

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO DEL
VIDRIO LAMINADO, PARA GARANTIZAR SU
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL, TRUJILLO 2018.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Maria del Carmen Obando Garcia.

Bach. Daniel Quiliche Paredes.

Asesor:

Ing. Julio Félix Valeriano Murga.

Trujillo - Perú

2018



ACTA DE APROBACION DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador han procedido a realizar la evaluación de la tesis de los estudiantes: **María del carmen Obando Garcia y Daniel Quiliche Paredes**, para aspirar al título profesional con la tesis denominada: **“Determinación de Parámetros de Diseño del Vidrio Laminado, Para Garantizar su Comportamiento Estructural, Trujillo 2018”**.

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Aprobación por mayoría

calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Ing. Wiston Henry Azañedo Medina

**Jurado
Presidente**

Ing, Eduar José Rodríguez Beltrán

Jurado

Ing. Juan Alejandro Agreda Barbarán

Jurado

ACTA DE AUTORIZACION PARA SUSTENTACION DE TESIS

El asesor Ing. Julio Félix Valeriano Murga, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, carrera profesional de INGENIERÍA CIVIL, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Obando Garcia Maria del Carmen
- Quiliche Paredes Daniel

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: “Determinación de Parámetros de Diseño del Vidrio Laminado, para Garantizar su Comportamiento Estructural, Trujillo 2018”, para aspirar al título profesional Ingeniero Civil por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o los interesados para su presentación.

Ing. Julio Félix Valeriano Murga
Asesor

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres Roger Obando y Carmela Garcia.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sacrificios y valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por todo su amor.

A mi esposo.

Por motivarme, aconsejarme y ayudarme en todo el proceso de esta tesis, por hacerme sentir la persona más afortunada del mundo, por la fortaleza en momentos difíciles y el apoyo constante e incondicional que siempre me brinda.

A mis hermanos Suzanne y Jefferson

Por la paciencia en mis desveladas nocturnas y por el apoyo directo e indirecto durante toda la carrera.

Mi abuelita Carmen Uceda (QEPD), por quererme y siempre incentivar me a que todo podemos lograrlo si nos lo proponemos, por haber sido la fan número 1 de cada logro obtenido.

A mis amigos.

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional.

Finalmente, a los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

Maria del Carmen Obando Garcia

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto, por darme fuerza y salud para lograr mis objetivos.

A mi hija, Natzumi

Por ser la primera motivación de seguir creciendo cada día, para que vea un ejemplo a seguir de perseverancia y luchas por ser mejores personas útiles a la sociedad

A mi compañera y madre de mi hija, Katerin.

Por esa motivación de seguir adelante, por la fortaleza mostrada, por ese apoyo incondicional en todo momento y su gran cariño, sin duda fue fundamental para este logro.

A mi adorada Madre, Natividad.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su gran espíritu de lucha y perseverancia de no rendirse nunca.

A todos los docentes que tuve la oportunidad de conocer.

Por la gran contribución en mi formación académica, por los valores éticos y morales de ser profesionales al servicio de nuestra sociedad.

A todas las personas que me apoyaron incondicionalmente.

Por haberme motivado con la idea de no quedarse allí nada más, que se puede conseguir grandes cosas en la vida y que solo depende de uno mismo, por las oportunidades brindadas en el momento propicio.

Daniel Quiliche Paredes

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por ser nuestra guía y acompañarnos en el transcurso de nuestra vida, brindándonos paciencia y sabiduría para culminar con éxito nuestras metas propuestas.

A nuestros padres quienes a lo largo de toda mi vida nos han apoyado y motivado durante nuestra formación académica, creyendo en nosotros en todo momento y no dudaron de nuestras habilidades.

A nuestro asesor Ing. Julio F. Valeriano Murga por ayudarnos en lo necesario para lograr nuestro propósito a través de su orientación.

Al Ing. Juan Urteaga García por sus consejos, paciencia y por el apoyo incondicional en el desarrollo de la presente tesis.

Así mismo a cada uno de los docentes que nos brindaron sus concejos y conocimientos dentro de las aulas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

ACTA DE APROBACION DE LA TESIS	2
ACTA DE AUTORIZACION PARA SUSTENTACION DE TESIS	3
DEDICATORIA.....	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO	6
ÍNDICE DE CONTENIDOS	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. <i>Realidad problemática</i>	13
1.2. <i>Formulación del problema</i>	14
1.3. <i>Justificación</i>	14
1.4. <i>Limitaciones</i>	14
1.5. <i>Objetivos</i>	15
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	15
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	15
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. <i>Antecedentes</i>	16
2.1.1. <i>Nivel Internacional</i>	16
2.1.2. <i>Nivel Nacional</i>	18
2.2. <i>Bases teóricas</i>	19
2.2.1. <i>Vidrios</i>	19
2.2.2. <i>Clasificación del vidrio</i>	20
2.2.3. <i>Propiedades del vidrio</i>	22
2.2.4. <i>Vidrios empleados en la construcción:</i>	26
2.2.5. <i>Procesos de fabricación</i>	29
2.2.6. <i>Desarrollo de investigación</i>	30
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	43
3.1. <i>Operacionalización de variables</i>	43

