del 2006, los torres más grandes construidas en su totalidad; del famoso arquitecto argentino, nacionalizado americano, Cesar Pelli.

5.1.2. Clasificación de los nuevos materiales.

Basados en su enlace atómico los materiales generalmente se dividen en cinco grandes grupos: cerámicos, polímeros, metálicos, semiconductores y compuestos; cada uno de estos grupos, poseen estructura y características distintas; aunque el objetivo es de hablar de los nuevos materiales, la clasificación no es nueva, es ya utilizada desde hace casi medio siglo, también se anexa la clasificación de las fibras, ya sean orgánicas o inorgánicas y otro tipo de materiales.

5.1.2.1. Cerámicos.

Proviene de la palabra griega "keramikos", que significa "cosa quemada", indicando de esta manera que las propiedades deseables de estos materiales generalmente se alcanzan después de un tratamiento térmico a alta temperatura que se denomina cocción.

Tienen baja conductividad eléctrica, son fuertes y duros, aunque frágiles y quebradizos. Nuevas técnicas de procesos consiguen que los cerámicos sean lo suficientemente resistentes a la fractura para que puedan ser utilizados en aplicaciones de carga. Dentro de este grupo de materiales se encuentran: el ladrillo, el vidrio, la porcelana, los refractarios y los abrasivos; Además son compuestos químicos constituidos por metales y no metales, que incluyen minerales de arcilla, cemento y vidrio. Se trata de minerales que son aislantes térmicos y que a elevada temperatura y en ambientes agresivos son más resistentes que los metales y los polímeros. Desde el punto de vista mecánico, son duras y muy frágiles. Los enlaces interatómicos pueden ser de carácter totalmente iónico, o bien de carácter predominantemente iónico con algún carácter covalente.

Son compuestos químicos o soluciones complejas, que comprenden fases que contienen elementos metálicos y no

metálicos. Sus enlaces iónicos o covalentes les confieren una alta estabilidad, y son resistentes a las alteraciones químicas. A temperaturas elevadas pueden conducir iónicamente, pero muy poco en comparación con los metales. Son generalmente aislantes. Tienen una amplia gama de propiedades mecánicas, sin embargo, su comportamiento mecánico real suele ser menos predecible que el de los metales, por eso su uso en aplicaciones críticas es muy limitado. Los materiales cerámicos no son tan simples como los metales, sin embargo pueden clasificarse y estudiarse en función de sus estructuras cristalinas.

Se llama cristales a los acomodamientos atómicos repetitivos en las tres dimensiones. Esta repetición de patrones tridimensionales se debe a la coordinación atómica dentro del material, algunas veces este patrón controla la forma externa del cristal. El acomodamiento atómico interno persiste, aunque la superficie externa se altere. Los acomodamientos cristalinos pueden tomar uno de siete principales patrones de acomodamiento cristalino. Estos están estrechamente relacionados con la forma en la que se puede dividir el espacio en iguales volúmenes por superficies planas de intersección.

Sistema	Ejes	Ángulos Axiales
Cúbico	$a_1=a_2=a_3$	Todos los ángulos = 90°
Tetragonal	$a_1=a_2 \neq c$	Todos los ángulos = 90°
Ortorrómico	$a \neq b \neq c$	Todos los ángulos = 90°
Monocíclico	$a \neq b \neq c$	2 ángulos = 90° , 1 ángulo $\neq 90^\circ$
Tricíclico	$a \neq b \neq c$	Todos diferentes, ninguno = 90°
Hexagonal	$a_1=a_2 \neq a_3$	Ángulos = 90° y 120°
Romboedra	$a_1=a_2=a_3$	Todos iguales, pero ninguno de 90°

Los cristales cúbicos contienen átomos que pueden acomodarse en un patrón cúbico con tres diferentes tipos de repetición: cúbico simple (CS), cúbico de cuerpos centrados (CCC), y cúbico de caras centradas (CCAC).

- Cúbico simple. Es hipotética para metales puros, pero representa un buen punto de partida. Además de las tres dimensiones axiales a iguales y los ejes en ángulos rectos, hay posiciones equivalentes en cada celdilla. Cada celdilla tiene contornos idénticos al centro a los de todas las celdillas unitarias en el cristal. Del mismo modo, cualquier posición específica es idéntica en todas las celdillas unitarias.
- Cúbico de cuerpos centrados. Cada celdilla unitaria tiene un átomo en cada vértice del cubo y otro átomo en el centro del cuerpo del cubo.
- Cúbica de caras centradas. Este tipo de estructura se caracteriza por que en la esquina de cada celdilla unitaria y en centro de cada cara hay un átomo, pero no hay ninguno en el centro del cubo.

Los cristales hexagonales constan de dos representaciones de las celdillas unitarias hexagonales simples. Este tipo de celdillas no tienen posiciones internas que sean equivalentes a las posiciones esquina. Además, existen estructuras hexagonales. Compactas que se caracterizan por tener cada átomo en una capa situada exactamente arriba o debajo de los intersticios entre tres átomos de las capas adyacentes. Así, cada átomo toca tres átomos de capa bajo un plano, seis átomos en su propio plano y tres en la capa superior.

En ciertos materiales cerámicos, la brecha de energía entre las bandas de valencia y conducción es tal, que un electrón que pase a través de ella, producirá fotones dentro del espectro visible del ojo humano. Esta luminiscencia se observa como

dos efectos distintos: fluorescencia y la fosforescencia. En la fluorescencia, todos los electrones excitados vuelven a la banda de valencia y los fotones correspondientes son emitidos una fracción de segundo después de haberse eliminado el estímulo. Predomina una longitud de onda, que corresponde a la brecha de energía E_g . Los materiales fosforescentes tienen impurezas que introducen un nivel donante dentro de la brecha de energía. Los electrones estimulados bajan primero al nivel de donante y quedan atrapados, por lo que deberán escapar para regresar a la capa de valencia. Esto se traduce en un retardo antes de que los fotones sean emitidos, porque después de haber eliminado en estímulo, los electrones capturados por el nivel donante escapan de forma gradual; en general se dividen en tres grandes grupos:

- Cerámicas: formado por silicatos, la más abundantes y económicos dado que el silicio y el oxígeno, son los dos elementos más abundantes en la corteza terrestre, muchas de las cerámicas tradicionales se encuentran en este grupo y se utilizaban desde el año 4000 a.C. como utensilios de arcilla cocida, ejemplos comunes de estas es la arcilla y el cemento, y también los refractarios están dentro de este grupo.
- Vidrio: un material no cristalino, esencialmente formado por los vidrios de silicato, costo moderado, de éste grupo es de donde provienen las fibras de vidrio, el sílice vítreo que es ocupado para ventanas de hornos, otros pueden ser los vidrios comunes para ventanas, vidriados para losas, esmaltes³⁴, entre muchos otros.
- Híbridos: Entre éstos están las vitro-cerámicas, cuyas características son: ser económicas y muy precisas,

³⁴ Este, debe distinguirse del término "esmalte" aplicado a las pinturas basadas en polímeros.

una estructura libre de poros y tienen una gran resistencia a los choques mecánicos y térmicos.

5.1.2.2. Polímeros.

Son grandes estructuras creadas a partir de moléculas orgánicas con enlaces covalentes y formados por la unión de muchas unidades simples (monómero). Tienen baja conductividad eléctrica y térmica, reducida resistencia y debe evitarse su uso a temperaturas elevadas. Los polímeros termoplásticos, en los que las cadenas moleculares no están conectadas de manera rígida, tienen buena ductibilidad y ensamblaje; en cambio, los polímeros termoestables son más resistentes, a pesar de que sus cadenas moleculares fuertemente enlazadas los hacen más frágiles. Tienen múltiples aplicaciones, entre ellas en dispositivos electrónicos.

Sus antecesores se puede considerar que son las macromoléculas presentes en organismos, y se pueden enumerar ejemplos como el caucho, lana, algodón: Y no hay material más característico del impacto de la tecnología en la vida cotidiana que los polímeros.

Sin embargo, los materiales poliméricos clásicos, basados en enlaces C-C, tienen una aplicabilidad muy limitada a alta temperatura por lo que se están desarrollando nuevos materiales poliméricos.

Es plástica, porque cuando se deforma bajo la acción de una fuerza y conserva la forma adquirida cuando cesa el esfuerzo. Industrialmente, cuando se habla de plásticos, se trata principalmente de materias plásticas sintéticas.

Un producto orgánico de peso molecular elevado (derivados del petróleo, carbón, gas natural, etc.), que en alguna etapa de su fabricación han adquirido la suficiente plasticidad para

darles forma y obtener productos industriales tales como tubos, planchas, barras, etc., o piezas terminadas.

- Productos Industriales: Solo por extrusión.
- Piezas: Por extrusión, moldeo por compresión, moldeo por inyección, termoformado, calandrado, hilado, colado, moldeo por transferencia, espumado, mecanizado.

Por su plasticidad a altas temperaturas de clasifican en:

- Termoestables: Endurecen bajo la acción del calor presión, y su endurecimiento es irreversible por haber sufrido una modificación en su estructura química, ya no se pueden remodelar o ablandar bajo la acción del calor y presión. Son comparables a la arcilla, que una vez endurecida con el calor (cocida), su forma es definitiva.
 - Resinas fenólicas: Se derivan del fenol o ácido fénico con formaldehído. Estas resinas suelen utilizarse mezcladas con cargas de relleno, que mejoran algunas de sus características físicas, se emplea en material eléctrico como mangos de interruptores, clavijas, cajas diversas, etc.
 - Resina Úrica: Tiene como materia básica la urea sintética y el formaldehído, se emplea en interruptores, clavijas, placas aislantes, artículos de cocina, etc.
 - Resina de melamina: Compuesta principalmente de melamina y el formaldehído, se emplea es similar a las resinas úricas.
 - Resinas de poliéster: Se derivan del alquitrán de hulla y del estírol, son incoloros, pero se pueden colorear; se utiliza con cargas de fibra de vidrio, proporcionándole una considerable resistencia y se emplea en cascos para embarcaciones,

- carrocerías de automóviles, placas transparentes para cubiertas y como pinturas muy duras.
- Poliuretanos: son materiales sintéticos que proporcionan productos de gran elasticidad, está formado por un poliéster y un derivado del benzol, se emplea en goma espuma, correas, barniz de gran dureza, etc.
 - Termoplásticos: Polivinílicos, poliestirénicos, poliamidas, policarbonatos, polietilénicos, polimetacrilatos, politetrafluoretilenos, elastómeros.
- Termoplásticos: El calor les da plasticidad y fluidez, así se pueden inyectar a presión en un molde determinado, adoptando la forma del hueco del molde, se pueden laminar, etc., pero endurecen tan pronto como se enfrían. Los termoplásticos se pueden remodelar, por consiguiente pueden aprovecharse las piezas defectuosas, los recortes, etc. Haciendo una analogía, se podrían comparar con la cera, que se endurece con el frío, pero este no es definitivo.
 - Cloruro de polivinilo: En base a acetileno y ácido clorhídrico, se emplea como:
 - o Material duro para carcasas de bombas, válvulas anticorrosivas, tuberías y piezas resistentes a los productos químicos.
 - o En estado blando para mangueras, cuero artificial, impermeables, etc.
 - Poliestireno: Se obtiene del poliestirol, derivado del petróleo y del benzol, se emplea para fabricar planchas, películas y espumas.
 - Poliamidas: Derivan del carbón, posee características mecánicas muy notables, entre las que destaca su resistencia al desgaste y su facilidad de mecanizado. Se emplea en la construcción de carcasas, cuerpos de bomba, ventiladores, uniones y tapas.
- Polietilenos: Derivados directos del petróleo. Su aspecto y tacto son cerosos, tiene buena resistencia a los ácidos y es buen aislante eléctrico, se emplean en grifería, válvulas y accesorios para conducciones de ácidos, cubos, bidones, ruedas dentadas, mangos de herramientas, etc.
 - Polimetacrilatos: Parten del acetileno, se caracteriza por su extraordinaria transparencia, se emplea en placas transparentes para acristalado de carrocerías, cristales de faros, ojos de buey, etc.
 - Poli-tetrafluoretileno: Es un derivado sintético del acetileno, su principal particularidad es su resistencia a la temperatura y a los ácidos, aspecto en que sólo es comparable con el vidrio, algunas de sus características físicas son: Empleo: Casquillos sin lubricación, cajas y juntas para bombas, válvulas y grifería, aislamiento de cables eléctricos, etc.
- Elastómeros: Tienen una estructura intermedia, en la cual se permite que ocurra una ligera transformación de enlaces cruzados entre las cadenas moleculares. Los elastómeros son capaces de deformarse elásticamente en grandes magnitudes sin cambiar de forma permanentemente. Los típicos son polímeros amorfos, no cristalizan fácilmente. Tienen una baja temperatura de transición vítrea y las cadenas se pueden deformar elásticamente con facilidad al aplicar una fuerza.
 - Elastómeros termoplásticos, no se basan en los enlaces cruzados para producir gran cantidad de deformación elástica. Se comportan como termoplásticos a temperaturas elevadas y como elastómeros a temperaturas bajas. Este comportamiento permite que se puedan reciclar con mayor facilidad que los elastómeros convencionales.

- Adhesivos: Son polímeros que se utilizan para unir otros polímeros, metales, materiales cerámicos, compuestos o combinaciones de todos los anteriores. Los adhesivos se utilizan para una diversidad de aplicaciones.

5.1.2.3. Metálicos.

Tienen como característica una buena conductividad eléctrica y térmica, alta resistencia, rigidez y ductilidad. Son particularmente útiles en aplicaciones estructurales o de carga. Las aleaciones (combinaciones de metales) son la mezcla de un metal principal con otros elementos para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del metal puro. Variando la composición de las aleaciones se puede conseguir un rango de propiedades diferentes para una amplia gama de aplicaciones.

Tienen un gran número de electrones desubicados que le confieren sus propiedades de conductividad eléctrica y térmica. Los metales y aleaciones son resistentes aunque deformables lo cual es muy útil para sus aplicaciones estructurales.

De los elementos que figuran en la tabla periódica, 80 son clasificados como metales. Todos ellos tienen en común que sus electrones más externos en un átomo neutro son cedidos fácilmente. Esta característica es la causa de su conductividad, tanto eléctrica como térmica, de su brillo y maleabilidad.

Si hay un material característico que se asocia en la arquitectura con estos es el acero estructural, éste material es resistente, se puede amoldar, dúctil y buen conductor de la electricidad.

El uso de metales puros es limitado, pues son blandos o tienden a corroerse. Sin embargo, toleran una considerable

cantidad de elementos en estado sólido o líquido. Así, la mayor parte de los materiales metálicos comúnmente usados son mezclas de dos o más metales elementales. Es posible realizar estas mezclas de varias maneras, pero casi siempre se obtienen por la unión de metales por arriba de su punto de fusión. Esa mezcla sólida de metales o metaloides es, a la que se le denomina aleación.

Las aleaciones se dividen básicamente en dos grupos, caracterizados por una aplicación común:

- Aleaciones férricas: Casi el 90% de los metales que el hombre utiliza, son sustancias férricas que han sufrido un proceso metalúrgico. También llamados productos siderúrgicos, son los aceros y fundiciones los empleados por excelencia en la fabricación mecánica y en menor proporción los conglomerados no férricos. Los más comunes dentro de este grupo son: Hierro, Acero, Azufre, Cobalto, Cromo, Magnesio, Molibdeno, Níquel, Plomo, Silicio, Tungsteno y Vanadio.
 - Aceros al carbono y de baja aleación: Son las más económicas por la poca presencia de otros que no sean el acero, se moldean con facilidad por ser dúctiles, resistentes y durables. Se indican con cuatro caracteres, el primero indica la clase, el segundo la serie, el tercero el grupo y el cuarto el individuo.
 - Los aceros de alta resistencia y baja aleación son una clase especial que surge a partir de la necesidad de reducción de peso, estos son mejorados continuamente.
 - Aceros de alta aleación: Son costosos por su porcentaje de aleaciones y tienen características muy especializadas, las tres grandes clases son:
 - o Aceros inoxidables: son más resistentes a la herrumbre y a la decoloración causada por una atmósfera corrosiva.

- Aceros para herramientas: con suficiente dureza para aplicaciones de maquinado.
 - Superaleaciones: con cualidades especialmente resistentes a altas temperaturas.
 - Fundiciones: Contienen más del 2% en carbono de su peso, tienen una temperatura de fusión baja, propiedades mecánicas inferiores, incluyendo algo de porosidad y no permiten operaciones de forjado.
 - Aleaciones rápidamente solidificadas: También llamados metales amorfos, se alían principalmente con boro o con silicio, no presentan bordes de grano, se magnetizan fácilmente, son fuertes, tenaces y muy resistentes a la corrosión,
 - Aleaciones especiales: Son las que no pertenecen a ninguno de los grupos anteriores, pero contienen hierro como metal base.
- Aleaciones no férricas: Aunque éste tipo de aleaciones no se utilizan comúnmente en las estructuras, pues son muy costosas y tienen un alto desarrollo tecnológico, las más importantes son:
 - Aluminio: Ligero, dúctil y maleable, buen conductor de electricidad y de calor, ha bajado mucho su precio por el alto nivel de producción y su mayor uso es como estructura en cancelerías.
 - Cobre: Puede encontrarse en estado nativo en la naturaleza, principalmente formando compuestos minerales, es muy maleable, excelente conductor eléctrico y por su acabado se utiliza principalmente en fachadas arquitectónicas.
 - Zinc: Metal de color blanco azulado, bajo punto de fusión y carencia de reacción corrosiva, al oxidarse, sirve de protección al resto de la masa contra una alteración más profunda, dos de sus usos son el galvanizado y tubería.

- Plomo: Metal gris azulado, pesado, dúctil, maleable, blando, muy fusible, aunque los compuestos de éste son muy venenosos; su uso se da principalmente en cubiertas y como protector contra la corrosión.
- Titanio: Resistente a la corrosión, conserva su resistencia aun en altas temperaturas y tiene unas cualidades de resistencia muy buenas por lo que actualmente se ocupa como prótesis de huesos.
- Magnesio: Metal de color y brillo afines a los de la plata, tiene propiedades similares al aluminio, pero es aun más ligero, por lo que es un material con mucho futuro en las estructuras, hoy en día utilizado en aviones.
- Otros más son el estaño, el níquel, los refractarios: molibdeno, niobio, renio, tantalio, tungsteno y los preciosos: oro, plata, iridio, osmio, paladio, platino, rodio y rutenio.

5.1.2.4. Semiconductores.

Son prácticamente invisibles, por su impacto social y se han desarrollado ampliamente en los últimos años para el desarrollo de microcircuitos.

Su conductividad eléctrica puede controlarse para su uso en dispositivos electrónicos; Además son considerablemente frágiles. El comportamiento del semiconductor es opuesto al de los metales, ya que conforme aumenta la temperatura se incrementa la conductividad, por que están presentes más portadores de carga, en tanto que en el metal la conductividad se reduce, debido a la menor movilidad de sus portadores de carga; son opacos a radiaciones de longitudes de onda corta, pero transparentes a longitudes de onda larga. Por ejemplo, aparecen opacos a la luz visible para el ojo humano, pero son transparentes a radiaciones infrarrojas de longitudes de onda mayores.

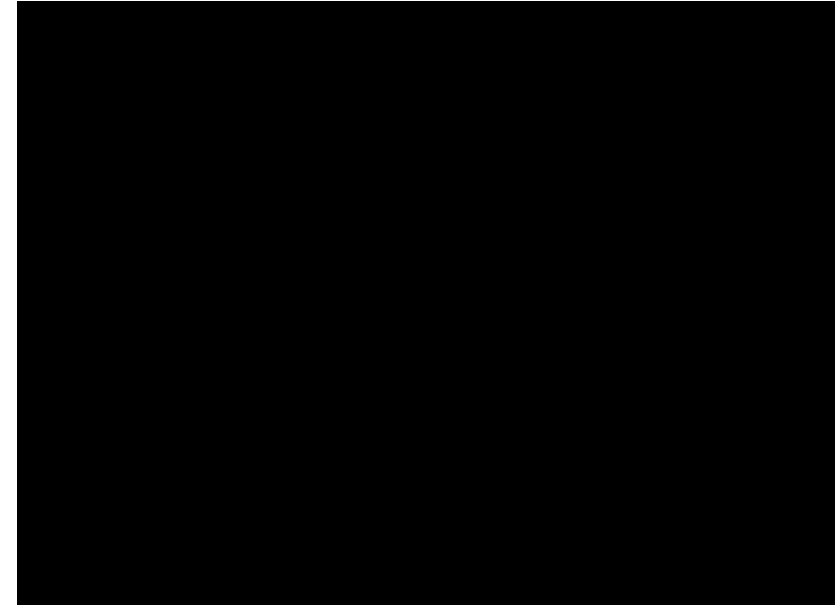
El sulfuro de cadmio se emplea en celdas solares, pero prácticamente son el silicio y el germanio los únicos elementos que tienen aplicaciones prácticas como semiconductores. Sin embargo, gran variedad de compuestos cerámicos e intermetálicos presentan este mismo efecto.

Para facilitar su estudio, se dividen en:

- **Intrínsecos:** Se caracterizan por que su brecha de energía E_g entre las bandas de valencia y conducción es pequeña, y en consecuencia, algunos electrones poseen suficiente energía térmica como para saltar la brecha, entrando en la banda de conducción. Los electrones excitados dejan atrás niveles de energía desocupados, o huecos, en la banda de valencia. Cuando un electrón se mueve para llenar un hueco, se crea otro en la fuente original de este segundo electrón, de forma que los espacios vacíos parecen actuar como "electrones" de carga positiva y portadores de carga eléctrica. Cuando se aplica un voltaje eléctrico al material, los electrones de la banda de conducción se aceleran hacia la terminal positiva, en tanto que los huecos de la banda de valencia se mueven hacia a terminal negativa, Por lo tanto se conduce la corriente mediante el movimiento de electrones y de huecos.
- **Extrínsecos:** Resulta de la adición de átomos de impurezas (dopantes), ésta es la principal diferencia de los intrínsecos que es el material puro; A su vez se dividen en:
 - Semiconductores tipo n: con dopantes como el antimonio.
 - Semiconductores tipo p: con dopantes como el galio.

5.1.2.5. Compuestos.

También conocidos como "composites", están integrados por una matriz orgánica que puede ser un polímero termoestable o termoplástico; y una estructura de refuerzo que puede presentarse en forma de partículas, pelillo, fibras cortas, largas o continuas.



18. En la construcción, los materiales compuestos aportan más de ocho propiedades que permiten distinguirlos de manera positiva de los materiales tradicionales: aumenta la vida útil gracias a su buena rigidez, resistencia a la corrosión, al fuego y al ser impermeables, incrementa la seguridad y simplifica el diseño gracias a la posibilidad de la integración de función, de la obtención de formas complejas y ligereza.

Los refuerzos que más corrientemente se utilizan son las fibras, generalmente de vidrio, de carbono o de aramida. Según las características de la matriz y de los refuerzos, se distinguen generalmente dos grandes familias: los "composites" de gran difusión, poco onerosos, que ocupan

una cuota importante del mercado, y los "composites" de altas prestaciones. Estos últimos, generalmente reforzados con fibras continuas de carbono o de aramida, están reservados a sectores de alto valor añadido:

Los materiales compuestos disponen de ventajas con relación a productos competidores, aportando numerosas cualidades funcionales: ligereza, resistencia mecánica y química, mantenimiento reducido, libertad de formas. Su uso permite aumentar la vida útil de ciertos equipos gracias a sus propiedades mecánicas como rigidez y resistencia a la fatiga; y también gracias a sus propiedades químicas, la cual es la resistencia a la corrosión. También vigorizan la seguridad en las estructuras, gracias a una mejor resistencia a los impactos y al fuego, ofreciendo un mejor aislamiento térmico, acústico y para algunos de ellos, eléctrico. También enriquecen las posibilidades de diseño, permitiendo aligerar construcciones y realizar formas complejas, aptas para cumplir varias funciones.

- Formadas por partículas: Dentro de estos podemos distinguir dos tipos:
 - Las dispersas: Que son materiales endurecidos por dispersión y contienen partículas de 10 a 250 nm de diámetro, que aunque no sean coherentes con la matriz, bloquean el movimiento en las dislocaciones y producen un marcado endurecimiento del material matriz.
 - Las verdaderas: Que contienen grandes cantidades de partículas gruesas, que no bloquean el deslizamiento con eficacia, son diseñados para obtener propiedades poco usuales, despreciando la resistencia en el material.

Ciertas propiedades de un compuesto formado por partículas dependen sólo de sus constituyentes, de forma que se pueden predecir con exactitud mediante el "Criterio de composición", que es la sumatoria de las

propiedades: densidad, dureza, índice de refracción, etc., por la fracción volumétrica del constituyente.

- Reforzados con fibras: Por lo general, este tipo de compuestos consiguen mayor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia-peso, al incorporar fibras resistentes y rígidas, aunque frágiles, en una matriz más blanda y dúctil. El material matriz transmite la fuerza a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. La resistencia del compuesto puede resultar alta a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas. De forma semejante a los compuestos formados por partículas.
- Laminares: Incluyen recubrimientos delgados, superficies protectoras, revestimientos metálicos, bimetálicos, laminados y todo un conjunto de materiales con aplicaciones específicas. Algunos compuestos reforzados con fibras, producidos a partir de cintas o tejidos pueden considerarse parcialmente laminares. Gran cantidad de compuestos laminares están diseñados para mejorar la resistencia a la corrosión conservando un bajo costo, alta resistencia o bajo peso. Otras características de importancia incluyen resistencia superior al desgaste o a la abrasión, mejor apariencia estética y algunas características de expansión térmica poco usuales. Mediante el "Criterio de composición" se pueden calcular con poco margen de error: la densidad y la conductividad eléctrica y térmica.

El costo de fabricación de los "composites" es muy superior al de los materiales tradicionales, de 2 a 8 veces mayor aproximadamente, de entre €3 a €38 por kilogramo, según las prestaciones requeridas para los materiales compuestos, y €1,5 a €5 por kilogramo para los materiales tradicionales. Sin embargo, ahorrando piezas de unión e industrialización,

reducción de los gastos de mantenimiento y aumentando la vida útil y la seguridad, las ventajas de los materiales compuestos se caracterizan como únicas y adecuadas al utilizarlos.

En síntesis el material compuesto es obtenido por la combinación de dos o más materiales diferentes. Un material compuesto puede presentar propiedades mecánicas y físicas especiales, ya que combina las mejores propiedades de sus componentes y suprime sus defectos. Por ejemplo, el plástico reforzado con fibra de vidrio combina la alta resistencia de las delgadas fibras de vidrio con la ductilidad y la resistencia química del plástico; sin embargo, la fragilidad que presentan las fibras de vidrio aisladas no se manifiesta en el material compuesto. La oportunidad para desarrollar productos para la industria automotriz y ingeniería aeroespacial, usos recreativos, construcción de grandes estructuras como puentes o reforzar pilares, y en productos biomédicos, como las prótesis.³⁵

Las fibras ocupan alrededor del 60% del volumen en los compuestos de este tipo. También se utilizan matrices metálicas y cerámicas para sustituir a la matriz plástica; así se obtienen materiales más específicos, llamados compuestos de matriz metálica y compuestos de matriz cerámica respectivamente.

