



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ACTUALIDAD Y DESARROLLO DEL USO
DEL VIDRIO EN LA CONSTRUCCIÓN**

Edgar Alejandro Dávila Elías

Asesorado por el Ing. Pablo Christian De León Rodríguez

Guatemala, mayo de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ACTUALIDAD Y DESARROLLO DEL USO
DEL VIDRIO EN LA CONSTRUCCIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

EDGAR ALEJANDRO DÁVILA ELÍAS

ASESORADO POR EL ING. PABLO CHRISTIAN DE LEÓN RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jehovany Rudamán Miranda Castañón
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio Díaz García
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ACTUALIDAD Y DESARROLLO DEL USO DEL VIDRIO EN LA CONSTRUCCIÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha 03 de noviembre de 2010.


Edgar Alejandro Dávila Elías



Guatemala, 20 de Enero de 2012.

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Por este medio me permito informar a usted en mi calidad de asesor y jefe de la Sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería, C.I.I., he terminado la revisión del trabajo de graduación titulado **“ACTUALIDAD Y DESARROLLO DEL USO DEL VIDRIO EN LA CONSTRUCCION”**, desarrollado por el estudiante de ingeniería civil **Edgar Alejandro Dávila Elías**, y habiendo efectuado todas las correcciones indicadas, el suscrito lo da por aprobado, por lo que se le solicita continuar con los tramites correspondientes.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
Asesor



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
27 de febrero de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos


Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ACTUALIDAD Y DESARROLLO DEL USO DEL VIDRIO EN LA CONSTRUCCIÓN**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Edgar Alejandro Dávila Elías, quien contó con la asesoría del Ing. Pablo Christian de León Rodríguez.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Pablo Christian de León Rodríguez y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Edgar Alejandro Dávila Elías, titulado ACTUALIDAD Y DESARROLLO DEL USO DEL VIDRIO EN LA CONSTRUCCIÓN, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo de 2012

/bbdeb.



Ref. DTG.235.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ACTUALIDAD Y DESARROLLO DEL USO DEL VIDRIO EN LA CONSTRUCCIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Alejandro Dávila Elías**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, mayo de 2012

/cc

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Le doy gracias por haberme dado el don de la vida, la sabiduría y de llevarme de la mano siempre durante toda mi carrera.
- Mis padres** Gehovany Dávila y Miriam Elías, por darme la vida, una maravillosa formación, por su ternura, por todo su amor y por contagiarme de sus mayores fortalezas.
- Mis hermanos** Lucía y Fausto Dávila, con quienes he vivido gran parte de mi vida, con ellos comparto toda clase de emociones, por quienes quiero ser un ejemplo y una fuente de inspiración para que también alcancen sus metas.
- Mi familia** Por su apoyo, consejos, estar conmigo en los buenos y malos momentos, por ayudarme siempre y sobre todo inculcarme el estudio.
- Mi esposa** Krista Vargas, gracias por su amor, apoyo, comprensión, paciencia y cariño.
- Mi asesor** Ing. Pablo De León, por la asesoría de mi trabajo de graduación, pero sobre todo, gracias por ser un buen amigo.

**Amigos y
compañeros**

Con quienes compartí grandes momentos, alegrías, tristezas, ideas, inquietudes, buenos partidos de futbol, de basquetbol. Aquellos que estuvieron cuando conquisté a mi primer novia; los que me tiraron a la pileta después de leer el acta cuando gané el examen privado y por todas la vivencias que quedan por delante.

Catedráticos

Por transmitirme sus conocimientos que día a día impartieron en clase durante toda mi formación académica.

**La Facultad
de Ingeniería**

Por ser la casa de estudio que me brindó el conocimiento y la aptitud profesional.

**Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Por formarme como profesional.

ACTO QUE DEDICO A:

- Mi papá** Gehovany Dávila, por darme sus consejos, transmitirme su experiencia que tanto me ha servido, corregirme y tratar de llevarme por el buen camino siempre, que a pesar de que es una persona muy seria y enojada, estoy muy orgulloso de que sea mi padre.
- Mi mamá** Miriam Elías, quien fue y sigue siendo la responsable de mi formación académica y de mi persona, a quien también agradezco sus grandes sacrificios, desvelos, oraciones, consejos, apoyo y sobre todo, por darme y transmitirme ese amor tan grande.
- Mis abuelos** Isauro Dávila, Romeo Elías y Graciela Alvarado (q.e.p.d.) y a Emérita Díaz, quien estuvo a mi lado durante mi niñez, por compartir sus buenos consejos y experiencias de la vida en mi juventud y lo sigue haciendo, y sobre todo, por darme ese cariño tan especial que aún hoy lo sigo sintiendo.
- Mis hermanos** Lucía y Fausto Dávila, quienes son un motivo para seguir adelante y me inspiran para tratar de ser un ejemplo a seguir para ellos, e influir de manera positiva en sus vidas.
- Mi sobrina** Ana Rosario, que con su dulce inocencia llena de luz y alegría nuestro hogar.

Mi tío

Byron Dávila, (q.e.p.d.), quien fue una persona que influyó en mí, de manera positiva, quien nos dejó su alegría en nuestros corazones, su forma divertida de ver la vida, y sobre todo, sus consejos más que como tío como un buen amigo.

Mi tía

Maricela Dávila, (q.e.p.d.), quien también partió de este mundo dejándome como meta que terminara la universidad y que ya siendo un profesional me dedicara a mi familia.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	1
1.1. Definición.....	1
1.2. Tipos de proyectos.....	1
1.3. Ciclo de vida de un proyecto de construcción.....	2
1.4. Materiales de construcción.....	3
1.4.1. Tipos de materiales de construcción.....	4
1.4.1.1. Arena.....	4
1.4.1.2. Arcilla.....	5
1.4.1.3. Piedra.....	5
1.4.1.4. Metales.....	6
1.4.1.5. Sintéticos.....	6
1.4.2. Propiedades de los materiales.....	7
1.4.2.1. Propiedades mecánicas.....	7
1.4.2.1.1. Resistencia a flexión.....	7
1.4.2.1.2. Resistencia a impacto.....	7
1.4.2.2. Propiedades físicas.....	8
1.4.2.2.1. Densidad.....	8
1.4.2.2.2. Dureza.....	8

	1.4.2.2.3.	Impermeabilidad.....	8
	1.4.2.2.4.	Tenacidad.....	8
	1.4.2.2.5.	Resistencia a los agentes atmosféricos.....	9
2.	VIDRIO.....		11
2.1.	Historia del vidrio.....		11
2.1.1.	Los orígenes.....		11
2.1.2.	El soplado del vidrio con caña.....		12
2.1.3.	El desarrollo del arte de la vidriera.....		12
2.1.4.	La vidriera como juego de luces y colores.....		13
2.1.5.	De la vidriera como pintura translúcida a la vidriera blanca.....		13
2.1.6.	Los avances en la industria del vidrio.....		13
2.1.7.	Arquitectura en vidrio y renovación de la vidriera.....		14
2.2.	Definición.....		14
2.3.	Composición.....		15
2.4.	Proceso de fabricación.....		15
2.5.	Características del vidrio.....		18
2.5.1.	Características físicas.....		18
2.5.1.1.	Color.....		18
2.5.1.2.	Textura.....		19
2.5.1.3.	Peso.....		19
2.5.1.4.	Maleabilidad.....		20
2.5.2.	Características mecánicas.....		20
2.5.2.1.	Flexión.....		20
2.5.2.2.	Impacto.....		21
2.5.2.3.	Dureza.....		21

2.5.3.	Características químicas.....	21
2.5.3.1.	Resistencia al agua.....	21
2.5.3.2.	Resistencia a los ácidos.....	22
2.5.3.3.	Resistencia a los agentes atmosféricos.....	22
2.5.4.	Características térmicas.....	23
2.5.5.	Características acústicas.....	23
2.5.6.	Características ópticas.....	24
2.5.6.1.	Vidrio fotosensible.....	25
2.5.6.2.	El vidrio fotocromático.....	25
2.6.	Proceso de transformación.....	25
3.	USOS DEL VIDRIO EN LA CONSTRUCCIÓN.....	27
3.1.	Vidrio decorativo.....	27
3.2.	Cerramientos.....	27
3.3.	Los vidrios estructurales.....	28
3.3.1.	Vidrio laminado.....	29
3.3.2.	Vidrio templado.....	30
3.4.	Otros usos del vidrio.....	31
3.4.1.	Vidrio de placa.....	31
3.4.2.	Vidrio óptico.....	32
3.4.3.	Vitrocerámica.....	32
3.4.4.	Fibra de vidrio.....	33
4.	NORMATIVA APLICABLE.....	35
4.1.	Qué son las normas.....	35
4.2.	Internacional.....	35
4.2.1.	Normas ASTM.....	35
4.2.2.	Normas IRAM.....	41
4.2.3.	Normas UNE.....	44

4.3.	Local.....	45
4.3.1.	Normas COGUANOR.....	45
5.	ESTUDIO DEL MERCADO NACIONAL DEL VIDRIO.....	47
5.1.	Tiempo de presencia en el mercado.....	48
5.2.	Actividades que desarrolla.....	49
5.3.	Materia prima.....	50
5.4.	Distribuye productos de vidrio para construcción.....	51
5.5.	Principales clientes.....	52
5.6.	Productos comerciales.....	53
5.7.	Tipos de vidrios.....	54
5.8.	Control de calidad.....	55
5.9.	Productos que cuentan con certificado técnico	56
5.10.	Tipo de normas-especificaciones.....	57
5.11.	Tipos de vidrio para construcción.....	58
5.12.	Proyección del uso de vidrio en construcción.....	59
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	61
6.1.	Procedimiento de ensayo a flexión.....	61
6.1.1.	Módulo de elasticidad.....	68
6.1.1.1.	Procedimiento para calcular el módulo elasticidad.....	69
6.2.	Ensayo de impacto.....	77
6.2.1.	Procedimiento para el ensayo.....	78
6.3.	Ensayo de dureza.....	81
6.3.1.	Escala de Mohs.....	81
6.3.2.	Procedimiento de ensayo de dureza.....	83

CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	91
APÉNDICE.....	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Proceso de fabricación del vidrio.....	17
2.	Cerramientos.....	28
3.	Vidrio laminado.....	30
4.	Vidrio templado.....	31
5.	Determinación de las medidas de las probetas de vidrio.....	63
6.	Determinación del peso de las probetas de vidrio.....	64
7.	Colocado de los apoyos para ensayo de flexión y medida de la distancia entre apoyos (luz).....	64
8.	Colocado de la probeta para ensayo a flexión.....	65
9.	Colocado del deformómetro.....	65
10.	Deformómetro.....	66
11.	Probetas ya ensayadas.....	66
12.	Gráfica esfuerzo-deformación de probeta # 1.....	74
13.	Gráfica esfuerzo-deformación de probeta # 2.....	75
14.	Gráfica esfuerzo-deformación de probeta # 3.....	75
15.	Gráfica esfuerzo-deformación de probeta # 4.....	76
16.	Gráfica esfuerzo-deformación de probeta # 5.....	76
17.	Gráfica esfuerzo-deformación de probeta # 6.....	77
18.	Colocado de la probeta de vidrio.....	78
19.	Determinación de altura de impacto por fatiga (inicio).....	79
20.	Determinación de altura de impacto por fatiga (fin).....	79
21.	Valores de dureza Mohs.....	82
22.	Determinación de dureza.....	84

23.	Rayado de la probeta e identificación de dureza.....	84
24.	Probetas ya ensayadas.....	85

TABLAS

I.	Colorantes del vidrio.....	19
II.	Tiempo de presencia en el mercado.....	48
III.	Actividades que desarrolla.....	49
IV.	Materia prima.....	50
V.	Distribuye productos de vidrio para construcción.....	51
VI.	Principales clientes.....	52
VII.	Productos comerciales	53
VIII.	Tipos de vidrio	54
IX.	Control de calidad.....	55
X.	Productos que cuentan con certificado técnico.....	56
XI.	Tipo de normas-especificaciones.....	57
XII.	Tipos de vidrio para construcción.....	58
XIII.	Proyección del uso de vidrio en construcción.....	59
XIV.	Características de las probetas utilizadas para la determinación del módulo de elasticidad.....	63
XV.	Datos y resultados de la prueba de flexión para determinar el módulo de ruptura.....	68
XVI.	Características de las probetas utilizadas para la determinación del módulo de elasticidad.....	70
XVII.	Características de las probetas sometidas a flexión.....	71
XVIII.	Carga de deformación y módulo de elasticidad de prueba a flexión con dos cabezales.....	73
XIX.	Alturas de bala: prueba de impacto.....	80
XX.	Tabla de valores de dureza Mosh.....	83

XXI. Valores de dureza Mosh del ensayo.....85

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<i>h</i>	Altura
<i>b</i>	Base
<i>P</i>	Carga última
cm	Centímetros
PVC	Cloruro de polivinilo
ϵ	Deformación
σ	Esfuerzo
<i>F_b</i>	Esfuerzo último de flexión
°C	Grado centígrado
NaOH	Hidróxido de sodio
kg	Kilogramo

<i>L</i>	Longitud libre
MPa	Mega pascales
m	Metro
mm	Milímetro
E	Módulo de elasticidad
γ	Módulo de elasticidad (ecuación)
I	Momento de inercia
Al₂O₃	Óxido de aluminio
CaO	Óxido de calcio
MgO	Óxido de magnesio
Na₂O	Óxido de sodio
SiO₂	Sílice

GLOSARIO

Albañilería	Arte de construir edificaciones u otras obras empleando materiales de construcción u otros semejantes.
Aplacar	Suavizar, mitigar.
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos y Materiales. Organización voluntaria que se ocupa del desarrollo de normas de consenso, procedimientos de pruebas y especificaciones de productos.
Carpintería	Oficio de trabajar la madera.
Ciclo de vida	Período de una estructura que presta un servicio hasta quedar fuera del mismo.
Compresión	Resultante de un cuerpo sometido a un esfuerzo axial sobre el eje central.
Cristalizar	Hacer tomar la forma cristalina, mediante operaciones adecuadas a ciertas sustancias.
Deflexión	Deformación que experimenta un elemento estructural desplazando su eje simétrico bajo la aplicación de una carga.

Deformación	Cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo.
Densidad	Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.
Dureza	Propiedad que tienen los materiales de resistir el rayado y el corte de su superficie.
Elástico	Cuerpo que puede recobrar su forma después que haya cesado la fuerza que lo había alterado.
Ensayo	Procedimiento de análisis mecánico al cual una probeta es sometida para analizar, interpretar y evaluar sus características mecánicas bajo esfuerzos.
Esfuerzo	Relación entre la fuerza aplicada (F) y el área de aplicación (A), (F/A) .
Feldespato	Mineral que puede encontrarse en cualquier tipo de roca.
Ferroso	Que contiene hierro.
Flexión	Deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal..
Flujo	Movimiento de un fluido a través de un conducto.

Impacto	Choque de dos o más cuerpos, uno lanzado contra el otro.
Impermeabilidad	Propiedad de un material para que un fluido no lo atraviese.
Inercia	Propiedad que tienen los cuerpos de permanecer en su estado de movimiento, mientras no se aplique sobre ellos alguna fuerza.
Impureza	Cualquier sustancia extraña a un cuerpo.
IRAM	Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
Lámina	Objeto cuya superficie es muy superior a su espesor.
Luz	Distancia libre entre apoyos.
Maleabilidad	Capacidad que tiene un material de adquirir la forma deseada sin fracturarse.
Mano de obra no calificada	Aquellos trabajadores que desempeñan actividades cuya ejecución no requiere de estudios ni experiencia previa.
Manufactura	Consiste en la transformación de la materia prima en un producto final para su distribución y consumo.

Materia prima	Es la materia extraída de la naturaleza y que se transforma para elaborar materiales que más tarde se convertirán en bienes de consumo.
No ferroso	Que no contiene hierro.
Partículas	Es la menor porción de materia que posee un cuerpo que conserva sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.
Pavimentar	Colocar una serie de capas de diferentes tipos de materiales para obtener una superficie de rodadura donde circulen los vehículos de forma adecuada, suave y confortable sin que se dañen los mismos.
Planificación	Proceso metódico diseñado para obtener un objetivo determinado.
Polímeros	Sustancias formadas por una cantidad finita de macromoléculas.
Probabilidad	Mide la frecuencia con la que ocurre un resultado.
Probeta	Pieza sometida a diversos ensayos mecánicos para estudiar la resistencia de un material.
Refractaria	Arena que se consigue mediante el triturado.
Resistencia	Capacidad de realizar esfuerzos de muy larga duración.