3.1.1.	<i>Variable independiente (V.I)</i>	43
3.1.2.	<i>Variable dependiente (V.D)</i>	43
3.2.	<i>Diseño de Investigación</i>	45
3.3.	<i>Unidad de estudio</i>	46
3.4.	<i>Población</i>	46
3.5.	<i>Muestra (muestreo o selección)</i>	46
3.6.	<i>Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos</i>	46
CAPÍTULO 4. RESULTADOS		50
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		54
CONCLUSIONES		55
RECOMENDACIONES		56
REFERENCIAS		57
ANEXOS		58
1.	<i>Desarrollo de resultados por probeta</i>	58
2.	<i>Cálculo del módulo de elasticidad</i>	100
3.	<i>Panel Fotográfico</i>	101
4.	<i>Reporte de laboratorio</i>	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Resultados obtenidos en laboratorio de todas las probetas de vidrio analizadas.....	50
Tabla 2 - Resultados de los ensayos a las probetas de vidrio con espesores de 10.16 mm.....	51
Tabla 3 - Resultados de los ensayos a las probetas de vidrio con espesores de 8.15 mm.....	52
Tabla 4 - Resultados de los ensayos a las probetas de vidrio con espesores de 6.15 mm.....	53
Tabla 5 - Carga deformación Probeta N° 1.....	58
Tabla 6 - Carga deformación Probeta N° 2.....	61
Tabla 7 - Carga deformación probeta N° 3.....	63
Tabla 8 - Carga deformación probeta N° 4.....	66
Tabla 9 - Carga deformación probeta N° 5.....	68
Tabla 10 - Carga deformación probeta N° 6.....	71
Tabla 11 - Carga deformación probeta N° 7.....	74
Tabla 12 - Carga deformación probeta N° 8.....	77
Tabla 13 - Carga deformación probeta N° 9.....	80
Tabla 14 - Carga deformación probeta N° 10.....	83
Tabla 15 - Carga deformación probeta N° 11.....	86
Tabla 16 - Carga deformación probeta N° 12.....	89
Tabla 17 - Carga deformación probeta N° 13.....	92
Tabla 18 - Carga deformación probeta N° 14.....	95
Tabla 19 - Carga deformación probeta N° 15.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 - Asesor de tesis supervisando ensayos.	101
Ilustración 2 - Trazado de ejes de probetas.	101
Ilustración 3 - Toma de dimensiones de cada probeta.	102
Ilustración 4 - Toma de datos, espesor de probetas de 6mm.	102
Ilustración 5 - Toma de datos, espesor de probetas de 8mm.	103
Ilustración 6 - Toma de datos, espesor de probetas de 10mm.	103
Ilustración 7 - Rotulación de probetas de 6mm.	104
Ilustración 8 - Rotulación de probetas de 8mm.	104
Ilustración 9 - Rotulado de probetas de 10mm.	105
Ilustración 10 - Pesado de probetas.	105
Ilustración 11 - Terminando toma de datos.	106
Ilustración 12 - Equipo universal de ensayo.	106
Ilustración 13 - Colocación de probeta para el ensayo.	107
Ilustración 14 - Rotura de probeta del vidrio laminado con espesor de 6mm.	107
Ilustración 15 - Rotura de probeta del vidrio laminado con espesor de 8mm.	108
Ilustración 16 - Rotura de probeta del vidrio laminado con espesor de 10mm.	108

RESUMEN

El vidrio laminado es un material muy atractivo para soluciones de arquitectura por su transparencia, peso relativamente ligero, aislamiento térmico y acústico, etc.; sin embargo, no es usado como elemento estructural, pese a que es un material con un comportamiento tremendamente eficaz para resistir esfuerzos de compresión, pero ineficaz a tracción. Este trabajo se ha centrado en determinar los parámetros de diseño del vidrio laminado (vidrio-lamina de polivinil butiral- vidrio) para que pueda ser usado como elemento estructural, el cálculo de estos elementos tipo sándwich es un problema abordado en la mecánica de cuerpos deformables, por lo que la creación de un nuevo modelo matemático no es necesario. Los resultados obtenidos mediante experimentos de laboratorio (pruebas a flexión), nos ayudó a determinar que la resistencia de este material a la tracción es cercana a 20Mpa, que el esfuerzo a compresión límite del vidrio es aproximadamente 100Mpa, además obtuvimos un módulo de elasticidad de 75000 Mpa. Lo que muestran que este sirve como material estructural, bajo ciertas restricciones.

Palabras clave: vidrio laminado, uso estructural, polivinil butiral, flexo-tracción.

ABSTRACT

Laminated glass is a very attractive material for architectural solutions for its transparency, relatively light weight, thermal and acoustic insulation, etc. Nevertheless, it is not used as a structural element, although it is a material with a tremendously effective behavior to resist compression stress, but inefficient to tensile stress.

This work has focused on determining the parameters of laminated glass design (glass - polyvinyl butyral sheet – glass) in order that it can be used as a structural element. the calculation of these sandwich shape elements is a problem addressed in the mechanics of deformable bodies, so the creation of a new mathematical model is not necessary. The results obtained by laboratory experiments (bending tests), helped us determine that the strength of this tensile material is close to 20Mpa, that the limit compression stress of the glass is approximately 100Mpa, we also obtained a modulus of elasticity of 75000Mpa. What they show that this serves as structural material under certain restrictions.

