

00164

8

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

FACULTAD DE ARQUITECTURA



# "Tecnología del vidrio Un material de vanguardia"

Tesis que presenta

**Arq. Ana María Navia Parodi**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN  
ARQUITECTURA CAMPO DE CONOCIMIENTO  
TECNOLOGÍA



Octubre del 2002



FECHA: \_\_\_\_\_  
FIRMA: \_\_\_\_\_



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**DIRECTOR DE TESIS**

Dra. Gemma Verduzco Chirino

**SINODALES**

Dr. Jesús Aguirre Cárdenas

Dr. Gerardo César Díaz Trujillo

Mtro. Francisco Reyna Gómez

Mtro. Jorge Rangel Dávalos



1950  
MAY 10 1950

# Agradecimientos

*A mis padres y hermanos por todo el esfuerzo invertido, por ser cómplices de este logro, por todo el amor brindado que apesar de la distancia me dio la fuerza necesaria para sacar esta meta adelante.*

*A Carlos Mario, mi esposo, por contagiarme de su constancia y dedicación en los proyectos que emprende, por estar siempre a mi lado durante el proceso de investigación.*

*A ellos quiero dedicarles esta tesis.....*

Agradezco a México, por abrirme las puertas para la realización de la maestría en la máxima casa de estudios del país.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haber sido la sede de encuentros de discusión y aprendizaje, por todos los conocimientos otorgados durante mis estudios, a través del excelente equipo de profesorado que la integra.

A la Dra. Gemma Verduzco Chirino, mi directora de tesis por su tiempo y dedicación, por las pláticas de enorme reflexión y raciocinio que sirvieron de cimiento y estructura de esta investigación.

Al Dr. Gerardo César Díaz Trujillo, de la Universidad Nacional Autónoma de Baja California e integrante del equipo de sinodales, por su interés en la investigación y aportes sustanciales referentes al vidrio que me facilitaron entender las características y propiedades del material.

Al Dr. Jesús Aguirre Cárdenas, al Mtro. Francisco Reyna Gómez y al Mtro. Jorge Rangel Dávalos, mis sinodales, por sus grandiosas contribuciones que permitieron enriquecer esta investigación.

A la Dra. María Elena Villafuerte, del instituto de investigación de materiales por haberme asesorado en la estructura y clasificación de los materiales.

A la Empresa SAINT GOBAIN de México, en especial al Arq. Javier Gallegos, a la Arq. Ethel Calvo, al Lic. Florencio Zainos, Lic. Carlos Aguilera, por haberme facilitado los medios para vivenciar el proceso de fabricación del vidrio al permitirme recorrer la planta en Cuautla y tener contacto directo con ellos y otros responsables del proceso; les agradezco igualmente por su tiempo y atención desinteresada.

A mis amigas y amigos de México y Colombia, quienes después de compartir experiencias en la maestría, logramos entablar una gran amistad y compañerismo.

Al equipo de grupo Geo encabezado por el Arq. Roberto Cruz y Serrano, al Lic. Jerónimo Paz y demás compañeros y amigos, que me brindaron su apoyo y solidaridad.

A todas aquellas personas que de una u otra forma han contribuido a la realización de esta investigación.



# Índice

**INTRODUCCIÓN** p. 11

**CAPÍTULO 1: Antecedentes** p. 15

1.1 Los materiales en la civilización. p. 16

1.1.1 Edad de Piedra p. 17

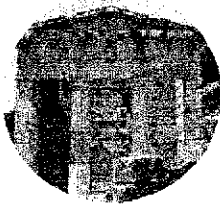
1.1.2 Edad de Bronce p. 18

1.1.3 Edad de Hierro p. 20

1.1.4 De la Revolución industrial a nuestros días p. 21

1.2 Los materiales en la arquitectura p. 27

1.3 El Vidrio, un material de vanguardia p. 38



**CAPÍTULO 2: Definición y clasificación de los materiales** p. 43

2.1 Definición de material p. 44

2.1.1 ¿Qué es la materia? p. 44

2.1.2 Enlaces p. 44

2.1.2.1 Enlaces Primarios p. 44

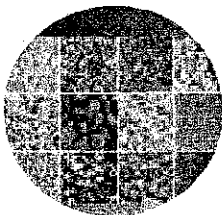
2.1.2.2 Enlaces Secundarios p. 46

2.1.3 Estructuras fundamentales de la materia p. 47

2.1.3.1 Estructura Cristalina p. 47

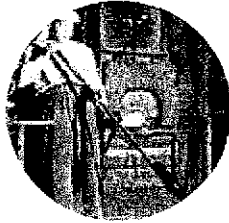
2.1.3.2 Estructuras no Cristalinas o Amorfas p. 47

2.2 Propiedades de los materiales p. 47

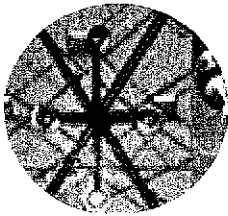


<b>2.3 Clasificación de los materiales</b>	<b>p. 49</b>
2.3.1 Materiales metálicos	p. 49
2.3.2 Materiales cerámicos	p. 52
2.3.3 Materiales polímeros	p. 54
2.3.4 Materiales compuestos	p. 56

<b>CAPÍTULO 3: El Vidrio</b>	<b>p. 59</b>
------------------------------	--------------



3.1 Una mirada a través del vidrio: Antecedentes	p. 60
3.2 Definición y estructura de los vidrios	p. 68
3.2.1 Definición del vidrio	p. 68
3.2.2 Estructura de los vidrios	p. 68
3.3 Materias primas para la elaboración del vidrio	p. 70
3.3.1 Vitrificantes	p. 70
3.3.2 Fundentes	p. 71
3.3.3 Estabilizantes	p. 73
3.3.4 Fluidificantes	p. 75
3.4 Proceso de elaboración del vidrio	p. 75
3.4.1 Vitrificación	p. 75
3.4.2 Conformación o proceso de moldeado	p. 77
3.5 El vidrio plano: Definición y procesos de fabricación	p. 77
3.5.1 Definición de vidrio plano	p. 77
3.5.2 Procedimiento del vidrio soplado	p. 77
3.5.3 Estirado del vidrio	p. 78
3.5.3.1 Sistema Fourcault	p. 78
3.5.3.2 Sistema Colburn	p. 78
3.5.3.3 Sistema Pittsburg	p. 78
3.5.4 Laminado del vidrio	p. 79
3.5.4.1 Laminado discontinuo (Colado discontinuo)	p. 79
3.5.4.2 Laminado Continuo	p. 79
3.5.5 Procedimiento de flotado	p. 80
3.6 Propiedades de los vidrios	p. 81
3.7 Clasificación de los vidrios	p. 82



**CAPÍTULO 4: El vidrio, envolvente arquitectónica transparente y controlable** p. 88

4.1 Aplicación del vidrio en la construcción	p. 88
4.1.1 Tipos de vidrio según su uso	p. 88
4.1.2 Control Solar	p. 89
4.1.3 Aislamiento térmico	p. 90
4.1.4 Vidrios tintados o coloreados	p. 93
4.1.5 Vidrios reflectivos	p. 94
4.1.5.1 Tipo 1 (De capa suave o magnetrónica)	p. 94
4.1.5.2 Tipo 2 (De capa dura o pirolítica)	p. 96
4.1.6 Vidrios de baja emisividad	p. 97
4.1.6.1 Tipo 1 (De capa suave o magnetrónica)	p. 97
4.1.6.2 Tipo 2 (De capa dura o pirolítica)	p. 98
4.1.7 Vidrios laminados	p. 98
4.1.8 Vidrios dobles o múltiples	p. 101
4.2 Formas de instalación del vidrio	p. 105

**CAPÍTULO 5:**  
**Ejemplo De optimización climática de edificios por el uso adecuado del vidrio** p. 113

**CONCLUSIONES** p. 121

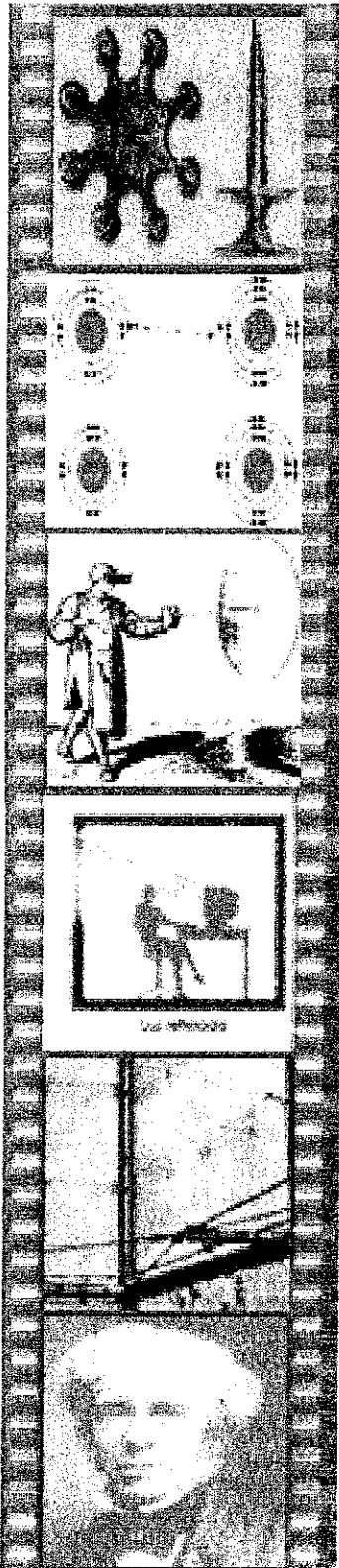
**BIBLIOGRAFÍA** p. 125

**ANEXO 1: Efecto de diversos elementos en las características del vidrio.** p. 131

**ANEXO 2: Biografías de personajes citados** p. 137







# Introducción

*"Lo que importa es preservar el mundo; pero para preservarlo han de hacerse ciertos cambios, las tendencias históricas han de ser comprendidas y anticipadas."*

*Erich Fromm  
Tomado de métodos prospectivos, cap. III*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Todos tenemos aunque sea una vaga idea de lo que es un material, aún sin dar una definición muy científica podríamos decir lo que son, puesto que conocemos la importancia que encierran en nuestro cotidiano devenir.

Pero para el caso específico de este estudio, se define a un material como todo aquello que está conformado por materia entendiéndose ésta por la "substancia moldeable" a la que se le da un uso particular para desarrollar una actividad específica.<sup>1</sup>

El uso de los materiales inicialmente se basaba en lo que la naturaleza le ofrecía al hombre, como lo eran las piedras, la madera, las fibras naturales, entre otros; pero con el paso del tiempo el hombre empezó a dominar este campo, y pudo modificarlos de manera que actualmente los diseña de acuerdo con las características que se esperan obtener de ellos.

Los materiales en las diferentes facetas de la historia han sido de crucial importancia para el desarrollo de las civilizaciones. Estos van estrechamente ligados con la técnica, pues de ellos se vale para materializarse. Si damos un rápido vistazo retrospectivo, podemos ver lo esenciales que resultaron los materiales para la misma supervivencia del hombre, puesto que necesitaron desarrollar herramientas para defenderse, utensilios para la elaboración de sus alimentos, cobijo para protegerse de las inclemencias del clima; como diría Ortega y Gasset, la técnica fue la que salvó a la especie humana. Pero hoy en día, esta búsqueda de nuevos materiales va más allá de la "salvación" a partir de los mismos; se busca suplir las necesidades creadas por nosotros, dándonos confort físico y psicológico debido a la ergonomía que podemos obtener de ellos. Estamos en una continua búsqueda para mejorar nuestra calidad de vida. En la arquitectura podemos obtener éste confort y nuevas sensaciones proporcionadas por los diferentes materiales, como es el caso del vidrio, tema central de esta investigación.

La presente investigación tiene como **OBJETIVO GENERAL**, describir las características del vidrio y su tecnología, evidenciando que en la evolución del mismo se ha ubicado como un material de van-

guardia, con el que se logra además de transparencia, confort térmico si se usa el tipo adecuado de vidrio.

Para cumplir con este objetivo general, se han planteado cinco **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**:

1. Conocer la evolución que han sufrido los materiales con el pasar del tiempo, para entender dónde estamos y hacia dónde vamos.
2. Conocer los diferentes materiales y clasificarlos por sus propiedades, ya que el arquitecto por lo general los utiliza sin tener conocimiento de ellos.
3. Conocer las características y propiedades de los vidrios, con el fin de entender su comportamiento físico-mecánico; así como las posibilidades de clasificación de los mismos en un lenguaje claro y aplicable para los arquitectos.
4. Conocer los diferentes tipos de vidrio y sistemas de envidriado que permitan proporcionar confort térmico al interior de un edificio.
5. Demostrar la mejora del comportamiento térmico de una fachada utilizando tipos adecuados de vidrios.

La **HIPOTESIS** planteada es la siguiente:

La utilización de materiales vanguardistas en la construcción, *entendiéndose éstos por todos aquellos materiales que van de la mano con los adelantos científicos y que concentran funciones que le dan un valor agregado a la construcción*, generarán cambios en la forma de concepción de la arquitectura. Tal es el caso del vidrio, que aunque es uno de los materiales más antiguos incorporados en la construcción, ha logrado posicionarse como un material de vanguardia por todas las posibilidades de uso que brinda actualmente; es un material reciclable y de cierta forma sustentable, pues al ser utilizado teniendo en cuenta factores como el clima, la ubicación y el entorno, podrá proporcionar confort térmico, ahorro de energía y reducción de la contaminación del medio ambiente.

Para abarcar todas estas expectativas, se divide la investigación en cinco capítulos que tratan respectivamente la siguiente temática:

<sup>1</sup> Los materiales de la civilización, Carlos E. Rangel Nafai, p. 9

## **CAPÍTULO 1: Antecedentes:**

Se ilustra brevemente la importancia de los materiales en la evolución de las civilizaciones y de la arquitectura, puesto que han permitido, a través de la historia, generar cambios significativos en la humanidad.

Esto servirá de preámbulo para entender cronológicamente la aparición de una nueva generación de materiales y comprender que de no ser por ellos, el hombre no estaría interactuando con los avances tecnológicos que hoy lo rodean.

## **CAPÍTULO 2: Definición y clasificación de los materiales:**

Este capítulo tiene como fin, introducir al lector en la problemática de los materiales, con el objetivo de comprender su estructura y clasificación, para obtener un mejor entendimiento de las diferentes características que cada grupo de materiales tiene. Por consiguiente se dará la definición de material, teniendo en cuenta los grupos en los que se clasifican: metálicos, cerámicos, poliméricos y compuestos.

## **CAPÍTULO 3: El vidrio**

Se profundizó en el vidrio, se abarcó desde la evolución de los mismos, para posteriormente tratar las materias primas, procesos de fabricación, tipos de vidrios, propiedades, etc.

## **CAPÍTULO 4: El vidrio, componente arquitectónica transparente y controlable**

Se estudiaron las posibilidades de clasificación de los vidrios por sus características, siempre considerando la envolvente vertical de la fachada y se analizará el caso específico de los vidrios que ofrecen protección térmica.

## **CAPÍTULO 5: optimización climática de edificios por el uso adecuado del vidrio**

En este capítulo se estudiarán en un mismo edificio diversos tipos de vidrio, bajo condiciones climáticas diferentes, para comprender los beneficios térmicos

que se pueden obtener por el uso adecuado del vidrio.

La intención de esta distribución de los capítulos es hacer un rápido recorrido por el mundo de los materiales, entender cómo evolucionaron y qué perspectivas de uso pueden haber de ellos; quiénes fueron las personas que contribuyeron a esa evolución y cómo lograron marcar cambios importantes en este "universo material", a ellos les dedico un anexo de biografías para que no queden anónimos entre nosotros los consumidores de materiales; entender que tipos de materiales hay y profundizar finalmente en el vidrio, ubicándonos en épocas remotas en donde se da su aparición, visualizar sus transformaciones y posibilidades de uso, y finalmente entender cómo a partir del correcto uso del vidrio se puede obtener confort térmico y ahorro energético.

Asimismo estos capítulos se plantean con el fin de dar respuesta a una serie de preguntas:

**¿Qué es en realidad un material? ¿Qué lo hace más o menos resistente que otros? ¿En qué se basa la decisión del arquitecto para la selección de un material? ¿Qué materiales nuevos se introducirán en la construcción? ¿Por qué el predominio de materiales determinados según la tendencia arquitectónica? ¿Manejaremos los mismos materiales por mucho tiempo? ¿Producirán nuevos materiales cambios significativos en la arquitectura?**

Es evidente la estrecha relación que los materiales tienen con la arquitectura **¿Cómo concebir la arquitectura sin materiales?** pienso que es un punto básico en nuestro ejercicio profesional, aunque tenga una respuesta obvia, ya que sin éstos no habrían elementos delimitantes que conformaran los espacios y sin éstos, arquitectura. El proyectar con materiales innovadores, de vanguardia nos abren las puertas para edificar un futuro integral, en el sentido que permite una aproximación a las necesidades del hombre, enlazando la arquitectura y los avances científicos propios de la época en que vivimos.

**¿Por qué me inclino por el vidrio?**, pues bien, la pregunta que me formulé anteriormente "**¿Por qué el predominio de materiales determinados según la tendencia arquitectónica?**", hace pensar, en el vidrio, ya que es un material en extremo utilizado por

los arquitectos hoy en día, tal como lo diría Joseph S. Amstock, en su manual del vidrio en la construcción "La revolución del vidrio se ha llevado a cabo en toda su extensión en esta era moderna de la construcción". Y nuevamente surgen otras preguntas **¿Cuántos tipos de vidrios hay? ¿Hay algún tipo de vidrio en especial que deba utilizarse para las fachadas? ¿El vidrio es un material seguro para el uso en fachadas? ¿Debo sacrificar el confort térmico por la transparencia?**

Para resolver todas estas inquietudes me basé tanto en fuentes primarias como secundarias:

Fuentes primarias: en lo referente a las generalidades expuestas de los diferentes materiales conté con la asesoría de la Dra. María Elena Villafuerte, investigadora del instituto de investigación de materiales de la UNAM; en lo referente al vidrio, básicamente tuve dos fuentes primarias: en cuanto a la composición y estructura del vidrio, conté con la asesoría del Dr. Gerardo César Díaz Trujillo, investigador del instituto de investigación de materiales de la Universidad Autónoma de Baja California, y en cuanto a la fabricación y aplicación en la arquitectura, conté con el apoyo que me brindó la empresa Vidrio Saint Gobain de México, al permitirme visitas guiadas a su planta en Cuautla Morelos y asesoría del área técnica comercial.

Fuentes secundarias y otras fuentes: Se han desarrollado varias investigaciones sobre el vidrio enfocadas en diferentes aspectos: en cuanto a su composición química y procesos de fabricación cabe destacar el libro "El vidrio" de José María Fernández, por ser muy completo y claro; en cuanto a la aplicación en la arquitectura, el libro "Manual del vidrio en la construcción", de Joseph Amstock, es una guía de consulta muy útil para el constructor, además de otros libros que profundizan en algunos puntos específicos y que se concentran en temas de interés particulares como la historia, manufactura, usos, entre otros. Asimismo hay catálogos de productos e información bajada de internet, la cual en gran medida, está muy actualizada y completa.

Esta investigación está dirigida básicamente a los arquitectos y estudiantes de arquitectura, pues es desde el proyecto en donde debemos definir los materiales que se van a utilizar, debemos prevenir el comportamiento de los materiales al interactuar con

otros componentes.

Asimismo esta investigación permite hacer una rápida exploración del vidrio y descubrir su ubicación dentro del gran mundo de los materiales. Es el inicio de la respuesta a mis inquietudes, por lo que abre una brecha a una investigación más completa.

## MARCO TEÓRICO:

Debemos considerar que el proyecto arquitectónico, es un sistema integral, entendiéndose éste por el conjunto de elementos que interactúan entre sí dentro de un tiempo y espacio determinado para formar el todo, es decir, el edificio. Cabe decir que actualmente, es también un sistema global, porque dejó de ser un problema local o regional al estar involucrado con una tendencia mundializadora, desde el punto de vista de materiales, de mano de obra, de conceptos, entre otros.

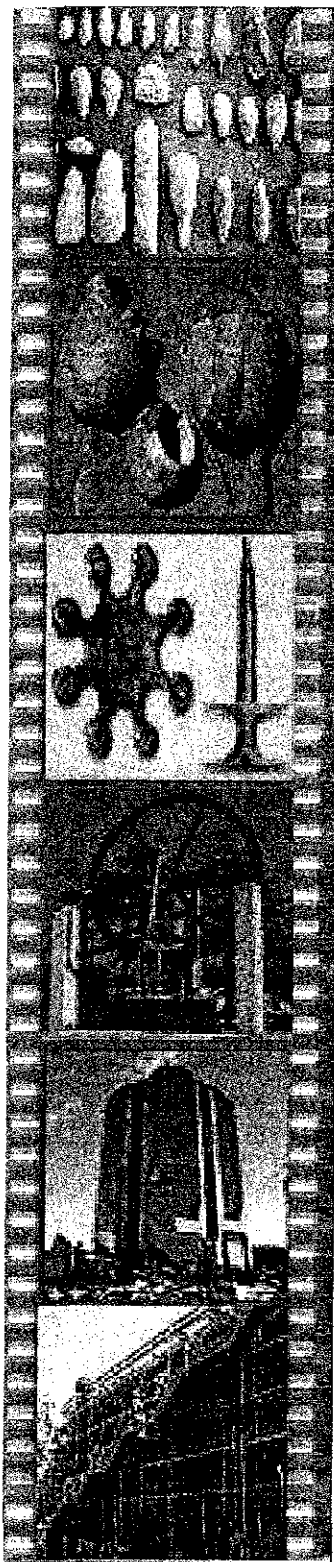
Este sistema integral encierra dentro de él diferentes subsistemas<sup>2</sup> que lo conforman como son:

1. El sistema estructural.
  - a. Sistema portante.
  - b. Sistema de sustentación.
2. El sistema de cerramiento.
3. El sistema de servicios o instalaciones.
4. El sistema de circulación.
5. El sistema de protección.

Sin la presencia de los materiales, estos sistemas no existirían; necesitamos una materia prima que permita hacer tangible la obra arquitectónica, en otras palabras que permita materializarla.

El material que de esta investigación como comento anteriormente y como lo indica el título, es el vidrio, pero se tratará sólo el vidrio para aplicación de fachadas en usos verticales, que dentro de los sistemas anteriormente enunciados entran en el de cerramiento, y que ofrezcan confort térmico al interior.

<sup>2</sup> *Introducción a la construcción, Jesus Veloza, p. 11*



# capítulo 1

# Antecedentes

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*“En su afán de usar y/o manufacturar materiales, el hombre ha enfrentado su raciocinio y curiosidad a la problemática de sustituir materiales agotados, optimizar las propiedades de los ya existentes y reducir los efectos nocivos de los que tiene en uso. Bajo este esquema, el desarrollo de su cultura material ha producido las modificaciones necesarias para continuar aceleradamente hasta la etapa actual del hombre contemporáneo.”*

CARLOS E. RANGEL NAIFLE  
*“Los materiales de la civilización”, p.27*

La idea de este capítulo es ilustrar brevemente el arraigo e importancia de los materiales a través de la historia de la civilización, y de la construcción arquitectónica.

# 1.1

# los materiales en la civilización

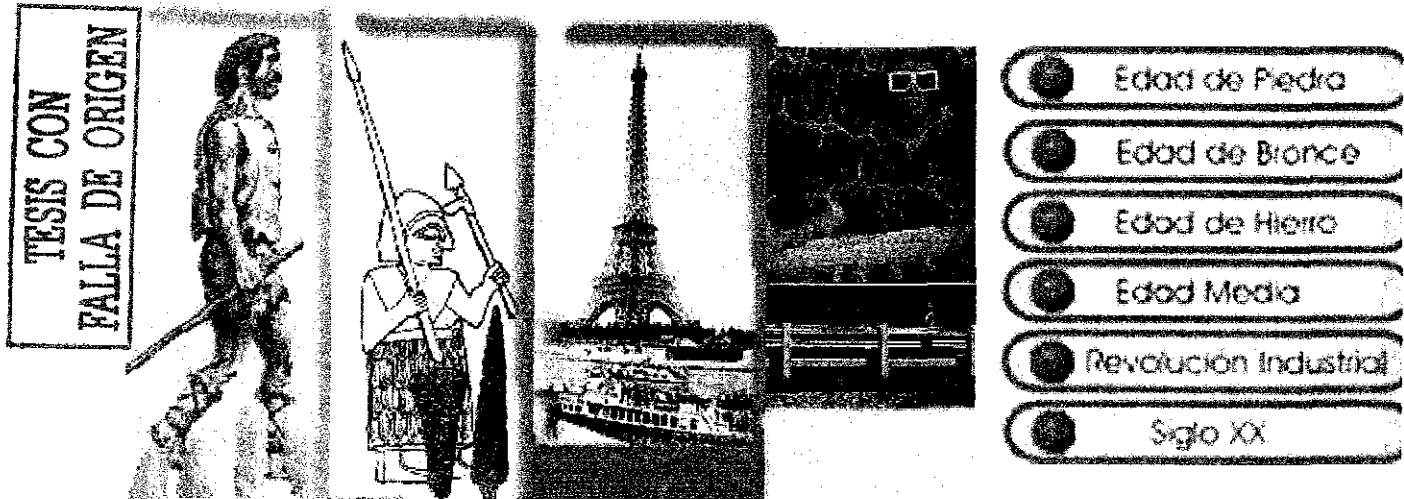


Imagen diseñada por Ana María Navia con fines didácticos y no lucrativos.

De una u otra manera entendemos la relevancia de los materiales en nuestras vidas, lo que nos permite tener pleno conocimiento de los que es un material, y dar una definición del mismo, aún sin ser muy científica. En mayor o menor medida cada uno de nosotros tiene una idea de la importancia que estos encierran en nuestro cotidiano devenir. Importancia que viene marcada desde los primeros vestigios de la civilización.

El hombre como ente de las primeras sociedades establecidas en el planeta, tenía mecanismos de defensa físicos inferiores respecto a otras especies para sobrevivir a las inclemencias del medio ambiente y a los ataques de diferentes animales que diariamente enfrentaban. En respuesta a esta problemática y apoyado en su instinto e inteligencia fabricó armas, vestido y herramientas mostrando como desde sus inicios el hombre ha estado en continua búsqueda de una mejor calidad de vida, para lo que tuvo que explotar al máximo los recursos naturales transformándolos para posteriormente adecuarlos a lo que sus necesidades le exigían.

Es así como se adapta de manera artificial al medio que lo circunda gracias a los materiales que hasta

entonces tenía a su alcance, dotándose así de una "cultura material". El hombre es por naturaleza "homo faber"<sup>1</sup>, es decir animal constructor de herramientas, las cuales sin lugar a dudas están constituidas por materiales, sin importar su clasificación.

Si pensamos en el Paleolítico, Neolítico o cualquier otra época a la que queramos hacer referencia, encontraremos como aspecto decisivo en el desarrollo de la vida misma del hombre, el contacto que éste ha tenido con los materiales, punto clave de referencia del avance técnico que el hombre protagonizaba en ese momento.

Muchos materiales han sido de crucial importancia en el desarrollo de la humanidad, bautizándose diferentes eras en la historia con el nombre del material que constituyó la "tecnología de punta" del momento, es así como encontramos la edad de piedra, edad de bronce, edad de hierro, etc.

<sup>1</sup> El hombre y los materiales, Guillermo Aguilar Sahagún, fondo de cultura económica, México, 1988, p.7

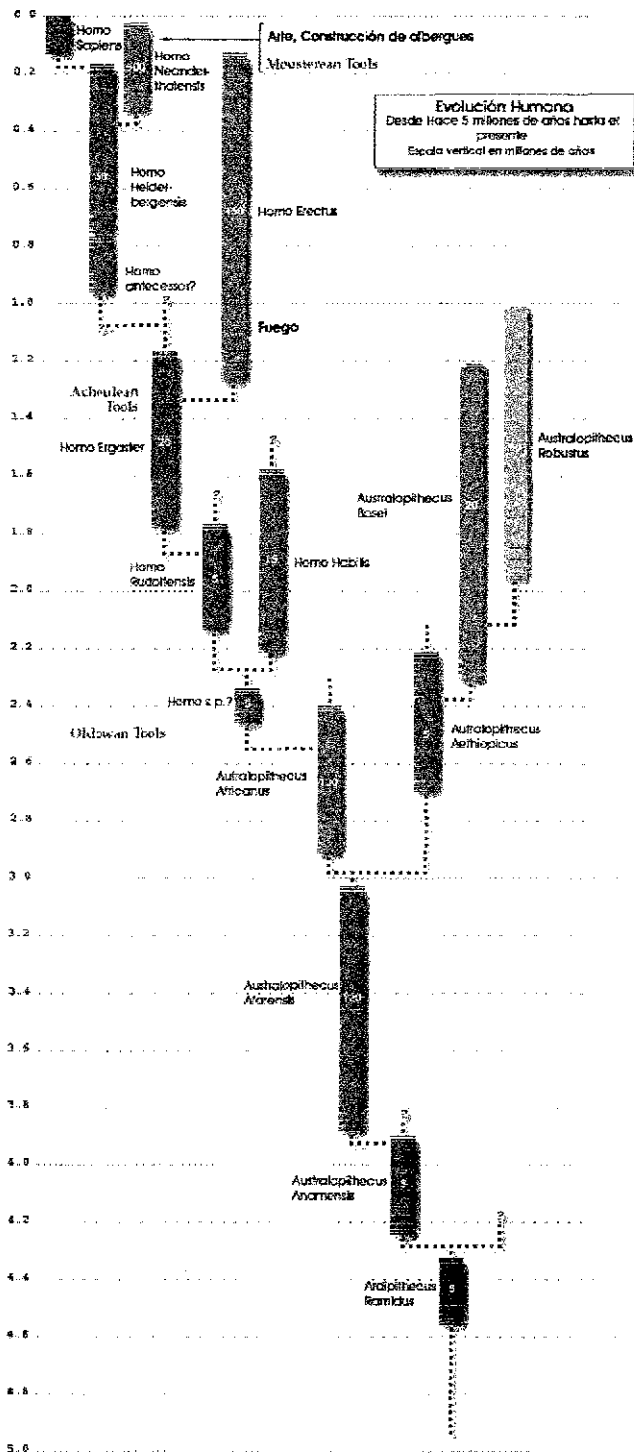


Imagen tomada de <http://www.geocities.com/plaeontrhopology/>

**1.1.1** En la Edad de Piedra (Desde la aparición del hombre hasta el año 2.500 a.C.) el hombre habilis desarrolló utensilios para la caza, herramientas y diversos elementos, combinando con el pedernal (material de color amarillo con vetas en tonalidades grises que tiene las características de ser duro y a la vez quebradizo)<sup>2</sup>, la madera y algunas fibras naturales, como cabellos de animales, marfil y juncos, aprovechando las características de cada uno de ellos y teniendo en cuenta el fin al cual iban a ser destinados. Esto permitió avances en diferentes aspectos, como la defensa, puesto que podían protegerse ante los diversos peligros a los que estaban expuestos; permitió un avance económico ya que se volvieron menos vulnerables ante los diferentes problemas que enfrentaban y por lo tanto las poblaciones se consolidaban cada vez más; e igualmente permitió un avance cultural ya que superó su calidad de vida respecto a otras culturas pasadas, sirviendo como punto de partida para las herramientas y demás adelantos de la actualidad.

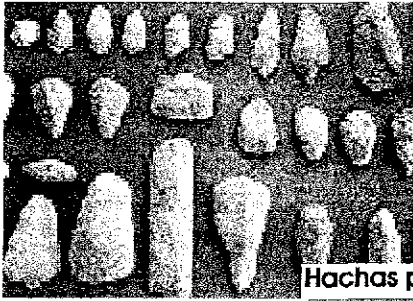
La Edad de Piedra se divide en subperiodos:

1. Paleolítico (etapa antigua de la piedra)
2. Neolítico (etapa nueva de la piedra).
3. Mesolítico (Paso del Paleolítico al Neolítico, iniciado con la última glaciación)

En esta era el hombre usó pasivamente los materiales que estaban a su alcance, lo que varía de alguna manera gracias al descubrimiento del fuego (el cual se obtenía por la fricción de piritas de hierro y pedernal, o por el movimiento repetitivo de una varita de madera sobre un hoyo en una superficie del mismo material), proveyéndolo de calor e iluminación, a la vez que le brindaba variedad en el recurso de la comida, al ofrecerle la posibilidad de cocción. Esto último permitió el desarrollo de diferentes utensilios, pues eran necesarios para la elaboración de los alimentos. En cuanto a la fabricación de dichos artefactos, el hombre usó la arcilla, primer material orgánico estructural modificado deliberadamente por el hombre, a partir de la curiosidad de mezclar minerales y exponerlos al fuego. Se han encontrado artículos de barro cocido en el Medio Oriente que datan del año 10000 a.C. Alrededor del año 4000 a.C. constituyó parte importante del comercio en Egipto, ya que se negociaba con ollas y otros artefactos.

<sup>2</sup> Op Cit., p.16

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Hachas paleolíticas

- 
- Halladas en Valverde del Camino (Huelva).
- 
- *tomado de internet,*
- <http://utopiaverde.org/historia/prehistoria/edad-piedra/home.html>
- 
- 

**1.1.2** En la Edad de Bronce (Desde el año 2.500 hasta el 1.000 a.C.) El hombre estaba adentrándose en la transformación de los materiales, descubriendo la posibilidad de aleación de minerales, siendo el caso específico del bronce que es resultado de la aleación de cobre<sup>3</sup> con estaño, destacándose por ser la más antigua utilizada por la humanidad.

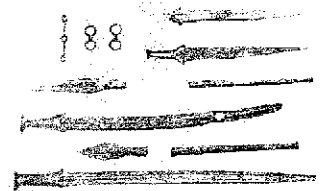
Los yacimientos de los materiales necesarios para el procesamiento del bronce, se encontraban en la Península Ibérica, así: en Galicia, se encontraban los más abundantes en estaño, mientras las minas de cobre más ricas se localizaban en el Algarve portugués y en la provincia de Huelva (Andalucía, España), cuya explotación comenzó en tiempos remotos.

Esto nos muestra que el hombre con el paso del tiempo estaba conociendo mejor las características de su entorno, lo que lo ayudaba a incrementar sus habilidades en la ciencia de los materiales y la técnica.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<sup>3</sup> El cobre posiblemente se descubrió en el año 6000 a.C., época en que se encontraba este material en estado metálico y se trabajaba con la técnica de forjado, por medio del cual se endurecía debido a la deformación que sufría. Su nombre se obtuvo gracias a los romanos, quienes por encontrar Chipre fuente de este material, lo llamaron aes cyprium (mineral de chipre), el cual posteriormente se abrevió a cyprium y finalmente a cuprium, de donde se deriva su símbolo químico.

Esta etapa de la historia trajo consigo una reorganización de la sociedad, gracias al mejoramiento de las herramientas y artefactos, tales como copas, espadas, cascos, escudos, urnas y ornamentos que se empiezan a comercializar, conformando incluso rutas comerciales, lo que constituía todo un círculo económico. Europa fue el sitio de desarrollo de técnicas del bronce diferenciadas y sus centros de irradiación son las regiones mineras. "Surgieron grandes áreas culturales y una sociedad más compleja: junto a la agricultura y la ganadería progresaron la industria y la artesanía; se desarrolló también una actividad de trueque, utilizando como base el ámbar (descubierto en Jutlandia y Samland). La expansión cultural y comercial se produjo en un mismo sentido Sur-Norte.



Espadas

Las espadas encontradas en la ría de Huelva (confluencia de los ríos Tinto y Odiel) son muy características: la hoja y la empuñadura son de una sola pieza de fundición, y a lo largo de la hoja corre un nervio central. En los hallazgos de Huelva abundan mucho las puntas y los regatones de lanza

*Tomado de internet:*  
<http://utopiaverde.org/historia/prehistoria/edad-bronce/home.html>

Las relaciones entre los pueblos de la actual España y las tierras del Mediterráneo fueron particularmente intensas en el período del Bronce, debido principalmente al comercio del metal, ya que la Península Ibérica era entonces uno de los centros mineros y metalúrgicos más importantes del mundo (aunque no el único).<sup>4</sup> Incluso podemos encontrar piezas de alta calidad en loza fabricadas en la China en el año 1400 a.C., técnica que se fue perfeccionando, logrando en el siglo IX manufacturar productos de porcelana fina a temperaturas más altas que las

<sup>4</sup> <http://utopiaverde.org/prehistoria/historia/edad-bronce/home.html>

piezas de terracota común, con el fin de vitrificar la mezcla y obtener un producto final traslúcido, contribuyendo con esto, al comercio entre Europa y China.

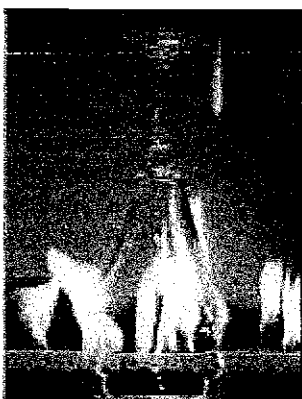
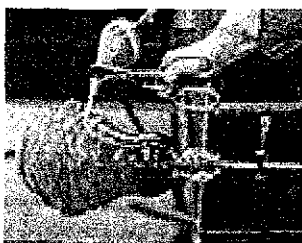
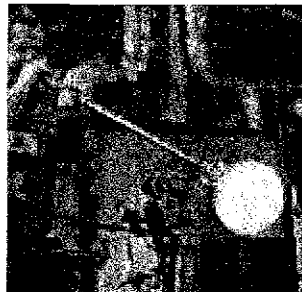
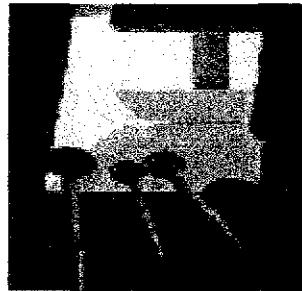
También en la Edad de Bronce, encontramos los especímenes más antiguos de piezas de vidrio de la historia. Hallazgos realizados en el Antiguo Egipto, que datan aproximadamente del año 2500 a.C., objetos que consistían en cuentas de collares o abalorios, pero las vasijas aparecen hasta el 1500 a.C. Probablemente fueron los artesanos asiáticos, los que establecieron la industria del vidrio en Egipto, lugar de procedencia de las primeras vasijas producidas durante el reinado de Tutmosis III (1504-1450 a.C.). La fabricación del vidrio fue una actividad manufacturera importante en Egipto y Mesopotamia hasta el 1200 a.C. y posteriormente cesó casi por completo durante varios siglos.<sup>5</sup>

En Egipto se produjo un vidrio claro, decorado con colores azul y verde, con contenidos de sílice pura, con el cual realizaban, aparte de las vasijas, amuletos, collares y piezas vítreas para incrustaciones en muebles.

En el siglo IX a.C. Siria y Mesopotamia fueron grandes centros productores de vidrio, y la industria se difundió por toda la región del Mediterráneo. Durante la época helenística Egipto se convirtió, gracias al vidrio manufacturado en Alejandría, en el principal proveedor de objetos de vidrio de las cortes reales. Sin embargo, fue en las costas fenicias donde se desarrolló el importante descubrimiento del *vidrio soplado*<sup>6</sup> en el siglo I a.C., técnica que se trabajó posteriormente en Roma, y que se sigue utilizando hasta nuestros días. Durante la época romana la manufactura del vidrio se extendió por el Imperio, desde Roma hasta Alemania, en donde los romanos demostraron su destreza en el uso de óxidos metálicos para decorar los objetos de vidrio.

<sup>5</sup> <http://www.lalcecsanisidro.org.ar/saber/vidrio.htm>

<sup>6</sup> "Se realizaba usando un tubo de hierro de varios pies de longitud con una boquilla en un extremo y un accesorio para sostener el vidrio fundido en el otro. Una porción de vidrio fundido con una viscosidad y forma inicial se adhiere al extremo del tubo de hierro y entonces se sopla por un artesano, ya sea libremente al aire o dentro de la cavidad de un molde." *Fundamentos de manufactura moderna*, pág. 173.



Vidrio Soplado

Proceso de fabricación

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Imagen diseñada por Ana María Navia con fines didácticos y no lucrativos.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Antes del descubrimiento del vidrio soplado se utilizaban diferentes procedimientos para moldear los objetos de vidrio; algunos recipientes eran tallados en bloques macizos de cristal; otros se realizaban fundiendo el vidrio con métodos parecidos a los de la cerámica y la metalurgia, y utilizando moldes para hacer incrustaciones, estatuillas y vasijas tales como jarras y cuencos. Incluso, se elaboraban tiras de vidrio, posteriormente se fundían juntas en un molde y producían de esta manera, vidrio en listones.

También se realizaban diseños de gran complejidad mediante "la técnica del mosaico", en la que se fundían los elementos en secciones transversales que, una vez fundidos, podían cortarse en láminas. Las superficies resultantes de esos cortes se fundían juntas en un molde para producir vasijas o placas.

"La mayor parte de las piezas anteriores a los romanos se realizaban con la técnica de moldeado sobre un núcleo, que consistía en fijar a una varilla de metal una mezcla de arcilla y estiércol con la forma que deseaba darse al interior de la vasija. Ese núcleo se sumergía en pasta vítrea o se envolvía con hilos de esa misma pasta, que se recalentaba y pulía sobre una piedra plana para darle forma. La posibilidad de dirigir el hilo de pasta vítrea en varias direcciones sobre el núcleo permitía realizar filigranas decorativas con hilos de uno o varios colores. A continuación se añadían las asas, la base y el cuello, y se enfriaba la pieza. Por último se retiraba la varilla de metal y se extraía el material que conformaba el núcleo. Esta técnica se usaba sólo para hacer vasijas pequeñas, tales como tarros para cosméticos o frascos, como puede apreciarse en los objetos egipcios típicos de las XVIII y XIX dinastías. Los objetos realizados a partir del siglo VI a.C. con este método de envolver un núcleo, tenían formas que se inspiraban en la cerámica griega."<sup>7</sup>

El método del soplado de vidrio, el cual resultaba más rápido y más barato, se extendió desde Siria a Italia y a otras zonas del Imperio romano, reemplazando poco a poco las antiguas técnicas y trayendo consigo nuevos valores estéticos, puesto que el color y el diseño restaban importancia, al renacer conceptos como la fragilidad y la transparencia del material.

<sup>7</sup> <http://www.lalcecsanisidro.org.ar/saber/hvidrio.htm>



1950



1973



1996

## Vidrio Soplado

*Imagen diseñada por Ana María Navia con fines didácticos y no lucrativos.*

Suplantando el vidrio incoloro, hacia finales del siglo I d.C. al vidrio coloreado en la elaboración de los objetos más cotizados. La técnica del Soplado hizo posible la producción a gran escala del vidrio convirtiéndolo en un material de uso frecuente.

En la edad de bronce, los metales se popularizaban rápidamente debido a sus grandes ventajas respecto a los materiales conocidos hasta el momento. Uno de los metales importantes en la evolución tecnológica es el hierro, el cual está presente en la tierra pero ligado a otros elementos. El hierro se descubrió en algún momento en la edad de bronce, desplazando posteriormente en importancia a este material.

**1.1.3** La Edad de Hierro, empezó aproximadamente en el año 1000 a.C, época en que se descubre la manera de extraerlo en Asia Menor y continúa hasta el siglo I a.C.

El hierro aparece inicialmente como resultado de la reducción de minerales a través de calor, pero aún así la temperatura que se requería es menor a la del punto de fusión del mismo, luego el producto que se obtenía se martillaba para obtener una masa compacta. Una vez conocidas las técnicas para su manufactura, se difunden rápidamente como respuesta a la abundancia de minas que se encontraban y a lo favorable, en términos económicos, de su explotación. Esto permitió que todos los ejércitos pudieran dotarse de armas, pero no fue sino hasta el

año 1000 a.C cuando apareció el primer ejército con armas de acero, producto este último de la modificación del hierro con carbono.<sup>8</sup>

En Israel se han descubierto hornos para la fabricación de objetos en hierro, que datan del año 1300 a.C. En Asiria (al norte de Irak) se fabricaron en el año 1000 a.C. carros, espadas y herramientas en este material.

El hierro fue materia prima y responsable de muchos adelantos tecnológicos como la polea, la palanca, motores de aire comprimido, e incluso como herramienta básica para el arado provocando en el cultivo mejores resultados en cuanto a rendimiento se refiere. Asimismo, fue el material dominante en el imperio romano, pero en esa época también se desarrolló el cemento hidráulico, lo que jugó un papel muy importante en la expansión romana en Europa, a la vez que dejó grandes aportes en la ingeniería civil, en construcciones tales como puentes, acueductos, caminos y monumentos.

"La invención del cañón en Europa durante la Edad Media, creó la primera demanda real de hierro; sólo hasta entonces el uso del hierro sobrepasó finalmente al del cobre y del bronce, también la estufa de fundición de hierro, como artículo doméstico de los siglos XVII y XVIII, contribuyó a incrementar significativamente la demanda de hierro."<sup>9</sup>



Imagen diseñada por Ana María Navia con fines didácticos y no lucrativos.

Este material siguió jugando un papel protagónico hasta el siglo XVIII, época en que se desarrolla el uso del acero. Este material provocó en gran medida la **Revolución Industrial** inglesa en el siglo XIX.

<sup>8</sup> Los materiales de la civilización, p. 38

<sup>9</sup> Fundamentos de manufactura moderna, pág. 115

#### 1.1.4 De la Revolución industrial a nuestros días

La Revolución industrial trajo consigo cambios sociales, económicos y tecnológicos, pues hubo un giro dramático en la economía ya que se basaba inicialmente en la agricultura, y posteriormente en la industria. Uno de los efectos que esta revolución trajo, fue el aumento y mejora del estándar de vida, ya que las cosas se podían producir en serie de modo industrializado y por ende de manera más económica. Durante el siglo XIX, industrias como la construcción, ferrocarriles, industria militar, maquinaria y construcción de barcos, crean un dramático crecimiento en la demanda de hierro y acero en Europa y en América. Pero los procesos de producción del acero y del hierro forjado eran considerablemente lentos, por lo tanto necesitaban incrementar esta productividad. "Henry Bessemer" <sup>10</sup> desarrolló en Inglaterra el proceso para soplar aire a través del hierro fundido que condujo a la invención del convertidor Bessemer (patentado en 1856). Los hermanos Pierre y Emile Martin construyeron en Francia el primer horno de hogar abierto en 1864. Estos métodos permitieron producir hasta 15 toneladas de acero en un solo lote (hornada), un adelanto significativo sobre los métodos anteriores."<sup>11</sup>

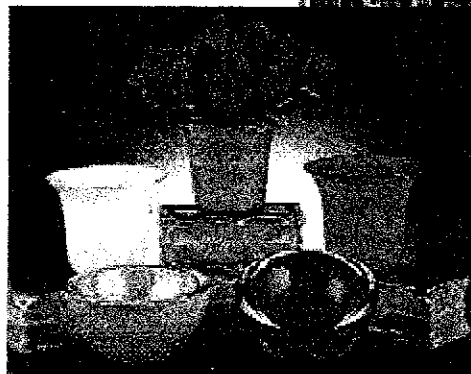
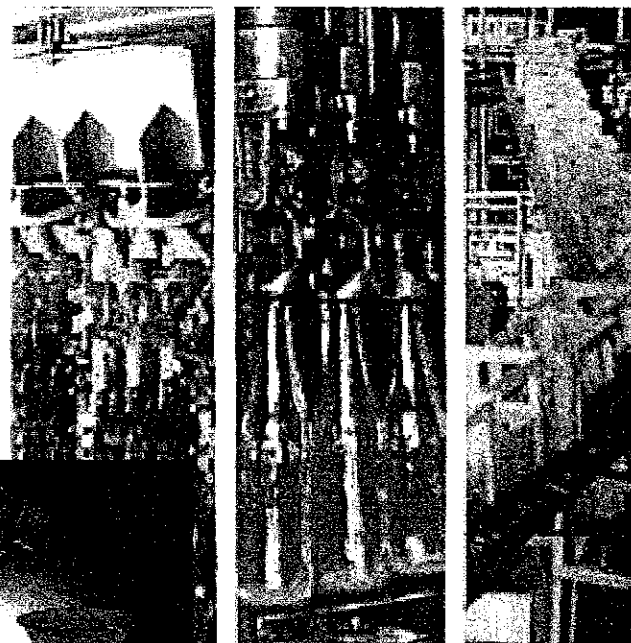
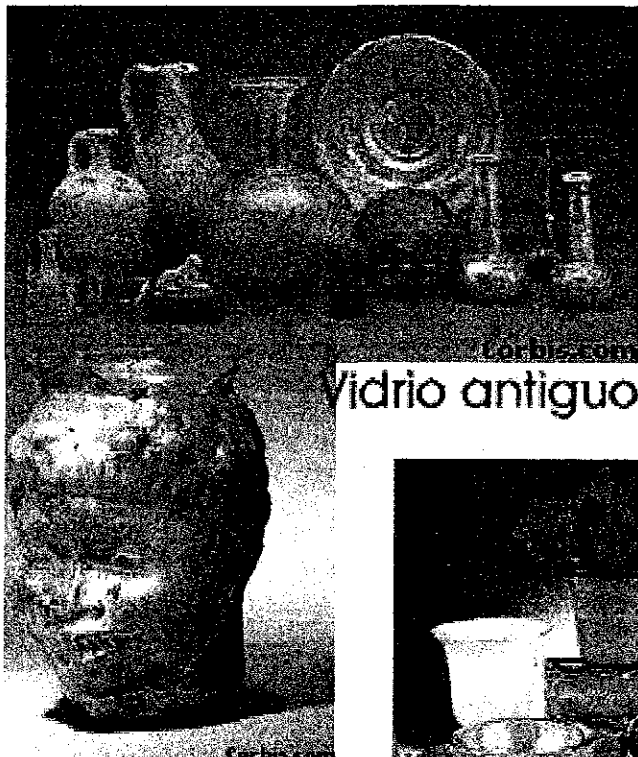
La demanda del acero se iba incrementando cada vez más, impulsada a la vez por diferentes acontecimientos, como la expansión de los ferrocarriles en Estados Unidos después de la Guerra Civil, la necesidad de reunir en la construcción mejores características estructurales, brindadas por este material, así, entre 1880 y 1890 se empezaron a usar las vigas de acero para la construcción en cantidades significativas, al igual que la construcción de rascacielos empezó a depender de este acero estructural.

Paralelamente a la utilización de otros materiales el vidrio se siguió desarrollando y su técnica se fue perfeccionando. A finales de la edad media, escaseó el carbonato sódico, razón por la cual los vidrieros del norte utilizan como fundente, la ceniza de madera, con el fin de obtener un vidrio de contenido potásico-cálcico. El nombre que se le dio a este vidrio fue Waldglas (del alemán vidrio del Bosque). En la edad media este material gana mucha importancia debido a las grandes vidrieras características de las catedrales medievales europeas.

<sup>10</sup> Ver Anexos, Biografías de personajes citados

<sup>11</sup> Fundamentos de manufactura moderna, p'ag. 115

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## Vidrio moderno

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Imagen diseñada por Ana María Navia con fines didácticos y no lucrativos.

La industria italiana del vidrio se concentraba en Venecia, en la isla de Murano, dominando el mercado europeo hasta el año 1700. Su contribución más importante fue el desarrollo de un vidrio sódico duro y refinado de gran ductilidad; incoloro y de gran transparencia, semejante al cristal de roca y era conocido como cristal.<sup>12</sup>

Hacia el siglo XVII la influencia que Italia había adquirido en la industria vidriera, desapareció al surgir nuevas fabricas y técnicas en Inglaterra y Alemania.

"Otro descubrimiento que sirvió para disminuir la influencia veneciana en Europa fue el del vidrio de protóxido de plomo, cuya fórmula inventó George Ravenscroft en Inglaterra. Más suave, brillante y duradero que el frágil cristal."<sup>13</sup>

El desarrollo del vidrio continuó de manera acelerada en el siglo XIX, viéndose favorecida esta industria por los avances químicos en la materia, al obtener vidrios coloreados opacos muy parecidos a piedras semipreciosas. En este siglo hubo una fuerte influencia de los métodos y tendencias decorativas antiguas, producto de la saturación y monotonía de los productos en serie.

Los movimientos artísticos del siglo también se manifestaron en la producción de artículos en vidrio, es el caso del Art Nouveau que entre 1890 y 1910, empiezan a manejar el concepto de esta corriente artística, produciendo cristales con formas alusivas a la naturaleza, colores extravagantes y efectos extraordinarios, tal como el cristal iridiscente Favrite inventado por Tiffany.

La revolución industrial es un momento crucial en la historia tecnológica de la humanidad ya que se usaron nuevas maquinarias y tecnologías, que permitieron al hombre incursionar en un mundo en donde las interacciones de los materiales y tec-

<sup>12</sup> <http://www.lalcecsanisidro.org.ar/saber/hvidrio.htm>

<sup>13</sup> <http://www.lalcecsanisidro.org.ar/saber/hvidrio.htm>



nologías de vanguardia, se convirtieron en uno de los principales ingredientes del futuro, y base de los avances de materiales e innovaciones tecnológicas que el hombre ha visto acaecer.

A finales del siglo XIX, se pudo disponer de cantidades necesarias de energía, facilitando la producción del acero en hornos eléctricos. El primer horno eléctrico para la producción de acero se inició a operar en Francia en 1899 y ya en 1920 se había convertido en el principal proceso para fabricar aceros de aleación.

Poco antes de la Segunda Guerra Mundial se empezó a utilizar oxígeno puro, en la producción del acero en varios países de Europa y en Estados Unidos. En Austria, después de la Guerra, se desarrolla el horno básico de oxígeno, lo que se convirtió en la técnica moderna para producir acero. Es así como las tecnologías se van superando y van reemplazando a sus antecesoras, lo que se evidencia en la misma producción del acero, pues en 1920 el convertidor de Bessemer había sido superado por el método del hogar abierto, que a su vez, fue mejorado en 1970 por el método del horno básico de oxígeno.

En cuanto al Aluminio, el siglo XIX atestiguó el desarrollo de este material. En 1807 *Humphrey Davy*<sup>14</sup> intentó extraer con poco éxito el metal del mineral alúmina, y le dio el nombre de Alumio, el cual cambió a Aluminio. Finalmente en 1825 *Hans Oersted*<sup>15</sup> obtuvo éxito en la extracción de este material; en 1845 *Friedrich Wöhler*<sup>16</sup> determinó la gravedad específica del aluminio, su ductilidad y otras propiedades; en 1886 *Charles Hall*<sup>17</sup> (USA) y *Paul Heroult* (Francia) realizan trabajos que sirven de base para el proceso electrolítico para la producción de Aluminio. En 1888 Hall y otros fundaron la compañía *Pittsburgh Reduction*, produciendo el primer lingote de aluminio por el proceso de fusión electrolítica, y en 1907 la compañía cambia de nombre a *Aluminium Company of America (Alcoa)*.<sup>18</sup>

<sup>14</sup> Ver Anexos, Biografías de personajes citados, *Davy, Humphrey*

<sup>15</sup> Ver Anexos, Biografías de personajes citados. *Oersted, Hans C.*

<sup>16</sup> Ver Anexos, Biografías de personajes citados. *Wöhler, Friedrich.*

<sup>17</sup> Ver Anexos, Biografías de personajes citados. *Hall, Charles.*

<sup>18</sup> *Fundamentos de manufactura moderna, pág 132*

Por otra parte, el petróleo, compuesto de hidrocarburos y fuente energética del mundo actual, data de la época del Plioceno (Periodo geológico que corresponde a la era terciaria), aunque estudios del carbono 14 han encontrado hasta una edad aproximada de 10000 años. Sin embargo no fue sino hasta el siglo X, en la región caucásica, cuando surge la industria petrolera, y hasta el siglo XVII cuando se empieza el proceso de destilación del mismo. Pero la verdadera importancia de este se da en el siglo XIX, debido a la explotación de este líquido oleoso en los pozos de Rumania, Galitzia y Alsacia. Convirtiéndose posteriormente en la base de muchos materiales indispensables para el hombre actual, a los que haré referencia a continuación.

El petróleo crudo como materia prima se refina para poner a disposición del consumidor una amplia gama de productos comerciales, los cuales se pueden clasificar en tres grupos:

**1. Energéticos:** Combustibles.

**2. Productos especiales:** Asfaltos, lubricantes, parafinas, etc.

**3. Materias primas para la industria petroquímica:** A partir de las cuales se fabrican plásticos, detergentes, fibras sintéticas.

Las primeras investigaciones de fibras sintéticas datan aproximadamente del año 1845, época en que el químico *Schönbein*<sup>19</sup> analizó los compuestos de las disoluciones de la nitrocelulosa, sin embargo para 1839 *Charles Goodyear*<sup>20</sup> ya había descubierto la vulcanización del hule. Todos estos descubrimientos fueron posibles gracias al descubrimiento de *Faraday*<sup>21</sup>, quién manifestó que la fórmula del hule natural era C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>. Luego el conde *Hilaire de Chardonnet*<sup>22</sup> creó una técnica con la que se fabricó la seda artificial conocida como Rayón, lo que se patentó en 1884 bajo el nombre de rayón a la nitrocelulosa y en 1889 inicia su manufactura.

Paralelamente a esto, otros investigadores descubren la manera de fabricar esta seda a partir de

<sup>19</sup> Ver Anexos, Biografías de personajes citados. *Schönbein, Christian*

<sup>20</sup> Ver Anexos, Biografías de personajes citados. *Goodyear, Charles*

<sup>21</sup> Ver Anexos, Biografías de personajes citados. *Faraday, Michael*

<sup>22</sup> Ver Anexos, Biografías de personajes citados. *Chardonnet, Hilaire*

otras materias primas como el acetato de celulosa, el cupramonio y la viscosa.

Esta fibra artificial reemplazó satisfactoriamente una fibra natural, lo que estimula la investigación de nuevos productos artificiales que puedan suplir a los materiales naturales.

Después, con las continuas investigaciones en este campo, se descubrieron materiales que fueron de mucha utilidad para la civilización, o al menos sustento de significativa importancia para nuevos procesos investigativos.

En 1862 *Alexander Parkes*<sup>23</sup> en la exposición internacional de Londres, demostró las posibilidades del primer termoplástico conocido como Parkesina, que es una forma de nitrato de celulosa. A partir de esto, *John Wesley Hyatt*<sup>24</sup> y su hermano en 1866, desarrollaron un método de procesamiento a presión de la piroxilina, el cual es un nitrato de celulosa de baja nitración que se trata previamente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol. Su producto, se patentó con el nombre de celuloide, utilizado para fabricar diferentes artículos como placas dentales, películas para fotografía fija y cinematografía, parabrisas de los primeros autos, cuellos de camisa entre otros. Pese a su inflamabilidad y a su deterioro a la exposición a la luz, obtuvo gran popularidad en el comercio. En 1869 ellos mismos descubren el celofán.

El químico estadounidense *Leo Hendrik Baekeland*<sup>25</sup>, en 1906 desarrolla un grupo de resinas sintéticas comercializadas con el nombre de baquelita y ya en 1909, *Karlo Hoftman* y *Coutelle*, de la fábrica Bayer logran producir el caucho sintético, cuya materia prima era el Benceno.

En 1920, el químico alemán *Hermann Staudinger*<sup>26</sup> afirmó que los plásticos se componían de moléculas gigantes. Los esfuerzos dedicados a comprobar su hipótesis iniciaron nuevas investigaciones científicas dando como resultado avances significativos en la

química. Entre 1920 y 1930 aparecieron nuevos productos, como el etanoato de celulosa (llamado originalmente acetato de celulosa), utilizado en el moldeo de resinas y fibras; de igual manera se desarrolló por el inventor ruso *I. Ostromislensky*<sup>27</sup> el cloruro de polivinilo (PVC), empleado en tuberías y recubrimientos de vinilo, y la resina acrílica, desarrollada como un pegamento para vidrio laminado.