Revestimiento	Capa que recubre una superficie para protegerla o adornarla.
Rigidez	Es la capacidad de un objeto o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones.
Suelo	Cubierta superficial de la mayoría de la superficie continental de la tierra.
Superposición	Colocar un elemento sobre otro.
Tenacidad	Resistencia que presenta un material antes de llegar a la fractura.
Tensión	Fuerza que se aplica sobre un objeto alargado aumentando su elongación.
Tratar	Someter a un tratamiento.
UNE	Unificación de Normativas Españolas.
Vano	Hueco en un muro destinado para puerta o ventana.

RESUMEN

La industria de la construcción por ser muy tradicional, su evolución ha sido lenta y por lo tanto tiene muy poca innovación tecnológica. Muchas decisiones se basan sólo en la experiencia y no en la investigación, ya que el trabajo de campo demanda calidad y rapidez en la ejecución. En la construcción, cualquier tipo de proyecto tiene una planificación, la cual sirve para coordinar las actividades, en donde se reúnen varias ideas para llevarlas a cabo, se puede decir que estas ideas se agrupan en fases, a este conjunto de fases se les llama ciclo de vida de un proyecto, el cual sirve para facilitar el control sobre los tiempos del proyecto.

A través de este estudio se describe la historia de las aplicaciones del vidrio plano en la construcción, cómo ha ido evolucionando y ha sido cada vez más aceptado por la sociedad. El vidrio es el material más viejo fabricado por el hombre y se puede decir que es un material difícilmente sustituible en la mayoría de sus aplicaciones. Asimismo, se describe el proceso de fabricación, desde cuáles son las materias primas hasta el producto final, explicándolo paso a paso y describiendo también sus características físicas, mecánicas, químicas, térmicas, acústicas, ópticas y los procesos de transformación.

De acuerdo a los usos del vidrio en la construcción y de cómo el vidrio es un material que está caracterizado por una serie de propiedades resulta interesante para la fabricación de elementos decorativos, por ejemplo; el vidrio de color, siendo el más adecuado para este tipo de aplicación. El vidrio es un material muy común y actualmente es utilizado para realizar todo tipo de cerramientos, ya sea para balcones, ventanas, puertas entre otros. Para poder

utilizarlo con toda tranquilidad debe superar el inconveniente que le impone la fragilidad, por ello es que se habla del vidrio estructural.

Se presenta la normativa aplicable, a la cual el lector puede acudir para tener una panorámica más amplia y de esa manera ver de manera textual qué procedimientos y regulaciones se acomodan a sus necesidades, para ello se mencionan las Normas ASTM, IRAM y las de UNE.

Contiene el estudio de mercado del vidrio, para esto se realizó una encuesta a empresas que se dedican a su comercialización, se incluye la metodología aplicada así como la tabulación y análisis de los resultados.

Se describen los ensayos realizados para determinar las propiedades mecánicas del vidrio, estos se llevaron a cabo en el Centro de Investigaciones de Ingeniería y estuvieron a cargo de la sección de metales y productos manufacturados. Los ensayos que se realizaron fueron: flexión, impacto y dureza.

OBJETIVOS

General

Generar y presentar un documento que muestre el desarrollo y actualidad del uso del vidrio en la industria de la construcción.

Específicos

1. Dar a conocer mediante un documento las propiedades físicas y mecánicas del vidrio, así como conocer los orígenes de proceso y fabricación del vidrio.
2. Dar a conocer los beneficios de este material tanto de seguridad como económicos en el sector de la construcción.
3. Conocer las normas, especificaciones y criterios de diseño del vidrio en construcción.
4. Impulsar el uso y reciclaje del vidrio en Guatemala.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala la mayoría de los constructores, ya sean arquitectos, ingenieros o particulares, están interesados en la búsqueda de materiales que presenten una alternativa estética, agradable, de bajo costo y sobre todo con características físico-mecánicas apropiadas para ser implementadas en las distintas áreas de la construcción.

El vidrio es un material muy versátil, que puede ser utilizado en aplicaciones que van desde productos de usos cotidianos, hasta productos cuyas funciones requieren de mayor resistencia. El vidrio es un material cuyas características de impermeabilidad, maleabilidad, y resistencia a los agentes atmosféricos, hacen que sea un material indispensable en la construcción.

El presente estudio, busca dar una visión lo más completa posible, sobre el uso del vidrio en la construcción y en especial, todo lo relativo con las características físico-mecánicas del material. Estos aspectos constituyen los puntos clave del trabajo y sus elementos más destacables.

Además, se explica de una manera más detallada el proceso de fabricación del vidrio, luego de éste, se pueden elaborar distintas piezas que serán implementadas en la fabricación de elementos según las necesidades constructivas que se requieran.

1. INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

1.1. Definición

La industria de la construcción es aquella que desarrolla y realiza las infraestructuras necesarias, tanto obras civiles, como para uso particular y de servicio.

1.2. Tipos de proyectos

Un proyecto es un conjunto de actividades que se encuentran interrelacionadas y coordinadas, en donde se reúnen varias ideas para llevarlas a cabo. Hay diferentes tipos de proyectos de construcción:

- Residencial: la construcción de viviendas puede ser: casas, apartamentos, condominios, entre otros. Los diseños de vivienda son, por lo general, realizados por arquitectos y la construcción es ejecutada por constructores que contratan subcontratistas para trabajos especiales estructurales, eléctricos, mecánicos y otros.
- Edificio: la construcción de edificios es el tipo más popular de proyecto de construcción. La mayoría de este tipo son adiciones y renovaciones pequeñas.
- Institucional: la construcción de edificios institucionales cubre una gran variedad de tipos de proyectos tales como: hospitales, escuelas, instalaciones deportivas, estadios, entre otros.

- Carreteras: consiste en la construcción o reparación de caminos, carreteras, calles, callejones, entre otros. Incluye todas las construcciones accesorias en relación con los proyectos de construcción de carreteras.

1.3. Ciclo de vida de un proyecto de construcción

Un proyecto debe tener como fin para obtener un producto o servicio, actividades que se agrupan en fases. A este conjunto de fases se les llama ciclo de vida, las que facilitan el control sobre los tiempos del proyecto.

Se puede decir que, la fase es un conjunto de actividades relacionadas con un objetivo en el negocio, implicando requisitos y recursos humanos, además se pueden dividir en subfases con el interés de subcontratar temporalmente algún servicio.

Los proyectos son finitos: tienen un comienzo y un final bien definidos, y en ocasiones parecen tener vida propia. En consecuencia, es lícito pensar que un proyecto tiene un ciclo de vida natural que consta de cuatro fases:

- Evaluación: durante esta fase se estudia la idea de realizar un proyecto. En la propuesta deben incluirse los beneficios esperados, los estimados y los recursos requeridos. Si es beneficioso y factible, la idea va tomando forma de propuesta de proyecto, y luego se toma la decisión de realizarlo o no.
- Identificación: durante esta fase del proyecto se define con claridad los objetivos, seleccionando el tipo de organización y asignando el administrador del proyecto. Luego se transforma la propuesta en un plan

de proyecto maestro y se elaboran en detalle programas, requerimientos de recursos y presupuestos.

- **Ejecución:** en esta fase ya debe estar asignado quién será el equipo encargado de la ejecución del proyecto. En este momento empieza el trabajo.
- **Preparación:** en esta fase ya debe estar completo el trabajo en el proyecto, haber analizado el éxito y fracaso del mismo. Preparar un informe detallado para los equipos de proyectos futuros y se les asigna nuevas tareas a los miembros del equipo. Aunque los proyectos tienden a ser únicos, un minucioso examen puede ayudar a evitar cometer errores del pasado y aprovechar, de esta manera las mejoras técnicas de la planeación para diseñar con mayor efectividad en el futuro.

1.4. Materiales de construcción

Son los elementos empleados en la construcción de edificios u obras de ingeniería civil. La existencia de un material natural está estrechamente relacionada con la invención de las herramientas para su explotación y determina las formas constructivas como ha de ser empleado.

La construcción con piedra, ladrillo y otros materiales se llama albañilería. Estos elementos se pueden unir sólo con el efecto de la gravedad o mediante juntas de mortero, pasta compuesta por arena y cal (u otro aglomerante).

1.4.1. Tipos de materiales de construcción

Los materiales de construcción se emplean en grandes cantidades, por lo que deben provenir de materias primas abundantes y baratas. Por ello, la mayoría se elaboran a partir de materiales de gran disponibilidad como arena, arcilla o piedra.

Los materiales de construcción tienen como característica común el ser duraderos. Dependiendo de su uso, deben satisfacer otros requisitos tales como: dureza, resistencia mecánica, resistencia al fuego, o la facilidad de limpieza. Por norma general, ningún material de construcción cumple simultáneamente todas las necesidades requeridas, la disciplina de la construcción es la encargada de combinar los materiales para satisfacer adecuadamente dichas necesidades.

Atendiendo a la materia prima utilizada para su fabricación, los materiales de construcción se pueden clasificar en diversos tipos:

1.4.1.1. Arena

Es un elemento granular que se encuentra en la naturaleza. Está compuesto de partículas muy finas de rocas y minerales, este material se emplea como parte de morteros y concreto. El principal componente de la arena es la sílice. Se considera arena a cualquier partícula mineral con un diámetro de 0.06 a 2 milímetros.

1.4.1.2. Arcilla

Son partículas finísimas menores de 0.06 mm de diámetro, procedentes de la descomposición de rocas feldespáticas. La arcilla pura recibe el nombre de caolín. Una de las principales propiedades de la arcilla es su plasticidad, además de ser refractaria. Desempeña un gran papel en la construcción por ser una materia prima en la fabricación de cementos y de cerámica.

Cuando la arcilla se calienta a elevadas temperaturas (900 °C o más), ésta se endurece, creando los materiales cerámicos.

- Ladrillo: éste conforma la mayoría de paredes y muros.
- Teja: pieza cerámica destinada a canalizar el agua de lluvia hacia el exterior de los edificios.
- Azulejo: cerámica esmaltada de múltiples aplicaciones como revestimiento.

1.4.1.3. Piedra

La piedra se puede utilizar directamente sin tratar, o como materia prima para crear otros materiales.

Entre los tipos de piedra más empleados en la construcción destacan:

- Granito: actualmente usado en suelos (en forma de losas), aplacados y encimeras.

- Adoquín: ladrillo de piedra con el que se pavimentan algunas calzadas.
- Mármol: piedra muy apreciada por su estética, se emplea en revestimientos; en forma de losas o baldosas.
- Grava: normalmente de canto rodado y triturado.

1.4.1.4. Metales

Se pueden encontrar materiales metálicos por ejemplo: el hierro, cobre, aluminio, níquel y titanio. Entre estos materiales es importante tener en cuenta que el carbono es un elemento no metálico, pero formar una aleación con el hierro para formar el acero. Los metales tienen muchas características pero las más importantes son: buena conductividad eléctrica y térmica, ductilidad, brillo, fusibilidad, plasticidad, dureza, maleabilidad, etc. se puede subdividir a los materiales metálicos en dos grupos importantes: los ferrosos y los no ferrosos.

1.4.1.5. Sintéticos

Fundamentalmente plásticos derivados del petróleo. Son muy empleados en la construcción debido a su inalterabilidad, lo que, al mismo tiempo, de reintegrarse a la naturaleza los convierte en materiales muy poco ecológicos por la dificultad a la hora de reciclarlos. También se utilizan alquitranes y otros polímeros y productos sintéticos de diversa naturaleza. Los materiales obtenidos se usan en casi todas las formas imaginables: aglomerantes, selladores, impermeabilizantes, aislantes, PVC, polietileno, neopreno, asfalto, silicón o también en formas de pinturas, esmaltes y barnices.

1.4.2. Propiedades de los materiales

Las propiedades de un material determinado se pueden clasificar en dos grupos diferentes:

- Propiedades mecánicas
- Propiedades físicas

1.4.2.1. Propiedades mecánicas

Son aquéllas que determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas. Se entiende por fuerza externa cualquier carga aplicada por un agente no propio del material, ajeno o externo que puede alterar su tamaño, dimensión o lo deforme.

1.4.2.1.1. Resistencia a flexión

Es la propiedad de los materiales de poder ser doblado o curvado en su sentido longitudinal sin romperse debido a una carga transversal. Los materiales se consideran elásticos, si recuperan su forma original cuando cesa la fuerza que los ha deformado.

1.4.2.1.2. Resistencia a impacto

Resistencia que presenta un material a la rotura de la película superficial ante el impacto de un material duro (material denso).

1.4.2.2. Propiedades físicas

Es una característica que puede ser estudiada usando los sentidos o algún instrumento específico de medida. Éstas se manifiestan básicamente en los procesos físicos como: densidad, dureza, impermeabilidad, tenacidad, resistencia a los agentes atmosféricos, etc.

1.4.2.2.1. Densidad

Esta propiedad está definida como la cantidad de masa por unidad de volumen.

1.4.2.2.2. Dureza

Es la propiedad de los materiales que se manifiesta como la resistencia de ser indentado o rayado por otro material. Esta característica depende de la densidad y la composición química del material.

1.4.2.2.3. Impermeabilidad

Es la propiedad de un material de impedir la penetración de un fluido.

1.4.2.2.4. Tenacidad

Es la energía total que absorbe un material antes de alcanzar la rotura, por acumulación de lesiones.

1.4.2.2.5. Resistencia a los agentes atmosféricos

Es la capacidad que tiene un material de no sufrir alteraciones a los agentes climáticos y atmosféricos, esta característica se busca generalmente para las estructuras que están situadas en el exterior (intemperie).

2. VIDRIO

2.1. Historia del vidrio

A lo largo de los siglos, el vidrio ha sido un material muy utilizado como cerramiento de vanos en edificios de muy diversa índole. Su uso, en toda una variedad de tamaños, colores y formas, se ha visto facilitado por una serie de características inherentes a este material, las cuales han sufrido pocos cambios con el paso de los siglos. Sus ventajas principales sobre otros materiales son sus propiedades de translucidez y transparencia, aislamiento térmico y acústico, relativo bajo costo de producción, su dureza, y su facilidad para ser decorado y para transformar la luz que penetra en el interior de un espacio. Actualmente, el vidrio, en sus múltiples variantes, si bien tiene que competir y convivir con otros productos, sigue siendo uno de los materiales más versátiles utilizados en la construcción, cuyo futuro ofrece insospechadas posibilidades.

2.1.1. Los orígenes

Los primeros vidrios utilizados como cerramiento de ventanas en edificios públicos romanos, posiblemente hacia el siglo I d.C., eran vidrios planos fabricados mediante el método de vertido o colado en mesas, moldes o bandejas, cuya superficie podía ser de metal, piedra, mármol o madera humedecida. El tamaño de las distintas láminas obtenidas podía ser de superficie relativamente grande, siendo las de mayor tamaño encontradas de 100 x 70 cm, en unas termas de la ciudad de Pompeya. Su espesor medio oscilaba entre los 2 y 15 mm de grosor. Para cubrir todo el hueco de los ventanales era necesario su compartimentación mediante marcos sustentantes

en madera, cobre o escayola, los cuales cumplían también una función decorativa. Este tipo de ventanas era conocido como claustra.

2.1.2. El soplado del vidrio con caña

El método de fabricación del vidrio mediante la técnica de soplado a boca, desarrollado en Siria durante el período romano, entre los siglos I y II a.C., supuso una gran revolución en la técnica y artesanía del vidrio y también, en la historia de la construcción. Este acontecimiento permitió la fabricación de láminas de vidrio de mayor tamaño, que facilitó el acristalamiento de ventanales cada vez más grandes y de forma más económica en los edificios. Otra de las ventajas que supuso el soplado del vidrio mediante el empleo de la caña, fue una mejoría sustancial en su calidad, ya que para ser trabajado por esta técnica se requieren temperaturas considerablemente más elevadas que las que exige el trabajo de las pastas de vidrio.

2.1.3. El desarrollo del arte de la vidriera

La segunda gran innovación técnica y artística mencionada, la vidriera, consiste en cerrar el vano de un ventanal mediante paneles compuestos por pequeños fragmentos de vidrio plano unidos entre sí mediante varillas de plomo. Según algunos autores, el origen de la vidriera habría que buscarlo en las celosías de vidrios coloreados utilizadas como cerramientos de edificios en el mundo islámico. Su introducción en Europa se produjo a través de los contactos del mundo cristiano con Bizancio y la España musulmana, alcanzando su apogeo y sus máximas cotas de expresividad durante el arte Romano y especialmente el Gótico.