Keywords: laminated glass, structural use, polyvinyl butyral, tensile and flexural strength.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. *Realidad problemática*

El vidrio plano ha ido desempeñando a lo largo de la historia de la arquitectura un papel de cerramiento al que se añadía las características de la transparencia, ligereza y seguridad. A finales del siglo XX se empiezan a construir cerramientos de vidrio, pero trabajados estructuralmente mediante paneles de vidrio templado y laminado con anclajes específicos de acero inoxidable y aluminio extruido. Siendo ya en las últimas décadas del siglo en las que aparece el vidrio como verdadero protagonista de elementos estructurales de la ingeniería usándose en vigas, pilares, contrafuerte, etc. (Miguel & Jesús, 2015)

El vidrio en la actualidad es utilizado como material de construcción a nivel mundial. Se usa, típicamente, como cerramiento eliminando la diferencia entre vanos (como las ventanas) y muros. También se utiliza en separaciones de interiores como un rasgo arquitectónico, los más utilizados en edificaciones son el vidrio templado y laminado. (Boutet & Jacobo, 2004)

Hoy en día existen en Chile vidrios que permiten cubrir grandes superficies y a cualquier altura, sin que constituyan un peligro para la seguridad de las personas. Son los vidrios de seguridad (templados y/o laminados) que protegen a los usuarios no sólo en viviendas, sino que también en centros comerciales, supermercados, establecimientos educacionales, clínicas y centros de salud, en general. a pesar de su importancia, su utilización no es obligatoria y muchas empresas inmobiliarias y constructoras prefieren utilizar vidrios comunes porque resultan significativamente más baratos. (Guillermo Silva Lavín, 2014)

El vidrio para construcción o arquitectónico es uno de los tres sub-mercados que componen la industria del vidrio a nivel mundial, siendo complementado por los sub-mercados automotriz y de vidrios especiales. Entre los productos que se ofrecen para la construcción se encuentran las ventanas, mamparas, muro cortinas, vidrios para decoración, vidrios acústicos, vidrios para mesa y vidrios anti fuego. (CAPECO, 2016)

El Perú ha presentado un crecimiento moderado en los últimos cinco años de medición, esperando fortalecerse en el largo plazo, producto de la expectativa de desarrollo que tiene el país como es cubrir la brecha inmobiliaria, lo que, a su vez, ha impulsado el ingreso de nuevas empresas procesadoras al mercado. La totalidad del vidrio para construcción proviene del exterior principalmente de China (78%). En el año 2015, el 55% de las

importaciones se concentró en cuatro empresas: Corporación Furukawa, Corporación Miyasato, Corporación Limatambo y Vidrios Lirquen. (Capeco, 2016)

En Trujillo, el uso del vidrio en la construcción ha experimentado un notable aumento, siendo el vidrio laminado el más utilizado en reemplazo del vidrio templado, esto se debe a su accesibilidad para resolver la demanda a las empresas inmobiliarias, aplicándose en diferentes espacios como ventanas, cerramientos de fachadas, divisiones de interiores y de otras construcciones singulares e industriales. Sin embargo, no se está haciendo una adecuada evaluación sobre su comportamiento estructural antes su uso desperdiciando la posibilidad de otros usos como cubiertas, escaleras, pisos, entre otros. (Capeco, 2016)

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son los parámetros de diseño del vidrio laminado para garantizar su comportamiento estructural en Trujillo 2018?

1.3. Justificación

La presente tesis, busca determinar los parámetros de diseño del vidrio laminado y dar a conocer el comportamiento de sus propiedades físicas y mecánicas como elemento estructural que soporta esfuerzos, siendo de interés ingenieril para futuros diseños, ya que actualmente la demanda del vidrio laminado se ha incrementado y es usado sin tomar en cuenta parámetros de diseño estructural.

En la norma E040, no se especifica los parámetros de diseño del vidrio laminado como elemento estructural, sin embargo, se viene utilizando como elemento que soporta esfuerzos en pasos de escalera, pisos, contención de piscinas, fachadas de grandes dimensiones, entre otros, restando de esta manera la posibilidad de uso como elementos que tengan comportamiento estructural.

1.4. Limitaciones

Existe poca información sobre este tema de investigación en libros, páginas webs, revistas, entre otros.

La universidad Privada del Norte no cuenta con los equipos necesarios para los ensayos de Flexo-tracción para vidrio, por lo que se tuvo que solicitar autorización a otra casa de estudios, que en este caso fue la Universidad Nacional de Trujillo.

Dificultad para obtener las probetas del tamaño solicitado para el ensayo.

En Perú no se cuenta con norma para el ensayo de flexión del vidrio. Ni una norma para el uso estructural del vidrio.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar los parámetros de diseño del vidrio laminado para garantizar su comportamiento estructural, Trujillo 2018.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la resistencia a la cortante del vidrio de sección compuesta propuesto.
- Determinar la resistencia a la flexión del vidrio de sección compuesta propuesto.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. *Antecedentes*

2.1.1. *Nivel Internacional*

(Novas Perez, 2015) En la ciudad de Coruña, en una tesis para obtención del título de Arquitecto, sustento “EL VIDRIO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL”, el objetivo de la tesis fue demostrar que la idea, de que la fragilidad del vidrio no lo hace apto para su uso estructural es equivocada, puesto que este material, utilizado en la fachada de casi todos los edificios en altura, está soportando grandes acciones de viento, muchas veces añadiéndose el factor de que estos paños de vidrio son practicables, con lo que se demuestra la idea de que el vidrio no es sólo un material de revestimiento.

Al final de la investigación el autor concluyó con los siguientes resultados:

- Es un material con propiedades como resistencia a los esfuerzos de compresión, alta durabilidad, bajo mantenimiento para su uso como elemento estructural en obra nueva y en rehabilitaciones.
- Se consigue lógica y coherencia en la construcción, unión entre el diseño de la arquitectura y de la estructura.
- Encuentra la similitud que presenta el vidrio con otros materiales estructurales como el acero y la madera.