Entre los plásticos más populares en esta época está el Perspex o Lucite, nombres con los que se le conoce en Gran Bretaña y Estados Unidos respectivamente; y en español adoptó el nombre de Plexiglás. Este material es metacrilato de metilo polimerizado, que por sus propiedades ópticas excelentes; puede utilizarse para lentes, o en diferentes tipos de alumbrado.

En 1932 la empresa Du Pont desarrolló el policloropreno, hule sintético conocido como Dupreno, adquiriendo posteriormente el nombre de Neopreno.

En 1938, se sintetiza por primera vez El PTFE (politetrafluoretileno), y se comercializó con el nombre de teflón en 1950. Y en la misma década se sintetizó el nylon.

Durante la II Guerra Mundial, el suministro de materias primas se vio seriamente reducido: Alemania perdió sus fuentes naturales de Latex y Japón le suspendió el aprovisionamiento de caucho, seda y metales a los Estados Unidos. Por esta razón el desarrollo de plásticos se intensificó, convirtiéndose el nylon en una de las fuentes principales de fibras textiles, y los poliésteres se utilizaron en la fabricación de blindajes y otros materiales bélicos.

En el periodo de la posguerra se incrementó la investigación y desarrollo de materiales como los policarbonatos, los acetatos y las poliamidas. Reemplazando a los metales en componentes para maquinas, cascos, y productos sometidos a condiciones ambientales extremas.

<sup>23</sup> Ver Anexos, *Biografías de personajes citados. Parkes, Alexander*

<sup>24</sup> Ver Anexos, *Biografías de personajes citados. Hyatt, John W.*

<sup>25</sup> Ver Anexos, *Biografías de personajes citados. Baeleñand, Leo*

<sup>26</sup> Ver Anexos, *Biografías de personajes citados. Staudinger, H.*

<sup>27</sup> El profesor Iván Ostromislensky, trabajó en hules sintéticos en 1912. Su trabajo analítico entre 1912 y 1916 fue descrito como sobresaliente, demostrando el potencial del PVC y detallando técnicas de polimerización.

"En 1953, el químico alemán *Karl Ziegler*<sup>28</sup> desarrolló el polietileno, y en 1954 el italiano *Giulio Natta*<sup>29</sup> desarrolló el polipropileno, que son los dos plásticos más utilizados en la actualidad. En 1963, estos dos científicos compartieron el Premio Nobel de Química por sus estudios acerca de los polímeros." Ya para 1960 la producción de hules sintéticos sobrepasó al hule natural.

Es desde estos inicios en que el hombre deja de trabajar con los materiales naturales los cuales eran los dominantes en el mercado antes del siglo XX, y en que se expande la producción y comercialización de los plásticos. Por primera vez en 1979 el volumen de producción de plásticos, en Estados Unidos es superior a la del acero.

Estos materiales por ser fabricados buscando obtener de ellos propiedades específicas preestablecidas tienen la transparencia, resistencia, flexibilidad, durabilidad requeridas para determinado producto lo que desplazó materiales tales como el vidrio, metal, papel en industrias dedicadas a empaques, al hogar, televisores, artefactos electrónicos, incluso la industria automotora reemplazó gran número de piezas metálicas por piezas plásticas, lo que redujo el peso de la carrocería y por ende el consumo de combustible, ya que el peso es responsable de esto hasta en un 50%, mermando con sigo la contaminación ambiental.

La tecnología de materiales ha tenido pues, un profundo impacto en la evolución de la civilización humana. Cada época ha estado marcada por la presencia de mejores características en los materiales. La humanidad requiere, cada vez más, materiales con propiedades superiores, lo que ha conducido al hombre a la conquista del espacio y al revolucionario cosmos de las computadoras, que han cambiado la concepción del mundo actual.

El siglo XXI será testigo del desarrollo de los materiales de alta tecnología, lo que será catalizado por una revolución tecnológica que explotará varias de las tecnologías emergentes, tales como la ciencia de materiales, biotecnología, biomiméticos, nanotecnologías e inteligencia artificial, entre otros.

<sup>28</sup> Ver Anexos, *Biografías de personajes citados* Ziegler, Karl

<sup>29</sup> Ver Anexos, *Biografías de personajes citados* Natta, Giulio

Esto se debe gracias a la competencia global, expansión de información y tecnologías de comunicación avanzada.

Estas tecnologías proveerán el sistema nervioso, cerebro y músculos de una nueva generación de materiales avanzados.

En cuanto al estudio de los materiales biológicos, han resultado dos campos principales: La biotecnología y los biomiméticos: La ingeniería bioquímica estudia el comportamiento de los compuestos químicos de origen orgánico que generalmente se producen en los tejidos celulares animales y vegetales. La Bioquímica, al conocer las reacciones de las células, puede entrar a modificarlas y a crearlas artificialmente. Hay numerosos sistemas de tejidos naturales que están siendo investigados ampliamente para crear nuevos materiales, incluso constructivos.

Por otro lado los materiales compuestos se sintetizan en dos fases diferentes, comprendiendo un material portante (refuerzo), construido en una matriz protectora relativamente débil para mimetizar la microestructura de las estructuras biológicas. Esta clase de nuevos materiales estructurales pueden ser clasificados como cerámicos, metálicos o poliméricos dependiendo el refuerzo utilizado, a las cuales se les denominará compuestos de matriz cerámica, metálica o polimérica respectivamente.

Una de las principales características de estos materiales avanzados es que la combinación de dos o más materiales, producen un material compuesto con propiedades diseñadas superiores a sus constituyentes. Mientras la rigidez específica del aluminio puede ser triplicada por la adición de fibras de carburo de silicón para crear un compuesto de matriz metálica, la rigidez del grafito epóxico reforzado con fibras de materiales poliméricos, pueden estar cuatro veces arriba de la resistencia específica del acero.<sup>30</sup>

Encontramos también una nueva generación de materiales cerámicos, que tienen muy poca semejanza con las utilizadas en los periodos prehistóricos para la fabricación de los diversos utensilios.

<sup>30</sup> Gandhi, M V. "Smart materials and structures", p. 11

Estos nuevos materiales incluyen minerales como óxido de aluminio, nitrato de silicón y carburo de silicón, los cuales son manufacturados con finos polvos a extrema pureza y a altas temperaturas para obtener una estructura densa durable. Sin embargo el problema de estos materiales es que tienen posibilidad de fractura, pero no padecen de los problemas de oxidación de los metales.

Se están haciendo investigaciones, para lograr hacer cambios a nivel de microestructura en los cerámicos compuestos con el fin de mejorar su resistencia, a partir de la incorporación de partículas cerámicas o fibras continuas en una matriz cerámica, obteniéndose un material compuesto que absorbe más energía durante la fractura, que un material genéticamente idéntico o la matriz del material solo.

Encontramos también los materiales superconductores los cuales tienen como punto básico el sintetizar materiales de manera que conduzcan la electricidad sin pérdida de energía. Este fenómeno ocurre solamente cuando el conductor está sujeto a frío intenso, al rededor de  $-452^{\circ}\text{F}$  ó  $4^{\circ}\text{K}$ , lo cual se logra por medio de enfriamiento con helio líquido, lo que resulta costoso por el material utilizado. Pero investigaciones han determinado que con la utilización de nitrógeno líquido, se pueden obtener temperaturas entre  $-320^{\circ}\text{F}$  o  $77^{\circ}\text{K}$ , de manera más económica.

El uso de los superconductores se ha difundido al rededor del mundo, teniéndose diversas aplicaciones, tales como poderosos electromagnéticos, computadoras más rápidas, carros eléctricos, entre otros.

Los materiales de alta tecnología en su mayoría se basan en la biomimética, y pueden responder por si mismos a estímulos externos, puesto que tienen todos los elementos necesarios para procesar y recibir información relevante para cumplir con una función determinada. Al igual que sus contrapartes orgánicas pueden autorepararse, automultiplicarse y autodegradarse. Con el tiempo los materiales de alta tecnología intervendrán en diferentes aspectos de nuestras vidas y serán los más utilizados en industrias tan diferentes como al aeroespacial, robótica, automovilística y de la construcción entre otros.

Se tendrán activadores, sensores, procesadores

para materiales de alta tecnología, lo que ocasionará un cambio en las metodologías de análisis de diseño y síntesis. Entre estos materiales se encuentran las nanotecnologías, biotecnologías, microsensors, entre otros. La nanotecnología o más específicamente nanotecnología molecular, permite tener control de la estructura de la materia estudiando molécula por molécula, tomando átomos individuales para construir estructuras bajo características prediseñadas. La precisión de la construcción atómica puede producir estructuras metálicas libres de microimperfecciones, incluso las vigas hechas con precisión atómica durarían más y soportarían grandes cargas.

Hemos visto como los materiales inciden directamente en nuestras vidas y hacen parte de nosotros en las diferentes etapas de nuestra existencia.

La obtención de nuevos materiales y utilización de otros recursos tecnológicos, han modificado la concepción de cuanto nos rodea, y la arquitectura tendrá que involucrarse para estar a la vanguardia de los avances científicos y encontrarle fructíferas aplicaciones en la construcción.

## 1.2 los materiales en la arquitectura

*"La arquitectura es un puro arte de la invención, ya que en la naturaleza no existe ningún prototipo de sus formas, que son libres creaciones de la imaginación y razón humanas. Podríamos considerarla, por tanto como la más libre de las artes representativas, si no fuera porque depende totalmente de las leyes generales de la naturaleza y de las leyes mecánicas de los materiales, en particular: ya que cualquiera que sea el objeto del arte arquitectónico que consideremos, su concepción primera y original habrá surgido siempre de la satisfacción de alguna necesidad material, sobre todo de la de abrigo y protección contra las inclemencias del clima y de los elementos o de otras fuerzas enemigas; y como no podemos obtener esta protección más que mediante la sólida trabazón de los materiales que nos ofrece la naturaleza, estamos obligados en tales construcciones a observar estrictamente las leyes estáticas y mecánicas. Esta dependencia material de las leyes y condiciones naturales, que se mantienen siempre y en todas partes, confiere a las obras arquitectónicas un auténtico carácter de necesidad y hace que aparezcan, hasta cierto punto, como obras de la propia naturaleza, obras, en todo caso, que ésta crea a través de entes dotados de razón y de libre albedrío."*

Gottfried Semper (1854).  
Atlas de la Arquitectura, pág. 15

Así como los materiales han tenido un profundo impacto en la evolución de la humanidad, éstos han determinado la arquitectura a través del tiempo. Por supuesto que en los inicios del hombre como constructor de su cobijo, los materiales que utilizaba eran los que se podían conseguir del entorno inmediato que lo circundaba. Estos tuvieron el mismo efecto en la arquitectura alrededor de todo el mundo: piedra, arcilla, madera, piel, arena, prado, agua, hojas, huesos.

En las diferentes épocas históricas, se notan características arquitectónicas importantes, que cambiaron por las condiciones socio económicas y tecnológicas del momento. Los hombres de la prehistoria viven en reducidos grupos dispersos en vastas regiones, expuestos al duro clima de la era glacial, por ser físicamente inferiores a los grandes animales que se amoldaban sin problema a las condiciones climáticas que imperaban en la zona donde habitaban. En la edad de piedra, el hombre utilizó las cavernas, en las cuales se adaptó dejando incluso vestigios artísticos, como en las cuevas de Altamira <sup>31</sup> en España, y la de Lascaux en Francia.

Su inteligencia les hace inventar medios ingeniosos para defenderse en la lucha por la vida. La construcción, actividad edificatoria sistemática, independiza al hombre de los refugios naturales ocasionales, como cuevas y abrigos bajo rocas." <sup>32</sup>

El hombre del Paleolítico empieza a desarrollar técnicas de construcción, hacia el 28000 a.C, las cuales eran desarrolladas por grupos de cazadores – recolectores con el fin de tener un cobijo adecuado para la temporada de recolección. Éstas técnicas de construcción utilizadas variaban conforme cambiaban las condiciones climáticas, así: para los campamentos permanentes o de invierno construyen emplazamientos centrales y con el material disponible, chozas excavadas en el suelo, las cuales tenían planta circular u ovalada, o grandes tiendas con varas. Para estaciones intermedias de menor duración construían tiendas transportables.

La construcción de su vivienda estaba determinada por la escasez de refugios naturales y condicionadas por el clima y las glaciaciones.

<sup>31</sup> Conocida como capilla sexta del arte cuaternario, por la importancia que encierran sus pinturas.

<sup>32</sup> Atlas de la arquitectura, pág. 78.



En un principio nuestros antepasados vivían en cuevas naturales, posteriormente las adaptan con el fin de obtener mayor confort, ornamentándolas con diversas formas decorativas, remarcando los accesos, y construyendo chimeneas para mejorar internamente las condiciones climáticas.

Con el paso del tiempo, el hombre emigra a territorios donde pueda practicar la caza y la agricultura, consolidando poco a poco civilizaciones sedentarias en zonas donde no necesariamente se encontraban cavernas naturales. Por esta razón el hombre se introduce a la construcción de su hábitat, utilizando

variados métodos bajo criterios constructivos similares, influenciados por el clima predominantemente frío y por las glaciaciones típicas de la época.

La primera evidencia de vivienda construida por el hombre fue realizada por el *homo habilis*; data aproximadamente del 2,000,000 a.C, y fue hallada en Olduvai George en Africa Central. Se encontraron piedras apiladas en forma circular como apoyo y soporte de un conjunto de ramas que brindaban el cerramiento a la vivienda. Este mismo principio constructivo se utilizó en diferentes viviendas del alto

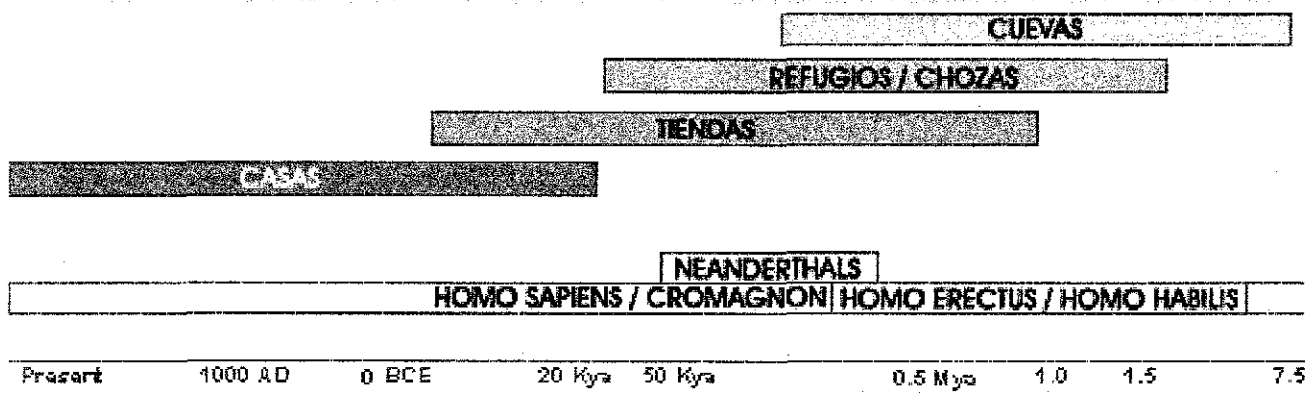
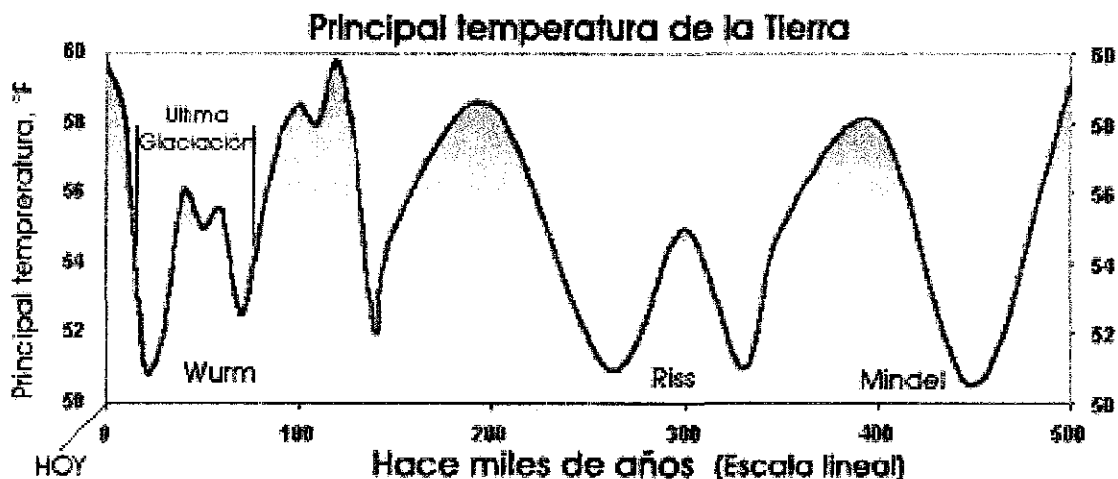


Diagrama en el que se describe gráficamente y de manera general el cambio del tipo de vivienda acorde a la época y a la temperatura

Tomado de internet:  
<http://www.personal.psu.edu/users/w/x/wxk116/habitat/>

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

y bajo paleolítico; en Terra Amata, aledaña a Niza (Francia), se encontraron cabañas en madera que datan entre el año 450,000 y el 380,000 a.C.; de planteamiento central, utilizando piedras alrededor de ella, con el fin de sostener un conjunto de ramas, las cuales a su vez estaban reforzadas en la parte superior de la vivienda conformando un aro que proporcionaba un espacio que servía como chimenea.

Igualmente se encontró una vivienda en "Grotte du Lazaret", cerca a Niza, en Francia, cuya estructura era similar a una tienda de campaña construida dentro de una caverna y era hecha de pieles de animales recubriendo una estructura en madera, sostenida por piedras colocadas alrededor. Esta vivienda data aproximadamente del 500,000 al 400,000 a.C. El interior mide 11 metros por 3.5 metros, y estaba subdividida en dos cuartos, uno de ellos más largo, el cual contenía una chimenea.

Por otro lado se puede observar en la misma cultura paleolítica una evolución de sus sistemas constructivos, como es el caso de una vivienda en Pushkari, Ucrania, al subdividir el espacio, excavar el interior y hacer al estructura en huesos de mamut. Así como esta construcción, varias utilizaron los huesos de los mamuts como el elemento portante y las pieles de los mismos como cerramiento del espacio interior tapizadas posteriormente con pelos de diferentes animales. La mayoría de estas viviendas utilizaban la base circular en sus plantas, convirtiéndose el planteamiento central en la tipología predominante de este periodo.

En Checoslovaquia se encontró una vivienda que fue parcialmente excavada en una ladera cuyo techo se soportó con madera en postes enterrados. Esta casa data del año 23000 a.C. Los muros bajos eran hechos en arcilla y piedra. La evidencia de arcilla cocida en este sitio son las primeras encontradas.

En la época neolítica, entre el 8000 a.C. al 4000 a.C., se introdujo un nuevo e importantísimo aspecto en la relación del hombre con su medio físico. Antes era cazador, y ahora, se iba a convertir en agricultor, para lo que necesitaba buscar sitios fértiles, asentándose en los valles de los ríos.

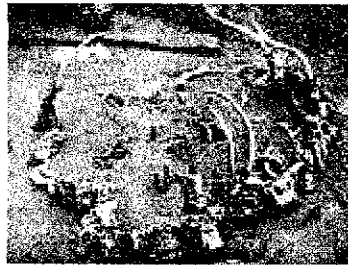
En la edad de Bronce, entre el 4000 a.C. al 2000 a.C., los cambios climáticos han generado ya modificaciones importantes, así, los bosques se desarrollan



Caberna natural



Vivienda en madera  
Entre 450,000 y 380,000 a.C.  
Tierra Amata, Francia



Base circular de huesos  
de Mamut, hallada en  
Mezin, Tchernogov



Vivienda hecha en huesos  
de Mamut, en Perigord,  
Francia



Vivienda hallada en Malta  
Siberia. La base estaba  
reforzada con huesos y el  
recubrimiento era de piel.



Doimen en Perigord,  
Francia. Último periodo  
de la Edad de Piedra.

hasta tal punto que en ciertas áreas entran en conflicto con los agricultores, el Sahara pierde su fertilidad y se convierte en desierto, pero las costas del mediterráneo se vuelven propicias para los asentamientos de la vivienda del hombre. Se desarrolla abiertamente la metalurgia, pero los yacimientos metalúrgicos se encontraban lejos de los centros agrícolas más prósperos, eran ubicados más bien en centros lejanos y pobres. Es así como surge un sistema de trueque, con una red de comunicaciones que se fue extendiendo gradualmente, generando un tejido urbano, que fue base para la conformación de las ciudades.

Igualmente, el hombre busca desarrollar sus monumentos simbólicos, tal es el caso de Stonehenge<sup>33</sup>, en Inglaterra, que por la correspondencia que sin duda existe entre la estructura del conjunto y el curso del sol, ha llevado a los investigadores a plantear la hipótesis de que Stonehenge era un templo relacionado con un culto solar o astral. "Pero Stonehenge es sobre todo una obra de arquitectura: es decir, la expresión, mediante la piedra de un ideal, de una concepción vital que los siglos nos esconden, pero de la que debemos buscar la clave. El ideal, al que al cabo de cuatro mil años, nos es desconocido. Pero su voz todavía nos llama."<sup>34</sup>

Los monumentos de esta misma etapa cultural son numerosos en Europa, como los "menhires", es decir, altas piedras plantadas verticalmente en el suelo; los "cromlech", que son una serie de menhires y ortóstatos<sup>35</sup> dispuestos en línea o en círculo, y los dólmenes, monumentos o cámaras sepulcrales de piedra formados con tres o más losas coronadas por otra losa que hace de techo.

Aunque ninguno tiene la grandiosidad y misticismo que encierra Stonehenge, son monumentos que determinan los primeros momentos históricos en el que el hombre empieza a manufacturar los materiales que le rodeaban para generar sus propios espacios.

<sup>33</sup> El nombre del monumento se deriva – al parecer – de "hanging stones", o sea piedras suspendidas. Tomado de las Cien Maravillas, tomo 12, pág. 12.

<sup>34</sup> Flavio Conti., Enciclopedia las Cien Maravillas, Ed. Salvat tomo 12, pág. 24

<sup>35</sup> Bloques o losas de piedra dispuestos verticalmente que forman el zócalo del muro.



stonehenge

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

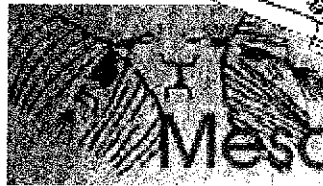
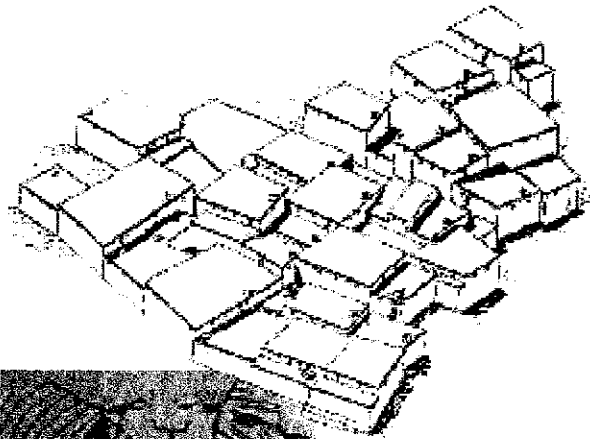
*Imagen diseñada por Ana María Navia con fines didácticos y no lucrativos.*

Las primeras culturas agrícolas aparecen en la Alta Mesopotamia, ya en el Mesolítico. Sus asentamientos están diseminados por las colinas, al pie de las montañas y por las terrazas de los valles fluviales, en donde se encuentran las primitivas casas rurales, que son fiel testimonio del progreso cultural al pasar del neolítico al Calcolítico. Los terrenos de aluvión entre los ríos sólo proporcionan como materiales constructivos cañas, arcillas y arena, por lo cual la madera y la piedra natural tienen que ser importadas.

Por sus técnicas constructivas implementadas, era necesaria la utilización de la madera, pero la piedra era reemplazada por ladrillos de arcilla, los cuales eran secados al aire (adobe), y posteriormente eran cocidos.

La técnica mesopotámica se basaba en la construcción de muros macizos, pero la dimensión de los espacios estaba sujeta a la longitud de las vigas que han de soportar el enorme peso de las cubiertas en terraza.

La decoración estable de grandes superficies se hace una realidad gracias al invento de la vitrificación en colores y a la fabricación en serie de ladrillos esmaltados.



## Mesopotamia

*Imagen diseñada por Ana María Navia con fines didácticos y no lucrativos.*

**En Mesopotamia los tipos primitivos de vivienda<sup>36</sup> tienen diferentes variantes:**

Las chozas de cañas, llamadas Srefas, aún se construyen en la mesopotamia árabe actual igual que en la época prehistórica. A intervalos regulares se entierran haces de juncos, colocados por parejas de manera enfrentada y se atan, combinándolos para formar nervios, los cuales se unen longitudinalmente con cañas o palos, formando una estructura abovedada, que se recubre con esteras de arcilla y juncos.

Las casas redondas se forman a partir del círculo del hogar o de la tienda de los nómadas en un anillo de piedra con 3 ó 4 postes. Está considerada como la forma más antigua de vivienda, y se encuentran desde el borde de los Alpes hasta Mongolia y aún se construyen en la actualidad.

En Mesopotamia las técnicas de construcción ligera provisional se sustituyen pronto por las de construcción en arcilla y piedra.

Los vestigios más antiguos de este tipo de vivienda, son:

<sup>36</sup> "Un tipo primitivo de vivienda es una construcción muy simple, en la que están latentes las características estructurales y las posibilidades de desarrollo de una serie de tipos de vivienda constructivamente similares". H. Söder, tomado de Atlas de Arquitectura, pág 85

- 6500 a. C. Jericó, de ladrillo
- 5000 a. C. Tepe Gawra, de adobe
- 4000 a. C. Arpasiyya y Tell Halaf, de piedra.
- 3500 a. C. Chipre, de piedra.

Los diámetros en Tepe Gawra y en Apasiyya, alcanzan 5 metros y 10 metros respectivamente. Estas últimas edificaciones circulares pertenecen al tipo de las casas en forma de colmena adosadas con pequeñas casas rectangulares.

La técnica constructiva produce con el material disponible construcciones que muy pronto adquieren validez. Los muros de adobe de Tepe Gawra muestran refuerzos modulares e incluso un contrafuerte en forma semicircular.

Partiendo de formas previas como la choza aparece al final de la época prehistórica la casa de planta rectangular con muros verticales, cuya construcción es más fácil de realizar, puesto que facilita la utilización de materiales rectos como ensambles de madera y ladrillo. Además se presta mejor para futuras ampliaciones, lo que queda restringido en plantas circulares.

Las construcciones más antiguas de casas rectangulares son:

- 6000 a. C. Jericó y Catal Huyuk
- 5000 a. C. Qalat Jarmo
- 4750 a. C. Tell Hassuna

De las viviendas antes mencionadas podemos destacar que en Jericó, las casas tienen un aparejo de ladrillo enlucido y piso coloreado; en la granja de Tell Hassuna, encontramos un sistema de muros entrecruzados en ángulo recto; todas las alas de la vivienda están conformadas por muros verticales de una sola planta de altura, el hastial está reforzado con contrafuertes y el techo está recubierto con cañas.

Lo anterior ha sido una pequeña descripción de las viviendas mesopotámicas, pero hay que tener en cuenta que no sólo tenían construcciones dedicadas al albergue, sino también templos, palacios (residencia del soberano y centro del poder político) y murallas delimitantes de la ciudad (edificaciones defensivas). Estas construcciones eran elaboradas en tabique utilizando la misma técnica con que edificaban sus viviendas.

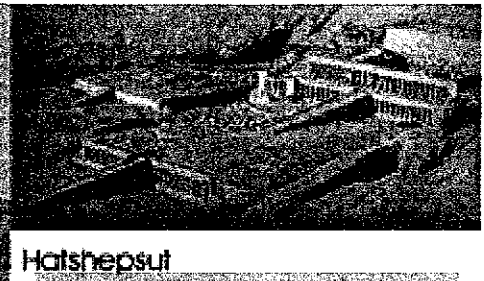
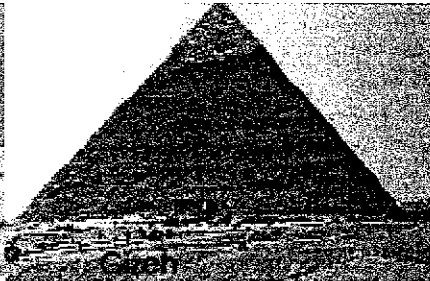
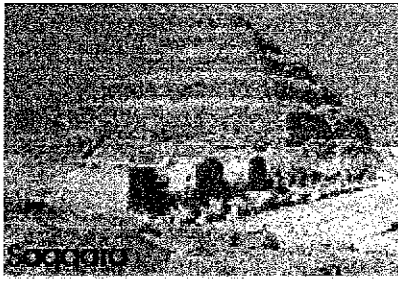


Imagen diseñada por Ana María Navia con fines didácticos y no lucrativos

Hemos visto que la construcción evoluciona, puesto que sustituyen los métodos de construcción ligera de la prehistoria por muros de barro apisonado o de adobes, buscando ante todo la realización de construcciones macizas, para satisfacer el deseo de durabilidad y de monumentalidad en sus edificaciones.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Cuadro cronológico de Egipto Faraónico:**  
Tomado de: *Atlas de la arquitectura*, pág. 103.

Prehistoria Hacia 5000 - 2900	Chozas de cañas, silos para cereales, enterramientos sencillos.
Neolítico Calcolítico	Aparición de la construcción en adobe. Plantas rectangulares.
Imperio antiguo Epoca Tinita 2900 - 2630 Dinastías I y II	Grandes mastabas de adobe. Aparición de la construcción en piedra de edificios religiosos.
Epoca de las pirámides Hacia 2630 - 2130 Dinastías III - IV	Conjunto de Zozer. Pirámides Meidum, Dahchur, Gizeh. Templo solar de Abu-Gurob.

Primer periodo intermedio hacia 2130 - 2040	Hacia 715 - 312 332 - 30 30 - 625 d.C.
Imperio Medio hacia 2040 - 1650	Tumbas de los príncipes excavadas en la roca (hipogeos)
Dinastía XII Hacia 1991 - 1785	Templo funerario de Mentuhotep
2º periodo intermedio Hacia 1650 - 1551	Construcciones de templos (Especialmente en Karnak) Fortificaciones
Imperio Nuevo Hacia 1551 - 1071	Tumbas excavadas en roca (hipogeos)
Dinastía XVIII Hacia 1551 - 1306	Templo funerario de Hatshepsut
Dinastías XIX y XX Hacia 1306 - 1705	Tumbas reales gran actividad constructiva sobre todo en Tebas (Luxor y Karnak)
Tercer periodo intermedio Hacia 1075 - 715	Urbanismo, templos colosales (Karnak, Luxor, Ramesseum, Medinet-Habu, Abu Simbel)
Ultima época	

En Egipto otra de las grandes civilizaciones antiguas, se encuentran dos jerarquizaciones en cuanto a la arquitectura se refiere: Arquitectura profana (palacios, en los distintos lugares de residencias) y arquitectura religiosa (templos, tumbas y templos funerarios). Estas dos arquitecturas no sólo se diferencian por la tipología y el programa arquitectónico, sino también por el material de construcción, cuya utilización tiene un significado simbólico y religioso.

En la arquitectura profana se emplea generalmente el adobe y la madera, incluso en los conjuntos palaciegos representativos por tener un carácter efímero. Los templos y tumbas, en cambio, se construyen con piedra, símbolo de la duración eterna, al igual que las necrópolis de la planicie desértica, sometidas a las inundaciones y a los cambios del río Nilo. Los principales testimonios de esta arquitectura son las construcciones funerarias y religiosas: mastabas y pirámides del imperio antiguo, templos funerarios del imperio Medio y los grandes templos de los dioses del imperio nuevo.

Sin embargo, casi todos los edificios religiosos proceden del imperio Nuevo. Las construcciones precedentes sólo aparecen en forma fragmentaria en las ruinas de los templos en los que fueron utilizadas. Esto se debe a que los templos primitivos, eran pequeñas capillas construidas de madera, cañas y barro, que han desaparecido sin dejar huella.

En todas estas épocas, son muy apreciadas las columnas, las cuales tienen atributos vegetales de las plantas heráldicas del Alto y Bajo Egipto: el loto y el papiro. Los capiteles de piedra más antiguos que se conservan pertenecen a columnas papiroformes de la construcción del conjunto de Zozer, también se tenían las columnas fasciculadas, estilizaciones de primitivos soportes decorativos realizados con tallos de juncos y papiros atados en haces. Los capiteles palmiformes se remontan a las columnas de madera rematadas por hojas de palma. Su paso a la piedra conduce a la estilización de los elementos esenciales: Fuste, atadura y hojas de palma (dinastía V). Pero lo más importante de la arquitectura del Egipto antiguo, es la precisión de la construcción en piedra natural, cuya talla sigue la tradición del neolítico, época en que ya estaba muy desarrollada la técnica del pulimento de la piedra. De esto, son fieles testimonios los complejos piramidales, como la pirámide de Zozer en Zaqqara, la pirámide roja, y por supuesto las pirámides de Gizeh, entre otros.



*Imagen diseñada por Ana María Navia con fines didácticos y no lucrativos*

En Grecia, en el periodo arcaico se resuelven los problemas del paso de la construcción en madera a la construcción en piedra y se establece la forma válida de todos los elementos. La columna y el entablamento determinan el carácter de la arquitectura y son portadores de la evolución del estilo (dórico, jónico y corintio).

Las columnas, tenían estrías en el fuste según el estilo, las que finalmente se recubrían con estuco (si era de piedra caliza), o de cera (si era de mármol). La cubierta de casetones es una estructura usual en la construcción en madera que surge del entrecruzado con las vigas. Se adopta en la construcción en piedra, en donde sistemas de vigas de piedras grapadas unas a otras forman una retícula.

En Roma, la columna y el arco son expresiones de diferentes conceptos formales y principios constructivos que dependen del material de construcción.

La columna y el arquitrabe proceden de la construcción en madera, material que sigue conservándose en la construcción durante algunos siglos más en Italia bajo la influencia de los etruscos. Luego que se inicia la edificación en piedra, se heredan de la tecnología de la madera algunos principios. En las columnas del orden toscano, entre el ábaco y el equino (los dos elementos principales de las columnas de éste orden), los romanos colocaban perfiles intermedios con fines decorativos; esta idea se transporta a la construcción en piedra sin modificar las proporciones de la construcción en madera. Su nivel tecnológico cada vez se perfeccionaba y pronto alcanzan un alto estándar técnico en la construcción de murallas, puertas, puentes, calzadas, canales y acueductos.

Los romanos introdujeron los ladrillos cocidos y el hormigón colado. Ellos usaban técnicas mixtas que permiten el uso racional de los materiales disponibles.

En cuanto a las Murallas y puertas, las técnicas de fortificación romanas encierran las tradiciones etrusco-itálicas. Ambos perfeccionaron la antigua técnica del aparejo ciclopeo sin argamasa.

En la última etapa del imperio se desarrolla una técnica unitaria, la que consiste en cimientos macizos y poco profundos; muros entre 2.5 m y 3 m de espesor, hechos en hormigón colado, entre paramentos de aparejo de ladrillos o mixto, de 5 a 10 m de altura. Como ejemplo de este tipo de muralla encontramos el muro Aureliano, el cual fue construido para la protección de Roma a partir del 270 d.C.

Desde el Neolítico hasta la antigüedad tardía, el problema de adaptación a las necesidades prácticas de la vivienda y a las estructuras de una construcción racional de madera, encuentran solución en la casa de atrio, que en el siglo IV a.C. se impone como la casa típica de toda Italia.

A partir del siglo III a.C., estas condiciones cambian, por ser una época en que el crecimiento demográfico genera problemas de uso del suelo, de escasez permanente de vivienda, de aparición de suburbios, etc., por lo que la casa de atrio, queda sólo al alcance de la clase alta. Se crean, bajo estos parámetros casas urbanas de alquiler y tipos de vivienda de insulae urbanas.

Para las casas y apartamentos construidos con ladrillo macizo, se desarrolla un estilo con grupos de ventanas dobles o triples, balcones volados en la primera planta, columnas, frontones y pilastras de ladrillo perfilado.

También encontramos la finca romana, las cuales tienen ventanas de vidrio que liberan a las habitaciones de su estrecho vínculo con el atrio y el peristilo y permiten una orientación hacia el paisaje.



SOPDET

Imagen diseñada por Ana María Navia con fines didácticos y no lucrativos.

En las termas imperiales, entre las que se destacan las de Trajano (inaugurado en el 109 d. C.), las de Caracalla (206 – 216 d.C.) y las de Diocleciano (298 – 306 d.C.), la técnica constructiva resuelve los problemas que surgen en la construcción de grandes muros macizos y en la necesidad de cubrir amplios espacios. Aquí los pesados muros macizos se reemplazan por una estructura más ligera. El desarrollo del hormigón colado lleva a la realización de amplias bóvedas de cañón y de arista, usando un sistema de distribución de cargas sobre algunos puntos de la construcción.

En cuanto a los teatros se refiere, en Roma los primeros se componen de estrados provisionales de madera. En el año 68 a.C. se construye un edificio de madera con filas de asientos que van ascendiendo en semicírculo, mientras que en Campania ya es usual la construcción en piedra. En el año 55 – 52 a.C. mandó a erigir Pompeyo en el Campo Marte un gran teatro de piedra según el modelo griego.

El anfiteatro de Flavio (Coliseo romano), construido en el año 70 – 80 d.C. tiene un esquema constructivo que equivale al de un gran teatro a gran escala. La cavea es una superficie curva que descansa sobre un sistema de 7 anillos concéntricos de arcadas de pilares. Entre los pisos hay 80 muros radiales que absorben el empuje de las bóvedas y de las gradas, quedando ligados entre sí mediante bóvedas de cañón. Se usan todos los tipos de bóvedas utilizadas por la construcción romana, (bóvedas de cañón, bóvedas de aristas, superficies oblicuas de piedra natural, ladrillos y hormigón colado). Tiene 560 pilares de travertino, que arriostrados entre sí, por medio de arcos de descarga conforman la estructura de los muros de ladrillo. Los grandes bloques de ladrillo están colocados sin argamasa y sólo están unidos por medio de grapas metálicas.

Todas estas condiciones para la planificación y construcción, son aportes básicos de las antiguas civilizaciones. Entre ellas se encuentra el descubrimiento de la vertical y del ángulo recto. El círculo, como forma primitiva adireccional, no desaparece del repertorio formal de la arquitectura, pero en la práctica es sustituido por la forma rectangular, que de por sí, enfatiza una dirección. Sobre esta base se desarrollan la mayoría de las composiciones constructivas y planteamientos espaciales implementados hasta nuestros días.

El sistema de construcción implementado en Stonehenge, es decir, la utilización de dos columnas unidas por una piedra horizontal, es el principio de la construcción de muchas civilizaciones, incluso de la nuestra.

En Egipto se utilizaban columnas unidas por entablamientos, los griegos igualmente usaban este concepto, pero daban con él, una imponencia tal al edificio, que le conferían poder y dignidad, era jerarquizado sobre todo en fachadas, en la parte correspondiente al acceso de la edificación. Los chinos, lo usaron también, pero cambiaron la utilización de los materiales puesto que se reemplazó la piedra por madera liviana, sobre la que se soportaba la estructura piramidal del techo.

Una variación de este sistema estructural, es el arco, que además de utilizarse en Roma, se desarrolló en varias partes del mundo, tal es el caso de las cisternas de Mohenjo – Daro, que es una de las más tem-

pranas civilizaciones de la India, en las tumbas en forma de bóveda de China que datan del tercer siglo d.C., y los arcos que soportaban los canales que nutrían los jardines colgantes de Babilonia.

## LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

".... Los fermentos, que condicionan la posición del siglo XIX en la historia del estilo, son los logros de la técnica moderna. Aparecen en primer plano. Sus efectos más importantes se pueden resumir en tres círculos de materiales: primero el hierro, segundo el arte de las máquinas, tercero el arte de la luz y el fuego. Estas son las más poderosas fuerzas que influyen estilísticamente en el presente y con las que, hasta donde hoy día podemos abarcar, ha de preverse el futuro. Todas las demás sustancias orgánicas en las que los fermentos muestran su fuerza de descomposición, son las formas estilísticas transmitidas históricamente." Alfred Gotthold Meyer (1907).

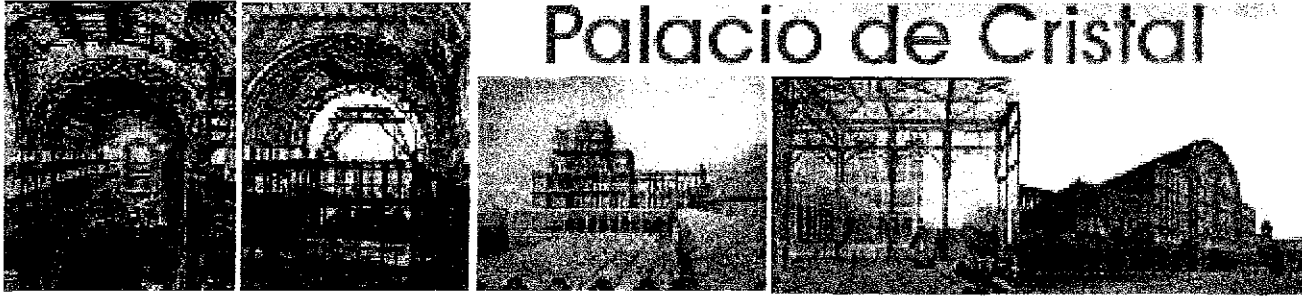
El siglo XIX fue el siglo de los grandes desarrollos de la ingeniería y de los inventos técnicos. La Revolución Industrial, con todas sus implicaciones, como el progreso tecnológico, la producción y el comercio acrecentado y acelerado no podía dejar de incidir en la construcción.

La arquitectura de este siglo es conocida por todos como la arquitectura de la ingeniería, y es la que marca el paso entre el pasado y el presente de la arquitectura, ya que sin ella no se podría pensar en los orígenes del movimiento moderno.

La arquitectura de la ingeniería tiene tres grandes campos de aplicación: Los puentes de Hierro, las grandes cubiertas de hierro y cristal, y el de los grandes edificios con esqueleto metálico. El primer puente de hierro se construyó en 1775 por Darby y Wilkinson sobre el río Severn en Coalbrookdale.

Respecto a los otros campos de aplicación, están más estrechamente relacionadas con la arquitectura, pero tienen un valor y significado diferente. La construcción de edificios con esqueleto de hierro es una aportación meramente técnica, cuya solución estructural ha perdurado hasta nuestros días. Por otro lado, las grandes cubiertas de hierro y cristal son la expresión arquitectónica representativa del siglo XIX, dando incluso fe de los valores científicos y técnicos que estaban floreciendo.





# Palacio de Cristal

*Imagen diseñada por Ana María Navia con fines didácticos y no lucrativos.*

Ya en 1780 se empieza a utilizar columnas de fundición en el interior de las hilaturas para reducir la ocupación de los muros y de las pilastras de piedra.

La hilatura Philip & Lee, de Salford, Manchester, construida en 1801 por la fundación de Boulton y Watt, se convierte en el primer edificio en donde a excepción del muro exterior perimetral, se implementa una estructura de esqueleto formada por columnas de fundición y vigas de doble "T".

"El propio hecho de que, desde la hilatura citada hasta el primer edificio construido por William Le Baron Jenney en Chicago, muchas construcciones – el Harper and Brothers Building, de Nueva York, realizado por James Bogardus en 1854; las construcciones anónimas a lo largo del río en St. Louis; la fábrica de chocolate Menier, cerca de París, construida en 1871 por Jules Saulnier, por citar las más notables –, cada una de ellas con visibles implicaciones histórico-eclécticas, adoptaran la estructura de esqueleto, demuestra que estamos en presencia no tanto de una organización arquitectónica como de un principio constructivo".<sup>37</sup>

El campo de las cubiertas de hierro y cristal tiene precedentes en el s. XVIII, como la cubierta de hierro del "Théâtre Français" de 1786; pero se afianzan en el siglo XIX, por ser aplicadas a una amplia gama de tipologías edificatorias, como los invernaderos, los mercados cubiertos, las estaciones del ferrocarril, las instalaciones para exposiciones universales, los grandes almacenes, entre otras.

En los edificios destinados a exposiciones se nece-

sitaba realizar una construcción rápida, de bajo costo, sin importar que fuera duradera, por el mismo uso al que iba a ser sometida.

Para la "Great Exhibition of the Works of Industry of all Nations"<sup>38</sup> de 1851 en el Hyde Park de Londres, Joseph Paxton<sup>39</sup> diseñó el "palacio de cristal" <sup>40</sup>, el cual contaba con innumerables partes articuladas en serie. Ya se contaba aquí con un sistema de prefabricación, el cual consistía en un método de anclaje a base de un módulo de 24 x 24 pies, lo que facilitó su montaje. Owen Jones, fue el encargado de la pintura, y planteó que las partes iguales del edificio recibieran el mismo color para facilitar su montaje, quedando así, los puntales de color amarillo, las vigas de color azul, los travesaños del techo de color rojo. Estos colores primarios (rojo, amarillo y azul) se usaron en la proporción cinco – tres – ocho, como propuso G.Field en su "Chromatography" de 1825.

En la exposición universal de París en 1889, la arquitectura de hierro experimentó su máximo clímax. Con motivo de esta exposición se erigió en el Campo de Marte un edificio en forma de U, cuyas naves laterales estaban destinadas al arte y la "gran galería" a la industria en general. Inmediatamente

<sup>38</sup> "Aunque el concurso para la construcción de los edificios para la Exposición Universal de Londres de 1851 lo había ganado el francés Hector Horeau, el comité de exposición optó por un edificio desmontable, de elementos reutilizables, recogiendo para ello ofertas de varias firmas constructoras. Joseph Paxton, que estaba interesado en el proyecto, trabajó conjuntamente con la empresa Fox & Henderson y recibió la adjudicación." Peter Gössel, Gabriele Leuthäuser, *Arquitectura del Siglo XX*, pág. 21.

<sup>39</sup> Ver Anexos, *Biografías de personajes citados*, Joseph Paxton

<sup>40</sup> La nave transversal de centro se cubrió con una bóveda de medio punto con el fin de conservar unos Olmos que se encontraban en el sitio

<sup>37</sup> Renato de Fusco, *Historia de la arquitectura contemporánea*, pág.34.

detrás se encontraba la sala de máquinas, y en frente de la parte cubierta se erigió la Torre Eiffel <sup>41</sup>. Junto a esta última la nave de máquinas era la obra más espectacular de esta exposición. Tenía una longitud de 420 metros, una altura de 43,5 y un arco de 115 metros, y cubría sin apoyos un área de 46000 m<sup>2</sup>, a los que se les añadían dos naves laterales de 20 metros de ancho.

La construcción se basaba en arcos de tres puntos de articulación y su perfil de caja, realizado como armadura, tenía un tamaño de 3,50 x 0,75 m. Es una gran obra de ingeniería construida totalmente de acero; aquí los elementos iban sólidamente remachados por medio de calor y por su imponente carácter técnico, se pudieron omitir los detalles ornamentales, quedando éstos sólo relegados a los cristales del edificio, que llevaban decoraciones de color azul<sup>42</sup>.

La Torre Eiffel fue desarrollada por el ingeniero industrial Gustave Eiffel <sup>43</sup>, quién asumió todos los riesgos de su obra para evitar que se objetara su construcción por cuestiones de seguridad. Todas sus piezas fueron prefabricadas con gran precisión, quedando sólo en sitio la tarea de remacharlas. Es construida por completo en hierro, pesa 7175 toneladas y tiene forma de pirámide cuadrangular, cuya cúspide alcanza los 321 metros.

Después de múltiples protestas para su erección, la torre Eiffel fue finalmente construida en un tiempo récord: el 31 de marzo de 1889, después de dos años de haberse iniciado su construcción.

Las elevadas dimensiones de esta torre, requirieron de la excavación de unos cimientos adecuados, los cuales se hicieron hasta 14 metros de profundidad por debajo del nivel del suelo. Todos los elementos metálicos se prepararon previamente, fueron enumerados y transportados posteriormente a la obra.

<sup>41</sup> En aquella época era el edificio más alto del mundo.

<sup>42</sup> *Arquitectura del siglo XX*, pág. 28.

<sup>43</sup> Eiffel no era novato en este tipo de construcciones, había construido el puente María Pia sobre el Duero, cuya arcada metálica tiene una abertura de más de 160 metros y el puente de Garabit que con un claro de 122 metros. Ver *Anexos, Biografías*

“La construcción así se convirtió en un gigantesco “mecano” de 15000 piezas, ensambladas por dos millones y medio de pernos .... El ingeniero Eiffel hizo una obra sencilla (en el fondo, la torre no es más que la visualización del diagrama de las fuerzas debidas al propio peso que soportaría cualquier pilar), pero admirable y sugestiva” <sup>44</sup>.

Como hemos observado en los mismos campos de aplicación de la construcción decimonónica, tenemos por un lado la concepción meramente técnica, en donde hay una inevitable convivencia entre arquitectura e ingeniería; y por otro lado las edificaciones en que la misma tipología arquitectónica exterioriza la formación estructural. Hablaremos en este último caso de una arquitectura que se ha apropiado de algunos aspectos de la ciencia y de la técnica de la construcción.

Con la entrada del siglo XX, las nuevas teorías y planteamientos permitieron la utilización de todos los materiales de construcción que estaban disponibles, siempre y cuando se mostraran abiertamente y se integraran completamente con la obra.<sup>45</sup>

Se retoma la ornamentación en las construcciones sobretodo en las clases burguesas, porque ya la gente estaba astiada de la frialdad de la arquitectura industrial.

Se empiezan a decorar las construcciones con formas en movimiento, con colores delicados, combinando el acero, mármol, madera. El hierro que antes era liso, se convierte en formas trabajadas buscando con ellas ornamentar los espacios, típico en el Art Nouveau. Sin embargo fue muy cuestionado este estilo en la época, buscando construir fachadas con pocos adornos, muros de piedra natural y con pocos detalles. La arquitectura poco a poco va evolucionando hacia el movimiento moderno.

Con la aparición de la arquitectura moderna conocida como arquitectura internacional, se destaca ante todo el funcionalismo en las edificaciones. Igualmente en la arquitectura racional, se busca economizar tiempo y dinero en la construcción, por lo

<sup>44</sup> Gian María Tavarelli, *Las cien maravillas*, Tomo 12, pág. 71

<sup>45</sup> *Arquitectura del Siglo XX*, pág. 50

que se recurre masivamente a la prefabricación, y construcción de viviendas en serie. Son Construidas por lo general de concreto armado, ladrillos, usando a la vez diferentes sistemas prefabricados, de los cuales se han presentado variadas propuestas con el pasar de los tiempos, es el caso de los muros Outinord, Concreto aireado Hebel, Panel W, entre otros.

Hoy la arquitectura busca nuevas experiencias constructivas, incluso en el ámbito formal y decorativo. Busca a su vez, sintetizar funciones, que ahorren la ejecución de actividades o la utilización de varios materiales para lograr un objetivo determinado.



## 1.3 El vidrio, Material de vanguardia

En el siglo XIX se da el perfeccionamiento de los métodos de producción de vidrio y se inician los procesos de industrialización en la construcción del vidrio plano. Esta mecanización del proceso abrió nuevas posibilidades tecnológicas, en donde la arquitectura del vidrio encuentra en la tecnología un gran aliado, un apoyo para evolucionar y desarrollarse.

Paul Scheerbart soñó una arquitectura de cristal, en la cual el entorno pudiera vivirse desde el interior de la edificación. "El texto aforístico de Scheerbart, Glasarchitektur, fue dedicado a Taut, cuyo Pabellón de Cristal se inscribió en los aforismos de Scheerbart: *"la luz quiere cristal"*, *"El vidrio aporta una nueva era"*, *"Lo lamentamos por la cultura del ladrillo"*, *"Sin un palacio de cristal la vida se convierte en una carga"* y *"El vidrio de colores destruye el odio"*. Estas palabras dedicaban el pabellón de Taut a la luz que se filtraba a través de su cúpula de facetas y las paredes de bloque de vidrio que iluminaban una cámara axial de siete lados, revestida con mosaico de vidrio"<sup>45</sup>

En 1914, Bruno Taut realiza su pabellón de cristal para la exposición de Werkbund en Colonia, en él, suelo, muros y cúpula, son en su totalidad de vidrio,

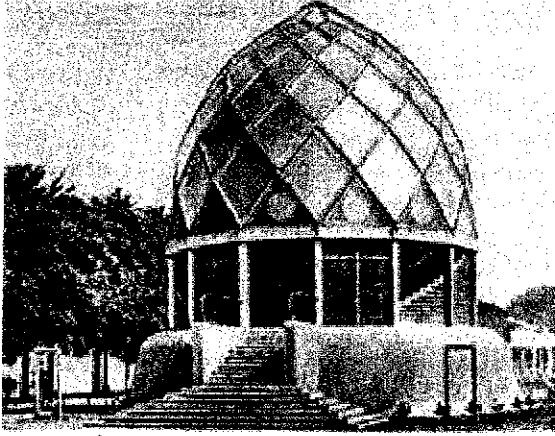
Como ejemplo de ello tenemos las pinturas termocrómicas que reaccionan con calor, cambiando su intensidad y brillo, los "privacy glass" que son vidrios que pierden su translucidez al ser activado un sensor que produce opacidad en el mismo, además de otras aplicaciones que han y seguirán siendo desarrolladas, producto de los avances tecnológicos de finales de este siglo.

siendo esta última de acristalamiento doble que por dentro se descompone formando prismas de colores. En este pabellón al tener todos los elementos positivos de vidrio, se exalta este material como una herramienta para la expresividad del arquitecto, lo que lo diferencia del Palacio de Cristal de Paxton el cual es una arquitectura más industrial, más funcional, pero que a su vez se basa en el vidrio para materializarse, encontrando en este tipo de lenguaje una nueva forma de expresarse, en donde la estructura constructiva se adjudica un valor arquitectónico. Este último edificio es el ejemplo más representativo de los edificios de cubiertas de hierro y cristal, que venían haciéndose ya a finales del siglo XVIII, los cuales se aplican a diferentes tipologías edificatorias. Volviendo a citar a Renato de Fusco, este concepto de "la estructura en esqueleto, demuestra que estamos en presencia no tanto de una organización arquitectónica como de un *principio* constructivo."<sup>46</sup>

Otro de los grandes ejemplos de utilización de fachadas de vidrio es el edificio de la Bauhaus en Dessau de Walter Gropius, el cual fue construido entre 1925 y 1926, y entró en la lista de patrimonio cultural de la humanidad de la UNESCO en 1996. Este edificio tiene una gran pureza compositiva y

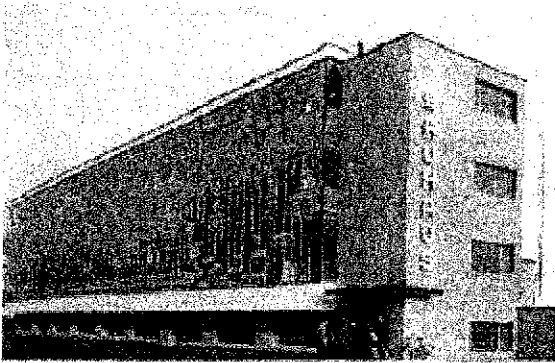
<sup>45</sup> Kenneth Frampton, *Historia crítica de la arquitectura moderna*, p. 118

<sup>46</sup> Renato de Fusco, *Historia de la arquitectura Contemporánea*, p. 34



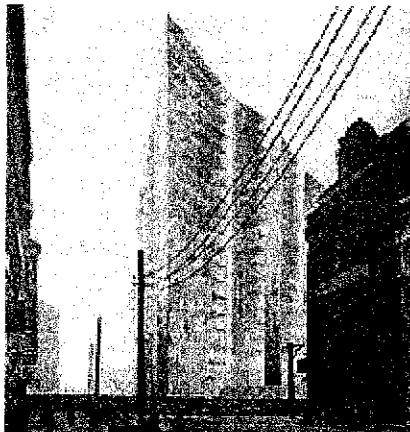
Pabellón de cristal- Bruno Taut

[http://web.fiscalit.it/Architettura\\_Amica/Varie/Taut.JPG](http://web.fiscalit.it/Architettura_Amica/Varie/Taut.JPG)



Edificio de la Bauhaus- Walter Gropius

<http://www.unostiposduros.com/paginas/bau3f2.html>



Edificio en Friedrichstrasse- Mies Van der Rohe

<http://www.designboom.com/portrait/mies.html>

*Imagen diseñada por Ana María Navia con fines didácticos y no lucrativos.*

limpieza en el volumen en donde se evidencia el sistema constructivo, lo que permitió en su época ser uno de los pioneros en el tema del muro cortina, impactando a los espectadores por la propuesta innovadora de una "caja" en el que uno de sus lados, específicamente el área de talleres era de vidrio. Como lo comenta Javier Mozas<sup>47</sup>, este edificio se convierte en paradigma de modernidad.

Por otro lado podemos citar a Le Corbusier como promotor de la ventana horizontal, con la que rasgó el muro tradicionalmente utilizado hasta la fecha, estableciendo de esta forma una nueva relación entre el interior y el exterior. Para materializar esta idea Le Corbusier despojó a la fachada de su función estructural. Citando nuevamente a Javier Mozas se pasó al "debate teórico entre la antítesis transparencia-opacidad frente a la modernidad- tradición".

Mies Van der Rohe, juega con los contrastes y reflejos del vidrio en su proyecto para un edificio de oficinas en la Friedrichstrasse, en Berlín en 1921. Este es uno de los primeros intentos de uso de este material en rascacielos de oficinas, del cual el mismo Mies escribe: "... Situé las paredes de cristal en un mismo ángulo entre ellas para evitar la monotonía de unas superficies de vidrio excesivamente grandes. Al trabajar con modelos de cristal, descubrí que lo importante es el juego de reflejos, y no el efecto de luz y sombra como en los edificios corrientes."<sup>48</sup>

Los arquitectos han estado en una búsqueda de soluciones arquitectónicas transparentes, puesto que el vidrio proporciona variadas posibilidades de expresión plástica y soluciones funcionales como la iluminación natural y la comunicación visual, permitiendo una integración total o parcial entre el interior y el espacio circundante, como diría Frank Lloyd Wright, "este nuevo concepto del Interior como realidad, cuando sea apreciado claramente como Naturaleza, mediante el vidrio, el acero y el hormigón, hará que el jardín sea edificio en la misma medida que el edificio será el jardín: el sol y el cielo serán un rasgo de la vida interior cotidiana tanpreciado como el propio suelo".<sup>49</sup>

<sup>47</sup> Artículo: "Transparencia y modernidad", <http://www.euskatel.net/javiermozas/paginas/articulos/atsiete.htm>

<sup>48</sup> Kenneth Frampton, *Historia crítica de la arquitectura moderna*, p. 164

<sup>49</sup> Frank Lloyd Wright, "Autobiografía", p. 399

Pero en la medida que era utilizado se descubrían las propias limitaciones físicas de los materiales, por lo que se inicia a trabajar en la solución de confort físico y psicológico, teniendo en cuenta el clima y la iluminación.