2.1.4. La vidriera como juego de luces y colores

El uso de vidrios de colores emplomados como cerramiento de los ventanales de las iglesias tenía un atractivo especial para el cristianismo durante la Edad Media, dadas las múltiples posibilidades decorativas, simbólicas, didácticas y propagandísticas que ofrecía, de ahí su rápida difusión. El simbolismo de la luz y la búsqueda de efectos de luz y color en el interior de los templos cristianos, fueron una constante durante la edad media, ya que la luz estaba asociada a Dios.

2.1.5. De la vidriera como pintura translúcida a la vidriera blanca

A partir del siglo XVI, surgió un nuevo cambio en el uso y forma de los ventanales en los edificios. Con la introducción de las nuevas ideas estéticas sobre la arquitectura durante el Renacimiento, el arte de la vidriera tradicional coloreada, sufrirá una importante transformación y pérdida de protagonismo. No obstante, en la mayoría de los países europeos, la introducción de estas nuevas ideas se producirá de forma muy lenta durante el siglo XVI, lo que permitirá el desarrollo de la vidriera renacentista. La vidriera de este período, muy distinta a la de la Edad Media en cuanto a concepto y técnica, encontrará su desarrollo casi exclusivamente en edificios góticos, y por lo tanto en ventanales de estructura gótica.

2.1.6. Los avances en la industria del vidrio

En lo concerniente a los aspectos técnicos de la fabricación del vidrio plano, se puede apreciar a partir del siglo XV, y especialmente en el XVI, una serie de cambios importantes. Por un lado, se produce una disminución del grosor de los vidrios, los cuales seguían siendo fabricados por el método de

soplado a boca en forma de cilindros o discos. Posiblemente el perfeccionamiento en la técnica del soplado a boca, en combinación con un deseo de más luminosidad y, seguramente, de reducir costos, condujo a la fabricación de vidrios más delgados y, por lo tanto, más luminosos. Al mismo tiempo, la calidad de los vidrios mejora al utilizarse en su composición soda en lugar de potasa, lo que aumenta su resistencia al deterioro químico. Por otro lado, los cambios estéticos producidos durante el Renacimiento y Barroco supusieron, la transformación de la vidriera en un arte pictórico sobre un medio translúcido o en una vidriera incolora. Este cambio condujo a una reducción de la red de plomo, a fin de favorecer una mayor claridad compositiva y pictórica, y un aumento del tamaño de los vidrios, entendidos ahora como material de cerramiento o, en el mejor de los casos, como soporte de las escenas sobre ellos pintadas.

2.1.7. Arquitectura en vidrio y renovación de la vidriera

Como consecuencia de todos estos avances, surgió paralelamente un tipo de arquitectura civil donde el hierro y el vidrio, normalmente transparente y sin decoración, ganarán espacio en muros y cubiertas, permitiendo el acristalamiento de grandes superficies y el nacimiento de una arquitectura translúcida.

2.2. Definición

El vidrio es la sustancia amorfa, dura, frágil y transparente. Que se obtiene por la fusión de distintas materias primas (arena silícica, carbonatos, sulfatos, etc.). Tiene la propiedad de no cristalizar durante el enfriamiento.

2.3. Composición

El vidrio común o vidrio templado, también denominado vidrio de silicato sodocálsico, está compuesto por:

- Sílice (SiO_2), material vitrificante de 69 a 74%
- Óxido de sodio (Na_2O), fundente de 12 a 16%
- Óxido de calcio (CaO), estabilizante de 5 a 12%
- Óxido de magnesio (MgO) de 0 a 6%
- Óxido de aluminio (Al_2O_3) de 0 a 3%

Además de estos componentes, el vidrio templado puede contener también pequeñas cantidades de otras sustancias.

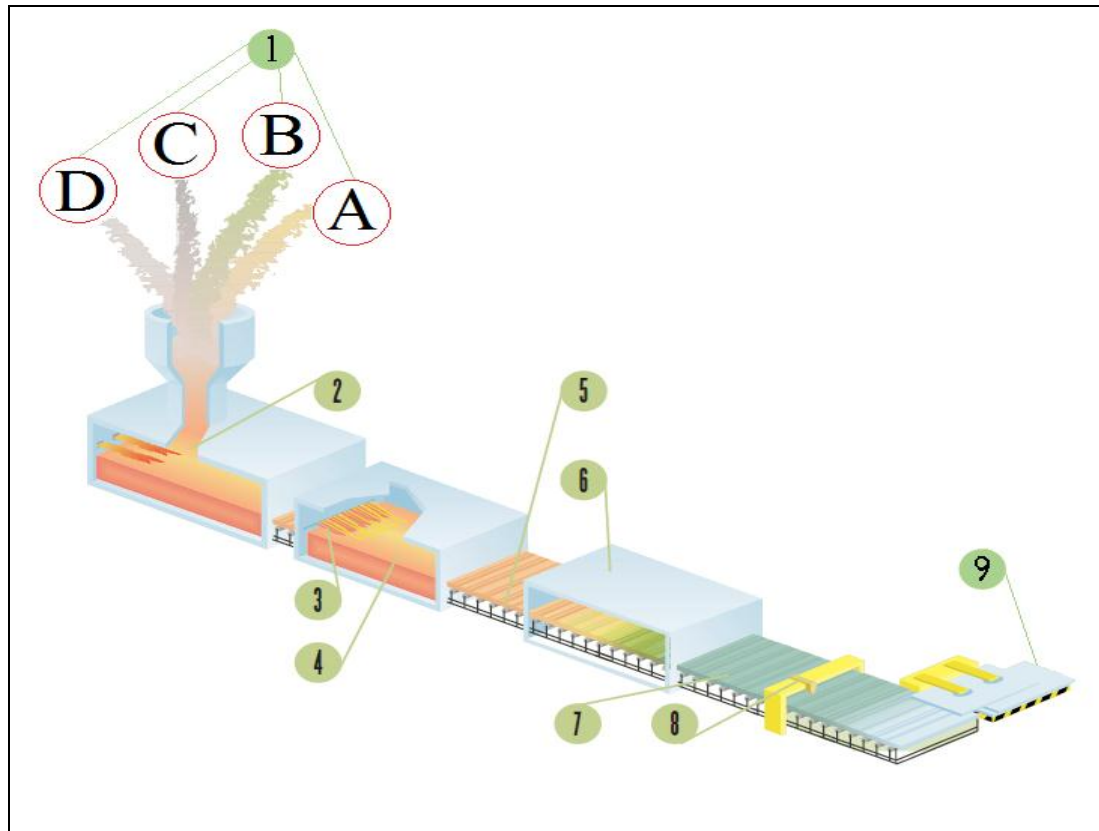
2.4. Proceso de fabricación

Este material sólido, frágil y por lo general transparente, presenta diferentes colores según los componentes que se utilicen en su fabricación. El proceso de elaboración consiste en fundir ciertas sustancias y, ya combinadas, solidificarlas su origen se remonta a una época anterior al año 2000 a.C., cuando se trabajaba a mano usando moldes. A lo largo del tiempo, el vidrio se ha empleado para fabricar recipientes, objetos decorativos como los de joyería, y también en la arquitectura y la industria. En la actualidad, su reciclaje supone un importante beneficio para conservar el medio ambiente y no contaminarlo.

A continuación se describe cómo es el proceso paso a paso para la fabricación del vidrio templado.

- Paso 1: las materias primas para la producción moderna de una gran variedad de vidrios se emplea una mezcla de materias primas que se introducen en un depósito llamado tolva.
- Paso 2: los ingredientes se funden en un horno para obtener cristal líquido (entre 1 500 y 2 000 °C). El fuego lo mantiene caliente y fluido.
- Paso 3: el flujo de cristal fundido varía según se desee que sea el grosor de la lámina final.
- Paso 4: el vidrio flota sobre el estaño a 1 000 °C. En este depósito se va enfriando y solidificando.
- Paso 5: el vidrio es ahora pegajoso y viscoso, pero tiene la suficiente consistencia para permitir el resto del proceso.
- Paso 6: en un horno-túnel se vuelve a calentar el vidrio sin llegar a fundirlo.
- Paso 7: se deja enfriar lentamente para que no se agriete.
- Paso 8: un diamante corta el cristal.
- Paso 9: resultado final: vidrio de tres metros de ancho y diferentes espesores.

Figura 1. **Proceso de fabricación del vidrio**



Fuente: IRUSTA, Manuel. *Proceso de fabricación del vidrio*, p.1.

La materia prima va ingresando según el volumen requerido (dosificación) y cada material está representado de la siguiente manera (ver figura 1):

- Arena: es el principal componente, se representa con la letra (A).
- Carbonato de sulfato de sodio: para que la arena se funda a menor temperatura, se representa con la letra (B).

- Piedra caliza: para que el cristal no se descomponga en el agua, se representa con la letra (C).
- Cristal reciclado: su uso es ecológico porque ahorra el gasto de las otras materias primas, se representa con la letra (D).

2.5. Características del vidrio

Los vidrios son materiales cerámicos no cristalinos; se denominan como materiales amorfos, inorgánicos, de fusión, que se ha enfriado a una condición rígida sin cristalizarse. Además, es una materia inerte, compuesta principalmente de silicatos. Es duro y resistente al desgaste, a la corrosión y a la compresión.

2.5.1. Características físicas

Este material tiene un aspecto macroscópico que corresponde al de un sólido típico; de hecho es uno de los materiales más duros conocidos; sin embargo, desde el punto de vista molecular es un líquido sobre enfriado, lo que ocurre es que se trata de un material muy viscoso y, por lo tanto; la velocidad con la que fluye es muy lenta; tan lenta que tarda cientos de años en lograr fluir a temperatura ambiente.

2.5.1.1. Color

En cuestiones del color en los vidrios, el color es originado por elementos que se agregan en el proceso de fusión, llamados colorantes. Éstos se van agregando en el momento de la fundición, y se le agrega según el color que se desea. (ver tabla I).

Tabla I. **Colorantes del vidrio**

ELEMENTO	COLOR
Óxido de cobalto	Rojo azulado
Óxido ferroso	Azul
Óxido férrico	Amarillo
Óxido de cromo	Verde grisáceo
Trióxido de cromo	Amarillo
Óxido de cobre	Verde azulado
Óxido de uranio	Verde amarillento fosforescente
Selenio elemental	Rosa
Sulfuro de cadmio coloidal	Amarillo

Fuente: Norma IRAM 12,565, Colorantes del vidrio.

2.5.1.2. Textura

Un vidrio completamente fundido presenta un brillo característico, porque el vidrio se nivela y aplana cuando se funde, formando una superficie extremadamente lisa, homogénea, es una muy buena característica del material pues lo hace más fácil de limpiar. Cuando un vidrio no se funde completamente en el proceso de cocción, viscosidad es todavía alta, la superficie resulta ser rugosa y por lo tanto con tendencia a mate. (el vidrio mate es a la vez opaco por el defecto en la aspereza de su superficie haciendo que no haya transparencia).

2.5.1.3. Peso

El peso en los vidrios difiere de acuerdo a su composición y a la densidad de los vidrios.

2.5.1.4. Maleabilidad

Los vidrios presentan maleabilidad cuando se encuentran en su etapa de fundición pues pueden ser moldeados. La etapa de maleabilidad del vidrio, es cuando se les da la forma deseada, ya sea por moldes o por cualquier otro método. Los principales métodos empleados para moldear el vidrio son el colado, el soplado, el prensado, el estirado y el laminado.

2.5.2. Características mecánicas

El comportamiento del vidrio bajo esfuerzos depende de varios factores: la rigidez de los enlaces entre las moléculas que lo constituyen y principalmente el estado de su superficie.

La resistencia mecánica real del vidrio está muy por debajo de su resistencia teórica, durante su uso el vidrio puede estar sometido a esfuerzos mecánicos de diferente tipo: flexión, impacto y dureza.

2.5.2.1. Flexión

La resistencia a la flexión es una propiedad del vidrio muy importante, porque el vidrio está expuesto a este tipo de esfuerzo en la mayoría de los casos y es una manera de poner a prueba su resistencia. Esto se comprobará con ensayos en el laboratorio donde se verificará la carga y deflexión de este material.

2.5.2.2. Impacto

Cuando se habla de ensayo de impacto para el vidrio, es importante mencionar que existen diferentes tipos de vidrio, entre los cuales están: el vidrio común o templado y el vidrio laminar. El vidrio común por no tener una estructura interna absorbe muy poco la energía de impacto, razón por la cual al momento de la falla los fragmentos de este salen volando de una manera explosiva y repentina; sin dar algún tipo de advertencia como pequeñas fisuras antes del momento de falla. Esto lo hace comportarse como un material frágil.

2.5.2.3. Dureza

Es una característica intrínseca del material. Ésta depende de la densidad, y de la composición química, se manifiesta como la dificultad de romperse, ser penetrado y rayado por otros cuerpos o materiales.

2.5.3. Características químicas

El vidrio es un material que resiste la mayoría de los agentes químicos y atmosféricos, es muy resistente al agua, a las soluciones neutras y ácidas, a los ácidos fuertes y sus mezclas. También con tiempos de exposición prolongados y temperaturas superiores a 100 °C, su resistencia química supera a la de la mayoría de los metales y otros materiales. Mediante la acción del agua y los ácidos únicamente se desprende del vidrio una minúscula capa.

2.5.3.1. Resistencia al agua

El agua ataca al vidrio disolviendo algunos de sus componentes lo que se manifiesta por pequeñas pérdidas de masa. La intensidad del agua que

depende de varios factores: la temperatura, el tiempo de contacto, la composición del vidrio, la agitación y el estado de la superficie. A temperatura ambiente el ataque es insignificante, la pérdida de masa después de estar sumergido durante horas es prácticamente inapreciable. Al aumentar la temperatura la intensidad del ataque crece exponencialmente.

2.5.3.2. Resistencia a los ácidos

El efecto de las actuaciones de ácidos sobre la superficie del vidrio es despreciable. Se disuelven desde el vidrio, en muy pequeñas cantidades, iones preferentemente monovalentes. Con ello se forma una capa de gel de sílice, muy delgada y poco porosa, sobre la superficie del vidrio, que inhibe un ataque posterior. Una excepción la constituyen el ácido fluorhídrico y el ácido fosfórico concentrado y caliente, que evitan la formación de la capa pasiva.

2.5.3.3. Resistencia a los agentes atmosféricos

El ataque del vidrio por agentes atmosféricos puede ocasionar la aparición en su superficie de manchas y escamas. El principal responsable de dicho ataque es el agua contenida en la atmosfera que se condensa frecuentemente sobre la superficie fría del vidrio. Esta pequeña cantidad de agua superficial es más peligrosa que gran cantidad de agua fluyendo, ya que da lugar a una disolución concentrada de NaOH que ataca al vidrio. Resulta por consiguiente aconsejable evitar en lo posible la condensación.

2.5.4. Características térmicas

Las características térmicas del vidrio se pueden describir por tres parámetros intrínsecos al material:

- Calor específico: es la magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa o sistema termodinámico de una sustancia para elevar su temperatura, unidad (Kelvin o grado Celsius).
- Conductividad térmica: es la propiedad de cualquier material que mide la capacidad de conducción del calor a través del mismo.
- Coeficiente de dilatación lineal: de forma general, durante una transferencia de calor, la energía que está almacenada en los enlaces intermoleculares entre dos átomos cambia. Cuando la energía almacenada aumenta, también lo hace la longitud de estos enlaces. Así, los sólidos normalmente se expanden al calentarse y se contraen al enfriarse.

2.5.5. Características acústicas

Desde el punto de vista de la transmisión del ruido, las ventanas, hasta los años setenta, fueron un punto débil de la envolvente exterior de un edificio. En la actualidad, la amplia variedad de tipos de vidrio y carpinterías permite resolver con facilidad y eficiencia los problemas de transmisión de ruido.

Para comprender mejor las propiedades del aislamiento acústico del vidrio es preciso, primero, entender cuál es el significado práctico del decibel (dB),

que es la unidad con la que se mide la presión sonora y da una idea relativa de su intensidad. A diferencia de otras unidades de uso común, como el metro cuya magnitud varía en forma lineal, el decibel (dB) varía en forma logarítmica. Esto quiere decir que, cada vez que la presión sonora aumenta 10 (dB) la intensidad del sonido se eleva a la décima potencia.