(Ramos, Muñoz-Calvente, Fernández, Canteli, & Lamela, 2015) En la ciudad de España, en un boletín informativo sobre “ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE ELEMENTOS DE VIDRIO RECOCIDO MEDIANTE UNA DISTRIBUCIÓN TRIPARAMÉTRICA WEIBULL” se hace referencia que hasta el momento no se cuenta con una norma de cálculo de vidrio estructural basada en criterios probabilísticos o semiprobabilísticos, y la demanda arquitectónica va muy por delante del dimensionamiento que en muchos casos, se fundamenta únicamente en la experiencia y en la aplicación de reglas básicas empíricas.

Al final de la investigación el autor concluyo con los siguientes resultados:

- A pesar de los estudios realizados y de los avances alcanzados, persisten algunos puntos críticos que impiden un conocimiento real del estado límite del vidrio bajo diferentes tipos de sollicitación.
- Por ello resulta necesario el desarrollo de una norma global de vidrio que, considerando sus características específicas como material frágil con presencia de defectos, permita su aplicación en condiciones de seguridad y fiabilidad similar a las de otros materiales estructurales convencionales, como el acero, el hormigón y la madera.

(Gamallo Arosa, 2015) En la ciudad de Coruña, en la tesis “NUEVAS SOLUCIONES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE ENVOLVENTES DE VIDRIO”, En cuanto a geometría decir que hoy en día el vidrio se ha convertido en uno de los materiales más versátiles para formas geométricas imposibles ya que el sistema más funcional para ello es el sistema de mallas y el vidrio es el complemento perfecto para este tipo de estructuras.

Al final de la investigación el autor concluyó con los siguientes resultados:

- El vidrio tiene mayor resistencia a compresión que el acero y aunque la resistencia a tracción sea menor todavía sigue siendo mayor que la del hormigón y la madera.
- El vidrio ha ido rompiendo todos los mitos uno a uno y se ha convertido en un material muy versátil que hoy en día lo encontramos en todas partes, haciendo predecible que en el futuro sea considerado como elemento estructural ya que su uso cada vez es más frecuente.

2.1.2. Nivel Nacional

(Eusebio Teheran, 2015) En ciudad de Lima , en la tesis “IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO PARA ENSAYOS DE IMPACTO EN VIDRIOS PLANOS TEMPLADOS DE SEGURIDAD USADOS EN EDIFICIOS”, menciona que el mercado nacional, para la clasificación y certificación de vidrio de seguridad es necesario realizar ensayos de impacto según una normativa vigente que deben exigirse a las comercializadoras y usuarios de la industria de la construcción realizar este tipo de ensayos para que puedan instalar los vidrios de seguridad dentro de sus edificaciones.

Al final de la investigación el autor concluyó con los siguientes resultados:

- Se logró la implementación del equipo y del laboratorio para ensayos de impacto en vidrio templado.
- Se logró los procedimientos estandarizados bajo la norma técnica ANSI Z97.1.
- Se logró satisfacer las necesidades de certificar la calidad de los vidrios templados bajo la Norma Técnica ANSI Z97.1 para propósitos de la industria de la construcción.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Vidrios

2.2.1.1. Definición del vidrio.

El vidrio es un material que ha sido usado por el hombre desde hace milenios. Posiblemente sea el material más viejo fabricado por el hombre y que aún continúa afectando la vida presente. (Pearson, 2005).

Difícil es imaginarse hoy en día una sociedad que no utilice el vidrio. Todos nosotros lo conocemos por su fragilidad, su transparencia, su peso, sus diferentes formas y colores. Lo empleamos sin mayor problema sabiendo que con un golpe no muy fuerte se puede romper. (Universidad de Oviedo, 2005).

El vidrio es una sustancia transparente o translúcida, dura y frágil a la temperatura ordinaria, que se obtiene fundiendo una mezcla de sílice con potasa o sosa y pequeñas cantidades de otras bases, y a la cual pueden darse distintas coloraciones mediante la adición de óxidos metálicos; se emplea para fabricar recipientes, materiales de construcción, lentes ópticas, etc.

Considera que un vidrio es un material inorgánico fundido que se ha enfriado hasta un estado rígido sin experimentar cristalización, (A.S.T.M. 1426).

2.2.1.2. Composición Químicas.

Son materiales transparentes o translúcidos obtenidos por la mezcla de diferentes componentes. (Navarro, 2003).

- Sílice (SiO_2) en proporción de 71 a 75 %: componente vitrificable.
- Óxido de Sodio (Na_2O) y Óxido de Potasio (K_2O) proporción 12 a 16%: componentes fundentes.
- Óxido de Calcio (CaO) en 5 a 12%: estabilizantes.
- Óxido de Magnesio (MgO) de 0 a 6%: componentes óxidos para conferir buena resistencia a la acción de agentes climáticos.
- Óxido de Aluminio (Al_2O_3) de 0 a 3% componentes óxido metálicos en ciertos tipos de vidrio para colorear su masa.