Además, de acuerdo a la orientación de las fibras o la forma en que estén entrelazadas en la matriz, pueden fabricarse con propiedades estructurales específicas para usos concretos.

A pesar de presentar ventajas considerables sobre los materiales convencionales, estos materiales tienen algunos inconvenientes. Por ejemplo, los materiales compuestos de

matriz polimérica y otros tienden a ser muy anisotrópicos, es decir, su resistencia, rigidez y otras propiedades físicas son diferentes de acuerdo a la orientación del material. Siendo en fibras paralelas, un material muy rígido en paralelo a las fibras, pero muy poco en perpendicular a ellas. Estas propiedades anisotrópicas constituyen un reto importante para el diseñador que utilice estos materiales en estructuras que apliquen fuerzas multidireccionales a sus componentes. También es complicada la elaboración de uniones resistentes entre piezas de material compuesto.

Cuando un solo material no puede ofrecer las propiedades que se requieren se pueden diseñar materiales constituidos por más de un tipo, que se ajuste a las necesidades. Un ejemplo sería el concreto armado, que se entiende como un material formado por una matriz que es el cemento y que mantiene unidos los agregados finos y gruesos, y las varillas de acero que representarían a las fibras.

5.1.2.5. Fibras orgánicas.

El concepto de fibras orgánicas se da a partir de la creación de fibras muy resistente y elástica a partir de la perfecta alineación de polímeros. Podemos tomar como ejemplo las cadenas de polietileno que están unidas en zigzag de carbono a carbono completamente alineadas y agrupadas estrechamente, que tienen un módulo de elasticidad aproximado de 220 GPa.

Las fibras más comunes en el mercado son las fibras de aramida, el cual es el nombre genérico de fibras de poliamida aromática. Estas fueron introducidas comercialmente en 1972 por Du Pont, bajo el nombre de Kevlar, y en la actualidad existen dos distintas:

- Kevlar 29: Baja densidad y alta resistencia, aportado por las fibras de aramida y esta diseñada para aplicaciones como la balística, cuerdas y cables.

³⁵ Material compuesto", Enciclopedia Microsoft® Encarta® 99. © 1993-1998 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

- Kevlar 49: Baja densidad, alta resistencia y modulo elástico. Sus propiedades la hacen ideal para el refuerzo de plásticos en materiales compuestos, para aplicaciones aeroespaciales, marina, industria automotriz y de la construcción de estructuras de tensotración.
- Propiedades:
 - Fuerte anisotropía.
 - $E_{ax} = 130\text{GPa}$ (depende del alineamiento de cadenas) $E_{rad} = 10\text{GPa}$.
 - Otras clases: celulosa (se encuentra en la naturaleza; Es poco usada de momento).

Una limitación al igual que la mayoría de las fibras es que solo tiene alta resistencia en la dirección de la fibra; la aramida no aporta ventajas en el refuerzo de elementos estructurales. Al contrario, la elaboración (corte/ separación) de fibras de aramida es muy complicada.

5.1.2.6. Fibras inorgánicas.

Comúnmente las fibras metálicas, de vidrio y de carbono, son las que se emplean en la industria de la construcción, aunque las dos últimas son más nuevas y cuentan con mejores prestaciones.

- Fibras de vidrio: Se utilizan para reforzar matrices plásticas formando compuestos estructurados y productos moldeados, es la más utilizada por su bajo costo, un producto reforzado con ésta tiene buena resistencia, bajo peso, buena estabilidad dimensional, resiste al calor y al frío, a la humedad y la corrosión, además de tener buenas propiedades eléctricas, las dos clases de vidrio mas utilizado son:

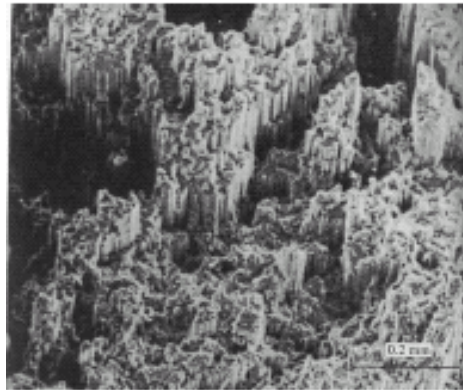
- Vidrio E: El vidrio E sin protección se corroe en ambientes alcalinos. Puesto que el revestimiento se encuentra sometido a posibles daños en el contorno o durante su aplicación, puede ser aplicado únicamente en zonas no alcalinas (refuerzo de asfaltos), o donde esté completamente embebido en una matriz de resina tipo epoxi. Los tejidos con fibra de ésta no deberían ser utilizados como refuerzos de estructuras de concreto en combinación con una matriz permeable al vapor de agua.
- Vidrio AR: El vidrio alcalino-resistente es adecuado como refuerzo de confinamiento de estructuras de concreto (aumento de ductilidad) en combinación con una matriz de resina epoxi y con una matriz permeable al vapor de agua.
- Propiedades:
 - o Basadas en óxido de silicio, con adición de óxidos de Ca, B, Na, Fe y Al.
 - o Vidrios amorfos. Cristalizan tras largos tratamientos térmicos a elevadas temperaturas, disminuyendo su resistencia.
 - o Resistencia y rigidez: controlada por su estructura.
 - o Recubrimiento polimérico (tamaño): protege, une, lubrica, es antiestático, forma unión matriz.
 - o Clases: E (eléctrico), C (corrosión), S (fuerza).
 - o Propiedades: $E \approx 75\text{-}85\text{GPa}$; $\sigma \approx 3'5\text{-}4'5\text{GPa}$.La principal característica de la fibra de vidrio es que son isótropas, el modulo de Young es igual a lo largo que transversalmente del eje de la fibra. Esto es consecuencia directa de la estructura tridimensional de la red del vidrio.

Estos tejidos son aptos para el refuerzo de construcciones históricas o para la rigidización de paredes de ladrillo.



18. Ejemplo de fractura de fibra de vidrio bajo carga axial.

- Fibra de Carbono: Cuando pensamos en la facilidad con la que se quiebra la punta de un lápiz, nos sorprende que en la actualidad se hable de compuestos de grafito como, un material de alta resistencia. Se obtiene mediante el tratamiento a muy altas temperaturas de ciertos polímeros. (Estos polímeros son moléculas gigantes formadas por cadenas de átomos de carbono enlazados entre sí y combinados con otros elementos, como el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno). El producto final



18. Ejemplo de fractura de fibra de carbono bajo carga axial.

está compuesto de aproximadamente 92% de átomos de carbono. Las fibras sin modificar, que son aproximadamente cinco veces más delgadas que un cabello humano, se entretejen y se pegan mediante resinas, dando como resultado un material altamente resistente.

A micro escala y con unos cuantos átomos, e cree que la fibra de carbono y el grafito tienen la misma estructura, pero al aumentar su tamaño, encontraríamos que la fibra pierde ordenamiento con respecto al grafito. Se ha propuesto que las fibras de carbono consisten en "listones" de hexágonos de átomos de carbono que se doblan, a diferencia del grafito, donde la estructura permanece plana independientemente del tamaño de la muestra. Estos doblamientos de los listones evitan que se deslicen unos sobre otros, como los planos del grafito, lo que resulta en un notable incremento en la resistencia del material.

- Ventajas:
 - o Alto módulo de elasticidad (dependiendo del tipo de fibra).
 - o Menor coeficiente de dilatación térmica (aprox. 50 veces más bajo que el del acero).
 - o Excelente resistencia a la fatiga
 - o Excelente resistencia frente a los ataques químicos
 - o Resistencia a la corrosión
 - o Resistencia al hielo, deshielo y a las sales.
- Propiedades:
 - o Estructura: planos hexagonales apilados ABABAB (planos basales); Claro ejemplo es el grafito.

- Fuertes enlaces covalentes en plano; débil Van der Waals entre planos.
- Anisotropía. Módulo elástico 1000GPa en plano, 35GPa en perpendicular.
- Radio de las fibras $\approx 8\mu\text{m}$; pequeños cristales de grafito "turboestático".
- Prácticamente irrompibles, cuando las tensiones se generan en el mismo sentido de las fibras.

5.1.2.8. Otros.

Hay otro tipo de materiales, los cuales en la actualidad no se utilizan en la industria de la construcción, pero que sin embargo en un futuro nos podrían dar soluciones a muchos de nuestros problemas, algunos ejemplos de estos son:

- Magnéticos.

Esta rama de materiales, esta muy asociada con los fenómenos electrónicos, si bien algunos metales y cerámicos son magnéticos, las



18. Levitación magnética a partir de un superconductor de $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$, elaboradas en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la IINAM

aleaciones de estos dan ventajas aun no explotadas en su totalidad, se clasifican en:

- Ferromagnéticos: Asociación del fenómeno con materiales ferrosos o que contienen hierro.

- Ferrimagnéticos: Se da en los cerámicos y se caracteriza por un menor momento magnético menor que en los metales.

- Biológicos.

También llamados Biomiméticos³⁶, buscan replicar o los procesos y materiales biológicos, tanto orgánicos como inorgánicos. Los investigadores que trabajan en este tipo de materiales persiguen un mejor conocimiento de los procesos utilizados por los organismos vivos para sintetizar minerales y materiales compuestos, de manera que puedan desarrollarse, se crean a partir sustancias biológicas para crear materiales constructivos, a partir del análisis:

- De los tejidos y la estructura interna de diseños naturales biológicos.
- Del funcionamiento de las proteínas naturales complejas

Algunos ejemplos de estos materiales son:

- La seda de los arácnidos.
- Los dientes de los roedores.
- Los cuernos de los rinocerontes.
- Entre otros.

Algunas de las investigaciones en las que se trabaja actualmente en este campo, son:³⁷

- Biogénesis aplicada.
- Biomineralización en materiales.
- Oxidación ferrosa del Thiobacilo.
- Extracción biotecnológica del cobre.
- Biohidrometalurgia en el uranio.
- Proceso de biocorrosión.

³⁶ Evolución y Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas, Ernesto Ocampo Ruíz.

³⁷ Una explicación profunda de cada uno de estas investigaciones se da en el capítulo 18 del libro Materials for the Third Millenium,

5.2. Aplicación a las estructuras.

La industria de la construcción a empezado a conocer las bondades y ventajas de nuevos materiales estructurales de naturaleza sintética, provenientes de procesos químicos sofisticados, desde la ultima década, su aplicación ha elevando exponencialmente, tomando en cuenta sus ventajas

En la actualidad la aparición de nuevos materiales aplicados a las estructuras, ha permitido la catalogación de éstos en dos simples ramas dada su aplicación:

5.2.1. Medulares

Que forman un elemento en si, estos pudieran ser desde componentes nanotecnológicos como las fibras modificadas y hasta paneles completos de materiales compuestos como la fibra de carbono, el concreto translucido o las placas de titanio, entre otros. Son la totalidad de la pieza.

5.2.2. Adicionales

En estos casos el material es una parte más de un elemento estructural existente, ya sea por:

- Modificación de la estructura.
- Envejecimiento de los materiales de



18. Viga compuesta en su totalidad por laminas de fibra de carbono, cuya función era la de experimentar su resistencia y ligereza, realizada en Grupo Adriann's de México, México.

- construcción.
- Corrosión de la armadura.
- Protección o refuerzo contra sismos e incendios.
- Modificación de las normativas relacionadas con la capacidad de carga, hipótesis de carga, etc.

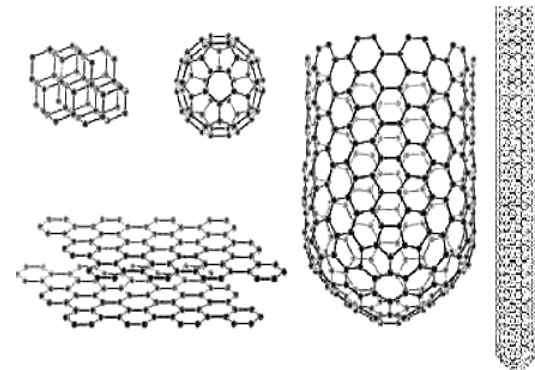


18. Viga de concreto armado reforzada longitudinalmente por el aumento en la carga estática, con cinta de fibra de carbono, Madrid, España.

CAPÍTULO VI FIBRA DE CARBONO EN LA ARQUITECTURA

Fibra de Carbono,
Una Nueva Propuesta para la
Arquitectura.

Por mucho tiempo se creyó que el carbono existía solamente en dos formas cristalinas estables, diamante y grafito, cuyas estructuras se esquematizan en la figura 7 (los puntos negros son átomos



34. Estructuras cristalinas de las distintas formas alotrópicas del carbono, Universidad de Wisconsin- Madison.

de carbono), y con las características conocidas. Pero en 1985 se sintetizaron las primeras moléculas de fullereno, cuya estructura es distinta de las dos mencionadas, está formado por 60 átomos de carbono unidos para formar un icosaedro truncado (como pelota de fútbol en la cual se han sustituido los vértices de los pentágonos y hexágonos que la constituyen por átomos de carbono). Se descubrieron así nuevas formas de agregación del carbono, de acuerdo a las cuales cambiaban en forma notable las propiedades ópticas, mecánicas, electrónicas y térmicas del material.

En las fibras de carbono, las capas individuales de grafito son mucho más grandes que en lápices, y forman una estructura larga, ondulada y fina, tipo-espiral.

En la década de los 80, el gobierno japonés se enfrentó con la necesidad de acondicionar, a corto plazo, las estructuras del sistema vial del país para las solicitaciones que se originarían por el ya esperado e inminente "Gran Terremoto"; simultáneamente fueron iniciados estudios con el objetivo de viabilizar la utilización, como elemento de refuerzo estructural, de los composites plásticos armados con fibras, ya bien conocidos de otras industrias (aeroespacial, aeronáutica, automovilística, deportes), cuyas principales características son la muy buena resistencia, la extraordinaria durabilidad y la simplicidad del proceso de aplicación.

La tecnología tuvo un mayor desarrollo y fue objeto de ajustes después de haber ocurrido el terremoto de Kobe, en 1995, y con la entrada en escena de los mercados americanos y europeos. Esos materiales que se adhieren externamente en estructuras de concreto y mampostería presentan una fluencia y elongación baja y, comparados con el acero, son de menor peso, más ligeros y tienen diez veces su capacidad de resistencia y tensión.

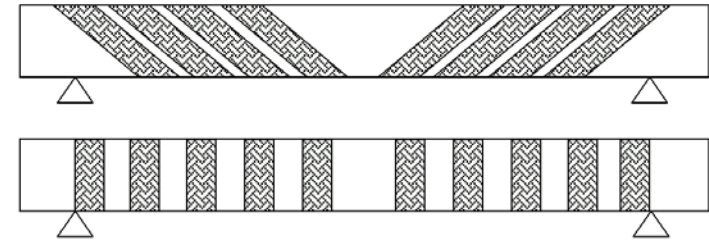
Estas fibras no son utilizadas como tales, sino que se emplean para reforzar materiales tales como las resinas epoxi y otros materiales termorrígidos.

Son orientadas en forma unidireccional o multidireccional y posteriormente recubiertas con la matriz epoxi. Reconocidas por su alta relación resistencia/espesor, actualmente mejoradas gracias al desarrollo de la nanotecnología y el microscopio de efecto túnel.³⁸

Los compuestos reforzados con fibras de carbono son muy resistentes para su peso. Son más fuertes que el acero, pero

mucho más livianos. Debido a esto, pueden ser utilizados para sustituir los metales en muchas aplicaciones.

- Aplicación:
 - Estructuras de precisión y ópticas.
 - Antenas y satélites.
 - Automóviles, aviones y otros vehículos.
 - Artículos deportivos.
 - Piezas odontológicas.
 - Piezas de unión (postes y pernos entre varios).
 - Productos aislantes.
 - Entre otros.
 - Refuerzo en elementos estructurales: Como en vigas y columnas.



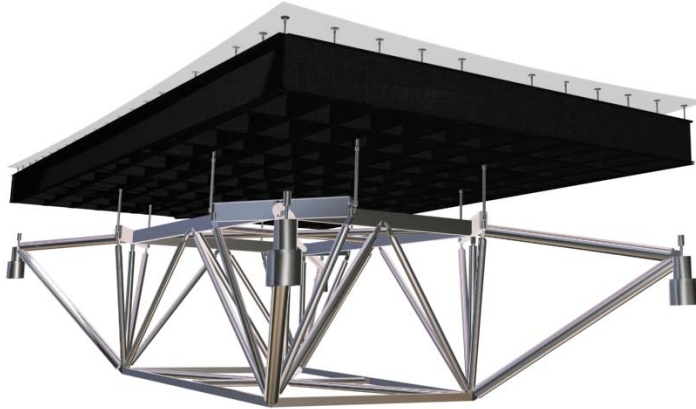
34. Esquema de vigas reforzadas, con cintas adheridas en ángulos de 45° y 90°.



34. Viga reforzada tras el daño de un sismo, en lugar de los cinturones metálicos, los cuales tienen un mayor costo en mano de obra y mantenimiento, además de ser menos estéticos y robustos, Tokio, Japón.

³⁸ Consultar: Instrumentación de la nanotecnología, en Apéndice.

- En paneles y elementos estructurales.



34. Esquema de uno, de los más de 170 paneles del Gran Telescopio Milimétrico (LMT), en Sierra Negra, Puebla, México.

34. Serie de estructuras tridimensionales, elaboradas con el objetivo de comparar las diferentes características de peso y resistencia entre el aluminio, el acero y la fibra de carbono, Grupo Adriann's de México, México.

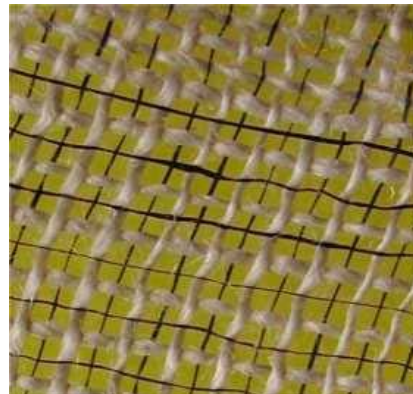


- Ventajas:

- Muy ligera.
- Resistencia a esfuerzos
- Resistente a la corrosión.
- Alto modulo de elasticidad.

- Excelente resistencia a altas temperaturas, por encima de los 2000° C, pero por la matriz se limita a niveles inferiores de los 200° C.
 - Compatibilidad con todos los materiales, excepto con el aluminio dado que lo corroe.
 - Las instalaciones se manejan de forma aparente, ya que el grosor es mínimo.
 - El tiempo de construcción después de su fabricación es extremadamente rápido ya que solo se tiene que ensamblar.
 - Su transportación es fácil y solo requiere de un correcto embalaje para no dañar las piezas.
 - Se pueden diseñar piezas de cualquier dimensión que no supere el interior del horno en donde van a ser cocido el material compuesto.
 - Mantenimiento y reparación muy fácil.
 - Resistencia al hielo, deshielo y a las sales de deshielo.
- Desventajas:
 - Alto costo, con una aproximado por metro cuadrado de US\$200.
 - Se requiere de equipo especializado al igual que herramienta, de importación y con costos muy elevados.
 - Se deberá tomar en cuenta que entre mas grande sea el molde también aumentara el costo de su fabricación.
 - Sensibilidad a ambientes hidrotermales, es decir, donde hay cambios severos en la humedad del ambiente.
 - Requiere una protección adicional contra la luz solar, ya que esta tiene rayos ultravioleta, los cuales son causantes de que se rompan las cadenas moleculares de los polímeros.

- Propiedades:
 - Resistencia a la tracción: 14280 Kg/cm²
 - Modulo elástico: 240-640 GPa
 - Alargamiento en fractura 1.5 %
 - Resistencia a la tensión 35700 Kg/cm²
 - Modulo de tensión 160-180 GPa
 - Densidad típica 1.8/1.45 g/c3
 - Peso 200 g/m2
 - No se corroe, y es compatible con la mayoría de los materiales de construcción, excepto el aluminio es cual se daña en contacto directo con la fibra de carbono.
- Orientación: Las fibras de carbono están elaboradas a partir de la sobreposición de fibras en varios sentidos y en dos disposiciones; perpendiculares y a 45°; y las formas más comunes para sobreponerlas son las siguientes:
 - Unidireccional en rollo.
 - 2 direcciones (en X).
 - 3 direcciones (en Y).
 - 3 direcciones (en Z).
 - 4 direcciones (en Q1 o Q2).



34. Fibra de vidrio, reforzada con nanofibras de carbono puestas en dos direcciones para incrementar su resistencia, Fuente: No. 12, Junio, revista Nature.

6.1. Propiedades Mecánicas.

6.1.1. Concentración de tensiones.

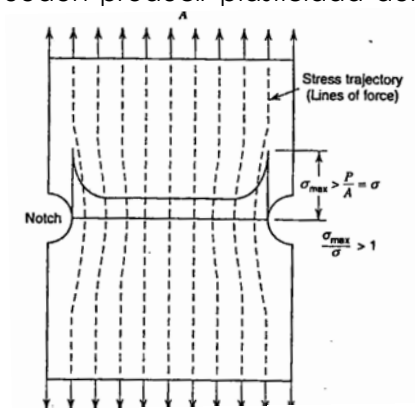
En estructuras comunes, las tensiones se distribuyen en toda la estructura de manera relativamente uniforme, salvo sobre los contornos. Pero hay muchos casos en los que aparecen "concentraciones de tensiones", en los que puede haber crestas importantes que complican la capacidad resistente.

En caso de todo hueco o entrada brusca en un material se provoca una fuerza muy grande de tensión ya sea a nivel macroscópico o microscópico; esto también genera "concentración de tensiones".

El incremento en estas tensiones no esta relacionada con el tamaño y si con la forma, ya que una cadena de átomos sometida a una concentración de esté tipo pasa de una cadena a otra debilitando a la siguiente y así sucesivamente.

Es importante el considerar la concentración de tensiones porque las tensiones mismas pueden producir plasticidad del material, pueden llevar a rotura frágil del material, aceleran la corrosión química de un material, además si hay cargas repetidas, pueden acelerar el proceso de fatiga.

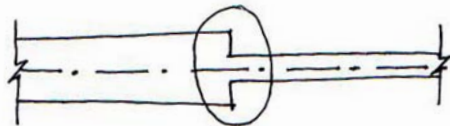
Se ha podido calcular lo que se conoce como "factor de concentración de tensión" es decir por cuantas veces se multiplica la tensión local (para



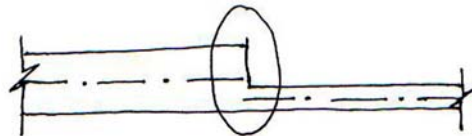
31. Fuente: A. Boresi, Advanced Mechanics of Materials.

distintas formas geométricas, como una abertura rectangular u otras aberturas como agujeros redondos y elípticos). Abriendo un hueco elíptico muy largo y estrecho, obtendremos una fisura o fractura. Para dar un ejemplo, una fisura microscópica reducirá la resistencia del vidrio por una concentración de tensiones de 2.000.000 a 10.000 lib/pulg², aproximadamente el valor que se encuentra en el vidrio ordinario.

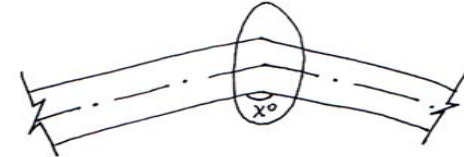
- Factores:
Son diversos los factores causantes de la concentración de tensiones, entre ellos algunos a nivel macroscópico y microscópico:
 - Cambios abruptos en alguna sección, cambios de dirección y esquinas.
 - Elementos en constante roce o contacto con otras piezas.
 - Discontinuidad en el material mismo, orificios en el concreto, inclusiones en el acero, aleaciones, los agregados en el concreto, uniformidad en las fibras, etc.
 - Tensiones iniciales en algún elemento originado desde su fabricación.
 - Fisuras existentes en las secciones.
 - Ejemplos:
 - Cambios en la sección:



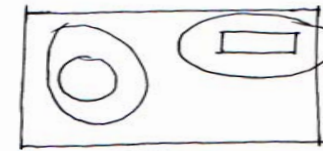
- En elementos descentrados:



- Cambios de dirección:



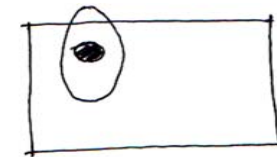
- Agujeros o aberturas:



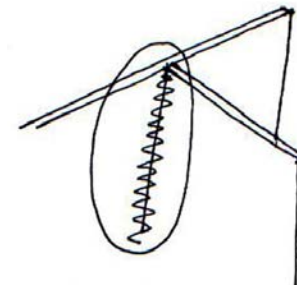
- Tensiones de contacto:



- Discontinuidad en el material:



- Tensiones iniciales (soldadura y uniones):

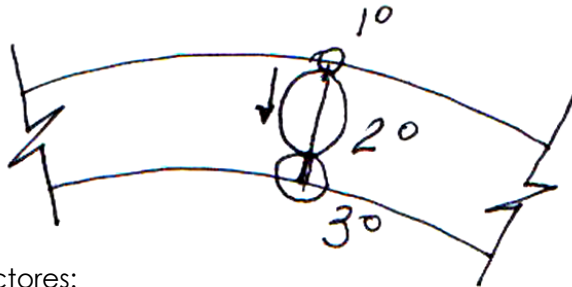


21. Fuente: Luis A. Godoy, Apuntes de Mecánica de Materiales Avanzada, UNC, Argentina.

6.1.2. Fatiga.

Es la presencia de cambios estructurales (mecanismos) progresivos localizados frecuente o permanente de tensiones cuyo valor máximo sea menor a la resistencia última del material.

- Etapas:
 - 1°. Inicial: Es imposible de que se vea a simple vista, ya que esta se aprecia en microestructura.
 - 2°. Propagación: dan una parcial separación de las moléculas que conforman el elemento hasta el máximo que soporten.
 - 3°. Final: la fractura del elemento, ya las moléculas están separadas en su totalidad.
- La etapa final se da hasta el límite de un material, puede ser dúctil o frágil y se presenta plasticidad o fragilidad en éste.
- Los materiales más frágiles tienen más desventajas.

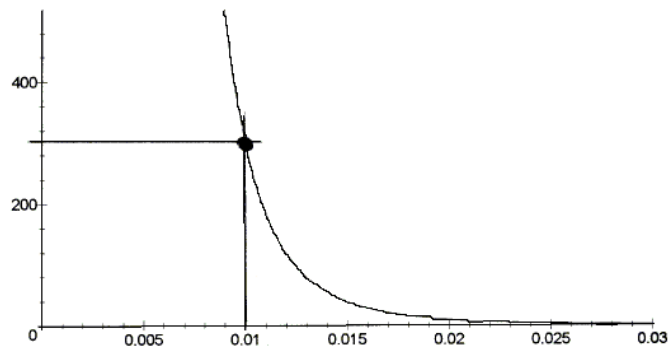


- Factores:
 - Tipo de carga.
 - o Flexión
 - o Torsión.
 - o Axial.