Por ejemplo, surge que una presión sonora de 80 (dB) no es el doble de 40 (dB) sino que es 10 000 veces mayor. Cuanto mayor es la presión sonora mayores son las dificultades para aislar el paso del ruido. Los ruidos graves (bajas frecuencias) son más difíciles y costosos de aislar con vidrio que los sonidos agudos (altas frecuencias). En términos generales, contar con una ventana con una capacidad de aislación acústica promedio de 30/33 (dB) implica tener un buen nivel de control acústico.

2.5.6. Características ópticas

El vidrio óptico se diferencia de los demás, por su forma de desviar la luz. Las materias primas deben tener una gran pureza, y hay que tener mucho cuidado para que no se introduzcan imperfecciones en el proceso de fabricación. Pequeñas burbujas de aire o inclusiones de materia no vitrificada pueden provocar distorsiones en la superficie de la lente. Las llamadas cuerdas, estrías causadas por la falta de homogeneidad química del vidrio, asimismo, pueden causar distorsiones importantes, y las tensiones en el vidrio debidas a un recocido imperfecto afectan también a las cualidades ópticas.

Para las lentes sencillas se usa cada vez más el plástico en lugar del vidrio. Aunque no es tan duradero ni resistente al rayado como el vidrio, es fuerte y ligero y puede absorber tintes.

2.5.6.1. Vidrio fotosensible

En el vidrio fotosensible, los iones de oro o plata del material responden a la acción de la luz, de forma similar a lo que ocurre en una película fotográfica. Para ello se utiliza en procesos de impresión y reproducción, y su tratamiento térmico tras la exposición a la luz produce cambios permanentes.

2.5.6.2. El vidrio fotocromático

Este material oscurece al ser expuesto a la luz, tras lo cual recupera su claridad original. Este comportamiento se debe a la acción de la luz sobre cristales diminutos de cloruro de plata o bromuro de plata distribuidos por todo el vidrio. Es muy utilizado en lentes de gafas o anteojos y en electrónica.

2.6. Proceso de transformación

El vidrio templado no se clasifica como vidrio de seguridad, ya que posee un patrón de rotura similar al del vidrio recocido. Su uso es adecuado en aplicaciones sujetas a tensiones térmicas, pero que no exijan requisitos de seguridad.

A continuación se explica paso a paso el proceso de transformación

- Paso 1: corte de piezas. El vidrio templado se puede producir, bien en dimensiones estándar o bien en medida fija según las especificaciones del cliente.

- Paso 2: manufactura. El vidrio templado se suele utilizar en aplicaciones en las que el vidrio va a soportar un alto esfuerzo mecánico (por ejemplo en puertas, paneles laterales, vehículos, etc.).
- Paso 3: limpieza. Cada panel se limpia cuidadosamente bajo condiciones controladas para asegurar que ninguna impureza altere la superficie del vidrio.
- Paso 4: tratamiento térmico. Una vez que el vidrio es cortado a medida, manufacturado y limpiado, se calienta en un horno hasta una temperatura de 620°C, justo por encima del punto de fusión de este material.
- Paso 5: proceso de templado. El vidrio es enfriado bruscamente por medio de un flujo de turbinas de aire que hacen que se contraiga la superficie. El núcleo interno del vidrio tarda más tiempo en enfriarse, lo que da lugar a tensiones de tracción permanente. La superficie adquiere la rigidez antes que en las capas internas que aún se encuentran en estado plástico, de este modo la superficie del vidrio queda sometida a fuerzas de compresión. Este proceso confiere al material resistencias mecánicas y térmicas muy superiores a las que tiene un vidrio sin templar.
- Paso 6: etiquetado, embalaje y transporte. Las etiquetas con todos los detalles del pedido se colocan una vez que el vidrio templado está terminado.

Para una mejor manipulación y transporte del mismo, suele colocarse sobre caballetes especiales para este uso.

3. USOS DEL VIDRIO EN LA CONSTRUCCIÓN

3.1. Vidrio decorativo

El vidrio como material de construcción está caracterizado por una serie de propiedades que hacen que resulte especialmente interesante para la fabricación de elementos decorativos, la posibilidad de modelarlo al gusto para darle cualquier tipo de forma, la transparencia al paso de luz y la resistencia, han permitido desde hace muchos años la fabricación de ventanas, mesas, vitrinas, vasos, botellas, jarrones e infinidad de piezas ornamentales.

En especial el vidrio de color, es el más adecuado de cara a las aplicaciones puramente decorativas, puesto que las diversas tonalidades combinadas con la luz que lo atraviesa, crean efectos muy hermosos y que además proporciona sensaciones de inigualable belleza.

3.2. Cerramientos

El vidrio es un material muy común, utilizado para realizar todo tipo de cerramientos. Algunos de ellos incluyen cerramientos de balcones, de lavaderos, de ventanas, de puertas, clóset, etc. Los cerramientos de vidrio tienen más de una utilización y muchos beneficios. En el caso de utilizar cerramientos de vidrio, la colocación de los mismos se puede llevar a cabo prescindiendo de los trabajos de albañilería. Esto se debe a que los cerramientos generalmente se colocan sobre aberturas ya existentes que quedan ocultas bajo la nueva estructura. El proceso de acabado que tienen hecho este tipo de cerramientos, hace que no deban volverse a retocar luego

de su colocación. Cualquier daño, o mancha que resulte de la colocación, podrá removerse solamente con la ayuda de un limpiador no abrasivo o antigrasa, quedando la superficie como nueva. El tipo de vidrio que se utiliza para estos cerramientos también garantiza la durabilidad de los mismos. Las personas no deberán preocuparse por reemplazarlos rápidamente. La estructura que contiene los cerramientos de vidrio, los cierres con felpas y burletes (tira de tela, caucho u otro material que se coloca en las aberturas de puertas y ventanas), previenen las filtraciones de agua, viento y polvo exterior. Esto ayuda a mantener el ambiente aislado y preservado de la suciedad y contaminación.

Figura 2. **Cerramientos**



Fuente: SkyScraperLife. *Un recorrido por los mejores edificios de Guatemala.*
<http://www.skyscraperlife.com/guatemala>. Consulta: 7-09-11.

3.3. Los vidrios estructurales

El vidrio estructural es un material con propiedades perfectamente conocidas que puede emplearse, no sólo como elemento secundario

(cerramiento), sino que con él pueden realizarse todo tipo de elementos estructurales como vigas, muros, losas, etc.

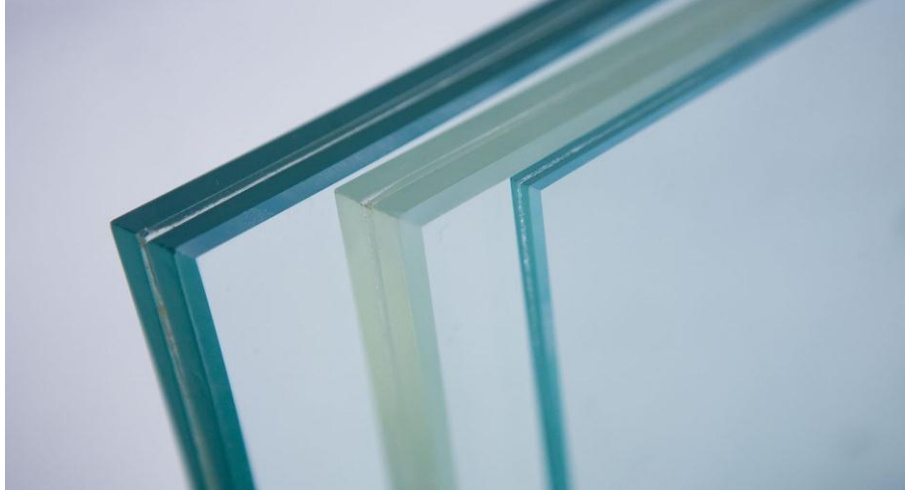
Probablemente la inexistencia de una normativa de referencia haya frenado un uso más generalizado del mismo. Existen, sin embargo, publicaciones de extraordinaria calidad como el documento Structural Use of Glass, publicado por la International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), en las cuales se describen las propiedades y métodos de cálculo del vidrio como material estructural. Recientemente se ha aprobado la redacción de un nuevo Eurocódigo de vidrio estructural, que en principio será aprobado en el 2012.

3.3.1. Vidrio laminado

El vidrio laminado está formado por dos hojas de vidrio sencillo recocido que se juntan una a otra interponiendo una lámina plástica adhesiva. El vidrio laminado no está diseñado para conseguir mayores resistencias mecánicas, puesto que a igual grosor la capacidad del laminado suele considerarse inferior a la del vidrio formado por una sola lámina.

El vidrio laminado no admite perforaciones para su fijación, porque la concentración de esfuerzos en las proximidades de la perforación lo rompería con toda seguridad. Es conveniente proteger los cantos del vidrio laminado para impedir el envejecimiento del butiral de polivinilo y sus adhesivos por la exposición directa al exterior.

Figura 3. **Vidrio laminado**



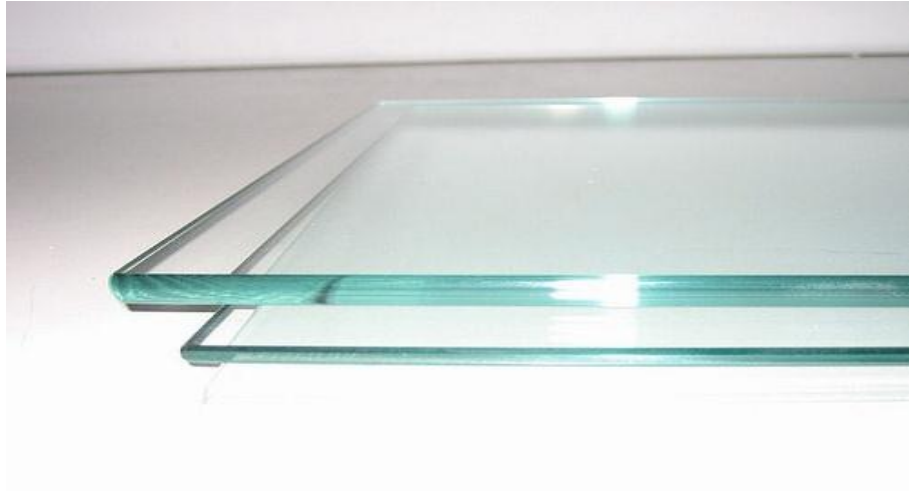
Fuente: La casa del vidrio laminado. *La casa del vidrio laminado*. Consulta: 14-09-11.

3.3.2. Vidrio templado

Este tipo de vidrio presenta un notable aumento de la resistencia mecánica, una mayor resistencia al choque térmico y brinda una mayor seguridad al uso.

El vidrio templado fabricado térmicamente, se calienta gradualmente hasta una temperatura de reblandecimiento de entre 575 y 635 °C para después enfriarlo muy rápidamente con aire. De esta manera se consigue que el vidrio quede expuesto en su superficie a tensiones de compresión y en el interior a tensiones de tracción, confiriéndole mayor resistencia estructural y al impacto que el vidrio sin tratar, teniendo la ventaja adicional de que en caso de rotura se fragmenta en pequeños trozos inofensivos (por lo cual se le considera uno de los tipos de vidrio de seguridad). Todas las manufacturas, ya sean cortes de dimensiones, canteados o taladros deberán ser realizadas previamente al templado, de realizarse posteriormente, se provocaría la rotura del vidrio.

Figura 4. **Vidrio templado**



Fuente: VIDRASA vidrio en tubo y varilla S.A.. *Vidrio templado*. Consulta: 14-09-11.

3.4. Otros usos del vidrio

El vidrio es uno de los materiales más usados, tiene muchas funciones y utilidades, como función principal se puede mencionar el uso en las ventanas como cerramiento, otro uso gracias a sus características cristalinas y que es un material muy higiénico son los recipientes de vidrio.

3.4.1. Vidrio de placa

El vidrio de ventana normal producido por estiramiento no tiene un espesor uniforme, debido a la naturaleza del proceso de fabricación. Las variaciones de espesor distorsionan la imagen de los objetos vistos a través de una hoja de ese vidrio. El método tradicional de evitar esos defectos ha sido emplear vidrio laminado bruñido y pulimentado, conocido como vidrio de placa.

En la actualidad, el bruñido y el pulimentado están siendo sustituidos por el proceso de vidrio flotante, que es más barato. En arquitectura se emplea vidrio laminado sin pulir, a menudo con superficies figurativas producidas por dibujos grabados en los rodillos.

El vidrio de seguridad, como el utilizado en los parabrisas de los automóviles o en las gafas de seguridad, se obtiene tras la colocación de una lámina de plástico transparente (butiral de polivinilo) entre dos láminas finas de vidrio de placa. El plástico se adhiere al vidrio y mantiene fijas las esquirlas incluso después de un fuerte impacto.

3.4.2. Vidrio óptico

La mayoría de las lentes que se utilizan en gafas (anteojos), microscopios, telescopios, cámaras y otros instrumentos ópticos se fabrican con vidrio óptico. Éste se diferencia de los demás vidrios por su forma de desviar (refractar) la luz.

3.4.3. Vitrocerámica

En los vidrios que contienen determinados metales se produce una cristalización localizada al ser expuestos a radiación ultravioleta. Si se calientan a temperaturas elevadas, estos vidrios se convierten en vitrocerámica, que tiene una resistencia mecánica y unas propiedades de aislamiento eléctrico superiores a las del vidrio ordinario.

3.4.4. Fibra de vidrio

Es posible producir fibras de vidrio que pueden tejerse como las fibras textiles, estirando vidrio fundido hasta diámetros inferiores a una centésima de milímetro. Se pueden producir tanto hilos multifilamento largos y continuos como fibras cortas de 25 o 30 centímetros de largo.

4. NORMATIVA APLICABLE

4.1. Qué son las normas

Una norma es un documento que ha sido desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de una organización y que además cumple con los requisitos de los procedimientos y regulaciones. Las normas elaboradas por consenso se elaboran con la participación de todas las partes que tienen interés en el desarrollo o uso de las normas.

4.2. Internacional

Las normas internacionales son propuestas por la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR y profesionales, quienes conjuntamente, aprueban y trabajan sobre los reglamentos de la misma. En esta sección se presentan las Normas ASTM, IRAM y UNE.

4.2.1. Normas ASTM

- *ASTM C 148: Test Methods for Polariscopio Examination of Glass Containers.* (Métodos de prueba para el examen Polariscopio de Envases).
 - Estos métodos de ensayo describen la determinación de retraso con respecto óptica asociada con el estado de recocido de envases de vidrio.

- *ASTM C 336: Test Method for Annealing Point and Strain Point of Glass by Fiber Elongation.* (Método de prueba para el recocido y el momento de la cepa de vidrio por alargamiento de la fibra).
 - Este método de ensayo cubre la determinación del punto de recocido y el punto de deformación de un cristal mediante la medición de la tasa de elongación de una fibra del vidrio que se analiza.

- *ASTM C 338: Test Method for Softening Point of Glass.* (Método de prueba para punto de reblandecimiento del vidrio).
 - Este método de ensayo cubre la determinación del punto de reblandecimiento de una copa por la determinación de la temperatura a la que una fibra cilíndrica, nominalmente 0.65 mm de diámetro y 235 mm de largo, con las tolerancias especificadas, se alarga por su propio peso a una velocidad de 1 mm / min en los primeros 100 mm de su longitud se calienta en un horno determinado a razón de 5 ± 1 °C / min.

- *ASTM C 598: Test Method for Annealing Point and Strain Point of Glass by Beam Bending.* (Método de prueba para el recocido y el Momento de deformación del vidrio por medio de la deflexión de una viga de vidrio que se analiza.).
 - Este método de ensayo cubre la determinación del punto de recocido y el punto de deformación de un cristal mediante la medición del gradiente de determinación viscosa del punto medio de flexión de una viga de cristal, simplemente cargada. Sin embargo, a temperaturas que corresponden a la hibridación y los puntos de presión, la viscosidad del vidrio es altamente dependiente del tiempo.

Por lo tanto, cualquier viscosidad que podrían derivarse o inferirse a partir de las mediciones realizadas por este procedimiento no se puede asumir que representan las condiciones de equilibrio estructural.

- *ASTM C 1048: Specification for Heat-Treated Glass—Kind HS, Kind FT Coated and Uncoated Glass.* (Especificación para vidrio tratado térmicamente-tipo M, tipo SA, con y sin recubrimiento).
 - Esta especificación cubre los requisitos para el plano reforzado por calor y planos totalmente templados y cristal sin recubrimiento, utilizado en la construcción de edificios en general.