Con el afán de lograr estas soluciones se busca hacer del vidrio un material controlable. Es el caso de Le Corbusier, quién propuso el *Muro Neutralizante*<sup>50</sup>, en la ciudad del refugio en 1930, el cual era un sistema de vidrio doble con un espacio interior al que se le inyectaba aire caliente o frío según los requerimientos climáticos, para controlar el confort térmico en el interior.

Estos edificios de cierta forma siembran las bases de la arquitectura contemporánea en donde el vidrio juega un papel importante, dando origen a idea de uso de superficies acristaladas.

Como lo diría Luis Fernández-Galiano, "el vidrio mudo dio voz al siglo XX", dio vida a las vanguardias<sup>51</sup>. Con el vidrio se obtiene claridad visual y material a través de su transparencia.

La utilización del vidrio y su concepto de cambio social a través de la arquitectura inquietaban a los arquitectos, en 1918, Adolf Behne escribe: "No es loco capricho de un poeta afirmar que la arquitectura de vidrio traerá una nueva cultura. Es un hecho. Las nuevas organizaciones de la beneficencia social, los hospitales, los inventos o las innovaciones y perfeccionamientos técnicos no aportarán una nueva cultura, pero la arquitectura del vidrio sí lo hará..."<sup>52</sup>

La arquitectura sufre una transformación por la creatividad de los diseñadores, por el cambio de las condiciones socioeconómicas, por el desarrollo tecnológico y por la introducción de nuevos materiales en la construcción, tal es el caso del vidrio, a través del cual la transparencia moderna muestra una

sociedad abierta, atraída por la precisión industrial, por la lógica constructiva y funcional.

Cada vez es más frecuente encontrar el paisaje urbano acristalado, lo que empieza a ser característico de la segunda mitad del siglo XX. Su utilización en la actualidad marca de cierta forma, un estatus en la construcción moderna, y da beneficios por su uso universal y durabilidad. Como diría Anthony Vidler "la modernidad ha sido encantada por el mito de la transparencia"<sup>53</sup>

Muchos edificios corporativos y gubernamentales se identifican con el vidrio. Permite mayor control de los empleados traducido en mayor eficiencia. Por otro lado lleva el exterior al interior y viceversa, lo que rápidamente abrió los ojos a inversionistas y comerciantes, porque permite a su vez mostrar el producto desde fuera del edificio, incrementando las ventas. No podemos concebir un local comercial cuya fachada o vitrinas no sean transparentes. Esto habla de la influencia que tiene el vidrio en el impacto mismo del edificio y en los aspectos visuales que acompañan a la arquitectura.

El vidrio cada vez se ha posicionado más, y ha encontrado aplicación en la mayoría de los edificios actuales, en algunos más protagónica que en otros. Si pensamos en superficies transparentes o traslúcidas el vidrio ha sido el material que ha asumido el papel monoplóico.

El avance tecnológico en los métodos de fabricación del vidrio, específicamente el método del vidrio flotado, permitió mayor volumen de producción, perfeccionamiento en la calidad del producto, generó una baja en el costo y se facilitó la elaboración de hojas de vidrio de mayor tamaño. Esto acrecentó su utilización en la construcción, campo que se ha visto favorecido con el desarrollo de este producto. Con el afán de dar solución a los problemas que se enfrenta en los edificios como inseguridad, incremento de ruido en zona urbana, requerimientos confort térmico interior, entre otros, se han desarrollado vidrios especiales laminados y de capas, y se ha diversificado el producto en su composición química. puesto que por las características físicas del vidrio común no las pueden resolver por sí solos.

<sup>50</sup> Artículo: "Vidrio, diseño y tecnología", Manuel Rodríguez Viqueira, <http://www.azc.uam.mx/cyad/procesos/web/site/grupos/tde/NewFiles/manuelV.III.html>

<sup>51</sup> Artículo: "Voces de vidrio", Luis Fernández-Galiano <http://www.arquitecturaviva.com/ArquitecturaViva82.htm#Articulo>

<sup>52</sup> Kenneth Frampton, *Historia crítica de la arquitectura moderna*, p. 119

<sup>53</sup> Artículo: "Transparencia y modernidad", <http://www.euskatel.net/javiermozas/paginas/articulos/atsiete.htm>



En 1989, I.M. Pei construye la pirámide de Louvre en París, uno de los hitos en vidrio más representativos en el mundo. Esta pirámide es de vidrio con el fin de "desmaterializar al construcción" y no competir con el entorno. Para lograr esto se requería del menos reflejo posible producido en el vidrio, por lo que se trabajó en su composición química, logrando la mayor transparencia posible y se utilizaron vidrios laminados para proporcionar seguridad al edificio.

Esta pirámide va de la mano con la idea de algunos arquitectos, que afirman que la arquitectura del vidrio crea un lenguaje propio y no compite o polemiza en lugares históricos, porque la transparencia permite a través del volumen apreciar el entorno.

En otros casos se valen del reflejo que se produce en el vidrio para jerarquizar los edificios circundantes, con esta nueva arquitectura se genera un nuevo vocabulario de expresión arquitectónica.

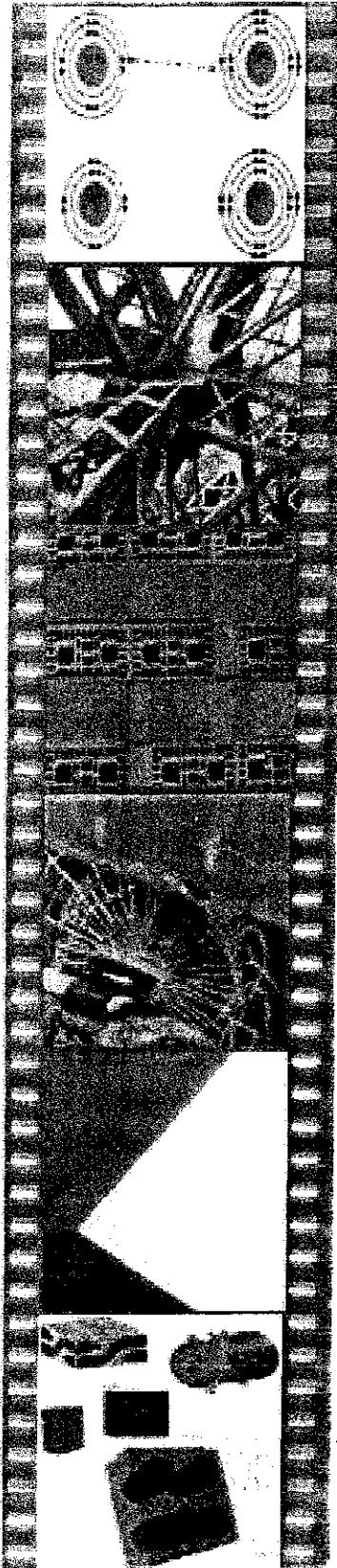
Cada vez son más los arquitectos que utilizan el vidrio en sus proyectos, por citar algunos está Dominique Perrault con la Biblioteca Nacional de Francia, Rem Koolhaas en Lille, Norman Foster en el centro de arte contemporáneo, el Centro Pompidou, los grandes rascacielos neoyorkinos, y para no irnos muy lejos, en México ha sido evidente el incremento de uso de este material, que podemos ver como identidad de zonas como Santa Fe, en donde se encuentran gran número de edificios corporativos, como la Daimler Chrysler, Calakmul, entre otros. Insurgentes es otro de los parajes que se han vestido de vidrio.

Hoy en día, hay diferentes posibilidades de vidrios: de color, curvos, laminados, reflectantes, aislantes, etc. lo que permite a los arquitectos dar una enorme variedad en sus proyectos con su aplicación, por los efectos visuales que cada tipo de vidrio puede producir. Desde el desarrollo del proyecto se debe definir el vidrio que se va a usar, los efectos que se quieren lograr, el tipo de sujeción a utilizar.

Este material nos abre un mundo entero de posibilidades arquitectónicas, su evolución en la fachada ha sido determinante, la tecnología nos ha permitido dar cada vez mejores soluciones a nuestras necesidades con el uso del vidrio, dar superiores calidades lumínicas y relaciones espaciales.

La búsqueda de nuevas propuestas es constante, la oferta y la demanda están en continuo crecimiento. Todo esto, en suma, lo hace un **material de Vanguardia**.





## capítulo 2

# Los materiales

*"Hoy, literalmente cientos de materiales se derivan de la naturaleza. Sin embargo, muchos de ellos no salen directamente de los recursos naturales. Todos esos asombrosos desarrollos son llevados a cabo por el incremento de conocimiento y entendimiento de las propiedades de los materiales"*

*Modern materials and manufacturing Processes, p.13*

En este capítulo se abarcará la definición de material, y sus clasificaciones.



## 2.1 DEFINICIÓN DE MATERIAL

Para efectos de esta investigación retomaremos la definición dada por Carlos E. Rangel Nafaile:

*"Un material es la porción de materia a la que se le da un uso particular para desarrollar una actividad específica."*<sup>1</sup>

Para entender mejor este concepto, es importante entrar a describir el significado de materia y su estructura básica, puesto que hace parte integral de la definición antes mencionada.

### 2.1.1 ¿Qué es la materia?

Es aquello de lo que están hechas todas las cosas que ocupan un lugar en el tiempo y en el espacio. La materia está compuesta por más de 100 elementos químicos entre los Metales y los No metales, siendo cada uno de ellos un material puro. Cada uno de estos elementos están constituidos de átomos, que son la unidad básica de la materia, y se componen a su vez, de neutrones, electrones y protones. Es por este motivo que entraremos a definir las partes constitutivas del átomo y sus diferentes tipos de enlaces los cuales producen variados efectos en el material. El núcleo está compuesto por protones de carga positiva y neutrones.

Los electrones están ubicados alrededor de núcleo en órbitas similares a las de los planetas.

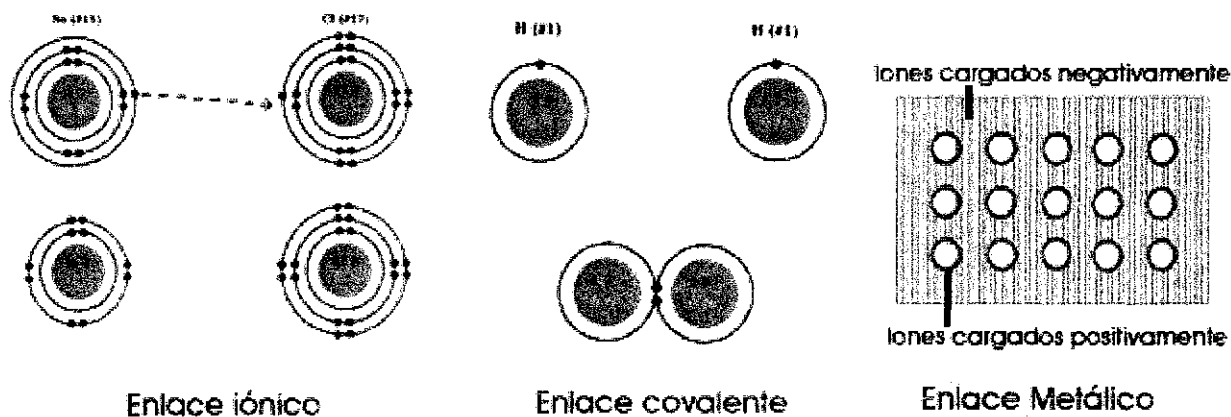
**2.1.2 Enlaces:** Se presentan los enlaces primarios y los enlaces secundarios.

### 2.1.2.1 Enlaces primarios

Son atracciones fuertes entre los átomos, determinadas por la valencia, la cual es la capacidad de combinarse con otros átomos con el propósito de formar moléculas. Las valencias pueden ser positivas y negativas, son positivas cuando tienen electrones extra en la última órbita del átomo, y negativas cuando ésta no está completamente llena de electrones. En caso de que no queden espacios para más electrones en la última órbita se considera que la valencia es cero. Estas valencias son las encargadas de originar los enlaces entre átomos ya que se comparten electrones unos con otros, promoviendo la conformación de diferentes materiales, a partir de los elementos involucrados.

Existen tres tipos básicos de enlaces primarios: *Covalentes, Metálicos y Iónicos*, teniendo cada uno las características descritas en las tablas que se presentan a continuación:

### Enlaces del átomo



<sup>1</sup> Los materiales de la civilización, Pág. 9

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## TIPO DE ENLACE: COVALENTE

DEFINICIÓN	CARACTERÍSTICAS
Los electrones de la última capa no se transfieren sino que se comparten con otros átomos, para lograr una cuenta de 8 electrones y lograr así más estabilidad.	Son enlaces muy fuertes cuya resistencia está determinada por el número de electrones compartidos. Los materiales sólidos con enlaces covalentes tienen baja conductividad eléctrica y alta dureza.

## TIPO DE ENLACE: METÁLICO

DEFINICIÓN	CARACTERÍSTICAS
Es el enlace atómico de los metales en estado puro y en las aleaciones. Las órbitas externas de los elementos metálicos poseen muy pocos electrones para lograr estabilidad, por eso se comparten los electrones de todos los átomos juntos. Así se proporcionan todas las fuerzas para mantener a los átomos unidos y así formar una estructura rígida.	Tienen buena conductividad eléctrica (debido a la libertad de los electrones para moverse dentro del elemento) Tienen buena conductividad térmica. Este tipo de enlaces hacen posible algunos de las características más útiles de los metales tales como la plasticidad y la ductilidad.

## TIPO DE ENLACE: IÓNICO

DEFINICIÓN	CARACTERÍSTICAS
También llamados electrovalentes: El enlace iónico es una atracción eléctrica entre dos átomos cargados opuestamente o grupos de átomos. Los átomos de un elemento ceden sus electrones exteriores, los cuales son al mismo tiempo atraídos por átomos de otros elementos para completar a 8 los electrones en la última capa, para que queden más estables. Un ejemplo claro de esto es el cloruro de sodio (NaCl), donde un metal (Sodio), cede su último electrón de valencia a un no metal (cloro), para completar su órbita de valencia. El estado normal de los átomos es la neutralidad, pero con el fin de ganar mayor estabilidad los átomos puede sacrificarla, perdiendo uno o más de los electrones más alejados convirtiéndose en un catión (ión positivo), o pueden ganar uno o más electrones convirtiéndose en un anión (ión negativo). Los elementos que se identifican como "metálicos" tienden a perder electrones y los elementos que se conocen como "no metálicos" tienden a ganar electrones. Una vez que esto pasa los átomos se atraerán unos a otros. Esta atracción eléctrica entre dos átomos con carga opuesta, es lo que se conoce como enlace iónico.	Son enlaces de cierta manera débiles porque presentan discontinuidades en su agrupación. Las propiedades de los metales sólidos con enlaces de este tipo, tienen baja conductividad eléctrica (Por compartir electrones sólo con átomos vecinos) Son de mala ductilidad, son quebradizos, resistencia moderada, y alta dureza. Son muy buenos aislantes eléctricos cuando están en estado sólido puro, porque hay poca oportunidad para que los iones o los electrones tengan movimiento.

### **2.1.2.2 Enlaces Secundarios**

Hay tres tipos de enlaces secundarios:

Presentan fuerzas de atracción entre moléculas. Son más débiles que los enlaces primarios porque no comparten electrones.

Las fuerzas dipolares y las fuerzas de London se conocen como fuerzas de **Van der Waals**<sup>1</sup> en honor al científico que por primera vez las estudió.

#### **TIPO DE ENLACE: FUERZAS DIPOLARES**

<b>DEFINICIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Se dan en una molécula conformada por dos átomos que tienen cargas eléctricas iguales y opuestas.	Producen una red de enlaces moleculares en el material.

#### **TIPO DE ENLACE: FUERZAS DE LONDON**

<b>DEFINICIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Son fuerzas atractivas entre moléculas no polares.	Los dipolos instantáneos producen una atracción entre las moléculas del material.

#### **TIPO DE ENLACE: ENLACES DE HIDRÓGENO**

<b>DEFINICIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Se dan en moléculas que tienen átomos de hidrógeno unidos por medio de un enlace covalente a otro átomo.	Es importante en la formación de muchos polímeros.

<sup>1</sup> Ver Anexos biografías

## **2.1.3 ESTRUCTURAS FUNDAMENTALES DE LA MATERIA**

### **2.1.3.1 Estructura cristalina**

Cuando los materiales en estado líquido se solidifican, muchas de las sustancias forman cristales, característica de los metales y de muchos polímeros y cerámicos.

*"En una estructura cristalina, los átomos toman posiciones regulares recurrentes en tres dimensiones"*<sup>2</sup>

Encontramos tres tipos de estructuras cristalinas entre los metales:

**BCC:** Cúbica centrada en el cuerpo. Es la estructura cristalina del hierro en estado normal.

**BFC:** Cúbica centrada en la cara.

**HCP:** Hexagonal compacta.

### **2.1.3.2 Estructuras no cristalinas o amorfas**

Muchos materiales no son cristalinos, entre ellos encontramos los líquidos y los gases.

El hule, el vidrio y varios plásticos son también ejemplos de estas estructuras.

Tienen diferencias respecto a los materiales con estructura cristalina, en las características de fusión y de expansión térmica y no tienen el orden de largo alcance en la estructura molecular. Cuando un metal es fundido pasa a tener una estructura no cristalina, en este estado los átomos del metal aumentan el volumen, es decir hay reducción en la densidad del material.

## **2.2 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

Como arquitectos o ingenieros estamos continuamente relacionados con los materiales, desde que elaboramos el proyecto, hasta que lo construimos. Es importante conocer el comportamiento y propiedades de los materiales que nos proponemos a utilizar.

### **PROPIEDADES MECÁNICAS:**

**Esfuerzo:** Es la fuerza por unidad de sección y se expresa en Kg/cm<sup>2</sup>

**Alargamiento:** Es la deformación que sufre un material. Hay dos tipos de deformaciones:

1. Deformaciones Plásticas
2. Deformaciones Elásticas

#### **Deformaciones plásticas:**

Es la deformación que se da permanentemente una vez el material ha pasado el límite elástico.

#### **Deformaciones elásticas:**

Es la deformación que sólo dura el tiempo que se aplica el esfuerzo.

<sup>2</sup> Fundamentos de manufactura moderna, pág. 32.

"Cuanto más elástico sea un material, es decir, cuanto mayor sea la deformación que puede sufrir, menor es su valor de E"<sup>3</sup>

E = Módulo de elasticidad<sup>4</sup> (Módulo de Young)

1/E = Coeficiente de elasticidad o de deformación.

El alargamiento que se produce en los materiales al someterlos a esfuerzos, depende de la deformación de los enlaces. Los materiales son tanto más rígidos, cuanto más fuertes sean los enlaces, presentando en estos casos módulos de elasticidad altos.

**Ductilidad:** Es la cantidad de deformación plástica en el punto de ruptura<sup>5</sup>. Puede determinarse por la reducción del área en el punto de ruptura; esto sucede con los materiales muy dúctiles ya que el área se reduce antes de fallar el material.

**Dureza:** Es la resistencia que tiene un material para que su superficie no sea penetrada.

<sup>3</sup> El vidrio, José María Fernández, pág. 408

<sup>4</sup> El módulo de elasticidad también llamado módulo de Young, es la relación entre el esfuerzo que se aplica y la deformación elástica que resulta. Se expresa en kg/cm<sup>2</sup>

<sup>5</sup> Van Vlack, materiales para ingeniería, pag. 22

## PROPIEDADES TÉRMICAS:

Es importante tener en cuenta en los procesos de elaboración de los materiales el punto de fusión y el punto de ebullición; estos puntos marcan el acomodamiento estructural de los elementos que lo conforman.

**Calor específico:** "La cantidad de calor necesaria  $dQ$  para producir una elevación de temperatura  $dT$  en un cuerpo dado es directamente proporcional a la masa del cuerpo y depende de la naturaleza de éste, del intervalo de temperatura y de las condiciones de presión y volumen a que se lleve a cabo su calentamiento. El coeficiente diferencial entre el calor aportado y el aumento de temperatura experimentado se define como la capacidad calorífica del cuerpo."<sup>6</sup>

$$C = dQ/dT$$

### Coeficiente de expansión térmica lineal: <sup>7</sup>

Es un coeficiente que mide el estiramiento por unidad de longitud por una variación de un grado centígrado.

### Coeficiente de expansión lineal (m/mk)

Madera	$4 \times 10^{-6}$
Ladrillo	$5 \times 10^{-6}$
Piedra	$5 \times 10^{-6}$
Vidrio	$9 \times 10^{-6}$
Acero	$12 \times 10^{-6}$
Cemento (mortero)	$14 \times 10^{-6}$
Aluminio	$23 \times 10^{-6}$
PVC	$70 \times 10^{-6}$

Tabla tomada de Glass Guide, Saint Gobain Glass, pág. 6

**Conductividad térmica:** Se define como la capacidad de transmisión de calor a través de los materiales. Es sensible a la temperatura y opuesto al coeficiente de expansión térmica

## PROPIEDADES DE MATERIALES DE INGENIERÍA

Material	Densidad	Conductividad térmica Cal.cm °C.cm <sup>2</sup> .seg a 20°C	Expansión Térmica plg/plg°F a 20°C	Resistividad Eléctrica en ohm.cm a 20°C	Módulo de Elasticidad promedio lbplg <sup>2</sup> a 20°C
Aluminio (99.9 +)	2.7	0.53	$12.5 \times 10^{-6}$	$2.9 \times 10^{-6}$	$10 \times 10^6$
Aleaciones Al	2.7 (+)	0.4	$12 \times 10^{-6}$	$3.5 \times 10^{-6}$	$10 \times 10^6$
Latón (70 Cu-30Zn)	8.5	0.3	$11 \times 10^{-6}$	$6.2 \times 10^{-6}$	$16 \times 10^6$
Bronce (95 Cu-5Sn)	8.8	0.2	$10 \times 10^{-6}$	$9.6 \times 10^{-6}$	$16 \times 10^6$
Hierro fundido (Gris)	7.15	-	$5.8 \times 10^{-6}$	-	$30 \times 10^6$
Hierro fundido (Blanco)	7.7	-	$5 \times 10^{-6}$	-	$30 \times 10^6$
Cobre (99.9+)	8.9	0.95	$9 \times 10^{-6}$	$1.7 \times 10^{-6}$	$16 \times 10^6$
Hierro (99.9+)	7.87	0.18	$6.53 \times 10^{-6}$	$9.7 \times 10^{-6}$	$29 \times 10^6$
Plomo (99+)	11.34	0.08	$16 \times 10^{-6}$	$20.65 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^6$
Magnesio (99+)	1.74	0.38	$14 \times 10^{-6}$	$4.5 \times 10^{-6}$	$6.5 \times 10^6$
Monel (70Ni-30Cu)	8.8	0.06	$8 \times 10^{-6}$	$48.2 \times 10^{-6}$	$26 \times 10^6$
Plata	10.4	1	$10 \times 10^{-6}$	$1.8 \times 10^{-6}$	$11 \times 10^6$
Acero (1020)	7.86	0.12	$6.5 \times 10^{-6}$	$16.9 \times 10^{-6}$	$30 \times 10^6$

Tabla tomada del libro Materiales para Ingeniería, Apéndice E.

<sup>6</sup> El vidrio, José María Fernández, pág. 399

<sup>7</sup> Saint-Gobain Glass, Glass guide, edition 2000, pág. 6

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La clasificación de los materiales está dada en tres categorías básicas:

1. Metálicos
2. Cerámicos
3. Polímeros

Además de esas categorías existen los **materiales compuestos**, que son mezclas no homogéneas de los tres grupos de materiales antes señalados.

Cada una de estas categorías tienen características físicas, químicas y mecánicas propias que hacen que se diferencien unos de otros, incluso en el uso final al cual van a ser destinados.

### **2.3.1 MATERIALES METÁLICOS**

#### **Definición**

Reciben el nombre de metales aquellos cuerpos simples dotados de las propiedades físicas tales como el brillo metálico cuando están pulidos, la conductividad calorífica y la conductividad eléctrica.

Desde el punto de vista químico, los metales se pueden combinar con los metaloides<sup>8</sup>, dando compuestos electrolizables y solubles en el agua.

#### **Propiedades físicas**

La importancia tecnológica y comercial de los metales se debe a las propiedades mismas de estos materiales:

**Alta rigidez y resistencia:** Los metales pueden alearse para conseguir una alta rigidez, resistencia y dureza; su utilización proporciona un marco estructural para la mayoría de los productos de ingeniería. Los metales más usuales pueden clasificarse por orden de dureza teniendo en cuenta un orden decreciente de la siguiente manera: Cromo, hierro, níquel,

platino, cobre, oro, plata, plomo.

**Tenacidad:** Se refiere a la resistencia a la ruptura del material. Tienen la capacidad de absorber mayor cantidad de energía que cualquier otro material.

Las siguientes cifras muestran la tenacidad de los metales más empleados<sup>9</sup>:

Hierro.....	64kg
Cobre.....	41kg
Platino.....	35kg
Plata.....	30kg
Oro.....	27kg
Cinc.....	13kg
Estaño.....	3kg
Plomo.....	2kg

**Buena conductividad eléctrica:** Son excelentes conductores de electricidad, puesto que por sus enlaces metálicos se permite el libre movimiento de electrones como portadores de carga.

**Buena conductividad térmica:** También debido a los enlaces metálicos, poseen buena y mejor conductividad térmica que los cerámicos y polímeros.

#### **Aleaciones**

La mayoría de los metales son más útiles en ingeniería y otras aplicaciones, después de haberse aleado con otros materiales.

"una aleación es un metal compuesto de dos o más elementos, de los cuales por lo menos uno es metálico."<sup>10</sup>

Hay dos categorías principales de aleaciones:

1. Soluciones sólidas
2. Fases intermedias

<sup>8</sup> Los metaloides pueden presentarse en los tres estados físicos. En el estado sólido no posee brillo metálico y son malos conductores de calor y de electricidad. Tampoco poseen las características mecánicas de maleabilidad, tenacidad, ductilidad, que permiten trabajar los metales en bruto. Son electronegativos, a diferencia de los metales que son electropositivos.

<sup>9</sup> Enciclopedia de las ciencias, Larousse, pág. 52

<sup>10</sup> Idem, pág. 110.

**Soluciones sólidas:** "Una solución sólida es una aleación en la cual un elemento está disuelto en otro para formar una estructura de fase única. El término fase describe cualquier masa homogénea de material, tal como un metal en el que los átomos tienen la misma estructura reticular.

En una solución sólida, el solvente o elemento base es metálico, y el elemento disuelto puede ser metálico o no metálico."<sup>11</sup> La Dra. Maria Elena Villafuerte en su tesis doctoral<sup>12</sup> explica que las soluciones sólidas "se pueden definir como una serie de compuestos que se forman al introducir en una red cristalina, uno o varios iones, conservando básicamente el mismo arreglo cristalino del componente puro. En la serie, la composición y generalmente los parámetros de la red cambian progresivamente con la concentración de los componentes huéspedes."

Hay dos tipos de soluciones sólidas:

1. Solución sólida sustitucional
2. Solución Sólida intersticial

**Solución sólida sustitucional:** Los átomos del elemento solvente se reemplazan por átomos del elemento disuelto en su celda unitaria. Un ejemplo de esto es el latón. Para que se dé la sustitución, es necesario que se cumplan las siguientes reglas:

El radio atómico de los dos elementos debe ser similar, por lo general dentro de un 15%.

Si los elementos poseen diferente valencia, es posible que el metal de menor valencia sea el solvente. Si los elementos tienen entre sí una alta afinidad química, es más fácil que formen un compuesto a una aleación.

**Solución sólida intersticial:** Los átomos del elemento disuelto se introducen en los espacios libres entre los átomos de la estructura reticular del metal base, para esto los átomos que se introducen deben tener menor tamaño que los del metal solvente. Ejemplo el carbono disuelto en el hierro para formar el acero.<sup>13</sup>

<sup>11</sup> Fundamentos de manufactura moderna, pág. 111.

<sup>12</sup> Caracterización de soluciones sólidas de Niobato y tantalato de litio contaminadas con iones de  $\text{Eu}^{3+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$

<sup>13</sup> Fundamentos de manufactura moderna, pág. 111.

**Fases intermedias:** Existen límites en la solubilidad de un elemento en otro. Cuando, se sobrepasa este límite, se forma una fase intermedia, denominada así por tener una composición química intermedia entre los dos elementos puros.

Las fases intermedias pueden ser de dos tipos:

**Compuestos metálicos:** Estos se conforman con un metal y un no metal, como el  $\text{Fe}_3\text{C}$

**Compuestos intermetálicos:** Está formado por dos metales que hacen un compuesto ( $\text{Mg}_2\text{Pb}$ )

## División de los Metales

Este grupo de materiales se divide en dos grupos:

1. Metales Ferrosos.
2. Metales No Ferrosos.

### Metales ferrosos:

Este grupo de materiales se basa en el hierro. "Estos constituyen el grupo de materiales comerciales más importantes y comprende más de las tres cuartas partes del tonelaje de metal que se utiliza en todo el mundo."<sup>14</sup>

Los metales de este tipo son las aleaciones de hierro y carbono, las cuales se dividen en dos grupos:

1. Aceros
2. Fundiciones de hierro.

**El acero,** es la categoría más importante dentro del grupo de metales ferrosos. Es un material que se compone de la aleación entre el hierro y el carbono, éste último entre el 0.02 a 2.11%. También con el fin de mejorar las propiedades de metal, frecuentemente incluyen molibdeno, cromo, níquel, pero es la presencia del carbono el que lo convierte en acero. Tiene diversas aplicaciones y se debe esto a que posee buena resistencia mecánica, relativo bajo costo de los metales y facilidad de elaboración en una gran variedad de procesos de manufactura. Por esto se pueden obtener diferentes tipos de acero:

<sup>14</sup> Fundamentos de manufactura moderna, pág. 10

1. Aceros al carbono.
2. Aceros de baja aleación.
3. Aceros inoxidables.
4. Aceros de herramientas.

**Aceros al carbono:** Su principal elemento de aleación es el carbono, con sólo pequeñas cantidades de otros elementos. Su resistencia es directamente proporcional al contenido de carbono. De acuerdo con su contenido de carbono se clasifican en tres grupos:

**1. Aceros al bajo carbono:** Tienen menos del 0.20% de carbono. Sus principales aplicaciones son la lámina metálica para automóviles, planchas de acero para fabricación y rieles de ferrocarril.

**2. Aceros al medio carbono:** Tienen un contenido de carbono entre el 0.20 y el 0.50%. Sus aplicaciones son en componentes de maquinaria y partes de motores.

**3. Los aceros al alto carbono:** Tienen cantidades superiores a 0.50% de carbono. Se usan en partes que requieren de alta resistencia como resortes, herramientas de corte, y partes expuestas al desgaste.

**Aceros de baja aleación:** Son aleaciones de hierro carbono con elementos aleantes adicionales en un total inferior al 5% en peso (molibdeno, cromo, manganeso, níquel y vanadio).

Tienen mejores características mecánicas que los aceros al carbono: mayor resistencia, dureza, tenacidad, resistencia al desgaste.

#### **Cromo (Cr)**

Mejora la resistencia, dureza, resistencia al desgaste y dureza en caliente, mejora la resistencia a la corrosión. Se usa para incrementar la templabilidad.

#### **Manganeso (Mn)**

Mejora la resistencia y dureza, cuando se trata térmicamente se incrementa la templabilidad.

#### **Molibdeno (Mo)**

Aumenta tenacidad, dureza en caliente y la resistencia a la termoinfluencia. Mejora la templabilidad y

forma carburos para la resistencia al desgaste.

#### **Níquel (Ni)**

Mejora la resistencia y tenacidad, templabilidad (en menos cantidad que los otros elementos de aleación del acero). En grandes cantidades mejora la resistencia a la corrosión.

#### **Vanadio(V)**

Inhibe el crecimiento de los granos durante el procesamiento a altas temperaturas y en el tratamiento térmico, mejorando la resistencia y tenacidad del acero. Forma carburos que incrementan la resistencia al desgaste.

**Aceros inoxidables:** Son altamente aleados y diseñados para evitar la corrosión. El principal elemento de aleación en los aceros inoxidables es el cromo, que está por el 15% en la composición y es utilizado para proteger contra la corrosión, usándose a veces el níquel con la misma intención. El carbono se usa para reforzar y endurecer el metal.

**Los aceros inoxidables se dividen en tres grupos:**

**1. Inoxidables austeníticos:** Tienen la composición de 18% Cr y 8% Ni, son los más resistentes a la corrosión. Se usan para fabricar equipos de procesos químicos y alimenticios, como partes de maquinarias que requieren alta resistencia a la corrosión.

**2. Inoxidables ferríticos:** Tienen entre un 15 a un 20% de cromo, y bajo carbono. Son magnéticos, menos dúctiles y con menor resistencia a la corrosión que los austeníticos. Se usan en productos de cocina y motores de propulsión a chorro.

**3. Inoxidables martensíticos:** Estos aceros tienen un alto contenido de carbono, lo que permite fortalecerlos por medio de tratamiento térmico. Tienen hasta un 18% de cromo. Son fuertes y resistentes a la fatiga, pero no tan resistentes a la corrosión. Se usa en productos quirúrgicos.

**El hierro colado** es una aleación de hierro y carbón de 2 a 4%, encontrándose también silicio en una proporción de 0.5 a 3% y con frecuencia se le agregan otros elementos para obtener las propiedades que se desean del producto final.



## Metales No Ferrosos:

Son todos los demás metales, es decir los que no se basan en el hierro. Incluyen los metales puros de aluminio, cobre, oro, magnesio, níquel, plata, estaño, titanio, zinc y otros metales, al igual que sus aleaciones, que en casi todos los casos son más importantes comercialmente hablando, que el mismo metal por sí solo.

“Aunque el grupo de metales no ferrosos no puede igualar la resistencia de los aceros, algunas aleaciones no ferrosas tienen características, como resistencia a la corrosión y relaciones resistencia-peso, que los hacen competitivos con los aceros en aplicaciones para esfuerzos moderados y altos.”<sup>15</sup> Además tienen propiedades mecánicas diferentes:

**Cobre:** Por su baja resistividad eléctrica entre los metales es ampliamente usado en conductores eléctricos.

**Aluminio:** Es un excelente conductor térmico y sus aplicaciones incluyen intercambiadores de calor e implementos de cocina.

**Zinc:** Su punto de fusión es bajo, por eso se usa en fundición de dados.

### 2.3.2 MATERIALES CERÁMICOS

#### Definición

Se deriva de la palabra griega Keramos<sup>16</sup>, que significa barro de alfarero o utensilios fabricados con barro cocido. Sin embargo hoy el término es más amplio, ya que se refiere a la técnica de manufactura de materiales a partir de arcillas u óxidos cerámicos, que con la acción de altas temperaturas se convierten en productos sólidos y adquieren gran rigidez.

Los cerámicos son compuestos inorgánicos constituidos por un metal o semimetal y uno o más de los elementos no metálicos; están formados por diferentes materias primas siendo las principales la arcilla, la sílice, aspecto sobre el cual ahondaremos más adelante.

Existen varios materiales cerámicos, como la **sílice o dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>)**, el cual es el ingrediente principal de los productos de vidrio; **la alúmina, también conocido como óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**, que se usa tanto para abrasivos como para huesos artificiales. Y los compuestos complejos como el **silicato hidratado de aluminio (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>)**, más conocido como **Kaolinita**.

Existe una gran variedad de cerámicas en el mercado, a las cuales se les dan diferentes aplicaciones. De esto se deriva su importancia comercial y tecnológica.

Podemos distinguir en este grupo de materiales a los productos de barro para la construcción, cerámicos refractarios, cemento, productos de loza, de vidrio, fibras de vidrio, abrasivos, materiales para herramientas de corte, entre otros.

#### Propiedades físicas y mecánicas

Los enlaces característicos de las cerámicas son los covalentes y los iónicos, que son más fuertes que los enlaces metálicos, por lo que se les atribuyen las propiedades de alta dureza y tenacidad, al igual que la baja ductilidad.

La conductividad eléctrica y térmica de estos materiales son más bajas que las de los metales, pero el rango de valores es más amplio, lo que permite que algunos se usen como aislantes, mientras otros como conductores eléctricos.<sup>17</sup>

El punto de fusión es más alto que el de los materiales metálicos, logran descomponerse antes que fundirse.

Estos materiales son rígidos y frágiles, y tienen un comportamiento esfuerzo deformación elástico.

Los enlaces de estos materiales (covalentes e iónicos), son más rígidos y no permiten deslizamientos en presencia de los esfuerzos. Tienen las mismas imperfecciones que los metales en su estructura cristalina, por lo que tienden a concentrar los esfuerzos sobre todo en presencia de tensiones, flexiones o golpes, a todo esto se debe la falla por fractura de los materiales cerámicos.

<sup>15</sup> Fundamentos de manufactura moderna, pág. 131.

<sup>16</sup> Fundamentos de manufactura moderna, pág. 163

<sup>17</sup> Fundamentos de manufactura moderna, pág. 166

## Clasificación de las cerámicas

Para efectos de esta investigación utilizaré la clasificación de los materiales cerámicos manejada por la Dra. María Elena Villafuerte, difiriendo en el vidrio ya que no lo introduzco dentro de los cerámicos tradicionales sino que se dividen como una categoría independiente tal como lo manejan otros autores como es el caso de Mikel P. Groover en su libro fundamentos de manufactura moderna .

### Cerámicos tradicionales:

Productos de arcilla (Materiales estructurales)  
Cementos  
Abrasivos

### Cerámicos avanzados:

Electrocerámicos:  
Semiconductores  
Conductores (electrolitos sólidos)  
Superconductores  
Dieléctricos  
Ferroeléctricos  
Piezoeeléctricos  
Piroeléctricos  
Cerámicos magnéticos  
Cerámicas electroópticas.  
Biocerámicas  
Cerámicas estructurales  
Cerámicas para usos nucleares  
Monocristales (Rubí, diamante, zafiro)

**Vidrio** (Se maneja como clasificación independiente por no tener estructura cristalina como los materiales cerámicos).

## Cerámicos tradicionales

Estos materiales están basados en los silicatos minerales, la sílice y los óxidos minerales. Los productos principales son el barro cocido, el cemento y los abrasivos naturales como la alúmina.

Los silicatos minerales como la sílice o el cuarzo, constituyen la materia prima básica de los cerámicos tradicionales.

Las arcillas son las más usadas para la elaboración de las cerámicas, y son finas partículas de silicato de aluminio hidratado, que se convierten en una sustan-

cia plástica y fácil de moldear cuando se mezcla con agua. Tiene gran plasticidad y cuando se calienta a temperaturas elevadas (cuando se coce), se convierte en un material fuerte y denso.

La sílice es también muy importante en la formación de las cerámicas tradicionales, es el principal componente del vidrio y es básico en la cerámica blanca, refractarios y abrasivos.

Hay gran cantidad de productos manufacturados con cerámicas estructurales, encontramos la alfarería y artículos de mesa, ladrillos y tejas, refractarios, porcelanas, abrasivos, al igual que el cemento, que es un producto cerámico importante.

## Vidrio

Como estado de la materia se refiere a una estructura vítrea, es decir que no se dio tiempo suficiente de enfriamiento en su proceso de fundición para formar una estructura cristalina.

"El vidrio es un compuesto inorgánico no metálico (o mezcla de compuestos) que se solidifican en una condición rígida sin cristalizar; es un material cerámico que se encuentra en el estado vítreo como material sólido."<sup>18</sup>

El principal ingrediente es la sílice, comprendiendo entre el 50% y el 75% de su composición. Su importancia se debe a que pasa al estado vítreo desde el estado líquido en su proceso normal de enfriamiento, mientras la mayoría de los cerámicos se cristalizan en este procedimiento.

La mayoría de utensilios de laboratorio se elaboran con vidrio de sílice, el cual se forma al fundir y dejar enfriar al cuarzo. Este vidrio de sílice tiene un coeficiente de expansión térmica muy bajo, por lo cual lo hace resistente al choque térmico y resistente a temperaturas elevadas.

Entre los productos de vidrio encontramos, el vidrio para ventanas, envases, bombillas para lámparas, artículos de vidrio para laboratorio, fibras de vidrio, vidrios ópticos, entre otros.

<sup>18</sup> *Fundamentos de manufactura moderna*, pág. 173.

### **2.3.3 MATERIALES POLÍMEROS**

#### **Definición**

"Los polímeros son moléculas formadas por la repetición sucesiva de un mismo grupo de átomos. A este grupo de átomos se le denomina monómeros."<sup>19</sup>

El término de polímero se deriva de las palabras griegas, *poly*, que significa mucho y *mero* que significa parte.

Con excepción del hule natural, casi todos los polímeros que se usan en la fabricación de productos manufacturados están sintetizados químicamente.

#### **Propiedades físicas y químicas**

Como el punto de fusión de los polímeros es menor que el de los metales, requieren de menos energía en la producción que éstos últimos.

Los plásticos poseen grandes cualidades, que los hacen apetecibles para la elaboración de diferentes productos:

- \* Tienen baja densidad con respecto a los metales y a los cerámicos.
- \* Ciertos polímeros tienen buena relación de resistencia al peso.
- \* Tienen alta resistencia a la corrosión.
- \* Baja conductividad eléctrica y térmica
- \* Algunos plásticos son traslúcidos y transparentes lo cual los hace competitivos con el vidrio.

Aunque tienen algunas características que los ponen en desventaja con otros materiales:

- \* Baja resistencia con respecto a los metales y los cerámicos.
- \* Bajo módulo de elasticidad o rigidez.
- \* Soportan poco las altas temperaturas, puesto que se funden más rápido que los metales.
- \* Algunos polímeros se degradan cuando se exponen a la luz del sol y otras formas de radiación.
- \* Exhiben propiedades viscoelásticas.

### **Clasificación de los polímeros**

Los polímeros se dividen en los siguientes grupos:

1. Polímeros termoplásticos
2. Polímeros termofijos
3. Elastómeros

En los dos primeros se encuentran los plásticos y en el último los hules.

#### **Polímeros termoplásticos**

Son materiales sólidos a temperatura ambiente, pero sometidos a temperaturas de unos cientos de grados se convierten en un líquido viscoso, además este proceso puede repetirse varias veces sin que se degrade el polímero. Esto se debe a que las moléculas de estos polímeros son lineales y no se entrelazan transversalmente. Aunque sufren con muchos procesos de este tipo, deterioro químico, por eso es necesario diferenciar cuales son los termoplásticos vírgenes y cuales han sido calentados y enfriados, porque dependiendo el uso que van a tener se requieren vírgenes, en algunos casos.

#### **Propiedades**

Los termoplásticos a temperatura ambiente presentan las siguientes propiedades mecánicas:

- \* Menor rigidez.
- \* Resistencia a la tensión es más baja que los metales.
- \* Baja dureza.
- \* Ductilidad alta.

#### **Propiedades físicas:**

- \* Densidades más bajas que los metales y los cerámicos.
- \* Coeficientes de expansión térmica altos.
- \* Temperaturas de fusión muy bajas.
- \* Conductividad térmica baja.
- \* Propiedades de aislamiento eléctrico.

#### **Usos**

Son comercialmente los productos de los polímeros de mayor difusión.

<sup>19</sup> Guillermo Aguilar Sahagún, *El hombre y los materiales*, pág. 71

**Acetales:** (polioximetileno), Tiene alta rigidez, resistencia, tenacidad y resistencia al desgaste. Por eso reemplaza algunas veces al latón y al zinc, en elementos para manijas de carros, cajas de bombas, artefactos de ferretería, etc.

**Acrílicos:** Son derivados del ácido acrílico. El termoplástico de este grupo más conocido es el polimetilmetacrilato, conocido como Plexiglass. Posee excelente transparencia que lo hace competitivo con el vidrio en aplicaciones ópticas. Es usado para luces traseras de los autos, ventanas de avión, entre otros.

Encontramos también el poliestireno, poliésteres, policarbonato, polietileno, polipropileno, cloruro de polivinilo (PVC).

## **Polímeros termofijos**

No toleran los ciclos repetitivos de calentamiento y enfriamiento como lo hacen los termoplásticos. Si este polímero termofijo se recaliente se degrada por pirólisis pero no se ablanda. Esto se debe a su estructura tridimensional de alto encadenamiento transversal.

### Propiedades

- \* Son más rígidos que los termoplásticos y su módulo de elasticidad es 2 ó 3 veces más grande que el de ellos.
  - \* No poseen buena ductilidad, por lo cual se convierten en materiales frágiles.
  - \* Son menos solubles en los solventes comunes que los termoplásticos.
  - \* Son capaces de funcionar a temperaturas más altas.
- No pueden ser refundidos.

### Usos

Los polímeros termofijos no se usan con la misma intensidad que los termoplásticos, debido a su complejidad en el proceso de curación. Los más utilizados de este grupo son las resinas fenólicas.

Aminoresinas (Se usa en maderas enchapadas y adhesivos para aglomerados), Epóxicos (Recubrimientos superficiales, pisos industriales,

compuestos reforzados con fibra de vidrio y adhesivos, encapsulado de transistores y en laminación de tarjetas para circuitos impresos), fenólicos (adhesivos para maderas contrachapadas, tarjetas para circuitos impresos, contratapas), poliésteres, poliuretanos, silicones.

## **Elastómeros**

Son los que corresponden a los hules. Exhiben una gran posibilidad de estiramiento, pueden alargarse algunos elastómeros hasta 500% su tamaño original, pero recupera nueva mente su forma original. El caso más común de los elastómeros es el Hule, el cual se encuentra en estado natural y sintético.

### Propiedades

El estado natural de las cadenas de moléculas en los elastómeros, son retorcidas, encadenadas transversalmente y amorfas; pero cuando se somete a estiramiento, se desenreda, experimentando mayor esfuerzo, en donde los enlaces covalentes se vuelven importantes en el módulo de elasticidad, por lo que la rigidez aumenta.

### Hule Natural

Su composición fundamental es el poliisopreno. Se deriva del látex, el cual es una sustancia lechosa producida por varias plantas, siendo la más importante el árbol del Hule.

Es pegajoso en clima cálido y duro en clima frío. Para que tenga propiedades adecuadas en todo tipo de clima debe ser vulcanizado, en donde se mezclan pequeñas cantidades de azufre y otros productos químicos con el hule crudo y se calientan. Este proceso promueve el encadenamiento transversal de las moléculas, provocando mayor resistencia y dureza sin perder su extensibilidad.

Posteriormente de haberse ejecutado el proceso de la vulcanización, el Hule adquiere propiedades superiores, como resistencia a la tensión, al desgarramiento, al desgaste y fatiga, al igual que resiliencia, que es la capacidad de recobrar su forma después de haber sido sometido a deformaciones.

El mercado más grande del Hule natural es el de las llantas para vehículos automotores. También se elaboran en este material suelas de zapatos, forros, sellos y componentes para la absorción de impactos.

### Hule sintético

La materia prima predominante para la fabricación de estos hules y de otros polímeros es el petróleo. Se utiliza más que el Hule natural, para la elaboración de productos comerciales.

Hay varios de este tipo de Hules:

Hule bitadieno (Importante para la producción de llantas), Hule bitílico (cámaras para llantas, forros de llantas sin cámara y artículos deportivos), Hule cloropreno (ó Neopreno, mangueras para combustibles, transportadores de vanda y empaques), poliuretano, Hule isopreno, silicones, etc.

## 2.3.4 MATERIALES COMPUESTOS

### Definición

“Un material compuesto es un sistema de materiales formado por dos o más fases físicas distintas, cuya combinación produce propiedades conjuntas que son diferentes a las de sus constituyentes”<sup>20</sup> y cabe agregar que superiores.

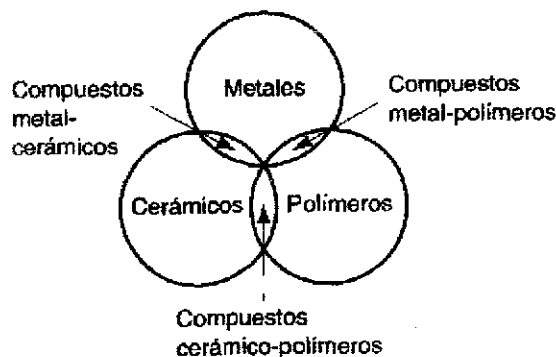


Diagrama de Venn mostrando los tres tipos básicos de materiales y los materiales compuestos. Tomado de Fundamentos de manufactura moderna, Mikel P. Groover, p. 10.

Según Derek Hull en su libro materiales compuestos, hay tres puntos que hay que tener en cuenta en la definición de material compuesto:

1. Consta de dos o más materiales físicamente diferentes que se pueden separar mecánicamente.
2. Puede controlarse la dispersión de la mezcla de los diferentes materiales para obtener propiedades óptimas.
3. Las propiedades son superiores y en algunos casos únicas, que las propiedades de los componentes por separado. Este último punto es el principal impulsor del desarrollo de los materiales compuestos.

### Propiedades

- \* Se pueden obtener resistencias mayores que las del acero, con menor peso.
- \* Tienen mejor resistencia a la fatiga que los metales.
- \* Se pueden diseñar de tal manera que no se oxiden.

### Clasificación por el tipo de sus componentes:

**Materiales compuestos naturales:** En este grupo encontramos a materiales como la madera, el bambú<sup>21</sup>, los huesos.

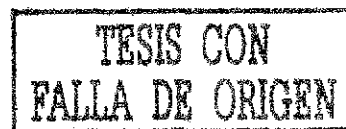
**Materiales Microcompuestos:** como ejemplo encontramos a los termoplásticos reforzados.

Se encuentran varios tipos de materiales microcompuestos:

1. Fibras continuas en matriz orientadas o en distribución aleatoria.
2. Fibras cortas en matriz orientadas en disposición aleatoria.
3. Particulado: Macropartículas esféricas planas, elipsoidales, irregulares, huecas o macizas en matriz.
4. Dispersión reforzada con tamaños de partículas menores a 10-8 m
5. Estructuras laminares
6. Esqueletos o redes interpenetrantes
7. Multicomponentes, fibras, partículas, etc.

<sup>21</sup> El bambú se conoce como la fibra de vidrio de la naturaleza. Materiales compuestos, Derek Hull.

<sup>20</sup> Fundamentos de manufactura moderna, pág. 220.



**Macrocomposites:** Acero galvanizado, vigas de hormigón armado, esquis, etc.

El **acero galvanizado** es un acero recubierto con una capa de cinc, de esta forma se combinan las propiedades de resistencia a la corrosión con el cinc, y la resistencia del acero.

**Vigas de hormigón armado:** En este caso se combinan la buena resistencia del hormigón a la compresión y la buena resistencia del acero a la tracción.

### Composición de los Materiales compuestos

Está conformado por las siguientes partes:

**La fase primaria** forma la matriz y en ella se incorpora la segunda fase (refuerzo). Debe existir una fuerte adhesión en las interfases.

La fase primaria puede ser metálica, cerámica o polimérica, y la secundaria puede ser de cualquiera de estos materiales, o de Boro o Carbono.

**La fase de la matriz:** Tiene varias funciones: Suministrar la forma, mantener en su lugar la fase secundaria, el esfuerzo lo comparte con la fase secundaria.

**La fase de refuerzo:** Como su nombre lo indica, se encarga de reforzar a la matriz. Las fases más comúnmente utilizadas son fibras, partículas y hojuelas.

**La interfase:** Siempre hay una interfase entre las fases constituyentes de un material compuesto. Se puede considerar como un adhesivo.

### Clasificación de los Materiales compuestos según su matriz:

Los materiales compuestos existen incluso en la naturaleza, como ejemplo de ello es la madera. Pero los de mayor interés, por las propiedades mismas que ellos encierran son los compuestos sintéticos.

Estos materiales compuestos se pueden clasificar en metálicos, cerámicos y poliméricos, dependiendo del refuerzo y de la matriz del material utilizado.

### Compuestos de Matriz Metálica (CMM)

Están conformados por una matriz metálica reforzada por partículas de cerámica, metales, carbono o boro. Entre los compuestos de matriz metálica hay cerments y reforzados con fibras.

**Cerment:** "Es un material compuesto en el cual un cerámico está contenido en una matriz metálica. El cerámico domina la mezcla, algunas veces puede alcanzar hasta el 96% del volumen."<sup>22</sup>

Compuestos de matriz reforzados con fibras: Combinan la alta resistencia a la tensión y el módulo de elasticidad de una fibra con metales de baja densidad, dando como resultado buenas relaciones de resistencia y módulo de elasticidad al peso en el material compuesto resultante.<sup>23</sup>

### Compuestos de Matriz Cerámica

En la parte correspondiente a las cerámicas, se comentaron sus propiedades y debilidades. El interés de los compuestos de matriz de cerámica, es precisamente usar las bondades del material, dejando de lado sus problemas.

La Matriz es de material cerámico y los que se usan para esto son: Alúmina, carburo de boro, nitruro de boro, carburo de silicio, nitruro de silicio, carburo de titanio y varios tipos de vidrios.<sup>24</sup>

En la fase secundaria se utilizan refuerzos de fibra corta y larga.

Como ejemplo de este compuesto tenemos el CEMENTO,

### Compuestos de Matriz Polimérica

La fase primaria es de polímero y las secundarias de fibra, partículas u hojuelas.

Son los de mayor importancia comercial, en ellos están la mayoría de los compuestos para moldeo de plásticos, el hule reforzado con negro de humo y los polímeros reforzados con fibras.

<sup>22</sup> Fundamentos de manufactura moderna pág. 231

<sup>23</sup> Fundamentos de manufactura moderna pág. 233

<sup>24</sup> Fundamentos de manufactura moderna pág. 233

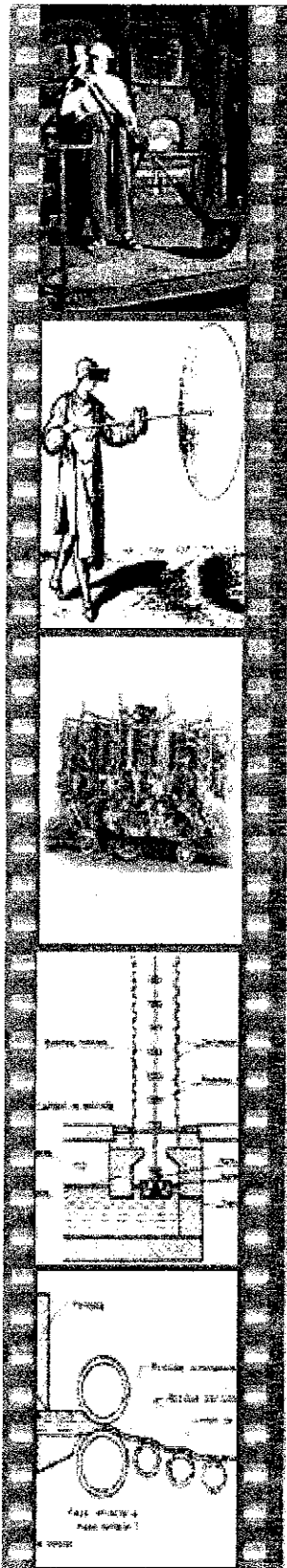
En este grupo encontramos la madera que es un material compuesto natural y el asfalto.

Como se mencionó anteriormente, la importancia actual de los compuestos se deriva de que sus propiedades son superiores a las de sus constituyentes. "La actual generación de materiales compuestos ha producido algunos de los más ligeros, fuertes, rígidos, resistentes a la corrosión, disponibles para la comunidad" <sup>25</sup>

Diferentes industrias han aprovechado sus ventajas, como la aeroespacial, que usa fibras cerámicas, fibras de vidrio de alta resistencia, fibras de grafito o de carbón. La automotriz, que se prevé que en el futuro usarán la mayor parte de la producción de compuestos de matriz polimérica. La industria del deporte, de la medicina usada para órganos artificiales, implantes, entre otros.

Estas ventajas se empiezan a considerar cuando se tiene en cuenta que el módulo de elasticidad por unidad de peso (módulo específico) y la resistencia específica, es decir la resistencia por unidad de peso. Este factor es de gran importancia, y genera grandes expectativas en la industria de piezas móviles, como se comentó anteriormente, ya que la reducción de peso da como resultado un mayor rendimiento y ahorro de energía.

<sup>25</sup> *Fundamentos de manufactura moderna* pág. 234



## capítulo 3

# El vidrio

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*"Las virtudes prácticas y estéticas del vidrio compensan a los ojos de los hombres, su fragilidad. Su brillo y su transparencia seducen a la mirada y se prestan al juego de la luz"*

Gateau  
*"El vidrio", (1976)*

En este capítulo se profundizará en un material en específico como es el vidrio, adentrándonos desde sus antecedentes con el fin de entender la evolución de los mismos, para posteriormente tratar las materias primas, procesos de fabricación, tipos de vidrios, propiedades, etc.



## 3.1 Una mirada a través del vidrio: Antecedentes

El vidrio se ha usado desde épocas muy antiguas, los primeros trabajos se realizaron en vidrio natural tallado, como la obsidiana la cual es una roca ígnea que se encuentra en zonas volcánicas y que han sufrido en su proceso de formación un brusco enfriamiento haciendo de ella, un ejemplo natural de vidrio templado.

El descubrimiento de la elaboración del vidrio ha tenido diferentes teorías; La más recurrente es la aparición casual de este material, bien sea como subproducto del proceso de fundición de metales, en dónde aparecían escorias vítreas de color, o como aparición de pequeños trozos de vidrio mientras unos hombres calentaban su comida cerca a un río. A ésta última versión, de los autores que he seleccionado, hacen referencia: Gateau, el cual habla de la imposibilidad de la formación de vidrio al aire libre por la temperatura que se alcanza; Tessy López y Ana Martínez las cuales hacen simplemente una referencia a este hecho, y José María Fernández, quien expone más ampliamente este suceso documentándolo con un fragmento del libro "Naturalis Historia"<sup>1</sup> del historiador Cayo Plinio Segundo (23-79 d.C.):

*"En una parte de Siria, limítrofe de Judea, que lleva el nombre de Fenicia, existe al pie de Monte Carmelo un pantano llamado Candebaa del que se supone que nace el río Belus, el cual, después de recorrer unos siete kilómetros, desemboca en el mar cerca de la colonia de Ptolomeida. Este río es lento; sus aguas son turbias y no potables, aunque se consideran sagradas. El río es profundo y cenagoso y sus arenas sólo quedan al descubierto cuando baja la marea. Después de ser agitadas y lavadas por olas, las arenas aparecen blancas y brillantes. Sólo después de sometidas a la acción del agua del mar resultan aptas para su utilización. Esta zona de la costa tiene una longitud no superior a unos quinientos pasos, y sin embargo, ha permitido desde hace*

*muchos siglos atender a la fabricación del vidrio.*

*Se cuenta que habiendo arribado un barco de unos mercaderes que transportaban trona, estos desembarcaron en esas orillas y fueron a preparar su comida. Al no encontrar piedras sobre las que apoyar sus marmitas para calentarlas, tomaron gruesos pedazos de mercancía. Cuando la trona fundió y se mezcló con la arena de la playa, comenzó a correr un líquido transparente, hasta entonces desconocido que fue el origen del vidrio"<sup>2</sup>*

Este último autor analiza las diferentes críticas dirigidas a esta teoría de una manera más amplia, refutando la tesis de algunos autores, como el caso que se acaba de mencionar de Gateau, que afirman que en lugares abiertos no es posible alcanzar temperaturas que hagan reaccionar la sílice con el carbonato sódico propiciando la formación del vidrio, ya que según demostraciones experimentales sustentadas en el libro que referencia Window glass in the making del autor Monroe, W.L., se pueden alcanzar temperaturas de 1200°C en espacios abiertos, ya que para que estos tipos de vidrio logren su punto de fusión requieren de 793°C. Lo que podría tachar de inverosímil esta nota según el mismo autor, es su carácter histórico, si consideramos que los fenicios en las costas de Siria se establecieron en el año 2000 a.C., y los hallazgos de objetos elaborados en vidrio más antiguos, se han encontrado en Egipto que datan del año 2500 a.C aproximadamente.<sup>3</sup>

Por otro lado y yendo más de la mano con los hallazgos encontrados, se puede decir, tal como lo considera Gateau, su invención se atribuye a los fenicios o a los egipcios en la época predinástica, hacia el año 2500 a.C., época en que se desarrollaban una especie de perlas decorativas simulando piedras preciosas, que eran el resultado de la vitrificación del cuarzo, pero la primera pieza hecha totalmente de vidrio se remonta a principios del Nuevo Imperio,

<sup>1</sup> El Autor Gateau, en su libro *El Vidrio*, hace referencia a este mismo libro, de Cayo Plinio Segundo conocido como *Plinio el viejo*, con un título diferente: "Quaestiones Naturales", y agrega que fue escrito en tiempos de Nerón.