2.2.2. Clasificación del vidrio

2.2.2.1. Por su proceso de fabricación

- Vidrio estirado: Proceso por la cual una máquina estiradora levanta de la superficie del vidrio fundido del horno la masa viscosa, que se transforma en una lámina, mediante un enfriamiento progresivo y controlado en la chimenea de recocido. El espesor del vidrio depende de la velocidad de estiramiento y de la temperatura de la masa en fusión.
- Vidrio estirado vertical: Hay dos métodos de fabricación, según el modo de estiramiento:
 - El procedimiento Fourcault utiliza para recoger la hoja un colector de refractario (debiteuse).
 - El procedimiento Pittsburgh levanta la hoja de vidrio a partir de un baño libre (drawbar).
- Vidrio estirado horizontal: Este procedimiento presenta la particularidad de doblar la hoja de vidrio hasta la horizontal después del pulido a fuego y antes de entrar en el horno horizontal de recocido.
- Vidrio pulido: El vidrio en fusión sale del horno y es prensado entre dos cilindros. Después de atravesar el horno de recocido, donde la lámina va enfriándose lentamente de manera controlada, la cinta pasa en el "twin" que es una máquina que desbasta simultáneamente las dos caras del vidrio. El vidrio desbastado obtenido a la salida del "twin" tiene sus dos caras planas y paralelas. El vidrio pasa luego debajo de las pulidoras que le dan su transparencia.
- Vidrio rolado: Es el vidrio que no permite el registro ni la visibilidad de un lado a otro. Se consideran dentro de este rubro a los vidrios que distorsionan a los objetos que se aprecian a través del elemento. (como es el caso de los vidrios grabados).
- Vidrio grabado: En el proceso del vidrio rolado, uno de los rodillos o ambos pueden tener dibujos o grabados, lo que permite obtener el vidrio grabado o impreso. El vidrio grabado o también llamado catedral, trasmite la luz en forma difusa e impide la visión clara, brindando según el dibujo, diferentes grados de translucidez e intimidad.
- Vidrio alambrado: Vidrio translúcido, al cual se ha incorporado durante su fabricación una malla de alambre de acero, que, en caso de rotura, actúa como soporte temporáneo del paño de vidrio, evitando la caída de fragmentos de vidrio roto. Una de las propiedades más significativas del vidrio armado, es que permite retardar la propagación del fuego en aberturas.
- Vidrio decorativo: Se produce este tipo de material por el mismo proceso, pero en pequeñas cantidades. También se le denominan "vitrales" o vidrios para uso artístico.

- Vidrio flotado (ASTM C-1036): Consiste en hacer pasar una lámina de vidrio fundido, alimentada por rebalse del horno de cuba, sobre un baño de estaño metálico fundido. La lámina sale de la cámara de flotado y prosigue en forma horizontal dentro del horno de recocido hasta su salida al corte. El vidrio plano flotado tiene superficies planas, paralelas y “pulidas al fuego”, aunque no son idénticas: una está en contacto con el metal fundido y la otra con la atmósfera, pero en la práctica son indistinguibles a simple vista.
- Vidrio reflejante pyrolítico: Es aquel vidrio flotado al cual se le ha agregado dentro de su masa una capa de metal u óxido metálico, la cual permite luego aplicarle procesos secundarios a la plancha de vidrio, como el templado, laminado, curvado, etc.
- Baldosa de vidrio: La fusión se efectúa en crisoles de tierra refractada. Estos vidrios son transportados por medio de un monorriel y vertidos entre dos rodillos laminadores. Después del laminado la hoja de vidrio en bruto es introducida en el túnel calorifugado donde es recocida, luego es cortada según los tamaños del pedido y pasa entre los elementos de desbaste y pulido.

2.2.2.2. Por su visibilidad

- Vidrio transparente: Se define al vidrio que permite el registro y la visibilidad de un lado a otro.
- Vidrio translúcido: Es aquel que no permite el registro ni la visibilidad de un lado a otro. Se consideran dentro de este rubro a los vidrios que distorsionan a los objetos que se aprecian a través del elemento (como es el caso de los vidrios grabados).

2.2.2.3. Por su coloración

- Vidrio incoloro: Es aquel que permite una transmisión de visibilidad entre un 75% y 92% dependiendo del espesor.
- Vidrio coloreado en su masa: Es aquel que permite una transmisión de visibilidad entre un 14% y 83% dependiendo del color y del espesor. Los vidrios de color de alta performance deben sus excelentes propiedades de control solar a la selectividad del color empleado en su composición que permite obtener un excelente grado de control solar sin recurrir a la aplicación de revestimientos reflectivos.

2.2.3. Propiedades del vidrio

2.2.3.1.1 Propiedades mecánicas

- **Resistencia al choque mecánico:** Una prueba objetiva de las virtudes de este moderno cristal se puede observar al someter un delgado cristal de 6mm. de espesor, al impacto directo de una bola de acero de 225 gr. en caída libre, con aceleración gravitacional, desde una altura de 3m. y observar su gran resistencia; en tanto que en un cristal normal se triza con un impacto, a sólo 60cm. en las mismas condiciones (Figura N°1).

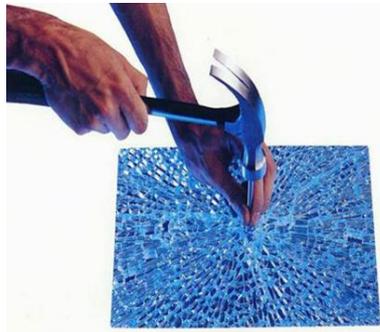


Figura N°1 - Resistencia al choque mecánico
(Fuente Empresa Felman)

- **Resistencia a la torsión:** Se define como su capacidad para oponerse a la aplicación de una fuerza que le provoque un giro o dobléz en su sección. Existen circunstancias normales que ocasionalmente someten a un cristal templado a esfuerzos contrarios que no sólo la curvan, sino le producen una torsión, ante un sismo un cristal de 6mm de espesor, de 100 cm x 35 cm resiste una torsión de hasta un ángulo de 27° equivalente a 180kg., en tanto que sus similares normales sólo alcanzan los 40kg. (Figura N°2).