- *ASTM C 1172: Specification for Laminated Architectural Flat Glass.* (Especificación para vidrio plano arquitectónico laminado).
 - Esta especificación cubre los requisitos de calidad del vidrio plano laminado consiste en dos o más hojas de vidrio unidas con un material entre capas para su uso en el acristalamiento de edificios.

- *ASTM C 169 – 92 (Reapproved 2000): Standard Test Methods for Chemical Analysis of Soda-Lime and Borosilicate Glass.* (Métodos de prueba estándar para el análisis químico de vidrio sódico-cálcico y boro-silicato).
 - Estos métodos de ensayo cubren el análisis químico cuantitativo de las composiciones de vidrio sódico-cálcico y boro-silicato para el análisis de rutina.

- *ASTM C 338 – 93 (Reapproved 2003): Standard Test Method for Softening Point of Glass.* (Método de prueba estándar para el punto de reblandecimiento del vidrio).
 - Este método de ensayo cubre la determinación del punto de reblandecimiento de una copa por la determinación de la temperatura a la que una fibra ronda de la copa, nominalmente 0.65 mm de diámetro y 235 mm de largo, con las tolerancias especificadas, se alarga por su propio peso a una velocidad de 1 mm / min en los primeros 100 mm de su longitud se calienta en un horno determinado a razón de 5 ± 1 ° C / min.

- *ASTM C 424 – 93 (Reapproved 1999): Standard Test Method for Craze Resistance of Fired Glazed Whitewares by Autoclave Treatment.* (Método de prueba estándar para resistencia al craze de la alfarería blanca brillantada por llama por medio de tratamiento en autoclave).
 - Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la fisuración de mercancías despedido cristal blanco con el tratamiento en autoclave y en las condiciones especificadas en este método de ensayo.

- *ASTM C 429 – 01: Standard Test Method for Sieve Analysis of Raw Materials for Glass Manufacture.* (Método de prueba estándar para el análisis granulométrico de las materias primas para la fabricación de vidrio).
 - Este método de ensayo del análisis granulométrico de las materias primas comunes para la fabricación de vidrio, tales como arena,

ceniza de soda, cal, silicatos, alcalinos-alúmina y otros materiales granulares utilizados en el lote de vidrio.

- ASTM C 657 – 93 (Reapproved 2003): Standard Test Method for D-C Volume Resistivity of Glass. (Método de prueba estándar para el volumen de resistividad D-C de vidrio).
 - Este método de ensayo cubre la determinación del volumen de corriente continua resistencia de una superficie lisa, preferentemente pulida; vidrio para la medición de la resistencia al paso de una pequeña cantidad de corriente a través del cristal a un voltaje lo suficientemente alto como para asegurar una adecuada sensibilidad. Esta corriente debe ser medida bajo condiciones de estado estacionario que no es ni una corriente de carga, ni una carga espacial, la polarización de la acumulación actual. (Método de prueba estándar para determinar la resistencia a la corriente continua).

- *ASTM C 724 – 91 (Reapproved 2000): Standard Test Method for Acid Resistance of Ceramic Decorations on Architectural-Type Glass.* (Método de prueba estándar para resistencia a los ácidos de las decoraciones de cerámica en vidrio arquitectónico).
 - Este método de ensayo cubre la determinación cualitativa de la resistencia a los ácidos de la decoración cerámica de vidrio arquitectónico.

- *ASTM C 730 – 98 (Reapproved 2003): Standard Test Method for Knoop Indentation Hardness of Glass.* (Método de prueba estándar para la dureza knoop sangría de vidrio).
 - Este método de ensayo cubre la determinación de la dureza de identificación knoop de vidrio y la verificación de las máquinas de ensayo de dureza knoop sangrado uso de anteojos estándar.

- *ASTM C 770 – 98: Standard Test Method for Measurement of Glass Stress—Optical Coefficient.* (Método de prueba estándar para la medición de vidrio óptico Coeficiente de estrés).
 - Este método de prueba cubre los procedimientos para la determinación del coeficiente de esfuerzo, de óptica de vidrio, que se utiliza en los análisis foto elástica. En el procedimiento de un retraso de la óptica se determina por una fibra de vidrio sometido a tensión uniaxial.

- *ASTM C 773 – 88 (Reapproved 1999): Standard Test Method for Compressive (Crushing) Strength of Fired Whiteware Materials.* (Método de prueba estándar para la compresión (aplastamiento) Resistencia de Materiales loza despedido).
 - Este método de ensayo cubre dos procedimientos de prueba (A y B) para la determinación de la resistencia a la compresión.

4.2.2. Normas IRAM

- IRAM 12556. Vidrios planos de seguridad para la construcción.
 - Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los vidrios planos de seguridad para la construcción, para ser considerados como tales, clasificándolos a partir de sus características de rotura en función de la altura de caída del impactador.

- IRAM 12559. Vidrios planos de seguridad para la construcción. Método de determinación de la resistencia al impacto.
 - Esta norma establece el método de determinación de la resistencia al impacto de los vidrios planos de seguridad para la construcción, al ser impactados por una masa de 45 kg.

- IRAM 12565. Vidrios planos para la construcción para uso en posición vertical. Cálculo del espesor conveniente de vidrios verticales sustentados en sus cuatro bordes.
 - Esta norma establece el método para calcular ante la sollicitación de la presión del viento, el espesor conveniente de los vidrios planos, básicos y/o procesados en forma de vidrios de seguridad, templados o laminados y unidades de doble vidriado hermético para la construcción, y utilizados en forma de paños verticales sujetos en sus cuatro bordes.

Con la presión por carga de diseño de viento, mediante la utilización de un ábaco, se determina el espesor del vidrio, para los distintos tipos de vidrios básicos o procesados.

- IRAM 12572. Vidrios de seguridad planos, templados para la construcción. Método de ensayo de fragmentación.
 - En esta norma se establece el método de ensayo de fragmentación de vidrios de seguridad planos, templados, que se emplean en la construcción.

Este método orienta sobre la calidad del tratamiento térmico y las características de seguridad del vidrio en caso de rotura.

- IRAM 12595. Vidrio plano de seguridad para la construcción. Práctica recomendada de seguridad para áreas vidriadas susceptibles de impacto humano.
 - Esta norma establece las recomendaciones para el uso de los vidrios en posición vertical, instalados en lugares susceptibles de impacto humano. El propósito de estas recomendaciones es el de reducir las lesiones, y el riesgo de corte y heridas profundas, ocasionados por la rotura del vidrio.

En el artículo 3.10.2.1 de dicha ordenanza, y en sus artículos subsiguientes, se desarrollan requerimientos de los vidrios en cuanto a:

- La prevención de uso y empleo.

- Su instalación y características, y las responsabilidades que de estas deriven en el profesional y el propietario.
 - Las áreas de riesgo por su utilización en forma vertical y como plano inclinado.
 - La identificación que debe tener un vidrio para que sea considerado como de seguridad.
 - Su reposición en caso de fractura, en cuanto a su mantenimiento y limpieza, y en cuanto a la adecuación de los vidrios instalados en edificios existentes.
 - En el cambio de destino de los inmuebles.
 - La señalización en puertas de vidrio y panales fijos.
- IRAM 12596. Vidrio para la construcción. Práctica recomendada para el empleo de vidrios de seguridad en la construcción.
 - Expectativas de empleo: es creciente la tendencia por lograr cada vez más transparencia en las construcciones y emplear paños vidriados de medidas cada vez mayores. Al mismo tiempo el usuario tiende a olvidar su fragilidad y el peligro que puede acarrear en caso de accidentes. A diferencia de los vidrios comunes, los vidrios de seguridad poseen propiedades de una mayor resistencia al impacto y en caso de rotura ofrecen un significativamente menor riesgo para causar heridas graves. Esta Norma establece la práctica

recomendada para el empleo de los vidrios de seguridad en la construcción.

Individualiza aquellas aplicaciones, donde el empleo de vidrios de seguridad permita minimizar las consecuencias de accidentes como producto de su rotura accidental o premeditada.

- IRAM 12840. Vidrios para techos. Práctica recomendada acerca de su uso.
 - Especificar vidrio para superficies inclinadas sobre las áreas de circulación o permanencia de personas. Se recomiendan los espesores mínimos de vidriado a emplear según las dimensiones del paño, la inclinación de la cubierta para distintas composiciones de vidriado simple o de doble vidriado hermético.

4.2.2. Normas UNE

- UNE 43 009 53. Vidrio plano: ensayos de vidrios planos de seguridad. Ensayos de planicidad.
- UNE 43 017 53. Vidrio. Vidrios de seguridad: resistencia al impacto de una bala sobre vidrios de seguridad de temperatura normal.
- UNE 43 018 53. Vidrio. Vidrio de seguridad: rotura por impacto de una bala sobre vidrios de seguridad a temperatura normal.

4.3. Local

La función de COGUANOR es desarrollar actividades de normalización que contribuyan a mejorar la competitividad de las empresas nacionales y elevar la calidad de los productos y servicios que dichas empresas ofertan en el mercado nacional e internacional. Su ámbito de actuación abarca todos los sectores económicos. Las normas técnicas que COGUANOR elabora, publica y difunde, son de observancia, uso y aplicación voluntarios.

4.3.1. Normas COGUANOR

Debido a que COGUANOR es la única entidad local con material didáctico disponible, y la normativa referente a análisis mecánico de vidrio, no existe en su biblioteca, la parte del capítulo 4. Normativa aplicable, se dejará inconclusa por esa razón.

5. ESTUDIO DEL MERCADO NACIONAL DEL VIDRIO

Con el propósito de conocer sobre el mercado del vidrio en Guatemala y su uso en la construcción se realizaron las siguientes actividades:

- Visitas a empresas distribuidoras: con el objetivo de conocer aspectos generales sobre el vidrio.
- Visita a proyectos de construcción: con el objetivo de conocer aspectos generales sobre los tipos y usos de vidrio.
- Planificación y realización de encuesta a empresas: con el objetivo de recopilar información que permita conocer aspectos significativos sobre el mercado del vidrio y su uso en la construcción.
 - Elaboración de encuesta: incluía un total de 15 preguntas, la mayoría eran de selección, lo que orienta al entrevistado, y facilita la tabulación y análisis de las boletas. (ver anexo).
 - Selección de muestra: se consideraron un total de diez empresas (elegidas de manera aleatoria), con las que se estableció comunicación y se solicitó el apoyo.
- Tabulación y análisis de información

5.1. Tiempo de presencia en el mercado

Alternativas de respuestas: 1-5 años, 6-10 años, 11-15 años o más, de acuerdo a la información proporcionada, el 50% entre 6- 10 años, el 25% entre 11 – 15 años y el 25% más de 15 años. Esto refleja el interés y la demanda que existe del vidrio y sus productos relacionados, así como el crecimiento de la industria del vidrio y de su uso como material de construcción.

Tabla II. **Tiempo de presencia en el mercado**

Pregunta/ Alternativas respuestas	Análisis de resultados	Gráfica										
<p>Tiempo de presencia en el mercado.</p> <p>1-5 años, 6-10 años, 11-15 años, más 15 años</p>	<p>De acuerdo a la información proporcionada, el 50% de las empresas tiene entre 6- 10 años de presencia, el 25% entre 11 – 15 años y el 25% más de 15 años.</p> <p>Esto refleja el interés y la demanda que existe del vidrio y sus productos relacionados, así como el crecimiento de la industria del vidrio y de su uso como material de construcción.</p>	<p style="text-align: center;">Tiempo de presencia en el mercado</p> <p>The pie chart is divided into four segments: a large purple segment (50%) for '6-10 años', a yellow segment (25%) for '11-15 años', a light blue segment (25%) for 'más de 15 años', and a very thin cyan segment (0%) for '1-5 años'. A legend on the right lists the categories with their corresponding colors: 1-5 años (cyan), 6-10 años (purple), 11-15 años (yellow), and más de 15 años (light blue).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-5 años</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>6-10 años</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>11-15 años</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>más de 15 años</td> <td>25%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	1-5 años	0%	6-10 años	50%	11-15 años	25%	más de 15 años	25%
Categoría	Porcentaje											
1-5 años	0%											
6-10 años	50%											
11-15 años	25%											
más de 15 años	25%											

Fuente: elaboración propia.

5.2. Actividades que desarrolla

Alternativas de respuestas: producción, importación, distribución, instalación, mantenimiento, otras.

De acuerdo a la información proporcionada, el 25% realiza todos los servicios, un 50%, no prestan distribución ni mantenimiento, el 25% restante no presta importación ni mantenimiento (25%). Todas las empresas realizan actividades de producción e instalación, el 75% de las empresas no ofrece servicios de mantenimiento.

Esto refleja el interés de las empresas en ofrecer la mayor cantidad de servicios a sus clientes lo que significa una magnificación de sus costos.

Tabla III. **Actividades que desarrolla**

Pregunta/ Alternativas respuestas	Análisis de resultados	Gráfica										
Actividades que desarrolla Producción, Importación, Distribución, Instalación, Mantenimiento, Otras.	<p>De acuerdo a la información proporcionada, el 25% de las empresas realiza todos los servicios, 50% no presta distribución ni mantenimiento, 25% no presta importación ni mantenimiento. Todas las empresas realizan actividades de producción e instalación, el 75% de las empresas no ofrece servicios de mantenimiento.</p> <p>Esto refleja el interés de las empresas en ofrecer la mayor cantidad de servicios a sus clientes lo que significa un mayor mercado y la reducción de sus costos.</p>	<p>Actividades que desarrolla</p> <table border="1"> <caption>Data for 'Actividades que desarrolla' chart</caption> <thead> <tr> <th>Actividad</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Todos los servicios</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>No distribución, ...</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>No importación, ...</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>Producción y servicio</td> <td>75%</td> </tr> </tbody> </table>	Actividad	Porcentaje (%)	Todos los servicios	25%	No distribución, ...	50%	No importación, ...	25%	Producción y servicio	75%
Actividad	Porcentaje (%)											
Todos los servicios	25%											
No distribución, ...	50%											
No importación, ...	25%											
Producción y servicio	75%											

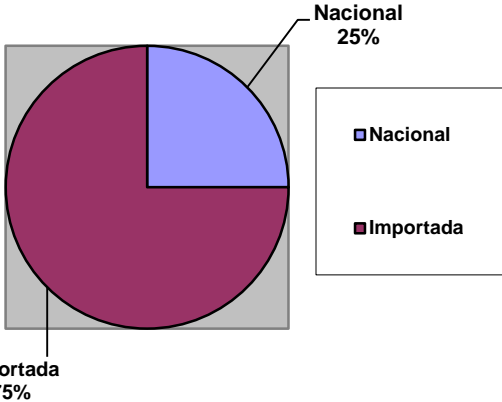
Fuente: elaboración propia.

5.3. Materia prima

Alternativas de respuestas: nacional, importada.

De acuerdo a la información proporcionada, el 75% de las empresas importa su materia prima, el 25% restante utiliza materia prima nacional e importada. Esto significa que se utilizan materiales de diferente origen, costo y calidad, además del inconveniente de la variabilidad que puede tener el mercado internacional. Es importante que el cliente conozca las características de los productos que le ofrecen.

Tabla IV. **Materia prima**

Pregunta/ Alternativas respuestas	Análisis de resultados	Gráfica
<p>Materia prima: nacional, importada.</p>	<p>De acuerdo a la información proporcionada, el 75% de las empresas importa su materia prima, el 25% restante utiliza materia prima nacional e importada.</p> <p>Esto significa que se utilizan materiales de diferente origen, costo y calidad, además del inconveniente de la variabilidad que puede tener el mercado internacional. Es importante que el cliente conozca las características de los productos que le ofrecen.</p>	<p style="text-align: center;">Materia prima</p>  <p style="text-align: center;"> ■ Nacional ■ Importada </p>

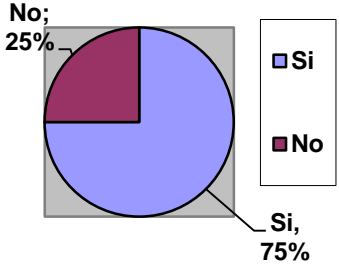
Fuente: elaboración propia.

5.4. Distribuye productos de vidrio para construcción

Alternativas de respuestas: sí, no.

De acuerdo a la información proporcionada, el 75% de las empresas distribuyen productos de vidrio para construcción, el 25% no. La industria de la construcción es uno de los principales usuarios de estos productos, por lo que es importante que el estudiante de ingeniería conozca los diferentes productos y aplicaciones que tiene el vidrio en la construcción en la actualidad, para esto es necesario que los fabricantes y profesores realicen las actividades necesarias para socializar las informaciones que permitan alcanzar ese objetivo.