- Naturaleza del desplazamiento de la carga.
 - La frecuencia de repetidas cargas.
 - Forma de la carga.
 - Concentración de tensiones.
 - o Esquinas.
 - o Ranuras.
 - o Agujeros.
 - o Malformaciones.
 - o Entre otros y a nivel:
 - o Macro: Tamaño y grosor del elemento estructural.
 - o Micro: Imperfecciones en el material.
 - Método de fabricación.
 - Historia de carga.
 - Terminado (acabado final).
 - Temperatura en donde se encuentra.
 - Ambiente en donde se encuentra.
 - Evaluación en el material y tensiones locales grandes.
 - Resistencia del material.
- Ensayos: Uno solo no es suficiente por tener tantas características variables.
 - Se ensaya no solo el material, sino también el prototipo y aun así no es predecible del todo.
 - Lo más importante son los datos del laboratorio sobre los materiales.
 - La vida de fatiga y resistencia son medidas en estadísticas.
 - Los ensayos se hacen sobre el material y no sobre la estructura, pues sería casi imposible evaluarlo directamente; solo fabricantes con alto poder adquisitivo, como fabricantes de autos, camiones y aviones lo realizan en sus laboratorios con ejemplo a escala real.

- Dificultad de localización de tensiones:
 - Historia de la carga no bien conocida.
 - Cuando las características propias y tratamientos no se conocen.
- Curva sigma-N: Esta indica la vida media de un material, y se tiene en cuenta la variabilidad de los ensayos en laboratorio. Se tiene que tomar en cuenta que el 50% tiene la probabilidad de fallar y el otro 50% no.
 - Endurancia: En materiales ferrosos puede desaparecer la fatiga y esto se le conoce como Endurancia; si se conoce el numero de endurancia se trabaja directamente con esté.

Los metales y los polímeros son muy similares en dicha característica.

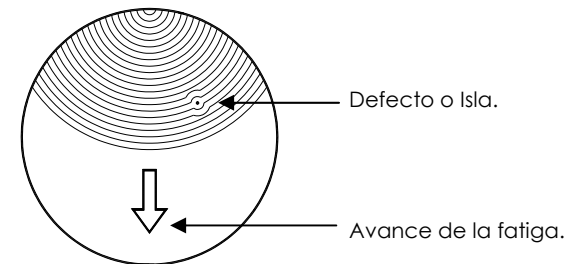


- Vida de la fatiga: Es el número total de ciclos de carga para que una fisura se produzca y al final hay un daño provocando destrucción.

Se utiliza el numero de ciclos para poder medirla y es importante la superficie interna y externa; entre mejor realizada y acabada este la superficie, mas difícil será que inicie.

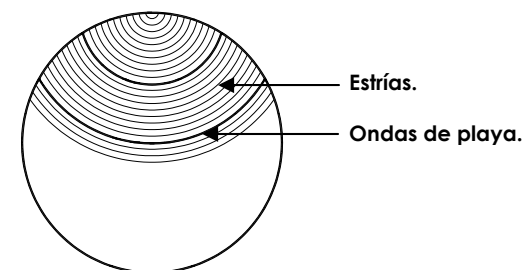
- Estados de la fatiga: Cada ciclo deja marcas que se les llama estrías, las cuales nos dan registro del daño que produce la fatiga; esto a nivel micro, significa el desplazamiento de los átomos; estas se pueden observar en el microscopio electrónico y la separación entre las estrías depende de la ductibilidad del material.

En caso de existir errores en el material, las estrías pasan por esté casi sin cambio alguno y continúan en la misma dirección.



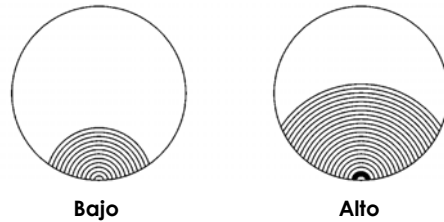
En esto se parecen a la estructura del tronco de un árbol; con poca ductilidad en el material estas estrías casi no se aprecian, ni tampoco en los polímeros.

Cuando hay un aumento o disminución elevado de las cargas se producen las "ondas de playa" (cambios abruptos en la tensión).



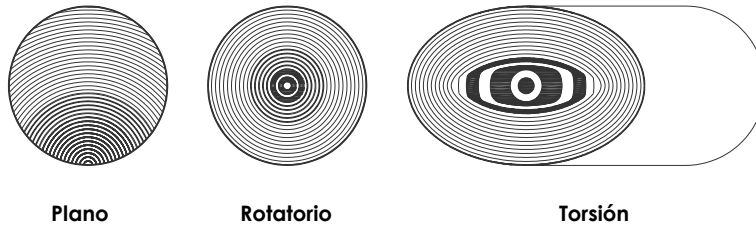
- Características de fatiga: La fatiga se distingue si ocurrió bajo una tensión nominal por el área que ocupa la parte rugosa, de la parte lisa, si es una zona grande, la tensión nominal es grande (3° principio).

En la observación de la pieza y descripción de estrías y "ondas de playa" se describe la detención de la carga, el cambio de esta, oxidación o corrosión.



Nivel torsional

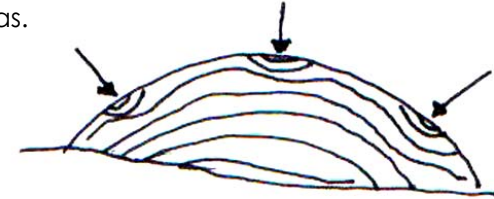
Algunos ejemplos de la fatiga, se describen por cual fue su función antes de la fractura:



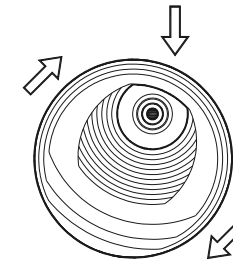
En el caso torsional la dirección de la fractura por lo general es a 45°.

En el caso de piezas sometidas a tensiones en dos direcciones la fatiga avanza más rápidamente por que estas actúan debilitando y acumulan tensión a lo largo del elemento.

- Principios:
 - El incremento local en tensiones, incrementa el numero de fisuras activas. Múltiples orígenes de fisuras.



- Las fisuras se propagan más rápido hacia el centro cuando no hay concentración de tensiones.
 - Un nivel de tensión bajo genera una zona de ruptura pequeña y opuesto a un nivel de tensión alto, que genera una zona de ruptura grande.
 - En barras rotatorias se tiene un descentrado en dirección contraria a la que gira.



- El inicio de la fractura que se localiza en la superficie en algunos casos se originan en el centro del elemento.

La pre-compresión aumenta la vida útil de las estructuras por que se reduce la fatiga y las tensiones.

La soldadura hace un mal efecto en los materiales, cambiando su estructura superficial.

Dependiendo de si el límite tensional es mayor o menor a 10⁶ ciclos la fatiga puede ser:

- Alto número de ciclos y baja amplitud de tensión: Una estructura en el mar tendrá una frecuencia en las olas de más de 10⁶ ciclos en una duración mínima de 10 años, por lo que tendrá que ser considerado un cálculo por fatiga de las partes que están en contacto directo; otro ejemplo pudieran ser las estructuras sometidas al viento y en edificios con maquinaria en su interior, por las vibraciones que producen.
- Bajo número de ciclos y alta amplitud de tensión: Un edificio construido en lugares de alta sismicidad, están sometidas a un número menor de ciclos, por lo que no es necesario realizar estudios específicos para estos.

6.1.3. Fractura.

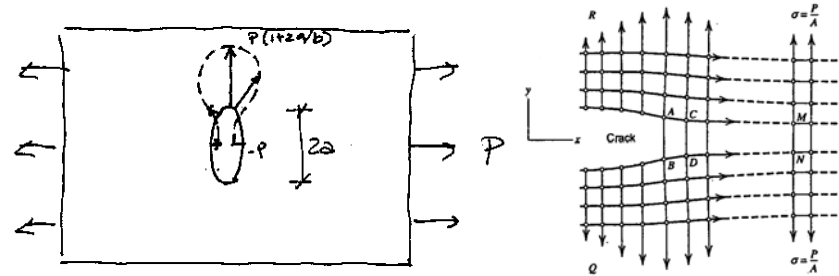
Algunos especialistas han tratado de predecir la resistencia de materiales compuestos mediante métodos que se basan en principios de mecánica de fracturas, pero en general éstos sólo se pueden aplicar dentro de los límites de la hipótesis de la mecánica lineal elástica de fractura, cuya aplicación al crecimiento de grietas en materiales compuestos, presenta importantes dificultades por su grado de anisotropía que complica el análisis de esfuerzos y que la zona de daño en el origen de la grieta a menudo se extiende sobre gran parte del material, invalidándolo.

Para que haya fractura debe de existir con anterioridad una fisura o borde de grano; a partir de este y por la fatiga del material, se van rompiendo las uniones, una por una, aun

siendo estas muy resistentes; de este modo la fisura se extiende a lo largo del material hasta que se produce la fractura total.

Esto da como resultado que en todos los materiales existen pequeñas fisuras (que muchas veces no pueden ser vistas con facilidad por métodos ordinarios) y que son responsables de la disminución de la resistencia de los mismos, en las fibras muy finas como la del carbono, son mucho menos frecuentes o casi inexistentes.

En las primeras investigaciones, la resistencia a fractura se trata como una propiedad del material y surge el concepto de "tensión crítica aplicada"; éste es atractivo porque solo hay que asegurarse que la tensión no supera un valor crítico; Pero no está basado en principios físicos del fenómeno.

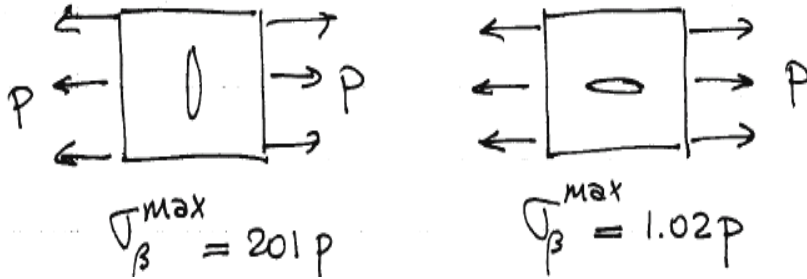


31. Área de influencia de la tensión crítica aplicada; Luis A. Godoy, Apuntes de Mecánica de Materiales Avanzada, UNC, Argentina.

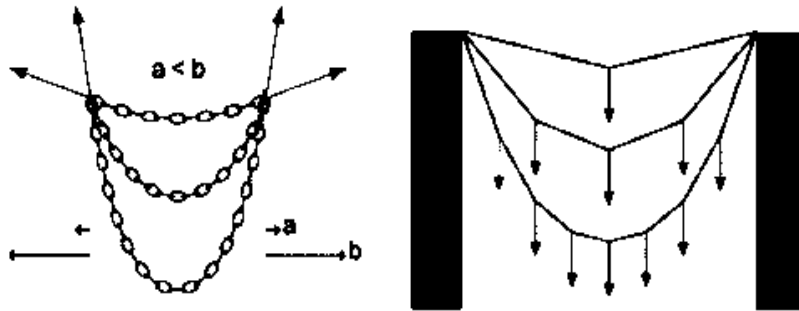
32. Modelo atómico de la fractura de un sólido, A. Borelli, Advanced Mechanics of Materials.

Inglis (1913) la considera como un agujero elíptico y en el límite máximo lo lleva a una fisura; además concluyó que lo que importa es la forma de la región que tiene gran curvatura en el extremo.

Cuando se propaga una fractura existe disipación de energía e importa la unión química que hay de los átomos; además si esta se encuentra en el mismo sentido de las tensiones el daño es mínimo a la estructura:

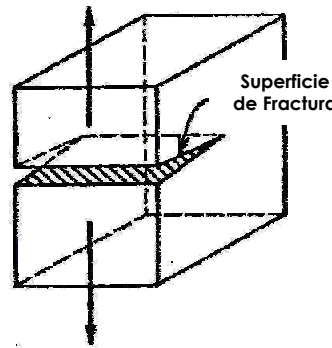


En esto se basan muchas de las obras de Gaudí y el uso de catenarias.

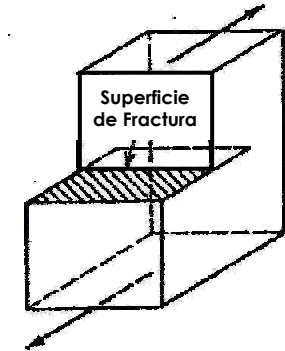


• Modos:

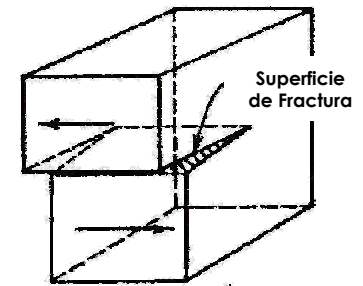
- Modo I: En la mayoría de los materiales ocurre este tipo de fractura y consiste en la abertura opuesta una de la otra.



- Modo II: Consiste en el deslizamiento de la superficie, siempre y cuando este sea en el sentido de la fractura.



- Modo III: Consiste en el deslizamiento de la superficie, pero a diferencia del modo II, esta en un sentido distinto de la fractura (jalón).



3.1.3.1. Comportamiento en fractura de materiales compuestos

Las investigaciones sobre el comportamiento de materiales no metálicos: polímeros, cerámicos y otros materiales compuestos están apenas comenzando.

Los procesos de fractura de materiales no metálicos son muy interesantes en estructuras, fabricados a base de materiales compuestos y poliméricos, que por citar alguna como alerones aeronáuticos o refuerzos estructurales en vigas de concreto, fabricados con materiales compuestos en los que pequeñas grietas pueden ocasionar roturas catastróficas.

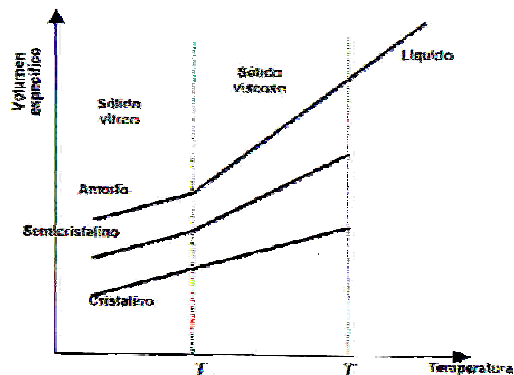
No podemos olvidar ciertos materiales clásicos en la ingeniería como el concreto armado, en el que su escasa ductibilidad

respecto al acero de refuerzo limita su uso, resultando bastante interesante el análisis de los mecanismos de fractura.

- Polímeros: Para conocer el comportamiento necesitamos la estructura molecular, el grado de polimerización, los enlaces principales además de los secundarios y la diferencia entre materiales poliméricos cristalinos y amorfos.

Los polímeros pueden soportar deformaciones tanto elásticas como plásticas, cuando se le aplica algún esfuerzo. Lo elástico se refiere al mecanismo de estirado y distorsión de los enlaces dentro de la cadena y del movimiento que se puede recuperar de segmentos completos de la cadena. Lo plástico se produce cuando las cadenas en el polímero se deslizan una sobre otra rompiendo los enlaces débiles de Van der Waals, pues cuando los esfuerzos disminuyen el polímero ya tiene un daño permanente; esto depende directamente de la viscosidad que tiene, con alta viscosidad, altos esfuerzos para poder deformar.

El efecto de la temperatura a afecta igual que en el vidrio, conforme se aumenta la temperatura, el polímero se vuelve menos



34. Relación entre el volumen específico y la temperatura en los polímeros cristalinos y amorfos.

viscoso, y hablando de los polímeros termoplásticos la afectación también depende de la estructura de la cadena.

A altas temperaturas, la viscosidad se pierde y si se produce una fuerza el polímero fluye casi sin que haya deformación elástica. La resistencia y el módulo de elasticidad se acercan al cero. Cuando la temperatura baja hasta la temperatura de fusión (T_m), el polímero se vuelve rígido, aunque las cadenas están aún altamente torcidas y enroscadas.

Conforme sigue descendiendo la temperatura, pasa a poseer una menor deformabilidad elástica y plástica, aquí es cuando su resistencia es mayor, el módulo de elasticidad aumenta y el alargamiento de rotura se reduce.

Si la temperatura continúa disminuyendo, por debajo de la temperatura de transición vítrea (T_g), el polímero lineal se vuelve duro y frágil; similar a un vidrio cerámico, de hecho anteriormente el uso de materiales plásticos en ingeniería se limitaba por la temperatura. Actualmente el ABS, el Nylon o el poliéster tienen una temperatura de transición vítrea entre 50° a 150° y mantienen buenas propiedades mecánicas a temperatura ambiente.

La temperatura de transición vítrea casi siempre esta entre 0.5 y 0.75 veces la temperatura absoluta de fusión (T_m).

Algunos polímeros cristalizan parcialmente cuando se enfrían por debajo de la temperatura de fusión, pero es mas difícil cuando está compuesto de mas de un tipo de monómero o moléculas no simétricas. La deformación del polímero entre las temperaturas de

fusión y de transición vítrea puede propiciar la cristalización enderezando las cadenas y conduciéndolas a una estructura paralela.

En los polímeros cristalinos la deformación elástica desciende, ya que las cadenas son casi rectas y paralelas entre si. Las altas temperaturas generan un mayor alargamiento en los enlaces, pero el modulo de elasticidad se mantiene alto.

Los polímeros con cadenas entrecruzadas, plásticos termoestables o elastómeros, mantienen el modulo de elasticidad en un nivel estable. Las resinas epoxi son los ejemplos mas comunes, que al mezclarse y solidificar, producen durante el curado el entrecruzamiento de cadenas y es un proceso irreversible.

- Comportamiento Viscoelástico y Viscoplastico: Los polímeros tienen un comportamiento viscoso que depende del tiempo y se debe a su estructura molecular. El módulo de elasticidades bastante mas bajo que el de Young de los metales y cerámicas.

Para entender la respuesta mecánica de los polímeros se emplean modelos mecánicos analógicos de los cuales los mas conocidos son el de Maxwell, que es un muelle y un amortiguador en serie (no toma en cuenta la recuperación viscoelástica), el de Voigt, lo mismo pero en paralelo (nos e puede aplicar en relajación de tensiones) y un tercer modelo que combina ambos (deformaciones sumatorias y un comportamiento más realista.

En la factura viscoelástica de polímeros una de las grandes diferencias con los metales es la importante influencia del tiempo en el comportamiento mecánico de la fractura.

Los procedimientos actuales que describen la tenacidad a fractura actualmente no toman en cuenta la viscoelasticidad. Los valores pueden ser validos cuando se trata de un plástico razonablemente tenaz, sin embargo, cuando el material presenta un comportamiento dependiente del tiempo, es mejor una integración viscoelástica.

- Plastificación Generalizada y Fractura: En los polímeros los procesos de plastificación y fractura son diferentes a los de los metales microscópicamente. Los polímeros no tienen planos cristalográficos, ni dislocaciones, ni bordes de grano y supone una rotura de los enlaces atómicos, hay que considerar dos tipos de enlaces: primario molecular y secundario que son fuerzas de Van der Waals entre segmentos de moléculas; La fractura se da a partir del primario, pero el secundario afectan la deformación que va después de la fractura.

Los polímeros que se ensayan a temperaturas bajas se comportan de modo frágil, por tanto los reticulares son siempre frágiles ya que no tiene enlaces secundarios y los primarios entre segmentos de cadena se tendrían que romper para deformar el material. Cuando tienen baja tenacidad y cualquier concentración de tensiones es peligrosa.

La fractura implica la separación del material de la cadena del polímero a nivel atómico, por lo que tiene gran resistencia a fractura, pero hay otros que

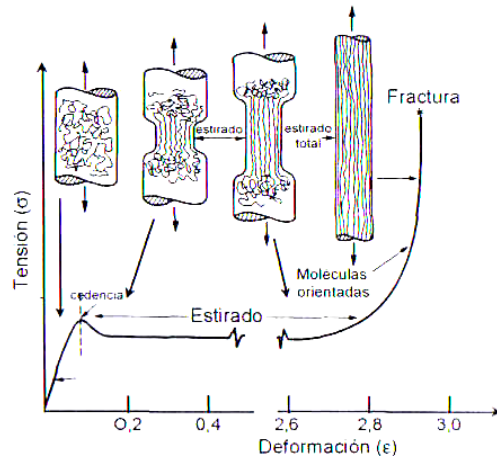
disminuyen su resistencia, como la presencia de pequeños defectos internos que actúan como diminutas grietas con alta concentración local de tensiones, además que las cadenas poliméricas no se encuentran solicitadas de manera uniforme. En polímeros amorfos el grado de desigualdad en la distribución de tensiones es mayor.

En algunos casos la fractura se da por desencadenamiento, dependiendo de la longitud de las moléculas y su entrecruzamiento.

El desencadenamiento se puede dar a partir de tensiones relativamente bajas en los polímeros entrecruzados o demasiado alineados, pero los isotrópicos con baja densidad de uniones, está relacionada con enlaces secundarios a bajas tensiones. A altas tensiones, muchos polímeros plastifican antes de la fractura.

- Fluencia Tangencial y *Crazing*: A temperaturas con 50°C arriba de (T_g), los materiales termoplásticos

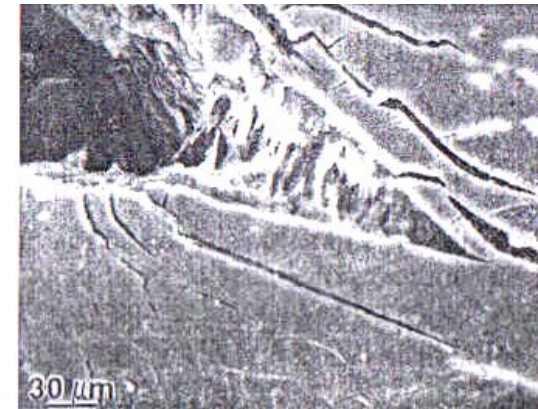
34. Estirado en frío de un polímero lineal: Las moléculas se alinean y se estiran, después de una reducción de 4, el polímero es mucho más resistente en esta dirección.



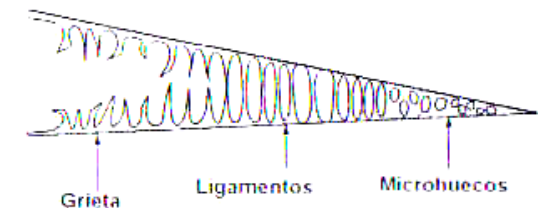
inician un comportamiento como plásticos.

A pequeñas cargas el polímero es elástico lineal, pero a medida que se incrementa su deformación las moléculas de éste se estiran y se alinean. El proceso comienza en un punto de concentración de tensiones y un segmento del fuste central enflaquece, hasta que la relación de estirado (l/l_0) es suficiente para producir el alineamiento de las moléculas, que puede ir de 2 a 4 (entre 100 y 300%).

El material es por mucho, mas resistente en la dirección de estirado y cuando este esta completado alcanzar una resistencia máxima hasta que viene la fractura, de forma que algunos polímeros presentan un flujo cortante.



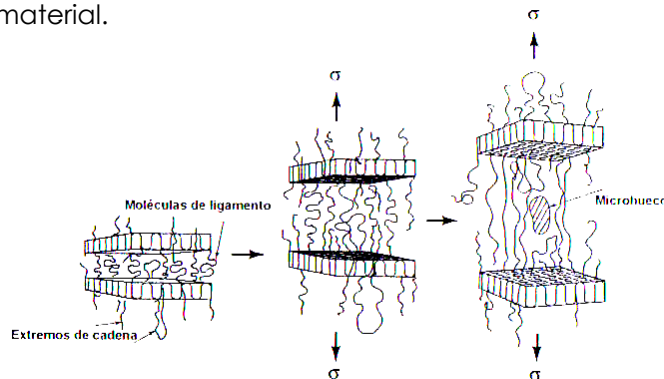
34. Esquema e imagen SEM de un *crazing* en un polímero.



Muchos polímeros como el polietileno, polipropileno y el nylon, estiran a temperatura ambiente, otros como el poliestireno, utilizado como aislante, necesitan de mayores temperatura; éste si se le pasa por un esfuerzo de tracción a temperatura ambiente, se deforma por *crazing*, deformación localizada que produce microhuecos (*voids*) y se deforma alrededor del 100%.

A nivel microscópico la zona de *crazing* aparece blanca y perpendicular a la tensión máxima principal (σ); También aparecen deformaciones menores como grietas con un sólido no deformado a su alrededor, estos reciben el nombre de *craze*, que son fácilmente visibles y precursores de la fractura.

En otras palabras cuando se aplica una tensión (σ), las cadenas comienzan a separarse y desenredan, para formar unas cavidades a lo largo del plano deformable, iniciando el *crazing*, que comúnmente empiezan por incrustaciones inorgánicas dentro del material.



34. Mecanismo de formación de microhuecos en un polímero semicristalino homogéneo, aplicándole una tensión (σ).

El *crazing* y el flujo cortante son mecanismos de fallo que rivalizan entre si, según la estructura molecular, estado tensional y temperatura. Una componente hidrostática conduce al *crazing* y una desviadora beneficia el flujo tangencial.

- Comportamiento en el Fondo de Grieta
En éste tipo de conducta se asemeja a los metales, sobre todo en el mecanismo de flujo cortante, ya que también están gobernados por criterios de plastificación en el fondo de grieta; de manera que la grieta va avanzando cuando los ligamentos de unión se rompen.

Los polímeros vítreos, presentan fractura frágil ya que los procesos de absorción de energía, como el *crazing* trabajan solo en una región limitada alrededor del fondo de la grieta.

Plastificando un polímero vítreo con un líquido de baja masa molecular se consigue promover una rotura dúctil, pero el plastificado sufre una gran reducción en el módulo elástico y en su temperatura de transición vítrea.

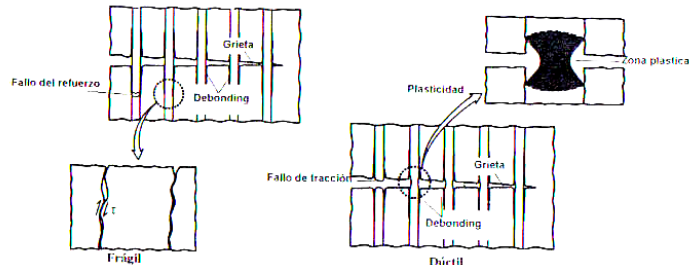
- Materiales compuestos con fibras
 - Plásticos reforzados con fibras: Los materiales poliméricos tienden a comportamientos isotrópicos y su comportamiento es similar a los homogéneos. Pero, los materiales de matriz polimérica reforzados con fibras se comportan de forma anisotrópica y sus propiedades mecánicas son direccionales, por lo que los fallos son delaminación y micropandeo.