Figura N°2 - Resistencia a la torsión
(Fuente Corporación Furukawa)

- **Resistencia a la tracción:** Varía según la duración de la carga y oscila entre 300 y 700 K/cm². Para cargas permanentes, la resistencia a la tracción del vidrio disminuye en un 40%. A mayor temperatura menor resistencia a la tracción. Depende del estado de los bordes del vidrio. Así el borde pulido es el más resistente, le sigue el borde arenado y por último el borde cortado sin más (Figura N°3).

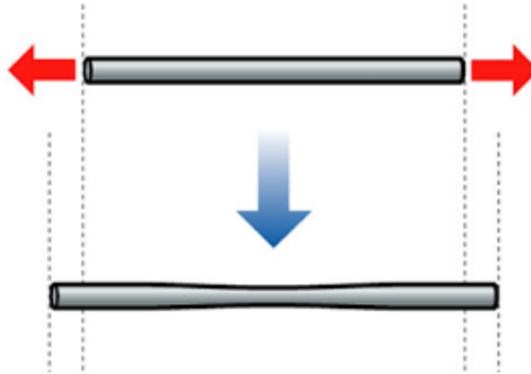


Figura N°3 - Resistencia a la tracción
(Fuente Blog Física)

- **Resistencia a la Compresión:** El vidrio tiene una resistencia a la compresión muy alta, su resistencia promedio a la compresión es de 1000 MPa; lo que quiere decir que para romper un cubo de vidrio de 1 cm por lado es necesaria una carga de aproximadamente 10 toneladas (Figura N°4).

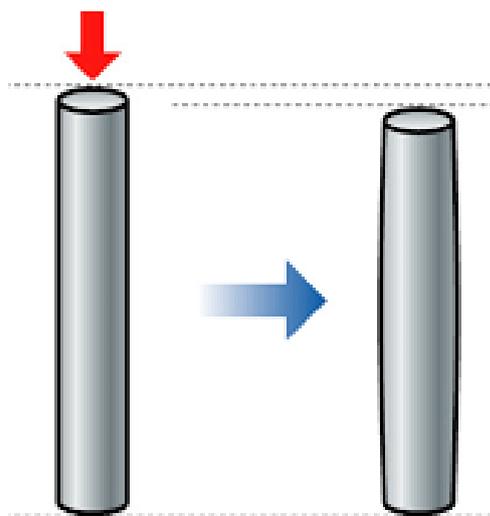


Figura N°4 - Resistencia a la Compresión
(Fuente Blog Física)

- **Resistencia a la Flexión:** La flexión de los vidrios es distinta para cada composición del vidrio. Un vidrio sometido a flexión presenta en una de sus caras esfuerzos de compresión, y en la otra cara presenta esfuerzos de tensión. La fuerza de ruptura por flexión de un cristal templado es de aproximadamente de 1470kg/cm², mientras que para un cristal normal es de 400kg/cm². (Figura N°5).



Figura N°5 -Resistencia a la flexión
(Fuente Propia)

- **Alabeo:** En los vidrios templados, se deberá considerar el posible alabeo que pueda tener el producto debido al propio proceso de templado. En estos casos se deberán considerar las luces que efectivamente quedan y tomar los recaudos necesarios para asegurar que le vidrio "flote", aún en estos casos. (Figura N°6).

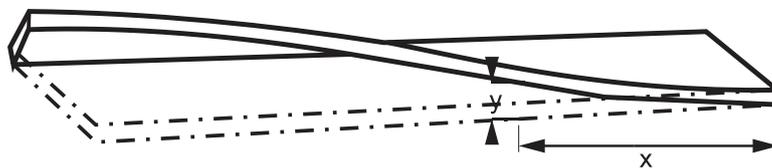


Figura N°6 Posible alabeo del vidrio producido en el proceso de fabricación.
(Fuente Propia)

2.2.3.1.2 *Otras propiedades del vidrio*

- **Propiedades acústicas:** La transmisión de los sonidos aéreos a través de las paredes se efectúa simultáneamente por filtración y difracción, si la estanqueidad no es perfecta, y en especial por vibración de la pared que se comporta como un verdadero emisor. En el caso del cristal, material no poroso, la transmisión de un sonido aéreo depende esencialmente de su masa y su rigidez, así como de su espesor y modo de fijación.
- **Propiedades Ópticas y Energéticas del Vidrio:** Un Vidrio se aprecia por su máxima transparencia, aunque en ningún caso ésta llega a ser total. Parte de la energía es reflejada y parte absorbida por el propio acristalamiento. Es necesario por tanto a la hora de cualificar un Vidrio conocer los siguientes parámetros:
 - **Factor de transmisión luminosa:** cociente entre el flujo de radiación visible transmitida al atravesar el Vidrio y la radiación visible incidente.
 - **Factor de reflexión luminosa:** cociente entre el flujo luminoso reflejado y el flujo luminoso incidente sobre el vidrio medido para una incidencia luminosa casi normal al plano del Vidrio.
 - **Transmisión de energía directa:** porcentaje de la energía solar que atraviesa el Vidrio en relación con la energía solar incidente.
 - **Absorción energética:** parte del flujo de la energía solar incidente que resulta absorbida por el Vidrio.
 - **Factor de transmisión total de la energía solar o Factor Solar:** cociente entre la energía total que pasa a través de un acristalamiento y la energía solar incidente.
 - **Coefficiente de transmisión térmica:** parámetro que determina si es o no un buen aislante (un valor pequeño indica que es buen aislante térmico). Dicho coeficiente depende de las características intrínsecas del material, de su espesor, de la existencia de cámara de aire, así como del tratamiento superficial del vidrio. La simbología que utiliza el Código Técnico de la Edificación es UH,V y en el Sistema Internacional de Unidades (S.I.) se expresa en W/m^2K .
- **Densidad:** 2500 Kg/m^3 , es la densidad del vidrio, lo cual le otorga al vidrio plano un peso de $2,5 \text{ Kg/m}^2$ por cada milímetro de espesor.
- **Punto de ablandamiento del vidrio:** 730° C , aproximadamente.
- **Dureza:** 6 a 7 en la escala de Mohs. El vidrio templado tiene la misma dureza superficial que el vidrio recocido o crudo.
- **Módulo de Young:** 720.000 Kg/cm^2 .
- **Coefficiente de Poisson:** Varía entre 0.22 y 0.23.