<sup>2</sup> Cita tomada del libro: *El Vidrio* de José María Fernández, pág. 5

<sup>3</sup> *El vidrio*, José María Fernández, pág. 5

entre 1551-1527, y es la perla que tiene el cartucho de Amenhotep<sup>4</sup>. Alrededor de esta época, aproximadamente en el año 1500 a.C, se inicia de manera más regular la fabricación del vidrio, época en que aparecen las primeras vasijas huecas<sup>5</sup>, producidas durante el reinado de Tutmosis III (1504-1450 a.C.)<sup>6</sup> XVIII dinastía (corresponde al periodo del 1587-1327 a.C.).

Estas vasijas huecas, se hacían mediante la técnica del núcleo de arena, la cual consistía en un mandril de cobre de forma cónica del diámetro de la boca de la vasija que se iba a hacer, en esta herramienta se moldeaba una pasta de arcilla o arena que se cubría con tela y se amarraba al vástago del mandril, luego las varillas de vidrio previamente elaboradas y en estado plástico iban envolviendo el núcleo, se calentaba para que se suavizaran y se fundieran los contornos de las varillas de vidrio para proceder a la decoración del artículo. Al final de este proceso cuando el mandril de cobre se contraía, se retiraba y se sacaba el núcleo de arena, quedando el producto terminado.<sup>7</sup>

La decadencia de la técnica del núcleo de arena, reemplazada en cierta forma por el moldeado en caliente y tallado en frío trae consigo una reducción considerable en la producción vidriera en Egipto, perdiendo su liderazgo en la fabricación de objetos en este material.

En los siglos siguientes los fenicios asentados en Sidón se fueron consolidando fuertemente como una cultura de grandes aptitudes en los trabajos del vidrio, desarrollando nuevas técnicas en la manufactura de este material, destacándose la caña del soplador, instrumento que logró una importante revolución en este campo en el siglo II a.C. A través de este medio se hicieron la mayoría de los objetos en vidrio hueco, dando mayor libertades al artesano en el diseño al poderse obtener mayores diámetros en la boca de las vasijas<sup>8</sup> y facilidad de manejo de la

<sup>4</sup> El vidrio, J.Ch. Gateau, pág.84

<sup>5</sup> La fabricación de artículos de vidrio Hueco, se realizó con la técnica del Núcleo de Arena.

<sup>6</sup> Martín A. Cagliani, Artículo publicado en internet: webs.senectis.com.ar/mcagliani/cosas

<sup>7</sup> El vidrio, José María Fernández, pág. 8

<sup>8</sup> Las vasijas que se hicieron con el soplado, tuvieron una capacidad 20 veces mayor que las que se hacían con la técnica del núcleo de arena, Gaute, El vidrio, pág. 86

piezas trabajadas; a su vez incrementó la producción ya que el proceso era más rápido y limpio.

La dominación romana y el surgimiento del imperio romano hicieron que todas estas técnicas desarrolladas por los egipcios, fenicios, mesopotámicos, pasaran a ser de su propiedad.

Estos desarrollos aceleraron la industria del vidrio, requiriendo para su constante producción, mayor número de hornos debido a la demanda que existía de este material. Era tal la cantidad de hornos para la manufactura del vidrio que empezó a generar inseguridad para los habitantes romanos por lo cual para el año 220 d.C. las vidrierías se trasladaron a Monte Coeli para evitar incendios en la ciudad; lo mismo ocurrió en Venecia por el año 1291 en el que se decretó el traslado a la isla de Murano, lo que garantizaba a parte de la seguridad, mantener en un mismo lugar a los artesanos obteniendo consigo garantías de que las técnicas, procedimientos y formas desarrolladas iban a quedar en propiedad exclusiva de esta isla, creando un foco de Interés económico.<sup>9</sup>

Además de producir objetos artísticos los romanos incursionan el ámbito de la construcción, con la lógica de que el vidrio plano podría utilizarse, gracias a su transparencia, en las edificaciones. El vidrio plano para ventanas se empezó a trabajar desde el siglo I d.C., para esto utilizaron el sistema de colado, en donde el vidrio fundido se colaba en superficies metálicas, de piedra o de madera y se desprendía posteriormente de esta superficie por medio de una barra; esto lo demuestran algunas piezas de vidrio correspondientes a esta época que tienen la rugosidad en una de sus caras, propia de haberse elaborado sobre una superficie y la marca de la barra con la que se desprendía de la mesa sobre la que se había trabajado.

La composición química de este vidrio desde entonces es muy similar a la que usamos hoy en día:

69%	SiO <sub>2</sub>
17%	Na <sub>2</sub> O
11%	CaO+MgO
3%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> +MnO <sub>2</sub>

<sup>9</sup> El Vidrio, José María Fernández Navarro, p. 14 y 26

Los espesores de estas láminas de vidrio fluctuaban entre los 2 mm y los 15 mm, las más grandes encontradas tienen una dimensión de 100 x 70 cm procedentes de unas termas ubicadas en la ciudad de Pompeya, tal como lo relata José María Fernández Navarro en su libro *El vidrio* (pág. 16), y tenían un color verdoso o azulado, de hecho, por los grandes espesores que usaron según comentan Tessy López y Ana Martínez, perdieron la transparencia que pretendían obtener, por lo cual optaron agregar color, con el fin de hacerlo un objeto decorativo más.

El vidrio plano posteriormente se hizo con la técnica del soplado, y fue incorporándose cada vez con mayor fuerza a la arquitectura, tomando su gran impulso con la Arquitectura Románica y la Arquitectura Gótica.

La decoración en estos vidrios se fue incorporando al lenguaje estético de este arte religioso, gracias a la técnica del vitral. De esta técnica se tienen varios ejemplos entre los que sobresalen los célebres vitrales de la Catedral de Reims, pionera en la utilización de este recurso decorativo.

El vidrio plano se hacía por medio del soplado como se acaba de mencionar, pero existían dos formas de hacerlo:

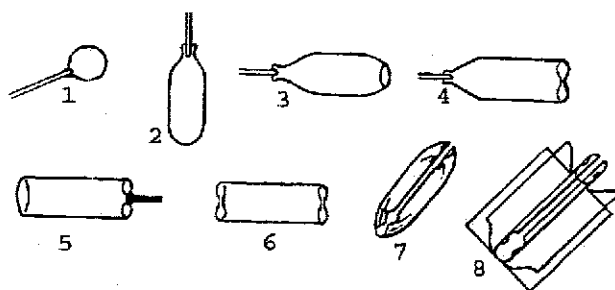
1. Método de soplado por Manchones o cilindros
2. Método de soplado en coronas o en discos (Crown Glass)

#### **Método de soplado por Manchones o Cilindros:**

Fue utilizado por primera vez en Renania y Lorena, y su método se describe ampliamente en el libro escrito por el monje "Teófilo Lombardo en su obra *Diversarum artium Schedula* escrita entre los siglos XII y XIII, cuya segunda parte está íntegramente dedicada al estudio del libro"<sup>10</sup>

La esfera de vidrio era soplado por medio de la caña, posteriormente se balanceaba para alargar la bola de vidrio obteniendo una forma cilíndrica, se corta el fondo del cilindro, y se hace una forma de ocho que sujeta un pontil, luego del otro lado se retira la caña y se corta, se hace el mismo ocho, y se procede a

cortar el vidrio por un costado, para finalmente aplastarlo con una madera.



*Método del soplado en cilindros, Tomado de El Vidrio, José María Fernández, pág. 23*

#### **Método de soplado en coronas o en discos**

Este método es anterior al del soplado en cilindros, según relata José María Fernández, fueron los Sirios los que introdujeron este sistema, alrededor de los siglos III ó IV d.C. Posteriormente se introduce en la edad media a Occidente posiblemente gracias a las cruzadas, y se desarrolla con mayor fuerza en Francia por los normandos<sup>11</sup>.

Estos discos podían obtener hasta 60 cm de diámetro<sup>12</sup>, mientras en oriente se obtenían diámetros de 15 cm de diámetro promedio.

El vidrio se soplaba<sup>13</sup> a través de la caña del soplador haciendo un gran globo de vidrio, luego una vara metálica se prendía al globo de vidrio separándolo de la caña del soplador, luego se sujetaba un pontil del otro extremo y se retiraba la caña, después de recalentar el vidrio se procedía a girarlo rápidamente hasta que se formaba un disco casi plano gracias a la fuerza centrífuga, con muchas ondulaciones y con una protuberancia en el centro, conocido como ojo de buey, además quedaba con gran número de burbujas debido a la velocidad del giro.

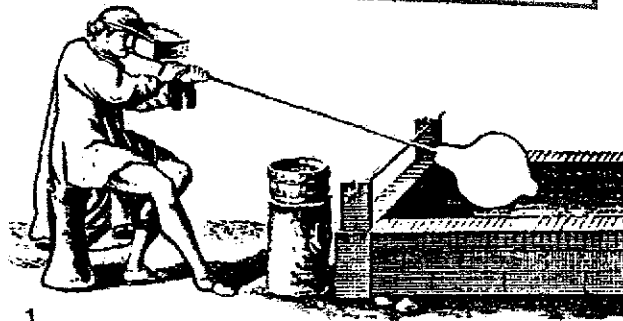
<sup>11</sup> José María Fernández, *El Vidrio*, pág. 23

<sup>12</sup> Tessy Hernández y Ana Martínez, comentan en su libro *el mundo mágico del vidrio*, el máximo diámetro alcanzado había sido 1 m, y que posteriormente se cortaba en láminas.

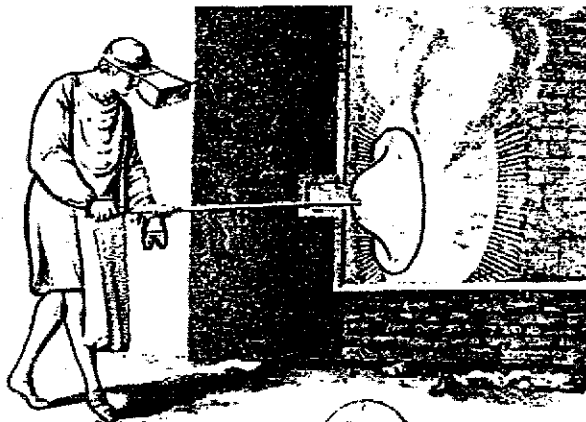
<sup>13</sup> La técnica del vidrio soplado poco a poco se extendió por el resto de Europa, llegando a países del norte donde no se conseguía la planta marina del mediterráneo, de donde se obtenía la sosa, por lo que recurrieron a utilizar la ceniza de la madera, obteniendo de esta manera vidrios con una composición potásico cálcica, y conocidos con el nombre de *Wald Glass*.

<sup>10</sup> Tomado de *El vidrio*, José María Fernández, pág. 22

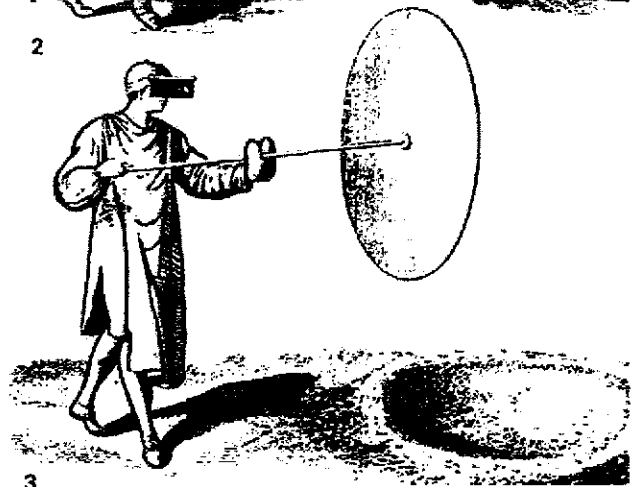
## TESIS CON FALLA DE ORIGEN



1



2



3

Crown glass, Tomado de Manual del vidrio en la construcción, pág 2

El vidrio llega a otra etapa de suprema importancia en su historia, "el vidrio de Venecia" en donde se desarrollaron diferentes objetos con grandes diseños.

Hacia el siglo VII y X, los vidrieros hicieron una

especie de mosaicos decorados que se usaban de revestimiento en paredes y bóvedas de varias ciudades italianas.

Aproximadamente hacia el siglo XI de nuestra era, inicia el ascenso a la cúspide de la exaltación artística que dura aproximadamente 6 siglos. En Venecia se conjugan diferentes formas de expresión a través del vidrio, al enriquecerse con aportaciones de diferentes culturas debido a las cruzadas, obteniendo tanto materias primas como mano de obra de otros lugares Orientales, y por la migración de bizantinos.

Otro de los aportes de los venecianos a la industria vidriera fue la fabricación de espejos. Estos vidrios se hicieron por medio de dos métodos diferentes: Sobre láminas de vidrio, esparcían plomo fundido (Principios del siglo XIV), y posteriormente se desarrolla el método de recubrir la lámina de vidrio con una amalgama de estaño (año 1503).<sup>14</sup>

El surgimiento del vidrio de Bohemia, en el siglo XIV, empezó a competir significativamente con el vidrio veneciano, el cual encuentra rival nuevamente con el vidrio al plomo que se desarrolla en el siglo XVII.

En el siglo XVII, en 1612, Antonio Neri publica su libro *De arte vitraria* en donde reúne los conocimientos que hasta ese entonces se tenía del vidrio, fue de tal importancia en la historia del vidrio que se publicó en 21 idiomas. A partir de este siglo presentan un crecimiento significativo la industria del vidrio, resultando diferentes fábricas las cuales se desarrollan incluso en América, creándose la primera fábrica en Virginia en el año de 1609 y posteriormente en otros estados.

El siglo XVII vio no sólo crecer la industria vidriera sino mejorar su tecnología utilizando carbón como combustible por órdenes de la reina Isabel en Inglaterra, para evitar la utilización de madera en este campo. El cambio de material permitió obtener mayores temperaturas en los hornos, y consigo mejoramiento de la calidad del producto final.

En el año 1675 el químico inglés George Ravenscroft<sup>15</sup> fabricó por primera vez el vidrio al

<sup>14</sup> José María Fernández, *El Vidrio*, pág. 28

<sup>15</sup> Ver Anexos, *Biografías*

plomo<sup>16</sup> tras el empeño de superar el cristal veneciano que se producía en Murano. El vidrio al plomo puede ser tallado más fácilmente, tiene mayor brillo, y sonoridad, y sobre todo mayor belleza. Este vidrio se conoce como vidrio cristal inglés, y empezó a apoderarse del mercado paulatinamente, dejando no sólo al vidrio de Venecia como se comenta unos párrafos anteriores, sino también al vidrio de Bohemia desplazados.

En 1687 un italiano que residía en Orleáns desarrolló un sistema de elaboración de vidrio plano a través del colado del vidrio fundido en una superficie metálica y posteriormente se procedía a su laminación, método que posteriormente fue mejorado por Lucas de Nehou, quién sometió la masa de vidrio inmediatamente se colaba a laminación en un rodillo metálico, procedimiento que sentó los cimientos de la tecnología de laminación actual. Este proceso requería de un desbaste y pulido posterior, lo que resultaba costoso, lo cual se reduce una vez que se introduce el sistema de pulido mecánico utilizado por primera vez en el año de 1775 en la fábrica de San Idelfonso<sup>17</sup>.

"Otro factor que influyó apreciablemente en el mejoramiento de la calidad del vidrio, desde el punto de vista de su composición química, fue la disponibilidad de carbonato sódico puro a partir de finales del siglo XVIII en que empezó a explotarse industrialmente el método Leblanc, consistente en tratar la sal común con ácido sulfúrico, reducir después con carbón el sulfato sódico formado, a sulfuro sódico y por último, tratar éste con carbonato cálcico para pasarle a carbonato sódico"<sup>18</sup>

Las investigaciones científicas para estudiar los efectos de numerosos elementos químicos en las propiedades de los vidrios, fueron constantes, Otto

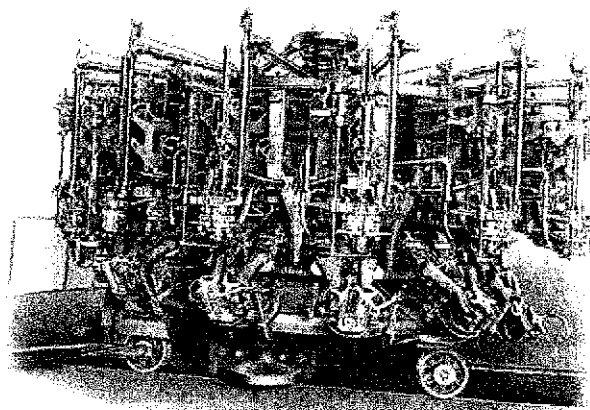
<sup>16</sup> Ravenscroft estaba trabajando en este material desde 1672, pero la innovación no dio resultados en un principio puesto que las mezclas iniciales tenían una dosificación inadecuada produciendo que los vidrios al plomo se agrietaran; dos años después, tras varios intentos en la modificación de la fórmula, logra perfeccionarla. Poco a poco fue aumentando la cantidad de plomo y purificando este metal con Bióxido de manganeso, logrando obtener un metal más transparente y pesado. Este vidrio fue patentado como "Flint-glass"

<sup>17</sup> El vidrio, José María Fernández, pág. 40

<sup>18</sup> El vidrio, José María Fernández, pág. 42

Schott y Ernst Abbe<sup>19</sup> hicieron investigaciones importantes en las propiedades térmicas y ópticas de los vidrios. Otro gran invento que contribuyó en la producción en masa de los vidrios, facilitando la producción continua de grandes cantidades de vidrio fundido fue el Horno Balsa desarrollado por Friedrich Siemens.<sup>20</sup>

A finales del siglo XIX se inventó la máquina automática sopladora de botellas, gracias a los esfuerzos del Ingeniero estadounidense Michael Owens<sup>21</sup> empleado de "Libbey Glass Co." En 1899 se obtuvo la primera patente de esta máquina para la producción automática de botellas de vidrio, las cuales eran sopladas a mano antes de esto. 4 años más tarde, la nueva máquina estaba en operación. Fue operada por primera vez por su inventor Michael Owens. En pocos años, la producción de vidrio se incrementó de 1500 botellas al día, a 57000 botellas diarias.<sup>22</sup>



Maquina Automática Sopladora de Botellas, Foto de 1900  
<http://www.library.toledo.oh.us/history/glassmakerm.jpg>

El siglo XIX fue por los movimientos sociales, políticos y económicos, una marca para la humanidad. En él se desarrollaron máquinas que ofrecían producción de artículos en serie, a bajos costos y con buena

<sup>19</sup> Ver anexos biografías

<sup>20</sup> Ver anexos biografías

<sup>21</sup> Ver anexos biografías

<sup>22</sup> <http://www.usfirehouse.com/SodaHistory.htm>

calidad, brindándole la posibilidad a mayor número de personas, tener acceso a productos de vidrio que eran artículo de lujo<sup>23</sup> en épocas anteriores.

En un principio esta producción mecanizada desencadena un hastío entre un grupo de usuarios de los productos, acostumbrados a ver cada pieza como una obra única e irrepetible. La producción en serie, fue motivo para algunas personas, de disgusto ya que la exclusividad de las piezas se perdía. Ante esto, el movimiento conocido como las Arts and Crafts reacciona en contra de la producción en serie, ya que su interés primordial es realzar las artes decorativas, dándole énfasis a la producción artesanal y no a la industrial. Aunque es una corriente que atrajo gran número de adeptos, no se dejó de lado la producción en masa, antes por el contrario se avanzó y se avanza cada vez más en los desarrollos tecnológicos con el fin de industrializar progresivamente la producción. Por el contrario a esta corriente, Henry Cole fue promotor de la integración entre el arte y la industria, creyendo firmemente en la aplicación del trabajo artístico a la producción industrial.

En el siglo XIX se desarrolla ampliamente el campo de las cubiertas de hierro y cristal, encontramos ejemplos en diferentes galerías públicas decimonónicas, invernaderos botánicos, cuyo prototipo se realizó en 1833 por Rouhault; el jardín d'Hiver en los Campos Elíseos, el cual se realizó en 1847 como propuesta de fusión de un gran invernadero con una galería superior, también en los mercados cubiertos como el Madeleine de París de 1824, el mercado de Hungerford construido en Londres en 1835, y por su puesto en las grandes exposiciones de las cuales la obra más representativa es el Palacio de Cristal.

En 1851, Joseph Paxton construye el Palacio de Cristal<sup>24</sup>, edificio que albergó la primera exposición universal en Londres en el Hyde Park, y que "sim-

<sup>23</sup> El vidrio era mucho menos común de lo que es hoy en día para nosotros, era considerado como un artículo precioso y más en la antigüedad, tanto que en la Biblia era comparado con el oro (Job 28:17) Tomado de <http://www.kinsalecrystal.ie/history.htm> Job 28:17 ". No se comparan con ella ni el oro ni el cristal, ni se la cambia por un vaso de oro puro. Corales y cristales ni se nombran..."

<sup>24</sup> La revista humorística Punch, llama en tono de burla "Crystal Palace" a este edificio, y con ese nombre se quedó. Tomado de El arte de construir, Pág. 22

boliza exactamente la historicidad de su tiempo: la revolución industrial, las condiciones socioeconómicas de la Inglaterra victoriana y la confianza en las magníficas realizaciones y progresos de la humanidad, típica del mundo decimonónico<sup>25</sup>. Este proyecto tenía en planta 1851 pies de longitud que simbolizaba el año en que se realizó la exposición, se usaron elementos modulares, desmontables y recuperables marcando el éxito de esta propuesta.

El Palacio de Cristal utilizó 300.000 hojas estandarizadas de vidrio, de hoja mejorada de cilindro (*Improved cylinder Method*<sup>26</sup>) introducida en 1834 por Robert Lucas Chance<sup>27</sup>, su linealidad se rompe con una cubierta curvilínea, la cual era una gran bóveda de cañón, que tenía un marco de madera y hierro con láminas de vidrio de una longitud de 1.20 mts aproximadamente, que en ese tiempo se producían normalmente.

La producción del vidrio cambia drásticamente con la revolución industrial, prácticamente después del palacio de cristal se forman escuelas que se encargan de copiar los modelos clásicos de manera masiva e industrializada. De esta forma los diferentes diseños se hacen más accesibles para todo tipo de gente, sin detrimento de la calidad.

La introducción del Proceso de cilindro estirado (*Drawn Cylinder Process*<sup>28</sup>) proceso completamente mecánico se dio en el año de 1903, gracias a John Lubbers y Sievert, de Estados Unidos y Alemania respectivamente, quienes desarrollaron una máquina capaz de soplar y estirar cilindros de aproximadamente 12.2 m (40 pies) de largo y 76 cms (30 pulgadas) de diámetro; cada cilindro usaba aproximadamente 45 kg de vidrio.

Este sistema consistía en una torre con un tubo

<sup>25</sup> Renato de Fusco, Historia de la Arquitectura Contemporánea, Pág. 64.

<sup>26</sup> Este método utilizaba un tubo de hierro sumergido en una vasija de vidrio fundido, a través de la cual se soplabo y luego se pasaba a intervalos sobre una piedra plana y pulida, se dejaba enfriar y luego era cortada con un diamante; Luego se recalentaba en un horno especial y se aplanaba en una pieza de vidrio pulido.

Con este método se podían obtener láminas de vidrio de 1219 mm por 914 mm <http://primaryglass.org/papers/history.html>

<sup>27</sup> <http://www.londoncrownnglass.co.uk/History.html>

<sup>28</sup> <http://primaryglass.org/papers/history.html>

telescópico que contenía una caña de soplado con una gran boca, y en la parte inferior un crisol donde se introducía esta caña y por medio de aire a presión que se le inyectaba a la caña, proceso por medio del cual se extraía el vidrio. Ya con la dimensión deseada se separaban los cilindros de las cañas y luego se estiraban. Se convirtió en el primer procedimiento de fabricación mecánica semicontinua entre 1910 y 1931.

En 1905 se dio una innovación totalmente revolucionaria en la producción de vidrio plano, cuando un Ingeniero Belga llamado Fourcault desarrolló un sistema de producción continua vertical de hoja de vidrio con un espesor uniforme, conocido como método de Fourcault. Posteriormente, otro ingeniero Belga, Emil Bicheroux<sup>29</sup> desarrolla un método que lleva su mismo nombre, para la obtención de vidrio plano, los cuales detallaremos más adelante.

En la década de los cincuenta Alistair Pilkington<sup>30</sup>, de la Pilkington Glass Co, desarrolló el procedimiento del vidrio Flotado, y su introducción comercial se dio en Estados Unidos en 1959. Este es el método que más se utiliza actualmente a nivel mundial<sup>31</sup> para la producción de vidrio plano, ya que no se requiere de pulido posterior, y se obtiene un vidrio con menos imperfecciones. Su nombre se debe a que una masa continua de vidrio que viene de los hornos de fusión, flota sobre una superficie de metal fundido, que por lo general es estaño, la cual da una superficie pareja y sin deformaciones.

En 1910, el químico Francés *Edouard Benedictus*<sup>32</sup> patentó el vidrio "Triplex", tras haber descubierto el vidrio laminado por accidente en 1909, al dejar caer una botella con nitrocelulosa mientras organizaba su laboratorio, la cual, en lugar de quebrarse y salir

esparcidos los pedazos de vidrio, la botella se agrietó sin quebrarse siguiendo todas las piezas del vidrio unidas. Este descubrimiento aunado con los riesgos en casos de accidentes, de los cuales era conciente Benedictus, marcó los inicios de los vidrios transformados a partir de laminación, los cuales se usan en gran medida en la industria automotriz y de la construcción.

Los vidrios Laminados han evolucionado constantemente desde su invención, se ha introducido en diferentes países y sobre todo en diversos campos.

A continuación veremos una tabla de la evolución de este tipo de vidrios, tomada del material de capacitación técnica de la empresa Saint Gobain México, del área: gerencia técnica comercial:

<u>1938</u>	DuPont lanza la capa intermedia Butacite PVB para parabrisas de automóviles. Se inaugura la primera planta de este material en Arlington, Nueva Jersey.
<u>1939</u>	El instituto Franklin de Estados Unidos concede su premio anual a DuPont y al consorcio que desarrolló el concepto de PVB para parabrisas.
<u>1958</u>	Inauguración de la planta de Butacite de Parkersburg, West Virginia, Estados Unidos.
<u>1966</u>	DuPont y el sector del vidrio, anuncian un parabrisas de alta resistencia a la penetración (HPR)- Se comercializa el primer parabrisas HPR en el Ford Mustang.
<u>1972</u>	Se inaugura la planta de Butacite en Fayetteville, en Estados Unidos.
<u>1978</u>	El "US Consumer Protection Safety Commission" de EEUU, legisla el uso de vidrio laminado en los edificios comerciales. Se inaugura el primer laboratorio de servicio técnico europeo de Butacite en Ginebra.

<sup>29</sup> Ver anexos, Biografías

<sup>30</sup> Alistair Pilkington era jefe de producción de la firma Pilkington Brothers, estuvo trabajando por mucho tiempo para evitar la distorsión del vidrio. Una noche en 1952 estaba lavando platos en su casa, y "soñó despierto" una barra de jabón flotando sobre el agua grasosa; y se imaginó el vidrio flotando como una barra de jabón e inmediatamente tuvo la idea que revolucionó la industria del vidrio.

<sup>31</sup> En México se utiliza el método de vidrio flotado para la producción de vidrio plano. En Cuautla México, está la planta de Saint Gobain que utiliza dicho procedimiento.

<sup>32</sup> Ver Anexos, Biografías

- 1981** Presentación del EI-140, que incorpora un plastificante de menor volatilidad.
- 1983** La unión Europea publica "El vidrio en la construcción" (CEN/TC 129) una referencia en toda Europa para el empleo de vidrio de seguridad en la construcción.
- 1985** Se presenta Spallshield multicapas para vidrio anti-fragmentos en los medios de transporte-DuPont, General Motors y Libbey Owens Ford (LOF), anuncian las capas anti-laceraciones para parabrisas más seguros.
- 1986** Primer parabrisas anti-laceración comercial en el cadillac Seville.
- 1988** DuPont introduce las capas intermedias de contorno adaptable Butaform para proveedores de la industria del Automóvil.
- 1989** La planta DuPont en Fayetteville empieza a producir Butacite de 321 cm de ancho para vidrios arquitectónicos de gran tamaño.
- 1991** Inauguración de la primera planta europea de Butacite en Uentrop, Alemania. Se presenta SentyGlass multicapas para vidrio antifrags en aplicaciones arquitectónicas.
- 1992** Primera edición de los premios anuales DuPont Benedictus. Se abre la primera planta de Butacite de Asia en Ulsan, Corea del Sur.
- 1993** Dade, primer condado en promulgar reglamentos sobre medidas antihuracanes en la construcción. SentryGlass destaca en cuanto al cumplimiento de las nuevas normas.
- 1994** Lanzamiento de DuPont Butacite Laminated Glass News.

- 1996** Presentación de Butacite 180SL, el primer producto PVB desarrollado específicamente para una gran estabilidad de las lunas de los automóviles.
- 1997** Primera comercialización de Butacite 180SL en un modelo especial de Fiat. DuPont da a conocer una capa intermedia de PVB Wedged patendata para la fabricación de indicadores Head Up para la automoción.
- 1998** DuPont presenta Butacite B-321, un nuevo grado de capa intermedia de PVB para optimizar las gamas de vidrios de gran tamaño para la construcción. Se presenta Butacite BX-1120 con mayor resistencia a la deslaminación. Se lanza SentryGass Plus, una capa intermedia ionoplástica totalmente nueva de mayor robustez, dureza y resistencia a los impactos para las nuevas y exigentes aplicaciones de al arquitectura y de la automatización.

Gracias a estos avances, la construcción ha visto vestir de vidrio sus fachadas, adoptándose en la arquitectura moderna como uno de sus principales símbolos. Con el vidrio se puede lograr una transparencia en los edificios, y dejar en manifiesto la estructura misma del edificio, lograr cerramiento, protección de diferentes factores atmosféricos y a su vez visibilidad dando una relación más estrecha entre el interior y el exterior. Con el vidrio se pueden lograr diferentes acabados dependiendo de las necesidades del proyecto, puede ser opaco, transparente, de colores, e incluso puede tener diferentes niveles de resistencia, etc.; hay vidrios diseñados para cada una de estas necesidades específicas.

Debido a su uso en múltiples aplicaciones y a su incremento en las expresiones arquitectónicas actuales<sup>33</sup> el vidrio es foco de investigaciones y centro de atención del mundo científico en general.

<sup>33</sup> *La industria del vidrio crece un 5% anual, y el campo de aplicación principal es la construcción y la industria automotriz. Se espera que para el año 2003 se produzcan en el mundo 37 millones de toneladas de vidrio. Tomado de Pilkington. Growing in a growth industry. Como referencia en la planta de Saint Gobain México en Cuautla, se producen 650 ton. Diarias, las 24 horas del día de manera continua.*



## 3.2 Definición y estructura de los vidrios

### 3.2.1 DEFINICION DEL VIDRIO

Su nombre describe un estado de la materia, cuya estructura es amorfa, es decir que no tiene la estructura cristalina de los materiales sólidos. Esto lo hace un poco complejo, ya que su rigidez en su estado físico permite asociarlos con los materiales sólidos y su estructura no, teniendo cierta semejanza con los líquidos en este aspecto. Uno de los primeros teóricos del vidrio, Tamman, tal como lo comenta José María Fernández, lo denomina como líquido subenfriado, tratando de abarcar esta dualidad propia del material.

La diferencia entre los sólidos cristalinos y los vidrios radica en su estructura, tal como se menciona en el segundo capítulo, donde se describe más detalladamente el concepto de estructura cristalina. En los primeros, los iones, átomos o moléculas se concentran geoméricamente y con una organización simétrica muy precisa, de forma que la ubicación de cada una de las unidades es siempre la misma, así como la distancia que guardan entre ellas. En los vidrios estas características no se presentan, por el contrario, su estructura es irregular.

“En una red cristalina o en un retículo vítreo cada ion positivo se rodea de un determinado número de aniones formando un conjunto al que se denomina poliedro de coordinación. El número de aniones que se disponen alrededor del catión central recibe el nombre de índice u orden de coordinación”.<sup>34</sup>

Para que se pueda presentar una estructura estable deben agruparse de manera compacta los iones. Cuando se trata de óxidos, los iones de oxígeno que son muy grandes, se acomodan alrededor de los cationes.

Los cationes más comunes en la formación de las estructuras vítreas son los de silicio, fósforo, ambos

con una coordinación tetraédrica y el boro con una coordinación triangular. Estas dos formas de coordinación son las más frecuentes en la estructura de los vidrios.

Como ejemplo en el caso del  $\text{SiO}_4$  la estructura tetraédrica le da mucha estabilidad por el acoplamiento Geométrico de esta coordinación, al igual que por su comportamiento electrostático debido a que la cuádruple carga positiva del silicio se neutraliza con las 4 cargas negativas de los oxígenos que la circundan.<sup>35</sup>

Estos grupos tetraédricos pueden expandirse formando cadenas lineales, anillos, redes laminares y redes tridimensionales.

### 3.2.2 ESTRUCTURA DE LOS VIDRIOS

La estructura de los materiales, entendida como el orden que guardan entre sí los elementos que los conforman, condiciona el comportamiento de los mismos.

En el caso de los vidrios es más difícil el estudio de su estructura por la diversidad de tipos de vidrio y la complejidad de su composición, por lo que no se define un modelo estructural único.

La estructura del vidrio se ha estudiado desde diversos puntos de vista: Según su modelo estructural (tipo Geométrico), según sus niveles energéticos (Tipo y fuerza de enlaces), y por sus estudios cinéticos.

En cuanto a su modelo estructural, tal como lo expone José María Fernández, una de las teorías más difundidas es la del retículo al azar, propuesta por Zachariasen, quién plantea que la diferencia entre el estado cristalino y el vítreo, no está “en la

<sup>34</sup> Tomado de José María Fernández, *El vidrio*, Pág. 58

<sup>35</sup> Tomado de José María Fernández, *El vidrio*, Pág. 63

forma de sus unidades poliédricas sino en su orientación relativa<sup>36</sup> Estos poliedros están dispuestos de manera irregular, lo que produce una distribución irregular de la energía reticular. Esto causa que los vidrios no tengan un punto de fusión definido, y que los rangos de temperatura sean muy variados.

Zachariasen<sup>37</sup> propuso por primera vez los conceptos básicos de la idea moderna del vidrio en 1932. En su trabajo Zachariasen propuso de manera teórica que los óxidos del tipo  $AnOm$  podrían formar vidrios siempre y cuando la relación  $m/n$  es 1.5-2.5, los enlaces A-O son sustancialmente covalentes y por lo tanto direccionales, y si se cumplen las siguientes 4 reglas<sup>38</sup>:

1. "Un átomo de oxígeno está unido a no más de 2 átomos A".
2. "El número de átomos de oxígeno que rodean a los átomos de oxígeno que rodean a los átomos A debe ser pequeño".
3. "Los poliedros de oxígeno comparten entre sí vértices, no aristas ni caras"
4. "Al menos deben estar compartidos 3 vértices de cada poliedro de oxígeno".

"Según la teoría de Zachariasen los óxidos  $B_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $GeO_2$ ,  $P_2O_5$  y  $AsO_5$  deberían formar vidrios fácilmente."<sup>39</sup>

Los vidrios según algunos estudios realizados con el microscopio electrónico no cuentan con una estructura homogénea, por el contrario están formados por fases vítreas diferentes. Esto genera que no exista una teoría de azar e isotropía como características propias de estos materiales.

La estructura del vidrio hasta el momento la hemos descrito de dos formas, no por ello poner en tela de juicio la validez de una u otra. El resultado de estas teorías está fundamentado en el proceso de formación del vidrio, ya que dependiendo de los componentes y de la velocidad de enfriamiento al que es

sometido, genera diferentes tipos de estructuras:

1. Formación de una sola fase homogénea
2. Separación de fases vítreas microheterogéneas
3. Aparición de gérmenes cristalinos homogéneos
4. Formación de cristales a partir de inclusiones heterogéneas o de interfases presentes.

Los enlaces atómicos y moleculares son determinantes de las características de los materiales, los cuales se describen en la introducción de esta investigación.

En el caso de los vidrios los enlaces mixtos son los que los constituyen, ya que tienden a polarizarse favoreciendo a la formación vítrea sin que se produzca cristalización. Es necesario que se presenten enlaces dirigidos y no dirigidos en proporciones determinadas. La direccionalidad de los enlaces se le debe a los enlaces covalentes, por lo cual los enlaces mixtos están condicionados a combinaciones iónicas covalentes, covalente-Metálico o Covalente Intramolecular (Moléculas covalentes unidas entre sí por fuerzas de Van der Waals).

<sup>36</sup> Tomado de José María Fernández, *El vidrio*, Pág. 65

<sup>37</sup> Ver anexos, *Biografías*

<sup>38</sup> *Enciclopedia de la Química Industrial*, Tomo 9, Ed. Chapman & Hall, España 1976, Pág. 236

<sup>39</sup> *Enciclopedia de la Química Industrial*, Tomo 9, Ed. Chapman & Hall, España 1976, Pág. 236

## 3.3 Materias Primas para la elaboración del vidrio

Las materias primas empleadas en la elaboración del vidrio se dividen en cuatro grupos según la función que desempeñan en su formación:

1. Vitrificantes
2. Fundentes
3. Estabilizantes
4. Componentes secundarios

### 3.3.1 VITRIFICANTES:

Bajo este nombre se denominan los óxidos formadores de red, es decir las sustancias formadoras del vidrio. Las sustancias más comunes, son:

1. Sílice
2. Anhídrido Bórico

Estas dos se explicarán a continuación por ser los principales formadores de red. También existen otros vitrificantes como el Boro, el germanio, el fósforo y el vanadio.

#### Sílice:

Es el principal conformador del vidrio con aplicaciones comerciales, ocupando las tres cuartas partes de su composición.<sup>40</sup>

La sílice ya sea de forma libre o combinada, ocupa un 60% de la corteza terrestre, y sus fuentes principales son el cuarzo, las cuarcitas, las arenas y areniscas de cuarzo, de origen sedimentario.<sup>41</sup>

La sílice, se encuentra en forma cristalina, como el cuarzo<sup>42</sup>; en forma amorfa como el Sílex; y en forma pulverizada como la arena.

<sup>40</sup> José María Fernández, *El vidrio*, p. 127

<sup>41</sup> José María Fernández, *El vidrio*, p. 129

<sup>42</sup> El cuarzo se encuentra en la naturaleza en forma cristalina pero al ser fundido y enfriado, se convierte en sílice vítrea. *Fundamentos de Manufactura Moderna*, p. 173

Hay varios tipos de fases de sílice, las cuales se forman según la temperatura a la que sean sometidas, entre las más importantes encontramos el cuarzo, la cristobalita, la keatita, la sílice W.

La arena, hay que seleccionarla cuidadosamente y limpiarla para evitar que se obtengan colores indeseados, e impurezas en el producto final del vidrio. El tamaño más conveniente del grano de arena, como lo comenta M. P. Groover en su libro *Fundamentos de Manufactura Moderna*, oscila entre los 0.1 a 0.6 mm<sup>43</sup>; dimensión que especifica José María Fernández en su libro *el Vidrio*, de acuerdo con el procedimiento utilizado para la fusión del vidrio, límites que estarían determinados entre 0,1 mm y 0,3 mm de tamaño de grano para fusión en Crisol, y para hornos balsa el límite puede llegar a ser superior a 0.5 mm, e inferior a 1 mm<sup>44</sup>.

No debe permitirse presencia de *minerales pesados*<sup>45</sup> por los colorantes que contienen debido a los iones de cromo, hierro y manganeso, en un porcentaje mayor del 1%.

La presencia del Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varía según el tipo de vidrio que se esté elaborando, en el caso del vidrio plano que es el vidrio que más nos compete es de 0,030 a 0,050%.

Hay otras impurezas que aunque menos problemáticas por sí solas, pueden tener incompatibilidad con otros componentes que se encuentren presentes en la mezcla, como es el caso del TiO<sub>2</sub>, que simultáneamente con el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> puede producir una coloración parda oscura, por lo que se recomienda en estos casos que no sobrepase el 0,06%<sup>46</sup>.

<sup>43</sup> *Fundamentos de Manufactura moderna*, p. 296

<sup>44</sup> *El vidrio*, José M. Fernández, p. 131

<sup>45</sup> Los principales minerales pesados contaminantes de las arenas, según José Ma. Fernández en su libro *el vidrio*, p. 130, son: Anfíboles, Arzonita, Casiterita, Circón, Corindón, Cromita, Distena, Epidota, Espinela, Goethita, Ilmenita, Magnetita, Olivino, Pirita, Piroxenos, Rutilo, Titanita, Topacio, Turmalina, Zoisita.

<sup>46</sup> *El vidrio*, José Ma. Fernández, p. 131

En cuanto a la granulometría, en la selección de la arena debe tenerse en cuenta la proporción de finos y la superficie específica, cuyos valores deben ser los siguientes: Proporción del fino de tamaño inferior a 0,1 mm, no debe sobrepasar el 1%, y el valor de la superficie específica recomendado es de 40 a 60 cm<sup>2</sup>/g.

Las arenas en condiciones naturales no cumplen cabalmente con las especificaciones requeridas para la elaboración de vidrios, por lo que es necesario recurrir a procesos de purificación de la misma, las cuales se logran a través de molienda, lavado, atrición, flotación y separación magnética.

La molienda, que por lo general se hace por molinos vibratorios se utiliza para obtener la granulometría adecuada; la atrición, y lavado se usan para separar los minerales pesados; y la flotación y separación magnética se utiliza para eliminar los minerales pesados que aún quedan, lográndose retirar hasta un 95% del óxido de hierro con este medio.

### **Anhidrido Bórico**

Es muy soluble, por esta razón no se usa como vitrificante único. Es uno de los principales ingredientes de los vidrios neutros utilizados en laboratorios.

Se puede utilizar en pequeñas cantidades, como aditivo en la mezcla de los vidrios sódico cálcicos, ya que acelera su fusión y mejora la estabilidad química, su resistencia al choque térmico, disminuye la tensión superficial del vidrio fundido, facilitando el afinado.

Este componente se extrae de productos químicos preparados, como el ácido bórico y borato sódico.

### **3.3.2 FUNDENTES**

Estos Materiales se emplean con el fin de rebajar la temperatura de fusión del vidrio y mejorar su maniobrabilidad.

Los fundentes son óxidos modificadores de red, que al ser incorporados en la estructura, generan roturas en la misma debilitando su cohesión, su estabilidad,

y al mismo tiempo rebajando la temperatura de reblandecimiento<sup>47</sup>.

Los materiales utilizados para este efecto son:

Óxidos de Sodio  
Óxido de Potasio  
Óxido de Calcio  
Óxido de Magnesio  
Óxido de Bario

### **Óxido de Sodio**

Su fórmula es Na<sub>2</sub>O. Es el más utilizado, de ahí desprende su importancia. Se obtiene de diferentes materias primas:

Carbonato de Sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)  
Sulfato de Sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)  
Nitrato de Sodio (NaNO<sub>3</sub>)  
Fluosilicato de Sodio (Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>)  
Feldespatos  
Rocas con elementos alcalinos

### **Carbonato sódico:**

Es la más utilizada para incorporar el óxido de sodio en la mezcla del vidrio, y se conoce comúnmente con el nombre de Sosa.

Desde tiempos muy remotos se ha utilizado como elemento fundente de la mezcla la sosa o la potasa, pero es necesario agregar otros ingredientes que le den propiedades de durabilidad. Esto con el fin de evitar la solubilidad al agua, que prestaban algunos vidrios del S.XVII, conocidos como "Licor de Guijaros", tal como lo expone Gateau en su libro "El Vidrio". A esta mezcla, para cumplir con estos objetivos, se le agregan piedras calcáreas o metales.

En Europa no se encuentran yacimientos de este material fácilmente, por lo que recurren al método de Solvay, en donde el cloruro sódico se trata con bicarbonato amónico para formar el bicarbonato sódico, y finalmente se procede a descarboxilar.

<sup>47</sup> El vidrio, José María Fernández, p. 94

Debe tenerse en cuenta que la sosa no contenga partículas inferiores a los 0.1 mm, con el fin de evitar que se produzcan segregaciones en la preparación de la mezcla.

### Sulfato de Sodio

Es una aportación indirecta de óxido de sodio al vidrio. No puede considerarse como dador exclusivo de este óxido debido a su reacción agresiva en el material refractario, y por otros inconvenientes ya en la maza vítrea como son las burbujas de sulfato y el color amarillento que proporciona a la mezcla. El porcentaje máximo recomendado de este material para la introducción del óxido de sulfato, es del 20 al 25%.

### Rocas con elementos alcalinos

Las rocas que más se utilizan en este aspecto son las magmáticas y algunos vidrios volcánicos como la obsidiana. El problema de su aplicación son las impurezas que contiene, como el óxido de hierro y alúmina.

El **cloruro de sodio**, en cambio, aunque podría pensarse en su utilización para introducir el óxido de sodio en el vidrio, no se puede usar, debido a los vapores clorhídricos que produce. Sólo puede usarse como afinante y en pequeñas proporciones.

### Oxido de Potasio

Su fórmula es  $K_2O$ . Este óxido le proporciona mayor brillo al vidrio, y una consistencia más viscosa permitiendo mayor manejabilidad.

Este es uno de los primeros vidrios que se utilizó debido a que se trabajaba con las escorias de la madera, materia prima de donde se obtiene este óxido.

Materias primas de donde se puede obtener:

Carbonato de potasio ( $K_2CO_3$ )

Nitrato de potasio calcinado ( $KNO_3$ )

Silvina y carnalita

### Carbonato potásico:

Es la materia prima más utilizada para obtener el óxido de potasio en la elaboración de vidrios. Se conoce también como carbonato calcinado de potasa.

### Óxido de Calcio

Es uno de los componentes que más se encuentran en los vidrios, de hecho ocupa el tercer lugar después de la sílice y del óxido de sodio.

Materias primas de donde puede extraerse:

Caliza o Carbonato de Calcio ( $CaCO_3$ )

Cal Quemada ( $CaO$ )

Cal Hidratada ( $Ca(OH)_2$ )

Dolomita

También puede utilizarse feldespato cálcico, pero su contenido de alúmina limita su aplicación.

Tiene varias funciones dentro de la composición del vidrio, ya que actúa como estabilizante al aportar estabilidad química y mecánica, y a su vez modifica la red, por lo que hay que tener cuidado en su introducción, ya que un exceso del mismo podría causar la desvitrificación<sup>48</sup>.

### Carbonato de Calcio

Las calizas, son la materia prima que la contienen, y su ventaja está en su abundancia en la naturaleza encontrándose formadas principalmente por sedimentos marinos.

Las calizas ideales para la fabricación del vidrio deben tener mínimo el 55.2% de óxido de calcio, menos del 0.035% de óxido de hierro y menos del 1% de materia orgánica<sup>49</sup>.

<sup>48</sup> El vidrio, José María Fernández, p. 139

<sup>49</sup> El Vidrio, José María Fernández, p. 139

Las dimensiones del grano de la caliza, recomendadas para la fabricación del vidrio, dependiendo de su proceso de fusión, son las siguientes:

Si se hace en crisoles: de 0.3 mm a 1.2 mm  
En homos de balsa: Menor a 0.45 mm, y el promedio de grano inferior a 0.12 mm no debe ser mayor del 25%.

### Oxido de Magnesio

Aunque es semejante al óxido de calcio, su aplicación lo complementa, ya que pueden tener mayor estabilidad que los de calcio, y reducen la tendencia a la desvitrificación. Su presencia dentro de la mezcla en proporciones entre el 3 o el 4 % aumenta su viscosidad permitiendo maniobrar la maza más tiempo.

Materias Primas:

Dolomita  
Carbonato de Magnesio ( $MgCO_3$ )

#### Dolomita

Este material tiene una desidad entre los 2.85 y 2.95, y su dureza entre los 3.5 y 4, según la escala de Mohz. Su composición es carbonato doble de calcio y magnesio, y tiene como fórmula  $CaMg(CO_3)_2$ , se forman al alterarse las calizas en presencia del Magnesio. Los granos no deben ser menores a 0.1 m ni superiores a 0.5 mm

### Oxido de Bario

El introducir este óxido en el vidrio, se mejoran algunas propiedades, como son el aumento de su densidad, índice de refracción, brillo y su sonoridad. En su elaboración proporciona mayor viscosidad permitiendo mejor maniobrabilidad de la mezcla para conceder mayor tiempo de trabajo<sup>50</sup>.

Materias primas: Carbonato de Bario ( $BaCO_3$ )

En forma natural como el mineral Witherita, pero no se encuentra lo suficientemente puro como para usarse en el vidrio<sup>51</sup>.

<sup>50</sup> Joseph Amstock, *Manual del vidrio en la construcción*, p. 23

<sup>51</sup> José María Fernández, *El vidrio*, p. 140.

### **3.3.3 ESTABILIZANTES**

Tienen un papel intermedio entre los formadores de red y los modificadores. Los más importantes son la alúmina (óxido de aluminio), el óxido de plomo y el óxido de zinc.

### Oxido de Aluminio

La alúmina es el óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), el cual se halla en la naturaleza de dos formas, una en estado puro y cristalizado, y formando feldespatos y arcillas en conjunto con la sílice y otros componentes.

La introducción de la alúmina al vidrio incrementa la resistencia mecánica, disminuye el coeficiente de dilatación térmica y mejora la resistencia al choque térmico. "La presencia de alúmina reduce la tendencia a la desvitrificación, aumenta la viscosidad del vidrio, ensancha su intervalo de trabajo y eleva considerablemente su tensión superficial."<sup>52</sup> Se requiere mayor temperatura para lograr la fusión.

Materias Primas para el Óxido de Aluminio

Alúmina Hidratada ( $Al(OH)_3$ )  
Alúmina Calcinada ( $Al_2O_3$ )  
Criolita ( $Na_3AlF_6$ )  
Lepidolita  
Feldespatos

#### Feldespatos:

Se recomiendan porque su fusión se presenta a temperaturas no muy altas, y se incorporan a la red sin producir modificaciones.

#### Hidróxidos de aluminio:

El más utilizado en la industria del vidrio es la Bauxita<sup>53</sup>, pero contiene en altas proporciones óxido

<sup>52</sup> José María Fernández, *El vidrio*, p. 141

<sup>53</sup> "La bauxita es un término general con que se denomina una roca copusta de hidróxido de aluminio raras veces en carsitales distintos y aislados que incluye la gibsita, la bohemitita y la diáspora y por sustancias que contienen aluminio". Se presenta en masas arcillosas blancas o amarillentas si son puras, o rojizas o de color pardo si alojan óxidos de hierro o sustancias bituminosas de densidad entre 2.3 a 2.7. *Enciclopedia Universal, Microsoft*.

de hierro, que le imparte un color verdoso al vidrio.

Otras fuentes de obtención de Óxido de aluminio también a través de **Caolines**, aunque no son muy utilizados en la fabricación del vidrio, a pesar que se utilizan ampliamente en la industria cerámica. Además de algunas rocas luminosas como el granito, la nefelina, sienita, obsidiana, entre otros; escorias de hornos altos, y tratamientos químicos.

### Oxido de Plomo:

Le da excelentes características al vidrio proporcionándole brillo, sonoridad, alta refracción, y alta densidad.

En cuanto al material, y al proceso de elaboración, la temperatura de fusión se reduce además de ser muy dóciles para moldear, dentro de un rango mayor de tiempo.

Su utilización se da básicamente en la industria óptica, en aplicaciones eléctricas y electrónicas, en vidrios con protección de rayos X, y radiación Gamma y en vidrios artísticos.

"Para contenidos mayores de 24% de PbO, reciben internacionalmente de forma tan convencional como inadecuada la denominación de Cristal"<sup>54</sup>.

Materias Primas para la obtención de Óxido de Plomo

**Minio:** Es la principal forma. De fórmula Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, de color rojo vivo.

**Carbonato básico:** Algunas veces

**Litargirio:** En muy pocas ocasiones. Es un óxido de plomo fundido en láminas pequeñas, de color amarillo rojizo<sup>55</sup>.

### Oxido de cinc

Su introducción en los componentes del vidrio en un porcentaje de hasta un 5%, trae buenas consecuencias al producto final, ya que mejora la dureza, eleva el índice de refracción, y reduce el índice de dilatación térmica. Además de favorecer al proceso de fabricación, ya que disminuye la viscosidad y mejora el afinado. Se obtiene la mayoría de las veces de preparados de óxido de cinc blanco o gris.

### COMPONENTES SECUNDARIOS

Hay otros componentes que hacen parte del vidrio, como son los fluidificantes, colorantes, decolorantes, etc. Estos intervienen en proporciones diferentes según el vidrio que se está fabricando, ya que no todos van a requerir los mismos tratamientos.

A continuación se muestra una tabla con los principales materiales que se emplean para colorear el vidrio:

Material colorante	Porcentaje en el vidrio	Color Producido
Sulfuro de Cadmio	0.03 a 0.1	Amarillo
Óxido de Uranio	0.1 a 1.0	Amarillo con fluorescencia verde
Óxido de Hierro	1.0 a 2.0	Ambar
Óxido de Manganeso	2.0 a 4.0	Ambar
Seleniuros	0.1 a 1.0	Ambar
Óxido de Cobalto	0.001 a 0.1	Azul
Óxido de Cobre	0.2 a 2.0	Azul Verde
Óxido Ferroso	0.05 a 0.2	Azul Verde
Óxido de Niquel	0.05 a 0.5	Café y púrpura
Selenio	0.1 a 1.0	Rosa
Óxido de Neodimio	Hasta 2.0	Rosa
Óxido de Manganeso	0.5 a 3.0	Rosa-Púrpura
Cobre	0.03 a 0.1	Rubí
Oro	0.01 a 0.03	Rubí
Sulfoseleniuro de Cadmio	0.03 a 0.1	Rubí y Anaranjado
Óxido de Cromo	0.05 a 0.2	Verde a Verde amarillento
Óxido Férrico	Hasta 4.0	Verde amarillento

Información tomada de *Materiales para Construcción: Tipos, Usos y aplicaciones*, Hornbostel, Tabla V44, pág. 977.

<sup>54</sup> El vidrio, José María Fernández, p. 142

<sup>55</sup> Enciclopedia Universal, Microsoft

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.3.4 FLUIDIFICANTES

#### Fluoruros:

Su papel como fluidificantes consiste en disminuir la viscosidad del vidrio, el porcentaje de fluoruro no debe sobrepasar el 4%, puesto que podría tornar el vidrio opaco con un exceso de éste.

La desventaja de su uso se centra en la contaminación atmosférica que se produce con la volatilidad de los fluoruros, así como la agresividad a los materiales refractarios de los hornos en los que se procesa el vidrio.

Se utilizan varias materias primas aportadoras de fluoruro como la criolita, el fluosilicato sódico, el espato flúor, el fluoruro de aluminio y el fluoruro sódico. Además de los componentes anteriormente citados, cabe mencionar que en la mezcla intervienen el agua y calcines o casco:

#### Agua:

Cumple dos papeles importantes dentro de la mezcla: Aglomerante, ya que permite que no se desperdigen los componentes en la maniobra, y como disolvente de los componentes más solubles, como es el caso del carbonato sódico haciendo de la mezcla más alcalina. El porcentaje óptimo de humedad es entre el 4 y 5%.

#### Calcín ó Casco:

Son los residuos de vidrio o material reciclado que se utiliza en la elaboración del vidrio, ya que contribuyen a la formación de fase líquida. El porcentaje de contenido de desecho de vidrio oscila entre un 15 a un 30%.

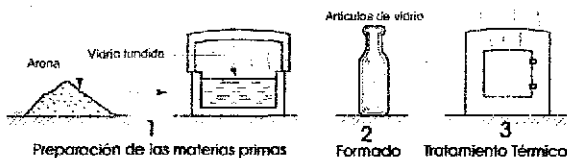
*Para mayor información sobre las diferentes materias primas y sus efectos en las características de los vidrios, remitirse al anexo 1.*

## 3.4 Proceso de elaboración del vidrio

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El proceso de elaboración<sup>56</sup> del vidrio se divide en las siguientes etapas:

- Vitrificación
- Conformación
- Enfriamiento y recocido



**SECUENCIA DE ELABORACIÓN DEL VIDRIO**  
*Fundamentos de manufactura moderna, p. 296*

<sup>56</sup> El proceso al que se hace referencia, está basado en la división de las etapas que hace José María Fernández, por considerarla completa y descriptiva, aunque la primera etapa él la plantea dividida en 4 partes, pero por sucederse sin una clara distinción entre el final de una y el inicio de otra, lo agrupo como vitrificación, propuesta que anota en su libro *el vidrio en la* pág 148. La división del proceso en estas 3 etapas planteadas, corresponde con el proceso que describe el libro *Fundamentos de Manufactura Moderna*, pág 296.

### 3.4.1 VITRIFICACION:

Se divide en 4 etapas sucesivas:

1. Reacción de los componentes y formación del vidrio.
2. Disolución del excedente de sílice sin reaccionar
3. Afinado y homogeneización
4. Reposo y acondicionamiento térmico

#### Reacción de los componentes y formación del vidrio

En esta etapa los componentes que se incorporan en la mezcla empiezan a sufrir diversas transformaciones tanto físicas como químicas, que abarcan cambios en su estructura cristalina, en su porcentaje de humedad, disociación de carbonatos y sulfatos, su disolución en el material fundido que se forma.



Por lo general es difícil determinar una reacción fija para los diferentes sistemas ya que depende de diferentes factores como es el porcentaje de cada uno de sus componentes, el tamaño de las partículas, y la velocidad en que se realiza el calentamiento.

### **Disolución del excedente de sílice**

En la formación de los vidrios hay que tener en cuenta el tamaño del grano de arena, ya que el tiempo que tarda en diluirse es directamente proporcional a su granulometría, con la desventaja que si el tamaño es muy pequeño incrementa la viscosidad perjudicando la etapa del afinado, esto debido a la producción interna de burbujas al no permitir la salida de los gases.

En la etapa anterior, se produce una fundición de los componentes, pero no toda la sílice es asimilada por la mezcla. En esta fundición el compuesto experimenta diferentes transformaciones como se mencionó en la etapa anterior. Aproximadamente a una temperatura de 1250°C la arena se disuelve, acumulándose sílice alrededor de los granos de cuarzo, que posteriormente tienen que disolverse para formar una mezcla homogénea. Al disolverse esta sílice empiezan a generarse muchas burbujas debido a la acidez de la mezcla.

### **Afinado y homogenización del vidrio**

Se entiende por este término el "proceso de homogenización de la masa vítrea fundida y de eliminación de parte de los gases disueltos y de la burbujas ocluidas"<sup>56</sup>

#### **Incorporación de gases:**

Está sometido a diferentes gases que se encuentran tanto en el interior como en el exterior de la mezcla.