Cuando una matriz se combina con un esfuerzo resistente y de alto módulo elástico el material

resultante tiene una mayor relación resistencia/peso y rigidez/peso.

La fractura en estos materiales esta controlada por numerosas microgrietas distribuidas en el material y no por una grieta macroscópica.

Una carga de tracción que produce el agrietamiento de la matriz puede generar que las fibras se rompan, y funcionen como puentes uniendo los bordes de agrietamiento o que las fibras se desprendan de la matriz.



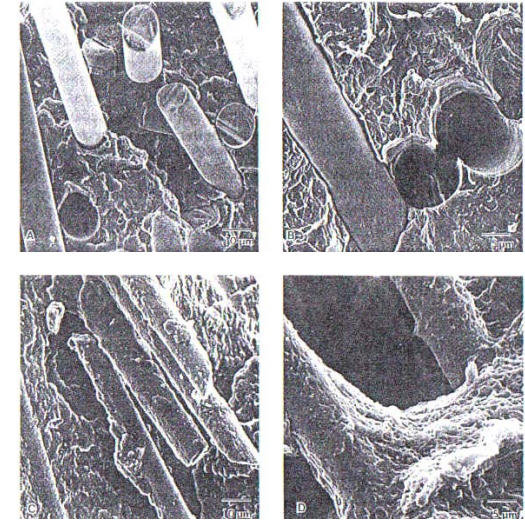
34. Esquemas de algunos mecanismos de fractura en compuestos.

Otro modo de esfuerzo de tracción puede producir una rotura de fibras, sin que la matriz se afecte, aunque la resistencia del compuesto quede disminuida. Los esfuerzos de compresión producen micropandeos de las fibras; como la matriz es suave en comparación con las fibras, las fibras se comportan de forma inestable en esfuerzos de compresión. Estos producen delaminación por pandeo a nivel macroscópico.

La delaminación puede producirse en los modos I y II de fractura y el remedio es el colocar fibras en diversas direcciones, lo cual es costoso; esto esta

relacionado con la tenacidad a fractura de la matriz del material.

34. Fractografía SEM de un compuesto reforzado con fibra de vidrio, con distintos tipos de adhesión: (A) poca adhesión entre fibras y matriz, (B) Huecos de las fibras, (C) fallo en la matriz, (D) Imagen C aumentada.



El compuesto formado por matrices termoestables frágiles, tiene más tenacidad que la resina sola, e inverso para matrices de alta tenacidad. Las matrices frágiles mejoran su tenacidad con el refuerzo, mientras que las dúctiles pierden tenacidad.

- Matriz: El fallo inicial más común suele ser el agrietamiento a lo largo de las fibras, a través del espesor de las láminas cuyas fibras están desalineadas respecto al eje de aplicación de carga. Este agrietamiento raramente involucra fractura de fibras y se produce a través de matriz e intercaras, debido a la baja resistencia a tracción de la matriz y a un enlace débil fibra-matriz, unido a concentraciones de esfuerzos en la intercara fibra/matriz, originados por contracciones de la

matriz durante el curado y diferencias de rigidez y coeficientes de dilatación térmica entre fibra y matriz.

La modificación de la matriz para aumentar su tenacidad, ejerce un efecto positivo en la tenacidad total que disminuye al aumentar el contenido volumétrico en fibra. Por otro lado, la interfase resultante de la interacción de una matriz polimérica con la superficie de una fibra de refuerzo, puede en muchos casos ser el constituyente que controle las prestaciones y respuesta mecánica en servicio del material compuesto. El aumento de resistencia del enlace de intercaras fibra/matriz, puede cambiar el micromecanismo de fallo, por ejemplo de un deslizamiento friccional débil de la fibra de carbono dentro de su alojamiento en matriz, a un fallo interfacial de la propia matriz. En el caso de una mala unión interfacial se observa, en roturas translaminares, abundante extracción de fibras que simplemente están embebidas en cavidades de la matriz, no pudiendo por tanto transferir cargas a la matriz y, a través de ésta, a otras fibras. Las propiedades mecánicas de resistencia en este caso son malas, aunque mejora la energía de fractura de ese mismo material. En el extremo opuesto, una buena unión interfacial da lugar a una buena transferencia de esfuerzos a nivel micromecánico, lo que mejora la resistencia en tracción paralela de un material compuesto unidireccional, aunque suele entonces suceder que el material compuesto resulta frágil con fallo súbito y catastrófico.

- Matrices poliméricas
 - Resinas termoestables (epoxi, poliéster, vinilester entre otras).
 - La resina líquida solidifica por enlaces intermoleculares; Red en tres direcciones.
 - Las propiedades varían en función de la molécula inicial y de los enlaces intermoleculares (longitud y densidad).
 - Proceso de curado: ambiente o alta temperatura (tensiones residuales); Curado posterior.
 - Son frágiles, pero el epoxi es el más tenaz entre ellos, además deforma menos en curado.
 - Poliéster: es el peor, pero mucho más económico.
 - Termoplásticos
 - No tienen enlaces intermoleculares; Sus propiedades dependen de los monómeros, o sea del peso molecular.
 - Pueden ser amorfos o cristalinos; Ambos pueden ser anisótropos según las condiciones de solidificación.
 - Son dúctiles, con buena estabilidad térmica, y resistentes a la corrosión y absorción de agua.
 - Propiedades: dependen de la temperatura y velocidad de deformación; Creep.
 - Peek (Ici): hasta los 150° mantiene sus propiedades.
 - Problema: Tg baja, pero muy viscoso y por tanto cuenta con problemas por la infiltración.
- Matrices inorgánicas
 - Matrices metálicas

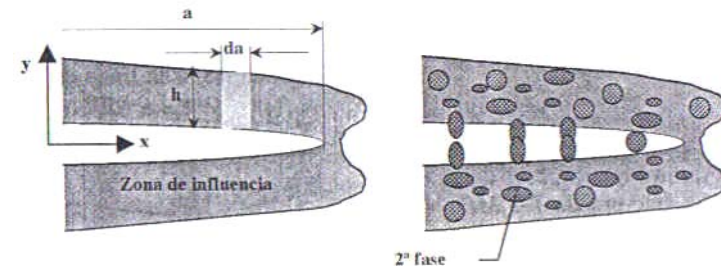
- Fundamentalmente Ti, Al y Mg; pero aleados para optimizar sus propiedades.
 - Las propiedades dependen mucho del tratamiento térmico durante su producción.
 - En principio, son dúctiles e isotrópicos.
 - En general, dan un pequeño incremento de rigidez; Se busca más abrasión, creep bajo.
 - Alta afinidad al O_2 ; reacciones químicas de intercara, en especial el Ti.
 - Matrices cerámicas
 - Vítreas: borosilicatos y aluminosilicatos
 - o Óxidos complejos vítreos, con algo de fase cristalina producida por tratamiento térmico.
 - o Temperatura de reblandecimiento relativamente baja por lo que es fácil de fabricar.
 - Cerámicas convencionales: SiC; Al₂O₃; Si₃N₄; ZrO₂.
 - o Estructura cristalina, con granos orientados aleatoriamente.
 - o Fabricación por rutas de polvos o CVI.
 - o Objetivo: incrementar la tenacidad, mecanismos disipativos, deflexión de grietas en la intercara.
 - Concreto.
 - Carbono.
- Cerámicos y compuestos de matriz cerámica: Las cerámicas tradicionales, como los óxidos, carbonos, sulfuros y compuestos intermetálicos, unidos por enlaces covalentes e iónicos, tienen muy baja tenacidad y son altamente frágiles. No presentan flujo plástico y la propagación solo tiene que vencer la energía superficial del material.

La mayoría de las cerámicas son cristalinas con una estructura ordenada a largo alcance, como los metales, pero no tienen planos densos de deslizamiento, ni movimientos de dislocaciones, de forma que son muy frágiles.

Una de sus propiedades más importantes es que tienen una alta resistencia a temperaturas y al creep y comprenden una utilización de hasta 2000°C. Pero un gran problema es la poca tenacidad que presentan.

Muchas investigaciones intentan fabricar cerámicas tenaces y los mecanismos que la afectan están divididos en dos grupos: Los de disipación de energía y los que propician la formación de puentes como en los polímeros.

Los valores son muy superiores a las cerámicas tradicionales que no tienen valores ni de un dígito de (MPa \sqrt{m}) pero aun así esta muy lejos de los metales.

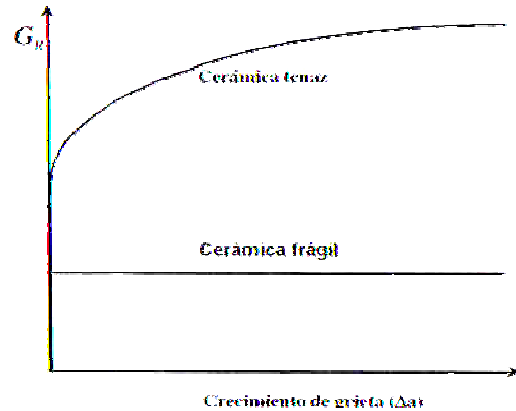


34. Figura de lado izquierdo: Zona de influencia formada por el crecimiento de grieta; Figura de lado derecho: Deformación no lineal de las partículas con puentes dúctiles.

Cuando la grieta se propaga genera una zona de influencia alrededor del borde de grieta. La tasa de liberación de energía crítica es igual al trabajo que se necesita para propagar la grieta. Obviamente las

cerámicas frágiles tienen una mínima área de deformación, mientras las tenaces tienen un área mayor.

La tenacidad a fractura del compuesto es menos que la de la matriz, porque las fibras restringían el tamaño de la zona de influencia. Por lo que se representa la curva G_R de energía y por tanto la cerámica tenaz tiene una curva que crece a medida que avanza la grieta mientras que en el caso de una frágil la línea permanece horizontal.



34. Curva GR de energía de una cerámica tenaz y de otra frágil.

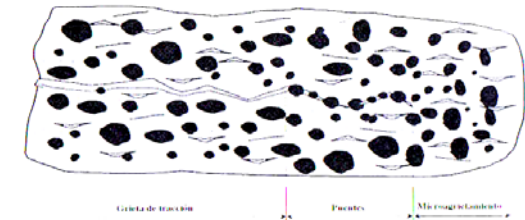
Si además existe deformación de puentes dúctiles en el borde de la grieta, las partículas no afectadas ejercen un mecanismo de puentes de unión que evitan el crecimiento de la grieta, éstos se rompen cuando alcanzan un valor crítico.

Un material cerámico muy interesante es el hormigón o concreto y las rocas naturales como el granito, los cuales tienen un nivel de tenacidad a fractura de 1-2 MPa \sqrt{m} , por lo que se consideran totalmente frágiles.

El concreto y las rocas naturales despliegan durante el proceso de fractura grietas de tamaño subcrítico que

preceden al fallo final. Existe una dependencia del tamaño, la cual es debida a que la deformación no-lineal no está causada por la plasticidad, si no más bien por el agrietamiento secundario: los primeros trabajos de fractura en concreto fallaron por tener en cuenta las zonas de influencia de las grietas macroscópicas.

En la siguiente imagen se aprecian dos modelos, en primer lugar los puentes que se generan en la parte final de la grieta como resultado de la interacción débil entre la matriz de concreto y los agregados, y en segundo la consideración de la zona de influencia como consecuencia de las microgrietas en la zona de tracción.



34. Crecimiento de grieta en el concreto.

3.1.3.2. Prevención de fracturas

Para incrementar la tenacidad es necesario que el volumen en el cual laboran estos mecanismos de disipación de energía sea grande, y es importante limitar el crecimiento de microhuecos y crazes para prevenir el comienzo y propagación de grietas.

Para evitar el mecanismo de crazing se puede incorporar una segunda fase que consiste en partículas de gomas o elastómeros en la matriz polimérica. Algunos materiales muy conocidos con este tipo de solución son el poliestireno de alto impacto y el copolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno. Otros materiales que aumentan su tenacidad con esta tecnología

son: PVC, PMMA, Polipropileno, Policarbonato, Poliamidas, y últimamente resinas termoestables como Poliéster insaturado y Epoxi.

Otros materiales plásticos se comercializan cargados con partículas rígidas para disminuir costos. Estas afectan a la magnitud de las propiedades mecánicas y pueden llegar a modificar la resistencia a la propagación de grietas produciéndose un aumento en la tenacidad a fractura.

El camino más prometedor para mejorar las prestaciones de la fractura en materiales compuestos por fibras, parece ser la disminución en el radio de las fibras.

El tipo de refuerzo condiciona el comportamiento del material frente a cargas de impacto; así, mientras materiales reforzados con tejido de fibra de carbono no presenta en su comportamiento una alteración reseñable, los compuestos reforzados con fibra de vidrio muestra un comportamiento más frágil, con una menor energía absorbida durante el impacto, por lo que se podría decir que para este material, la exposición a un ambiente húmedo combinado con una elevada temperatura altera ligeramente su comportamiento haciéndolo más dúctil, con mayores tiempos de rotura y mayor energía absorbida.

La resistencia a tracción de los materiales compuestos por fibras, no se ve sustancialmente modificada por el efecto de la humedad y de la temperatura, aunque si se puede apreciar, en los primeros días de exposición, una pequeña disminución de su tensión de rotura.

La tenacidad a fractura dinámica no se ve alterada, en periodos cortos de exposición, cuando el material compuesto se somete a unas condiciones ambientales caracterizadas por una elevada temperatura y humedad. Apreciándose incluso una mejora de sus propiedades en los primeros días de envejecimiento.

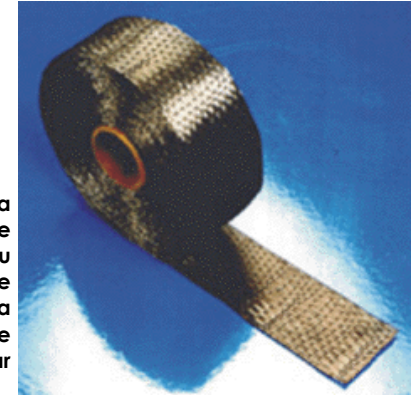
6.2. Obtención y componentes.

- Obtención: se da a partir de diversos métodos.
 - De fibras de Poliacrilonitrilo (PAN) (RR; 1967).
 - De "pitch mesofásico" (Otani, 1965).
 - Por deposición pirolítica (Oberlin, 1976).
- Elementos existentes: tiras de lámina en fibra de carbono, preimpregnada con resina epóxica, de alta resistencia y alto módulo de elasticidad, para el aplacado de estructuras de concreto armado, pretensado y de acero.
 - Laminas con y sin resina epoxi, se utiliza principalmente (MapeWrap C de MAPEI):
 - o Reparación y mantenimiento de estructuras deterioradas.
 - o Como refuerzo en elementos de concreto como vigas, columnas, etc., donde no se tenga un espacio reducido.
 - o Como tratamiento antisísmico en la parte externa de elementos estructurales.
 - o Restaurador de estructuras bidimensionales como tanques y cubiertas.
 - o Reparación de estructuras dañadas por fuego.
 - o Refuerzo en elementos estructurales como resultado de modificaciones en el diseño arquitectónico.
 - Cintas pre-impregnada de resina epoxi, se utiliza principalmente (Carboplate de MAPEI):
 - o Para reparación y refuerzos de estructuras.
 - o Reparación de estructuras dañadas por fuego.
 - o Reparación de estructuras dañadas por sismo.
 - o Restaurador de estructuras bidimensionales como tanques y cubiertas.



34. Forma de presentación de las láminas (MapeWrap C); en la imagen de lado derecho se aprecia en detalle el bidireccionado de la fibra.

- Refuerzo de vialidades después del incremento de cargas estáticas y dinámicas.
- Refuerzo de estructuras comerciales e industriales como consecuencia del incremento de cargas estáticas.
- Refuerzo de aparcamientos vehiculares.
- Refuerzo de estructuras sujetas a vibraciones.
- Como tratamiento antisísmico en la parte externa de elementos estructurales.
- Refuerzo en elementos estructurales como resultado de modificaciones en el diseño arquitectónico.



34. Presentación de la cinta de fibra de carbono, lista para su aplicación, solo se debe tomar la precaución de guardarla en un lugar seco.

- Refuerzos en materiales plásticos
- Paneles con diseños especiales sobre pedido.
- Elementos en investigación:
 - Laminados pretensados: Se trata de optimizar la capacidad de los laminados, que no son totalmente utilizada con los refuerzos pasivos.
 - Barras de fibra de carbono: La utilización de la fibra de carbono, en forma de barras insertadas en el interior del concreto.
 - Materiales compuestos híbridos: Consiste en la posibilidad de utilizar "composites" con una mezcla de fibras de carbono y de vidrio. Con esto se reducirá su costo.
 - Mejora de los adhesivos. Los adhesivos de resina epoxi tienen unas condiciones determinadas muy rigurosas. Con los nuevos adhesivos que se están desarrollando se harán más versátiles en cuanto a las condiciones de aplicación.

La fibra de carbono, como cualquier material compuesto se forma de dos elementos que en éste caso son la resina matriz (epoxi) y fibra de carbono (Poliacrilonitrilo).



+



=



34. Antes de su producción, se cortan las fibras con maquinaria de gran precisión.



34. Máquina para impregnado, ultimo proceso previo a la venta del producto realizado en la fabricación de láminas.

34. Un horno especial en donde se cuece la fibra de carbono a altas temperaturas, ya una vez puesto en el molde la fibra y la resina matriz.



6.3. Producción y Fabricación.

El proceso consiste en utilizar una base orgánica (llamada precursor) que debe tener un alto porcentaje de átomos de carbón. Mediante calor y la aplicación de tensiones se liberan todas las fracciones volátiles para dejar sólo los átomos de carbón. Se obtiene un compuesto carbón/fibra de grafito, cuyo precursor son las fibras de rayón, particularmente las que llevan los nombres comerciales Thornel-50 y Thornel-75, que son producidas por Unión Carbide.

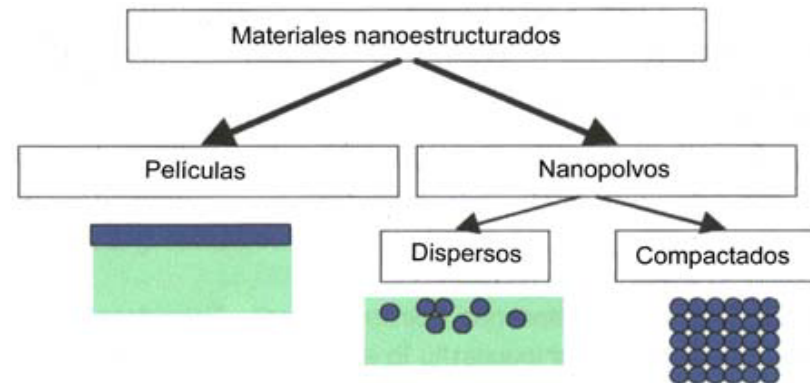
En atmósfera inerte las fibras se exponen a una temperatura de entre 2700 y 2800 °C y en esa condición se les sujeta a tensión, se estira y comprime a efecto de alinear los planos en una dirección paralela al eje de los filamentos. Estas fibras resultan irregulares en cuanto a su forma, y su diámetro va de 5 a 50 micrones.

Las propiedades específicas de cada fibra dependen básicamente del precursor particular del cual se hayan obtenido y del proceso utilizado.

Esta industria, por sus dimensiones y sus rígidos esquemas de costos, puede tener un papel extremadamente importante en la difusión de los cambios que innovan. Tales cambios, nacidos a menudo en sectores de punta sin fuertes restricciones de costos, dan origen a mercados inicialmente muy limitados. Si los cambios son adoptados por la industria constructora, el mercado se expande rápidamente, difundiéndose a otros sectores, dando origen a actividades económicas de notable entidad. Es ilustrativo el ejemplo de los materiales compuestos, creados para satisfacer las exigencias de la industria aeroespacial. Estos materiales, oportunamente modificados en sus prestaciones y costos, han sustituido a los metales en muchos componentes de la carrocería; la

demanda de materiales compuestos para los usos más variados ha crecido tanto como para devenir una actividad económica vasta y compleja, con numerosos segmentos, incluidos aquellos relacionados con la recuperación y el reciclado en gran escala. Situaciones similares se están desarrollando con la adopción de dispositivos electrónicos, sensores y catalizadores.

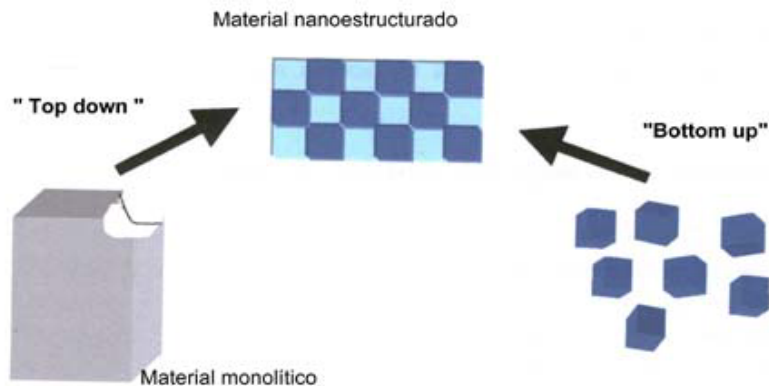
Las nanotecnologías incidirán sobre el desarrollo de nuevos materiales y sistemas que la industria de la construcción deberá adoptar en el futuro cercano; esta industria representará un salto en la expansión del mercado de materiales y sistemas nanoestructurados. Los progresos de las éstas podrán resultar el elemento crucial de nuevas actividades económicas de notables dimensiones.



34. Las distintas vías para obtener un material nanoestructurado.

Por mencionar algún ejemplo, en 1995, el sector de electrónica para el automóvil representaba, en todo el mundo, una facturación total de alrededor de cien mil millones de dólares, de 1995-2000, se ha duplicado el número de dispositivos electrónicos utilizados en el sector del automóvil en todo el mundo.

En el conjunto de los procesos de producción de materiales nanoestructurados se pueden distinguir dos alternativas, una denominada "top down", por la cual las nanoestructuras se desarrollan "grabando" un bloque de material, y otra, denominada "bottom up", por la cual los materiales nanoestructurados se producen o generan a partir de "nanobloques" de átomos.



34. Esquema de las alternativas "top-down" y "bottom-up" para la producción de nanoestructuras.

Mientras que las técnicas "top down", se utilizan principalmente en el desarrollo de circuitos eléctricos, las técnicas "bottom-up" o de síntesis permiten obtener polvos de granulometría muy fina, que pueden ser compactados para obtener productos de variadas características y dimensiones, o dispersados en el interior de otro material, para modificar de algún modo sus características; capas delgadas depositadas sobre sustratos diversos, que tienen ya importantes aplicaciones; bloques nanométricos que se pueden compactar a través de manipulación atómica con técnicas que aún están a nivel de laboratorio (ver parágrafo 4).

Desde el primer proceso usado en los primeros años de la

década del 80 (condensación de gases) hasta hoy, han aparecido al menos treinta procesos diferentes para producir materiales nanoestructurados ya sea en forma de polvo finamente dividido o ya sea como recubrimientos superficiales, o bien productos de dimensiones muy pequeñas. Se trata de una verdadera síntesis, es decir, un conjunto de procesos físicos y químicos mediante los cuales átomos y moléculas se combinan para dar lugar a un material cuya utilidad dependerá de la medida en que ese proceso permita obtenerlo en cantidad, calidad y forma acordes con su uso funcional y bajo costo. La síntesis de materiales nanoestructurados puede ser llevada a cabo mediante procesos de síntesis (en fase líquida, vapor o sólida) usados desde hace mucho tiempo para la producción de algunos materiales tradicionales; con oportunas modificaciones de los mismos para obtener estructuras nanométricas (polvos o películas delgadas). En lo que sigue se indicarán los principales procesos.

- Fabricantes:
 - CTMI
 - www.ctmi.fr
 - MAPEI
 - www.mapei.com
 - Composite Optics Inc. Miramar: San Diego, California. S,T & T: Rancho Bernardo, California.
 - R-Cubed: West Jordan, Utha
 - UAT
 - Universidad Autónoma de Tamaulipas
 - Chlorogen, Inc.
 - Continuum Photonics, Inc.
 - CSwitch, Inc.
 - Molecular Imprints, Inc.
 - NanoGram Corporation
 - NanoOpto Corporation
 - Nanopharma Corporation

- Nanotechnologies, Inc.
- Nantero, Inc.
- NeoPhotonics Corporation
- Optiva, Inc.
- Questech Corporation
- Starfire Systems, Inc.
- Fyfe Co. LLC.
- Entre otros; Su fabricación industrial se da principalmente en: Francia, Japón, Alemania, Hungría y Estados Unidos; en otros países el desarrollo solo es del tipo experimental.

• Colocación:



34. Vista de la colocación de las fibras de carbono, que sustituyen al acero, en el apoyo intermedio de un puente.

34. Aplicación de la lámina de fibra de carbono como refuerzo en una columna de concreto armado.

• Estados límite:

34. Vista de la fractura de las fibras de carbono, provocado por un exceso de carga, en pruebas realizadas en laboratorio.



34. Vista del desprendimiento entre la viga y las fibras de carbono tras esfuerzos muy altos sometida en pruebas de laboratorio.



- Transformación
La realización de piezas en "composites" destinadas a los mercados de gran difusión (automóvil, electricidad, construcción) requiere poner en práctica procedimientos de transformación muy automatizados de alta productividad. El uso de materiales preimpregnados en forma de hojas o de granulados permite obtener productos por compresión o inyección con reducidos tiempos de ciclo. La mezcla de constituyentes elementales (resina, refuerzo, catalizador, cargas) puede llevarse a cabo previamente a la conformación definitiva del producto por estampado, compresión o moldeo.

Los procedimientos de transformación de "composites" de altas prestaciones son aún manuales o poco automatizados. Son compatibles con la producción en pequeñas series de piezas de alto valor añadido (aeronáutica, deportes y recreo, medicina).

El moldeo en contacto y la proyección simultánea son, por su parte, procedimientos manuales adaptados a la producción en pequeñas series de piezas, tanto a base de "composites" de gran difusión como de altas prestaciones. Lo mismo sucede con los procedimientos de fabricación, como el arrollamiento de filamentos y la centrifugación. Estos procedimientos permiten realizar cuerpos huecos de revolución de grandes dimensiones como son los tanques destinados a la industria química y las tuberías de centrales eléctricas.

Los productos de gran longitud (vigas, perfiles y placas) se fabrican por procedimientos de impregnación en continuo. Poco desarrollada en Francia, la pultrusión permite realizar perfiles largos, principalmente utilizados para el sector de la construcción.