- **Resistencia Química:** El vidrio resiste el ataque de la mayoría de los agentes químicos, excepto el ácido fluorhídrico y, a alta temperatura, el fosfórico. Los álcalis atacan la superficie del vidrio, así los álcalis liberados del cemento por acción del agua de lluvia, pueden opacificar la superficie del vidrio.

2.2.4. Vidrios empleados en la construcción:

2.2.4.1.1 Vidrio templado:

Posee una alta resistencia mecánica y una gran seguridad ante roturas. Este luego del templado no es posible hacerle ningún corte, por lo cual se prepara en su totalidad antes de este proceso, el cual consiste en calentar el vidrio a una temperatura inferior al de ablandamiento y posteriormente se emplean chorros de aire frío para enfriarlos bruscamente. (Figura N°7).

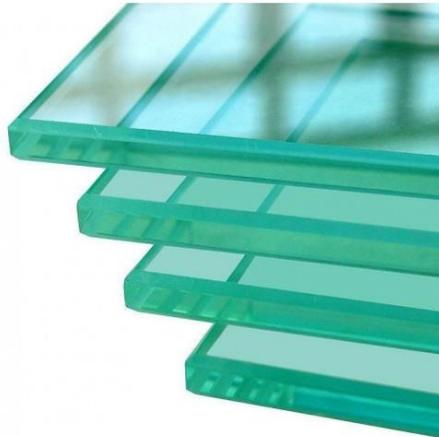


Figura N°7 - Vidrios Templados
(Fuente Empresa Glasstech)

2.2.4.1.2 Vidrio laminado:

Se trata de un conjunto de dos o más vidrios que para unirse utilizan unas láminas plásticas que otorgan una excelente transparencia, adherencia, elasticidad y resistencia. Es muy resistente al impacto, a la penetración, absorbe las radiaciones ultravioletas y posee buenas propiedades acústica. (Figura N°8).

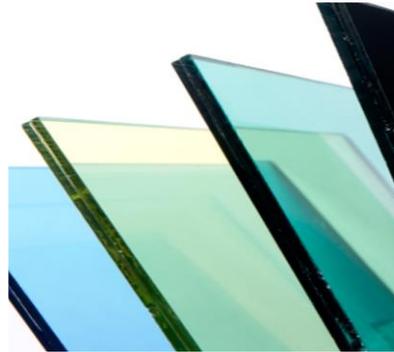


Figura N°8 - Vidrios laminados
(Fuente Empresa Glasstech)

2.2.4.1.3 Vidrio insulado o doble:

Refiere al grupo de vidrio que es separado por una capa de gas o aire, lo cual disminuye el campo de sonido y logra ofrecer grandes combinaciones decorativas. Estos poseen un buen rendimiento acústico y térmico (Figura N°9).

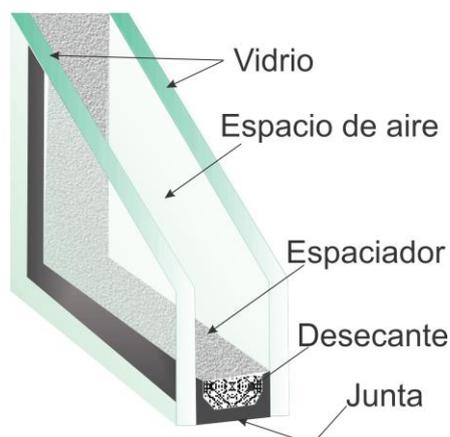


Figura N° 9 - Vidrio Insulado
(Fuente Corporación Furukawa)

2.2.4.1.4 Vidrios Serigrafiados:

Estos tipos de vidrios se distinguen por tener en una de sus caras una plancha de esmaltes vitrificables utilizando para ello un proceso de serigrafiado. El vidrio luego de ser templado solo queda la serigrafía unificada con el vidrio, el cual no puede ser separado de este, ni tampoco puede ser alterado (Figura N°10).



Figura N° 10 - Vidrio Serigrafiado
(Fuente Empresa Furukawa)

2.2.4.1.5 Vidrio float:

Se trata de un vidrio incoloro, transparente y con masa homogénea y uniforme espesura. No produce distracción óptica y refleja perfectamente la luz, siendo ideal para lugares que necesitan una perfecta visibilidad. Este presenta diversas terminaciones, como: templado, laminado, xerografiado, curvo, de doble acristalamiento, etc. Es muy empleado en la decoración, en la elaboración de electrodomésticos, en mueble, en la industria automovilística y en la construcción civil (Figura N°11).



Figura N° 11 - Vidrio Float
(Fuente Empresa Glasstech)

2.2.5. Procesos de fabricación

Presentamos el proceso de fabricación del vidrio para proporcionar la forma en que se trabajara el vidrio en muestra propuesto.