Estos gases aparecen en el vidrio por diversos medios: por el ambiente que lo circunda, por la descomposición de carbonatos y sulfatos, que se incorporaron con los compuestos químicos que lo

conforman, por las impurezas que integran la mezcla, por el contacto con materiales refractarios, por contaminaciones externas.

En cuanto empieza el proceso de formación del vidrio, se desprenden gran cantidad de gases, pero en el momento que se empieza a volver estado líquido, los gases no pueden salir fácilmente formándose burbujas, que van subiendo hacia el exterior.

En esta etapa se deben eliminar todos los gases disueltos y las burbujas que se formaron en la mezcla, ya que el contenido gaseoso puede perjudicar la estructura del vidrio, y su afectación varía de acuerdo a la naturaleza de los gases y el porcentaje gaseoso que contengan. Estos gases pueden disolverse por medios físico o químicos dependiendo del gas.

Estas Burbujas pueden encontrarse en la superficie del vidrio, y otras a mayor profundidad, ya que no han tenido tiempo para escapar mientras la masa se encuentra fundida.

La eliminación de estas burbujas, es la principal función del afinado del vidrio, y se puede hacer de diferentes maneras, como son:

Medios químicos  
Medios Mecánicos

#### **Procedimientos de afinado<sup>57</sup>**

**Medios químicos:** Curiosamente este procedimiento combate las inclusiones gaseosas con adición de sustancias que al descomponerse térmicamente producen un desprendimiento gaseoso considerable.

Las burbujas que se producen son muy grandes las cuales suben a la superficie con mayor rapidez, llevándose consigo las burbujas pequeñas que se encuentran en su camino. Para que este proceso surta efecto, los afinantes deben tener "una elevada tensión de descomposición que les permita retrasar su cesión gaseosa hasta temperaturas bastante altas, a las cuales el fundido haya cedido ya la mayor

<sup>56</sup> José María Fernández, *El vidrio* p. 172

<sup>57</sup> José María Fernández, *El vidrio*, p. 204

parte de sus gases, y a las que la viscosidad de éste sea lo suficientemente baja para facilitar la ascensión y eliminación de las burbujas nacientes<sup>58</sup>. Asimismo estos gases es recomendable que sean diferentes a los que se hayan en las burbujas que se tratan de eliminar.

**Medios físicos:** Estos medios sirven de refuerzo al medio químico, para poder lograr una buena homogeneización del vidrio. Hay tres tipos de medios físicos para afinar<sup>59</sup>:

1. Empujón térmico de Zchimmer: Calentamiento brusco del vidrio.

2. Calentamientos y enfriamientos sucesivos: Entre unos 1500°C y unos 1250°C, demostrado por Conroy y Col

3. Sistemas de inyección gaseosa: Se introducen en el horno unos "Borboteadores" para producir una producción continua de burbujas.

### Reposo y acondicionamiento térmico

Así como el vidrio alcanzó hasta los procedimientos descritos anteriormente una homogeneidad física y química, también debe alcanzar la térmica, para lo

que se enfría en el horno a unos 300 o 350°C, hasta que alcance en todo el vidrio una temperatura uniforme para el moldeo, evitando de esta manera defectos en el producto final.

Con este proceso termina el proceso de fusión del vidrio, o de vitrificación como le hemos llamado.

## **3.4.2 CONFORMACIÓN O PROCESO DE MOLDEADO**

Este es el mecanismo para darle forma al trabajo del vidrio.

Podemos obtener diferentes tipos de vidrio:

Vidrio Hueco, cuyo método principal de fabricación es el soplado, método que hemos tratado en los antecedentes de este capítulo.

- Fibras de vidrio, utilizados en materiales compuestos.
- Vidrio plano

Trataremos sólo los procesos de fabricación del vidrio plano, ya que son los que se aplicarán directamente en la envolvente vertical de los edificios.

## **3.5**

# **El vidrio plano: Definición y procesos de fabricación**

### **3.5.1 Definición de Vidrio plano:**

Es todo vidrio que tenga una conformación laminar, ya sean planas, curvas, incluso con relieves decorativos.

Para la elaboración de productos planos hay diferentes procesos de fabricación:

- Soplado
- Estirado.
- Laminado
- Flotado

### **3.5.2 PROCEDIMIENTO DEL VIDRIO SOPLADO:**

Para elaborar productos por este medio hay dos formas diferentes:

- Soplado a boca
- Soplado mecánico.

Ambos procedimientos de elaboración de vidrio soplado se trataron en este capítulo, en la primera parte "Una mirada a través del vidrio: antecedentes".

<sup>58</sup> José María Fernández, *El vidrio*, pág. 204

<sup>59</sup> José María Fernández, *El vidrio*, pág. 213

### 3.5.3 ESTIRADO DEL VIDRIO:

Se han desarrollado varios procesos o sistemas de estirado de vidrio plano, el más antiguo es probablemente el de Fourcault el cual se desarrolló en Bélgica durante la primera Guerra Mundial. Casi simultáneamente Colburn, desarrolló su propio sistema.

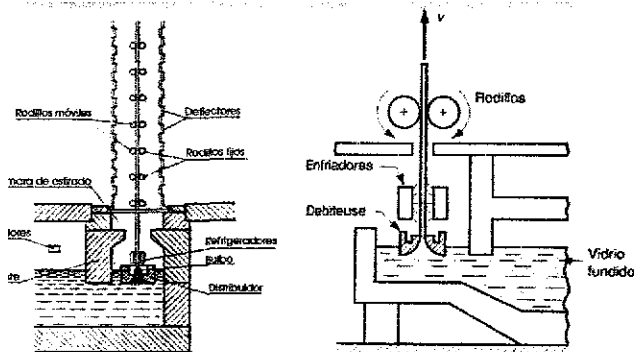
- Sistema Fourcault
- Sistema Colburn-Libbey-Owens
- Sistema Pittsburg

#### 3.5.3.1 Sistema Fourcault:

El sistema comprende un dado hecho de barro refractario (Debiteuse), en donde se funde el vidrio; por una rendija estrecha se estira el vidrio e inmediatamente pasa por unos enfriadores que se encargan de solidificarlo, en la parte superior hay unos rodillos rotatorios que halan el vidrio ascendente, en este recorrido a lo largo de la cámara donde se efectúa el estirado se produce el recocido del vidrio por enfriamiento gradual, variando a temperatura desde 950°C, hasta 100°C; cuando la lámina obtiene el largo deseado se corta manual o mecánicamente.

El espesor de la lámina puede variar dependiendo de la velocidad de estirado y de la viscosidad del fluido. Este proceso tiene como defecto la aparición de estrías en la dirección del estirado.

#### Sistema Fourcault



Imágenes tomadas de *El vidrio*, José María Fernández, pág. 227 y *Fundamentos de Manufactura Moderna*, J. Amstock, pág. 301, respectivamente.

#### 3.5.3.2 Sistema Colburn:

Fue desarrollado por Colburn, pero lo comercializó la firma Libbey-Owens-ford en 1920.

En esta la masa fundida que se encuentra en el dado refractario, es halada por unos rodillos dentados y refrigerados por agua, posteriormente pasa por dos pantallas metálicas refrigeradas, después de unos 60 cm, la lámina se dobla en ángulo recto sobre un rodillo de acero pulido y pasa horizontalmente sobre unos rodillos forrados en asbesto, la longitud que recorre esta lámina es aproximadamente 60 m, y se corta de acuerdo a la medida deseada.

El espesor varía tal como el sistema fourcault, de acuerdo a la velocidad, por ejemplo para un espesor de 3 mm por este proceso se requiere entre 90 y 120 m/h.

Este proceso casi no se usa en la actualidad, debido a las complicaciones que generan el mantenimiento de los equipos.

#### Sistema Colburn

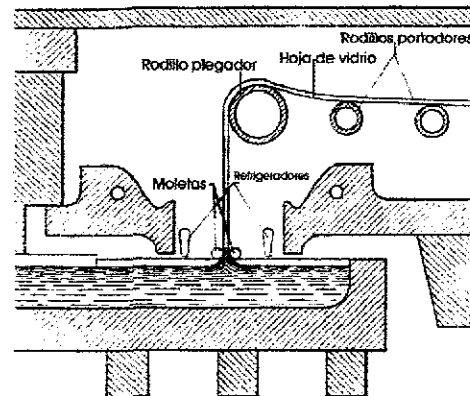


Imagen tomada de *El vidrio*, José María Fernández, pág. 226

En síntesis la diferencia primordial entre los dos sistemas es que el Fourcault estira el vidrio de manera vertical y el sistema Colburn de manera horizontal todavía en estado plástico.

#### 3.5.3.3 Sistema Pittsburg:

Es similar al sistema Fourcault, en cuanto al concepto y al proceso, pero su diferencia principal radica en que éste carece de distribuidor como el Colburn.

A través de este procedimiento se obtienen vidrios con calidad y rendimientos superiores a los procesos antes descritos debido principalmente a la mayor temperatura de trabajo que permite eliminar la mayor parte de álcali, la tendencia a desvitrificar y a mejorar la estabilidad química y mecánica<sup>60</sup>.

### Sistema Pitsburg

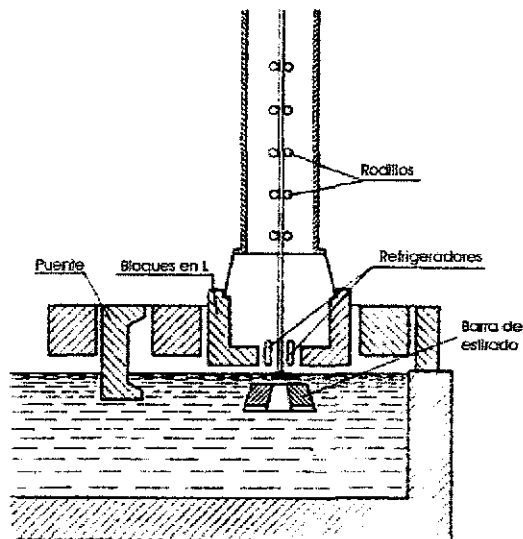


Imagen tomada del libro *El vidrio*, José M. Fernández, p. 228

Estos procesos de estirado deben esmerilarse y pulirse para obtener superficies planas y lisas.

### 3.5.4 LAMINADO DEL VIDRIO:

En general este proceso se realiza por medio de unos rodillos que ubicados en sentidos opuestos y distanciados entre sí de acuerdo al espesor deseado, que van laminando el vidrio que sale del horno con una condición plástica y después pasan al recocido.

En este sistema se encuentran dos tipos principales:

- Laminado Discontinuo
- Laminado Continuo

<sup>60</sup> *El vidrio*, José María Fernández, pág. 228

### 3.5.4.1 LAMINADO DISCONTINUO (COLADO DISCONTINUO)

Este procedimiento se estableció en 1963 en Saint Gobain por la Real Manufacturera de Espejos.

Se colaba el vidrio que se encontraba en un crisol en una superficie plana y completamente pulida, y posteriormente se laminaba por medio de un rodillo metálico. Así como los métodos anteriores requería de desbaste y pulido.

Posteriormente a finales de la Primera Guerra Mundial, Bicheroux introdujo en Alemania unas modificaciones en este sistema, las cuales consistían en dos rodillos en vez de uno sobre una mesa móvil que va pasando la hoja hasta el horno de recocido. Este proceso tenía de ventaja respecto al original, que se obtenían superficies más uniformes en cuanto al espesor y facilitaba el proceso de acabado.

### Proceso laminado discontinuo

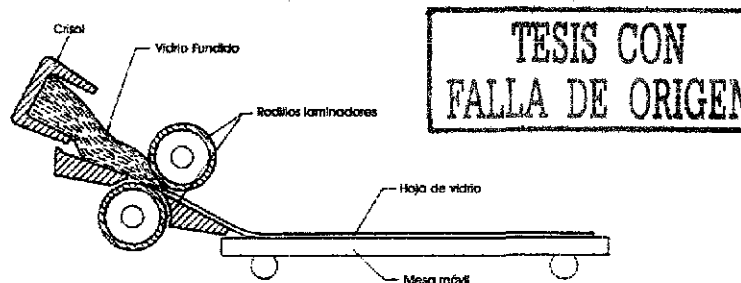


Imagen tomada del libro *El vidrio*, José M. Fernández, p. 229

### 3.5.4.2 PROCEDIMIENTO DE LAMINADO CONTINUO:

Los hornos balsa, principio de este sistema, se desarrollan en los años veinte; esto impulsa el procedimiento de laminado continuo que surge en 1932 con el sistema Boudin en Francia de la firma Ford.

En este sistema el fluido de los hornos balsa, pasa a un antecuerpo donde se refrigera y luego se sigue deslizando por una mesa refractaria hasta que llega a los rodillos laminadores, y pasa al recocido y enfriamiento.

## Proceso laminado continuo

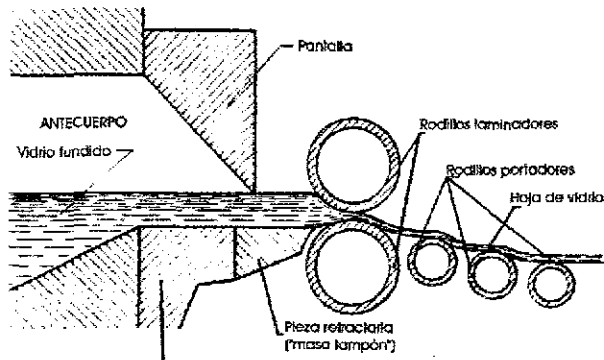


Imagen tomada del libro *El vidrio*, José M. Fernández, p. 229

Este proceso tiene algunas características adicionales que hacen que haya otras formas de elaborar laminados con alguna variante:

**Laminado impreso:** El rodillo inferior tiene un grabado para imprimirse en la superficie del vidrio.

**Laminado Armado:** Hay varios procedimientos, entre ellos el Pilkington. En este proceso se introduce una malla metálica mientras aún se encuentra en estado viscoso. Esto es con el fin de conferir mayor seguridad al vidrio en caso de una rotura.

El proceso del laminado deja una apariencia irregular en el vidrio, por lo que es necesario recurrir a un proceso de desbaste y pulido los cuales, al igual que el laminado sufrieron constantes evoluciones.

En un principio se realizaba manualmente, proceso que se llevó a cabo hasta mitad del siglo XIX; luego iniciaron formas de desbaste y pulido más mecanizadas, que consistían, inicialmente, en unas mesas donde se colocaban las hojas de vidrio pegadas con Yeso y unos discos de hierro fundido que giraban en torno a un eje vertical, estos discos se apoyaban directamente sobre arena con agua, cumpliendo el papel de abrasivo. En la década de los veinte este proceso se vuelve continuo (D.P.C.), que consistía en mesas largas que se movían horizontalmente, y que hacían pasar las hojas por material abrasivo. Después de la Segunda Guerra Mundial este sistema fue reemplazado por un equipo que hacía este proceso simultáneamente en los dos lados. Finalmente debe pasar por una preparación de óxido férrico, que le quite la opacidad producida por los rayones que sufre en este proceso.

## 3.5.5 PROCEDIMIENTO DE FLOTADO

Este procedimiento se desarrolló por la Pilkington Glass Co, introduciéndose comercialmente en Estados Unidos en 1959.

El vidrio se funde en un horno balsa a una temperatura aproximada de  $1593^{\circ}\text{C}$ , y al salir alcanza una temperatura de  $1093^{\circ}\text{C}$ , en este momento pasa por los rodillos laminadores que dirigen la lámina de vidrio hacia una cámara que contiene una capa aproximada de 30 cm de estaño fundido, sobre el que se desliza el vidrio mientras continúa su trayectoria hacia un horno de recocido. Este baño de estaño<sup>61</sup> es de muy buena calidad, no se presentan piedrillas u otro defecto que pueda alterar la calidad del vidrio en menos de una vez cada  $18.6\text{ m}^2$ .

Este sistema es de gran interés, debido a que a diferencia de los procedimientos anteriores no requiere de desbaste y pulido, sino que el mismo proceso permite obtener vidrios con ambas caras pulidas al mismo tiempo. Asimismo se puede producir a gran velocidad (para 6 mm de espesor, puede llegar a los  $240\text{ m/h}$ ) y en espesores entre 2 y 20 mm, y el ancho de la lámina puede sobrepasar los 4 m. Al final del proceso se procede al corte del vidrio con unos cortadores con ruedas de carburo, controlados por medio de una computadora.

## Proceso de flotado

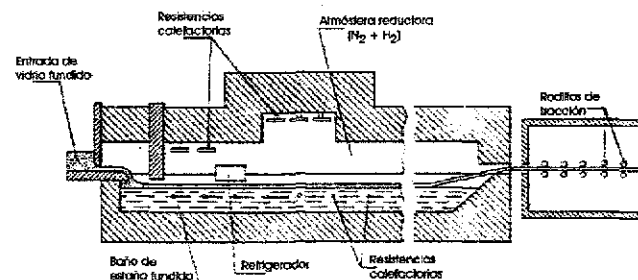


Imagen tomada del libro *El vidrio*, José M. Fernández, p. 232

<sup>61</sup> La atmósfera en el interior está constituida por 94% de nitrógeno y 6% de hidrógeno para prevenir la oxidación del estaño y que el vidrio se manche. *Manual del vidrio en la Construcción*, pág. 42

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 3.6 Propiedades de los vidrios

El conocimiento de las propiedades de los vidrios permite identificar las aplicaciones a las que pueden ser sometidos. Estas propiedades deben analizarse no sólo desde el punto de vista de las características típicas, sino también de las características que se puedan lograr incorporando nuevos elementos que optimicen las propiedades actuales, permitiendo determinar, según el uso específico al que vaya a ser destinado, el tipo de vidrio idóneo.

La arquitectura moderna requiere de propiedades y cualidades específicas, que garanticen la longevidad de los proyectos. Las limitaciones de los diseños usualmente vienen dadas por el desconocimiento del extenso mundo de los materiales que tenemos a nuestra disposición. Esto habla como lo expresa Robert E. Moore en el libro *Ceramic and glasses*, del papel *Sine qua non* de los materiales en el desarrollo de la tecnología actual.

### PROPIEDADES MECÁNICAS:

#### Densidad:

“Es la cantidad de masa contenida en la unidad de volumen”<sup>62</sup>, “es una medida del grado de compactación estructural”<sup>63</sup>.

La densidad del vidrio varía de acuerdo a su composición.

- Vidrios Sódico Cálcidos: 2.5 g cm<sup>-3</sup>
- Vidrios de Borosilicato: 2.15 g cm<sup>-3</sup>
- Vidrios de Plomo: 6 g cm<sup>-3</sup>

El valor de 2.5 será el más representativo, ya que para construcción son los vidrios sódico cálcicos los que se utilizan comúnmente.

<sup>62</sup> José María Fernández, *El Vidrio*, pág. 373

<sup>63</sup> *El vidrio*, José María Fernández, pág. 374

#### ELASTICIDAD DEL VIDRIO:

El vidrio es un material perfectamente elástico, ya que no muestra deformación hasta su punto de ruptura. Pero no deja de ser un material frágil, cuando es sometido a esfuerzos excesivos.

El **Módulo de elasticidad**<sup>64</sup> del vidrio según las normas europeas<sup>65</sup>, es:  $E = 7 \times 10^{10} \text{ pa} = 70 \text{ Gpa}$

**Relación de Poisson**<sup>66</sup> Al momento de aplicar un esfuerzo de tensión, la sección transversal disminuye, y también se presenta un cambio en la dimensión longitudinal del material durante el esfuerzo. Entendemos bajo este término la relación entre la unidad disminuida en la dirección perpendicular al eje del esfuerzo (sección transversal) y la unidad estirada en la dirección del esfuerzo (eje longitudinal).

El valor de este coeficiente es de 0.22 para vidrios que se utilizan en edificios.

### PROPIEDADES TÉRMICAS:

#### Coeficiente de expansión térmica:

Este coeficiente se da por lo general entre una temperatura de 20 a 300°C.

El coeficiente térmico lineal de expansión es  $9 \times 10^{-6} \text{ m/mk}$ <sup>67</sup>

A continuación se verá un ejemplo que nos puede aclarar el efecto de este coeficiente en el vidrio. Este ejemplo fue tomado de la guía del vidrio de Saint-Gobain Glass.

<sup>64</sup> El módulo de elasticidad también llamado módulo de Young, es la relación entre el esfuerzo que se aplica y la deformación elástica que resulta. Se expresa en kg/cm<sup>2</sup>

<sup>65</sup> *Saint-Gobain Glass, Glass guide edition 2000*, pág. 5

<sup>66</sup> *Saint-Gobain Glass, Glass guide edition 2000*, pág. 5, Van Vlack, *materials para ingeniería*, pág. 502

<sup>67</sup> *Saint-Gobain Glass, Glass guide edition 2000*, pág. 6

“Una pieza de vidrio de 2 metros de longitud (expresada en mm), sujeta a un incremento de temperatura de 30°C se alargará:

$$2000 \times 9 \times 10^{-6} \times 30 = 0.54 \text{ mm}$$

Teóricamente un incremento de 100°C, puede causar en un vidrio de 1 metro, un alargamiento de aproximadamente 1 mm.”<sup>68</sup>

## 3.7 Clasificación de los vidrios

Para efectos de esta investigación, se clasifican los vidrios en tres formas posibles:

- **Por su composición:** Dependiendo del tipo de elemento predominante en la mezcla.
- **Por su Manufactura:** Según el proceso de manufactura que se siguió para su fabricación.
- **Por su uso:** Según las necesidades que vaya a cubrir el vidrio (Seguridad, aislamiento, etc.)

### POR SU COMPOSICIÓN:

El principal ingrediente del vidrio es el Sílice, que viene del cuarzo, el cual se encuentra en la arena. Esta arena hay que seleccionarla cuidadosamente y limpiarla para evitar que se obtengan colores indeseados, e impurezas en el producto final del vidrio. El tamaño más conveniente del grano de arena, oscila entre los 0.1 a 0.6 mm<sup>70</sup>, y se añaden otros componentes como hidróxido de sodio, piedra caliza, óxido de aluminio, potasa, dolomita, carbón, arsénico, vidrio de desperdicio.

Como se acaba de mencionar, el principal elemento vitrificante del vidrio es la sílice, la cual se encuentra en forma cristalina, como el cuarzo<sup>71</sup>; en forma amorfa como el Sílex; y en forma pulverizada como la arena.

Este coeficiente es una de las características de mayor importancia a nivel técnico en el vidrio ya que afecta directamente sus propiedades térmicas como la resistencia al choque térmico, determinando y limitando sus usos de aplicación.<sup>69</sup>

Se ilustran algunos ejemplos de composición del vidrio. Estas son dosificaciones que varían según la época y la empresa que los fabrique por esta razón diferentes autores referencian<sup>72</sup> la composición de los vidrios con diferentes valores, la tabla que a continuación se toma como ejemplo es la clasificación hecha por Tessy López y Ana Martínez en su Libro El Mundo mágico del libro:

	Sódico-Cálcico	Plomo	Borosilicato	Sílice
Sílice	70 - 75%	53 - 68%	73 - 82%	96%
Sodio	12 - 18%	5 - 10%	3 - 10%	
Potasio	0 - 1%	1 - 10%	0.4 - 1%	
Calcio	5 - 14%	0 - 6%	0 - 10%	
Oxido de Plomo		15 - 40%		
Boro			5 - 20%	
Aluminio	0.5 - 3%	0.2%	2 - 3%	3 - 4%
Magnesio	0 - 4%			

Tabla tomada del Libro "El mundo mágico del vidrio", Tessy López y Ana Martínez, p.34

### Vidrio Sódico-Cálcico:

**Estructura:** Está formado principalmente por:

**Sílice:** Materia prima básica

**Sodio:** Para facilitar la fusión

**Calcio:** Estabiliza químicamente la mezcla

Es denominado también vidrio común, y representa

<sup>68</sup> Traducción de Saint-Gobain Glass, Glass guide 2000, pág. 6

<sup>69</sup> José María Fernández, El vidrio, pág. 383

<sup>70</sup> Fundamentos de Manufactura moderna, p. 296

<sup>71</sup> El cuarzo se encuentra en la naturaleza en forma cristalina pero al ser fundido y enfriado, se convierte en sílice vítrea. Fundamentos de Manufactura Moderna, p. 173

<sup>72</sup> Mikel P. Groover en su libro Fundamentos de Manufactura Moderna, y Gateau en su libro "El Vidrio", exponen diferentes composiciones de estos vidrios que quedan dentro de los rangos que establece la tabla tomada del libro "El mundo mágico del Vidrio", razón por la cual se toma como ejemplo.

según el manual de Gestión integral de residuos sólidos urbanos de Montevideo del año 1998, el 90% de la producción total de vidrio fabricado en todo el mundo.<sup>73</sup>

Este es el tipo de vidrio más económico y fácil de hacer, de hecho los vidrios de los edificios, en su gran mayoría están fabricados con esta composición.

Para su uso en vidrios para la construcción se ha recurrido a añadir Oxido de magnesio (MgO), con el fin de evitar la desvitrificación.

La mayoría de estos vidrios tienen entre el 1 y 3% de alúmina. Entre mayor cantidad de sílice tenga la composición del vidrio, mayor resistencia al choque térmico, esto se debe a su bajo coeficiente de expansión térmica.<sup>74</sup>

La tabla que a continuación se ilustra, corresponde al vidrio plano estirado y flotado, los cuales corresponden según la composición química que se ilustra en la tabla anterior, a los vidrios sódico cálcicos:

Tipo de Vidrio	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Plano estirado	71-73	0.5-2	12.5-15	0-1	1-4	4-10	< 0.3
Plano flotado	70-71.5	0.5-1.5	13-14	0-1	4-5	8-9.5	< 0.3

Tabla tomada de *El vidrio*, José María Fernández, p. 147. Los valores de la tabla están dados en Porcentaje del peso de cada componente.

Como ejemplo de las características de estos vidrios tomaremos el Planilux de Saint Gobain, el cual es un vidrio sódico cálcico, elaborado con el proceso de flotado.

<sup>73</sup> Tomado de <http://www.eres.org.uy/Vidrios.htm>

<sup>74</sup> **Choque térmico:** Es la reacción de un cuerpo a diferentes temperaturas de manera brusca, esto se debe al movimiento molecular que se presenta en el material al estar sometido a altas temperaturas lo que genera la necesidad de dilatación del material para permitir el libre movimiento molecular, al someterse posteriormente a temperaturas bajas de un momento a otro y rápidamente el movimiento molecular se merma y el material se contrae, ocasionando que le material se fracture, lo cual se conoce como choque térmico.

## Propiedades físicas:

### Aislamiento acústico:<sup>75</sup>

Espesor (mm)	Rw (C;Ctr)
3	29 (-2;-4)
4	30 (-1;-3)
5	30 (-1;-2)
6	31 (-1;-2)
8	33 (-2;-3)
10	33 (-1;-2)
12	34 (0;-2)
15	36 (-1;-3)
19	37 (-1;-3)

Tabla tomada de *Glass Guide, Saint Gobain Glass, Edition 2000*, pág. 172

## El vidrio de Plomo

En este caso como se puede observar en la tabla de la composición del vidrio, la proporción de oxido de calcio se reemplaza por le oxido de plomo. Es igual de transparente que los vidrios sódicos cálcicos, su punto de fusión es menor, y tiene un coeficiente de dilatación calorífica alto, por lo cual es muy susceptible al choque térmico.

Tiene excelentes propiedades aislantes, gran capacidad de absorción de los rayos ultravioletas y los rayos x, lo que le ha conferido el valor para su uso como láminas en las ventanas para protección al interior de la construcción. Es excelente en cuestiones ópticas, por lo que se utiliza con predilección en los lentes de cámaras fotográficas.

En el siglo XVII fue usado en Inglaterra para la elaboración de botellas de vino caracterizándose por ser vidrios muy brillantes.

<sup>75</sup> **Rw:** Este es el método más común de valorar el aislamiento de sonido en edificios y elementos del edificio. Esto incorpora una corrección de la carga de sonido para el oído humano y es expresado en dB.

**Ctr:** La corrección Ctr Puede usarse cuando el ruido es producido por el tráfico.

**C:** La corrección C se usa para la corrección del sonido del entorno.

Ambas correcciones son generalmetre negativas y se deducen de Rw para determinar las propiedades de reducción de sonido de un elemento del edificio. Tomado de *Glass Guide, Saint Gobain Glass, Edition 2000*, pág. 29.



## El vidrio de Borosilicato

Es un vidrio mucho más reciente que los sódico cálcicos, fue desarrollado en 1912.

**Estructura:** Tienen un porcentaje más elevado de SiO<sub>2</sub> (70 a 80%) en comparación con los vidrios de plomo y sódico cálcicos y menos álcali que estos, lo que le atribuye bajo coeficiente de expansión térmica.

La mayor parte de los iones B<sup>3+</sup> se encuentran formando grupos Boroxol, en donde cada ión se une a tres oxígenos mediante coordinaciones triangulares distribuidas al azar.<sup>76</sup>

### Características

- Temperatura de transformación: 530°C
- Punto de recocido (1013 dPaxs): 560°C
- Conductividad térmica a 90°C: 1.12 kW(mxk)
- Capacidad térmica específica media. 20-100°C

### Resistencia a las diferencias de temperatura:

- Exposición de corta duración:  
(1h)=110 K  
(1-100 h): 90 K
- Exposición de larga duración:  
(>100 h) : 80 K

### Resistencia al choque térmico:

Tiene alta resistencia al choque térmico, su coeficiente de dilatación es de 0.000005 cm por grado centígrado.

- Espesor hasta 4 mm: 175 K
- Espesor 4-6 mm: 160 K
- Espesor 6-15 mm: 150 K

### Propiedades ópticas:

Índice de Refracción: 1.472  
Dispersión: 71.9x10<sup>-4</sup>

## TIPOS DE VIDRIO DE BOROSILICATO

Dependiendo de la composición de los vidrios de Borosilicatos, encontramos diferentes tipos:

### Vidrio de Borosilicato de baja expansión:

Como su nombre lo dice, tiene un coeficiente de expansión muy bajo: (-18 a 299°C).

Por tener buena estabilidad química y térmica, es utilizado para tuberías de procesos químicos.

### Vidrio de Borosilicato de baja pérdida eléctrica:

Es el tipo de vidrio de borosilicato con mayor cantidad de óxido bórico, tiene un factor de pérdida dieléctrica sólo de 0.025 a 1 mC y 20°C

	Viscosidad	Temperatura
Punto de ablandamiento	10 5 a 10 8 poises	704°C a 816°C
Punto de recocido	10 13 Poises	482°C a 566°C
Punto de deformación	10 14 Poises	427°C a 538°C

*Punto de Ablandamiento:* Es la temperatura donde se presenta distorsión en el material

*Punto de Recocido:* "El punto de recocido representa la temperatura a la cual las deformaciones internas en el vidrio se reducen hasta un límite comercial aceptable en 15 minutos, según se define en la ASTM C 336-54T", tomado de Manual del vidrio en la construcción. P. 58

*Punto de deformación:* Es la temperatura por debajo de la cual no se pueden introducir esfuerzos internos permanentes. Tomado de Manual del vidrio en la construcción p 58

Es utilizado básicamente en aplicaciones eléctricas y electrónicas en diferentes componentes, en aisladores y resistores.

**Vidrio sellador de Borosilicato:** vidrio utilizado en aplicaciones eléctricas, especialmente para lámparas.

**Vidrio Transmisor del ultravioleta:** Su composición tiene el 50% de transmitancia alrededor de 130 nm. Son utilizados en "tubos multiplicadores sensi-

<sup>76</sup> José María Fernández, El vidrio, pág. 96

bles al ultravioleta, en lámparas germicidas de mercurio y productoras de ozono."

• **Vidrios para aparatos de laboratorio:** Son de aluminoborosilicato, y tienen como característica que ablandan a altas temperaturas, tienen bajos coeficientes de expansión térmica y buena resistencia a la corrosión.

• **Vidrio de calidad óptica:** Se conocen también como Crowns de Borosilicato, son vidrios muy homogéneos. Son utilizados para telescopios y lentes especiales.

### proceso de fabricación:

Pueden llevarse a cabo por el **moldeado o prensado** pero por la viscosidad de estos vidrios es muy difícil trabajarlos en este proceso; **el proceso de soplado** es más frecuente en este tipo de vidrios.

**El proceso estirado:** Se puede producir microlámina a través de este proceso, con espesores de 0.05 mm a 0.6 mm y anchos de 35 cm.

**En el procedimiento de laminado:** Se encuentra este tipo de vidrio, sin alcanzar las proporciones de los vidrios sódico-cálcicos, ya que estos llegan a tener aproximadamente 0.75 de ancho por 5.5 m de largo.

Dentro de esta categoría se incluye el vidrio conocido comercialmente con el nombre de Pirex, vidrio desarrollado por la Corning Glass Works los cuales tienen un alto contenido en sílice: SiO<sub>2</sub> (81%), Na<sub>2</sub>O (4%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2%) y B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13%).<sup>77</sup>

	Viscosidad	Temperatura
Punto de ablandamiento <sup>1</sup>	10 <sup>8</sup> a 10 <sup>9</sup> poises	704°C a 616°C
Punto de recocido <sup>2</sup>	10 <sup>12</sup> Poises	462°C a 356°C
Punto de deformación <sup>3</sup>	10 <sup>14</sup> Poises	427°C a 536°C

Otros productos que usan este vidrio son los manómetros para calderas, artefactos para laboratorio, bulbos para lámparas incandescentes, bombas centrífugas, impulsores, platos para hornear y cocinar, espejos de telescopios grandes.<sup>78</sup>

<sup>77</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, p. 174

<sup>78</sup> Manual del vidrio en la construcción, pág. 53

La resistencia mecánica de los vidrios es mayor que la que se suele usar en el diseño, ya que tiene por lo general pequeñas deformaciones en la superficie que hacen que se concentren esfuerzos en esos puntos produciendo la falla de este material. Los vidrios templados de borosilicato o los reforzados térmicamente el esfuerzo de diseño es de 2000 a 4000 psi.

**La rigidez** de los borosilicatos varía entre un tipo de vidrio y otro, por ejemplo en los transmisores del ultravioleta tienen un bajo módulo de Young (7.2 x 10<sup>6</sup> psi), mientras que los selladores lo tienen alto (9.2 x 10<sup>6</sup> psi)

**Dureza:** La dureza del vidrio se mide por métodos particulares, diferentes a otros tipos de materiales sólidos. Se valora en este caso la dureza al rayado, al esmerilado y la abrasión y la dureza a la penetración.

La dureza de los vidrios en la escala de Mohs, está entre la apatita (5) y el cuarzo (7); y entre los materiales que hay para rayarlos están el ágata, el carburo de silicio, el acero duro, el esmeril entre otros.

Dureza al esmerilado y la abrasión se relaciona con la cantidad de volumen de vidrio removido. La dureza mecánica varía entre 1.47 y 1.52 para los vidrios del tipo de baja pérdida eléctrica y de baja expansión térmica respectivamente.

### PROPIEDADES TÉRMICAS:

**Calor específico:** los borosilicatos tienen valores altos de calor específico

**La conductividad térmica** de todos los tipos de vidrio caen al tiempo que disminuye la temperatura.

**La difusividad térmica** del vidrio de borosilicato de baja expansión a temperatura ambiente es de 0.007 cm<sup>2</sup>/s, a valores de 399°C, la temperatura disminuye un 8 a 10%.

**Resistencia al choque térmico:** varía en los borosilicatos entre 107 a 159°C para secciones delgadas y para las gruesas entre 53.5 a 82°C.



## PROPIEDADES ELÉCTRICAS

Los usos a los que es sometido este tipo de vidrio, hablan de la resistencia de este material a temperaturas elevadas y de su función como material aislante, debido a que la resistencia dieléctrica de los vidrios de borosilicatos es alta, mayor a 9000 kV/cm.

## RESISTENCIA A LA CORROSIÓN:

De los vidrios de borosilicato el más resistente a la corrosión es el de baja expansión, sobre todo a sustancias ácidas y neutras.

## PROPIEDADES ÓPTICAS:

"El índice de refracción de los vidrios de borosilicato va desde 1.469 (del tipo de baja pérdida eléctrica) hasta 1.487 (del tipo sellador). Estos materiales conducen alrededor del 90% de la luz visible y casi nada de la luz ultravioleta o infrarroja."<sup>79</sup>

## El vidrio de Sílice

Es de los vidrios de mayor Interés técnico, constituido sólo por SiO<sub>2</sub>, y conocido con el nombre de Vidrio de cuarzo.

La sílice vítrea tiene buenas propiedades mecánicas debido a la propagación tridimensional de las unidades tetraédricas que la conforman, pero tiene una desventaja y es su alto punto de fusión para su elaboración y la viscosidad que presenta. Se pueden agregar óxidos para su reblandecimiento pero producen una rotura en la red de la sílice, ya que se introduce el oxígeno adicional dentro del enlace Si-O-Si, evitando el contacto directo de los silicios. De esta manera dos oxígenos no puente se unen a un solo átomo de silicio, creando una discontinuidad reticular.

Entre más se debilite la red, se puede obtener una menor temperatura de fusión, se debilita la resistencia mecánica produciéndose un aumento en el coeficiente de la dilatación térmica, baja la resistencia al

choque térmico y aumenta las probabilidades de desvitrificación.<sup>80</sup>

Es el vidrio más duro que hay razón por la cual es utilizado en objetos de laboratorio y elementos que van a ser sometidos a altas temperaturas, el vidrio Pyrex es producido con altas cantidades de sílice. El contenido de sílice es aproximadamente del 96% de su composición total. Su coeficiente de expansión térmica es muy bajo, lo que lo hace resistente al choque térmico. Comercialmente este vidrio es conocido con el nombre de Vicor, su composición química es la siguiente: SiO<sub>2</sub> (96%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1%), B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3%)<sup>81</sup>

## POR SUS CARACTERÍSTICAS

Podemos encontrar otra forma de clasificación de este material, la cual depende de las funciones que cumpla el vidrio por sus características especiales.

De esta manera podemos clasificar los vidrios en aislantes, de seguridad, contra fuego, etc. Este tema se manejará en el capítulo siguiente.

<sup>79</sup> Tomado de Manual del vidrio en la construcción, p. 68

<sup>80</sup> El vidrio, José María Fernández, pág. 94

<sup>81</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, p. 174

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## capítulo 4

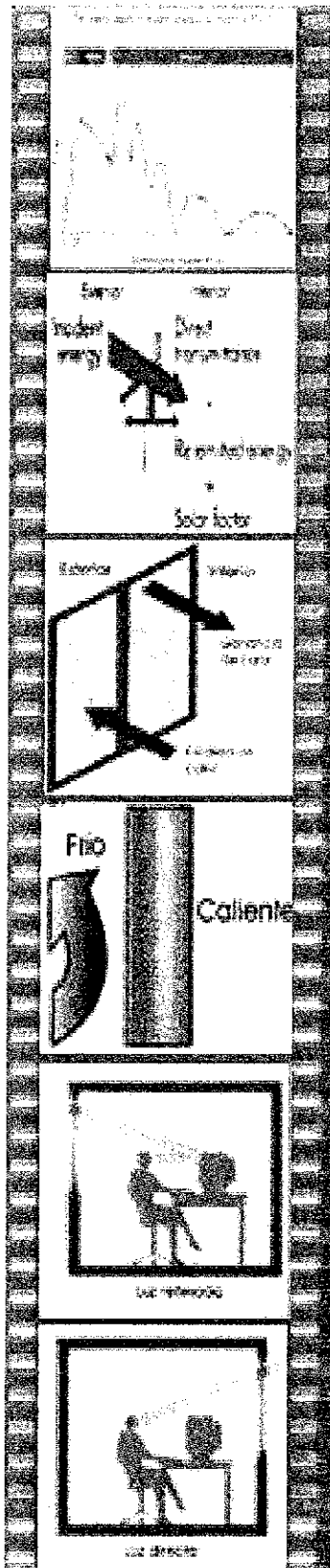
### El vidrio:

envolvente arquitectónica  
transparente y controlable.

*"Vivimos en la mayoría de los casos en espacios cerrados. Esto forma el entorno del cual nuestra cultura ha crecido. Nuestra cultura es en cierta forma un producto de la arquitectura. Si nosotros queremos llevar nuestra cultura a niveles más altos, entonces probablemente de manera forzosa deberemos transformar nuestra arquitectura. Y eso podrá ser para nosotros posible, si nuestros espacios en los cuales vivimos, los liberamos de sus límites. Pero esto lo podremos introducir a través de la arquitectura del vidrio, en donde los rayos del sol y la luz de la luna y las estrellas se introduzcan no solamente a través de un par de ventanas en el espacio, sino también a través de todos los muros, los cuales son de vidrio y mejor aún si los vidrios son de colores.. El nuevo entorno, que nosotros mismos construimos a través de ello, deberá traernos una nueva cultura."*

Paul Scheerbar, *Glass Architecture*, 1914

En este capítulo se verán las posibilidades de clasificación de los vidrios por sus características y se estudiará el caso específico de la protección térmica.



## 4.1 Aplicación del vidrio en la construcción

Para proponer un vidrio específico en un proyecto se deben conocer las necesidades que va a cubrir este material como elemento integrante de la envolvente del edificio. El vidrio es una herramienta para el arquitecto, y como tal debe saber manejarlo.

El vidrio permite manejar la luz en el interior de los espacios e integrarlos con el exterior. Para proyectar un edificio que cumpla con las expectativas del cliente hay que considerar el entorno: hay que tener en cuenta la incidencia del sol en las fachadas y su orientación, ya que se deben hacer diferentes manejos si la fachada es sur, norte, este u oeste; la distribución interior de los espacios; donde van a permanecer más tiempo las personas; La cercanía de elementos exteriores altos que interrumpan la entrada de los rayos del sol y la visibilidad; el uso al que va a ser destinado el edificio (residencial, laboral, industrial, comercial, etc.); las características del vidrio y las funciones que él va a cumplir (Ahorro interior de energía), si los vidrios se van a manejar fijos o móviles y si es así de que manera, ya que se pueden lograr efectos con la luz y direccionarla a ciertos espacios.



Luz minimizada



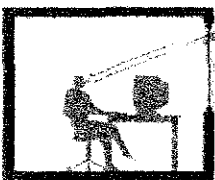
Sin vidrio

100 %



Vidrio fijo

80 %



Luz directa



ventana abre

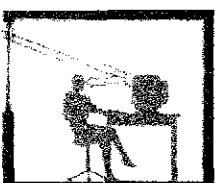
55 %



Barros gregorianas

45 %

Porcentaje de transparencia de la ventana



Luz reflejada



Altura de los vanos

Con el vidrio podemos crear un "cobijo transparente", siendo este material, la barrera entre el interior y el exterior. El edificio con este material deja de interiorizarse totalmente, de negarse al exterior, permitiéndonos formar parte integral del entorno, en donde el paisaje "entra" a la edificación, tal como lo soñaba Paul Scheerbar<sup>1</sup> – "Precursor de la Arquitectura del vidrio"<sup>2</sup>. Del diseñador depende que tanto "entre" el exterior al edificio, ya que pueden utilizarse vidrios especiales que filtren los rayos solares, la ganancia de calor, los ruidos, tamizar la visión con vidrios decorativos, incluso vidrios de protección para evitar que entren objetos o personas no deseadas.

Para esto hay varios tipos de vidrios, que podemos clasificar por su utilización:

### 4.1.1 TIPOS DE VIDRIOS SEGÚN SU USO:

Hay varios tipos de vidrios según las posibilidades de uso que ofrecen, como son el vidrio aislante, de protección solar, aislamiento térmico, aislamiento acústico, el vidrio de seguridad, el vidrio decorativo, protección de incendios, etc. En esta investigación tomaremos en cuenta sólo los vidrios de protección solar y aislamiento térmico. Para lograr darle una aplicación determinada al vidrio, es necesario darle un proceso de producción específico.

El vidrio base, que sería el vidrio de partida, puede ser claro o de color<sup>3</sup>, para darle condiciones especiales, el vidrio es transformado:

**1. Vidrio reflectivo:** Lo hay de dos formas:

- Magnetron o capa suave por ionización.
- Pirofítico, o capa dura. Se usa para el control solar

**2. Vidrio de Baja emisividad (Low-E):** los hay de dos formas:

- Magnetron o capa suave por ionización.

<sup>1</sup> Ver Biografía, anexos biografías

<sup>2</sup> Renato de Fusco, Historia de la Arquitectura contemporánea, pág. 250

<sup>3</sup> El vidrio de color se conoce con diferentes nombres comerciales dependiendo de la compañía: En Saint-Gobain Glass es el Parsol el cual viene en 4 colores: Bronce, Gris, Rosado y Verde, y en Vitro Vidrio Plano (VVP), es el tintes cuando se trata de color verde o el Cristazul cuando se trata de color azul.

**Aspectos a considerar en el diseño.** Imágenes tomadas de Glass guide, Saint Gobain Glass, p. 10, 13

b) Pirofítico, o capa dura. Se usa para el control solar y térmico

**3. Vidrios laminados: (Stadip),** se usa para protección, y control del sonido.

**4. Insulados o vidrios dobles:** En Saint Gobain se conocen como Climalit y en Vitro como Duovent. Se usa para control térmico y acústico.

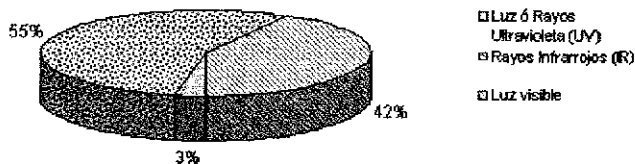
Vamos a profundizar en el control solar y térmico, y describiremos algunos tipos de vidrio según la transformación a la que haya sido sometido.

#### 4.1.2 CONTROL SOLAR

En el exterior de un edificio pueden tenerse altas temperaturas, según el clima y la incidencia de los rayos del sol, mientras podemos estar buscando bloquear este calor en el interior.

El paso del calor se debe a que éste pasa de la superficie más caliente a la superficie más fría. Para evitar esto requeriríamos de un vidrio que permita el paso de la luz, sin ganancia de calor en el interior.

Es importante conocer la incidencia de los rayos solares para determinar el tipo de vidrio a utilizar, y por supuesto para sacar un análisis provechoso de los rayos del sol, necesitamos entender la composición del espectro solar, y tener claro de que nos queremos resguardar.



El espectro solar es lo que comúnmente conocemos como luz solar, la cual está compuesta por:

3% Luz ó Rayos Ultravioleta (UV)

55% Rayos Infrarrojos (IR)

42% Luz visible

Cada una de estas tres partes del espectro solar tienen una longitud de onda, la cual se mide en nanómetros ( $1 \times 10^{-9}$  metros)

**Rayos Ultravioletas:** No son visibles al ojo humano, y su longitud de onda oscila entre 0.28 a 0.38 nanómetros. La sobre exposición a estos rayos produce cambios en el color de los tejidos y deterioro del plástico, ya que a través de estos rayos que se producen las quemaduras de sol.

Los Rayos Ultravioletas son los principales responsables del cambio de color en los materiales cuando se exponen a los rayos del sol y se incrementa la temperatura, al debilitarse los enlaces moleculares de los pigmentos por reacciones fotoquímicas. Este deterioro del color es más frecuente en los pigmentos de base orgánica, ya que sus enlaces son más débiles que los de los pigmentos minerales.

**Rayos Infrarrojos:** Tampoco son visibles al ojo humano, su longitud de onda está entre 0.78 a 2.5 nanómetros. Tiene un efecto térmico a la penetración ya que al traspasar un objeto se convierte en calor, siendo los causantes de esta sensación térmica.

**Luz Visible, ó luz de día:** Es la porción del espectro solar que es captada por el ojo humano al ser combinadas la longitud de onda con el ojo, se produce el efecto de la visión. Su longitud de onda está entre los 0.38 y 0.78 nanómetros.

El Espectro de radiación solar según EN 410

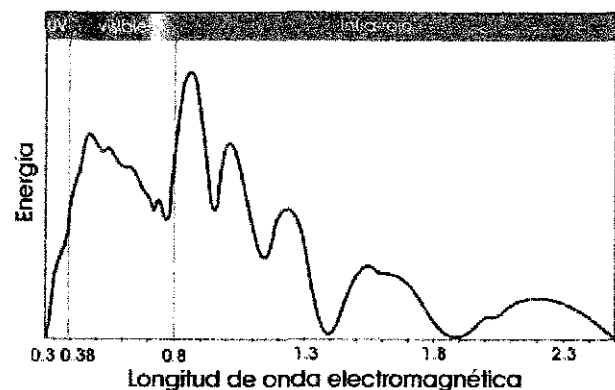


Imagen tomada de Glass Guide, Saint Gobain Glass, Edition 2000, pág. 17

Cuando la energía solar se encuentra con el vidrio, parte es reflejada, absorbida o transmitida, formando el 100% del espectro solar, lo cual se refiere a las

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

propiedades espectrofotométricas<sup>4</sup> del vidrio. Esto varía dependiendo de las características del vidrio, si tiene alguna película especial que lo recubre, de su espesor, del color, etc.

### Propiedades Espectrofotométricas:

Cuando la radiación solar toca el vidrio, se divide siendo parte reflejada, parte absorbida y parte transmitida. Cada una de estas partes tienen un radio que definen los factores respectivos, es decir, factor de reflectancia, factor de absorptancia y factor de transmitancia. Estos factores son diferentes de acuerdo al vidrio, incidiendo en la curva espectral del mismo.

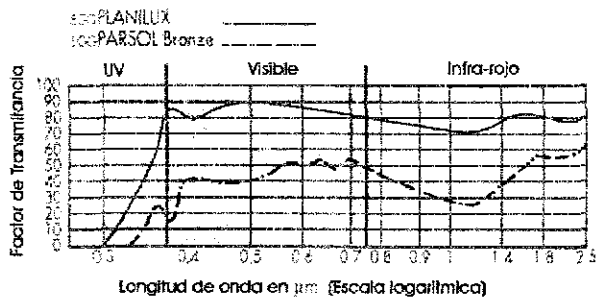


Imagen tomada de Glass Guide, Saint Gobain Glass, Edition 2000, p. 18

Así mismo, se presentan no sólo factores referentes al calor solar, sino también factor de transmitancia de luz, y factor de reflectancia de luz.

Tomemos en consideración el siguiente ejemplo tomado de [www.viracon.com](http://www.viracon.com):

Con un cuadro de vidrio claro de 3 mm (1/8") se transmite 83 por ciento de la energía solar, se refleja 8 por ciento y 9 por ciento es absorbida por el vidrio.

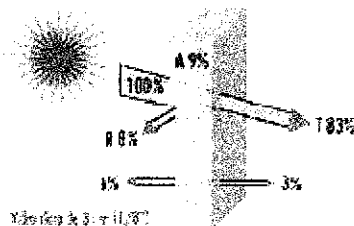
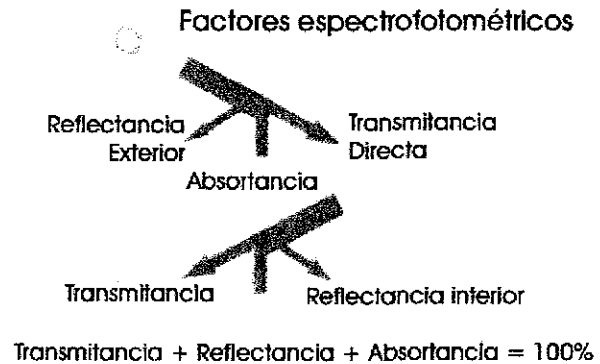


Imagen tomada de [www.viracon.com](http://www.viracon.com), vidrios aislantes, figura 1.

<sup>4</sup> El término Propiedades espectrofotométricas, se refiere a la reflectancia, transmitancia y absorptancia de la energía y calor radiante, que tiene el vidrio, según el manual del vidrio de Saint-Gobain, edición 2000, pág. 508.



$$\text{Transmitancia} + \text{Reflectancia} + \text{Absortancia} = 100\%$$

### Factores de calor solar radiante

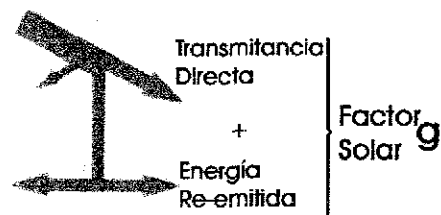


Imagen tomada de Glass Guide, Saint Gobain Glass, Edition 2000, p. 523

**FACTOR SOLAR**, valor g o Ecuación RAT de un vidrio es el porcentaje de la radiación solar total que entra al espacio interior a través del vidrio. Es la suma del calor solar que pasa al interior por transmitancia directa y la proporción de la energía absorbida y reemitida por el vidrio a través del vidrio.

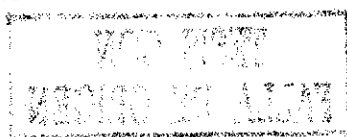
### 4.1.3 AISLAMIENTO TÉRMICO

#### INTERCAMBIO DE CALOR

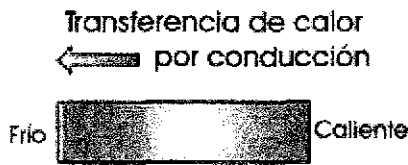
Una superficie determinada puede intercambiar calor con el aire<sup>5</sup> por diferentes formas como son, la Conducción, la Convección, y la Radiación, y depende de la velocidad de los vientos, de la temperatura y los niveles de emisividad<sup>6</sup> del vidrio.

<sup>5</sup> El calor siempre se mueve de las zonas más calientes a las zonas más frías

<sup>6</sup> La emisividad va relacionada con las características del vidrio en sí, a menor emisividad, menor transmisión del calor.

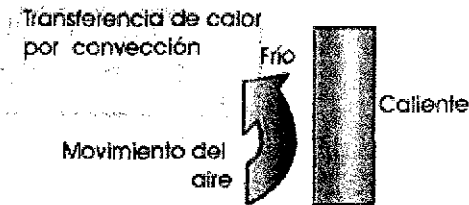


**Conducción:** Es la transferencia de calor en un cuerpo o dos cuerpos en contacto directo.



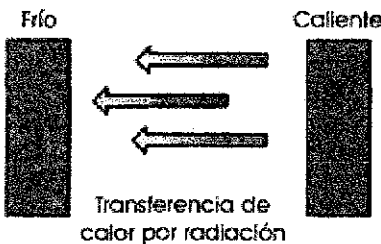
Imágen tomada de Glass Guide, Saint Gobain Glass, Edition 2000, p. 23

**Convección:** Es la transferencia de calor entre la superficie de un sólido y un líquido o gas.



Imágen tomada de Glass Guide, Saint Gobain Glass, Edition 2000, p. 23

**Radiación:** Es la transferencia de calor por radiación entre dos cuerpos de diferente temperatura. A temperatura ambiente, esta radiación toma lugar en la banda infrarroja del espectro en ondas sobre 5um.



Imágen tomada de Glass Guide, Saint Gobain Glass, Edition 2000, p. 23

La transferencia de calor se caracteriza por intercambios externos ( $h_e$ ) y por intercambios internos ( $h_i$ )<sup>7</sup>

$$h_e = 23 \text{ W/(m}^2\cdot\text{k)}$$

$$h_i = 8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{k)}$$

La transmisión de calor a través de una superficie por conducción, convección y radiación se expresa por su valor U.

<sup>7</sup> Tomado de Glass Guide Saint Gobain Glass, edition 2000, p. 24

## Valor U

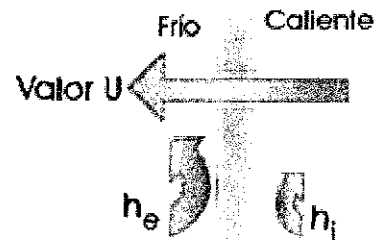
Es la medida de ganancia o pérdida de calor a través de un vidrio, por la diferencia de temperatura interior y exterior. "Es la cantidad de calor en Bru ( $\text{W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$ ) que atraviesa un área de ventana de  $0.0929 \text{ m}^2$  por hora por  $^\circ\text{C}$  de diferencia de temperatura entre el aire interior y el exterior."<sup>8</sup>

Las unidades del Valor U son las siguientes:

- Sistema métrico:  $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{K})$
- Sistema Inglés:  $\text{BTU}/(\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})$

"Para hacer la conversión del sistema inglés al métrico se multiplica el valor U inglés por 5.6783."<sup>9</sup>

Entre más bajo el valor U, mayor la pérdida de calor.



Imágen tomada de Glass Guide, Saint Gobain Glass, Edition 2000, p. 24

El valor U de un vidrio varía de acuerdo a diferentes factores por su espesor, si es una lámina sencilla o doble, si tiene aire o gas en el interior.

El vidrio doble aporta mayor aislamiento térmico que los vidrios de hoja sencilla. Esto se debe a la cámara de aire que se encierra en su interior, reduciendo el intercambio de calor por convección<sup>10</sup> por la baja conductividad térmica del aire. En lugares donde se necesita acondicionar el aire para obtener un mayor confort térmico, es imperante considerar vidrios aislantes y complementos adicionales que disminuyan la ganancia de calor, como recubrimientos de baja emisividad.

<sup>8</sup> Tomado de Materiales para construcción, pág. 919

<sup>9</sup> Tomado de www.viracon.com

<sup>10</sup> Saint Gobain Glass, Glass Guide, Edition 2000, pág. 24



Es importante mejorar el valor U de los vidrios, ya que entre menor sea el valor U, menor es la pérdida de calor; y la forma de hacerlo es reducir la transferencia de calor por conducción, radiación y convección.

## Valor R

“La resistencia térmica se expresa en  $\text{ft}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{F} / \text{BTU}$ . Es el valor recíproco de U. Mientras más alto es el valor R, menos calor se transmite a través del material de envidriado.”<sup>11</sup>

Para el aislamiento térmico volvemos a tener en cuenta el factor solar que mencionamos al hablar de la protección solar, ya que por la transparencia de este material, entra fácilmente el calor solar al interior del espacio.

ENTRE MÁS BAJO SEA EL FACTOR SOLAR, MÁS BAJA ES LA GANANCIA DE CALOR, lo que hace que en verano haya mayor confort interior.

A través de las ventanas se puede tanto perder como ganar calor, y se mide a través del valor U y el factor solar respectivamente.

Debe existir un balance de energía, el cual se refiere a la pérdida de calor menos la ganancia de calor solar, en dado caso en que la ganancia de calor sea mayor, da un balance negativo, con sus respectivas consecuencias en el interior del edificio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tipo de vidrio	Espesor		Espacio de aire		Valores R	Valores U	
	Pulg	mm	Pulg	mm		Btu/ft <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> ·°C
Hoja Sencilla de vidrio flotado	1/8	3.175	Nada		0.877	1.14	6.47
	1/4	6.350	Nada		0.892	1.12	6.36
Vidrio flotado con un espacio de aire	1/8	3.175	1/4	6.350	1.667	0.60	3.41
	1/8	3.175	1/2	12.700	1.818	0.55	3.12
	1/4	6.350	1/4	6.350	1.667	0.60	3.41
	1/4	6.350	1/2	12.700	1.818	0.55	3.12
Vidrio flotado con dos espacios de aire sello de metal a vidrio	1/4	6.350	1/4	6.350	2.174	0.46	2.41
Vidrio flotado con dos espacios de aire sello de vidrio a vidrio	1/8	3.175	3/16	4.763	1.852	0.54	3.07

Tabla tomada de *Materiales para construcción: Tipos, usos y aplicaciones, Hornbostel, p. 919*

**Coefficiente de sombra:** Es la ganancia de calor solar a través del vidrio determinado en relación a la ganancia de calor solar a través de una hoja de vidrio claro de 3 mm, bajo condiciones iguales. A menor coeficiente de sombra, menor ganancia de calor.