Tabla V. **Distribuye productos de vidrio para construcción**

Pregunta/ Alternativas respuestas	Análisis de resultados	Gráfica
<p>Distribuye productos de vidrio para construcción: sí, no.</p>	<p>De acuerdo a la información proporcionada, el 75% de las empresas distribuyen productos de vidrio para construcción, el 25% no.</p> <p>La industria de la construcción es uno de los principales usuarios de estos productos, por lo que es importante que el estudiante de ingeniería conozca los diferentes productos y aplicaciones que tiene el vidrio en la construcción en la actualidad, para esto es necesario que los fabricantes y profesores realicen las actividades necesarias que permitan alcanzar ese objetivo.</p>	<p>Distribuye productos de vidrio para construcción</p>  <p>No; 25%</p> <p>Si, 75%</p>

Fuente: elaboración propia.

5.5. Principales clientes

Alternativas de respuestas: industria, construcción, material para otros productos.

De acuerdo a la información proporcionada, el 75% de las empresas refiere al sector de la construcción como su principal cliente, el 25% restante refiere a la industria como su principal cliente, lo que refleja la demanda y uso del vidrio por diferentes sectores productivos, siendo la construcción el principal usuario de estos productos.

Tabla VI. Principales clientes

Pregunta/ Alternativas respuestas	Análisis de resultados	Gráfica
<p>Principales clientes</p> <p>Industria, Construcción, material para otros productos.</p>	<p>De acuerdo a la información proporcionada, el 75% de las empresas refiere al sector de la construcción como su principal cliente, el 25% restante refiere a la industria como su principal cliente, lo que refleja la demanda y uso del vidrio por diferentes sectores productivos, la construcción el principal usuario de estos productos.</p>	<p style="text-align: center;">Principales clientes</p> <p>The pie chart, titled 'Principales clientes', is divided into three segments. The largest segment, representing 75%, is dark red and labeled 'Construcción, 75%'. The second largest segment, representing 25%, is light blue and labeled 'Industria, 25%'. The smallest segment, representing 0%, is light gray and labeled 'Material otros productos, 0%'. A legend to the right of the chart identifies the colors: a light blue square for 'Industria', a dark red square for 'Construcción', and a light gray square for 'Material otros productos'.</p>

Fuente: elaboración propia.

5.6. Productos comerciales

Alternativas de respuestas: vidrio (cerramientos, estructurales), blocks de vidrio, accesorios, otros (azulejos, productos químicos).

De acuerdo a la información proporcionada, todas las empresas ofrecen productos para ventanas y puertas, el 75% ofrece blocks y accesorios, solamente el 50% ofrece vidrio para uso estructural, estos resultados se relacionan con los obtenidos en la pregunta anterior, lo que refleja que cada empresa maneja líneas de productos particulares de acuerdo a sus clientes, siendo la construcción un usuario importante de estos productos.

Tabla VII. **Productos comerciales**

Pregunta/ Alternativas respuestas	Análisis de resultados	Gráfica										
<p>Productos comerciales</p> <p>vidrio (cerramientos, estructurales), blocks vidrio, accesorios, otros (azulejos, productos químicos).</p>	<p>De acuerdo a la información proporcionada, el 75% de las empresas ofrecen productos para ventanas y puertas, 75% ofrece blocks y accesorios, 50% ofrece vidrio para uso estructural, 50% ofrece accesorios. Estos resultados se relacionan con los obtenidos en la pregunta anterior, lo que refleja que cada empresa maneja líneas de productos particulares de acuerdo a sus clientes, siendo la construcción un usuario importante de estos productos.</p>	<p>Productos comerciales</p> <table border="1"> <caption>Data for 'Productos comerciales' chart</caption> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>% empresas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vidrio cerramiento</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>Vidrio estructural</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Blokcs vidrio</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>Accesorios</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	% empresas	Vidrio cerramiento	75	Vidrio estructural	50	Blokcs vidrio	75	Accesorios	75
Categoría	% empresas											
Vidrio cerramiento	75											
Vidrio estructural	50											
Blokcs vidrio	75											
Accesorios	75											

Fuente: elaboración propia.

5.7. Tipos de vidrios

Alternativas de respuestas: templado, laminado, estructurales, otros.

De acuerdo a la información proporcionada, todas las empresas ofrecen vidrio templado, el 75% ofrece vidrio laminado, el 25% todos los tipos indicados además de flotado y diamantado, el 50% ofrece vidrio para uso estructural y otro, estos resultados se relacionan con los obtenidos en la pregunta anterior, lo que refleja que cada empresa produce productos particulares de acuerdo a sus clientes, siendo la construcción un usuario importante de estos productos.

Tabla VIII. Tipos de vidrio

Pregunta/ Alternativas respuestas	Análisis de resultados	Gráfica										
<p>Tipos de vidrios</p> <p>Templado, laminado, estructurales, otros</p>	<p>De acuerdo a la información proporcionada, todas las empresas ofrecen vidrio templado, el 75% de las empresas ofrece vidrio laminado, 25% todos los tipos indicados además de flotado y diamantado, 50% ofrece vidrio para uso estructural y otro, estos resultados se relacionan con los obtenidos en la pregunta anterior, lo que refleja que cada empresa produce productos particulares de acuerdo a sus clientes, siendo la construcción un usuario importante de estos productos.</p>	<p>Tipos de vidrio</p> <table border="1"> <caption>Data for 'Tipos de vidrio' chart</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de vidrio</th> <th>% empresas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Templado</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Laminado</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>Estructurales</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Otros</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de vidrio	% empresas	Templado	100	Laminado	75	Estructurales	50	Otros	25
Tipo de vidrio	% empresas											
Templado	100											
Laminado	75											
Estructurales	50											
Otros	25											

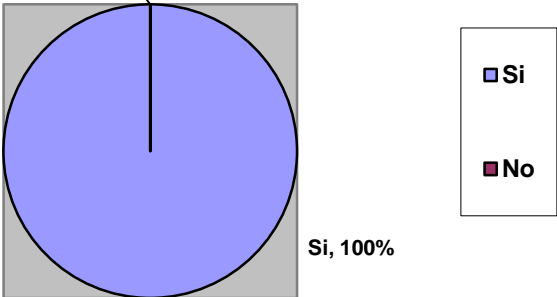
Fuente: elaboración Propia.

5.8. Control de calidad

Alternativas de respuestas: sí, no.

De acuerdo a la información proporcionada, todas las empresas realizan algún tipo de control de calidad, factor importante, para que los clientes tengan la garantía sobre la calidad de sus productos.

Tabla IX. **Control de calidad**

Pregunta/ Alternativas respuestas	Análisis de resultados	Gráfica						
Control de calidad: sí, no.	De acuerdo a la información proporcionada, todas las empresas realizan algún tipo de control de calidad, factor importante para que los clientes tengan la garantía sobre la calidad de sus productos.	<p style="text-align: center;">Control de calidad</p>  <p>The figure is a pie chart titled "Control de calidad". It shows a single blue slice representing 100% of the responses, labeled "Si, 100%". A very thin slice is labeled "No; 0%". A legend on the right shows a blue square for "Si" and a red square for "No".</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Si</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>No</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Porcentaje	Si	100%	No	0%
Respuesta	Porcentaje							
Si	100%							
No	0%							

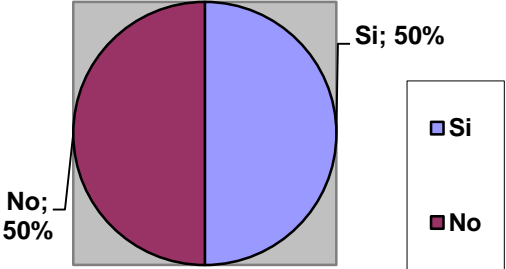
Fuente: elaboración propia.

5.9. Productos que cuentan con certificado técnico

Alternativas de respuestas: sí, no.

De acuerdo a la información proporcionada, el 50% de las empresas ofrece certificado técnico para sus productos, el 50% restante no. Esto representa una desventaja para las empresas que no cuentan con este certificado, ya que es una garantía para sus clientes por el producto que adquieren.

Tabla X. **Productos que cuentan con certificado técnico**

Pregunta/ Alternativas respuestas	Análisis de resultados	Gráfica
<p>Productos que cuentan con certificado técnico: sí, no.</p>	<p>De acuerdo a la información proporcionada, el 50% de las empresas ofrece certificado técnico para sus productos, el 50% restante no. Esto representa una desventaja para las empresas que no cuentan con este certificado, ya que es una garantía para sus clientes y el producto que adquieren.</p>	<p style="text-align: center;">Productos que cuentan con certificado técnico</p>  <p>A pie chart titled "Productos que cuentan con certificado técnico" is displayed. The chart is divided into two equal halves: a blue half on the right and a maroon half on the left. A line points from the text "Si; 50%" to the blue half, and another line points from "No; 50%" to the maroon half. To the right of the chart is a legend box containing a blue square next to the text "Si" and a maroon square next to the text "No".</p>

Fuente: elaboración propia.

5.10. Tipo de normas-especificaciones

Alternativas de respuestas: nacionales, otras (EE.UU., Europa, Sur América)

De acuerdo a la información proporcionada, el 50% de las empresas indica el uso de normas nacionales, el 25% Normas EE.UU., el 25% Normas de Europa. Se aplican diferentes normas de acuerdo a la procedencia de los materiales importados, así como del tipo de producto que se trate.

Tabla XI. **Tipo de normas-especificaciones**

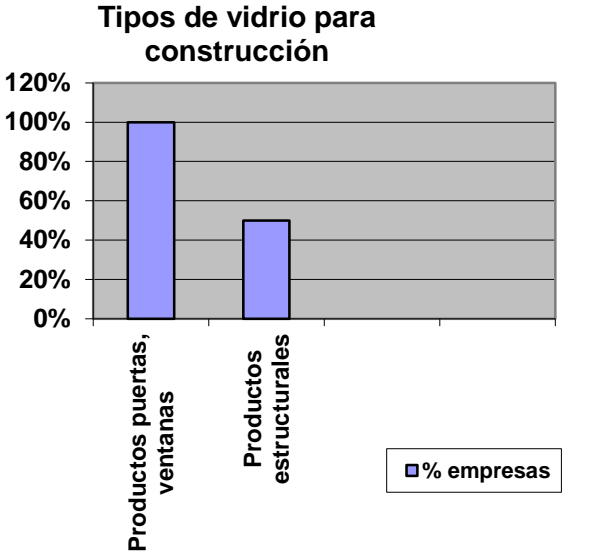
Pregunta/ Alternativas respuestas	Análisis de resultados	Gráfica
<p>Tipo de normas-especificaciones</p> <p>Nacionales, otras (EE.UU., Europa, Sur América)</p>	<p>De acuerdo a la información proporcionada, el 50% de las empresas indica el uso de normas nacionales, el 25% Normas de EE.UU., el 25% Normas de Europa. Se aplican diferentes normas de acuerdo a la procedencia de los materiales importados, así como del tipo de producto que se trate.</p>	<p>Sur América 0% 0%</p> <p>Europa 25%</p> <p>EE.UU. 25%</p> <p>Nacionales 50%</p>

Fuente: elaboración propia.

5.11. Tipos de vidrio para construcción

Alternativas de respuestas: puertas, ventanas, estructural, iluminación, ornamental, otros. De acuerdo a la información proporcionada, todas las empresas manejan productos para puertas y ventanas, un 50% ofrece también productos estructurales. Se esperaba encontrar más diversidad de productos para construcción, esta situación tendrá que cambiar y los fabricantes ampliar su cartera de productos para satisfacer los nuevos requerimientos y aplicaciones de productos de vidrio.

Tabla XII. Tipos de vidrio para construcción

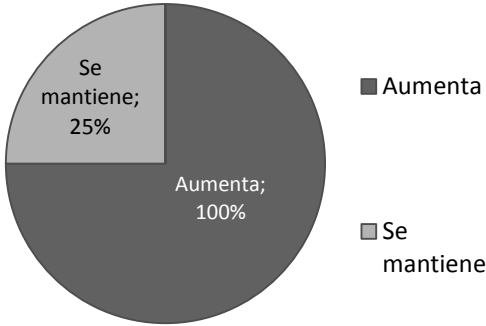
Pregunta/ Alternativas respuestas	Análisis de resultados	Gráfica						
<p>Tipos de vidrio para construcción</p> <p>Puertas, ventanas, estructural, iluminación, ornamental, otros</p>	<p>De acuerdo a la información proporcionada, todas las empresas manejan productos para puertas y ventanas, un 50% ofrece también productos estructurales. Se esperaba encontrar más diversidad de productos para construcción, esta situación tendrá que cambiar y los fabricantes ampliar su cartera de productos para satisfacer los nuevos requerimientos y aplicaciones de productos de vidrio.</p>	 <p>Tipos de vidrio para construcción</p> <table border="1"> <caption>Data for 'Tipos de vidrio para construcción' chart</caption> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>% empresas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Productos puertas, ventanas</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Productos estructurales</td> <td>50%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	% empresas	Productos puertas, ventanas	100%	Productos estructurales	50%
Categoría	% empresas							
Productos puertas, ventanas	100%							
Productos estructurales	50%							

Fuente: elaboración propia.

5.12. Proyección del uso de vidrio en construcción

Alternativas de respuestas: aumenta, se mantiene, disminuye de acuerdo a la información proporcionada, el 75% de las empresas indica que aumenta, el 25% se mantiene. Resultados que confirman el análisis de las preguntas anteriores en cuanto a la situación de la industria del vidrio así como de su uso en la construcción.

Tabla XIII. **Proyección del uso de vidrio en construcción**

Pregunta/ Alternativas respuestas	Análisis de resultados	Gráfica
<p>Proyección del uso de vidrio en construcción</p> <p>Aumenta, se mantiene, disminuye</p>	<p>De acuerdo a la información proporcionada, el 75% de las empresas indica que aumenta, el 25% se mantiene. Resultados que confirman el análisis de las preguntas anteriores en cuanto a la situación de la industria del vidrio así como de su uso en la construcción.</p>	<p style="text-align: center;">Proyección del uso de vidrio en construcción</p>  <p>The pie chart is divided into two segments. The larger segment, representing 75% of the total, is dark gray and labeled 'Aumenta; 100%'. The smaller segment, representing 25% of the total, is light gray and labeled 'Se mantiene; 25%'. A legend to the right of the chart shows a dark gray square next to the text 'Aumenta' and a light gray square next to the text 'Se mantiene'.</p>

Fuente: elaboración propia.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. Procedimiento de ensayo a flexión

Contar con varias probetas para este tipo de ensayo con el fin de tener un resultado representativo, ya que éstas pueden tener una distinta reacción mecánica al momento del ensayo, de esta manera se puede determinar con mayor precisión el esfuerzo a flexión del material. Las dimensiones aproximadas para dicho ensayo son las siguientes: 0.5X8X40 cm.

Los pasos del ensayo son los siguientes:

- Antes de efectuar el ensayo las probetas deben ser pesadas y verificar las dimensiones reales (alto, largo y ancho).
- Colocar la probeta en el sistema, dejando una longitud libre entre apoyos (luz), la cual deberá estar debidamente nivelada para lograr una posición horizontal exacta, luego se aplica una carga moderada con una velocidad constante de la cabeza móvil de la prensa hidráulica, verificando que ésta se aplique al centro de los apoyos (luz).
- Para cada cierto intervalo se hará una lectura de la deformación de la probeta por medio de un deformómetro.
- Dibujar por cada prueba una gráfica de carga contra deformación y se anotan todos los detalles que se consideran que son de importancia.

Con esto se determina la carga al límite elástico (viene dado este por el punto donde una tangente trazada a la carga se separa de esta). Se determina además el esfuerzo máximo, módulo de ruptura y el módulo elástico a flexión del material.