Para su reutilización, los polvos son usados como galgas de bajísimo valor añadido en compuestos, mientras que las fibras pueden ser integradas como refuerzos de cementos y asfaltos con un mayor retorno económico. La incineración en las plantas de cemento constituye otro canal posible. Pero los imperativos de reciclaje deberían favorecer el uso de materiales compuestos termoplásticos que se pueden reprocesar de manera más fácil.

CAPÍTULO VII APLICACIÓN DEL PROCESO

7.1. El material.

7.1.1. Definición del modelo.

En México son muy pocos los casos de estructuras, que se valgan de nuevas tecnologías y materiales, por lo que al saber que una de las obras mas grandes e importantes del país, contenía fibra de carbono en gran cantidad y tecnología de punta, se procedió inmediatamente a su investigación; El Gran Telescopio Milimétrico, construido en el Volcán Sierra Negra en el Estado de Puebla.

Para el desarrollo de las pruebas, captura de información, fotografías y entre otros; se recurrió a la empresa mexicana Grupo Adriann's de México, S.A. de C.V. ubicada en Tlalnepantla, Estado de México, la cual tiene una amplia



34. Mapa de la ubicación del Gran Telescopio Milimétrico, el punto rojo muestra el lugar exacto con las siglas LMT, justo entre Puebla y Veracruz.

experiencia y desde 1964 se a distinguido por innovar tecnología en el ámbito de las cubiertas tridimensionales, dicha empresa ganó el concurso internacional, aliado de otras compañías para la construcción del GTM.

Diseñado por la compañía alemana MAN Technology, la cual cuenta con muchos antecedentes en la misma categoría como: de la radio antena de 100 metros de diámetro de Effelsberg o el telescopio milimétrico IRAM de 30 metros.

7.1.2. Descripción, referencias y características del proyecto seleccionado.

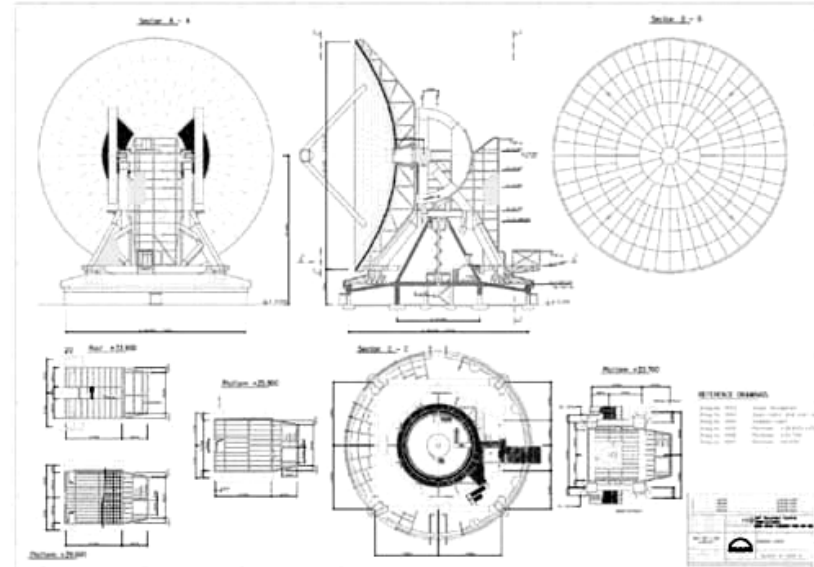
Es el único ejemplo de grandes dimensiones en México, el Gran Telescopio Milimétrico que se construye a 4581 MSNM. en la Sierra Negra en Puebla, es un esfuerzo conjunto del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) en Tonantzintla, México, la Universidad de Massachusetts (UMass) en Amherst y el INADE; construido por Grupo Adriann's de México, Man Technology.

El GTM es una antena de 50 metros de diámetro diseñada para captar ondas electromagnéticas con longitud de onda entre 1mm y 4mm, llamadas microondas u ondas milimétricas.

La construcción en el sitio junto con la fabricación de la mayor parte de los componentes de la antena avanza, estimando que el telescopio estará terminado en su totalidad a principios del 2007.

El GTM contará con sensores de temperatura y sistemas holográficos de medición de su superficie. El desempeño del GTM será mejorado mediante correcciones tabuladas para distintos ángulos de elevación y registros de temperatura. Dado que ha sido posible medir deformaciones de la superficie del telescopio IRAM inducidas por efectos térmicos y

gravitacionales, será posible hacer las mismas mediciones en el GTM para corregir estos mismos tipos de deformación. Los estudios de simulación numérica indican que el GTM será capaz de mantener la precisión requerida en la forma de su superficie en presencia de vientos de hasta 10 m/s.

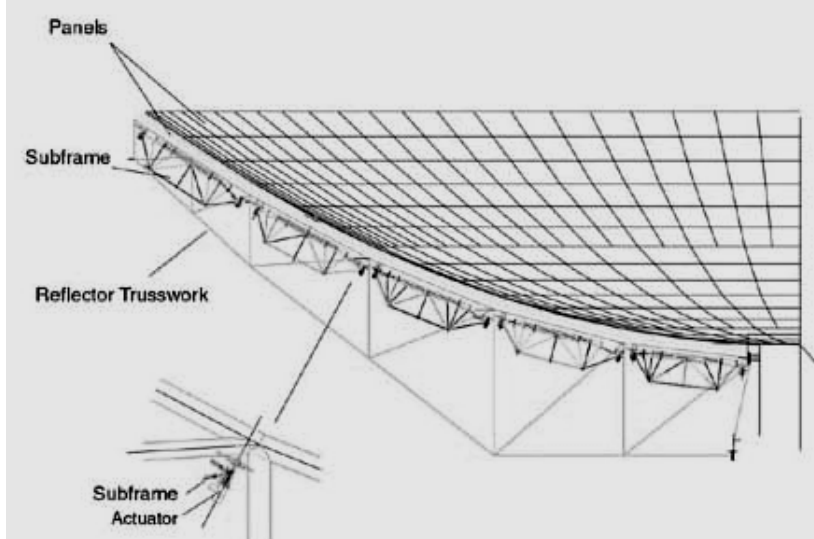


34. Planos diseñados por MAN, al completarse obtiene que las especificaciones pueden cumplirse bajo las condiciones de operación esperadas usando métodos relativamente directos de monitoreo combinados con la correlación con mediciones de la superficie y de los errores de apuntado; Composite Optics, Inc, San Diego, EUA.

El sistema inicial depende de técnicas como el uso de un modelo de apuntado, estabilizar térmicamente la antena y un diseño cuidadoso de los controladores de movimiento. Estos principios básicos serán mejorados agregando nuevas mediciones para caracterizar en detalle el comportamiento de la antena, como los sensores térmicos e inclinómetros, los cuales se cotejaran con un modelo de elementos finitos de la

antena. En el largo plazo sistemas de metrología medirán la forma de la antena y la posición relativa del espejo secundario para deducir con precisión las deformaciones de la antena y reducir su efecto en el apuntado.

El GTM requiere de un total de 180 paneles para formar la superficie de 50 metros de diámetro de su reflector primario. El requerimiento principal es proveer elementos de superficie inertes, de manera que cualquier deformación de la estructura puede ser corregida por la superficie activa. De hecho, el control de la superficie activa será mejorado permanentemente al ir refinando el modelo de la estructura y



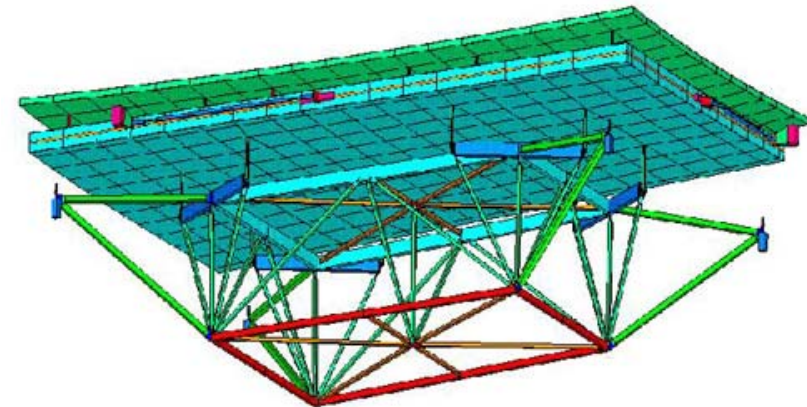
34. Relación entre los segmentos de la superficie y la estructura de la antena. Cada segmento está formado por una montura rígida sujetando un panel de la superficie. Cada montura está conectada a la estructura de soporte del telescopio mediante cuatro ajustadores de manera que su posición puede ser ajustada para compensar deformaciones del telescopio debidas a la gravedad o a gradientes térmicos, Programa de paneles del GTM, México.

el modelo térmico del telescopio. Dado que los paneles de la superficie serán el factor limitante para las futuras mejoras del

desempeño del telescopio, los errores en la forma de cada panel deben ser tan pequeños como sea posible, dados los recursos del proyecto.

Esta fue una de las grandes razones del porque se selecciono la fibra de carbono, como material de construcción para esta gran estructura, además de no corroerse, punto clave y lo mas importante, ser un material muy ligero, dado que la antena tenia grandes dimensiones.

La superficie activa utiliza segmentos montados en la estructura de soporte, mediante ajustadores. Los segmentos tienen forma de rebanadas de un pastel, de 2 o 3 por 5 metros y tienen dos componentes principales: la montura y el panel de la superficie. Las monturas, conectadas a la estructura de soporte del telescopio mediante cuatro ajustadores, proveen la rigidez de la superficie primaria.



34. Cada segmento consiste de una montura, conectada a la estructura de soporte en cuatro esquinas y un panel que forma parte de la superficie. La montura provee soporte isostático al panel en ocho puntos. Cada panel consiste de una capa delgada de fibra de carbono (ilustrada en verde) sobre una estructura rígida de soporte (en azul).

La montura está conectada al panel por ocho soportes isostáticos. El soporte se hace de manera que cada panel "levita" en los ocho puntos respectivos, distribuyendo la carga y causando distorsiones mínimas a la figura de la superficie. El telescopio está diseñado para que los paneles no se deformen, sino que solo se muevan verticalmente. Este desplazamiento vertical puede ser controlado y compensado mediante los cuatro ajustadores situados en las esquinas de las monturas.

La compañía Composite Optics Inc. (COI), en San Diego, fue la encargada de desarrollar la tecnología de los paneles, incluyendo el proceso detallado de manufactura. Los paneles son membranas de fibra de carbono soportadas por ajustadores que descansan sobre una estructura de reacción muy rígida. Los paneles se fabricaron mediante un proceso de moldes inversos con una precisión de 200 micras.

La membrana se coloca en el molde y antes de separarlas de la estructura de reacción, con sus ajustadores; es montada en la parte anterior de la membrana. Después de remover el panel del molde se mide la superficie y se mueven los ajustadores para corregir el error en la forma del panel hasta que se ubique dentro de las especificaciones (menor a 20 micras).

7.1.3. Otros casos en México.

- Balsa de concreto reforzado con fibras de carbono:³⁹ En el proyecto PUMA de la UNAM se utilizó un concreto de muy baja densidad, el peso volumétrico fue de 615 kg/m³ con una resistencia a la compresión de aproximadamente 60 kg/cm².

El refuerzo fue hecho con malla de fibra de carbono y una malla de acero; El análisis estructural fue realizado por elemento finito, lo que llevó a colocar 2 mallas de fibra de carbono y una de acero, teniendo una mezcla de mortero en la parte interna y externa de la canoa, el acabado final se recubrió con una pintura.

La canoa PUMA tiene un ancho total de 75 cm y una longitud (eslora) de 6m, mientras que su peso es de apenas 115 kg.

El proyecto en su totalidad esta valuado en US\$90, 000, que incluyen los gastos indirectos, la administración del proyecto y gastos directos.

- Referencia en el Reglamento para el Concreto estructural ACI 318⁴⁰: Aunque esta industria del refuerzo de estructuras de concreto con fibra de carbono esta comenzando en México, ya se considera en el Reglamento de construcciones actual, en donde por primera vez se hace referencia al uso de fibras de carbono, ya que aunque éstas se utilizaban no estaban reglamentadas; hoy en día está excluida la fibra corta de acero.

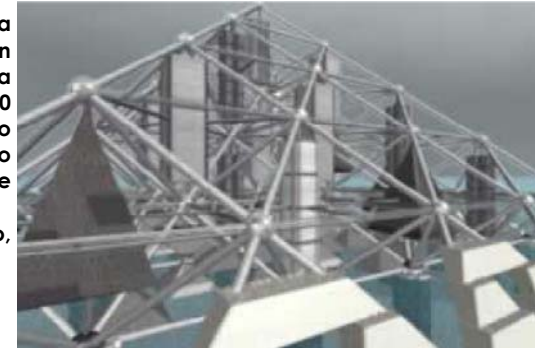
³⁹ Artículo publicado por Arturo Gaytán Covarrubias, en www.imcyc.com

⁴⁰ Hacia la armonía global, por: Laura Alba, www.imcyc.com

7.1.4. Otros casos en el extranjero.

- En la ciudad de Kobe: En Japón, tras el terremoto sufrido en 1995, se reforzaron las columnas y soportes de concreto de las autopistas rodeándolas con varias capas de fibra de carbono, por lo que no hubo que rehacerlas.
- Vigas ultraligeras: En el aeropuerto de Asturias, se ha terminado en éste 2006, un puente cuyas vigas de compuesto, pesan un 15% de lo que hubieran pesado hechas por el método convencional. Las vigas se instalaron en tres días utilizando una grúa ligera, mientras que del modo tradicional se hubieran necesitado meses y el uso de grúas pesadas.
- El Pentágono: El compuesto de fibra de carbono, fue de gran ayuda en el atentado del 11 de septiembre de 2001. El avión secuestrado chocó con la única fachada de las cinco que estaba fabricada con "composites", siendo el daño menor de lo que hubiera supuesto el choque en cualquiera otra de las fachadas. Hoy en día, todas las fachadas del Pentágono se han reforzado con materiales compuestos.
- Gran Pirámide: Diseñada para construirse cerca de Tokio, en la costa, comprende robots de auto-ensamble por las características de la obra, imposible por la mano del hombre, sobretodo por su magnitud, 55 veces mas grande que la pirámide de Keops, en Egipto, de no ser por los nanotubos de fibra de carbono con la que esta proyectada, 10 veces mas resistentes y 10 veces mas ligeros que el acero, se hundiría por su elevado peso.

34. Ciudad en una pirámide, con capacidad para más de 800,000 personas, foto tomada del sitio de Internet de Discovery Channel, Tokio, Japón, 2020.



7.2. Resultados Obtenidos

7.2.1. Comparación de los materiales tradicionales con los nuevos y los nanoestructurados.

Si comparamos dos pedazos de materiales con un volumen idéntico, por ejemplo, dos cubos sólidos de cobre de un centímetro cúbico, la diferencia estriba en que en el interior del pedazo de material común, sus moléculas están organizadas en granos con poblaciones típicas de miles de millones de átomos, cuya dimensión granular oscila entre micrómetros y milímetros de diámetro. En el pedazo del material nanoestructurado, los granos moleculares tienen un tamaño máximo de 100 nanómetros de diámetro y tienen poblaciones granulares menores a decenas de miles de átomos. Por consiguiente, los granos nanoestructurados son entre mil y cien veces más pequeños que los de un material común, y además, dentro del mismo volumen poseen el 0.001 por ciento de átomos. Lo anterior significa un ahorro increíble del componente dentro de cada pedazo de material nanoestructurado y, por consecuencia, una ligereza en peso de hasta mil veces menor que lo normal. Esta distinción física permite también obtener prioridades y características nuevas, únicas y sorprendentes.

Los materiales constituidos por nanoestructuras se presentan bajo diversas formas que, a primera vista, no difieren de los materiales estructurados a escala normal. Estos, pueden ser utilizados ya sea bajo la forma de piezas finales, o bien como capas delgadas o recubrimientos superficiales de materiales convencionales. Las diferencias sustanciales con los materiales de estructura normal tienen que ver con sus propiedades y la posibilidad de modificarlas mediante la manipulación de sus estructuras a nivel de los átomos que los componen.

Los granos de los materiales comunes microcristalinos pueden contener millones o miles de millones de átomos, la mayor parte de los cuales se encuentra en el interior de los mismos, y en consecuencia están poco influenciados por las interfases entre los granos (bordes de grano). Estas interfases tienen propiedades distintas de las de la masa del material, pero representan solo alrededor de un 1 % del volumen de un trozo de material policristalino usual, y por lo tanto tiene una influencia limitada sobre las propiedades del trozo en su conjunto. En otras palabras, una partícula de un material cuyas dimensiones lineales sean del orden de algunas centésimas de milímetro (aprox. 10.000 nm), tiene las mismas propiedades que una pieza de dimensiones macroscópicas del mismo material. En vez, en las nanoestructuras, de dimensiones de cien a mil veces inferiores, constituidas por un número relativamente pequeño de átomos, las propiedades dependen también de sus dimensiones en cuanto las superficies que limitan a estos nanogranos ejercen una influencia notable sobre el conjunto de los átomos del agregado. Si los nanogranos se agregan para constituir un sólido nanoestructurado, los "bordes de grano" representan alrededor del 50 % del volumen del sólido. Así, a igual composición química, el sólido constituido por estos agregados tiene propiedades distintas a las que tiene el agregado policristalino normal.

Por ejemplo, las cerámicas, caracterizadas normalmente por su dureza, rigidez y fragilidad, pueden ser producidas con mayor tenacidad y con dimensiones finales extremadamente precisas, sin posteriores trabajos de acabado; los metales nanoestructurados presentan una resistencia mecánica 4 a 5 veces mayor que la de los mismos metales en su forma microcristalina habitual; los catalizadores, ampliamente utilizados en las industrias químicas, petroquímicas, farmacéuticas y sistemas de reducción de la contaminación ambiental, si están constituidos por nanoestructuras tienen una

reactividad más elevada que la que presentan los catalizadores normales, y pueden conferir también propiedades catalíticas a materiales menos costosos; los nanocompuestos poliméricos, además de ofrecer una extraordinaria relación resistencia/masa, pueden llegar a ser buenos conductores eléctricos.

Todos sabemos que dependiendo del material que utilizamos, tenemos muchas propiedades distintas uno de otro, por lo que si utilizamos madera para una viga de pequeñas dimensiones, va a ser mucho mas ligera que una de concreto, pero si las dimensiones aumentan, no tendremos otra posibilidad, dadas sus cualidades que utilizar madera laminada, concreto armado o acero, inclusive, y cada una de estas posibilidades tienen diferentes características, por lo que una comparación de un material existente, con uno desarrollado con nueva tecnología, puede ser abismal.



34. Pirámides de experimentación, compuestas de acero, aluminio y fibra de carbono.

Un experimento de comparación entre materiales utilizados en tres distintas épocas y con grandes diferencias de costos, que se realizó en Grupo Adriann's de México; en la cual el acero, el aluminio y la fibra de carbono, fueron comparados, y advertidas sus distintas características de corrosión, peso y resistencia. Se creó una estructura tridimensional de los mismos elementos y dimensiones, las cuales se pintaron del mismo color y con la misma textura para sobretodo, ver el impacto en

las personas, pareciendo el mismo material.

- Corrosión: Sometido a sustancia que corroe el material, las que presentaron mejor protección contra la corrosión fue el aluminio, pero fue ampliamente superada por la fibra de carbono.
- Resistencia: Probando esta capacidad, sin llegar a sus estados límite, se obtuvo que la resistencia de la fibra de carbono, es más de diez veces mayor, con respecto al acero y cuatro con el aluminio.
- Peso: Es la única característica que se puede observar, con solo sostener cada una de las pirámides, y es tan grande la diferencia entre el acero, el aluminio y la fibra de carbono, que es muy probable pensar que la gran brecha que existe entre el acero y la fibra de carbono, es directamente proporcional a su resistencia.
- Costo: es notable la diferencia entre ligereza y resistencia, éstas son similares a la discrepancia del costo, ya que es de 6 a 10 veces más costosa la fibra de carbono que el acero.

7.2.2. Posible desarrollo industrial y costos.

La demanda es muy significativa y su detonación vendrá rápidamente. Los consumidores actuales o potenciales de estos productos, pueden ser empresas industriales de servicios, pequeñas o grandes, así como grandes organismos públicos. Sin embargo, el mercado existirá en la medida en la cual los productores tengan capacidad de desarrollar los usos en estrecha colaboración con los consumidores y el costo en que éstos los puedan adquirir.

En los países más desarrollados tecnológicamente se puede reconocer un sector embrionario de las nanotecnologías del cual comienzan a perfilarse las características de la oferta y la demanda, incluidas las de instrumentación científica de

proceso y control. La oferta de materiales y sistemas nanoestructurados está en gran medida concentrada en pequeñas empresas de reciente formación nacidas, en su mayoría, de las universidades o entidades de investigación, tal es el caso del Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM, que cuenta con líneas de investigación específicas para el estudio de nanomateriales. Las grandes empresas, muchas de las cuales llevan a cabo trabajos de exploración y desarrollo sobre las nanotecnologías, parecen por el momento orientadas a integrarlas en sus productos finales.

En la actualidad operan en el sector de la producción divisiones de grandes grupos industriales así como empresas independientes de dimensiones medias y pequeñas, proponiendo al mercado una variedad muy amplia de productos. También la demanda es muy variada y por lo tanto presenta notables espacios para nuevas iniciativas empresarias.

Serán entonces necesarias acciones eficaces de promoción y de asistencia a los utilizadores potenciales en el diseño, en las etapas intermedias y finales de la fabricación, en los controles, ensayos, etcétera.

Las nuevas empresas calificadas tecnológicamente que nacen en el ámbito de universidades y entidades de investigación, pueden dar una contribución de gran valor a la difusión de las nanotecnologías, los nuevos materiales y la instrumentación relacionada con ellas.

Las modificaciones de las propiedades de los materiales tradicionales y la invención de materiales nuevos fueron procesos que ocurrieron muy lentamente, en su mayoría de manera empírica. Desde los primeros decenios del siglo XX se hizo cada vez más evidente la contribución del conocimiento

científico que ha descubierto y difundido, materiales nuevos en su momento, como el aluminio y los plásticos. Éstos conocimientos también han permitido el desarrollo de métodos de observación y control, y más recientemente, de consumo, contribuyendo así a transformar sectores enteros de la actividad económica y a configurar la fisonomía de la moderna sociedad industrial.

En el caso específico de las industrias de materiales se puede constatar hoy un panorama profundamente cambiado con respecto al pasado: de la fuerte duración de las grandes empresas productoras y de transformación de grandes masas de materiales, se ha pasado a una situación de mayor variedad con numerosas empresas de dimensiones medias y pequeñas que responden a una demanda fuertemente diversificada, ocupando nichos de mercado de muy alto valor agregado.

Las nanotecnologías, pueden representar un salto cualitativo sin precedentes en la larga historia del desarrollo de los materiales. Pues en efecto, se puede prever que estas tecnologías contribuirán a una renovación profunda del sistema socioeconómico, gracias a la utilización final de los materiales y sistemas en la producción de bienes y servicios, y creando nuevos esquemas de consumo y actividades productivas.

La NSF⁴¹, en el documento "Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology" estima, que para el 2011, el mercado mundial de productos y servicios nanotecnológicos andará por el orden de más de un trillón de dólares anuales, un ejemplo de esto incluyen:

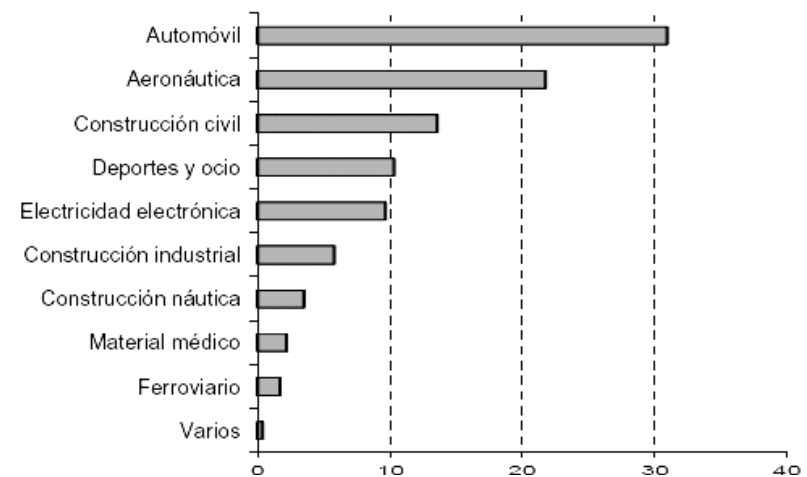
⁴¹ Fuente: National Science Foundation, www.nsf.gov/crssprgm/nano/

- **Manufactura:** Se estima que los procesos y materiales nanoestructurados incrementen su impacto en el mercado en cerca de 340 mil millones.
- **Electrónica:** La proyección es alrededor de los 300 mil millones para la industria de los semiconductores y la misma cantidad en venta global de circuitos integrados.
- **Farmacéutica:** Cerca de la mitad de toda la producción puede depender de la nanotecnología, superando los 200 mil millones.
- **Plantas químicas:** Los catalizadores nanoestructurados con aplicaciones en la industria petrolera y en los procesos químicos se estima en un impacto anual de 100 mil millones.
- **Transporte:** Los nanomateriales y dispositivos nanoelectrónicos producirán vehículos ligeros, rápidos y seguros, a un menor costo, más durables y confiables; carreteras, puentes, autopistas, cañerías y sistemas de rieles; sólo los productos aeroespaciales tienen un mercado proyectado de cerca de 70 mil millones de dólares.
- **Sustentabilidad:** Puede mejorar la producción agrícola para una población en crecimiento, proveerá filtros y desalinización del agua más económicos, posibilitará fuentes de energía renovables, tal como la conversión altamente eficiente de la energía solar; en donde las proyecciones indican que avances en iluminación basados en nanotecnología tienen el potencial para reducir el consumo global de energía en más del 10%, ahorrando 100 mil millones de dólares por año, con una correspondiente reducción de emisión de 200 millones de toneladas de carbón.

En el mundo, entre 20000 y 25000 empresas dedican lo esencial de su actividad, a la transformación de materiales compuestos, empleando a unas 800.000 personas. El tejido

industrial está constituido sobre todo por pequeñas y medianas empresas. Entre proveedores de materias primas de gran tamaño que justifican altos precios con la compra de pequeñas cantidades y grandes sectores que pueden imponer sus exigencias, estas empresas de pequeño tamaño y dispersas, sufren importantes presiones sobre los precios.

Para hacer frente a ello y acceder a otros mercados, estas empresas desarrollan estrategias de valorización, innovación y asociación industrial. Tal es el caso del GTM en México.