**Caras de los vidrios:** constantemente en el transcurso de este capítulo se hará mención a las caras del vidrio, por tal motivo se anexa esta gráfica explicativa:

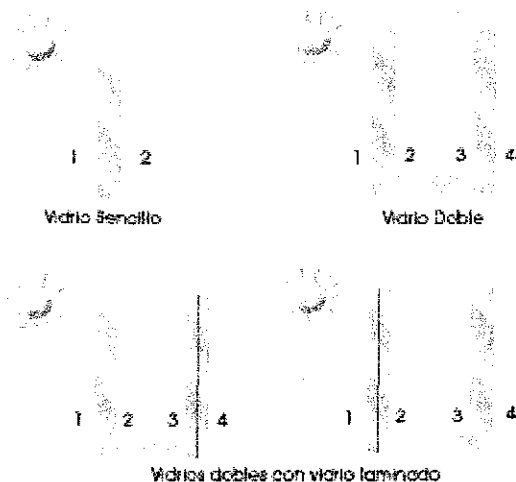


Imagen basada de gráfica de *Glass Guide, Saint Gobain Glass, Edition 2000, p. 523*

<sup>11</sup> Tomado de [www.viracon.com](http://www.viracon.com)

La protección solar se puede lograr de dos formas:

- Vidrios Tintados o coloreados
- Vidrios reflectivos

**4.1.4 Vidrios tintados o coloreados** (parsol en Saint Gobain y Tintex o Cristazul en Vitro Vidrio Plano): Esta forma no es muy efectiva, ya que aunque la transmisión directa de energía solar es menor, la absorción aumenta debido a la pigmentación de los vidrios por óxidos metálicos.

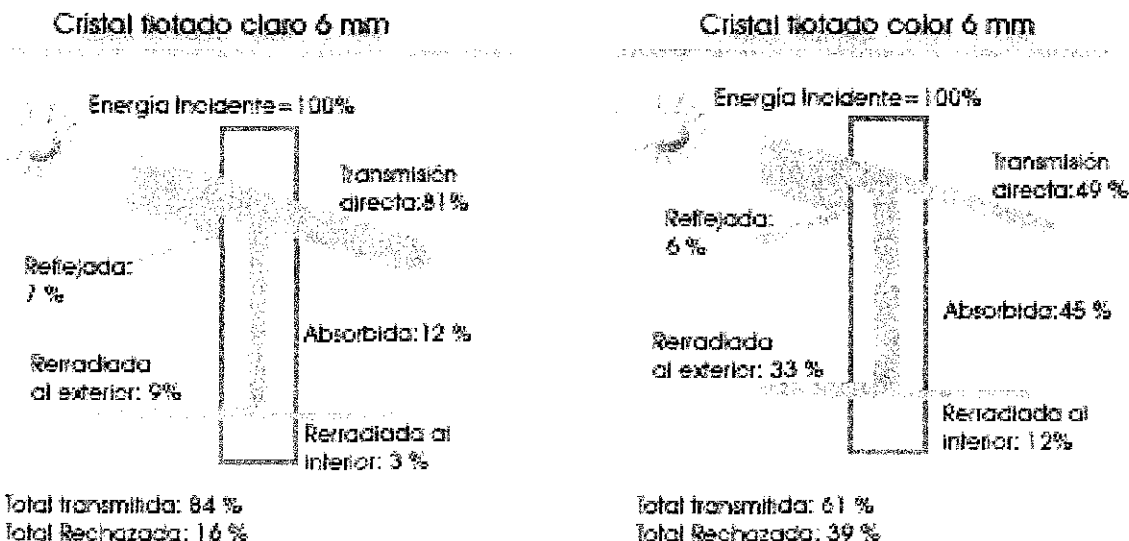


Imagen basada en gráfica de Revista Obras N°350, Febrero 2002, pág. 70

Tipo de vidrio	Espesor (mm)	Tolerancia Espesor	Tamaño máx. (mm) ± 5	Peso (Kg/m <sup>2</sup> )	LT (%)	LRE (%)	LRI (%)	Factor Solar (g)	Valor U (W/m <sup>2</sup> .k)
Flotado con Tinte Bronce	4	± 0.2 mm	6000 x 3210	10	61	6	6	0.69	5.8
	5	± 0.2 mm	6000 x 3210	12.5	55	6	6	0.65	5.8
	6	± 0.2 mm	6000 x 3210	15	49	5	5	0.61	5.7
	8	± 0.3 mm	6000 x 3210	20	40	5	5	0.54	5.7
	10	± 0.3 mm	6000 x 3210	25	33	5	5	0.49	5.6
Flotado con Tinte Gris	4	± 0.2 mm	6000 x 3210	10	54	6	6	0.66	5.8
	5	± 0.2 mm	6000 x 3210	12.5	47	5	5	0.61	5.8
	6	± 0.2 mm	6000 x 3210	15	41	5	5	0.57	5.7
	8	± 0.3 mm	6000 x 3210	20	32	5	5	0.51	5.7
	10	± 0.3 mm	6000 x 3210	25	24	5	5	0.45	5.6
Flotado con Tinte Rosa	4	± 0.2 mm	6000 x 3210	10	76	7	7	0.8	5.8
	5	± 0.2 mm	6000 x 3210	12.5	73	7	7	0.78	5.8
	6	± 0.2 mm	6000 x 3210	15	70	7	7	0.76	5.7
	8	± 0.3 mm	6000 x 3210	20	64	6	6	0.72	5.7
	10	± 0.3 mm	6000 x 3210	25	59	6	6	0.68	5.6
Flotado con Tinte Verde	4	± 0.2 mm	6000 x 3210	10	79	7	7	0.64	5.8
	5	± 0.2 mm	6000 x 3210	12.5	76	7	7	0.6	5.8
	6	± 0.2 mm	6000 x 3210	15	73	7	7	0.57	5.7
	8	± 0.3 mm	6000 x 3210	20	68	6	6	0.51	5.7
	10	± 0.3 mm	6000 x 3210	25	63	6	6	0.48	5.6

Datos tomados de Glass Guide, Saint Gobain, Vidrio Parsol, p. 68 y 534

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

#### 4.1.5 Vidrios reflectivos:

Los vidrios reflectivos se fabrican a partir del vidrio flotado transparente o tintado, luego se les aplica una película metálica delgada en una cara. Esta capa metálica se encarga de reflejar la luz solar, reduciendo consigo la ganancia de calor en el interior del edificio.

Su comportamiento es, en el día similar a un espejo, reflejando los alrededores, y por lo tanto bloqueando la visibilidad al interior del edificio; y en la noche se produce un efecto contrario, si las luces de los espacios interiores están encendidas, las personas que se encuentran dentro no van a poder ver hacia el exterior y desde afuera se va a ver todo el espacio interior.

Los recubrimientos metálicos dan un color dorado o plateado, que al colocarlos sobre vidrios tintados pueden dar diferentes opciones de colores.

Estos vidrios, al igual que los vidrios tintados, tienen un coeficiente de dilatación mayor lo que debe considerarse en el momento de la instalación para darle las holguras correspondientes.

Encontramos vidrios reflectivos de dos tipos:

- Tipo 1: De Capa suave o magnetrónica
- Tipo 2: De Capa dura o pirolítica (también llamada caliente, por su proceso de aplicación)

##### 4.1.5.1 Tipo 1 (De Capa suave o magnetrónica)

Consiste en el depósito de óxidos metálicos en la superficie de la hoja de vidrio por medio de pulverización catódica al alto vacío en un magnetrón, que puede depositarse en vidrio claro o de color.

A principios de los años 70 se desarrolló el cátodo de bombardeo iónico de magnetrón planar, para la aplicación de estas capas metálicas.

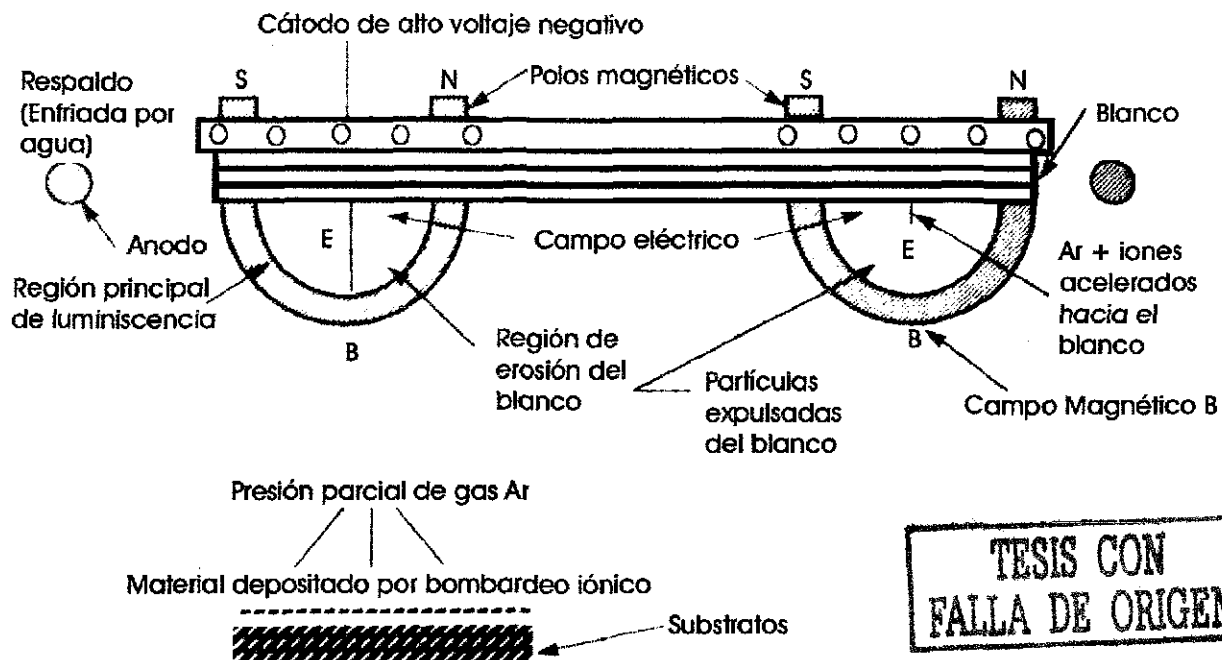


Imagen tomada de "Manual del vidrio en la construcción", Joseph S. Amstock, p. 364

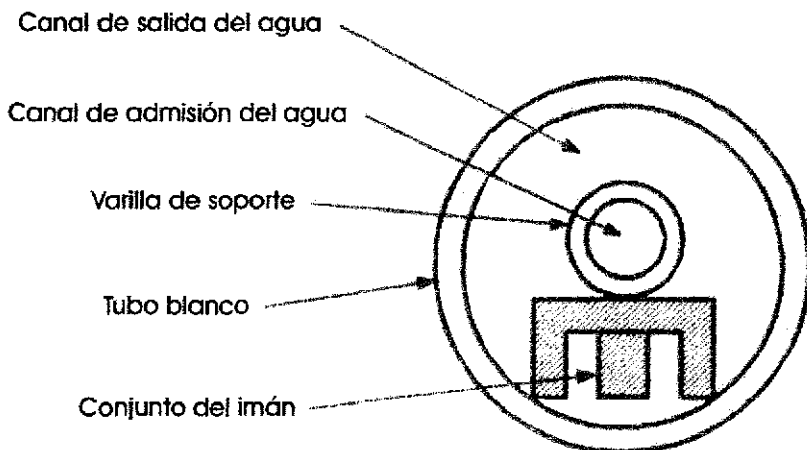
"La innovación clave que hizo que el depósito con metalizado por bombardeo iónico resultara un proceso económico fue el uso de campos magnéticos para confinar el plasma de los iones del gas de relleno y los electrones cerca de las superficies del blanco... El

magnetrón planar tuvo un éxito extremo en hacer posible el depósito de películas metálicas y de muchos compuestos reactivos útiles. Sin embargo, la configuración geométrica planar del cátodo del magnetrón dio por resultado algunas limitaciones significativas en el proceso, en especial por el depósito

reactivo de materiales intensamente aislantes. Debido a que la zona de erosión se ubica en un patrón anula, las áreas que están fuera del anillo no son bombardeadas por iones y pueden desarrollar compuestos reactivos aislantes, cuando los materiales se bombardean en nitrógeno u oxígeno.”<sup>12</sup>

En 1989, BOC Coating Technology modificó el problema que se presentaba con el magnetron planar al introducir el cátodo cilíndrico giratorio para magnetron, o cátodo C-MAC. Eliminando con este sistema la posibilidad de generar capas reactivas.

Por esta razón no se deben aplicar en compuestos aislantes como el óxido o el nitruro de silicio.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Imagen tomada de "Manual del vidrio en la construcción", Joseph S. Amstock, p. 366

Como ejemplo de este tipo de vidrio tenemos el Cool-Lite, Cool-Lite K, Cool-Lite SK de Saint Gobain, y el airco de Vitro Vidrio Plano. Estos tipos de vidrio no se pueden templar ya que la capa metálica es depositada en frío, el vidrio Cool Lite SS108, resiste el templado. En caso de utilizar estos vidrios en vidrios laminados, debe colocarse en la cara 1 del vidrio, ya que estando en la capa 2, se deteriora con el PVB.

### **Cool-Lite :** (Saint Gobain Glass)

Este tipo de vidrio se puede conseguir de diferentes colores (Plata, titanium, bronce, cromo, azul verdoso, azul pastel, rosado y gris

Este vidrio puede usarse en vidrios laminados o vidrios dobles, y también en vidrios templados en cuyo caso se debe templar antes de hacer el proceso de depósito de óxidos metálicos en la superficie de la lámina del vidrio.

### **Características:**

- . Asegura un buen Control solar, por el bajo factor solar que provee.
- . Apariencia estética.
- . La baja transmitancia de luz permite lograr un confort visual.

<sup>12</sup> Manual del vidrio en la construcción, pág. 364-365

COOL LITE	Plata SS 108	Cromo	Gris Natural SR 132	Azul TB 130	Azul pastel PB-108 H	Verde SC 414	Aguamarina TB 430
<b>Espesor (mm)</b>	6	6	6	6	6	6	6
<b>Peso (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	15	15	15	15	15	15	15
<b>LT (%)</b>	8	14	32	30	8	12	25
<b>LRE (%)</b>	42	30	13	16	30	22	13
<b>LRI (%)</b>	37	40	26	29	41	40	29
<b>Factores de calor solar radiante</b>							
<b>T</b>	6	13	30	23	8	7	13
<b>RE</b>	37	25	11	17	25	13	9
<b>RI</b>	46	41	26	34	46	41	33
<b>A</b>	57	62	59	60	67	80	78
<b>Factor Solar (g)</b>	0.18	0.27	0.44	0.37	0.27	0.19	0.31
<b>Coefficiente de sombra</b>	0.2	0.31	0.51	0.42	0.32	0.22	0.36
<b>Valor U (W/m<sup>2</sup>.k)</b>	4.4	5	5.5	5.1	4.9	4.4	5.1

Tabla tomada de Glass Guide, Saint Gobain, Vidrio Cool Lite, p. 528-532

#### 4.1.5.2 Tipo 2 (De Capa dura o pirolítica)

Consiste en el depósito de una capa metálica muy delgada cuando el vidrio aún está caliente, aplicándose en el momento exacto en que sale de la máquina de flotado, y está a una temperatura de 800°C aproximadamente.

Se pueden templar sin que se afecte la capa metálica.

Como ejemplos de estos tipos de vidrio en Saint-Gobain están los siguientes:

- Antelio
- Reflectasol
- Starelío

De estos tres enunciados sólo se describirá el Antelio:

### ANTELIO

Dependiendo de la cara del vidrio donde se coloque la capa metálica, se producen diferentes efectos visuales en la fachada, debido al reflejo que se produce de las imágenes en él.

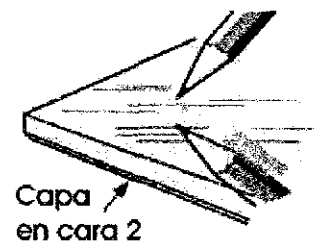
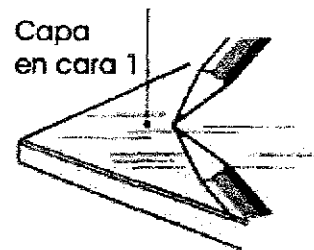


Imagen tomada de Glass Guide, Saint Gobain, p. 56

**En la cara 1:** La fachada se ve más reflectiva y uniforme en apariencia, produciendo reflejos de los alrededores muy nítidos.

**En la cara 2:** El reflejo que producen es más suave, y el color de la base del vidrio es más obvio.

ANTELIO	Plata		Claro		Esmeralda		Bronce	
	Capa Cara 1	Capa Cara 2	Capa Cara 1	Capa Cara 2	Capa Cara 1	Capa Cara 2	Capa Cara 1	Capa Cara 2
Espesor (mm)	6	6	6	6	6	6	6	6
Peso (Kg/m <sup>2</sup> )	15	15	15	15	15	15	15	15
LT (%)	67	67	47	47	54	54	24	24
LRE (%)	31	31	32	26	30	21	34	12
LRI (%)	31	31	26	32	21	30	12	34
<b>Factores de calor solar radiante</b>								
T	64	64	51	51	33	33	30	30
RE	25	23	26	19	23	12	27	10
RI	23	25	19	26	12	23	10	27
A	11	13	23	30	44	55	43	60
Factor Solar (g)	0.67	0.67	0.57	0.59	0.45	0.47	0.41	0.45
Coefficiente de sombra	0.77	0.77	0.66	0.68	0.51	0.55	0.47	0.52
Valor U (W/m <sup>2</sup> .K)	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7

Tabla tomada de Glass Guide, Saint Gobain, VidrioAntelio, p. 526

Como se puede apreciar en la tabla el Antelio se encuentra en diferentes colores: Plata, Claro, Esmeralda y bronce. Puede ser cortado, templado, curvado, laminado y ensamblado en unidades de doble vidrio.

Para efficientar el control térmico, a parte de la protección solar existen los vidrios de baja emisividad<sup>13</sup> o Low-E (Low Emissivity)

Hay dos tipos de vidrio de baja emisividad, los cuales se clasifican de la misma manera que los vidrios reflectivos que se acaban de exponer: Tipo I y Tipo II.

#### 4.1.6 VIDRIOS DE BAJA EMISIVIDAD:

El vidrio de baja emisividad (Low-E), consiste en un recubrimiento metálico muy delgado, sobre vidrio plano.

Estos recubrimientos combinan el control solar con el aislamiento térmico permitiendo una alta transmisión de luz visible.

Su recubrimiento superficial especial para reducir la transferencia de calor, refleja del 40 al 70% del calor que en vidrios transparentes es transmitida casi en su totalidad.

<sup>13</sup> Según Joseph Amstock en su libro manual del vidrio en la construcción, pág. 363, Estos recubrimientos se desarrollaron durante la segunda Guerra Mundial por la Pittsburg Plate Glass Company y el Mellon Institute, para drenar la electricidad estática de las pantallas de radar para efficientar su funcionamiento, mucho tiempo después se utilizaron para ventanas en construcción, aunque en un principio no fue muy aceptado ya que se presentaba una rápida decoloración del recubrimiento. Ya en la década de los 80 fue cuando se acentuó su utilización en la construcción.

4.1.6.1 TIPO I: El recubrimiento metálico se aplica por pulverización catódica al alto vacío. (Capa suave). Como ejemplos de este tipo de vidrios Saint-Gobain tiene entre otros, los siguientes:

- PLANISTAR
- PLANITHERM
- PLANITHERM FUTURE

Estos tres tipos solamente pueden usarse en ventanas con doble vidrio, por lo que no se expondrán las características particulares de estos.

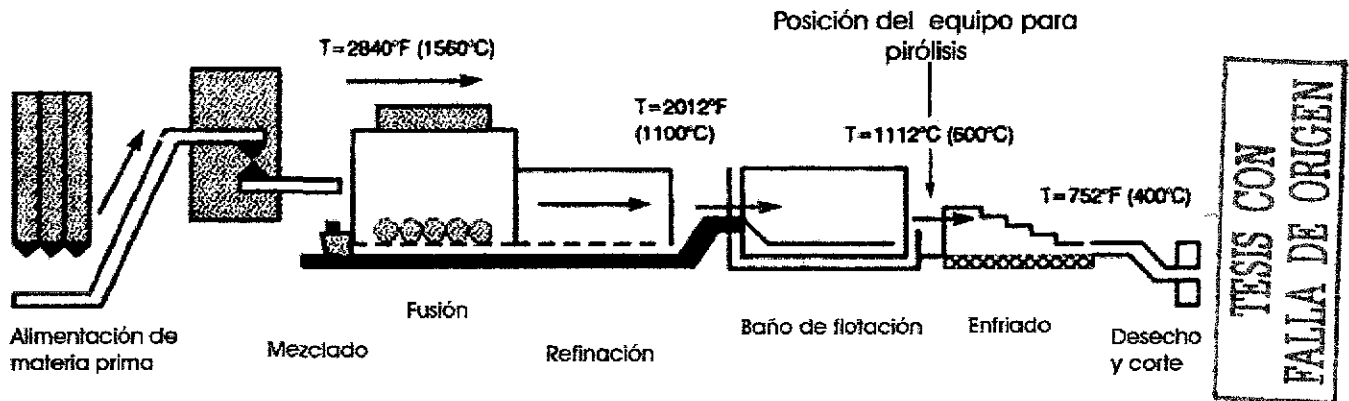
En los vidrios de baja emisividad del tipo I, las caras tratadas con capas metálicas son aplicadas por pulverización catódica al alto vacío. En vidrios dobles, para reducir la pérdida de calor, el recubrimiento Low-E suele aplicarse sobre la superficie número 3 del vidrio. Se coloca en la superficie número 2 para sacar la máxima reflectancia en la porción del infrarrojo del espectro solar.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Manual del vidrio en la construcción, pág. 367

**4.1.6.2 TIPO II:** El recubrimiento metálico se aplica por un proceso de pirólisis. (capa dura). Como ejemplo de este tipo de vidrios con recubrimiento de baja emisividad podemos citar las marca Eko y Eko Plus, de la empresa Saint-Gobain. Ambos pueden combinarse en vidrios dobles, laminados, templados, etc. para obtener diferentes funciones y optimizar sus características. Ejemplificaremos el Eko Plus más adelante cuando hablemos del encristalado doble.

Entre los materiales que se han utilizado en las capas metálicas para recubrimiento de baja emisividad encontramos: Plata, Aluminio, Oro entre Otros.

- **Aluminio:** Utilizado para encristalado reflector también tuvo una emisividad muy baja. Lo cual se tradujo en un valor de aislamiento superior al nivel de aislamiento ofrecido por los recubrimientos pirolíticos existentes. El problema es que se oxidaba, y se requería de colocar una sobrecapa para protegerlo de la corrosión, mermando su funcionamiento como reflector de los rayos solares.
- **Oro:** Se utilizó el oro en capas excesivamente delgadas para poder ser accesible económicamente, aunque no cuenta con un precio competitivo, por lo que su uso se restringe para edificios comerciales y de oficinas ya que el reflejo de luz es muy uniforme.



Equipo para pirólisis: Imagen tomada de *Manual del vidrio para la construcción*, p. 368

#### 4.1.7 VIDRIOS LAMINADOS:

En 1910, Edouard Benedictus<sup>15</sup>, Patentó un vidrio denominado Triplex, el cual era reforzado insertando una capa de material celuloide entre dos hojas de vidrio.<sup>16</sup>

En realidad no es un vidrio sino la unión de dos o más vidrios (como una especie de "Sándwich"), que se ensamblan utilizando un butilo ó plástico de butiral de Pilivinilo (PVB), que puede ser transparente o pigmentado y que se ligan después de pasar por una autoclave. Estos vidrios son utilizados principalmente para seguridad ya que en caso de que se quiebre una de las láminas, el vidrio no se desprende sino que continúa adherido al PVB, puede incluso proteger contra balas o vandalismo, y servir para atenuación acústica.

Las hojas de vidrio de que se componen los laminados pueden ser de diferentes espesores, con diferentes tipos de vidrio y diferente tratamiento térmico, y pueden ser parte de los vidrios dobles.

#### Proceso de fabricación de los vidrios laminados

Primero que todo es importante mantener muy limpias las superficies de los vidrios, libres de polvo, pelusas, etc. que puedan impedir una correcta adherencia del vidrio a la lámina de PVB, produciendo el posterior desprendimiento de las láminas.

Para asegurarse de una adecuada limpieza de las partes a unir, las láminas de vidrio se pasan por una lavadora, donde se lavan con agua de muy buena calidad<sup>17</sup>, pues tiene un efecto importante en el nivel de adhesión antes de que se le coloque la hoja de

<sup>17</sup> Se entiende como agua de muy buena calidad, a un agua de poca dureza, que tiene que ver con su contenido de sal. Una forma de evitar problemas de salinidad del agua, es utilizar agua desmineralizada o desionizada.

<sup>15</sup> Ver Biografía, en Anexos Biografías

<sup>16</sup> <http://www.glassonline.com/history.com>

butiral de polivinilo, colocación que se hace a su vez en un cuarto en donde se tiene un especial cuidado de que no se cueen partículas indeseables en el lugar donde se va a llevar a cabo el laminado, cuidado que se refleja incluso en el vestuario de las personas que van a manipular el vidrio durante el proceso. Este cuarto tiene algunas condiciones especiales para lograr estos requisitos de limpieza, tal como lo ilustra Joseph Amstock en su libro el manual del vidrio en la construcción (p. 92):

1. Puertas dobles en los accesos, las cuales operan estando una cerrada mientras la otra está abierta para que no se cueen partículas indeseables.
2. Presión positiva del aire.
3. Esteras y alfombras en los accesos para que recolecten el polvo.
4. Control de la temperatura, entre 13 y 18°C.
5. Control e la humedad relativa de tal forma que sea compatible con la humedad final deseada con una tolerancia de +- 2%.
6. Control de la entrada del personal, y que cuenten con vestiduras libres de hilachas, con guantes y redes para el pelo para evitar caída de cabellos.

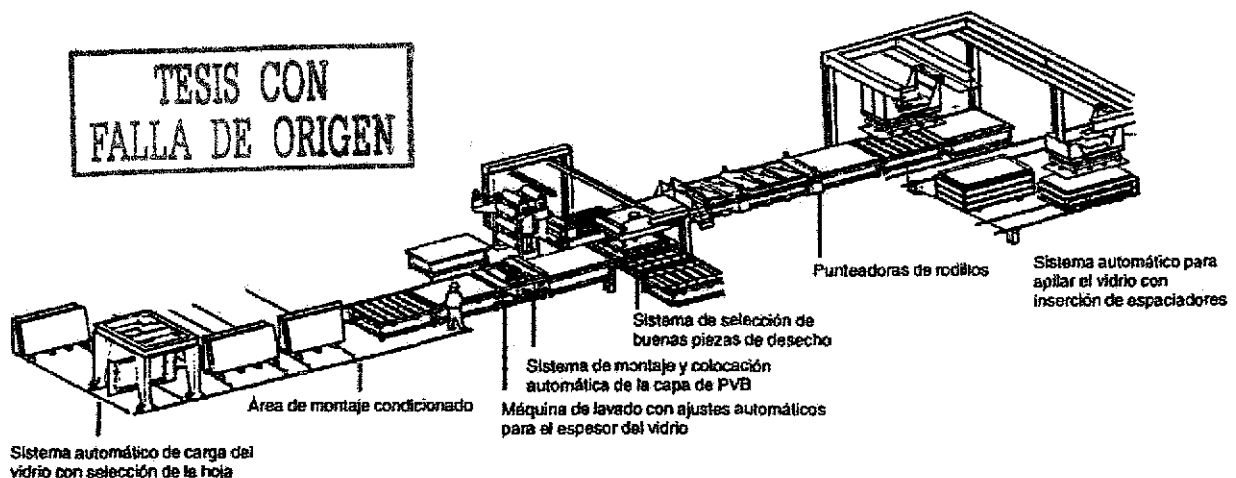
El PVB debe cortarse con una longitud mayor a la de la lámina de vidrio, para contrarrestar las posibles contracciones del material, dicha longitud varía de acuerdo al PVB utilizado. Así mismo debe considerarse la temperatura, (entre 13°C a 18°C, en su almacenamiento, para evitar que se peguen las láminas) y debe cubrirse con polietileno virgen, para evitar que

se pasen agentes antiadhesivos o antiestáticos, interrumpiendo el adecuado contacto de las láminas de vidrio y el PVB en su ensamble.

La temperatura del vidrio, cuando se utiliza una capa de PVB de 0.76 mm, debe ser aproximadamente entre los 21°C a los 41°C, de tal forma que favorezca la adhesión evitando el deslizamiento de las láminas de vidrio; para espesores de 0.38 mm, se recomienda una temperatura inferior a 35°C. Si la temperatura se eleva puede arrugar la lámina de PVB, o provocar un sellado prematuro de los bordes, encerrando burbujas de aire en el laminado final.

Posteriormente se recorta el PVB del tamaño de la lámina de vidrio, sin estirarlo, ya que puede generar cambios en el espesor de la capa, provocando desprendimiento de la lámina de vidrio. Finalmente se pasa por una autoclave que es como una especie de olla a presión a una temperatura de 140°C y a 10 atmósferas, donde sale el aire atrapado entre las láminas de vidrio y el PVB y se produce el sellado final de las láminas.

Este proceso de laminación puede utilizarse en diferentes tipos de vidrio: Plano normal, con color, Templados, serigrafados, reforzado con alambre, con tratamiento térmico y combinarse en las hojas de vidrio utilizadas. Así mismo puede tener diferentes espesores., dependiendo de la capa de vidrios y PVB se logran diferentes tipos de protección.

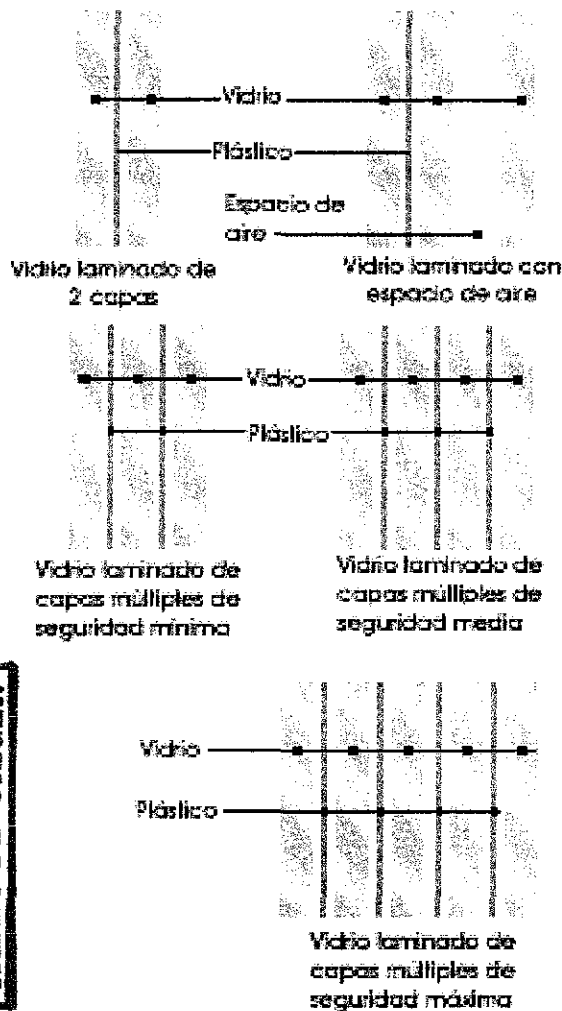


PROCESO DE LAMINACIÓN DEL VIDRIO: Imagen tomada del Manual de Vidrio para la Construcción, Joseph Amstock, p. 84



Básicamente se utilizan tres tipos de vidrios laminados en la construcción:

1. Vidrio de laminado de seguridad.
2. Vidrio laminado de seguridad insulado (con espacio intermedio de aire o gas)
3. Vidrio laminado a prueba de balas.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Imagen basada de gráfica de *Materiales para Construcción: tipos, usos y aplicaciones*, p. 958

**Vidrio laminado de seguridad:** Puede tener las variaciones de vidrio para cualquier vidrio laminado (templado, de color, serigrafiado, etc.), y su capa de PVB también puede ser pigmentada o transparente. El uso de este vidrio es básicamente de protección,

se debe utilizar sobre todo en lugares con alta posibilidad de riesgo de rotura por impacto, para evitar que el vidrio se rompa y salga en pedazos produciendo accidentes a las personas que están cerca.

**Vidrio laminado de seguridad insulado:** se puede también combinar el vidrio en la cara correspondiente al laminado y utilizar otro tipo de vidrio en la otra cara, dejando un espacio intermedio de aire o gas. Este tipo de vidrio se detallará en vidrios dobles o múltiples.

**Vidrios laminado a prueba de balas:** Este tipo de vidrio, se usa en lugares expuestos a robo, al vandalismo, en muros que separan áreas donde se realizan trabajos industriales de alta accidentalidad, en bancos y en general en lugares donde se requieren áreas cerradas con visibilidad y protección.

En el proyecto de norma mexicana PROY-NOM-000-SCFI-2000, los vidrios de seguridad, los clasifican en dos clases:

- Clase I: Vidrio templado
- Clase II: Vidrio inastillabel

En esta norma definen el vidrio de seguridad como "aquel que reduce el riesgo de sufrir cortaduras o lesiones que pongan en peligro la integridad física de una persona, derivadas de que al romperse, sus fragmentos puedan estar en contacto con ésta".<sup>18</sup>

### Clase I: Vidrio templado

La misma norma en mención, nos dice que estos se pueden encontrar así:

**Vidrios templados térmicamente:** "Vidrio que al ser sometido a un tratamiento, adquiere un aumento de su resistencia a los esfuerzos de origen mecánico y a los esfuerzos térmicos. De resistencia estructural integral."<sup>19</sup>

**Vidrios templados químicamente:** "Vidrio que al ser sometido a una inmersión de sales de nitrato de potasio, sufre un intercambio iónico, el cual le genera esfuerzos de compresión superficiales. De resistencia estructural superficial."<sup>20</sup>

<sup>18</sup> PROY-NOM-000-SCFI-2000, p. 7

<sup>19</sup> PROY-NOM-000-SCFI-2000, p. 7

<sup>20</sup> PROY-NOM-000-SCFI-2000, p. 7

Los vidrios templados no deben ser alterados en sus dimensiones originales después de haber sido sometidos al templado, por eso deben cortarse y pulirse antes.

Por tal razón están definidas por la norma las tolerancias en las dimensiones, como se indica en la tabla que se muestra a continuación:

Longitud (mm)	Espesores en mm			Descuadre en mm
	Menor o igual a 6	de 7 a 13	de 14 y más	
Hasta 1000	+/-1,8	+/-1,8	+/-2,0	+/-2,0
Hasta 1500	+/-1,8	+/-2,0	+/-2,5	+/-3,0
Hasta 2500	+/-2,0	+/-2,5	+/-3,0	+/-5,0
Hasta 3000	+/-2,0	+/-3,0	+/-3,5	+/-6,0
Mayores a 3000	+/-2,5	+/-3,0	+/-4,0	+/-8,0

El descuadre es la variación del lado corto del vidrio medida con referencia a la obtenida en un ángulo de 90°

Tabla tomada de PROY-NOM-000-SCFI-2000, p. 12

Esfuerzos que debe resistir un vidrio templado:

- ⊗ Compresión de superficie: 73,550 kPa mín.
- ⊗ Compresión en cantos: 73,550 kPa mín.
- ⊗ Tensión en cantos: 36,775 kPa máx.

**La clase II, Vidrio inastillable**, se clasifica en dos tipos:

**TIPO A:** Vidrio laminado

**TIPO B:** Vidrio resinado

**Vidrio inastillable laminado:** "La tolerancia del espesor del vidrio no debe superar la suma de las tolerancias de los vidrios monolíticos que lo integran."<sup>21</sup>

**Vidrio inastillable resinado:**

Tal como lo define el PROY-NOM-000-SCFI-2000, p.6, "El vidrio resinado está constituido por dos o más hojas de vidrio, adheridos una a otra mediante una resina líquida que es vaciada entre ellas, y solidifica por exposición a radiación UV, calor o catalizadores."

"La tolerancia del espesor del vidrio no debe superar la suma de las tolerancias de los vidrios monolíticos que lo integran, más la tolerancia de la resina."<sup>22</sup>

<sup>21</sup> PROY-NOM-000-SCFI-2000, p. 18

<sup>22</sup> PROY-NOM-000-SCFI-2000, p. 18

Espesor de la resina mm	Tolerancia mm
Hasta 1	± 0.3
De 1.1 a 2	± 0.4
De 2.1 a 3	± 0.5
Mayor a 3	± 0.6

Tabla tomada de PROY-NOM-000-SCFI-2000, p. 19

## VIDRIOS DOBLES O MÚLTIPLES <sup>23</sup>

Son dos o más hojas de vidrio, separadas generalmente por espacios de 4.76 (para sellos de vidrio con vidrio), 6.35 ó 12.70 mm<sup>24</sup> (para sellos de metal a vidrio), los cuales están llenos de aire deshidratado o de algún gas inerte como el Argón, Kriptón y Xenón.

Las hojas de vidrio que integran las ventanas, deben ser de un espesor igual ó similar, con una tolerancia máxima de 0.16 cm.

## RELLENO CON GASES INERTES:

Este sistema al principio de su desarrollo generó problemas de humedad por condensación del vapor de agua que se acumulaba en las caras interiores de los vidrios dobles. Para darle solución a esta condensación, se introdujeron desecantes en el espacio que separaba las hojas, con el fin de reducir la humedad, esta solución abrió puertas a otras soluciones, ya que al no haber moléculas de agua en el espacio interior, se puede incorporar un gas diferente al aire, como es el caso de los gases nobles. Pero antes de la incorporación de éstos gases se trabajó con otras soluciones, como el nitrógeno seco, que no fue de gran ayuda, ya que por formar el 80% del aire, el rendimiento térmico sigue igual; luego se utilizó gas de fluorocarbono, que si bien es cierto que son mejores aislantes que el aire, reaccionan desfavorablemente con la luz solar, degradando el relleno al formarse una especie de escarcha interior. Otro de los intentos fue el bióxido de carbono que por ser un óxido, reaccionaba con los selladores, espaciadores y con los recubrimientos del vidrio.

<sup>23</sup> Los vidrios dobles o múltiples en algunos textos se conocen como vidrios aislantes.

<sup>24</sup> Los espacios están tomados del libro, *Materiales para Construcción, tipos, usos y aplicaciones*, p. 921.

Finalmente se opta por los gases nobles que ofrecieron mejores soluciones que los anteriores, ya que son estables y menos conductores térmicos que el aire. Los gases nobles que se utilizan para relleno del espacio interior de vidrios son el Argón, el Kriptón, y el Xenón<sup>25</sup>. El más utilizado y más económico es el argón, por ser el más abundante en la atmósfera (Casi 1% del aire que respiramos).

Al incrementar el espacio de aire aumenta el valor R, aunque si se exagera crece la convección llevando el calor de la hoja interior al exterior por la circulación del aire, no incrementando en este caso el valor R.<sup>26</sup>

Cuando los componentes de las unidades dobles de vidrio son transparentes, se permite que la radiación de onda larga pase de un lado a otro fácilmente. "El 50% de la energía transferida hacia afuera de una ventana de vidrio transparente se debe a la radiación. El 25% de la energía se pierde por conducción. Hasta que pudiera cerrarse la puerta a la gran transferencia de energía radiante, el llenado con gas en realidad no sería viable."<sup>27</sup>

Lo que hizo viable y funcional el relleno de gas fue el recubrimiento Low E o de baja emisividad, juntos lograron un aislamiento completo: El Low E bloquea la transferencia de calor radiante y los gases nobles reducen la pérdida por conducción.

Es por esto que cuando se considera un vidrio Low-E por lo general la propuesta viene acompañada de un vidrio doble relleno con gas, principalmente con Argón.

Este tipo de ventanas consideradas de alto rendimiento proporcionan tanto ahorro de energía como confort en invierno al estar cerca de la cara interior por su temperatura superficial más caliente.

<sup>25</sup> "El Kriptón y el Xenón proporcionarán muy aproximadamente el mismo rendimiento que el argón, pero con un ancho de cavidad de dos tercios a un medio del correspondientes a este último." Joseph Amstock, *Manual del Vidrio en la construcción*, p.327

<sup>26</sup> Joseph Amstock, *Manual del vidrio en la construcción*. p. 325

<sup>27</sup> Joseph Amstock, *Manual del vidrio en la construcción*. p. 327

Como ejemplo de esta combinación encontramos el Eko Plus de Saint Gobain Glass.

El **Eko Plus**<sup>28</sup> es un vidrio Low E de capa pirolítica, que proporciona excelente aislamiento térmico cuando se incorpora en vidrios dobles.

**Característica espectrofotométricas:** Consideradas en vidrios de unidad doble de 4-12/16-4 mm, con la capa en la cara 3)

LT	LRE	LRI	Factor Solar	
			EN410	ISO9050 M1
69	18	16	0.69	0.68

**Características de aislamiento térmico:**

Climaplus Eko Plus Composición	U-Value W/(m <sup>2</sup> .K)	
	Aire	Argón
4-6-4	2.7	2.2
4-8-4	2.4	2.0
4-10-4	2.1	1.8
4-12-4	1.9	1.6
4-15/16-4	1.7	1.5

En vidrios dobles el Eko Plus provee de excelente aislamiento térmico; comparado con los vidrios sencillos, las unidades de doble vidrio reducen la pérdida de calor en un 40% aproximadamente; si consideramos estas unidades con Eko Plus, la pérdida de calor se reduce un 70%, tal como lo veremos más adelante.

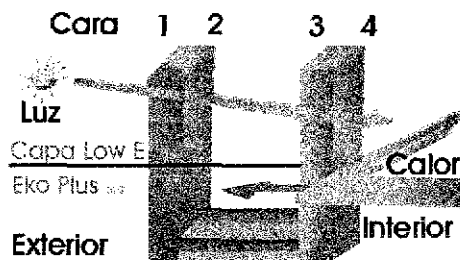


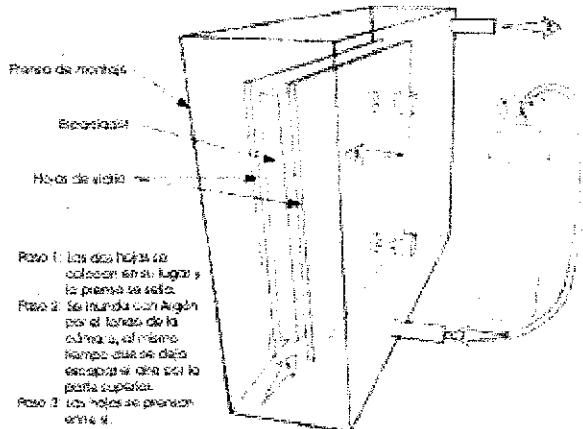
Imagen tomada de Glass Guide, Saint Gobain Glass, p. 82

<sup>28</sup> Los datos proporcionados del Eko Plus, SGG, son tomados de Glass Guide, Edition 2000, Saint Gobain Glass, p. 82

## Métodos de llenado de gas

Tal como nos lo describe Joseph Amstock en su libro manual del vidrio en la construcción, p. 330, existen tres métodos para llenar vidrio aislante con gas.

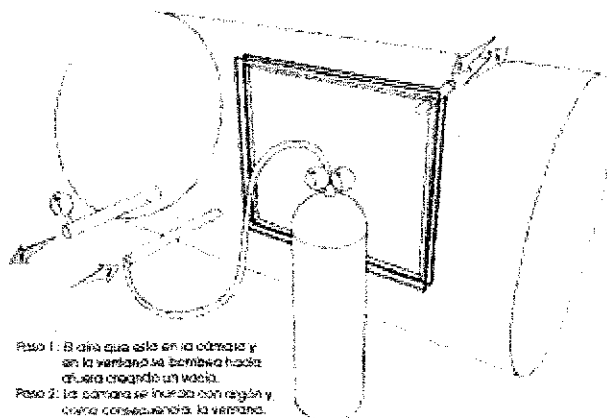
1. Armar la unidad por medio de una prensa de montaje en un espacio lleno con el gas que se le va a insertar



**Prensa de montaje para llenar con gas**

*Imagen tomada de Manual del vidrio en la construcción, p.331*

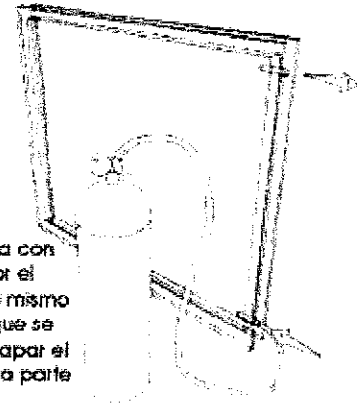
2. Colocar la unidad a llenar en una cámara, luego se saca todo el aire y se reemplaza con el gas que se va a colocar



**Método de la cámara de llenado con gas**

*Imagen tomada de Manual del vidrio en la construcción, p.331*

3. Introducir gas a través de unos agujeros en la unidad de manera que se reemplace el aire que hay en el interior.



**Método de la lanza de llenado con gas**

*Imagen tomada de Manual del vidrio en la construcción, p.332*

La razón por la cual se puede reemplazar el aire por argón se debe a que el argón pesa un 40% más que el aire, por lo que el aire flotará una vez empiece a introducirse el argón, pudiéndose sacar el aire por la parte superior. El argón debe introducirse lentamente para evitar que se disperse de forma no regular. Es conveniente que se cuente con un sensor que marque la cantidad de gas en el interior de la unidad de vidrios dobles.

Las lanzas con las que se introduce el gas, varían de acuerdo al sellador o espaciador utilizado. El sellador es muy importante en las unidades dobles de vidrio con gas, ya que la forma en que puede fugarse el gas es porque falle el sellador, y se puede detectar porque el vidrio se empaña por presencia de vapor de agua en el interior. Para mantener su valor aislante debe tener más del 80% del interior del espacio de relleno de gas.

Una unidad doble de vidrio con Low-E, puede estar llena de aire como se comentó anteriormente brindando aislamiento térmico pero se logra un beneficio adicional si se llena de gas argón:

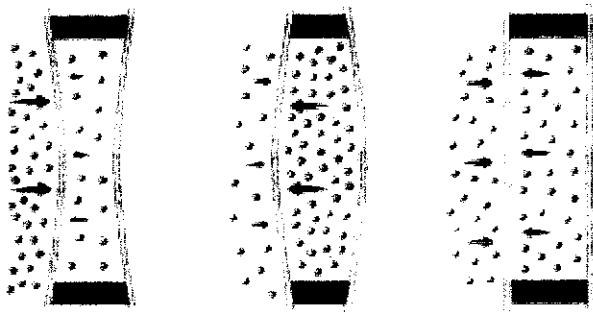
Para entender esto mejor pondremos un ejemplo con tipos de vidrio de Saint Gobain Glass, para poder ilustrar los valores U que se obtienen:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Una unidad constituida de un vidrio de 4mm convencional (Planilux), una cavidad de aire de 12 mm y un vidrio Low E de 4 mm (Eko Plus). Tiene un valor U de 1.9 W/m<sup>2</sup>.k. Incrementa un 40% de ahorro de energía, comparada una una unidad doble de vidrio (4-8-4 mm), con vidrio convencional con un valor U de 3.1 W/m<sup>2</sup> k; y un 70% de incremento de ahorro de energía con vidrios convencionales sencillos con un valor U de 5.7 W/m<sup>2</sup>.k.

Si esta misma unidad de vidrio, de Planilux 4 mm, aire de 12 mm y Eko Plus, se llena de argón, se obtiene un valor U de 1.6 W/m<sup>2</sup>.k

Pueden presentarse algunas distorciones en las unidades dobles de vidrio por cambios en la temperatura del aire y la presión barométrica que pueden causar que el aire atrapado en la unidad se expanda y se contraiga causando que el vidrio se flexione ligeramente.



Efectos de los cambios de presión

Imagen tomada de *Manual del vidrio en la construcción*, p. 335

La razón por la cual se curva hacia adentro o hacia afuera el vidrio es debido a la diferencia de volumen de aire por los cambios de presión haciendo que cambie también la densidad del aire, puesto que la densidad es el resultado de la masa entre el volumen.

Con el fin de minimizar posibles distorciones causadas por estos factores se recomienda lo siguiente:

- Cuando la unidad tenga hojas asimétricas, se recomienda colocar la hoja de mayor espesor hacia el exterior, para que en caso de cualquier diferencia de presión sólo la hoja del interior se arquee, reduciendo la aparición de distorciones en la fachada del edificio.

- Que se ensamblen en posición vertical para evitar el pandeo de las hojas.

- Que se manufacturen en plantas localizadas a una altitud similar al lugar donde se va a instalar la unidad, con el fin de equilibrar la presión interior y exterior de la cavidad.

Para garantizar el sellado de estas unidades se colocan unos tubos de respiración, que permiten regular la presión interior del gas con la del espacio circundante en donde se va a instalar. En algunos casos se dejan abiertos durante el embarque para permitir la igualación de presión mientras se transporta.

### Tubos de Respiración:

“Estos tubos de respiración se hacen de metal, por lo general de acero inoxidable o de aluminio. Hay dos clases de estos tipos de tubos de respiración.”<sup>29</sup>

- 1. Tubos de diámetro interior amplio** (diámetro de 0.16002 cm): Estos tubos se utilizan para regular la presión durante el embarque de las unidades, finalmente se sellan y se quitan.

- 2. Tubos de diámetro interior angosto** (diámetro de 0.05334 cm): Estos tubos se dejan abiertos durante la vida de servicio de las ventanas para que se reduzcan los esfuerzos producidos por diferencias de presión.

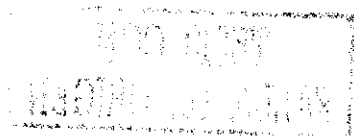
“La longitud de estos tubos es de 30.5 cm. Estos diámetros son propuestos después de varios estudios científicos, ya que el diámetro del tubo es bastante pequeño como para dejar que la presión se iguale con rapidez entre el exterior y el interior de la unidad de vidrio aislante y, no obstante es bastante pequeño como para inhibir el paso del vapor de agua hacia la propia unidad.”<sup>30</sup>

De todas formas entrará por medio de estos tubos algo de vapor debido a la tensión superficial del agua, entrando en acción los desecantes ubicados en el espacio interior del vidrio.

Es importante que estos tubos estén debidamente

<sup>29</sup> Joseph Amstock, *Manual del vidrio en la construcción*, p. 393

<sup>30</sup> Joseph Amstock, *Manual del vidrio en la construcción*, p. 393



sellados alrededor de ellos, y dentro del compuesto del sello perimetral. Asimismo es necesario conservarlos limpios, de lo contrario podrían taparse los orificios del tubo perdiendo la funcionalidad de los tubos.

## 4.2 Formas de instalación del vidrio

Los detalles de colocación del vidrio los determina el material del marco, el tipo de vidrio a utilizar, si son unidades dobles o sencillas y por supuesto los selladores a utilizar.

Los bordes y las puntas de los vidrios son especialmente vulnerables, hay que verificar que estén en perfectas condiciones al momento de la instalación ya que de lo contrario podría fallar el vidrio en esos puntos.

En el lugar donde están almacenados los vidrios antes de instalar, hay que cuidar que estén apilados con un ángulo entre 3 y 6° de la vertical, nunca horizontalmente. Deben colocarse sobre superficies blandas y evitar el contacto con materiales alcalinos como la cal y el cemento y de limpiadores abrasivos, asimismo las protecciones que tenga el vidrio no deben quitarse hasta el momento de su instalación.

Antes de instalarse los vidrios, los vanos deben estar preparados para recibir las ventanas, debe revisarse la compatibilidad de los materiales con los marcos y selladores, sobre todo cuando tienen algún tipo de recubrimiento, cuando son dobles o laminados.

Deben identificarse las caras de los vidrios para mejor desempeño y mínimo factor solar, los vidrios de control solar deben colocarse en la hoja exterior pero preferiblemente en la cara 2; en unidades dobles de vidrio y en algunos tipos de vidrio como el antelio puede colocarse en la cara 1.

Todas las hojas de vidrio deben estar apoyadas sobre calzas, las cuales deben tener una dureza de durómetro de 85±5, deben estar centradas en cuartos de punto y tener 1.6 mm menos que el ancho del canal. Las calzas dependen del peso del vidrio, por cada 15 kg de vidrio son 3 cm de calza.

Por ejemplo:

Un vidrio de 6 mm pesa 15 kg por m<sup>2</sup>, si la hoja de

Es esencial que el tubo apunte hacia abajo, por lo que es necesario que saiga de la fábrica con algún letrero que indique la presencia del tubo de respiración para que no se instale indebidamente.

vidrio es de 2.30 m x 1.00 m, serán 2.30 m<sup>2</sup>, entonces 2.30 m<sup>2</sup> por 15 kg, da como resultado que la hoja de vidrio pesa 34.50 kg.

Como son 3 cm por cada 15 kg, entonces se necesitará que cada calza tenga 6.30 cm de largo.

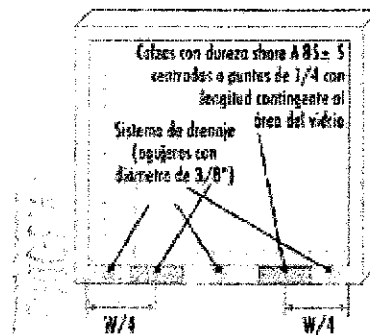


Imagen tomada de:  
<http://viracon.com/info/literature/spa-1-c-5.shtml>

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

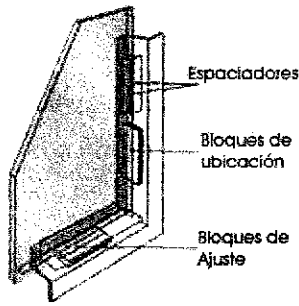
Estas calzas deben ser de un material elástico, no degradable y no absorbente, y deben poder acomodarse a la expansión térmica del marco y el vidrio sin que imponga esfuerzos al vidrio.

En los casos donde el vidrio es fijo sólo se ponen las calzas (bloques de ajuste), en los casos en donde la ventana abre se requieren bloques de ubicación y espaciadores.

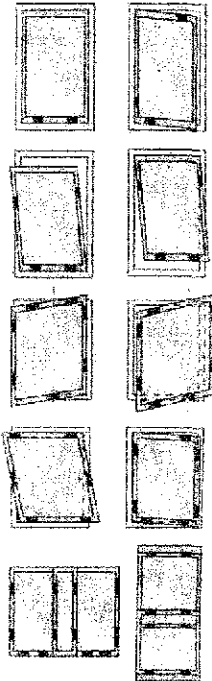
**Bloques de ubicación:**<sup>31</sup> Se usan entre los bordes de la unidad aislante y el marco menos en la parte inferior ya que ahí van ubicadas las calzas. Estos son necesarios para impedir que se mueva cuando se abra o cierre la ventana y para impedir que se descuadre por su propio peso.

**Espaciadores:**<sup>32</sup> Se utilizan para impedir el desplazamiento de los selladores del encristalado por la presión del viento sobre el vidrio, y por supuesto para dar el espacio necesario entre el vidrio y el marco.

31 y 32 Manual del vidrio en la construcción, p. 454



Posiciones de bloques de ajuste y ubicación



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Imágenes tomadas de Saint Gobain Glass, Glass Guide, p.471

Un espacio insuficiente entre vidrio y moldura puede provocar que el vidrio se quiebre, se recomienda un espacio mínimo entre la cara del marco y el vidrio de 5 mm, un espacio mínimo entre vidrio y moldura de 6 mm y un empotre de vidrio mínimo de 13 mm.

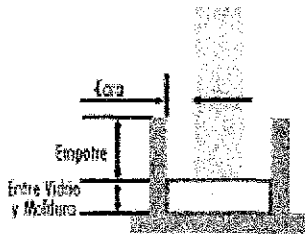


Imagen tomada de:  
<http://viracon.com/info/literature/spa-1-c-5.shtml>

### Sistema de drenaje:

No se deben exponer los bordes del vidrio laminado, con algún tipo de recubrimiento, o unidades dobles de vidrio al agua que se estanca en los canales de instalación cuando no tienen los drenajes correspondientes. Esto podría causar delaminación. Se requieren de sellos resistentes a la intemperie, y herméticos.

### Formas de colocación:

Es una información general de instalación, no se pretende con esto decir que son las únicas formas posibles.

### Instalación de vidrio sencillo:

**Dentro de ranuras sin moldura:**<sup>33</sup> El vidrio se asienta en la ranura, y se fija por medio de un material adecuado para la instalación tal como mastique o compuestos de base plástica, que debe proporcionar sello resistente al agua.

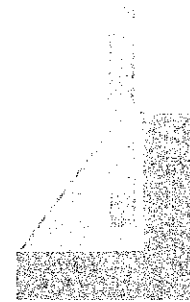


Imagen tomada de Saint Gobain Glass, Edition 2000, p. 472

**Dentro de ranuras con moldura:**<sup>34</sup> También se asienta en una ranura pero se fija principalmente por la moldura. El uso de la moldura permite mayor posibilidad de uso de selladores, pues como no están proporcionando resistencia estructural, puede usarse un material más flexible y puede mejorar su comportamiento ante la resistencia al agua. Varios compuestos están disponibles incluyendo mastique, componentes que no fraguan, cintas.

<sup>33</sup> Saint Gobain Glass, Glass guide, edition 2000, p. 472

<sup>34</sup> Saint Gobain Glass, Glass guide, edition 2000, p. 472

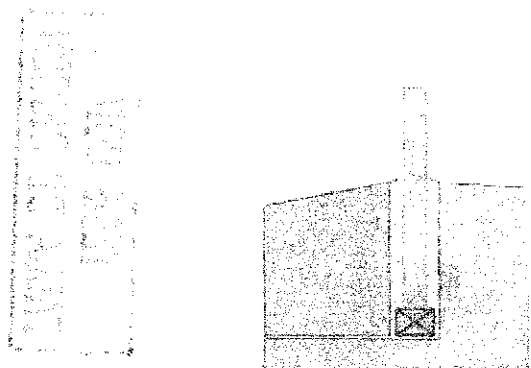


Imagen tomada de Saint Gobain Glass, Edición 2000, p. 472

**Dentro de acanaladuras:**<sup>35</sup> Usualmente se usa en marcos de concreto, piedra o marcos de madera con una ranura y moldura. Este tipo de instalación de vidros puede utilizar empaques, componentes o sellantes.

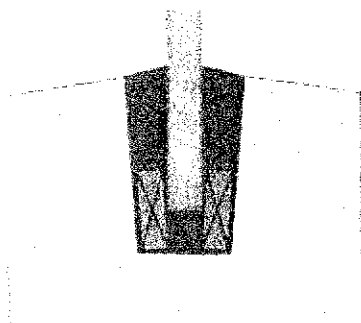


Imagen tomada de Saint Gobain Glass, Edición 2000, p. 472

**Usando empaques estructurales:**<sup>36</sup> Los empaques son usados para fijar al vidrio en canales o ranuras y para proveer un sello resistente al agua. Puede tener forma de Y o de H.

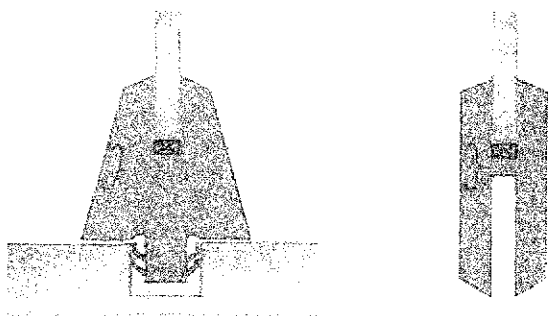


Imagen tomada de Saint Gobain Glass, Edición 2000, p. 473

**Usando empaques no estructurales:**<sup>37</sup> El vidrio se fija en su lugar por una combinación de presión entre la moldura y empaque.