Para el cálculo del esfuerzo máximo se hace uso de la ecuación que sólo es válida en el rango elástico del material; esta ecuación se utiliza cuando la fuerza que ejerce a la probeta es una carga en el centro de la misma.

$$F_b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Donde:

- F_b = esfuerzo ultimo de flexión (kg/cm²)
- P = carga ultima (kg)
- L = longitud libre (cm)
- b = base
- h = altura

Con la finalidad de determinar el módulo de elasticidad del vidrio fueron sometidas seis probetas a flexión, las cuales se detallan en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Características de las probetas utilizadas para la determinación del módulo de elasticidad**

Identificación	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm ²)	Área Promedio (cm ²)	Peso (kg)	Luz (cm)	Carga (kg)
Probeta # 1	40	8,00	0,485	3,88	3,94	0,393	15,00	45,00
Probeta # 2	40	8,10	0,490	3,97	3,94	0,393	15,00	50,00
Probeta # 3	40	8,00	0,481	3,85	3,94	0,385	15,00	35,00
Probeta # 4	40	8,10	0,484	3,92	3,94	0,388	15,00	45,00
Probeta # 5	40	8,00	0,491	3,93	3,94	0,385	15,00	45,00
Probeta # 6	40	8,10	0,496	4,02	3,94	0,388	15,00	35,00

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Determinación de las medidas de las probetas de vidrio**



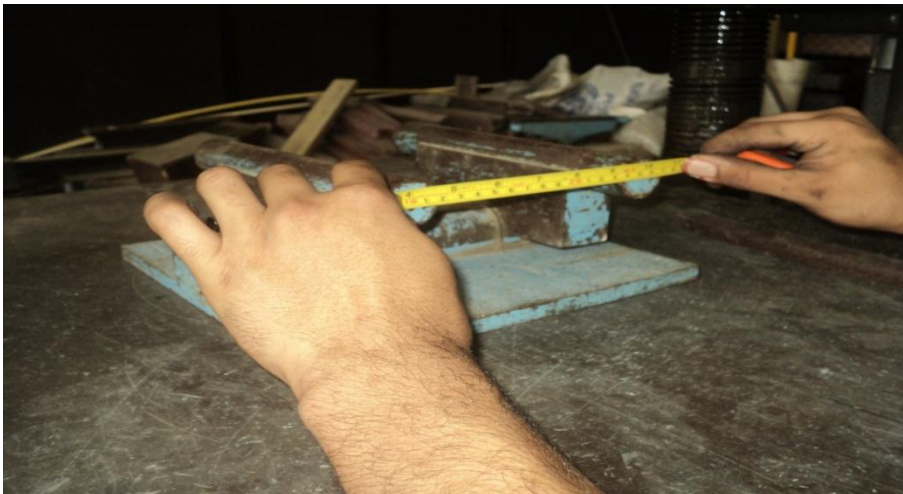
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, USAC.

Figura 6. **Determinación del peso de las probetas de vidrio**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, USAC.

Figura 7. **Colocado de los apoyos para ensayo de flexión y medida de la distancia entre apoyos (luz)**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, USAC.

Figura 8. Colocado de la probeta para ensayo a flexión



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, USAC.

Figura 9. Colocado del deformómetro



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, USAC.

Figura 10. **Deformómetro**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, USAC.

Figura 11. **Probetas ya ensayadas**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, USAC.

La propiedad mecánica a ensayar es el módulo de ruptura y el módulo de elasticidad, para las distintas secciones ensayadas debido a que el fabricante realiza distintos tipos de secciones; se puede calcular de la siguiente manera.

Probeta # 1

Datos:

- Base (b): 8,00 cm
- Altura (h): 0,485 cm
- Luz (L): 15,00 cm
- Carga (P): 32,50 kg

$$F_b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$F_b = \frac{3 * (45) * (15)}{2 * (8) * (0,485)^2}$$

$$F_b = 538,05 \frac{Kg}{cm^2}$$

Datos de las probetas que fueron sometidas a la prueba de flexión estática del vidrio.

Tabla XV. **Datos y resultados de la prueba de flexión para determinar el módulo de ruptura**

Identificación	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Carga (kg)	Deformación unitaria (mm)	Módulo de ruptura	
						$\sigma = (\text{Kg}/\text{cm}^2)$	MPA
Probeta # 1	40	8,00	0,485	45,00	29	538,05	0,54
Probeta # 2	40	8,10	0,490	50,00	50	578,46	0,58
Probeta # 3	40	8,00	0,481	35,00	28	425,47	0,43
Probeta # 4	40	8,10	0,484	45,00	29	533,60	0,53
Probeta # 5	40	8,00	0,491	45,00	33	524,98	0,52
Probeta # 6	40	8,10	0,496	35,00	39	395,19	0,40

Fuente: elaboración propia.

Los datos de la tabla XV, fueron obtenidos con la prueba a flexión simplemente apoyada aplicando la carga con un cabezal en el centro de la luz.

Determinando el módulo de elasticidad para el vidrio, en la prueba de flexión estática simplemente apoyada con una carga puntual al centro de la luz; utilizando la ecuación mencionada con anterioridad en el proceso del desarrollo de la prueba.

6.1.1. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad representa el grado de rigidez de un material, y es el resultado de dividir su esfuerzo unitario contra su deformación unitaria correspondiente.

El módulo de elasticidad, para este caso a flexión, se determina por medio de la ecuación:

$$E = \frac{PL^3}{48\varepsilon I}$$

Donde:

- E = módulo de elasticidad a flexión (kg/cm²)
- P = cualquier carga abajo del límite elástico (kg)
- L = luz
- ε = deformación para la carga P (cm)
- b = base
- h = alto
- I = momento de inercia ($1/(12*b*h^3)$)

6.1.1.1. Procedimiento para calcular el módulo de elasticidad

Contar con los datos de esfuerzo-deformación de cada una de las probetas, las cuales fueron medidas con la máquina universal y con el deformómetro. Con estos datos se puede calcular el módulo de elasticidad. Los datos esfuerzo-deformación de las probetas de vidrio se presentan en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Características de las probetas utilizadas para la determinación del módulo de elasticidad**

Carga (kg)	Deformación (cm) Probeta # 1	Deformación (cm) Probeta # 2	Deformación (cm) Probeta # 3	Deformación (cm) Probeta # 4	Deformación (cm) Probeta # 5	Deformación (cm) Probeta # 6
5	5	19	6	5	8	13
10	9	24	12	9	13	20
15	12	28	16	13	16	25
20	14	32	20	15	19	29
25	16	35	23	18	22	33
30	20	38	25	20	24	36
35	24	41	28	23	28	39
40	26	44	-	26	30	-
45	29	47	-	29	33	-
50	-	50	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

Módulo de elasticidad determinado con la prueba de flexión a un elemento apoyado simplemente con dos cargas distribuidas simétricamente.

Tabla XVII. **Características de las probetas sometidas a flexión**

Probeta	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Carga (kg)	LUZ (cm)	Deformación unitaria (mm)
Probeta # 1	40	8,00	0,485	45,00	15	29
Probeta # 2	40	8,10	0,490	50,00	15	50
Probeta # 3	40	8,00	0,481	35,00	15	28
Probeta # 4	40	8,10	0,484	45,00	15	29
Probeta # 5	40	8,00	0,491	45,00	15	33
Probeta # 6	40	8,10	0,496	35,00	15	39

Fuente: elaboración propia.

Cálculos para los resultados de la PROBETA # 1, de la Tabla # 5.

Ejemplo:

Probeta # 1

Datos:

- Carga (P): 5 kg
- Luz (L): 15 cm
- ε : 0,50 cm

$$I = \left(\frac{1}{12} (8) * (0,485)^3 \right) = 0,076056083$$

$$E = \frac{PL^3}{48\varepsilon I}$$

$$E = \frac{3 * (5) * (15)^3}{48 * (0,50) * (0,076)}$$

$$E = 27\,734,47 \frac{Kg}{cm^2}$$

Probeta # 1

Datos:

- Carga (P): 10 kg
- Luz (L): 15 cm
- ε : 9 cm

$$I = \left(\frac{1}{12}(8) * (0,485)^3\right) = 0,076056083$$

$$E = \frac{PL^3}{48\varepsilon I}$$

$$E = \frac{3 * (10) * (15)^3}{48 * (0,9) * (0,076056083)}$$

$$E = \frac{Kg}{cm^2} = 154\ 080,38$$

Probeta # 1

Datos:

- Carga (P): 15 kg
- Luz (L): 15 cm
- ε : 12 cm

$$I = \left(\frac{1}{12}(8) * (0,485)^3\right) = 0,076056083$$

$$E = \frac{PL^3}{48\varepsilon I}$$

$$E = E = \frac{3 * (15) * (15)^3}{48 * (1,2) * (0,076056083)}$$

$$E = \frac{Kg}{cm^2} = 34\ 668,08$$

Tabla XVIII. **Carga de deformación y módulo de elasticidad de prueba a flexión con dos cabezales**

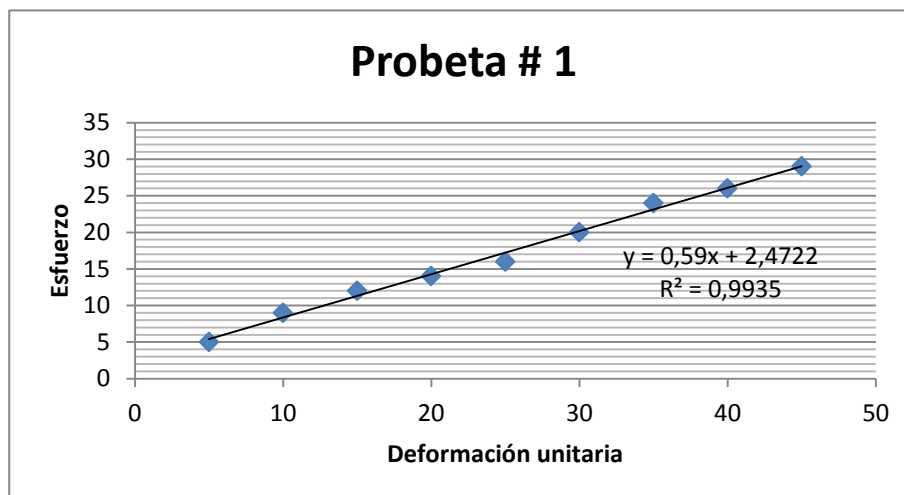
Carga	Deformación							Módulo de elasticidad						
	1	2	3	4	5	6	Promedio	1	2	3	4	5	6	Promedio
	Cm							kg/cm ²						
5	5	19	6	5	8	13	9,33	27734,47	6990,02	23693,47	27562,20	16706,31	9849,90	14503,88
10	9	24	12	9	13	20	14,50	30816,08	11067,53	23693,47	30624,67	20561,62	12804,86	18671,66
15	12	28	16	13	16	25	18,33	34668,08	14229,68	26655,15	31802,54	25059,47	15365,84	22151,38
20	14	32	20	15	19	29	21,50	39620,67	16601,29	28432,16	36749,60	28136,95	17661,88	25185,03
25	16	35	23	18	22	33	24,50	43335,11	18972,90	30904,52	38280,84	30375,11	19401,31	27626,44
30	20	38	25	20	24	36	27,17	41601,70	20970,05	34118,59	41343,31	33412,62	21341,44	29897,57
35	24	41	28	23	28	39	30,50	40446,10	22674,93	35540,20	41942,48	33412,62	22983,09	31068,42

Fuente: elaboración propia.

Otra forma para obtener el módulo de elasticidad es graficar el esfuerzo versus la deformación unitaria, donde el módulo de elasticidad será la pendiente de la porción recta.

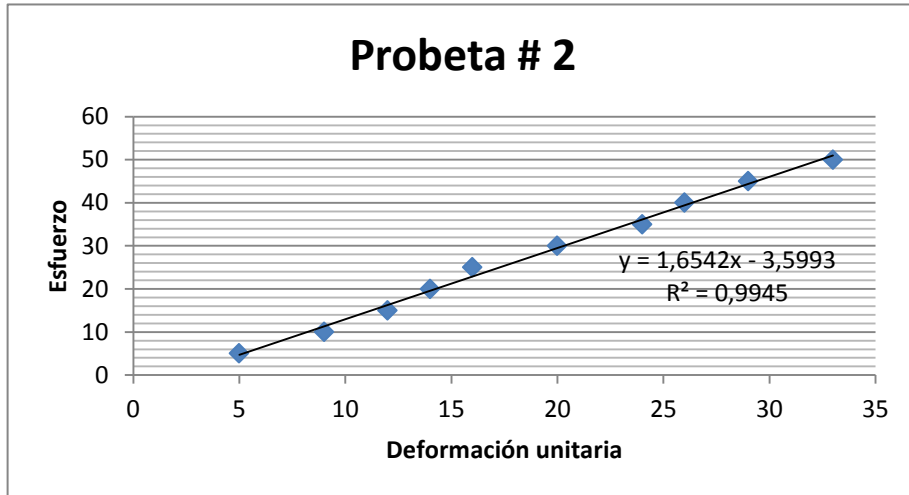
Nota: para encontrar cualquier módulo de elasticidad, para considerarlo más exacto, se debe tomar cada carga para cada deformación y aplicar la ecuación para cada una de estas. Para todas las cargas y deformaciones, el valor obtenido de E (kg / cm²) debe ser el mismo, esto es en el caso de que se haga analíticamente.

Figura 12. **Gráfica esfuerzo-deformación de probeta # 1**



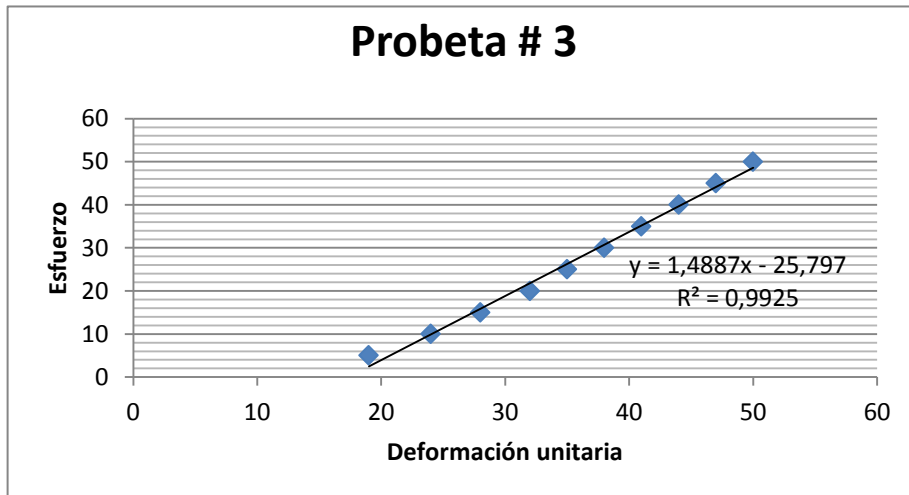
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Gráfica esfuerzo-deformación de probeta # 2**



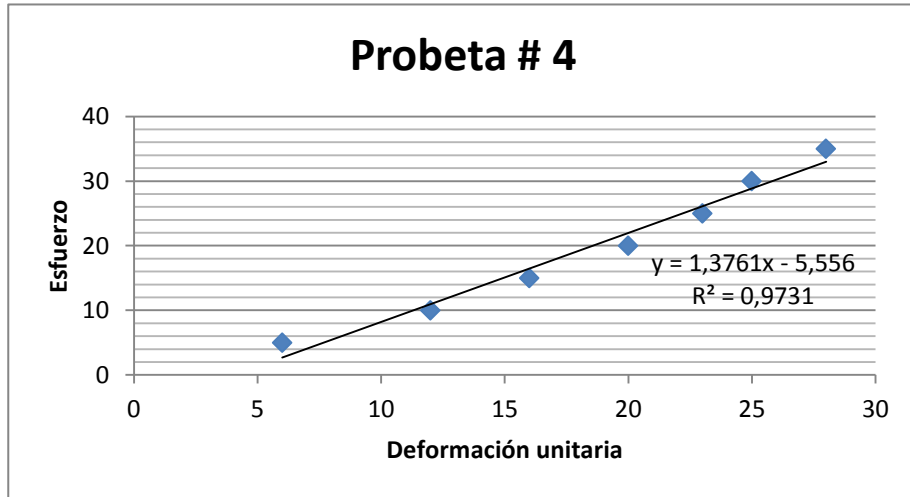
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Gráfica esfuerzo-deformación de probeta # 3**