34. Esquema del porcentaje de consumo en las distintas industrias, estimaciones de Nodal Consultants, 2005.

En Francia, la producción de materias primas para fibras de vidrio (Saint-Gobain Vetrotex) y resinas básicas de poliéster y polipropileno (Elfatofina), es suficiente; La producción de fibras de carbono sigue estando en manos de Japón (Toray, Sumitomo), mientras que la producción de resinas innovadoras está en manos de grupos químicos internacionales (Du Pont,

Ems, Bakelite AG). Esta globalización en la producción de diversos materiales compuestos puede tener con el tiempo una influencia negativa o positiva, en el desarrollo equilibrado del sector, si no se crean asociaciones entre las distintas empresas.

La industria nacional de la transformación de materiales compuestos conserva un avance tecnológico con relación a los demás países latinos. Sin embargo, el reducido desarrollo en México de diversos procedimientos constituye un obstáculo notable, particularmente para el mercado de la construcción.

Para las empresas del sector, la innovación es un medio privilegiado para hacer frente a los imperativos cruzados de sus proveedores y sus clientes. Algunos innovan, poniendo en el mercado, nuevos productos; Otros desarrollan nuevos procedimientos poniendo a prueba métodos o herramientas más rápidas y más potentes. Finalmente, las empresas deben innovar poniendo en práctica herramientas de diseño eficaces.

Los planes innovación se concreta menos en países que no contemplan el registro de patentes.

Evaluar las prestaciones de los materiales compuestos, desarrollar los medios y procedimientos para caracterizar los productos, validar las tecnologías de reciclaje de los materiales compuestos son tres retos importantes de la investigación desarrollo. Para las empresas del sector, el trabajo en asociación es necesario para hacer frente a tales retos.

La demanda ya es significativa y se elevará rápidamente. Los utilizadores actuales o potenciales de estos productos y servicios, reales o potenciales, pueden ser empresas industriales de servicios, pequeñas o grandes, así como grandes organismos públicos. Sin embargo, el mercado existirá

en la medida en la cual los productores tengan capacidad de desarrollar estos, en conjunto con los consumidores. Ellos, a su vez, podrán beneficiarse de los efectos que estos productos podrán tener sobre su competitividad, en la medida en que sean capaces de definir mejor sus exigencias y el modo de satisfacerlas, en estrecha colaboración con los productores.

La instrumentación científica juega un papel fundamental, sea porque hace posible el progreso en los más variados campos de la innovación, sea como sector de empleo de productos y servicios basados en las nanotecnologías. En la actualidad operan en el sector de la instrumentación divisiones de grandes grupos industriales así como empresas independientes de dimensiones medias y pequeñas, proponiendo al mercado una variedad muy amplia de productos. También la demanda es muy variada y por lo tanto presenta notables espacios para nuevas iniciativas empresarias. Entre los diversos factores que condicionan el desarrollo industrial de las nanotecnologías se deben considerar, en primer lugar, los altos costos. Para disminuirlos es necesario actuar conjuntamente de dos maneras:

- La investigación sobre procesos, simplificando las tecnologías y los métodos de control.
- La difusión amplia de los materiales nanoestructurados y de las soluciones tecnológicas basadas en las nanotecnologías.

En la actualidad en México:

Total de ramas industriales productoras de materiales para la industria de la construcción: 38

- Participación de los materiales de construcción en el Producto Interno Bruto (PIB) en 1998: 25.8%
- Número de establecimientos de la industria de materiales de construcción en 1998: 61,974
- Participación de los materiales de construcción en las exportaciones totales mexicanas en 1997: 3.4%

- Composición de las exportaciones de materiales de construcción en 1997: con procesos manufacturados 73.6%; fabricación de otros productos, minerales no metálicos 24.7%; extracción de otros minerales 1.7%
- Participación de los materiales de construcción en las importaciones totales mexicanas en 1997: 1.7%
- Destino de las exportaciones de materiales de construcción en 1997: Estados Unidos y Canadá 83.2%; Centro y Sudamérica 11.3%; Unión Europea 3.4%; Sudeste Asiático 1.1%; otros 0.9%
- Exportaciones de materiales de construcción con mayor tasa de crecimiento en 1997: grifería 59.5%; productos de vidrio 48.3%; productos pétreos 45.6%
- Países o regiones con mayores gastos en materiales de construcción en 1997: Estados Unidos, Japón, Unión Europea y México
- Composición de las importaciones de materiales de construcción en 1997: minerales no metálicos 24.8%; minerales metálicos 45.4%; con procesos manufacturados 29.8%
- Principales materiales de construcción exportados en 1997: cemento y sus manufacturas 26.2%; alambre, tubos y artículos de acero 15.6%; losetas, pisos y muebles de cerámica 13.3%; alambre, tubos y artículos de cobre 10%
- Total de entidades productoras de materiales de construcción: 15
- Número de empleos generados por la industria de materiales de construcción en 1998: 491,404
- Composición de las importaciones mundiales de materiales de construcción en 1997: madera, paneles, cimbras de madera reconstruida, marcos de puerta 33%; metales no ferrosos, hojas, alambres, estructuras, tubos de aluminio y cobre, y otras manufacturas 19%; eléctricos y metálicos, equipos de luz, aire acondicionado, estufas, hornos y cerraduras 18%;

minerales y sus manufacturas, cal, yeso, cemento, grava y arcilla 13%; acero y hierro, estructuras, partes, mallas de alambre, tubos, válvulas y piezas fundidas 12%.

Según The Motley Fool, los inversionistas de las bolsas de valores piensan, que la inversión privada en la nanotecnología, tendrá un impacto en muchos sectores importantes y, a lo largo del tiempo, acabará creando todo un nuevo sector, tal como ocurrió con la industria de las tecnologías como Nasdaq, pero con un mayor impacto.

Para los inversores en nanotecnología es importante saber distinguir entre un "nanofalsificador" y "nanocreador". La clave en este sentido se deriva de dos cuestiones: la propiedad intelectual (IP) y acuerdos de colaboración entre sociedades. Empresas que tienen un portafolio de marcas propias están en vías de desarrollar una base comercial y demostrar que sus productos se están creando sobre una sólida base científica.

Sin embargo, dado que algunas empresas se apropian de marcas simplemente para ostentar una calidad que no tienen, hay que profundizar en más detalles antes de realizar una inversión. Investigando si tienen relaciones comerciales con otras empresas, volumen de su producción y ventas. Aquellas empresas que cuentan con una lista de clientes importante, relaciones comerciales sólidas y una historia reciente de ventas y producción son las que ofrecen más garantías para una inversión, aunque no son las únicas.

El sector de la construcción empieza a entrar en el mundo de los avances tecnológicos, y se está empezando a investigar formas en las que la nanotecnología puede aportar mejoras a la construcción de carreteras, puentes y edificios.

En el artículo, "Small Science will Bring Big Changes to Roads",⁴² se explica como las actuales investigaciones en polímeros podría llevar a una situación en la que las barreras protectoras en las carreteras arreglen sus propios imperfectos causados por choques de vehículos.

La aplicación de la nanotecnología en las carreteras y la construcción también hará posible identificar y reparar de forma automática, sin intervención humana, brechas y agujeros en el asfalto o en el concreto, y fabricar señales de tráfico que se auto limpien. Se utilizará la nanotecnología para fabricar acero y concreto más resistentes; y colocado nano sensores, se podrá vigilar el estado de estructuras como puentes y detectar cualquier anomalía o riesgo.

7.2.3. Nuevos materiales ya existentes en el mercado o de cercana comercialización.

En el mercado tecnológico tenemos ahora nuevos productos como los óxidos superconductores, el carbono molecular, los polímeros conductores e incluso los metales transparentes y con memoria.

Las aplicaciones señaladas se encuentran actualmente en diversos estados de desarrollo. Si bien por el momento son pocas las aplicaciones que se encuentran ya en el mercado, los ejemplos citados permiten prever que en el futuro cercano, la demanda de dichas aplicaciones crecerá rápidamente.

Algunas aplicaciones ya están presentes en el mercado o cercanas a su introducción en el mismo, otras previsiblemente, lo harán dentro de pocos años:

- Sensores de gas destinados a detectar la presencia de gases nocivos en ambientes internos y externos, o de

aromas que caracterizan la calidad de bebidas y productos alimenticios ("nariz electrónica").

- Sistemas fotovoltaicos de alta eficiencia para la conversión de energía solar.
- Nuevos materiales de elevada relación resistencia/masa para aplicaciones aeroespaciales, ingeniería biomédica y en medios de transporte.
- Embalajes inteligentes de productos alimenticios que indiquen el estado de conservación.
- Pantallas de televisión más livianas y funcionales.
- Técnicas de diagnósticas basadas en el sistema " Lab-on-a-chip", que es similar a la computadora de los automóviles injertada en seres humanos para saber su estado de salud.
- Cosméticos para protección de la radiación solar.
- Tratamientos superficiales de protección de piezas metálicas y de vidrios ópticos.
- Materiales poliméricos nanocompuestos impermeables para embalaje de productos alimenticios.
- Materiales para filtración y catálisis de hidrocarburos.
- Materiales auto limpiantes, ya sean cerámicos, metálicos, vidrios o compuestos

Se prevé que en el mediano plazo, podrán estar en el mercado las siguientes aplicaciones:

- Recubrimientos superficiales con mayor resistencia a la corrosión, a la fricción y al desgaste.
- Herramientas de corte de altísima tenacidad y fragilidad reducida.
- Pantallas planas para televisión basadas sobre la electrónica de polímeros.
- Nuevas prótesis y otros implantes para la implantación en vivo.
- Técnicas de trabajado de partes para la micromecánica y la microelectrónica a escala de 100 nm.

⁴² Publicado por Better Roads y citado por Nanodot

7.2.3.1. Madera

Madera Laminada unida por adhesivo: Los elementos de madera laminada están formados por un número determinado de láminas, ubicadas paralelamente al eje del elemento. A su vez, las láminas están compuestas por una o más tablas de madera unidas de canto, cuya fibra es paralela al largo de la pieza. Por razones de economía fundamentalmente, se ha llegado a la conclusión que el espesor de las láminas no debe ser inferior a 19mm, ni sobrepasar los 51mm.

El adhesivo permite el uso de tablas cortas y angostas que, unidas entre sí en forma eficiente pueden conformar elementos estructurales de mayor envergadura que las posibles de producir de una sola pieza, además no se restringe su forma dando la opción de una riqueza formal muy apreciada y éste es 10 veces más adherente que los primeros que se utilizaban.

El método de fabricación permite el uso de láminas de menor calidad en las zonas de baja resistencia, con la consiguiente economía, y utilizar madera de mejor calidad sólo en las zonas de mayor sollicitación. Además es posible utilizar madera de distintas especies.

Sus grandes dimensiones en la sección transversal, la hacen más resistente al fuego que los elementos de acero, diseñadas para soportar la misma carga. Estas se queman más lentamente y resisten la penetración del calor, contra las estructuras de acero que colapsan. Esto no significa que la madera laminada no sea combustible sino que el avance de combustión es muy lento, gracias a los avances en recubrimientos.

Las principales aplicaciones de ésta son en edificios con grandes claros, donde se requiera de vigas rectas de hasta 30

metros de luz, o marcos de 60 m. máximo, o de elementos con curvatura como arcos con más de 100 m. de claro.

7.2.3.2. Adobe

Adobe de alta tecnología: La combinación de barro y arcilla permanece inalterada, en este tipo de adobe se le agrega un nuevo componente: asfalto emulsionado. Esta emulsión cuando se le mezcla con agua, barro y arcilla, dependiendo de la proporción, se obtiene un ladrillo de adobe resistente al agua (semiestabilizado) o totalmente impermeabilizado (completamente estabilizado).

Adobe confinado o Superadobe: la misma mezcla con la que se forman los bloques de barro, se introduce en un saco, estos se apilan y entre hilada e hilada se anexa alambre de púas para agruparlo.

7.2.3.3. Ladrillo

Ladrillo destonificado: Con el acabado de una cara aparente, ésta comercializado por Cerámica Pierola en tres medidas (28,3x13,5x5/6 cm. y 24x11,5x5 cm.), especialmente diseñado para obtener óptimos niveles de absorción y succión e aire, evitando la actuación de las filtraciones, humedades y eflorescencias.⁴³



34. También hidrófugo, el ladrillo de la Cerámica Pierola brinda diversas ventajas.

⁴³ Publicado en la página de la empresa: <http://www.dcpal.com/>

7.2.3.4. Textiles

Textiles extremos: Elaborados en hilos de alta tecnología, "Hoy existen muchas más áreas en las que se emplean los textiles que antes", dijo Matilda McQuaid, directora del departamento de textiles del Museo Nacional de Diseño Cooper-Hewitt, donde se exhiben 150 obras que ilustran los avances de las ciencias de materiales.

Por ejemplo en New York; un recipiente de tela contiene un corazón debilitado, y lo ayuda a bombear sangre. La electricidad fluye a través de las hebras de una camisa de lana alimentada con pilas, para mantener al usuario caliente. Fibras de carbono son trenzadas dando forma a una estructura que se asemeja a un hongo, pero que constituyen el prototipo de una válvula de un motor. Otras fibras toman la forma del cuadro de una bicicleta o de remos⁴⁴.

7.2.3.5. Concreto

Concreto Translucido: Es una innovación tecnológica creada en 1997 por el arquitecto húngaro Áron Losonzi, aunque el primer prototipo fue hasta el 2002. Este concreto, logrado con fibra de vidrio, no sólo permite explorar diferentes usos de la iluminación natural en la construcción, sino que ha abierto



34. Muro de concreto translucido en una vivienda de Hunarí. foto: Áron Losonzi.

⁴⁴ Por Kenneth Chang de The New York Times

nuevas líneas en el diseño de muebles y en el uso de materiales para la creación artística. Una pieza de arte que intercalaba en su superficie pedazos de vidrio y de concreto, y las figuras creadas por la iluminación sobre fibra de vidrio en el Museo de la Luz de su natal Hungría, despertaron la curiosidad del recién egresado de arquitectura de la Universidad Tecnológica de Budapest y lo llevaron a experimentar y crear algo nunca antes visto: el concreto translúcido. Litracon (Light-transmitting concrete) es un concreto precolado, trasmisor de luz, que entremezcla en su estructura pedazos de fibras de vidrio.

Dichos bloques permiten ver con nitidez las sombras de los objetos que se encuentran del otro lado, sin importar su grosor, el cual puede oscilar entre dos centímetros y tres metros, y también pueden fabricarse en distintos tamaños. El máximo logrado es de 30 por 60 metros, aunque se sigue trabajando para hacer piezas más grandes. La fibra puede ser de plástico o de vidrio y es posible, incluso, cambiar sus colores y acomodo para generar distintos efectos visuales. La proporción de fibra se puede variar para jugar con la intensidad de la luz, aunque por lo general se usa al cuatro por ciento.

Resiste cargas de 49 N/mm², suficiente para cargar muros; tiene un patrón de ruptura semejante al de la madera y cuenta con una resistencia a la torsión que lo hace capaz de ser utilizado para escaleras. Además de poder dársele los usos del concreto ordinario, tiene la ventaja de mostrar aspectos de los exteriores o permitir el paso de colores. Su técnica de fabricación requiere tal precisión para acomodar las fibras horizontalmente y lograr el efecto deseado con la luz, que su costo de producción es muy alto; sería necesario un trabajo de ingeniería para lograr un proceso más costeable que los mil 500 dólares por metro cuadrado, con 10 centímetros de grosor.

En México Joel Sosa y Sergio Galván, estudiantes de ingeniería civil en la Universidad Autónoma Metropolitana, son inventores de un concreto translúcido; Sus creadores, indican: "es aproximadamente 10 veces mayor la resistencia de este concreto, y aseguran que el costo oscilara dentro de los 200 dólares".

7.2.3.6. Acero

Aleaciones con memoria de forma: Una cinta de material similar al latón, en forma de semicírculo, se aproxima a una flama. Pronto empieza a enderezarse hasta tomar la forma de una regla, es decir, ahora está recta. A continuación se le sumerge en un vaso que contiene agua y súbitamente se curva para tomar su forma inicial de semicírculo. El experimento se repite una y otra vez, y la cinta invariablemente "memoriza" que cuando está en presencia de una flama (60°C) debe estar recta, y que cuando está expuesta al ambiente (20°C) debe tomar la forma de semicírculo.

Microscópicamente, el llamado metal con memoria de forma consiste en el desplazamiento de los átomos en ciertas aleaciones cuando éstas se enfrían bruscamente. Técnicamente se trata de un cambio de fase denominado transformación martensítica. Esta transformación tiene la particularidad de llevarse a efecto sin difusión, es decir, sin migración de moléculas. Lo que ocurre es simplemente un desplazamiento de átomos en forma organizada, de modo que la estructura cristalina se modifica.

Si bien fue el acero el primer material en el que se observó este tipo de transformación, no es el único en el que ocurre, y tal proceso cobra particular significación cuando se observa en aleaciones no ferrosas como níquel-titanio, en la que se traduce en el efecto memoria de forma. Además, en estas aleaciones es posible obtener la transformación martensítica

no sólo mediante cambios de temperatura sino también por esfuerzo mecánico.

7.2.3.7. Aluminio

El ALON⁴⁵ o comúnmente conocido como "aluminio transparente", material extremadamente resistente a impactos y aislante de los rayos infrarrojos, ya están siendo aplicado a elementos de la construcción, como ventanas de seguridad, al igual que el "acrílico blindado", compuesto polimérico nanoestructurado, mexicano⁴⁶, sustituirán al actual frágil y peligroso vidrio común.

7.2.3.8. Vidrio

Nanocompuestos poliméricos: En los polímeros compuestos de tipo convencional (es decir, a los cuales se ha agregado un componente inorgánico no nanoestructurado, por ejemplo los plásticos reforzados con fibra de vidrio), hay una separación neta a nivel macroscópico entre las fases orgánica e inorgánica, lo que representa una limitación al mejoramiento de los materiales poliméricos; la ventaja de los nanocompuestos polímero/filosilicato es que permiten superar dicho límite, mejorando las características mecánicas y térmicas y la permeabilidad del mismo polímero, con el agregado de cantidades mínimas (del orden del 5%) de silicatos. Es importante subrayar que tales mejoras no van en detrimento del color, de su proceso, ni de la densidad aparente. Este tipo de materiales están teniendo amplia aplicación sobre todo en el campo de los envases para alimentos, por su propiedad de barrera a la penetración de los gases, de hasta 5 a 15 veces mayor que la del polímero puro y de polímeros cargados que a menudo contienen hasta un 20 - 30% de material silíceo (mica, talco o carbonato de calcio).

⁴⁵ Por su traducción en inglés del oxinitruro de aluminio nanoestructurado.

⁴⁶ Desarrollado por el Departamento de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM, en colaboración con la empresa Resistol.

Por otra parte, los nanocompuestos de silicato/polímero presentan también un poder de retardo de llama mejorado; los ensayos muestran que el pico de velocidad de la emisión de calor, que es una medida de la inflamabilidad del material, en el caso de un nanocompuesto llega a ser del 60 al 80% más bajo que el de un polímero puro. Al mismo tiempo, las propiedades mecánicas exhiben mejoras significativas, como mayor tenacidad y resistencia a la abrasión.

7.2.3.9. Plástico

Plástico vivo, investigadores de materiales en varias partes del mundo están tratando de perfeccionar la manufactura de nuevos tipos de plásticos, produciéndolos por biosíntesis en vez de síntesis química: los nuevos materiales son "cultivados" por bacterias en vez de que los científicos los mezclen en sus laboratorios. Estos materiales tienen ventajas sobre los polímeros sintetizados químicamente porque son biocompatibles y pueden usarse en aplicaciones médicas. Más aun, pueden conducir hacia el desarrollo de plásticos a partir de fuentes no petroquímicas, revolucionando una importante industria. Un ejemplo es el diseño de una E. coli transgénica que introduciéndole tres genes de dos bacterias diferentes, fuera capaz de producir una enzima que canalizará la reacción de polimerización.

7.2.3.10. Otros

Fibras de Celulosa Recicladas: Se propone la elaboración de un material alternativo a los tradicionalmente empleados para la construcción de viviendas, el cual aligere la problemática tanto del excesivo gasto de energía empleada en la climatización de las viviendas, como para la reducción, reutilización y reciclado de un residuo sólido de procedencia industrial cuya recuperación representa una extensión del período de vida útil de un recurso natural que cada vez adquiere un mayor valor.

Dicho material es un compuesto que tiene una matriz totalmente biodegradable, a partir de subproductos de fibras de papel y de cartón.

Corales: el uso de estos, no ha sido un nuevo descubrimiento, su uso se implemento desde la llegada de los españoles a América, pero se estudia la posibilidad de controlar su crecimiento para desarrollar nuevos materiales de origen biológico.



34. Columna decorada con coral de la misma región en el Fuerte de San Juan de Ulúa, Veracruz, México.

Bloques salinos: bloques formados a partir de un material natural, no disponible mas que en ciertas regiones de la tierra, pero que se al ser extraído se vuelve a formar automáticamente en poco tiempo, se recicla fácilmente e inclusive se puede reutilizar, ya existen investigaciones al respecto.



34. Bloques apilados a un costado de una edificación de muros de sal, cerca de donde fueron extraídos y que en poco tiempo se volverán a formar, Salinas Grandes, Argentina.

7.2.4. Durabilidad.

Los refuerzos realizados con sistemas a base de fibras de carbono son bastante superiores a los realizados en acero. Las fibras de carbono, al no sufrir corrosión, no son afectadas ni por ambiente marino, húmedo o con agresión química. Salvo los impactos mecánicos o una radiación solar excesiva, hay pocas cosas que puedan deteriorar significativamente a los materiales compuestos de fibra de carbono.

7.2.5. Mantenimiento.

Los materiales compuestos permiten aumentar la fiabilidad y la longevidad de las estructuras, gracias a sus cualidades de resistencia y bajo mantenimiento, garantizando también una buena resistencia a los temblores.

Sus cualidades de resistencia a la corrosión permiten reducir considerablemente la frecuencia de las reparaciones y aumentar la vida útil de las estructuras, por lo que en resumen el costo de mantenimiento es muy bajo.

CONCLUSIONES GENERALES

Si el arquitecto usa como herramienta los conocimientos de la moderna ciencia y tecnología de materiales, en combinación con procedimientos adecuados para su selección, podrá obtener materiales de construcción convenientes para la industria de la construcción, dicho es el caso de este documento.

En realidad, la solución de los materiales compuestos representa siempre para el diseñador un impulso tecnológico. Estos ofrecen, la posibilidad de realizar un producto específicamente adaptado a las prestaciones solicitadas y optimizar la relación precio/función. Pero, con relación a las soluciones alternativas, el beneficio aportado debe evaluarse desde el diseño, al mismo tiempo que las pruebas que cabe realizar. Por contra, los materiales tradicionales (madera, acero, aluminio) aparecen como una solución de más tranquilidad, puesto que sus prestaciones técnicas son bien conocidas y están bien catalogadas, casi en su totalidad, con lo cual es previsible su comportamiento durante el uso.

Con el fin de que las oficinas de diseño utilicen más los materiales compuestos, habrá que caracterizarlos más en el futuro. Esto permitirá a los diseñadores desarrollar un análisis funcional que integre todas sus aportaciones. En efecto, estos materiales padecen de una falta de modelización y normalización frente a materiales tradicionales como el acero que son objeto de normas nacionales e internacionales.

La utilización generalizada de materiales compuestos no es posible aún debido a su elevado costo de fabricación, como se planteo al inicio de ésta investigación. En la actualidad el proceso de producción de estos materiales es un proceso muy laborioso. Sin embargo, a medida que se desarrollen y

mejoren estas técnicas, será posible producir grandes volúmenes de materiales compuestos con menor costo, lo que ampliará la utilización de estos materiales en muchos otros campos. El conocerlos siempre ampliarán nuestros horizontes y se les podrá considerar en próximos proyectos para poderlos aplicar.

Sin embargo el uso de la fibra de carbono, hoy, ya es una realidad, no como material "Medular", por su alto costo, sino como una adición a estructuras existentes, ya sea para su refuerzo, reparación o restauración.

Por eso es muy importante el mostrar sus propiedades mecánicas, tal es el ejemplo de la concentración de tensiones, la fatiga y la fractura, pues el correcto uso de éste material nos revela las ventajas y desventaja con las que se cuentan para su uso en la arquitectura. Al igual es importante su duración y mantenimiento para saber cual será su permanencia y costo dentro de la obra.

Hay que tomar en cuenta que el desarrollar un refuerzo sobrelleva diversos costos emparentados, aparte de los propios de ejecución: cortar el tráfico, parar la fábrica, desalojar usuarios del edificio, etc. Estos costos, muchas veces son incluso mayores que los del propio refuerzo. Los sistemas de refuerzo con fibras de carbono son mucho más fáciles y flexibles de instalar, más rápidos, con menos necesidad de medios auxiliares y con menores molestias generadas. Por esta razón, los costos de refuerzo con fibras de carbono son sensiblemente inferiores a los de cualquier método alternativo. Éste es una de las grandes ventajas de la fibra de carbono que tiene que ser tomada en cuenta.

A futuro se podría realizar cualquier tipo de elemento constructivo a partir de las fibras de carbono, actualmente se elaboran paneles, paneles aislantes, cintas de refuerzo

estructural, postes y pernos entre otros. En laboratorio se experimenta con vigas y otros elementos estructurales.

Los científicos han llegado a reconocer que las propiedades clave de los diferentes materiales están determinadas por la manera en que están dispuestos los átomos, y por la manera en que están unidos; y no, como se suponía antes, con arreglo a los componentes elementales del material. La diferencia entre los estados sólido, líquido y gaseoso se explica por la disposición de los átomos y la proximidad relativa de las moléculas, es decir por cómo se conforma su estructura atómica.

La definición de nanotecnología y nanomateriales ya no es de ignorarse y tampoco sus aplicaciones, hasta ahora son solo algunas son las expuestas, pues como se dio a conocer en el desarrollo de éste documento, ni siquiera nos podemos imaginar hasta donde pudieran llegar los avances en el desarrollo de nuevos materiales basados en estas nuevas tecnologías y modificando la estructura atómica de los materiales tradicionales.

Tal vez la conclusión más concreta a la que llegué en esta tesis, es que la tendencia en la construcción de obras arquitectónicas con nuevos materiales se da a partir de la evolución de los que ya conocemos y que actualmente se ocupan, pues en un futuro inmediato es difícil el incorporar por completo materiales nanoestructurados, pues el costo supera ampliamente a los tradicionales.

Sin embargo el avance en los materiales actuales es exponencial y el aprovechar las propiedades de cada una de ellos, nos dar grandes ventajas en la edificación de nuestras estructuras.

Algunos ejemplos de los mostrados, son solo una pequeña parte del avance continuo que existe en el campo del desarrollo de materiales, el uso de ellos se debe tomar en cuenta por todas y cada una de sus características, y a criterio de cada diseñador, se evaluará el uso de ellos en sus obras arquitectónicas.

Lo difundido en esta tesis requiere una constante actualización, dada su característica de estar actualizados, día con día, para conocer las características y aplicaciones de los nuevos materiales en las estructuras y la industria de la construcción.