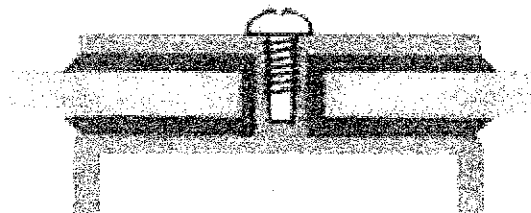


Imagen tomada de Saint Gobain Glass, Edición 2000, p. 473

### Instalación de vidrios Dobles:

Para garantizar la vida útil de las unidades dobles de vidrio es necesario que estén bien protegidas contra la humedad. Un prolongado contacto con el agua puede llevar a una pérdida de adhesión entre el sellante y el vidrio y producir que entre vapor de agua a la unidad. El mismo sistema de envidriado deberá garantizar que el agua no penetrará a la unidad o en caso de que ocurra, que el agua será drenada inmediatamente.

Existen dos tipos básicos de instalación de estos vidrios:

1. Sistemas no drenados
2. Sistemas drenados

**Sistemas no drenados:** Son sistemas de instalación "sólidos" o de asiento macizo. Se protegen de la humedad por medio de un sellante que rodea la unidad, el cual debe colocarse sin interrupciones ya que el agua puede penetrar el sello de borde. Tradicionalmente se utilizan estos sistemas en marcos de madera aunque a veces también se usan en marcos de acero.<sup>38</sup>

a) Se pueden de un sólo sellador con materiales como polisulfuro orgánico, poliuretano y polimercaptano o silicona inorgánica.

<sup>35</sup> Saint Gobain Glass, Glass guide, edition 2000, p. 472

<sup>36</sup> Saint Gobain Glass, Glass guide, edition 2000, p. 472

<sup>37</sup> Saint Gobain Glass, Glass guide, edition 2000, p. 473

<sup>38</sup> Saint Gobain Glass, Glass guide, edition 2000, p. 473



Hay que verificar que todas las áreas que entrarán en contacto con el vidrio y el sellador están perfectamente limpias.

Debe aplicarse una abundante cantidad del sellador alrededor del perímetro del marco y al ángulo entre la ranura y la plataforma, colocar las calzas (bloques de ubicación) y los espaciadores según sea necesario, centrar el vidrio y colocar los bloques de ajuste y los espaciadores según se requiera. Luego rellenar por completo el vacío del perímetro y aplicar bastante sellador entorno al perímetro de la unidad para formar asiento entre los listones y la hoja del vidrio; asentar los listones contra el vidrio para aplastar la masa del sellador hasta que los espaciadores queden firmes. Si los listones se fijan con tornillos estos no deben de estar a más de 7.5 cm de cada esquina y a no más de 20 cm entre centros. Finalmente debe llenarse nuevamente de sellador cuidando que no quede ningún hueco sin rellenar.<sup>39</sup>

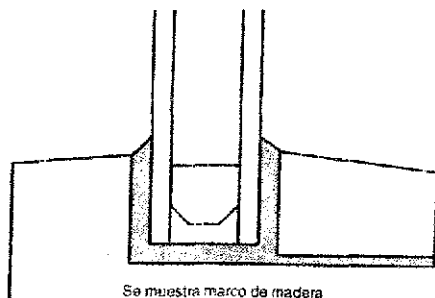


Imagen tomada de Manual del vidrio en la construcción, p. 461

b) Método de asiento macizo con cintas de masticaje de apoyo de carga o precalzadas. Se siguen básicamente los mismos pasos del método anterior sólo "que se usan cintas de masticaje, de caucho sintético de celda cerrada, con respaldo autoadhesivo para los asientos frontal y posterior. Para la sobrecapa, el relleno del perímetro y el asiento del listón contra la plataforma, se puede utilizar un sellador adecuado de curado en una o dos partes."<sup>40</sup>

<sup>39</sup> Manual del vidrio en la construcción, p. 461

<sup>40</sup> Manual del vidrio en la construcción, p. 462

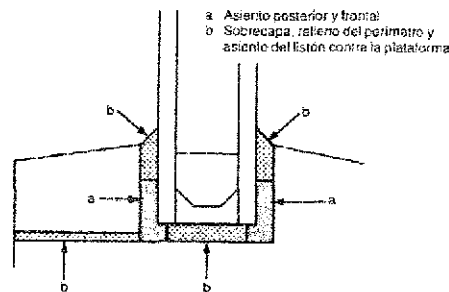


Imagen tomada de Manual del vidrio en la construcción, p. 462

**Sistemas drenados:** En este tipo de sistemas se permite que entre algo de humedad, pero debe evacuarse inmediatamente por medio del sistema, no debe quedar agua estancada en la ranura porque podría ser muy perjudicial por las razones que se han expuesto anteriormente. El uso de ranuras con plataforma inclinada y/o huecos de drenaje sacan directamente la humedad del sello de borde de la unidad doble de vidrio.

Algunos marcos también tienen huecos para facilitar el movimiento del aire alrededor del perímetro de la unidad, para facilitar el secado de forma más rápida una vez que la humedad ha entrado. En este caso se conocen como sistemas drenados y ventilados.

Puede ser utilizado en la mayoría de los tipos de marcos incluyendo el PVC, aluminio y marcos de madera; y los selladores deben ser compatibles con el tipo de vidrio, de sello de borde de la unidad y el marco, en ningún caso se podrán usar siliconas de base ácida. Los empaques que se incorporen en el sistema por lo general van bajo presión y no deben exceder de una presión de 5 kg/cm.<sup>41</sup>



Imagen tomada de Saint Gobain Glass, Edition 2000, p. 474

<sup>41</sup> Saint Gobain, Glass Guide, Edition 2000, p. 475

Hay que asegurarse que el marco esté completamente limpio, el empaque debe tener la longitud correcta, ya que deben ir alrededor del marco en una sola pieza, pero con un quiebre o corte (sección transversal del cuña) en las esquinas para que se pueda soblar bien. El empaque debe tener una ligera holgura para evitar esfuerzos en el vidrio, pues en su vida de servicio por las diferencias de temperatura podría encogerse. Deben colocarse las calzas asegurándose de no bloquear los huecos para el drenaje, limpiar el perímetro de la unidad doble de vidrio e insertar en el marco, centrar la unidad, colocar los bloques de ubicación, colocar los listones, el empaque empezando por las esquinas y luego hacia afuera partiendo del centro.<sup>42</sup>

El sistema de envidriado debe ser diseñado para proveer una distancia adecuada alrededor de la unidad con el fin de prevenir el contacto del vidrio con el marco, y que esté lo suficientemente profundo como para resistir las cargas a las cuales va a estar sometido.

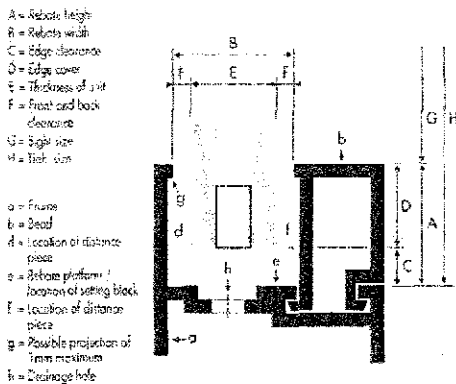


Imagen tomada de Saint Gobain Glass, Edition 2000, p. 475

### Instalación de vidrio laminado:

El no colocar drenajes en el canal de instalación del vidrio, podría resultar en nobosidades o delaminación alrededor del borde.

Para el vidrio laminado se recomiendan generalmente sellantes resilientes que no endurecen, cintas y empaques elastoméricos. Los tipos de sellantes genéricos incluyen polisulfuros, siliconas, cintas de butilo y poliuretanos, debe evitarse el contacto con materiales de aceites vegetales o animales, y siliconas con base ácida.

Por lo general la incompatibilidad del producto con el vidrio laminado se debe a la presencia de subproductos, disolventes y rellenos del sellante que posiblemente reaccionen con la interlámina de PVB. La selección de los sellantes adecuados, depende además de la compatibilidad con el vidrio laminado, de la exposición a la que va a estar sometido.

**Envidriado Estructural:** La colocación de este tipo de envidriados se hace por medio de silicona de alta resistencia o alto rendimiento, por medio de la cual se pega a un marco por lo general de aluminio, el vidrio bien sea sencillo, laminado o una unidad aislante.

Las cargas del viento se transfieren al marco a través de la estructura, son silicones estructurales especiales pero hay que tener cuidado con el tipo de silicona y la compatibilidad con el vidrio que se esté utilizando.

Los componentes de este tipo de sistema son:

**Armazón estructural:** Por lo general es de aluminio, hay que tener cuidado cuando es anodizado porque puede fallar en la adhesión del sellador. Si se usa pintura de alto rendimiento, hay que verificar que cumpla con todas las especificaciones.

**Vidrio:** Debe tenerse muy claro el tamaño de la hoja o de la unidad, porque es necesario que esté calculado para la carga del viento que vaya a soportar.

**Selladores:** Son los encargados de evitar filtraciones de aire o agua al interior del edificio y de transferir las cargas al armazón estructural, además por supuesto de anclar el vidrio a la estructura. Estos selladores de siliconas son resistentes a la tensión y al corte, tienen excelente adhesión y son resistentes a los rayos ultravioleta. Una razón del porque los poliuretanos no se deben usar como selladores en un sistema estructural, es precisamente porque no son resistentes a los rayos ultravioleta, por lo que se degradarían.

**Espaciadores, calzas y empaques:** deben usarse espaciadores, bloques y cintas con base de silicona y otros materiales compatibles, para que no alteren la adhesión las propiedades del sellador.

Las calzas se colocan debajo del borde inferior de la hoja, por lo que soportan el peso total de la hoja de

<sup>42</sup> Manual del vidrio en la construcción, p. 457

vidrio. La cinta espaciadora está en el respaldo de las hojas de vidrio

El silicón pega al vidrio en los marcos metálicos, los cuales se pueden considerar como "costillas", mismas tienen una dimensión entre 12 y 19 mm. Las hojas de vidrio deben estar separadas unas de otras y rellenos de silicona de intemperie, para evitar que en algún movimiento golpee una con otra y fallen por rotura, y por supuesto la silicona sirve para proporcionar un sello hermético. Se recomienda una vez al año hacer mantenimiento y revisar la integridad de los sellos para evitar colapsos en la estructura.

### Detalles en perfiles

- El silicón mantiene adherido el vidrio a la estructura de soporte.

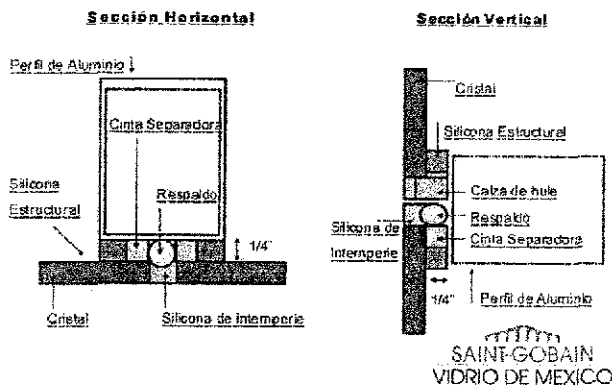


Imagen tomada de Presentación del área técnica comercial, Saint Gobain Glass. Material de capacitación.

Este sistema tiene varias ventajas puesto que al eliminar los marcos exteriores se puede dar continuidad al vidrio en la fachada, permitiendo al arquitecto dar más opciones de diseño, tienen un excelente comportamiento térmico porque se reduce la exposición de los marcos metálicos al sol, se reducen las posibilidades de que se infiltre aire o agua, se reduce la posibilidad de rotura térmica del vidrio, es rápido en su ejecución y de fácil mantenimiento.

Como ejemplo de este sistema tenemos al World Trade Center de la Ciudad de México.

### ENCRISTALADO SUSPENDIDO:

En este sistema el encristalado básicamente no tiene armazón, los vidrios cuelgan de la estructura del edificio. Esto permite tener mayor transparencia del edi-

ficio ya que no existen obstáculos visuales, como es el caso de los marcos de los otros sistemas de envidriado.

Las hojas de vidrio, las cuales deben ser templadas, se atorinillan en las esquinas a través de unos accesorios metálicos; entre hoja y hoja se aplica sellador de silicona. Todo el sistema de envidriado se cuelga de la estructura del edificio y se sella con unos bordes de neopreno. Deben existir soportes verticales para evitar movimientos con el viento.

"El concepto del diseño garantiza que, en todo momento, la fachada está "flotando" en los canales periféricos y se eliminan los problemas, los cuales podrían surgir debido al movimiento diferencial entre los componentes." 43

"Este tipo de instalaciones tienen mucho movimiento por lo se deben utilizar selladores de silicón de curado neutro con capacidad de movimiento del 50%." 44 Tomado de presentación área técnica Saint Gobain.

Este sistema se desarrolló en 1960 por la Pilkington Glass Limited, y desde entonces ha venido perfeccionándose y ganando más atención por parte de los diseñadores.

### ENSAMBLAJES DE PERNO

Es una técnica para instalación del vidrio que usa articulados de acero inoxidable. Se utilizan tanto para aplicaciones verticales como horizontales, y son de forma rectangular por lo general y pueden ser planos o curvados.

El principio de este sistema es que los pernos articulados absorban las fuerzas causadas por su propio peso, el viento, sismos.

Las deflexiones que se presentan en el vidrio con **ensamblajes de perno** tienen un límite, y según se expresa en la norma BS 6399 pt.2, no debe exeder de:

43 Manual del Vidrio en la construcción, p. 425

44 Presentación, área técnica comercial Saint Gobain Glass, Material de capacitación.

### En vidrios sencillos:

La máxima deflexión debe ser menor a  $L/100$ , o el lado más largo/100.

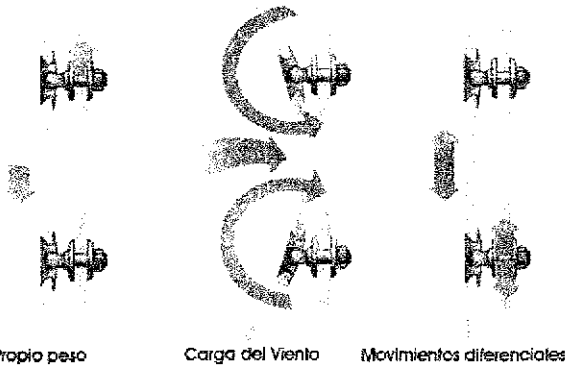


Imagen tomada de Saint Gobain Glass, Glass Guide, Edition 2000, p. 204

### En vidrios dobles:

La máxima deflexión debe ser menor a  $L/150$ , o el lado más largo/150.

Pueden colocarse vidrios sencillos monolíticos, con o sin algún tipo de capa, vidrios laminados, vidrios dobles, lo importante es que estén los bordes en perfectas condiciones y los hoyos donde entra el perno, los cuales deben hacerse antes del tratamiento térmico por el que deben pasar los vidrios.

La distancia mínima entre el borde de un hoyo y el borde del vidrio debe ser de dos veces el espesor del vidrio.

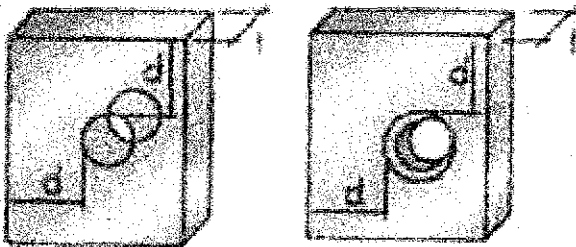


Imagen tomada de Saint Gobain Glass, Glass Guide, Edition 2000, p.

Estos sistemas tienen variedad de pernos los cuales permiten dar al arquitecto muchas opciones de diseño de las fachadas.

### Vidrio Sencillo

### Vidrio Doble

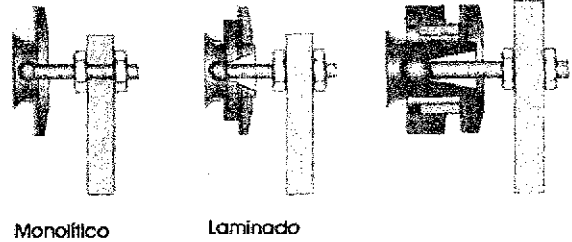
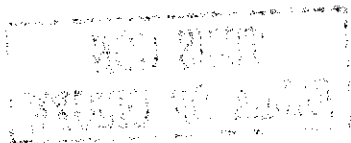
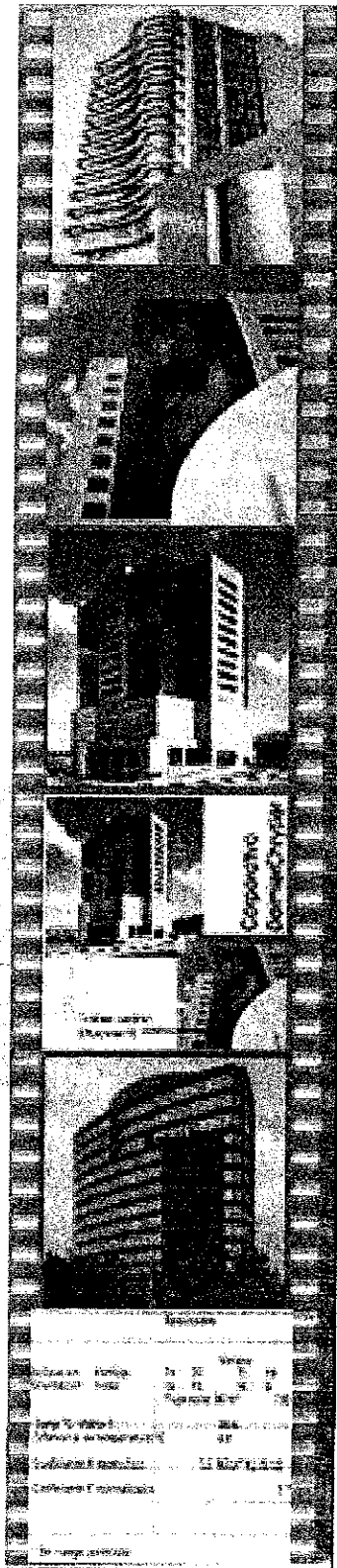


Imagen tomada de Saint Gobain Glass, Glass Guide, Edition 2000, p. 204

Estos son algunos ejemplos de instalación de vidrios, así como de tipos de vidrios, ya que podemos encontrar vidrios resistentes al fuego, vidrios de protección contra balas, vidrios que calientan el interior por medio de electrodos que pasan electricidad al vidrio, vidrios con cristal líquido, vidrios autolimpiables, etc. Estos vidrios no se tratan en esta investigación por estar enfocado como se dijo desde la introducción misma, a los vidrios que ofrecen confort térmico.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





## capítulo 5

Ejemplo de optimización climática de edificios por el uso adecuado del vidrio

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los edificios que proyectamos y construimos deben ser sustentables en el sentido que deben proporcionar recursos que minimicen el impacto al medio ambiente. La industria de la construcción es directa e indirectamente responsable de la contaminación, por varios factores: en los países desarrollados es "la responsable de la extracción del 50% de los materiales pétreos y minerales y del consumo del 30% de energía primaria utilizada en climatización e iluminación, sin contabilizar la energía gastada en la fabricación de materiales y sistemas y en transporte de los mismos"<sup>1</sup>. Consume gran cantidad de los recursos de la tierra como la energía, produce desperdicios y polución.

La industria de la construcción debe trabajar para implementar recursos que reduzcan este impacto al medio ambiente; una de las posibilidades es utilizar la herramienta del diseño pasivo.

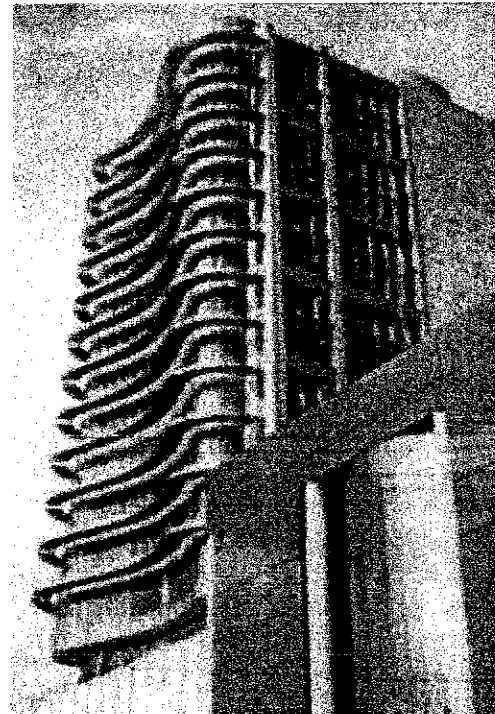
En este punto entra a jugar un papel importante el arquitecto, ya que es el responsable de tomar decisiones que permitan esta sustentabilidad, puesto que la mayoría de decisiones que afectan la vida del edificio son tomadas durante el proceso de diseño.

El edificio mientras está ofreciendo servicio a sus habitantes, está consumiendo mayor cantidad de energía, por consumo de luz, aire acondicionado o en su caso calefacción y es donde se incrementa el impacto al medio ambiente. Según un estudio de "Greenhouse", realizado en Australia, y expuesto aquí de manera explicativa, más de 15 toneladas de gas se consumen por casa cada año, y que representan el 20% de emisión de gas en Australia. De estas 15 toneladas el 14% corresponde a consumo de aire acondicionado y calefacción.

La mayoría de los edificios que proyectamos trabajan en contra del clima, son o muy fríos o muy calientes, haciéndolos muy costosos en el momento que se requiere corregir estas dificultades por medios activos. Un buen diseño puede economizar energía, agua, y dinero. Aunque en un principio pueden resultar más costosas las soluciones pasivas, van a permitirnos ahorrar dinero por la reducción del consumo de energía, contribuir con la protección del medio ambiente e incrementar el valor final del edificio.

<sup>1</sup> Margarita de Luxán García de Diego, "Arquitectura de Vanguardia y ecología", <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n15/amlux.html>

Como ejemplo de edificios en México, que han incorporado los sistemas pasivos en su diseño tenemos a la Torre de oficinas "Parque Insurgentes", ubicada a una cuadra del parque hundido, en la colonia Noche Buena. Para llegar a la determinación de la solución a utilizar, se trabajó en la obtención de resultados climatológicos, teniendo en cuenta las temperaturas mínimas, máximas y medias; promedio de humedad relativa, precipitación pluvial, promedio del tiempo de insolación, tomada de análisis de los datos de los últimos cinco años en la Ciudad de México. En lo referente al vidrio, hacen una propuesta de diferentes tonalidades y tipos de vidrio que le confieren variedad a la fachada, participando tanto en lo estético como en lo funcional. En las fachadas oriente y sur, se utiliza vidrio claro tintado color verde, alternado con parasoles de aluminio que permiten proteger en un 75% la superficie del vidrio. El otro 25% se utiliza vidrio esmerilado, con el que se controla la temperatura por ganancia de calor.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**EDIFICIO PARQUE INSURGENTES**

Foto tomada de:

<http://www.arquired.net/espanol/proyectos/insurgentes.htm>

Finalmente la compañía londinense Battle McCarthy Consultant Engineers, realizó la comprobación de la eficiencia térmica del edificio y de su sistema pasivo, del cual por supuesto el vidrio es sólo uno de los componentes; el resultado consistió en un ahorro del 33% aproximadamente en la capacidad del equipo de aire acondicionado, un ahorro de energía eléctrica por aprovechamiento de la luz natural, y por ende costos de operación mensual.<sup>2</sup>

Otro edificio que en México utilizó con el vidrio para obtener mayor confort y menores gastos de energía es:



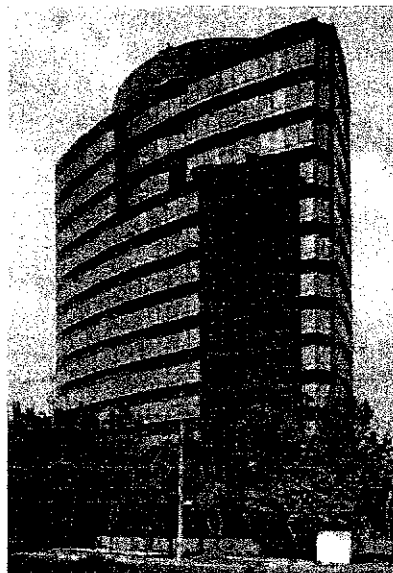
Corporativo  
DaimlerChrysler

Doble vidrio  
(Duovent)

Fotos tomadas de:  
[www.grupomac.com.mx/proyectos/chrysler/chrysler.htm](http://www.grupomac.com.mx/proyectos/chrysler/chrysler.htm)

**Corporativo DaimlerChrysler**, ubicado en Santa Fe, México D.F, es inaugurado el 2 de febrero del 2000. Este edificio cuenta con un 70% de la fachada en vidrio. El vidrio utilizado es de doble encristalado (Duovent), con una pulgada de aire, para disminución de ruido y control térmico, con el fin de reducir el gasto de aire acondicionado. En este sistema se incorporó la película de control solar en la cara interior del vidrio para proteger el polarizado por ser de capa suave.

<sup>2</sup> <http://www.arquired.net/espanol/proyectos/insurgentes.htm>



Corporativo Coca-Cola, tomado de Obras N°339, marzo 2001, p. 44

Se pondrá como ejemplo un edificio corporativo (Coca-Cola), en el cual analizaremos algunos factores que nos permitan obtener mayor confort térmico por medio de la adecuada utilización del vidrio y generar ahorros significativos con la reducción del uso del aire acondicionado y de iluminación.

Los ejemplos serán dados con vidrios de la marca Saint Gobain, ya que fue la empresa que facilitó la información proporcionada y donde se realizaron cálculos en el Software que manejan para el cálculo térmico de los vidrios.

5 TEMPERATURAS DE LOS VIDRIOS Y TENSIONES DE ORIGEN TERMICO				
RUBIS 2.0 / 1998 - Copyright SAINT GOBAIN VITRAGE				
Fecha de actualización de los ficheros 04/11/1998 - 12/1998-1				
February 15 2002				
Datos del solicitante TESIS ANA MARIA				
Composición del acristalamiento				
		PLANILUX NORMAL 6 mm		
Resultados				
Inclinación : Vertical Orientación : todas	Verano		Invierno	
	Te : 30 He : 13 Flujo solar W/m² : 750	Ti : 19 Hi : 9	Te : 10 Hi : 11 Flujo solar W/m² : 750	Ti : 8 Hi : 9
Temp °C Vidrio 1	38.4		13.1	
Diferencia de temperatura °C	4.3		5.4	
Coefficiente K específico	3.2 W/(m²·K) (5.15)		4.8 W/(m²·K) (4.81)	
Coefficiente K normalizado	5.7 W/(m²·K) (5.73)			

\* Sin riesgo particular

TESIS CON  
 FALTA DE ORIGEN



Si partimos del hecho de que el edificio se recubrió enteramente con fachadas de vidrio sencillo transparente, en este caso el vidrio planilux normal de 6mm, de Saint Gobain, tendríamos que el valor K normalizado o Valor U, es de  $5.7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{k})$ ; el factor solar es de 0.82, un coeficiente de sombra de 0.9, y una transmitancia de luz de 0.89%.

Esto nos indicaría que por el lado de la iluminación, entra excelente cantidad de luz solar, proporcionando buenos niveles de luz natural. Pero hay que tener cuidado con esto, por lo que entraría a jugar un papel importante la orientación del edificio:

Si la fachada es oriente u occidente, hay que tener mucho cuidado, sobre todo en el verano, ya que el sol entraría directamente en la mañana y en la tarde, respectivamente. A parte de que entra mucha luz, deja entrar el calor sobre todo si se cuenta con un vidrio como el que estamos analizando.

El abrir las ventanas no garantizaría que se refresque el ambiente, y si se tiene aire acondicionado incrementaría el consumo por enfriamiento. Por otro lado, puede llegar a interferir con la ubicación interior del mobiliario, pues puede incomodar a las personas que están trabajando en el la zona cercana a las fachadas por deslumbramiento directo de la ventana o por reflejos en los computadores o demás artefactos que se encuentran en el interior de la oficina. En estos casos sería recomendable utilizar persianas que minimicen la entrada de la luz, pero hay que tener cuidado en la ubicación de las mismas: si son persianas o quebraluces ubicados en el exterior del edificio, son más efectivas puesto que colocadas en el interior contribuirían a formar un efecto de invernadero al permitir la entrada de la energía solar, la cual golpea directamente las persianas, reflejándose nuevamente sin poder salir por el vidrio, por lo que se reflejaría nuevamente en el vidrio y nuevamente en la persiana, quedando de esta forma atrapado el calor radiante en el interior del edificio.

Las fachadas ubicadas hacia el sur, se benefician de la máxima intensidad solar en el invierno, puesto que el ángulo de inclinación de los rayos solares es menor, en cambio en el verano, la inclinación de los rayos es mayor, pudiéndose proteger con aleros o cualquier otro tipo de solución arquitectónica con este fin.

En las fachadas norte, prácticamente no habría problema ya que la llegada de los rayos solares es indirecta.

En el caso de uso de protección solar exterior, es conveniente considerar el porcentaje de área del vidrio que se va a proteger de la luz directa del sol, ya que en el uso de voladizos o protectores solares parciales, la hoja del vidrio puede sufrir fractura debido a esfuerzos interiores por las variaciones de temperatura en la misma hoja, ya que el vidrio se expande cuando está sometido a la luz directa del sol, produciendo un efecto contrario en las áreas sombreadas, esta fractura sucede cuando la diferencia de temperatura es muy alta, aproximadamente una diferencia de  $30^\circ\text{C}$  en el área.

La dimensión de las hojas de vidrio propuestas, es de  $1.50 \times 1.00$ , y  $1.00 \times 1.00$  en la parte inferior. Si consideramos que un vidrio de  $1 \times 1.50$ , tal como se comenta en el libro "Glass Guide" de Saint Gobain Glass, Edition 2000, p. 12, una ventana con entrada directa del sol, puede conducir como un radiador de 1 Kilowatt. Esto resultaría, tal como se concluye en el mismo libro, conveniente en el invierno por ganancia de calor, pero produciría problemas de excesivo calor en verano, esto considerando lugares donde hay cambios fuertes de temperatura.

Analicemos por otro lado el factor solar, el cual es tal como se indicó de 0.82 para este tipo de vidrio. El factor solar es, como se comentó en el capítulo 4, el resultado de la sumatoria de la energía solar que entra por transmitancia directa, el porcentaje de energía absorbida por el vidrio y la reemitida al interior del edificio. Al ser tan alto produce ganancia de calor en el interior.

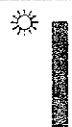
El valor U, es de  $5.7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{k})$ , al ser tan alto, se produce pérdida del calor interior, lo que incrementa el consumo de energía para el enfriamiento del espacio por medio del aire acondicionado.

Entre más bajo sea el valor U y el factor solar, en verano hay mayor confort, por lo que este tipo de vidrio no lo proporciona.

El coeficiente de sombra describe la cantidad de energía solar admitida a través del vidrio. Para calcular el coeficiente de sombra, se divide el factor solar entre 0.87. Los vidrios claros tienen un valor muy cercano a 1, como en este caso el planilux tiene

un valor de 0.90; estos vidrios son adecuados para viviendas en zonas nórdicas, aunque no son del todo aptos para centros comerciales o zonas de oficina donde el vidrio es un material predominante, puesto que puede llegar a producirse más calor que el que realmente se necesita, en conjunto con la iluminación, el flujo de gente, equipo, etc.

La utilización de un vidrio como el planilux para toda la fachada no serviría, como acabamos de analizar, para lograr un confort térmico interior.

3 CARACTERÍSTICAS LUMINOSAS Y ENERGÉTICAS			
RUBIS 2.0 / 1998 - Copyright SAINT GOBAIN VITRAGE Fecha de actualización de los ficheros 04/11/1998 - 12/1998-1			
February 15 2002 Datos del solicitante TESIS ANA MARÍA			
Composición del acristalamiento			
 <p>ANTELIO CLAIR Cara 1 6 mm</p>			
RESULTADOS			
	Luz	Energía	UV
Transmisión	0.47	0.52	0.20
Reflexión ext	0.32	0.28	0.26
Reflexión int	0.26	0.19	0.13
Absorción vidrio 1	0.22		
Coefficiente K W/(m².K)	5.73		
Factor solar	0.58		
Este documento ha sido realizado por : Firma			
SAINT GOBAIN GLASS Gerencia Técnica Comercial Nicolás Bravo # 5 Parque Industrial Cusutla Morelos c.p. 62741 México Tel : 01 735 481 00 E-mail : javier.gallegos@mex.saint-gobain.com Fax : 01 735 481 23 WEB-site : www.saint-gobain.com.mx			
Aclaraciones: Características espectrofotométricas con tolerancia +/- 3% Coefficiente K, con tolerancia +/- 0,05 Factor solar con tolerancia +/- 3%			
Estos resultados sólo son válidos para los productos vitreos comercializados por SAINT GOBAIN. Toda información concerniente a otros productos no compromete la responsabilidad de esta Sociedad			

Veamos el comportamiento de la fachada con vidrio **Antelio Clair** en la cara 1 de 6 mm. Este es un vidrio de control solar con capa pirolítica, el cual puede colocarse tanto en la cara 1 como en la cara 2. Pensando en este edificio donde el vidrio es el material predominante, se colocó en la cara 1 para lograr mayor reflectividad y una apariencia más uniforme puesto que el reflejo es directo en la capa.

La reflectancia exterior de la luz solar es del 32% en este vidrio mientras en el planilux es del 8%, con una

transmitancia del calor del 51% en el antelio y del 79% en el planilux. La transmitancia de luz en el antelio se reduce al 47%.

El factor solar es de 0.58 y el coeficiente de sombra es de 0.65.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores y las observaciones hechas cuando se trató el vidrio planilux, podemos concluir que al utilizar el antelio, se reduce la luz intensa y el brillo que deslumbra en los espacios interiores, permitiendo el paso de la luz para una adecuada iluminación. En el caso de recubrimientos de capa suave, como el tipo Cool Lite, aunque incrementa la reflectancia, el paso de la luz se reduce.

El antelio por los valores antes mencionados, reduce la ganancia de calor excesiva. Los vidrios con capas metálicas de alta reflectancia de la luz, (del 30 al 50%), y rangos de transmitancia entre el 20 y el 65% son adecuados para el uso de persianas exteriores, ubicadas horizontalmente que permitan capturar la luz del día y redireccionarla al interior del edificio, iluminando el plafón y las áreas inmediatas a la ventana son ligeramente sombreadas.<sup>3</sup>

Este vidrio por ser de control solar, permite el paso de la luz proporcionando buenos niveles de iluminación natural, y ayuda a la prevención del calentamiento excesivo, por el bajo factor solar de 0.58 que reduce la ganancia de calor.

El valor U, el cual describe la conductividad térmica en el vidrio, es de 5.7, el mismo valor que el del Planilux, por lo que el comportamiento ante la pérdida de calor es igual. Esta condición no es tan crítica en lugares como México donde el clima no es extremo. Este valor U logra reducirse considerablemente con el uso de vidrios dobles con aire o gas inerte en el interior.

Pero así como estamos planteando este vidrio, no es seguro en fachadas tan altas porque se puede poner en riesgo la integridad de las personas que se encuentran en la planta baja del edificio en caso de rotura de los vidrios. En estos casos es conveniente la utilización de vidrios laminados, pues si ocurre un accidente el vidrio en lugar de salir en pedazos,

<sup>3</sup> Saint Gobain, Glass Guide, Edition 2000, p. 15

TESIS CON  
MÉXICO EN VIVA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

queda adherido a la capa de PVB, o de resina, dependiendo del tipo de lámina utilizada.

Para utilizar en este edificio un vidrio laminado que provea de protección solar, se propone la siguiente composición del acristalamiento: **Antelio clair cara 1 6 mm, PVB clair 0.38/2, Planilux normal 3 mm**

CARACTERÍSTICAS LUMINOSAS Y ENERGÉTICAS

RUBIS 2.0 / 1998 - Copyright SAINT GOBAIN VITRAGE  
Fecha de actualización de los ficheros 04/11/1998 - 12/1998.4

February 15 2002  
Datos del solicitante TESIS ANA MARIA

Composición del acristalamiento

 	ANTELIO CLAIR Cara 1 6 mm PVB CLAIR 0.38 / 2 PLANILUX NORMAL 3 mm
------	---

RESULTADOS

	Luz	Energía	UV
Transmisión	0.46	0.48	0.06
Reflexión ext	0.32	0.26	0.26
Reflexión int	0.25	0.17	0.04
Absorción vidrio 1		0.26	
Coefficiente K W/(m² K)	5.63		
Factor solar	0.55		

Este documento ha sido realizado por: Firma

SAINT GOBAIN GLASS  
Gerencia Técnica Comercial  
Nicolás Bravo # 5 Parque Industrial Cuautla Morelos  
c.p. 62741 México  
Tel : 01 735 481 00 E-mail : javier.gallegos@mex.saint-gobain.com  
Fax : 01 735 481 23 WEB-site : www.saint-gobain.com.mx

Aclaraciones: Características espectrofotométricas con tolerancia +/- 3%  
Coefficiente K, con tolerancia +/- 0,05  
Factor solar con tolerancia +/- 3%  
Estos resultados sólo son válidos para los productos vitreos comercializados por SAINT GOBAIN. Toda información concerniente a otros productos no compromete la responsabilidad de esta Sociedad

Los valores en este caso son en la transmisión de luz del 0.46, la reflexión exterior de 0.32, datos muy similares a los del antelio solo.

El valor U es de 5.63 W/(m²°k) y el factor solar de 0.55, ambos valores bajan y por consiguiente se mejora el control solar con vidrios que utilizan este sistema de envidriado. Se obtiene con estos valores menos pérdida de calor y menos ganancia de calor respectivamente.

Este tipo de vidrio puede ser idóneo para aplicarlo en México, donde las condiciones climáticas no son tan extremas en el transcurso del año; se logra control solar permitiendo que una gran parte de la luz incidente sea reflejada, que la luz entre al espacio interior proporcionando buena iluminación sin producir

deslumbramiento.

Para mejorar realmente la eficiencia de un envidriado por reducción de la pérdida de calor, es decir con un bajo valor U, es recomendable considerar los vidrios dobles rellenos de aire o gas. El mejorar el valor U se obtiene por la reducción de la transferencia de calor por conducción, convección y radiación.

Para este ejemplo tomamos el mismo vidrio laminado de antelio clair cara 1 de 6 mm, PVB clair 0.38/2, y planilux normal de 3 mm, en la cara exterior del sistema de doble vidrio, yna cámara de aire de 12 mm y luego un parsol vert de 6 mm.

CARACTERÍSTICAS LUMINOSAS Y ENERGÉTICAS

RUBIS 2.0 / 1998 - Copyright SAINT GOBAIN VITRAGE  
Fecha de actualización de los ficheros 04/11/1998 - 12/1998.4

February 15 2002  
Datos del solicitante TESIS ANA MARIA

Composición del acristalamiento

 	ANTELIO CLAIR Cara 1 6 mm PVB CLAIR 0.38 / 2 PLANILUX NORMAL 3 mm  AIR 12 mm  PARSOL VERT 6 mm
------	--

RESULTADOS

	Luz	Energía	UV
Transmisión	0.34	0.21	0.06
Reflexión ext	0.34	0.27	0.26
Reflexión int	0.20	0.08	0.05
Absorción vidrio 1		0.27	
Absorción vidrio 2		0.28	
Coefficiente K W/(m² K)	2.80		
Factor solar	0.40		

Este documento ha sido realizado por: Firma

SAINT GOBAIN GLASS  
Gerencia Técnica Comercial  
Nicolás Bravo # 5 Parque Industrial Cuautla Morelos  
c.p. 62741 México E-mail : javier.gallegos@mex.saint-gobain.com  
Tel : 01 735 481 00 WEB-site : www.saint-gobain.com.mx  
Fax : 01 735 481 23

Con esta propuesta de vidrio se obtiene un factor solar muy bajo de 0.40; el valor U es de 2.80 W/(m²°k). Confiéndole mejores características de aislamiento solar y protección térmica. Por la baja pérdida de calor que se puede presentar en estos tipos de envidriado, el ahorro energético por menos consumo de aire acondicionado, es mayor.

En este sistema se propone el vidrio laminado en la cara exterior para protección en caso de accidentes, y si el que se rompe es el parsol en el interior, no habrá tanto riesgo ni problema de reposición.

Todavía se pueden lograr mejores comportamientos térmicos en estos encristalados dobles, si se usa vidrio en el exterior con recubrimientos de baja emisividad, como el Eko plus, ya que pueden reducir la transferencia de calor por radiación, y por consiguiente mejorar el valor U, por obtención de valores más bajos. La razón por la que estos recubrimientos Low-E, reducen la transferencia de calor por radiación es porque reflejan la onda larga infraroja.

El usar vidrios Low-E en unidades dobles de vidrio, en lugar de vidrios transparentes, baja el valor U entre un 25 a un 40%, por lo que contribuye a la reducción de costos de aire acondicionado y calefacción.

En todos los sistemas de colocación de vidrio, el sellado es indispensable para evitar ineficiencias por pérdida de calor, e infiltración de aire, requiriendo de uso de calefacción cuando los climas lo ameritan. Si las unidades son dobles hay que considerar que los espaciadores tengan disecantes para evitar condensación del aire.

Como se analizó, dependiendo del tipo de vidrio utilizado el comportamiento térmico varía. Por tal razón debemos considerar el tipo de vidrio a utilizar desde la etapa del diseño.





# Conclusiones

El vidrio fue un material utilizado por el hombre desde la antigüedad en diferentes aplicaciones, como: decoración, utensilios, armas, etc. En la arquitectura se involucró como un elemento de la construcción desde épocas remotas, como es el caso del imperio romano que lo introdujo en sus fachadas para integrar y orientar los espacios interiores hacia el paisaje. La transparencia y las dimensiones que se lograron eran limitadas debido a las técnicas que hasta el momento se tenían desarrolladas. Desde entonces se llevaron a cabo diferentes procesos que permitieron un incremento de las dimensiones de las hojas: Con el soplado en coronas se obtenían hojas de 60 cm de diámetro, con el soplado en cilindros hojas de 1.00 m, con el método mejorado de cilindro, las láminas de vidrio tenían una longitud de 1.20 m aproximadamente, con el proceso de cilindro estirado se podían soplar y estirar cilindros de 12 m por 76 cm, con los sistemas de estirado del vidrio como es el caso del sistema Colburn, se obtenían láminas de aproximadamente 60 m de longitud, con el proceso de flotado que es el que se usa en la actualidad, la lámina de vidrio se hace en una producción continua con una longitud aproximadamente de 128 m por 6 m de ancho.

El uso del vidrio siguió siendo un factor importante en la concepción de los proyectos arquitectónicos, pero es hasta el siglo XIX en el que se pronunció su utilización, marcando con el Palacio de Cristal de Paxton un hito en la historia de la arquitectura. Posteriormente, el siglo XX protagonizó los avances tecnológicos que se dieron en la industria del vidrio, específicamente el método del vidrio flotado, permitiendo mayores volúmenes de producción y dimensiones de las hojas, perfeccionó la calidad del producto y generó bajas en el costo por la fabricación en serie. Esto incrementó su utilización en la construcción, puesto que trajo consigo mayor transparencia en el vidrio, hojas de dimensiones mayores, vidrios con color integrado, vidrios con capas que permiten protección solar, menos imperfecciones en las hojas, etc. Las mismas corrientes arquitectónicas, ideales conceptuales y sueños de los diseñadores involucraron más al vidrio en sus proyectos, apoyados en los nuevos criterios y factibilidades constructivas.

En un principio la fachada estaba ligada a la estructura y posteriormente se desligó de los elementos estructurales; esto facilitó la ruptura de los muros y permitió una mayor relación interior-exterior, que sumado con el vidrio lograron la transparencia buscada por la arquitectura moderna, que representa de cierta forma, de una sociedad más abierta, en donde la intención del edificio como barrera se diluye en los límites de la arquitectura de vidrio, dando continuidad al exterior en sus reflejos e integración al mismo con su transparencia.

Los reflejos y la transparencia son al vidrio como las texturas y los juegos de luz y sombra a otros materiales. Con el vidrio se logra iluminación natural y comunicación visual; su uso depende de lo que deseamos expresar arquitectónicamente y se debe considerar desde la concepción misma del proyecto.

El vidrio ha abierto al diseñador un extenso panorama de expresión plástica y ha incorporado un nuevo lenguaje que constantemente se ha involucrado más en nuestro vocabulario arquitectónico. La evolución de la fachada ha sido marcada por el vidrio. La huella que ha dejado en la historia de su desarrollo es imborrable; esto se hace evidente en el cambio de las dimensiones de las hojas utilizadas, la transparencia, los espesores, las imperfecciones, entre otros. En los inicios de uso del vidrio en la fachada, como en el caso de las termas de Pompeya, la dimensión mayor del vidrio era de 100 x 70 cm, y por los espesores utilizados y exceso de óxidos metálicos la transparencia lograda era mínima por lo que recurrieron a darles color para utilizarlos como un elemento decorativo en el edificio; con la técnica del soplado se incrementó el uso en la construcción siendo ejemplo de ello la arquitectura Románica y Gótica, el Palacio de Cristal utilizó 300,000 hojas de vidrio de 1.20 m de longitud elaboradas con la técnica del método del cilindro mejorado; a pesar de las limitantes de las dimensiones del vidrio, se busca una continuidad en la transparencia a través de la estructura del edificio. Hoy en día, la medida más comercial es de 1.80 x 2.60 m. Igualmente la transparencia se mejoró, se fueron eliminando las impurezas de la mezcla del vidrio con los procesos de producción,

obteniéndose hojas más transparentes, ejemplo de ello es la pirámide de Louvre. Las imperfecciones de las hojas casi se eliminaron con el proceso del vidrio flotado, donde el vidrio flota de forma continua sobre una superficie de estaño fundido. Antes las imperfecciones eran muy evidentes como el caso de las burbujas, o de los rodillos que se usaban para la elaboración de la lámina, requiriendo un proceso final de pulido para minimizar las líneas que dejaba el proceso.

Todo esto ha sido posible gracias a los avances de la ciencia y la tecnología que ha invertido mucho tiempo y esfuerzo en el desarrollo del vidrio, siendo campos de investigación: su composición química, que han permitido lograr mayor transparencia, vidrios con color integrado, menores temperaturas de fusión; avances en las capas duras y suaves que permitieron conferirle al vidrio propiedades de protección solar y aislamiento térmico; vidrios laminados, que proporcionan mayor seguridad al edificio; unidades selladas, que permiten dar control térmico y acústico, etc., todo ello sin sacrificar la transparencia y luminosidad proporcionada por este material.

Beneficiado por estas investigaciones, el uso del vidrio es cada vez más requerido, incrementando la oferta y la demanda en el sector de la construcción, lo que lo hace un material privilegiado en la industria permitiéndole posicionarse como un material de vanguardia. Esto se debe a la evolución que ha sufrido el vidrio: por la capacidad de producción en serie, en un principio se hacían las hojas una por una con el método del vidrio soplado, hoy en día se producen 650 tn de vidrio diariamente en una sola planta; en las dimensiones de las hojas, en las imperfecciones que prácticamente se eliminaron, ya no se requiere el desbaste y el pulido utilizados en los procesos anteriores al flotado.

Actualmente se coloca en nuestros edificios vidrio y sobre todo un gran porcentaje de la fachada es de este material, esto se debe a varios factores como: Transparencia, control solar, control acústico, seguridad, proporcionada por los vidrios que hoy en día hay en el mercado. Para su correcto uso se debe conocer el tipo de sujeción que se va a utilizar, la compatibilidad de los selladores con el vidrio, etc.

El arquitecto por lo general se deslinda de investigar y de tener un amplio conocimiento de las propiedades de los materiales que está utilizando.

Es importante conocer que el vidrio es un material con propiedades químicas, eléctricas, mecánicas, ópticas, térmicas, entre otras. Estas propiedades no pueden ocurrir separadamente, por lo que el vidrio representa una combinación de propiedades, en donde la selección del mismo depende de ellas.

La composición química para formación de vidrios, es de diferentes tipos, la más utilizada y conveniente para el uso en fachadas son los vidrios sódico cálcicos. Para cada uso específico del vidrio existe un tipo especializado, que permite al usuario hacer una correcta utilización del material al conocer sus propiedades, o descartar su uso en caso de no ser útil para la aplicación propuesta.

En cuanto a sus propiedades mecánicas, hemos visto que el vidrio es un material perfectamente elástico, pues una vez la fuerza a la que fue sometido es retirada, retoma la forma inicial, nunca se deforma permanentemente, si se sobrepasa el esfuerzo al que pueden ser sometidos se quiebra. Para esto es necesario considerar la dimensión de la hoja, tipo de sujeción, utilización adecuada de las calzas para la transmisión de los esfuerzos, etc.

Estas propiedades del vidrio, dependen directamente de su composición. Sin embargo se le pueden conferir propiedades adicionales dependiendo de los procesos a los que sean sometidos, como darle color a la masa vítrea por incorporación de óxidos metálicos, obteniendo de esta forma los vidrios tintados; se producen vidrios que provean de protección solar a través de la aplicación de capas magnetrónicas o pirolíticas, cada una de ellas con características diferentes que confieren comportamientos específicos al material y dan una opción al arquitecto para hacer propuestas creativas. Se puede lograr confort térmico a través de la correcta utilización de estas capas, aplicación de vidrios de baja emisividad y encristalados dobles, y hacer un juego a través de la combinación de los mismos para adaptar al edificio al entorno.

Asimismo, se puede proporcionar seguridad al edificio en diferentes niveles según las necesidades de protección, ya sea por vidrios reforzados térmicamente, vidrios templados que en el momento de una rotura van a permitir que no ocurran accidentes por cortadas al no quedar elementos filosos; un nivel mayor de protección son los vidrios laminados, que

dependiendo del número de capas de PVB, logran diferentes grados de protección: desde evitar que simplemente el vidrio se desprenda al momento de romperse, hasta proteger de ataques por vandalismo e impacto de balas. Por otro lado están los vidrios de protección al fuego, de aislamiento acústico, vidrios decorados, vidrios fotovoltáicos, entre muchos otros.

El conocimiento de todas estas propiedades, permite al arquitecto hacer uso adecuado del vidrio y proponerlo en lugares donde realmente pueda cumplir la función para la que está diseñado. Va a generar beneficios no sólo al arquitecto, sino al proyecto mismo y al usuario final, optimizando el confort térmico y lumínico a través de este material, a la vez que reduce costos de aire acondicionado e iluminación. De esta forma, el edificio proyectado y construido con un uso racional del vidrio, podrá interactuar con el medio ambiente desde una relación visual de integración con el entorno, hasta una construcción bioclimática en diferentes escalas.

Los edificios con grandes superficies de vidrio en sus fachadas y que no han tenido un análisis previo a su construcción sobre el tipo conveniente de vidrio a utilizar, provocan un consumo excesivo de energía, por lo general debido a los requerimientos de refrigeración para lograr un confort térmico interior. Un ejemplo de ello, es el efecto de invernadero que se puede generar por el calor producido con la iluminación artificial, equipos de cómputo y por las personas que ocupan el lugar.

Debido a las nuevas tecnologías desarrolladas por las empresas dedicadas a la producción del vidrio y a los investigadores que han visualizado las perspectivas de aplicación de este material, han surgido vidrios que hoy en día pueden responder a las necesidades de confort sin detrimento del aspecto estético y la transparencia con los que podemos minimizar estos consumos de energía con vidrios dobles, reflectantes, low-e, que facilitan la decisión del diseñador en la incorporación de este material en las fachadas.

El vidrio ha sido un material que ha llamado nuestra atención por siglos. El conocimiento de sus propiedades relacionadas con su composición química, los métodos de producción, sus campos de aplicación y el mejoramiento de su comportamiento ante

factores específicos, han estado en la mira de los investigadores por mucho tiempo.

En la bibliografía consultada durante el proceso de investigación, encontré algunos libros que abordan diferentes aspectos sobre el vidrio: su historia, materias primas, propiedades, procesos de fabricación, aplicaciones, glosarios técnicos, tipos de vidrios, etc.

Debido a los permanentes avances tecnológicos que favorecen al vidrio, y a la limitada edición de libros sobre el tema, es necesario recurrir a fuentes alternativas que permitan tener mayor actualización en la investigación. Por tal razón me basé en gran medida en páginas de Internet que continuamente están renovando la información publicada. En la web se encuentra una gran variedad de artículos sobre los puntos anteriormente mencionados, por ejemplo de la historia de los materiales en general y del vidrio, hay un sin número de publicaciones que de cierta forma abarcan la misma información profundizando en algunos aspectos particulares, generando riqueza en los datos que se pueden obtener. Sin embargo la información publicada en internet está en constante cambio, algunas de las páginas consultadas y citadas en esta investigación fueron desplazadas de la ruta original, otras ya no están disponibles, haciendo difícil revisar nuevamente la información obtenida. En cuanto a los procesos de fabricación es interesante ver como las empresas que han lanzado los métodos de producción de vidrio han guardado sus memorias en páginas electrónicas que permiten conocer de cerca los avances logrados gracias a ellos, y a las personas que fueron responsables de estos desarrollos.

Sobre la aplicación en la construcción, los libros de historia de arquitectura relatan aquellos primeros vestigios de la arquitectura del vidrio en la modernidad, que sirven como antecedentes al concepto de material de vanguardia. Este concepto lo reforcé con el uso del Internet, en donde se encuentran interesantes debates sobre transparencia, vidrio y modernidad, demostrando que este material nos abre un mundo entero de posibilidades arquitectónicas; que ha tenido una importante evolución en la fachada; que la tecnología nos ha permitido dar cada vez mejores soluciones a nuestras necesidades con el uso del vidrio, dar superiores calidades lumínicas y relaciones espaciales.



De los tipos de vidrio que ofrecen las empresas productoras, se encuentra gran variedad de opciones en Internet, dado que con el fin de darse a conocer, publican información actualizada de los vidrios que desarrollan, incluyendo sus especificaciones técnicas en la mayoría de los casos. Las principales empresas consultadas fueron: Saint Gobain, Vitro Vidrio plano, Pilkington.

Como experiencia fundamental para el desarrollo de la investigación, conté con el apoyo de la empresa Saint Gobain de México, quienes me permitieron hacer recorridos a la planta de Cuautla, (Edo. De Morelos, México), en donde pude vivir de cerca el proceso de fabricación del vidrio flotado, del corte, del laminado y de la aplicación de capas en el vidrio. Ahí mismo pude tener contacto con las personas encargadas de la planta y del área técnica comercial quienes tuvieron toda la disposición para facilitar información y asesorías respecto al tema. Me permitieron tener acceso al software para el cálculo del vidrio, con el cual realicé algunos ejemplos que me sirvieron para entender mejor el comportamiento del vidrio según el tipo, el color, las capas y la cara en la que se le aplican, cuando son dobles o sencillos, etc., considerando el clima donde iba a utilizarse.

Teniendo todo esto como apoyo, cumplí los objetivos planteados desde el inicio de la investigación, pero adicionalmente a esto, uno de los logros que no estaban considerados inicialmente y que se consiguió, es el de servir de guía didáctica a los arquitectos y estudiantes de arquitectura en el conocimiento de este material, desde su composición química, estructura, propiedades, procesos de fabricación, tipos de vidrio, utilización en la construcción y formas de instalación.

El trabajo de investigación se enfocó en el cerramiento arquitectónico vertical en exteriores, y específicamente en los vidrios que proveen al edificio confort térmico y protección solar, por los beneficios que aportan al edificio, al usuario y la reducción de consumos de energía que se puede obtener. Por tal razón no se abarcaron tipos de vidrio que, aunque existen, no están directamente en función de los aspectos antes mencionados.

El camino para otras investigaciones está abierto, los cerramientos horizontales en vidrio, pisos, vitrales, vidrios que ofrecen variedad por su diseño, por su transparencia, que proveen aislamiento acústico,

protección y seguridad, sistemas de sujeción en fachadas, vidrios especiales, etc. no fueron abarcados en esta investigación y cada uno de ellos pueden ser campos completos de estudio dependiendo de la profundización que se quiera lograr.



# Bibliografía

## Libros:

---

- AGUILAR Sahagún, Guillermo, "El hombre y los materiales", ed. Fondo de Cultura Económica, México, 1988.
- AMSTOCK, Joseph S., "Manual del Vidrio en la construcción", Mc Graw Hill, México 1999
- BARBARÁ, Fernando, "Materiales y procedimientos de construcción"; 8ª edición, Tomo 2, Ed. Herrero S.A. de C.V. 1ª edición 1955, 8ª edición 1982, México. TA 403 B32 T2, pág. 523, 531, 548
- BRUCE, R. Gregg , et al, "Modern materials and manufacturing processes", Second edition, ed. Prentice Hall, USA, 1998, Clasificación: TS 183 M63 1998
- CASTRO Villalva, "Historia de la construcción arquitectónica", UPC, España, 1992.
- DE FUSCO, Renato, "Historia de la arquitectura contemporánea", Ediciones celeste, España, 1992
- DEREK, Hull, "Materiales compuestos", ed. Reverté, Clasificación TA 418.9 M37 H 8518 del laboratorio de investigación de materiales.
- El arte de construir, Biblioteca Interactiva Mundo Maravilloso, Ediciones SM Saber, Madrid, 1995
- FERNÁNDEZ, José María , "El vidrio", Segunda Edición, Madrid 1991, Consejo superior de Investigaciones científicas (CSIC), Fundación Centro Nacional del vidrio.
- FRAMPTON, Kenneth, "Historia crítica de la arquitectura moderna", Ed. Gustavo Gili, Barcelona, España, 1996
- GANDHI, M.V.and Thompson, B.S., "Smart materials and structures", ed. Chapman & Hall, USA, 1992
- Gateau, J. Ch. "El vidrio", R. Torres, Barcelona, 1976.
- GÖSSEL, Peter y Leuthaäuser, Gabriele, "Arquitectura del siglo XX", edit. Tashen, Alemania 1990.
- GROOVER, Mikell P. "Fundamentos de Manufactura Moderna", Edit. Prentice Hall, México, 1997
- HORNBOSTEL, Caleb, "Materiales para construcción", Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores, México, 2000.
- LÓPEZ, Tessy, y Martínez, Ana, "El mundo mágico del vidrio", Colección la Ciencia desde México, 137, Editorial Fondo de Cultura Económica. Clasificación: TP857 L66
- MÜLLER, Werner y Vogel, Gunther , "Atlas de Arquitectura I, Generalidades. De Mesopotamia a Bizancio", Ed. Alianza Universidad, Madrid 1984.
- NEWNHAM, Robert E., Conferencia "Ceramics into the next millenium", Materials Research Laboratory, Penn State University, University Park, PA 16802
- Petróleos Mexicanos, "El petróleo", edición conmemorativa editada por petróleos mexicanos, 1988.
- RANGEL Nafaile, Carlos E. "Los materiales de la civilización", ed. Fondo de Cultura Económica, México, 1987
- Saint-Gobain Glass, Glass Guide, Edition 2000
- Saint-Gobain México, Gerencia Técnica Comercial "Sistema de envidriado", Presentación en Power Point, material para capacitación.
- SCHNEIDER, Samuel J., "Ceramics and glasses", Volumen 4, Engineered materials handbook, ASM International, presidente técnico, Estados Unidos, 1991
- VAN VLACK, Lawrence, "Materiales para ingeniería", Segunda Impresión, Ed.Continental, México, mayo de 1969

VELOSA Fernández, Jesús H., "Introducción a la Construcción, los sistemas constructivos del edificio", departamento de tecnología, Universidad del Valle, Facultad de Arquitectura, Cali, Colombia, 1991

WRIGHT, Frank Lloyd, "Autobiografía", El croquis editorial, Madrid, España, 1998

## Enciclopedias:

Enciclopedia de la Química industrial, Tomo 9, Ed. Chapman & may, España 1976

Enciclopedia Las cien Maravillas, Edit. Salvat, Barcelona, España, Tomos 4, 12.