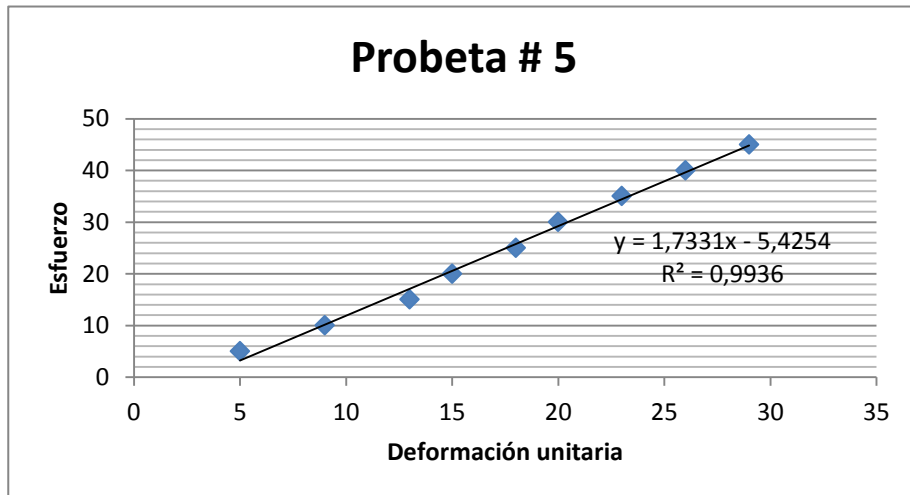
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Gráfica esfuerzo-deformación de probeta # 4



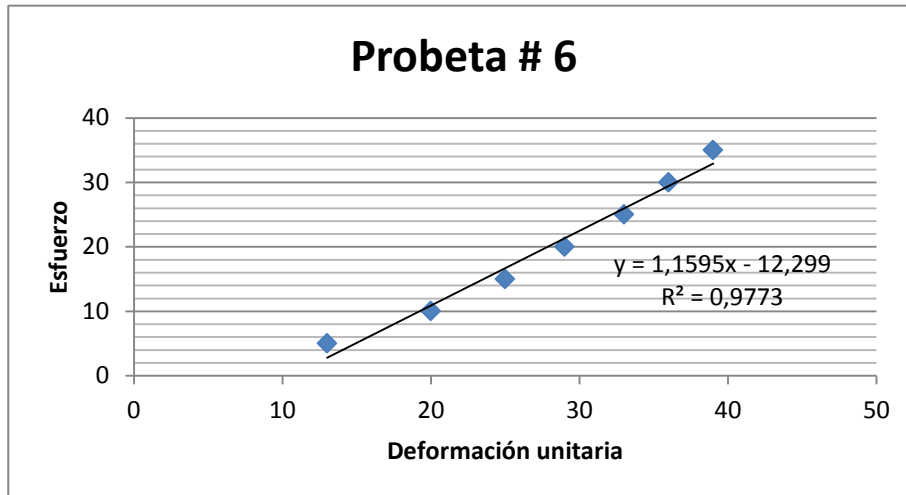
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Gráfica esfuerzo-deformación de probeta # 5



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Gráfica esfuerzo-deformación de probeta # 6**



Fuente: elaboración propia.

De las figuras mostradas con anterioridad se puede determinar el módulo de elasticidad del vidrio para la prueba de flexión de las probetas colocadas perpendicularmente a la carga; sabiendo que el módulo de elasticidad está dado por la pendiente de la ecuación lineal.

6.2. Ensayo de impacto

Los ensayos de impacto se utilizan para la determinación del comportamiento de un material a velocidades de deformación más altas. La bala en caída libre ayuda a determinar la energía absorbida en el impacto por una probeta, midiendo la altura de elevación de la bala tras el impacto.

6.2.1. Procedimiento para el ensayo

El procedimiento para el ensayo es el siguiente:

- a) Después de haber realizado el ensayo de flexión se toma una parte de la probeta ya ensayada de tamaño considerable.
- b) Colocar sobre una superficie limpia y plana procurando centrar la probeta para que la bala caiga de en el centro de la misma
- c) Comenzar el conteo de golpes desde una altura inicial de 4 cm y se va aumentando la altura 0.5 cm.
- d) Observar a qué altura se quiebra la probeta de vidrio.
- e) Anotar el dato.

Figura 18. Colocado de la probeta de vidrio



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, USAC.

Figura 19. **Determinación de altura de impacto por fatiga (inicio)**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, USAC.

Figura 20. **Determinación de altura de impacto por fatiga (fin)**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, USAC.

Tabla XIX. **Alturas de bala: prueba de impacto**

Identificación	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Peso (kg)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo kg/cm ²	Deformación unitaria mm	Prueba de Impacto (cm)
Probeta # 1	40	8,00	0,485	0,393	3,88	45	538,05	20	9,00
Probeta # 2	40	8,10	0,490	0,393	3,97	50	578,46	50	10,00
Probeta # 3	40	8,00	0,481	0,385	3,85	35	425,47	28	9,00
Probeta # 4	40	8,10	0,484	0,388	3,92	45	533,60	29	10,50
Probeta # 5	40	8,00	0,491	0,385	3,93	45	524,98	33	13,50
Probeta # 6	40	8,10	0,496	0,388	4,02	35	395,18	39	8,50

Fuente: elaboración propia.

6.3. Ensayo de dureza

La dureza de un material es la resistencia que opone a la penetración de un cuerpo más duro. La resistencia se determina introduciendo un cuerpo de forma esférica, cónica o piramidal, por el efecto que produce una fuerza determinada durante cierto tiempo en el cuerpo a ensayar.

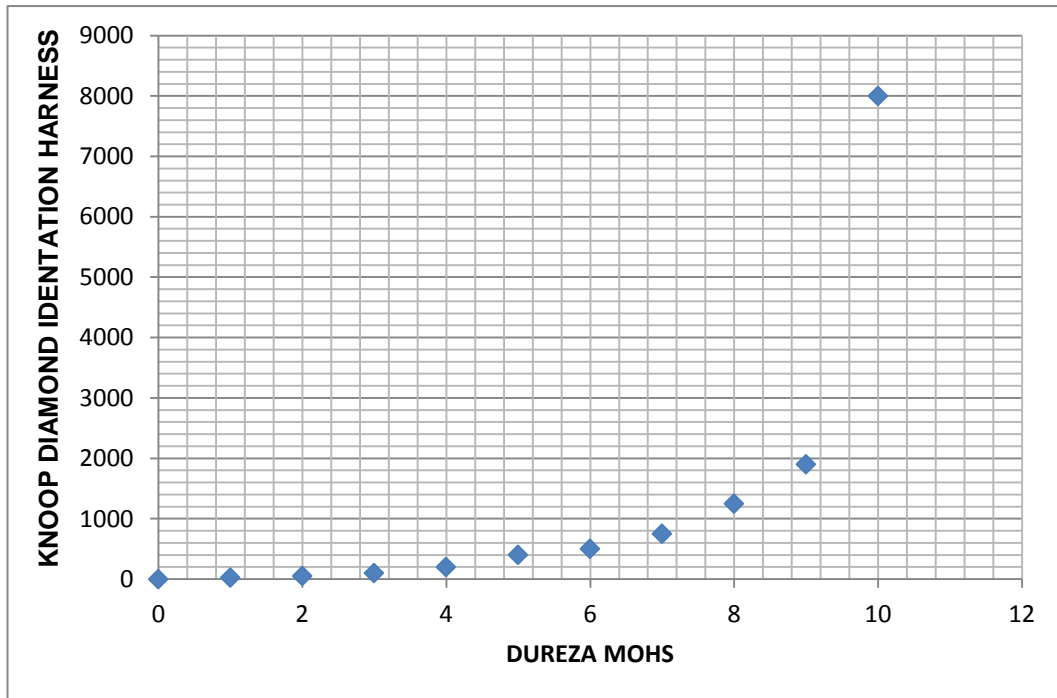
6.3.1. Escala de Mohs

Es una relación de diez materiales ordenados en función de su dureza, de menor a mayor. Se utiliza como referencia de la dureza de una sustancia. Fue propuesta por el geólogo Friedrich Mohs y se basa en el principio que una sustancia dura puede rayar a una sustancia más blanda, pero no es posible lo contrario.

Mohs eligió diez minerales a los que atribuyó un determinado grado de dureza en su escala empezando con el talco, que recibió el número 1, y terminando con el diamante, al que asignó el número 10.

Cada mineral raya a los que tienen un número inferior a él, y es rayado por los que tienen un número igual o mayor al suyo.

Figura 21. Valores de dureza Mohs



Fuente: Folleto de lápices de dureza. *Ward'S Natural Science Rochester, New York; Santa Fe Springs, California; Mississauga, Ontario.* p. 1.

Tabla XX. **Tabla de valores de dureza Mohs**

Dureza	Mineral	Comentario
1	Talco	Puede rayarse fácilmente con la uña
2	Yeso	Puede rayarse con la uña con más dificultad
3	Calcita	Puede rayarse con una moneda de cobre
4	Fluorita	Puede rayarse con un cuchillo de acero
5	Apatito	Puede rayarse difícilmente con un cuchillo
6	Ortoclasa	Puede rayarse con una lija para acero
7	Cuarzo	Raya el vidrio
8	Topacio	Rayado por herramientas de carburo de wolframio
9	Corindón	Rayado por herramientas de carburo de Silicio
10	Diamante	El mineral más duro conocido, rayado solo por otro diamante.

Fuente: elaboración propia.

Por no guardar la misma proporción en los intervalos se han establecido otras escalas de dureza, basadas en otros métodos, aunque la escala de Mohs aún se aplica en geología debido a su sencillez y facilidad para estimar la dureza de los minerales con medios simples.

6.3.2. Procedimiento de ensayo de dureza.

El procedimiento para el ensayo se detalla de la siguiente manera:

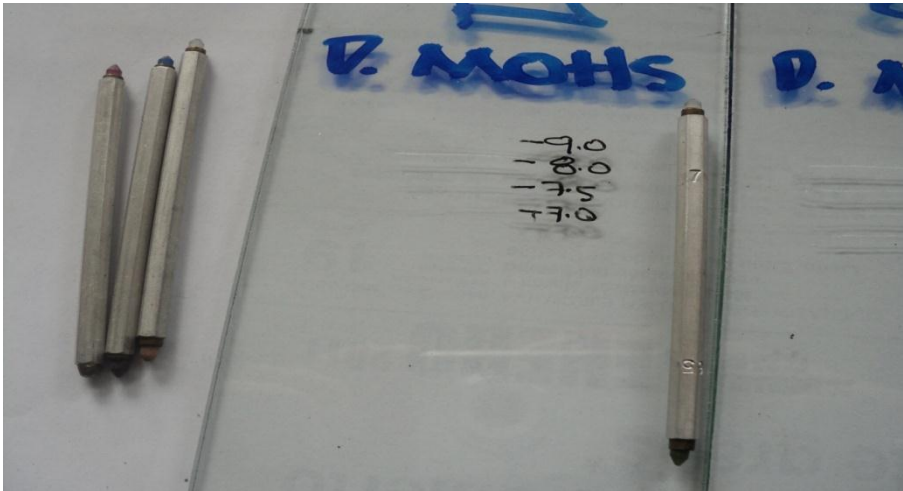
- a) Identificar cada una de las probetas de vidrio.
- b) Cada una de las probetas se colocan sobre una superficie limpia.
- c) Verificar la dureza de de cada una de las probetas de vidrio con un lápiz de dureza graduados según la escala de Mohs y se anota.

Figura 22. **Determinación de dureza**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, USAC.

Figura 23. **Rayado de la probeta e identificación de dureza**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, USAC.

Figura 24. **Probetas ya ensayadas**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, USAC.

Tabla XXI. **Valores de dureza MOHS del ensayo**

Identificación	Dureza Mohs
Probeta # 1	7
Probeta # 2	7
Probeta # 3	7
Probeta # 4	7
Probeta # 5	7
Probeta # 6	7

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El vidrio es un material que puede ser utilizado de muchas maneras, comúnmente se usa para el cerramiento de vanos, gafas, vitrocerámica, fibra de vidrio, entre otros.
2. En la actualidad, el vidrio es un material apto para la fabricación de elementos estructurales que cumplen con muchas normas de diseño debido a sus propiedades mecánicas.
3. El vidrio es un producto que puede ser utilizado bajo condiciones atmosféricas adversas, por ser un material muy rígido y estable, además, tiene la característica de ser un material que no es atacado por agentes patógenos como las algas y los hongos, por lo que cuenta con un largo período de vida útil.
4. La composición o dosificación del vidrio puede alterarse o modificarse según sea la necesidad del consumidor, ya que de esa forma puede modificar sus características físicas y/o mecánicas.
5. El módulo de elasticidad se puede verificar directamente con la gráfica, ya que éste es la pendiente de la porción de recta que se está analizando y se puede hacer la comparación con el modo analítico, para verificar que cumple con las especificaciones requeridas.

6. Para el ensayo de dureza se rectificó con tres materiales menores al cuarzo en la escala Mohs (ortoclasa, apatito, fluorita). Y se verificó efectivamente que el análisis se realizó con la escala correcta.
7. El ensayo de impacto tiene una variante de análisis, y esto depende del tipo de vidrio que se esté analizando.
8. La utilización del vidrio reciclado resulta beneficioso para el medio ambiente, ya que por ser fabricado con materiales de desecho, reduce los niveles de contaminación.

RECOMENDACIONES

1. Fomentar y motivar a la población, a diseñadores y a empresas constructoras, el uso del vidrio estructural, y no solamente como cerramiento en cualquier tipo de construcción.
2. La Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR, debe realizar un estudio extenso en lo referente al vidrio para construcción.
3. En las zonas o regiones de alto riesgo se debe exigir, por norma general, vidrio de seguridad industrial o vidrio estructural.
4. Incentivar al estudiantado a investigar sobre el vidrio, ya que tiene muchas posibilidades en el mercado estructural.
5. Supervisar durante la construcción de cualquier proyecto, para que se utilicen los materiales indicados.
6. El ensayo de flexión es importante hacerlo a una velocidad muy baja, ya que el vidrio es un material que no tiende a deformarse mucho y esto ocasiona error en la precisión de datos.
7. Para el ensayo de impacto, aumentarle la altura 1/2 cm como máximo, cada vez que se suelta la bala e iniciarlo a una altura de 4 cm.
8. Para el ensayo de dureza, rayarlo dos o tres escalas menores a la dureza que marca la probeta para tener una mayor certeza del resultado.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and materials. *Normas ASTM E-1300*. Determinación de resistencia de carga de vidrio en los edificios. Estados Unidos: *ASTM Book of standards*, 1997. 34 p.
2. GARCÍA DÍAZ, Marco Antonio. *Guía práctica para el curso: Resistencia de materiales 1*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2004. 194 p.
3. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. *Normas IRAM 1500*. Determinación de resistencia del vidrio estructural. Argentina: IRAM, 2001.
4. MORALES ORTUÑO, Sergio Alejandro. *Fibra de vidrio, pruebas y aplicaciones*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. México: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2008. 176 p.
5. MORALES RAMÍREZ, Evelyn Maribel. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 136 p.

6. PÉREZ MÉNDEZ, Emerson Víctor Manuel. *Análisis de las propiedades físico mecánicas para un sustituto de madera natural elaborado a base de plásticos*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010. 141 p.

Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.
 Trabajo de Graduación
ACTUALIDAD Y DESARROLLO DEL USO DEL VIDRIO EN LA CONSTRUCCION
 Edgar Alejandro Dávila Elías

APÉNDICE

Estudio de Mercado de vidrio para construcción											
No. orden	Preguntas	Opciones de respuesta									
1	Nombre de la empresa	1-5 años		6-10 años		11-15 años		Más		Otras	
2	Tiempo de la empresa en el mercado	Producción		Importación		Distribución		Instalación		Mantenimiento	
3	Actividades que desarrolla	Nacional		Importada							
4	Materia prima	Si		No							
5	Distribuye productos de vidrio para construcción	Industria general		Construcción		Material para otros productos		Otros:			
6	Principales clientes	Cerramiento		Estructurales		Templado		Si		No	
7	Productos comerciales ofrecen	Vidrio		Blocks vidrio		Accesorios		Otros:			
8	Tipos de vidrio que ofrecen	Templado		Laminado		Estructurales		Otros:			
9	Realizan control de calidad	Si		No							
10	Sus productos cuentan con certificado técnico	Si		No							
11	Tipo de normas-especificaciones	Nacionales		Otras		E.E.U.U.		Europa		Sur América	
12	Productos de vidrio para construcción	Puertas		Ventanas		Estructural		Iluminación		Ornamental	
13	Tipo de vidrio más requerido										
14	Proyección del uso de vidrio en construcción	En aumento		Se		Disminuye					
15	Mencione proyectos realizados por ustedes										

COMPROMISO: LA INFORMACIÓN PROPORCIONADA SERÁ UTILIZADA ÚNICAMENTE CON FINES ACADÉMICOS.

Fuente: elaboración propia.