Otra corriente a la cual se inclina la manufactura de nuevos materiales es a los materiales biológico, creados a partir de la propia naturaleza, y a el reciclaje de los actuales, pues es de esperarse que el costo de ellos sea mucho menos, por su carácter de desperdicio.

Respecto a la clasificación de los sistemas estructurales y el uso de nuevos materiales en éstos:

- Tensocompresión: el avance se da en materiales cada vez más ligeros, al estar sometidos a un solo tipo de esfuerzo y al ser el de la compresión, no es necesario el uso de materiales compuestos y mucho menos con contenido de fibras.
- Tensotracción: la sollicitación de este es de un solo esfuerzo, el de tracción, por lo que las fibras aportan un gran adelanto, y los materiales compuestos se utilizan solo para que la matriz estabilice en el sentido horizontal a las fibras de manera unidireccional.
- Flexión: Una mezcla de distintos esfuerzos, requieren de distintos materiales, o un material que trabaje de forma

adecuada ante ambos, la fibra de carbono es un material, el cual puede ser utilizado en diversas direcciones por ser multicapa, pero a su vez incrementa su costo dependiendo en gran medida de éstas. Recordemos que la parte más costosa de un material compuesto son las fibras, polvos o partículas en su interior, por el momento.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- Aguilar, S. Guillermo; "El hombre y los materiales"; Fondo de Cultura Económica, ILCE; México, 2000.
- Barbero, Ever J; "Introduction to Composite Material Design"; Taylor & Francis; Páginas 21 a 40; Lugar, 1998.
- Beall & Pinck; "Nanophase Glass-ceramics"; J. American Ceramic Society, 82,1; Páginas 5 a 16; 1999.
- Boresi, Schmidt & Sidebottom; "Advanced Mechanics of Materials", Páginas 608-611; Wiley; 2003.
- Camacho Cardona, Mario; "Diccionario de Arquitectura y Urbanismo"; Trillas; México, 1998.
- Carl C. Koch; "Nanostructured Materials: Processing, Properties and Potential Applications"; Noyes Publications; New York, 2004.
- Castrillo, Argüelles & Vina; "A Comparison between the Static and Fatigue Properties of Glass-Fiber and Carbon-Fiber Reinforced Polyetherimide Composites after Prolonged Aging."; Polymer Composites; Página 619; London, 2002.
- Collins y Avouris; "Introducción de los nanotubos en el dominio de la electrónica"; Páginas 12 a 20; Investigación y Ciencia; 2001.
- Domone, Illston, Taylor & Francis; "Construction materials: their nature and behaviour"; Spon; London, 2001.
- Drexler, K. Eric; "Nanotecnología. El surgimiento de las máquinas de creación"; Gedisa; Barcelona, 1993.
- Drexler, K. Eric; "Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation"; John Wiley & Sons; New York, 1992.
- Durelli, A. J; "Applied Stress Analysis"; Prentice Hall; 1967.
- Engel, Hieno; "Sistemas de Estructuras"; Gustavo Gilli; Capítulo 0; Barcelona, 2001.

- Farias Arce, Rafael; "Léxico Básico Mecánico Estructural"; Apuntes de la Facultad de Arquitectura, UNAM; México, 1990.
- Gere, James M; "Mecánica de materiales"; Capítulos 1 a 4; Thomson Learning; México, 2002.
- Godoy, Luis A; "Mecánica Avanzada de Materiales / Fractura y Materiales"; Apuntes de clase; FCEFN de la UNC; Córdoba, 2004.
- Hernández, Fernández y Baptista; "Metodología de la Investigación"; Mc Graw Hill; México, 2003.
- Hornbostel, Caleb; "Materiales para Construcción. Tipos, Usos y Aplicaciones"; Limusa, Noriega y Wiley; México, 1999.
- Hyer, M.W; "Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials"; WBC, Mc Graw-Hill; 1998.
- Kalarda & Naumov; "Calculation of the Current Value of Stress Intensity Factor under Impacttesting"; Engineering Fractures Mechanics; Páginas 875-879; New York, 2005.
- Kalthoff, J. F; "On the Validity of Impact Energies Measured with Polymeric Specimens in Instrumented Impact Tests."; Mechanical Engineering Publications; Páginas 21-31; London, 1995.
- Kerrod, Robin; "Giant Planets"; Mayflowers Book; Páginas 48 a 53; New York, 1980.
- Kluger, Jeffrey; "Can we stay young?"; Time Magazine; Páginas 50 a 60; New York, noviembre de 1996.
- Koch, Carl C; "Nanostructured Materials. Processing, Properties and Potencial Applications"; New York, 2003.
- Laffarga y Olivares; "Materiales de construcción"; EDITAN; Sevilla, 1995.
- Lawn & Wilshaw; "Fracture of Brittle Solids"; Cambridge University Press; Cambridge, 1975.
- Letaïef, Fernández-Saavedra, Aranda & Ruiz-Hitzky; "Functional Polymer-Clay Nanocomposites for Applications as Components of Electrochemical Devices"; Sección 6.2; libro de Resúmenes del III Taller Iberoamericano sobre Educación en Ciencia e Ingeniería de Materiales, Universidad Autónoma de Madrid; Madrid, 2002.
- Levy, D; "Hanbook on Sol-Gel Techniques for Glass Producers and Users"; Capítulo 6 - Materials Properties: Active Coatings. "Electro Optical Coatings"; Kluwer Academic Publishers; 2002.
- M. Ashby; "Materials Selection in Mechanicals Design"; Pergamon Press; Oxford, 1992.
- Maclane Johansen, John; "Nanoarchitecture, A New Species of Architecture"; Princeton Architectural Press; New York, 2002.
- N. E. Dowling; "Mechanical Behavior of Materials"; Prentice Hall; 1999.
- Ocampo Ruiz, Ernesto; "Evolución y Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos"; Tesis de Maestría; México, 1999.
- Powell, Peter C; "Engineering with Fiber-Polymer Laminates"; Chapman & Hall; Páginas 251-302; 1994.
- Pirard, Gerald; "Mecánica de las Estructuras"; FCEFN de la UNC; Capítulos 1 al 7; Córdoba, 2005.
- Quarby, Arthur "Materiales Plásticos y Arquitectura Experimental"; Gustavo Gilli; Barcelona, 1976..
- Ray, Murthy, Batra, Padmanabhan, Ranganathan; "Materials for the Third Millenium"; Science Publishers; Enfield, 2001.
- Sanford, R. J; "Principles of Fracture Mechanics; Prentice Hall; Lugar, 2003.
- Shackelford, James F; "Ciencia de materiales para ingenieros"; Prentice Hall Hispanoamericana; México, 1999.
- Sierra e Irigoyen; "Resistencia de materiales"; Diana; Capítulos 1 y 3; México, 1975.
- Siegel, Richard W; "Nanostructured materials"; Ponencia presentada en Nanoparticulates 94; California, noviembre de 1994.
- SP Systems; "Guide to Composites"; SP Systems; Isle of Wigh, 2001.

- Timoshenko y Young; "Elementos de Resistencia de Materiales"; Montaner y Simón; Capítulos 1 a 4; Barcelona, 1979.
- Tuttle & Dekker; "Structural analysis of polymeric composite materials"; M. Dekker; New York, 2004.
- Weston, Richard; "Materiales, Forma y Arquitectura"; Blume; London, 2003.
- Word, Jones & Geldart; "The Social and Economic Challenges of Nanotechnology"; Economic & Social Research Council, University of Sheffield; London, 2004.
- Young, Mindess, Gray & Bentur; "The Science and Technology of Civil Engineering Materials"; Prentice Hall; 1998.

Artículos:

- Interdisciplinary Education Group, "Nanotubes and Others Form of Carbon", Wisconsin, 2004,
- Argüelles, Vina, Cantelli, Garcia y Chacón; Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela; Vol. 18, N° 3, Páginas 33 a 38, Caracas, 2003.
- Lux Capital, "The Nanotech Report 2003", Article, New York, 2003.
- Report of the National Nanotechnology Initiative Workshop, Washington, 2003.
- Ernesto Ocampo Ruiz, "La arquitectura del futuro", Revista OBRAS, octubre, 2002.
- Pintado Sanjuanbenito, José María; XVI "Jornadas de Materiales Compuestos / Plásticos Reforzados"; Centro Español de Plásticos; Madrid, 2002.
- Lanier, Jaron "Virtually There", Scientific American p. 66-75, Abril, 2001.
- Structural Engineering International: "Concrete Beams Prestressed With Carbon-Fibre Reinforced Polymer Cables", Vol. 10, No. 2, Mayo 2000.
- Structural Engineering International: "Footbridge With Carbon-Fibre Reinforced Polymers, Denmark", Vol. 9, No. 4, Noviembre 1999.
- Dyson, Freeman J; "El mundo, la carne y el demonio"; Conferencia sobre la obra de J. D. Bernal; Birbeck College of London; London, 1972.
- Feynman, Richard P; "There's plenty of room at the bottom"; Ponencia; Engineering and Science Magazine of California, Institute of Technology; 1959.

Sitios WEB: ¹

- Programa Tecnum, Universidad de Navarra.
w3.tecnun.es/asignaturas/Matcomp/Transparencias.
- García Martín, Francisco Eliécer; Esquema de Materiales de Construcción
w3.structuraluniverse.edu/materials/spanish/esquema.htm.
- Colombo, Diego (s/f) "Leghe a Memoria di Forma"
w3.ing.unitn.it/~colombo/NITI/niti.htm
- (s/a, s/f) Sim City 3000 Review "Houston"
ourworld-top.cs.com/comgamesig/sc3ktxt.htm
- Jones, Langdon (s/f) Cybertown- " My Cyberhome".
homepage.ntlworld.com/langjones/cybertown/cyberhome.html
- (s/a s/f) DigiScents -> Scents City.
w3.digiscents.com/scentcity/olfactory/index.shtml
- NASA (s/f) NAS- "Nanotechnology Gallery".
w3.nas.nasa.gov/Groups/Nanotechnology/gallery
- Chrichton, Michael (1999) Timeline, Random House.
w3.crichton-official.com/index-pl.htm
- O'Malley, Chris (s/f) "Making the Quantum Leap".
noscr.iln.net/html_p/c/1256483/1788689/1788698.asp
- IBM "Quantum Teleportation" . Research reference. 1995
w3.research.ibm.com/quantuminfo/teleportation/

¹ w³ en sustitución de WWW, solo con fines de edición.

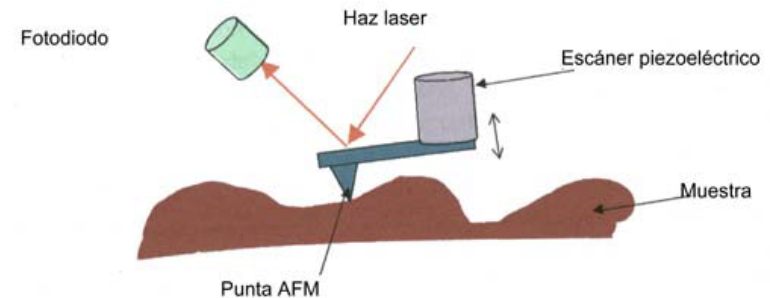
- Introducción a la Ciencia de los Materiales, 2004, webdeptos.uma.es/qicm/Doc_docencia/Tema1_CM.pdf
- Varios, Enciclopedia Microsoft Encarta en línea. 1993-2006 Microsoft Corporation, w3.encarta.com
- Colegio Nacional de Ingenieros Arquitectos de México, 2005, w3.cniam.org.mx/boletin16/nicho16.htm
- Entre las pieles del espacio, Juan José Díaz Infante, 2003, w3.imcyc.com/cyt/julio03/pieles.htm
- Foresight Nanotech Intitute, 2006, w3.foresight.org/
- Nanotecnología y arquitectura, Ernesto Ocampo Ruiz, 1998, w3.imcyc.com/revista/1998/febrero/nanfeb98.htm
- UNAM, Nanotecnología, ¿Una nueva revolución tecnológica?, 2001, w3.enterate.unam.mx/Articulos/diciembre/nanotecno.htm
- Universidad Anáhuac, Escuela de Arquitectura, 2000, w3.anahuac.mx/arquitectura/egresados.publicaciones.articulos.html
- Alfonso Domínguez y la Nanotecnología, 2004, barcelona.indymedia.org/newswire/display/65261/index.php
- Nano Dynamics Incorporation, News and Headlines, 2006, w3.nanodynamics.com/ndTechnology.asp?OVRAW=nanotechnology&OVKEY=nanotechnology&OVMTTC=standard
- Nanotechnology.net, 2006, w3.nanotechnology.net/home/index.aspx
- The Minerals, Metals and Materials Society OnLine, 2005, w3.tms.org/TMSHome.html
- Federation of Materials Societies, 2006, w3.materialsocieties.org/index.htm
- CNN, Technology, 2005, w3.cnn.com/TECH/
- The American Ceramic Society, 2005, w3.acers.org/
- American Ceramic Society, Bulletin, 2006, w3.ceramicbulletin.org/default.asp
- The Newbridge Nanotechnology Index, 2006, w3.newbridgereports.com/nni.html
- National nanotechnology Initiative, 2006, w3.nano.gov/
- The Capital Times, Madison.com, 2004, w3.madison.com/tct/mad/business//index.php?ntid=38025
- Kansas City InfoZine, KC Servers.com, 2004, w3.infozine.com/news/stories/op/storiesView/sid/6905/
- Chicago News CBS2, 2004, cbs2chicago.com/cooler/watercooler_story_116173449.html
- American Association for the Advancement of Science, 2005, w3.sciencemag.org/cgi/search
- TIME Magazine.com, 2004, w3.time.com/time/health/
- Scientific American Incorporation, 2006, w3.sciam.com/nanotech/
- Nature Publishing Group, 2005, w3.nature.com/index.html
- Materials Research Society, 2006, w3.mrs.org/awards/Awardbroch.pdf
- Adriann's de México SA de CV, 2006, w3.adrianns.com
- Composite Optics Inc. Of San Diego, 2005, w3.coi-world.com
- ATK Space Systems, 2005, w3.atk.com
- Gran Telescopio Milimétrico, 2006, w3.lmtgtm.org/gtm/intro.html

GLOSARIO

Carbono
Grafito
Petróleo
Aleaciones
Métodos de control
Economías de escala
Inedibles
Calor específico
Dilatación térmica
Radiación
Convección
Conducción
Cohesión
Densidad
Tensión superficial
Capilaridad
Aglutinados
Mampostería
Coque
Bórax
Ácido bórico
Alúmina
Feldespatos
Caolín
Caliza
Dolomita
Litargio
Silice
Composición
Función constructiva
Corrosión
Lixiviación

APÉNDICE A. TIPOS DE INSTRUMENTOS EN LA NANOTECNOLOGÍA

Las investigaciones sobre la nanotecnología y las aplicaciones que surgen de las mismas requieren una infraestructura específica, además de la habitual en los modernos laboratorios de desarrollo y ensayo de materiales. Las técnicas de diagnóstico para el estudio de los materiales nanoestructurados tienen, además de un interés científico, un potencial interés práctico a nivel industrial, como la microscopía de fuerza atómica y la de efecto túnel. Estas, son necesarias en este campo de manipulación e instrumentación



de controles altamente minuciosos, capaces de operar prácticamente a nivel atómico, evitando cualquier contaminación del material en estudio. Ambos instrumentos permiten tanto la observación y el control de superficies con resolución atómica, como el posicionamiento de átomos o moléculas sobre una capa superficial.

El microscopio de fuerza atómica (AFM).²

18. Esquema del funcionamiento del microscopio de fuerza atómica (AFM).

² Por sus siglas en inglés, Atomic Force Microscope.

Se trata de un instrumento versátil y extremadamente preciso para estudiar la estructura y medir las fuerzas superficiales sobre una muestra del material.

La información sobre la superficie, se recoge a través de una punta muy delgada, pocos micrones, montada en el extremo de una varilla elástica, de uno o varios haces de fibras de nitruro de silicio o de silicio metálico cuya longitud varía entre 100 y 500



18. Fotografía del microscopio de fuerza atómica.

micrómetros (0,1 a 0,5 mm), con un espesor entre 0,5 y 5 micrómetros. La punta sensible transmite la fuerza que se ejercita entre la misma y los átomos o moléculas de la superficie de la muestra cuando aquélla se mueve hacia arriba y hacia abajo sobre ésta última, detectando su rugosidad, y este movimiento puede ser medido con extrema precisión por medio de, un haz láser reflejado por un espejo pequeño colocado sobre la punta y recogido por un elemento sensible (fotodiodo). Los datos procesados permiten reconstruir la estructura superficial en la dirección vertical "Z".

Una pequeña unidad que contiene un cristal piezoeléctrico, del tipo de las antiguas cápsulas con la aguja de los tocadiscos, permite detectar la estructura horizontal de la superficie, en función de las ordenadas "X" y "Y". Se puede obtener así, con resolución nanométrica, la topografía de una muestra en una escala que varía desde 100 hasta 150.000 nm (0,15 mm), pudiéndose lograr resoluciones del orden de 1 nm.

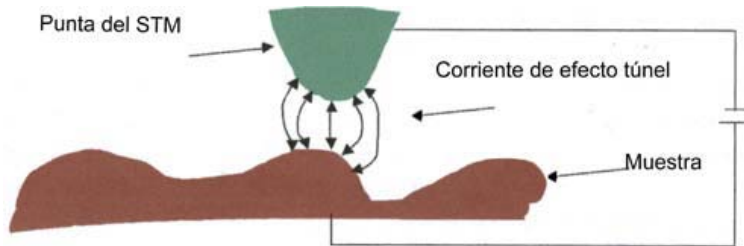
El AFM puede trabajar en aire, bajo vacío y en medio líquido (para muestras biológicas), y analizar tanto materiales aislantes como conductores de la electricidad. Generalmente puede trabajar en tres modos:

- "Contact mode": la punta está en contacto con la muestra.
- "Non-contact mode" :la punta de la varilla elástica se mantiene a una distancia pequeña de la muestra, y la topografía de la superficie se reconstruye a partir de la medición de las fuerzas de Van der Waals actuantes entre los átomos de la punta y los de la superficie. En este modo, si bien se evitan daños a la muestra debido a la adherencia entre la punta y la superficie, se tiene una resolución menor respecto a los otros dos modos.
- "Tapping mode": la varilla se mantiene en oscilación, y la punta está en contacto en forma intermitente con la superficie, lo que permite tener una información topográfica de alta resolución en el caso de muestras blandas o adhesivas. Al mismo tiempo y en escala nanométrica, se obtiene un mapa cualitativo de la fricción, de la dureza y de la adhesión, informaciones complementarias que completan la imagen topográfica.

Graficando adecuadamente los fenómenos de fricción, dureza y adhesión en escala micrométrica y nanométrica, y caracterizando las propiedades mecánicas de la varilla, resulta posible obtener una información cuantitativa sobre estos fenómenos. Ello puede ser útil, por ejemplo, para estudiar el estado de una pieza estructural antes y después de su uso, poniendo en evidencia los fenómenos incipientes de desgaste que ha experimentado. También resulta posible reconstruir el mapa de las propiedades magnéticas de la muestra, lo que encuentra aplicación en los dispositivos magnéticos para el almacenamiento de datos.

El microscopio de efecto túnel (STM).³

Está constituido, esencialmente, por una varilla similar a la del AFM pero con una punta más fina, del orden de un micrómetro. La punta se ubica a una distancia equivalente a pocos átomos de la superficie en estudio. Aplicando una diferencia de potencial entre la punta y la superficie se genera un flujo de electrones debido al denominado "efecto túnel", fenómeno cuántico que da origen a una corriente eléctrica entre dos puntas conductoras debido a diferencias de potencial tales que, no serían suficientes para dar origen a un flujo de electrones.⁴



18. Esquema del funcionamiento del microscopio de efecto túnel. (AFM).

La corriente generada depende de la distancia entre la punta y la superficie y por lo tanto, desplazando la punta sobre esta última se pueden registrar las variaciones de corriente que corresponden a las características superficiales en escala atómica. También pueden obtenerse así informaciones relacionadas con las propiedades eléctricas y topológicas, así como sobre defectos estructurales en escala atómica.

El STM es capaz de escribir y leer las estructuras superficiales en escala atómica y de posicionar los átomos y las moléculas

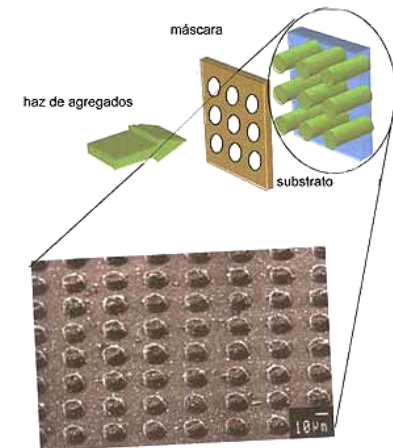
³ Por sus siglas en inglés **System** Tunnel Microscope.

⁴ Según la física clásica.

sobre la superficie, valiéndose de su punta ultra fina. Con respecto al AFM, el STM presenta un interés y una posibilidad de aprovechamiento menor en el campo industrial, debido a sus condiciones operativas limitadas; Por lo regular se utiliza solo con materiales conductores o semiconductores, recientemente se ha comenzado investigar sobre sistemas orgánicos, y debe operar en vacío o atmósfera controlada.

Cluster

Mediante descarga en arco eléctrico se crea un plasma de carbono que se mezcla con gas helio. Se expande la mezcla en el vacío para crear un haz de partículas de alta velocidad y muy colimado; se intercepta luego el haz con un sustrato sobre el cual las partículas se depositan formando una capa. Se trata de una técnica similar a la pintura en aerosol. Se obtienen así de manera eficiente y económica capas delgadas nanoestructuradas muy porosas y rugosas, consistentes en partículas fullerénicas inmersas en una matriz amorfa. Otra ventaja de esta técnica es la posibilidad de colimación muy precisa del haz; esto permite, utilizando máscaras adecuadas, depositar figuras muy complejas con precisión micrométrica, así como se hace con la decoración por serigrafía. Es posible, por lo tanto, reproducir indefinidamente y con la periodicidad deseada estructuras complicadas de un material nanoestructurado e integrarlas con la tecnología microelectrónica y micromecánica corrientemente en uso.



18. Esquema de "granos".

Cámara de Síntesis (Síntesis física de vapor)

Según explican en la revista Science, el sistema consiste en que las gotas de combustibles no volátiles, como el aceite de soja o las de las soluciones de glucosa y agua, sean rápidamente evaporadas por una oxidación catalítica parcial para producir hidrógeno con un alto rendimiento y en un tiempo récord: menos de 50 milisegundos.

La pirólisis (o descomposición química de materia orgánica causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno u otros reactivos), unida con la oxidación catalítica de los compuestos y sus fragmentos tras el impacto con una superficie catalítica caliente y de los materiales rodio-cerio, impide la formación de capas de carbón sobre el catalizador. La reacción catalítica de estos productos genera aproximadamente un megavatio de calor por metro cuadrado, lo que mantendría la superficie catalítica a 800 °C.

A estas temperaturas, los combustibles pueden transformarse directamente en hidrógeno y monóxido de carbono, así como en otras pequeñas moléculas sin que se forme el carbón. Así, este nuevo proceso descompone las moléculas largas convirtiéndolas en moléculas más pequeñas, que pueden reaccionar para formar el gas de síntesis en lugar de quemarse y formar carbón.

Esto se ha logrado utilizando un inyector de combustible automotor que rocía pequeñas gotas de líquido directamente sobre una superficie cerámica porosa y encendida. Al impactar con dicha superficie, estas gotas se descomponen en diminutos elementos que reaccionan con el aire en la superficie del catalizador. La reacción con el aire hace que el proceso se desarrolle a una temperatura muy alta sin

necesidad de una fuente de calor, lo que permite simplificar el sistema.

Prensa de Solidificación (Moldeo superplástico de malla)

El formado superplástico consiste en producir grandes cambios en la forma del material, generalmente un metal o una aleación, mediante altas temperaturas y bajas presiones. De hecho el material adquiere una consistencia casi pastosa (plástica), lo que permite que se le conforme casi a placer.

La difusión de enlaces o soldadura por estado sólido es un proceso de unión de dos metales realizado a altas temperaturas y presión. La unión se lleva a efecto por la difusión, a través de las superficies que han de unirse, de los átomos de los distintos materiales. Es algo así como utilizar los propios enlaces químicos de los materiales en juego para hacer la soldadura.

El formado total es una técnica en la que partiendo de un material en forma de polvo se le da su forma final comprimiéndolo contra un contenedor de cerámica, vidrio o acero que tiene ya la forma deseada. Se trata de una especie de rechazado a muy altas presiones teniendo como material a un polvo.

Los nuevos materiales compuestos consisten en una matriz, que lo mismo puede ser una resina orgánica o un metal y fibras de alta resistencia que se embeben en la matriz. Como se ha mencionado, la fibra más común es el grafito, pero también las hay de vidrio, boro, carburo de silicio, Kevlar (una fibra orgánica) y metales filamentosos. El papel de la matriz es el de mantener unido el compuesto y permitir que el material se pueda conformar en formas diversas.

Debido a la matriz, es posible diseñar el material para que tenga propiedades tales como resistencia y rigidez. 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 a la corrosión y a las altas temperaturas. Por estas razones son particularmente efectivos en las estructuras espaciales, las que deben ser tanto resistentes como ligeras. La tecnología relativa a los recubrimientos 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.

B. CENTROS, EMPRESAS Y PRODUCTOS NANOTECNOLÓGICOS

Centros de Nanotecnología⁵

- The Nanobiotechnology Center (NBTC), Cornell University, Centro de Nanobiología en la prestigiosa Universidad de Cornell.
- Center for Nanoscale Systems, Cornell University, Centro para sistemas a nanoescala, también en Cornell.
- The Center for Nanotechnology (University of Washington), uno de los centros de nanotecnología más conocidos, perteneciente a la Universidad de Washington.
- National Institute for Nanotechnology Alberta University, el Instituto Nacional de Nanotecnología en la Universidad Alberta (Canadá).
- Center for Biologic Nanotechnology Michigan University, Centro de Bionanotecnología en la Universidad de Michigan.
- The Center for NanoTechnology, College of Engineering, University of Wisconsin-Madison, El centro de nanotecnología del Colegio de Ingeniería de la Universidad Wisconsin (Madison).
- The Center for Nanoscale Science and Technology at Rice University, Uno de los centros especializados en nanotecnología en la Rice University.