## Normas:

PROY-NOM-000-SCFI-2000, ANTEPROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA, , "Productos de vidrio, vidrio de seguridad usado en la construcción".

## Revistas:

BALVARENA Ortiz, Rina, "A prueba de...", Obras N°315, Marzo 1999, México, p. 62-72

DELGADO Alfaro, José Luis, Construcción, cmic, Febrero de 1998, N°516, México

DOLORES G, Juan Bernardo, "Tecnología de Vanguardia", Obras N°331, Julio 2000, México, p.27-36

DOLORES G, Juan Bernardo, "5 Edificios inteligentes", Obras N° 339, Marzo 2001, México, p. 34-45

DIHIGO, Gilberto, Et al. "Detrás del vidrio", Obras N° 315, Marzo 1999, México, p. 56-61

ORTEGA, Norma Susana, Et al., "Torre Siglum, Continuación del paisaje urbano", Obras N° 338, Febrero del 2001, México. p. 20-32

REYES Urrutia, Adriana "Muros Transparentes", Obras, N°327, Marzo 2000, México, p.36-46

ZARCO, Noemí G. , Et al., "Según el cristal con que se mira", Obras N°350, Febrero 2002, México, p.68-73

## Internet

Enciclopedia Microsoft

<http://www.personal.psu.edu/users/w/x/wxk116/habitat/>

*Arquitectura Paleolítica: Descripción de los tipos de vivienda utilizada, cronología gráfica de la vivienda y los habitantes de la época, fotografías y ubicación geográfica de estas construcciones.*

<http://utopiaverde.org/historia/prehistoria/edad-piedra/home.html>

*Edad de Piedra: Fechas, materiales utilizados en la época, herramientas, periodos que componen la edad de piedra (Paleolítico y Neolítico).*

<http://utopiaverde.org/historia/prehistoria/edad-bronze/home.html>

*Edad de Bronce: Fechas, materiales utilizados en la época, herramientas, cultura y economía.*

<http://www.nswpmittb.com.au/historyofplastics.html>

*Historia de los plásticos. Definición, Celuloide, Parkesina, técnicas de moldeo, plásticos en la naturaleza, Bakelita, poliuretanos, poli-estireno, polipropileno.*

<http://search.corbis.com>

*Imágenes sobre Mesopotamia, Egipto, Grecia y el vidrio.*

<http://myron.sjsu.edu/Greece/kgreece/kg2.htm>

*Armadura de la edad de bronce, que se encuentra en el museo arqueológico de Nafplio.*

<http://sarasvati.simplenet.com/html/bronzeage1.htm>

*Historia Indú*

<http://museovidrio.vto.com/>

*Historia del vidrio, exposiciones, técnicas y arte en vidrio, preguntas y respuestas sobre el vidrio.*

<http://www.coltejer.com.co/oal/peldar.htm>

*Elaboración de botellas, recipientes, cristalería y vidrio plano en Colombia.*

<http://aibb.com/Glass.htm>

*Vitales: Vidrio con diseños para uso decorativo.*

<http://www.lalcecsanisidro.org.ar/saber/hvidrio.htm>

*Historia del vidrio*

<http://www.crystal-mart.com/story.htm>

*Cristalería*

<http://www.crystalinks.com/egypt.html>

*Ubicación geográfica de las pirámides de Egipto; pirámides y mástabas según la dinastía.*

<http://encarta.msn.com/>

*Biografías y conceptos. Es una enciclopedia en internet que permite hacer diferentes búsquedas.*

<http://maxpages.com/ribbentrop/Mesopotamia>

*Página cambió a:*

<http://ancientneareast.tripod.com/Mesopotamia.html>

*Historia de Mesopotamia, ligas a diferentes artículos sobre el tema.*

<http://www.encyclopedia.com/articles/02493.html>

*Página cambió a:*

<http://www.encyclopedia.com/searchpool.asp?target@DOCTITLE%20ceramics>

*Definición de materiales cerámicos*

<http://www.advceramics.com/html/products.html>

*Materiales cerámicos avanzados: En esta página se puede acceder a las aplicaciones, productos e información general de la empresa*

<http://www.cienciahoy.org/hoy29/residuos01.htm>

*Artículo "Nuevos materiales a partir de residuos" de Aldo R. Boccaccini y Gerhard Ondracek*

<http://www.redhucyt.oas.org/>

*Liga de ciencia y tecnología*

<http://www.protekt.com.mx/>

*Vidrio Protekt: Vidrio de seguridad*

<http://www.educenter.utexas.edu/tech/glass.html>

*La página actualmente ya no está disponible, se puede entrar a [www.utexas.edu](http://www.utexas.edu), y buscar "glass", de esta forma se encuentran varios artículos sobre el vidrio.*

<http://www.marvin.com/ownersman/privacy.asp>

*En esta página se habla del "Privacy glass", o cristal inteligente como también se le conoce, el cual consiste en cristal líquido entre dos hojas de vidrio con una película de 3M.*

<http://www.marvin.com/ownersman/glass.asp>

*Limpieza y mantenimiento de las ventanas*

<http://www.expansion.com.mx/obras/revistas/25-312-98-np.htm>

*Revista Obras, la página ya no está disponible.*

<http://mipagina.euskaltel.es/jarenocomposites>

*La página fue trasladada a la dirección:*

[www.jarenocom.com](http://www.jarenocom.com)

*"Los materiales compuestos al servicio de la arquitectura, la ingeniería y el diseño"*

<http://www.dmpa.upm.es/aemac/lblanco/lblanco.htm>

*La página ya no está disponible*

<http://www.advancedcomposites.com/custom.htm#AboutAdvancedComposites,Inc.>

*Materiales compuestos avanzados. Productos*

<http://www.glassonline.com/history.com>

*Historia del vidrio: Desde el año 5000 a.C, hasta el desarrollo del vidrio soplado en 1959*

<http://www.duglass.com/producto/vidrio/vidrio00.htm#1>

*Para acceder a la página hay que entrar a través de la liga*

<http://www.duglass.com>

*Incluye: Manual del vidrio, novedades sobre el vidrio, programa para calcular espesores del vidrio en ciudades de España, vidrios Low-E, control Solar, etc.*

[http://www.buss-partner.de/english/defglass\\_e.htm](http://www.buss-partner.de/english/defglass_e.htm)

*Para entrar a la página se escribe la dirección <http://buss-partner.de>, una vez que se entra se escoge english, y posteriormente glass, así se entra a la página ya que la liga ya no tiene acceso directo.*

*En ella se encuentra el Desarrollo y las técnicas de la elaboración del vidrio y su definición*

[http://www.iaf.es/enciclopedia/cristaleria\\_cogulada/laminados.htm](http://www.iaf.es/enciclopedia/cristaleria_cogulada/laminados.htm)

*Vidrios Laminados: Descripción general, variedades y aplicaciones.*

<http://www.foxrarebooks.com/benedictus.html>

*Pequeña biografía de Edoard Benedictus*

<http://www.sekurit.com/francais/organisa/actu.asp#top>

*Vidrios de seguridad*

<http://www.dupont.com/safetyglass/benedictus/>

*Premio DuPont Benedictus por innovación en vidrio laminado para arquitectura.*

[http://perso.club-internet.fr/f\\_bailly/verre/verre.htm](http://perso.club-internet.fr/f_bailly/verre/verre.htm)

*El vidrio: Generalidades, Clasificación, Composición y estructura química, fabricación, aspectos económicos y ecológico*

<http://urbanlegends.com/science/glass.flow/glassmaking.html>

*preguntas y respuestas sobre las técnicas de fabricación del vidrio*

<http://www.niceglass.com/glasshistory.com>

*Historia del vidrio*

<http://www.kinsalecrystal.ie/history.htm>

*Historia de la elaboración del vidrio*

<http://www.pbs.org/wgbh/pages/roadshow/speak/crystal.html>

*Diferencia entre "Cristal" y vidrio*

<http://www.usfirehouse.com/>

*Se entra a la liga interna Soda Pop History*

*Habla sobre la producción de botellas y la primera patente de la máquina sopladora de botellas.*

<http://www.primaryglass.org/papers/history.html>

*Historia de la tecnología del vidrio flotado.*

<http://www.sticla.ro/english>

<http://www.cienciadigital.net/>

*En el buscador se escribe concurso, y en el área de física aparece la liga al artículo: "Metales transparentes o de cómo la ficción se convirtió en ciencia"*

<http://www.saflex.com/ar/guia7.htm>

*Información sobre colocación de vidrios*

<http://www.glasswebsite.com/>

*Consideraciones del vidrio, artículo, boletines informativos, información técnica.*

<http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/fs18a.htm>

*Manual técnico del diseño pasivo*

<http://www.saint-gobain-glass.dk/>

*Guía del vidrio, productos, referencias, compañías de Saint Gobain*

<http://www.grupomac.com.mx/>

*Proyectos: Edificio de la Chrysler en México*

<http://www.euskatel.net/javiermozas/paginas/articulos/atsiete.htm>

*Artículo: "Transparencia y modernidad" de Javier Mozas.*

<http://arq.unne.edu.ar/areadigital/area2/galdeano1corbusier.htm>

*Artículo sobre la arquitectura de Le Corbusier*

[http://www.lavozdelinterior.com/2001/0302/nota18914\\_1.htm](http://www.lavozdelinterior.com/2001/0302/nota18914_1.htm)

*Artículo: "Cerramientos de cristal"*

<http://www.pilkington.com/corporate/spanish/pilkington+in/argentina/default.htm>

*Artículo: "El vidrio en la arquitectura".*

<http://www.azc.uam.mx/cyad/procesos/web/site/grupos/tde/NewFiles/manuelV.III.html>

*Artículo: "Vidrio, diseño y tecnología", de Manuel Rodríguez Viqueira*

<http://www.arquitecturaviva.com/ArquitecturaViva82.html#Articulo>

*Artículo: "Voces de vidrio" por Luis Fernández-Galiano*

<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n5/amlux.html>

*Artículo: Arquitectura de Vanguardia y ecología, por Margarita de Luxán García de Diego*

<http://www.library.toledo.oh.us/history/glassmaker.jpg>

*Imagen de la primera máquina sopladora de botellas*

<http://www.londoncrownnglass.co.uk/History.html>

*Historia del vidrio*

<http://www.scienceworld.wolfram.com/biography/Abbe.html>

[http://www.astro.unibonn.de/~pbrosche/persons/pers\\_abbe\\_e.html](http://www.astro.unibonn.de/~pbrosche/persons/pers_abbe_e.html)

*Biografía de Ernst Abbe*

<http://www.time.com/time/time100/scientist/profile/baekeland.html>

*Biografía de Leo Baekeland*

<http://www.foxrarebooks.com/benedictus.html>

<http://www.dupont.com/Safetyglass/benedictus>

<http://www.website.lineonline.net/~jdsapiers/benedict.htm>

<http://www.sekurit.com/francais/organisa/actu.asp#top>

*Biografía de Edouard Benedictus*

<http://www.argonet.co.uk/users/timeworks/bio/bess.html>

*Biografía de Henry Bessemer*

<http://www.worldmedia.fr/tourism/page/T06021.html>

*Biografía de Chardonnat*

<http://www.ri.au.uk/history/H.Davy>

*Biografía de Humphry Davy*

[http://architects.greatbuilding.com/Gustave\\_Eiffel.html](http://architects.greatbuilding.com/Gustave_Eiffel.html)

*Biografía de Gustave Eiffel*

<http://www.iee.org.uk/publish/faraday/faraday1.html>

*Biografía de Michael Faraday*

<http://www.infoplease.com/ipa/A0767144.html>

*Biografía de Charles Goodyear*

<http://www.invent.org/book/book-text/51.html>

*Biografia de Charles Martin Hall*

<http://www.infoplease.com> <http://www.infoplease.com>

<http://www.bca-pool.com/industry/hof/ind69-76.html>

*Biografia de John Wesley Hyatt*

<http://www.nobel.se/chemistry/laureates/1963/natta-bio.html>

*Biografia de Giulio Natta*

<http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/scenes-e/biog/b0028.html>

<http://www.encyclopedia.com>

*Biografia de Hans Christian Oersted*

<http://www.libbey.com/libbey/libbeyglass>

*Biografia de Michael Owens*

<http://www.sandretto.it/museo/inglese/emstoriz.htm>

[http://search.biography.com/print\\_record.pl?id=10256](http://search.biography.com/print_record.pl?id=10256)

<http://www.me.umist.ac.uk/historyp/parkes.htm>

<http://www.instmat.co.uk/mwldweb/mar02/iomnews.htm>

*Biografia de Alexander Parkes*

[Http://greatbuildings.com/architects/Joseph\\_Paxton.html](http://greatbuildings.com/architects/Joseph_Paxton.html)

<http://www.audiobro.u-net.com/paxton/paxton.htm>

*Biografia de Joseph Paxton*

<http://www.treasure-troves.com>

[http://84.1911encyclopedia.org/S/SC/SCHONBEIN\\_CHRISTIAN\\_FRIEDRICH.htm](http://84.1911encyclopedia.org/S/SC/SCHONBEIN_CHRISTIAN_FRIEDRICH.htm)

<http://www.library.upenn.edu/etext/smith/s/schonbein.html>

*Biografia de Christian Schonbein*

<http://www.gutenberg.aol.de/autoren/scheerba.htm>

*Biografia de Paul Scheerbart*

<http://micro.magnet.fsu.edu/optics/timeline/people/schott.html>

<http://www.cz.j.th.schule.de/spezi/schule/allgemeines/geschichte/jena/schott.html>

*Biografia de Otto Schott*

<http://ods.schule.de/schulen/siemens/stammbaum/cabri1s.jpg>

*Biografia de Carl Friedrich Siemens*

<http://www.nobel.se/chemistry/laureates/1953/staudinger-bio.html>

*Biografia de Hermann Staudinger*

<http://www.phys.tue.nl>

<http://nobel.sdsc.edu/laurates/physics-1910.html>

*Biografia de Johannes Van der Walls*

<http://interchem.chem.uab.edu/barbaro/wohlerweb.html>

<http://nautilus.fis.uc.pt/st2/scenes/biog/b0037.html>

*Biografia de Friederich Wohler*

<http://books.nap.edu/books/0309047463/html/516.html>

*Biografia de Frederik Zachariasen*

<http://www.encarta.msn.com/find/concise.asp?ti=00017000>

*Biografia de Karl Ziegler*



# Efecto de diversos elementos en las características del vidrio

Tabla tomada de *Materiales para Construcción: tipos, usos y aplicaciones*, p. 974

Elemento	Forma en que se usa	Efecto que tiene en la composición del vidrio	Ventajas	Desventajas	Tipos de vidrio y uso principal
Antimonio	$Sb_2O_3$	Afecta el color	Contrarresta el color verdoso producido por las impurezas del hierro.		Muchos tipos de vidrio, Vidrio transparente infrarrojo
Arsénico	$As_2O_3$	Afecta el color	Contrarresta el color verdoso producido por las impurezas del hierro.		Muchos tipos de vidrio, Vidrio transparente infrarrojo
Azufre	$Na_2SO_4$	Agente reductor y produce color	Cuando está presente en el vidrio como sulfuro de sodio ( $Na_2S$ ), produce color amarillo (El sodio pasa a formar parte del vidrio).		Todos los tipos de vidrio, vidrio coloreado.
Bario	$BaCO_3$	Reemplaza parcialmente al calcio (Ca); el carbonato de bario se cambia a óxido de bario ( $BaO$ ) durante la fusión.	Aumenta el índice de refracción		Vidrio óptico
Berilio	$BeO$	Sustituye parcialmente ya sea al calcio o al silicio (arena)	Aumenta el índice de refracción y la resistencia al intemperismo.	Se usa poco a causa del costo	Muchos tipos de vidrios.
Boro	$B_2O_3$	Sustituye parcialmente ya sea al calcio o al silicio	Aumenta el índice de refracción; reduce el coeficiente de dilatación y oscurece los colores producidos por otros elementos.		Vidrio óptico y refractario.



Elemento	Forma en que se usa	Efecto que tiene en la composición del vidrio	Ventajas	Desventajas	Tipos de vidrio y uso principal
Cadmio	CdS	Produce color	Produce vidrio amarillo y absorbe ciertas porciones del espectro de los colores.		Vidrio óptico especial y vidrio del tipo filtrante.
Carbono	C	Ayuda a reducir los materiales en la fusión; se introduce en la composición en forma de antracita.	Aumenta la acción de ebullición combinándose con oxígeno para formar CO <sub>2</sub> durante la reducción de otros materiales	Muy difícil de controlar por el CO <sub>2</sub> gaseoso	Todos los tipos de vidrio
Cerio	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Produce color	Da un tinte ligero amarillo y fluorescencia azul al vidrio; absorbe ciertas porciones del espectro de los colores; absorbe la luz ultravioleta		Vidrios ópticos especiales, protección contra los rayos X
Cesio	CsO	Sustituye parcial o completamente al sodio	Aumenta el índice de refracción	Se usa poco a causa de su costo	Óptico
Cloro	NaCl	Ayuda a girar el proceso de fusión	Mejora la calidad del vidrio (el sodio se transforma en parte del vidrio)	Se usa poco a causa de su costo	Óptico
Cobalto	Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Decolorador; produce color	Produce color azul; con níquel produce un tinte neutro; por tanto se utiliza para neutralizar los colores debidos a impurezas.	Se usa poco a causa de su costo	Todos los tipos de vidrio, vidrio coloreado, algunos vidrios ópticos
Cobre	Cu <sub>2</sub> O	Produce color	Produce color rojo		Vidrio coloreado
	CuO	Produce color	Produce color azul		Vidrio coloreado
Cromo	Cr <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Agente oxidante; produce color	Produce color verde amarillento; absorbe ciertas porciones del espectro de los colores		Vidrio coloreado y vidrio óptico especial

Elemento	Forma en que se usa	Efecto que tiene en la composición del vidrio	Ventajas	Desventajas	Tipos de vidrio y uso principal
Estaño	$\text{SnO}$	Reduce químicamente al hierro en el vidrio de sodio-calcio Se combina con los fluoruros y los fosfatos Mejora el vidrio coloreado de rubí del tipo de cobre o de oro.	Ayuda a oxidar y a reducir el contenido de hierro Produce opalescencia lechosa Mejora el color del vidrio rubí		Muchos tipos de vidrio, vidrio para transmisión ultravioleta especial Vidrio opalescente Vidrio coloreado
Estroncio	$\text{SrO}$	Sustituto del calcio o del bario		Se usa rara vez debido a su costo	Vidrio especial
Flúor	$\text{CaF}_2$	Opacificador y opalizador	Baja el índice de refracción y la viscosidad a las temperaturas de trabajo (el calcio se convierte en parte del vidrio)		Vidrio opalescente
Fósforo	$\text{P}_2\text{O}_5$	Opacificador y opalizador en el vidrio de sodio-calcio			Vidrio opalescente
	$\text{Al}(\text{PO}_3)_3$	Sustituye completamente al silicio			Vidrio científico y óptico
Hierro	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Produce color	Produce color aguamarina		Vidrio coloreado
	Fe	En general es una impureza	Baja la viscosidad a las temperaturas de fusión	Da un color verdoso al vidrio	Todos los tipos de vidrio
Manganeso	$\text{MnO}_2$	Afecta la coloración y Produce color	Contrarresta el color verdoso ocasionado por las impurezas de hierro y produce un color púrpura amatista a rojo oscuro; también es transparente a la radiación infrarroja		Vidrio opalescente
Neodimio y praseodimio	Óxidos de ambos	Producen color	Produce un color rosa azulado; reducen el destello		Vidrio coloreado

Elemento	Forma en que se usa	Efecto que tiene en la composición del vidrio	Ventajas	Desventajas	Tipos de vidrio y uso principal
Níquel	NiO	Produce color	Produce un color café rojizo en el vidrio de sodio-calcio, y violeta en el vidrio de potasio calcio; con cobalto produce un tinte neutro.		Vidrio coloreado
Nitrógeno	NaNO <sub>3</sub>	Agente oxidante	Libera el oxígeno y se disipa el nitrógeno		Todos los tipos de vidrio
Oro	AuCl <sub>3</sub>	Produce color	Produce color rubí	Se emplea poco a causa de su costo	Vidrio coloreado
Oxígeno	(Siempre con otro elemento, como óxido)	Agente oxidante	Componente real del vidrio		Todos los tipos de vidrio
Plata	Ag <sub>2</sub> O	Produce color	Produce color amarillo		Vidrio coloreado
Plomo	PbO	Aumenta la densidad; produce color; se introduce en forma de litargirio	Aumenta la brillantez, el índice de refracción y la densidad; en grandes cantidades produce un color amarillo canario		Vidrio coloreado
Potasio	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Fundente Sustituye completamente al silicio	Promueve la fusión de los materiales Produce vidrio más brillante; aumenta la viscosidad y la resistencia a la intemperie; baja el índice de refracción	Por lo general, no se usa y es más costoso que el sodio	Vidrios especiales
Selenio	Se	Produce color y en pequeños porcentajes actúa como decolorante	Produce color amarillo		Vidrio coloreado

Elemento	Forma en que se usa	Efecto que tiene en la composición del vidrio	Ventajas	Desventajas	Tipos de vidrio y uso principal
Titanio	$\text{TiO}_2$	Produce color	Produce color violeta, y con hierro o cerio un color amarillo		Vidrio coloreado
Uranio	$\text{Na}_2\text{UO}_4$	Produce color	Produce color amarillo verdoso fluorescente; absorbe ciertas porciones del espectro solar de los colores		Vidrio coloreado, vidrio óptico y científico
Vanadio	$\text{V}_2\text{O}_5$	Produce color	Produce color verde; absorbe ciertas porciones del espectro de los colores		Vidrio coloreado, vidrio óptico
Zinc	$\text{ZnO}$	Sustituto del óxido de calcio como fundente	Aumenta la resistencia a la intemperie y disminuye el coeficiente de dilatación		Vidrio coloreado, vidrio óptico
Zirconio	$\text{ZrO}_2$	Aumenta la viscosidad	Aumenta el índice de refracción y la resistencia al intemperismo	Se usa rara vez debido a su costo	Vidrio especial



Abbe, Ernst (1840-1905)



Nació el 23 de Enero de 1840 en Eisenach, gran ducado de Saxe-Weimar-Eisenach (Hoy Alemania), y murió el 14 de enero de 1905 en Jena, Alemania. Estudió en la universidad de Jena y en la de Göttingen en donde recibió su doctorado en 1861 con una disertación sobre termodinámica. En 1863 formó parte del profesorado de la universidad de Jena. De 1870 a 1896 fue profesor en Jena de matemática y física. En 1878 fue nombrado director del observatorio astronómico de Jena y del observatorio meteorológico de la misma ciudad, cargo que tuvo hasta 1889. En 1866 junto con Carl Zeiss estudió varios problemas ópticos, por esto le llama fuertemente la atención de la óptica y la astronomía. En 1868 inventó el sistema de lentes apocromáticos para microscopio eliminando con esto la distorsión primaria y secundaria de color en los microscopios. También hizo mejoras en el diseño de un microscopio en 1870, incluyendo el uso de un condensador para dar alto poder e iluminación del campo de visión. En 1884, junto con Otto Schott, integraron la compañía de vidrio en Jena, "Bulkead & Comrade". Inventó el prisma Abbe de constante desviación con ángulos de 90,30 60°. Hay un cráter lunar con su nombre.

<http://www.scienceworld.wolfram.com/biography/Abbe.html>  
[http://www.astro.unibonn.de/~pbrosche/persons/pers\\_abbe\\_e.html](http://www.astro.unibonn.de/~pbrosche/persons/pers_abbe_e.html)

BAEKELAND, Leo (1863 - 1944)



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Químico Belga, nace en 1863 en Ghent, Bélgica. Su primer invento fue el *Velox*, papel fotográfico mejorado que liberó a los fotógrafos de tener que usar la luz solar para el revelado de las fotos; fue desarrollado en 1890. Con el *Velox*, podían confiar en la luz artificial, la cual era de gas, y posteriormente eléctrica. En 1899 vende los derechos del *Velox* a George Eastman por \$1,000,000. En ese mismo año Baekeland se mudó con su esposa y sus dos hijos a Snug Rock, N.Y. Ahí convirtió un granero en laboratorio en donde empezó a desarrollar su siguiente experimento. No mucho antes del surgimiento de la industria eléctrica, él ya estaba pensando en los aislantes. Por muchos siglos la resina del escarabajo *Luccifer lacca* que depositaba en los árboles, se utilizaba por la gente del campo, después de calentarla como un barniz o laca, usado para proteger la madera y como aislante eléctrico. En 1904 empezó la búsqueda de un sustituto sintético para esta laca. En 1907 desarrolla el primer plástico totalmente artificial el cual llamó *Bakelita*. En 1909, introduce la *Bakelita* en una conferencia química y funda "*General Bakelite Corp*". En 1944 Muere en Beacon, N.Y.

<http://www.time.com/time/time100/scientist/profile/baekeland.html>

## BENEDICTUS, Edouard (1879-1930)

Nació en Francia en 1879 y murió en 1930. Fue pintor, compositor, escritor y químico. Empezó en 1897 como encuadernador y luego trabajó en diseño de materiales para muebles. Escribió un artículo muy importante en 1912 titulado "L'Art décoratif". Hizo álbumes muy bonitos de textiles y diseños de papel tapiz en estilo Art Decó, usando coloraciones "pochoir". Entre sus principales obras encontramos: "Variations," 1924; "Nouvelles Variations," 1925; and "Relais," 1930. En 1909 por accidente descubre el vidrio laminado al dejar caer una botella con nitrocelulosa, y al ver que el vidrio no salió esparcido pensó en este material como una opción de seguridad en el vidrio. En su honor la empresa Du Pont desde 1992 entrega anualmente los premios Du Pont Benedictus, en la competencia que se lleva a cabo en las categorías de estudiantes y profesionales de la arquitectura, por uso del vidrio laminado.

<http://www.foxrarebooks.com/benedictus.html>  
<http://www.dupont.com/Safetyglass/benedictus>  
<http://www.website.lineonline.net/~jdsapiers/benedict.htm>  
<http://www.sekurit.com/francais/organisa/actu.asp#top>

## BESSEMER, Henry (1813 – 1898)

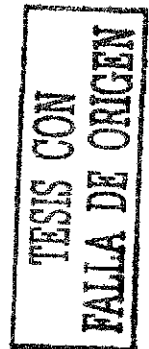
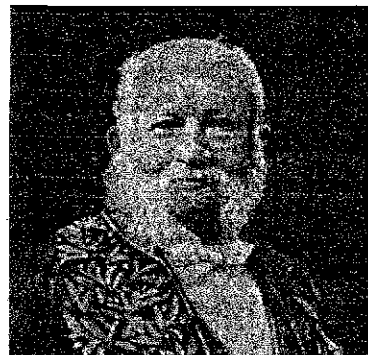


Nació el 19 de enero de 1813, en Charlton, Inglaterra. En 1856, introdujo un nuevo método de producir acero, usando una caldera especial llamada convertor. Este desarrollo siguió un trabajo hecho en Kentucky, USA por Willuam Kelly.

El proceso de Bessemer fue apropiado para producir largas cantidades de acero refinado. Este funcionaba soplando aire a la parte superior de la caldera, de manera que pasaban burbujas al hierro fundido. Este carbón quemado de el hierro produce una gran cantidad de calor, que refina el metal. En 1860 patentó el convertor inclinado, el cual producía acero más eficientemente que el primero realizado. En este mismo año, John Brown de Sheffield obtuvo la primera licencia para producir acero Bessemer. Usando el proceso de Bessemer, las compañías de fabricación de acero en Sheffield fueron capaces de producir acero barato en grandes cantidades. En 1850 la producción de acero en Gran Bretaña eran aprox. 50000 ton. Cerca del 85% de este se producía en Sheffield en 1880.

<http://www.argonet.co.uk/users/timeworks/bio/bess.html>

## CHARDONNET, Hilaire Bernigaud



Nació en 1839 en Besançon. En 1894, después de varios años de investigación infructuosa y varias horas en el laboratorio, el Conde de Chardonnet, desarrollo el material de la celulosa, con la resiliencia y apariencia de la seda natural. En 1899\* el llevó este material a la exposición mundial en París, mostrando su versatilidad y demostrando que había ocurrido una revolución textil. Un año más tarde en Besançon se creó una fábrica para producirlo, la cual se llamó "Soie de Chardonnet", o "Chardone", que más tarde se conoció como Rayón. Era un científico más no un hombre de negocios, lo que lo llevó a vivir sus últimos días de vida, en una pensión que le permitió vivir desentamente.

<http://www.worldmedia.fr/tourism/page/T06021.html>

## DAVY, Humphry (1778 - 1829)



Humphry Davy, estaba trabajando como aprendiz de boticario en Cornwall, cuando en 1798, gracias a su destreza para la química obtuvo un puesto en el instituto neumático del Dr. Thomas Beddoes' en Bristol, dedicado a la investigación de los usos médicos de los gases. Fue aquí donde Davy desarrolló su extensa investigación sobre el óxido de nitrógeno y descubrió a través de auto experimentación la deliciosa sensación de respirar el gas.

En 1801 empieza a trabajar en la *Royal Institution of Great Britain*. Se convirtió en uno de los principales químicos, gracias a su trabajo con la pila de "Volta" o batería eléctrica. Esta pila, era una concentración de láminas de cobre y cinc separadas por un fluido, que generaba continuas corrientes eléctricas. En 1806 y 1807 presentó su investigación sobre la pila y sus teorías de electroquímica (término que él acuñó). A través de rigurosos experimentos, demostró como el proceso de composición y descomposición química dependían de los estados eléctricos de los cuerpos. En 1807 se convirtió aún más famoso, por sus descubrimientos sobre el potasio y el sodio. Luego construyó la pila más grande del mundo (2000 placas dobles) y la usó para descubrir otros elementos probando que el cloro, como el lo llamó, era un elemento raro como un ácido. En 1815 inventa la lámpara segura para la minería. Davy obtuvo el título de caballero en 1812 y se hizo un baron en 1818, sirvió como presidente de la Royal Society entre 1820-1827. Falleció en 1829.

<http://www.ri.au.uk/history/H.Davy>

## EIFFEL, Gustave (1832 - 1923)



Nació en Dijon Francia en 1832. Se graduó de ingeniero en la "Ecole Centrale des Arts et Manufactures", París, 1855 y entró a una firma especializada en rieles de ferrocarril.

Empezó la práctica independiente en 1864 después de la cual estableció su carrera como ingeniero contratista. La construcción más famosa de Eiffel fue la torre que lleva su nombre, construida para la exposición Universal de París en 1889, que en su tiempo fue el edificio más alto del mundo.

Los últimos años de su vida los dedicó a la aerodinámica, construyendo un túnel aerodinámico donde experimentó con diseños de cohetes y aviones. Murió en París en 1923.

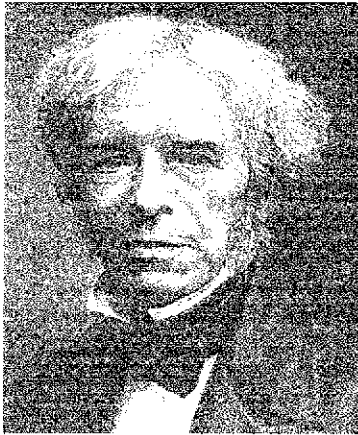
[http://architects.greatbuilding.com/Gustave\\_Eiffel.html](http://architects.greatbuilding.com/Gustave_Eiffel.html)  
*Enciclopedia Cultural Junior, Tomo 4, edit. Salvat.*





## FARADAY, Michael (1791 - 1867)

---



Nació el 22 de Septiembre de 1791.

Se dedicó a hacer experimentos en electro tecnología, y de ellos se derivan los descubrimientos del motor eléctrico, el generador y el transformador.

A la edad de 14 años fue aprendiz de un empastador de libros londinense. En donde leyó muchos libros y encontró fascinación por la ciencia, por lo que escribió al *Royal Institution* a *Sir Humphry Davy* solicitándole trabajo. Para el 1 de Marzo de 1813, ya era asistente de laboratorio en dicho instituto. Ahi Faraday se sumergió en el estudio de la química, convirtiéndose en un talentoso analista químico.

En 1823 descubrió que el cloro podía volverse en estado líquido y en 1825 descubrió la nueva sustancia conocida hoy como benceno. Sin embargo su principal trabajo fue con la electricidad. En 1821, inmediatamente después de que el químico Danés, Oersted, descubrió el fenómeno del electromagnetismo, Faraday construyó dos piezas para producir lo que el llamaba-rotación electromagnética: que es un movimiento circular continuo de una fuerza circular magnética alrededor de un alambre.

En 1831 empezó sus grandes series de experimentos en los cuales el descubrió la inducción electromagnética. Desarrollo el primer generador. Escribió sus experimentos en dos partes presentadas a la Royal Society el 24 de noviembre de 1831 y el 12 de enero de 1832; en ellas escribió "las leyes que gobiernan la evolución de la electricidad por inducción electromagnética. En 1832 comprobó que la electricidad inducida de un magneto, la electricidad voltáica producida por una batería y la electricidad estática eran lo mismo.

Describe la teoría de las líneas de la fuerza del movimiento entre cuerpos con propiedades eléctricas y magnéticas permitiendo a James Clerk Maxwell formular una teoría matemática exacta de la propagación de las ondas electromagnéticas. En 1865 Maxwell probó matemáticamente que los fenómenos electromagnéticos son propagados como ondas a través del espacio a la velocidad de la luz, en 1888 fue confirmado experimentalmente por Hertz en la fundación de radio y comunicación y desarrollado en la práctica a finales del siglo por Guglielmo Marconi. En 1865, Faraday deja de trabajar en Royal Institution después de 50 años de servicio. Muere en su casa en Hampton Court el 25 de agosto de 1867.

<http://www.iee.org.uk/publish/faraday/faraday1.html>

## GOODYEAR, Charles (1800 - 1860)

---



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Nació el 29 de diciembre de 1800 en New Haven, Connecticut y murió el 1 de julio de 1860.

El hule natural tenía usos limitados para la industria; se derretían en climas cálidos y se fisuraban en climas fríos. Esto cambió cuando Charles Goodyear, accidentalmente dejó caer una mezcla de caucho con azufre sobre una estufa caliente.

El descubrimiento de Goodyear se conoció como vulcanización de caucho fortalecido, el cual podía ser aplicada a todo tipo de industria. En 1830 colocó un negocio con su padre pero fracasaron.

Después se dedicó a la producción comercial del hule, pero no se usaba mucho por la adhesividad de su superficie y por la incapacidad de soportar temperaturas extremas.

Después de numerosos experimentos, en 1836 desarrolló un tratamiento con ácido nítrico, que parcialmente solucionó estos problemas. Es el famoso proceso de vulcanización, patentado en 1844, revolucionó la industria del hule, pero Goodyear fue incapaz de obtener ganancia monetaria de su descubrimiento.

<http://www.infoplease.com/ipa/A0767144.html>

### Hall, Charles Martin ( 1863 - 1914 )

---



Nació en Thompson, Ohio, el 6 de diciembre de 1863 y murió el 27 de diciembre de 1914.

Descubrió el método electrolítico de producción de aluminio, el cual resultaba económico, permitiéndole al material hacer parte de extensos usos comerciales.

Entendiendo el potencial del aluminio, Hall fundó una industria que contribuyó a muchas otras, particularmente la manufactura de aviones y automóviles.

Después de su graduación en 1885, siguió usando el laboratorio del *college*, y descubrió su método 8 meses después.

Después de muchos intentos infructuosos de obtener soporte económico, Alfred E. Hurt lo apoyó y algunos de sus amigos. Juntos formaron la Pittsburg Reduction Company (después conocida como Aluminium Company of America). En 1890 se convirtió en el vicepresidente de la empresa.

En 1914, el proceso de Hall bajó el costo del aluminio a 18 centavos la libra. El aluminio, antes un metal precioso usado para joyería fina, hoy en día es usado incluso para empacar artículos. Hall donó a su "alma mater": Oberlin más de \$5 millones de dólares.

<http://www.invent.org/book/book-text/51.html>

### HYATT, John Wesley (1837 - 1920)

---



Inventor Americano, nació en Starkey, N.Y, USA, en 1837 y murió en 1920. Es conocido principalmente por su descubrimiento del CELULOIDE, con su hermano en 1866; Hyatt empezó la búsqueda por un material sintético apropiado para las bolas de billar cuando una firma de billares en Nueva York le ofreció \$10,000.00 dólares para encontrar un reemplazo del Ivory. El celuloide revolucionó la industria del billar., y se conoce como el padre de la industria plástica americana. También inventó el filtro Hyatt, un medio para purificar químicamente el agua mientras está en movimiento, entre otros.

<http://www.infoplease.com> <http://www.infoplease.com>  
<http://www.bca-pool.com/industry/hof/ind69-76.html>

## NATTA, Giulio (1903 - 1979)



Giulio Natta nació en Imperia el 26 de febrero de 1903. Se graduó en Ingeniería Química en la Escuela politécnica de Milan en 1924. En 1933 se convierte en profesor de tiempo completo de la Universidad de Pavia y al mismo tiempo se estableció como director del Instituto General de Química en esa Universidad, donde se quedó hasta 1935, eso es hasta que él se convirtiera en profesor de química y física en la Universidad de Roma. De 1936 a 1938 fue profesor y director del Instituto de Química Industrial en la Escuela politécnica de Turin. fue el profesor y director de la Sección de Química Industrial del Politécnico de Milan desde 1938. Empezó su carrera con un estudio de sólidos por medio de las Radiografías y difracción del electrón. Él usó los mismos métodos para estudiar los catalizadores y la estructura de algunos polímeros orgánicos. Su investigación cinética en síntesis del metanol, en la hidrogenación selectiva de los compuestos orgánicos insaturados y en *oxosynthesis* lo lleva a una comprensión del mecanismo de estas reacciones y a una mejora en la selectividad de catalizadores. En 1938 empezó a estudiar la producción de caucho sintético en Italia; él tomó parte del trabajo de la investigación en butadieno y fue el primero en lograr separación física de butadieno de 1-butadieno por un nuevo método de destilación extractiva. En 1953, con ayuda financiera de una compañía química italiana, Montecatini, Prof. Natta extendió la investigación dirigida por Ziegler en catalizadores, descubriendo nuevas clases de polímeros. Estos estudios que se desarrollaron para la aplicación industrial en los laboratorios de Montecatini, se realizaron con un material termoplástico.

Este producto se ha comercializado con éxito como un material de plástico, por el nombre de Moplen, como una fibra sintética, por el nombre de Meraklon, como un monofilamento por el nombre de Merakrin y como condensar película, por el nombre de Moplefan. Más tarde sintetizó nuevos elastómeros, originando materiales sumamente interesantes como cauchos sintéticos saturados. En 1961 fue miembro honorario de la Academia de Ciencias de Nueva York; Se hizo miembro de las sociedades: austriaca en 1960, belga en 1962 (obtuvo la medalla de STAS) y suizo en 1963. Recibió la medalla de oro del pueblo de Milan (1960), del Presidente de la República italiana (1961), la medalla de oro internacional de la industria de caucho sintético (1961); la medalla de oro del distrito de Milan (1962) y de la Sociedad de Ingenieros de Plástico (1963), la medalla de Perrin de la Sociedad Física Química francesa, y la medalla de Lavoisier de la Sociedad Química de Francia (ambos en 1963), la medalla del oro de Perkin de la Sociedad inglesa de Tintoreros y Colourists (1963), La Universidad de Turin le dio un grado honorario en pura química, y en 1963 Prof. Natta recibió un grado honorario de la Universidad de Mainz. Fue un miembro honorario de la Sociedad Química Industrial de París (1966) y de la Sociedad Química de Londres (1970); miembro honorario del Club Rotatorio; el miembro extranjero asociado de las Académie des Ciencias del l'Institut de Francia (1964); el miembro de la Academia Nacional de XL, Roma (1964); unió al miembro de la Academia Internacional de Astronáuticas, París (1965); el miembro extranjero de la Academia de Ciencias de Moscú, U.S.S.R. (1966); el presidente honorario de la Sección italiana de la Sociedad de Ingenieros de Plásticos (SPE). Él obtuvo los premios siguientes y los grados honorarios: la medalla de oro de la Unión de Químicos italianos (1964); la medalla de oro "Lomonosov" de la Academia de Moscú de Ciencias (1969); el "Carl-Dietrich-acosar-Plakette, del Kautschuk Gesellschaft Alemán, Frankfurt/Main (1971); los grados honorarios de la Universidad de Genova (1964), el Instituto Politécnico de Brooklyn, Nueva York (1964), la Universidad católica de Louvain, Bélgica (1965), y en 1971 de ESPI, Universidad de París. Obtuvo junto con Ziegel, el premio Nobel de la Química en 1963. Giulio Natta murió en 1979.

<http://www.nobel.se/chemistry/laureates/1963/natta-bio.html>

## OERSTED, Hans Christian ( 1777 - 1851 )



Físico y Químico Danés nació en Rudkjoebing (Langeland), en 1777, y murió en Copenhagen, in 1851, descubrió que una aguja magnética es desviada por un conductor que lleva una corriente eléctrica mostrando la relación entre electricidad y magnetismo. e iniciando el estudio del electromagnetismo. Fue el primero en aislar el aluminio.

En 1820, estaba dando clases en la universidad y mostrándole a sus alumnos cómo la electricidad podía viajar a través de un cable que estaba unido a una batería. El cable estaba muy cerca de un compás en su escritorio. Oersted notó que cuando movía el cable cerca del compás, la aguja sobre el compás se movía; así vió la relación entre electricidad y magnetismo.

Obtuvo su doctorado en 1799, fue profesor de física en Copenhagen, en 1804. Después de algunas incursiones en el campo de la química, su trabajo se centró en los problemas electromagéticos, con especial relecancia a los efectos descubiertos por el en 1820.

En 1829, fue director de la Escuela Politécnica de Copenhagen y fue escogido como secretario de la Academia de la Ciencia en Copenhagen. En 1842 fue miembro foráneo de la Academia de la Ciencia Francesa.

<http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/scenes-e/biog/b0028.html>  
<http://www.encyclopedia.com>

## OWENS, Michael J. ( 1859 - 1923 )



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Nace el 1 de enero de 1859, en Mason County, Virginia (Ahora Virginia del Oeste).

En Agosto de 1888 Owens empieza a trabajar en Libbey glass Company, en donde se convierte en supervisor 3 meses después de su ingreso.

En 1895 Toledo Glass company incorporó la máquinas semiautomáticas de soplado de botellas de Owens.

En 1902 Owens y sus asociados completaron el trabajo de su primera y totalmente exitosa, máquina automática de soplado de botellas (conocida como máquina Número 4), en pocos años la máquina sucesora ("Máquina A"), revolucionó la industria del vidrio. En 1903 incorporó la compañía de máquina de botellas.

En 1907 El "Nicholas Building" fue la sede central de Libbey glass y botellas Owen.

En 1916 Se organizó la compañía Libbey-Owens de hojas de vidrio.

En 1917 Se abrió la primera planta de Libbey-Owens en Charleston, Virginia del oeste.

En 1919 La compañía "Owens Bottle machine" cambió el nombre a "Owens Bottle company".

El 27 de diciembre de 1923, Michael Owens muere en Toledo.

<http://www.libbey.com/libbey/libbeyglass>

## PARKES, Alexander (1819 - 1876)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Nació en Birmingham, Inglaterra en 1813 siempre se interesó en la invención sin ser ni químico ni físico. Trabajó para algunas manufactureras de hule natural; de aquí surgió su interés por otras sustancias a las cuales se le podía dar similares resultados a los del caucho, puesto que estaba incrementándose la demanda industrial de este material.

Estudiando el nitrato de celulosa, obtenido en 1845 por Schönbein, Parkes desarrolló un nuevo material plástico de estado líquido, el cual era rígido, opaco, flexible, resistente al agua y podía ser usado como utensilios y herramientas como si fueran metales: La PARKESINA; patentada en 1865.

Esta parkesina la obtuvo mezclando colodión, alcanfor y ethanol, y fue considerado como el primer plástico sintético. En 1866 Parkes estableció la compañía Xylonite.

Murió en 1890, en Londres.

La sociedad de la historia del plástico inauguró una placa a finales de enero del 2002 en memoria de Alexander Parkes, inventor del primer plástico del mundo. Simon Parkes su sobrino nieto, realizó la ceremonia en la calle 32 Parkhall en West Dulwich, Londres, donde Alexander Parkes vivió por varios años en la última década de su vida. Esta placa es la primera de un gran número de conmemoraciones planeadas a las personas que contribuyeron a la formación del plástico.

<http://www.sandretto.it/museo/inglese/emstoriz.htm>  
[http://search.biography.com/print\\_record.pl?id=10256](http://search.biography.com/print_record.pl?id=10256)  
<http://www.me.umist.ac.uk/history/parkes.htm>  
<http://www.instmat.co.uk/mwldweb/mar02/omnews.htm>

## PAXTON, Joseph (1801 - 1865)



Nació en Milton Bryan, Inglaterra en 1801. Fue escogido por el Duque de Devonshire mientras trabajaba para la sociedad de Horticultura en Chiswick, por lo que ingresó a trabajar Chatsworth en 1826, en donde obtuvo el puesto de jefe de jardines. Pronto fue recorriendo todos los estados de Devonshire, creando lagos, arboledas e invernaderos y diseñando jardines para otros estados. Considerado un jardinero de paisajes, la superioridad de Paxton en diseños conservadores, lo hizo ganar reconocimiento como un arquitecto innovador. Durante la década de 1830, fue editor de: "The Horticultural Register", "Paxton's Magazine of Botany", "A Practical Treatise on the Cultivation of Dahlias", "The Pocket Botanical Dictionary"; y con John Lindley, fundó "The Gardener's Chronicle". Entre 1836 y 1840 diseñó y construyó 'the great stove', un enorme invernadero en la casa Chatsworth en Derbyshire; y en 1844 construyó "the emperor fountain", de 280 pies la más alta de Europa. Fue un entusiasta viajador de trenes, e invirtió dinero en la compañía de ferrocarriles, convirtiéndose en director de "Midland Railways". También invirtió en la publicidad, fundando "the Daily Chronicle" con Charles Dickens como Editor. Recibió en 1850 el título de caballero. En 1851 diseñó el lugar para la Gran Exhibición, luego conocido como el Palacio de Cristal. Su gran participación en aspectos públicos y municipales le permitieron postularse como Candidato Liberal para Coventry en 1854. Fue elegido "MP" y permaneció ahí hasta su muerte en 1865.

[Http://greatbuildings.com/architects/Joseph\\_Paxton.html](http://greatbuildings.com/architects/Joseph_Paxton.html)  
<http://www.audiobro.u-net.com/paxton/paxton.htm>

## SCHÖNBEIN, Christian (1799 - 1868)



Químico suizo alemán. Nació en Metzingen, Swabia el 8 de octubre de 1799 y murió en Sauersberg, cerca a Baden Baden el 2 de agosto de 1868.

Después de estudiar en Tübingen y Erlangen, enseñó primero en Keilhau, Thuringia, y luego en Epsom, Inglaterra, pero la mayoría de su vida la pasó en Basel, donde emprendió por su cuenta clases de química y física en 1828 y fue nombrado profesor de tiempo completo en 1835.

Se interesó en el agudo olor que se encontraba frecuentemente cerca de los equipos eléctricos. Y encontró después de iniciar las investigaciones en 1839, que el mismo olor podía producirse por la electrólisis del agua, al cual le llamó Ozono. Schönbein también descubrió el explosivo de la nitrocelulosa, el cual se usó como sustituto de la pólvora hasta que alternativas más seguras fueron descubiertas.

Fue un escritor prolífico, escribió 364 páginas bajo su nombre en el catálogo de la "Royal Society", y sostuvo una larga correspondencia con otros hombres de ciencia como Berzelius, Faraday, Liebig y Wohler. Muchas de sus cartas se encuentran en "G. W. A. Kahlbaum's Monographien aus der Geschichte der Chemie", volúmenes IV y VI (1899 y 1901).

<http://www.treasure-troves.com>

[http://84.1911encyclopedia.org/S/SC/SCHONBEIN\\_CHRISTIAN\\_FRIEDRICH.htm](http://84.1911encyclopedia.org/S/SC/SCHONBEIN_CHRISTIAN_FRIEDRICH.htm)

Foto tomada de:

<http://www.library.upenn.edu/etext/smith/s/schonbein.html>

## SCHEERBART, Paul ( 1863 - 1915 )



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Paul (Karl William) Scheerbart, nació en Danzing el 8 de enero de 1863, y murió en Berlín el 15 de octubre de 1915. Se inclinó por la filosofía, las artes y finalmente la literatura. Empezó en 1885 a escribir crítica de arte para diferentes periódicos. Creó en 1892 una casa de publicidad en Alemania.

No tenía mucho tiempo para estar interactuando con el entorno, por lo que se inclinó por escribir y reflejar un arte que lo hiciera, lo cual era ilustrado en sus libros. Fue influenciado por el Expresionismo y el Dadaísmo. y en la concepción del teatro por Alfred Jarrys.

Algunas de sus obras son las siguientes:

1889: "The homeland of the art "

1897: "I love you!" Una novela de ferrocarril con 66 intermedios.

1897: "Tarub, of Bagdad famous cook ", una novela de la cultura árabe.

1897: "the death of the Barmekiden "

1898: "well Prost! "

1900: "the wild hunt "

1901: "Rakkóx, the Billionaer "

1901: "the sea-queue"

1902: "the large revolution. A moon novel "

1903: "comet dance"

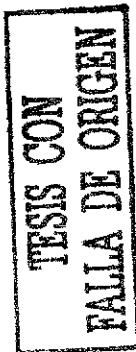
1904: "revolutionary theatre library"

1909: "Kater poetry"

1912: "Flora Mohr"

1914: "glass architecture"

<http://www.gutenberg.aol.de/autoren/scheerba.htm>



Nace el 17 de diciembre de 1851 en Witten, Alemania, y muere el 27 de agosto de 1935 en Jena, Alemania.

Proviene de una familia que trabajaba en la manufactura del vidrio, lo que lo inclinó a trabajar como químico del vidrio. Su padre se hizo co-propietario de una manufacturera de vidrios en Westphalia en 1853. De 1870 a 1873, Schott estudió tecnología química en el Colegio Técnico en Aachen y en la universidad de Wjrzbur y Leipzig. Recibió su doctorado por un trabajo sobre los defectos en la manufactura del vidrio para ventanas en la universidad de Jena en 1875.

En 1877 construyó una fábrica de yodo y salitre en Oviedo, España.

Al final de 1879, le escribió a Ernst Abbe diciéndole que consiguió formular un vidrio basado en litio que poseía diferentes propiedades ópticas de los tipos normales en uso.

Esto hizo posible para Abbe tener una gran variedad de graduación de vidrios ópticos. Después de enviar a Ernst Abbe un ejemplo de su vidrio de litio, Abbe, Carl Zeiss y Schott formaron la firma luego conocida como Schott y asociados, en Jena, Alemania en 1884.

En Julio de 1886 la firma produjo nuevos tipos de lentes con óptimos índices refractivos y de dispersión. Estos lentes "apocromáticos" eliminaron los defectos cromáticos que habían.

Carl Friedrich von Siemens, nació el 5 de Septiembre de 1872 en Berlín, Alemania y murió el 9 de julio de 1941. Fue el último Hijo de Werner Von Siemens, empresario alemán, quién fundó el instituto de telegrafía "Siemens & Halske" en 1847; a él se le debe el mérito de colocar la primera línea de telégrafos en 1848.

A pesar de sus inconformidades con el estudio, en 1894, terminó en Berlín sus estudios técnicos en matemáticas científicas.

Hizo prácticas en la empresa de su padre en hieinzuwachsen. Integró Siemens Brothers & Co. Cuando adquirió suficiente experiencia a la edad de 27 años, entró a la empresa "Siemens & Halske CORP", debido a la decisión testamentaria de su padre en 1892.

En 1906 empezó Siemens Brothers Dynamoworks Ltd, en donde tuvo el cargo de director general.

Se casó con "Tutty" y tubo dos hijos. Regresó en 1908 a Alemania.

En 1918 y 1919 respectivamente sus hermanos Arnold y Wilhelm, murieron y Friedrich a la edad de 47 años, fue el presidente de "Siemens & Halske CORP"

<http://micro.magnet.fsu.edu/optics/timeline/people/schott.html>  
<http://www.cz.j.th.schule.de/spezi/schule/allgemeines/geschichte/jena/schott.html>

<http://ods.schule.de/schulen/siemens/stammbaum/cafr1s.jpg>

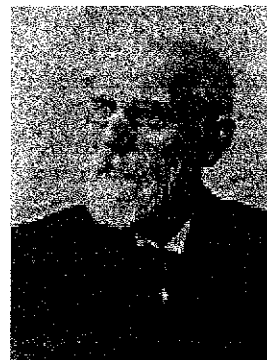
## STAUDINGER, Hermann (1881 - 1965)



Nació en Worms el 23 de marzo de 1881 y murió en 1965. Estudió en la universidad de Halle y posteriormente en Darmstadt y Munich. Se graduó de Halle en 1903. En noviembre de 1907 fue nombrado profesor de Química Orgánica en el *Institute of Chemistry of the Technische Hochschule* en Karlsruhe. Por 14 años, desde 1912, fue conferencista en *Eidgenössische Technische Hochschule in Zurich*, y en 1926 fue invitado a la Universidad de Freiburg i. Br. para dar clases de Química. En 1940, fue nombrado Rector del Instituto de Investigación de Química Macromolecular de la Universidad, renunciando en abril de 1951 para postularse como jefe del Instituto de Investigación de Química Macromolecular del Estado, en donde estuvo hasta abril de 1956. Escribió varios libros entre los que se encuentran: *Die Ketene (Ketenes)*, 1912; *Anleitung zur organischen qualitativen Analyse (Introducción al análisis orgánico cualitativo)* 1923; *Tabellen zu den Vorlesungen über allgemeine und anorganische Chemie (Tablas para la lectura sobre química inorgánica y general)*; entre otros. A parte de sus libros, hizo numerosas publicaciones científicas, entre ellas 50 sobre Ketenes, también trabajos sobre autoxidación, aliphatic diazo-compounds, explosiones, insecticidas, etc. Desde 1920 el escribió aproximadamente 500 artículos sobre compuestos macromoleculares, 120 sobre celulosa, 50 sobre caucho e isopropeno. Recibió numerosos premios y menciones honoríficas: **En 1953 ganó el premio Nobel en Química** por sus descubrimientos en química macromolecular. En 1933 fue condecorado con el premio Cannizzarro de la Real Academia Nacional de Lincei en Roma.

<http://www.nobel.se/chemistry/laureates/1953/staudinger-bio.html>

## VAN DER WAALS, Johannes D. (1837 - 1923)



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Nació el 23 de noviembre de 1837 en Leiden, Holanda. Fue el mayor de una familia de 8 hijos. Físico de considerable valor para el crecimiento de la ciencia en Holanda y de el prestigio de ese país al respecto.

De 1886 hacia delante enseñó física y matemática en una escuela de secundaria en Hague, y en 1877 se convirtió en su director. En 1873, se graduó con su tesis "over de continuïteit van de gas-en vloeïstoftoestand" (sobre la continuidad de los estados líquidos y gaseosos). En esta tesis publicó la ley de los gases ideales:  $(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT$ . Esto considera el volumen específico de las gasomoléculas y asume la fuerza entre estas moléculas, hoy conocidas como las fuerzas de Van der Waals.

En 1877 se convirtió en el primer profesor de física de la universidad "illustre" en Amsterdam.

En 1880 formuló la ley de los estados correspondientes, en 1893 la teoría de el fenómeno capilar y su teoría del comportamiento de dos mezclas de dos materiales.

De 1875 a 1895 fue miembro de el "Koninklijke Academie van Wetenschappen".

El 18 de Nov. De 1908 recibió la medalla de oro de la sociedad para el beneficio de la física, ciencia médica y cirugía en Holanda.

**En 1910 recibió el premio Nobel de la Física** por su trabajo en la ecuaciones de estado para gases y fluidos. Murió el 8 de Marzo de 1923.

<http://www.phys.tue.nl>

Foto:

<http://nobel.sdsc.edu/laureates/physics-1910.html>



## WÖHLER, Friederich (1800 - 1882)



Químico alemán, nació en Eschersheim en 1800 y falleció en Goettingen en 1882.

Fue profesor de la universidad de Goettingen. En 1828 convirtió de manera no intencional el  $\text{NH}_4\text{OCN}$ , una substancia inorgánica en Urea,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , un compuesto orgánico que se descubrió en la orina humana por H.M. Rouelle en 1773.

Esta síntesis de Urea es la primera síntesis de un compuesto inorgánico a un compuesto orgánico. Esta preparación de la Urea, trajo otra importante consecuencia. Para esta Síntesis elaboró un ejemplo de dos substancias, Urea y cianato de amonio, que tenían la misma composición química,  $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ , pero propiedades muy diferentes.

Esto era uno de los primeros descubrimientos de isomerismo en química.

<http://interchem.chem.uab.edu/barbaro/wohlerweb.html>

<http://nautilus.fis.uc.pt/st2/scenes/biog/b0037.html>

## ZACHARIASEN, Frederik W.H. (1906 - 1979)



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Frederik William Holder Zachariassen nació el 5 de febrero de 1906 en Langesund, en la embocadura de las islas de langesundfjord, Noruega (ricas en gran cantidad de minerales), y murió el 24 de diciembre de 1979.

Sus contribuciones a la ciencia fueron ricas y variadas. Fue un líder en la determinación de la estructura cristalina de los cristales inorgánicos usando difracción de rayos X.

En más de 200 publicaciones incluyó temas y experimentos de estructuras cristalinas de minerales, estructura de grupos aniónicos, sobre el estado vítreo, estado líquido, sobre estructura cristalina y superconductividad, sobre el proceso de fusión, entre otros. Cada una de sus aportaciones teóricas eran reforzadas con experimentos.

Estudió en la Universidad de Oslo en 1923, en el instituto mineralógico, bajo la tutoría del gran geólogo Victor Moritz Goldschmidt, uno de los primeros en identificar la estructura cristalina a través de rayos X. Publicó su primer escrito en 1925, a la edad de 19 años: "Über die Kristallstruktur von  $\text{BeO}$ ".

Publicó 19 artículos más después de publicar su tesis doctoral en 1928 a la edad de 22 años.

Hizo su postdoctorado en 1929 en la universidad de Manchester en Inglaterra.

En 1930 fue invitado por el premio nobel Arthur Holly Compton, para integrar la facultad de física de la universidad de Chicago como profesor asistente, donde permaneció hasta su retiro en 1975

<http://books.nap.edu/books/0309047463/html/516.html>

## Ziegler, Karl (1898 - 1973)

---



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Químico alemán nacido en Helsa en 1898 y murió en 1973.

Su trabajo con catálisis hizo contribuciones importantes al estudio de los plásticos y ayudó al desarrollo de nuevos plásticos como el polipropileno que revolucionó la industria.

**Fue premiado en 1963 con el Premio Nobel de la química, el cual compartió con Giulio Natta.** Ziegler dedicó gran parte de su carrera al estudio de los radicales libres. y la química física (el estudio de los límites y la estructura de las moléculas). Después de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), Ziegler dirigió investigaciones sobre compuestos orgánicos de aluminio After World War II (1939-1945).