⁵ Fuentes: Euroresidentes.com www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/centros_universitarios/investigacion_cursos_index.htm y La Fundación Nacional para la Ciencia/Division of Science Resources Statistics, Survey of Academic Research www.nsf.gov/sbe/srs/ffrdc/start.htm

- The Center for Biological and Environmental Nanotechnology (CBEN) Rice University, este otro centro de la Rice University enfocado a la nanotecnología biológica y medioambiental.
- NASA - Nanotechnology, Nanotecnología en la NASA.
- NSF Nanoscale Science and Engineering Center (NSEC), Northwestern University la Northwestern University y su centro para ingeniería y ciencia a nanoescala.
- Center for Electron Transport in Molecular Nanostructures, Columbia University, Centro de nanoestructuras... en la Universidad de Columbia
- Nanoscale Science and Engineering Center, Harvard University, la Universidad de Harvard en asociación con otras universidades (MIT, etc).
- Center for Materials Science and Engineering MIT Centro de Ciencia e Ingeniería de los Materiales en el MIT.
- Directed Assembly of Nanostructures (NSEC) Centro apoyado por la Illinois University y otras instituciones.
- The Materials Research Science and Engineering Center (MRSEC), Johns Hopkins University, centro apoyado por la Johns Hopkins.
- Center on Polymer Interfaces and Macromolecular Assemblies, Stanford University Centro de la Universidad de Stanford en colaboración con la Universidades de California (Davis y Berkeley) e IBM Almaden Research Center.
- Princeton Center for Complex Materials, apoyado por la NSF y la Universidad de Princeton.
- Center for Nanoscopic Materials Design, Centro impulsado por la Universidad de Virginia.
- The Institute for Cell Mimetic Space Exploration (CMISE), University of California-Los Angeles.
- Ames Laboratory.
Departamento de Energía.
- Argonne National Laboratory.
Departamento de Energía.
- Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
Departamento de Energía.
- Fermi National Accelerator Laboratory.
Departamento de Energía.
- Jet Propulsion Laboratory.
NASA.
- Lawrence Livermore National Laboratory.
Departamento de Energía.
- Lincoln Laboratory.
Departamento de Defensa, (Air Force).
- Los Alamos National Laboratory.
Departamento de Energía.
- National Astronomy and Ionosphere Center.
Fundación Nacional para la Ciencia.
- National Center for Atmospheric Research.
Fundación Nacional para la Ciencia.
- National Optical Astronomy Observatory.
Fundación Nacional para la Ciencia.
- National Radio Astronomy Observatory.
Fundación Nacional para la Ciencia.
- Princeton Plasma Physics Laboratory.
Departamento de Energía.
- Software Engineering Institute.
Departamento de Defensa, Office of the Secretary of Defense.
- Stanford Linear Accel Center.
Departamento de Energía.
- Thomas Jefferson National Accelerator Facility.
Departamento de Energía.
- National Cancer Institute at Frederick.
Departamento de Salud, Instituto Nacional de Salud.
- Sandia National Laboratory.
Departamento de Energía.
- Savannah River Technology.

Departamento de Energía.

- Aerospace FFRDC.
Departamento de Defensa, (Air Force).
- Arroyo Center.
Departamento de Defensa, (Army).
- Brookhaven National Laboratory.
Departamento de Energía.
- Center for Advanced Aviation System Development.
Departamento de Transportation, Federal Aviation Administration.
- Center for Naval Analyses.
Departamento de Defensa, (Navy).
- Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses.
Nuclear Regulatory Commission.
- Institute for Defense Analyses Communications and Computing.
National Security Agency.
- Institute for Defense Analysis Studies.
Departamento de Defensa, Office of the Secretary of Defense.
- Internal Revenue Service (IRS) FFRDC.
Departamento de Treasury, Internal Revenue Service.
- National Defense Research Institute.
Departamento de Defensa, Office of the Secretary of Defense.
- National Renewable Energy Laboratory.
Departamento de Energía.
- Oak Ridge National Laboratory.
Departamento de Energía.
- Pacific Northwest National Laboratory.
Departamento de Energía.
- Project Air Force.
Departamento de Defensa.
- The Science and Technology Policy Institute.
Fundación Nacional para la Ciencia.

Centros hispanos:

- Instituto de Investigación de Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Área de Física Teórica y Materia Condensada, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Instituto de Biología Molecular de Barcelona, España.
- Instituto de Sistemas Optoelectrónicos y Microtecnología (ISOM), España.
- Instituto Universitario de Investigación en Nanociencia de Aragón (INA), España.
- Instituto de Biología Molecular de Barcelona, España.
- Instituto de Nanotecnología y Nanobiotecnología, Parque Científico de Cataluña, España.
- Centro de Nanotecnología de Aragón, España.
- Instituto de Nanotecnología y Diseño Molecular, Parque Científico de Madrid, España.

Empresas y productos dentro del sector de la Nanotecnología

Nombre	Producto o servicio especializado.
<u>Advance Nanotech</u>	Inversión y comercialización de nuevos productos.
<u>Accelrys Inc</u>	Tecnologías
<u>Albany Molecular Research Inc</u>	I+D en medicinas
<u>Altair Nanotechnologies</u>	Nanocristalinos y nanopartículas.
<u>AmberWave</u>	"Strained silicon" que permite que los microchips funcionan de forma más rápida y consumen menos energía
<u>American Pharmaceutical Partners</u>	Productos farmacéuticos inyectables
<u>American Superconductor Corp.</u>	Superconductores
<u>ANU</u>	Nanotubos de carbón y nitrógeno Boron
<u>Apex Nanomaterials</u>	Nanotubos de carbón monocapas
<u>Applied Films</u>	Capas ultrafinas
<u>Arryx</u>	Láser, sistemas holográficos
<u>Atomate</u>	Reactores CVD para síntesis de nanotubos y nanocables.
<u>BuckyUSA</u>	Fullerenes y nanotubos
<u>Caliper Life</u>	Herramientas para descubrir medicinas y

<u>Sciences</u>	mejorar procesos de diagnóstica
<u>CALMEC</u>	Patentes, tecnología, I+D
<u>Cambridge Display Technology</u>	Tecnologías relacionadas con PLED.
<u>CarboLex</u>	Nanotubos de carbón monocapas
<u>Carbon Nanotechnologies, Inc. (CNI)</u>	Nanotubos de carbón monocapas (PLV and HiPCO), buckytubos, polímeros.
<u>Carbon Solutions</u>	Nanotubos de carbón
<u>CombiMatrix</u>	Genómica, Proteómica
<u>Cyrano Sciences</u>	Redes de sensores
<u>DayStar Technologies</u>	Energía renovable
<u>DEAL International Inc.</u>	Nanotubos de carbón
<u>eSpin</u>	Fibras polímeras
<u>FEI Company</u>	Tecnologías para crear muestras en 3 dimensiones a nano escala
<u>First Nano</u>	Nanotubos de carbón, herramientas y aparatos.
<u>Genus</u>	Atomic Layer Deposition (Depositar capas atómicas).
<u>Guangzhou</u>	Nanotubos mono- y multicapas
<u>Hyperion</u>	Nanotubos multicapas
<u>Immunicon Corp</u>	Plataforma para diagnosticar cáncer. Nanopartículas ferrofluids
<u>Invest Technologies</u>	Nano-polvos de metal
<u>Insert Therapeutics</u>	Sistemas de distribución intracelular de pequeñas medicinas moleculares y genes
<u>Materials and</u>	Nanotubos de carbón mono- y

<u>Electrochemical Research (MER)</u>	multicapas.
<u>Nanocarblab (NCL)</u>	Nanotubos monocapa
<u>Kaweenaw Nanoscience Center</u>	I+D, consultoría
<u>Lucent Technologies</u>	Nanotecnología y telecomunicaciones.
<u>Lumera Corp.</u>	Materiales y productos polímeros
<u>Luxtera</u>	Productos fotónicos.
<u>Molecular Manufacturing Enterprises</u>	Servicios de asesoría
<u>Magma Design Automation</u>	Circuitos integrados complejos
<u>Molecular Robotics</u>	Nanotubos, MEMS, AFM, computadoras cuánticas.
<u>Mitre</u>	Investigación para el sector público
<u>Moore Nanotechnology Systems</u>	Sistema de fabricación de ultra-precisión
<u>Nanocs</u>	Materiales de carbón para la nanotecnología
<u>Nanocor</u>	Nano minerales para resinas de plástico
<u>Nanocyl</u>	Nanotubos de carbón CVD
<u>Nanogen</u>	Microchip para análisis biológico
<u>NanoLab</u>	Nanotubos CVD
<u>Nanoledge</u>	Nanotubos de carbón monocapa
<u>Nanometrics</u>	Láminas ultrafinas
<u>Nanomat</u>	Materiales nanocristalinos y nanoestructuras

<u>Nanomaterials Research Corporation</u>	Polvos y materiales derivados
<u>Nanomix</u>	Sensores.
<u>Nanovation</u>	Componentes fotónicos
<u>NanoPierce</u>	Conexiones eléctricas de nanopartículas
<u>NanoPowders Industries</u>	Polvos de metales preciosos y base
<u>NanoPhase Technologies Corporation</u>	Polvos y productos polímeros
<u>Nanospectra Biosciences Inc</u>	Nanopartículas para aplicaciones médicas. Nanoshells.
<u>Nanosys</u>	Sistemas de nanotecnología y nanoelectrónica.
<u>Nanotec</u>	Polímeros para tejidos inteligentes
<u>NanoWave</u>	I+D
<u>Nantero</u>	Nanotubos de carbón
<u>Neah Power Systems</u>	Silicona porosa
<u>Novavax</u>	Productos farmacéuticos, vacunas
<u>NEC</u>	Telecomunicaciones, Internet, I+D
<u>NVE Corporation</u>	<i>Spintronics</i> que utiliza el movimiento de un electrón para detectar, almacenar o transmitir información digital
<u>Orthovita</u>	Biomateriales, nanopartículas.
<u>Physical Sciences Inc.</u>	Membrana de nanotubos de carbón
<u>Quantum Dot (Qdot)</u>	Qdot nanocristales, conjugates
<u>Rockwell Scientifics</u>	Nanomateriales, fabricación, y

	nanopartículas magnéticas
<u>Rosseter Holdings Ltd</u>	Carbón mono y multicapas
<u>SEOCAL</u>	Reactores CVD para nanotubos
<u>SES Research</u>	Fullerenes y Nanotubos
<u>SIMAGIS</u>	Software para análisis automatizada de imágenes de nanotubos
<u>Sun Nanotech</u>	Nanotubos de carbón multicapas
<u>Technanogy</u>	Capital riesgo y propiedad intelectual
<u>Thomas Swan & Co</u>	Nanotubos de carbón monocapa Elicarb (proceso CVD)
<u>Timesnano/Chinese Academy of Sciences</u>	Nanotubos de carbón y productos relacionados
<u>Ultratech</u>	Herramientas para nanotecnología
<u>Veeco</u>	Instrumentos para medir a nano escala
<u>Zyvex</u>	Manipulador Zybot, Sistema de montaje Rotapod y MNT.

C. DESTRUCCIÓN EN LA NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología no solo es creación, también promete avances en otros campos no menos significativos.

Las Plagas Gris y Verde

Toda nueva tecnología implica riesgos, y el hombre jamás tuvo la oportunidad y conflicto de modificarlo todo, Drexler presenta un vívido ejemplo de la velocidad a la que la "Plaga Gris"⁶ devastaría el planeta comenzando con un solo replicante. "Si el primer replicante puede ensamblar una copia de sí mismo en mil segundos, los dos replicantes podrían entonces construir dos más en los siguientes mil segundos, los cuatro construirían otros cuatro, y los ocho otros ocho. Después de 10 horas, no hay treinta y seis, sino más de 68 mil millones. En menos de un día podrían pesar una tonelada, en menos de dos días pesarían más que la Tierra, y en otras cuatro horas, podrían exceder la masa del Sol y los planetas".⁷ Para evitar el "Apocalipsis", Drexler y su Foresight Institute⁸, establecieron directrices para desarrollar artefactos NTM "seguros." Foresight recomienda que los nanoartefactos se construyan de tal forma que sean dependientes de "una sola fuente artificial de combustible o vitaminas artificiales que no existan en ningún ambiente natural."⁹ Foresight también sugiere que los científicos programen fechas de autodestrucción en sus creaciones atómicas.

⁶ Gris por que el mayor componente de los robots es el material metálico.

⁷ K. Eric. Drexler, La Nanotecnología, El surgimiento de las maquinas de creación, en el capítulo 4: Motores de abundancia, Anchor books, E.U., 1996.

⁸ Una organización no lucrativa cuyo propósito es preparar a la sociedad para la era de la nanotecnología molecular (NTM).

⁹ Otro ejemplo llevado a la pantalla grande con la serie animada de Animatrix, donde los robot dependientes del sol toman el control, Japón, 2002.

Hasta ahora, la mayoría de los representantes de la industria nanotecnológica descartan la posibilidad de los nanorobots autorreplicables y se burlan abiertamente de la teoría de la plaga gris. Los pocos que hablan de la necesidad de regulación piensan que los beneficios de la nanotecnología rebasan los riesgos y que por eso es imperativo que la industria se regule a sí misma. La teoría de la plaga gris es plausible, pero la industria nanotecnológica seguirá el camino de los nanorobots mecánicos autorreplicantes muy lentamente.

Pero todo esto de la plaga gris se refiere a diseñar robots autorreplicantes los cuales son excesivamente costosos y quizás imposibles de realizarse, a todo esto surge algo más común y barato, "La Plaga Verde", que es utilizar las moléculas creadas por la naturaleza y modificarlas para fines precisos, mi padre me dice constantemente, "...que perfecta es la vida, observa todo lo que un animal puede hacer, en como se alimenta, como juega, como duerme, inclusive como piensa, porque todo animal piensa, y sin embargo que baratos son, en cambio el ser humano trata de imitar esto con robot de muy alto costo que ni siquiera equivalen a una milésima de sus acciones...", es está una de las grandes razones del porque tal vez esto de la plaga gris jamás ocurra, pero sin embargo la verde sí, esta muy próxima.

El comunicado de la ETC Group¹⁰ menciona que la industria nanotecnológica parece estar siguiendo la lógica de la industria biotecnológica, ya que ha comprendido que es más fácil y barato sacar de la naturaleza máquinas que se auto reproducen, que construir robots mecánicos autorreplicantes. También se ha dado cuenta de que es mejor reemplazar a las máquinas con organismos vivos en vez de reemplazar a los organismos vivos con máquinas que los imiten. A la

¹⁰ Publicado en enero del 2005, con título La Nanotecnología cobra vida, La plaga verde.

manipulación a nivel nanoescalar que busca fusionar un átomo con la vida para que la materia inerte y la materia viva sean compatibles y/o intercambiables, a todo esto se le denomina nanobiotecnología.

Actualmente en macroescala, los investigadores están ensamblando organismos biológicos con micromáquinas para funciones industriales miniaturizadas. Por ejemplo en la Universidad de Tokio cuentan con cucarachas que se pueden controlar a control remoto mediante microchips implantados. El objetivo es usar los insectos para localizar víctimas en los desastres.

Terribles armas

La industria armamentista, si bien los expertos no coinciden completamente respecto a lo que las evoluciones previsibles que la tecnología de lo más pequeño pueda aportar a los sistemas de defensa en las próximas décadas¹¹.

A más largo plazo, la nanotecnología servirá para desarrollar armas biológicas inteligentes, capaces de buscar y dañar a humanos indefensos. En una sola maleta podrían caber millones de armas de este tipo, cargadas de capacidad destructora.

Las nanoarmas se podrán dirigir con mucha más precisión que las actuales y provocarán la incertidumbre respecto a las capacidades del adversario. Asimismo, darán menos tiempo de respuesta a un ataque y mejorarán la capacidad de dirigir la destrucción de los recursos del enemigo.

¹¹ Advierte la revista Signal, perteneciente a la Armed Forces Communications and Electronics Association en el artículo New Jersey Nanotechnology Consortium.

Materiales capaces de reconfigurarse también estarán a disposición de los militares. Gracias a la nanotecnología, estos materiales inteligentes cambiarán de forma tanto como los músculos humanos.

Por ejemplo, en el campo de batalla una mochila podría transformarse en un arma rápidamente, luego en una tienda de campaña, y luego en un arma de nuevo. Estas armas serán invisibles para los satélites y para el ojo humano, por lo que estarán fuera de control. De ahí viene su principal peligro.

En cuanto a las comunicaciones se pretende aumentar la capacidad de acceso entre los satélites y las estaciones terrestres mediante el uso de nanotecnologías. Los cuales permitirían observar la superficie terrestre y el fondo del mar mediante lentes que funcionan como el ojo humano. También se trabaja en nanosensores con la misma capacidad olfativa que un perro, así como en nanomicrofonos que eliminan el ruido de fondo de un campo de batalla, limpiando las comunicaciones.

Aunque desde otra perspectiva, las nanotecnologías pueden también aportar grandes ventajas, como mejorar la capacidad defensiva de un país detectando con mucho tiempo a un posible agresor o disponiendo de armas del tamaño de un bolígrafo con capacidad para destruir toda una ciudad.

Investigaciones en curso en Estados Unidos pretenden conseguir mallas capaces de proteger de radioactividad a los soldados y que podrían servir al mismo tiempo para actuar como compresas ante las heridas. Otras investigaciones nanotecnológicas pretenden disminuir el estrés de los soldados y aumentar su capacidad de movimiento en el campo de batalla; Armas más limpias y seguras, que causen menos

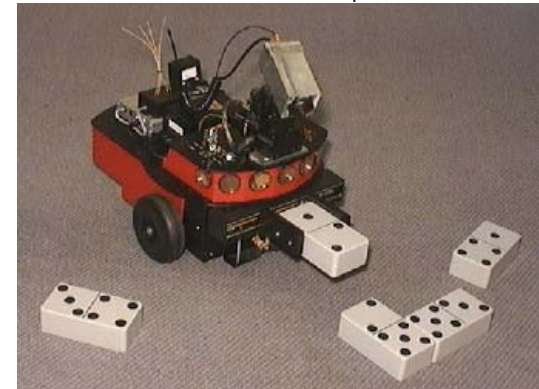
daños colaterales que las convencionales, sin olvidar las capacidades experimentales de nanorobots espías.

Estados Unidos es uno de los países en los que más se está desarrollando la nanotecnología, pero China es especialmente ambiciosa en este campo. El número de ingenieros especializados en esta rama de la tecnología en China es mayor que en Estados Unidos, lo que supone un riesgo para los norteamericanos, que no podrán hacerle frente en 20 ó 30 años. La India es otro de los que hace investigaciones seriamente en este sector.

D. EL AUTOENSAMBLE EN LA ARQUITECTURA

Resumen

Gracias a la nanotecnología y a las investigaciones hechas hoy en día, de los materiales tradicionales en la industria de la construcción (entre otras muchas industrias), se están modificando sustancias las cuales podrían tener estructuras transformables, que como en el caso de un copo de nieve el cual nunca cambia su estructura interna, pueda modificarse su núcleo, de esta forma se alteraría su diseño estructural y se les podría dotar de "memoria" la cual dará al elemento funciones específicas para realizar funciones de auto-ensamble.



18. ROBOT ENSAMBLADOR MÓVIL: diseñado por científicos y alumnos de Mecatrónica, Foto utilizada con fines académicos.

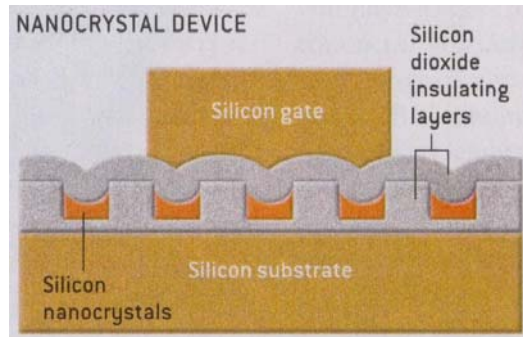
Introducción

Actualmente se están diseñando patrones electrónicos para que se auto-ensamblen, La IBM tiene a expertos en el ramo solucionando estos nuevos nanocomponentes para así poder aumentar la capacidad de memoria de chips.

Imaginemos esto en algunos de los materiales aplicados a la arquitectura, una serie de elementos que empacados tal vez no tengan forma alguna mas que la de cajas, y al aplicarles algún tipo de energía o instrucción se auto-ensamblarán y darían formas de muy diversos tipos.

El Arq. Italiano Soleri radicado en Miami, E.U.A. investiga un tipo de metal con memoria en cual puede retorcerse como se desee y al aplicarle calor recobra su forma original; esto mismo se podrá aplicar a diversos materiales en la arquitectura.

Los patrones definidos por los diseñadores al elaborar estos materiales podrán variar según su función, se les podrán dar características térmicas, acústicas, de transparencia, translucidas por mencionar algunas además de ser de auto-ensamble.



18. MEMORIA FLASH: Una capa de nanocristales de auto-ensamble de silicio es insertada dentro de un dispositivo de almacenamiento tradicional de otro modo al noble proceso de fabricación de IBM.

Usos

Para poner un ejemplo: una caja de fibra de carbono de un metro cúbico de área pudiera transformarse en algún o algunos elementos arquitectónicos tal vez en su combinación con el oxígeno del medio ambiente.

Como otro ejemplo de interruptor pero esta vez que se accionara con la luz solar, centros de exposiciones completos se podrían transportar en unos cuantos minutos fácilmente, al salir el sol lograrían transformarse en "stands", que al final del día podrían recobrar su forma de cajas, todo esto activado por interruptores los cuales lograrían dejar todo el tiempo en apagado y a si no aplicar dichas funciones, por seguridad, al

detectar algo en su interior, no se efectuaría la acción de auto-empacarse evitando accidentes.

Los materiales de auto-ensamble solo son una de las ramas que se pudieran aprovechar de dicha tecnología, dadas sus aplicaciones, desarrollar robots auto-adaptables con capacidad de aprendizaje en línea, cuya destreza y velocidad de ensamble mejore con su experiencia, por lo cual también tendrán la capacidad de aprender.

Hoy en día en México el Ing. Ismael López Juárez apoyado por algunos de sus patrocinadores: CONACYT, CIATEQ, CONCYTEQ, DAAD, Roll-Royce, y la Universidad de Nottingham desarrollan un brazo mecánico que tienen algunas de las capacidades antes mencionadas, informa en un reporte expuesto en el 1º Congreso Nacional de Mecatrónica en el 2002.



18. brazo mecánico: para auto-ensamble diseñado por ingenieros mexicanos, Foto tomada del reporte expuesto en noviembre del 2002.

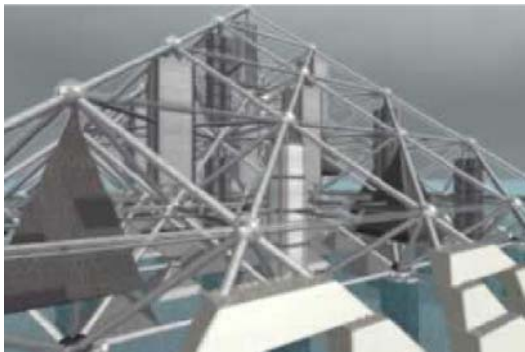
"Los principios de la física, como yo lo veo, no hablan sobre la posibilidad de maniobrar cosas, átomo por átomo. Esto no es un intento de violar alguna ley; es algo que en principio se puede hacer; pero en la práctica, no se ha hecho porque somos demasiado grandes." Richard Feynman (premio Nóbel de física 1959).

Los trabajos con alto riesgo de lesiones dentro de una construcción podrán efectuarse por algunos robots que auto-

ensamblen los elementos del edificio y a lo largo de su experiencia estas maquinas conseguirán aprender mas sobre el auto-ensamble, y realizar los trabajos mas rápido, mas fácil y de mejor calidad.

Obras inimaginables

La Pirámide de Japón, diseñada para construirse cerca de Tokio, en la costa, comprende muchos de estos elementos omo son los robots de auto-ensamble por las características



18. Ciudad en una pirámide con capacidad para más de 800,000 personas, foto tomada del sitio de Internet de Discovery Channel.

de la obra, sobretodo por su magnitud, 55 veces mas grande que la pirámide de Keops, en Egipto, ningún ser humano alcanzaría a construir a esas alturas y con tal eficiencia, además de no poner en riesgo la vida de los trabajadores.

De esta y otras formas que se podrán conseguir a partir del auto-ensamble el ser humano no pondría en riesgo su vida, obtendría mejores resultados y de mayor duración, disminuiría costos de equipo, seguros, administración, materiales, mano de obra, así como reducir el margen de error además de muchas otras ventajas.

Otro ejemplo pero a distinta escala, es el proceso de automatización en construcción de edificios; la fabrica auto-ascendente ABCS (Autoted Building Construction System) de la empresa Obayashi de Japón a comenzado a experimentar con está tecnología, lo que haría de los rascacielos lo que la

línea de montaje por los automóviles; dentro de la fabrica se encuentran grúas y elevadores robotizados, a los cuales se les



18. Fábrica auto-ascendente, Foto editada con fines académicos de la serie Arquitectura de lo Imposible, Discovery Channel.

introducen las piezas prefabricadas y ellos se encargan de ensamblarlos, al completar un nivel, la fabrica auto-ascendente realiza su elevación y así sucesivamente, hasta tener concluido el edificio, posteriormente la fabrica se convierte en la parte superior del edificio, por el momento esto

resulta muy costoso pero apenas comienza.

En el futuro

Como toda nueva tecnología, al descubrirse la Nanotecnología y sus características es como descubrir un nuevo mundo, en el cual solo se dan ideas prospectivas las cuales deberán también tomar en cuenta sus desventajas, como son: un mayor costo de inversión inicial, por lo costoso que pudieran llegar a ser dichos materiales, elementos o robots, y que poco a poco con la popularización de estos se disminuirán, anteriormente paso con el automóvil, la radio, la televisión y ejemplos mas recientes serian la telefonía digital y el acceso a la red Internet, que en un principio eran muy costosas y actualmente están al alcance de todos (los riesgos de no conocer al 100% sus características, entre otras desventajas aun no reveladas).

"La inteligencia artificial es una forma de vida muy diferente, y con unas posibilidades de logros intelectuales difíciles de imaginar. Estas máquinas pueden evolucionar, incluso más rápido que los seres humanos: unas computadoras inteligentes diseñarán otras, y llegarán a ser más y más inteligentes. Es bastante complicado imaginar cómo podremos tener máquinas que son millones de veces más inteligentes que la persona más inteligente y que, sin embargo, seguirán siendo nuestras esclavas, para hacer lo que nosotros queramos. Quizás condesciendan con nosotros y hablen con nosotros; quizás jueguen a los juegos que nos gusten; quizás, en cierto sentido, nos mantengan como animales de compañía", afirma Edward Fredkin, del Laboratorio de Inteligencia Artificial del MIT.

Bibliografía¹²

- Scientific American, volumen 290, número 3, Nanotechnology brings chips one step closer to assembling themselves .
- w3.ub.es/geocrit/b3w-322.htm
- w3.mecamex.net/docs/ciateq.pdf
- <http://ia10.galeon.com/>
- Moriello, Sergio A; Ingeniero en electrónica y periodista científico.
w3.redcientifica.com/aut
- w3.moletronica.buap.mx/indice.doc
- w3.tudiscovery.com
- Arquitectura de lo Imposible, Joel Olicker & Alan Lindaren, Discovery Channel.

¹² w³ en sustitución de WWW, solo con fines de edición.