2.2.5.1.1 F. Vidrio flotado: (figura N°12).

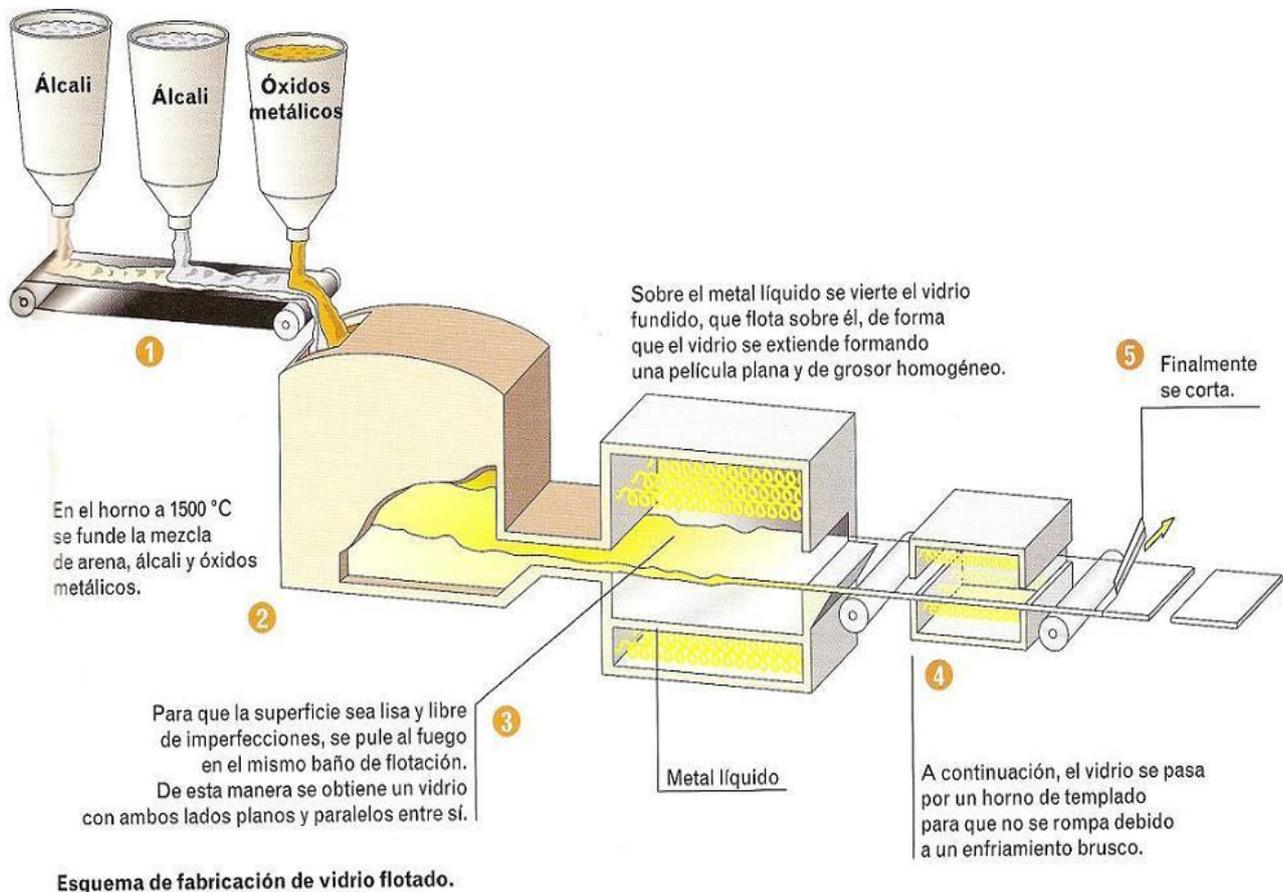


Figura N° 12 – Proceso de Fabricación Vidrio Flotado
(Fuente Biblioteca de Materiales Húmedos)

2.2.5.1.2 F. Vidrio laminado: (figura n°13).



Figura N° 13 - Proceso de Fabricación Vidrio Laminado
 (Fuente Corporación Miyasato)

2.2.6. Desarrollo de investigación

El cálculo de la resistencia de los materiales frágiles se puede plantear bajo dos perspectivas diferentes, correspondientes a un modelo basado en las tensiones críticas del material y a otro modelo basado en los tamaños máximos de defecto. Aunque ambos modelos se fundamentan esencialmente en las mismas hipótesis, difieren en los parámetros de referencia considerados para establecer el criterio de rotura del material. Una vez caracterizado experimentalmente el material, ambos procedimientos permiten determinar la probabilidad de fallo de placas de vidrio para diferentes relaciones geométricas, solicitaciones de carga y condiciones de apoyo.

Un ejemplo del modelo basado en tensiones críticas es el desarrollado en el programa CARES de la NASA Glenn Research Center (N.N. Nemeth, 1990). En este modelo se describe el proceso de fallo del material fenomenológicamente, a través de la caracterización de la resistencia local del material y adoptando la tensión crítica como el parámetro de referencia para establecer la supervivencia del elemento considerado.

En el caso del modelo basado en el tamaño máximo de defectos (García-Prieto, 2001), desarrollado por los autores en colaboración con la empresa Saint Gobain Cristalería, S.A. e implementado en el programa 'Windesign', se describe el mecanismo de fallo en base a consideraciones de la Mecánica de la Fractura. De esta forma, el modelo ofrece una interpretación física del criterio de fallo más detallada que el modelo de tensiones críticas, pero como contrapartida presenta un proceso más complejo de caracterización del material al precisar la determinación de la distribución de tamaños máximos de defecto.

Inicialmente el modelo propuesto fue aplicado a placas de acristalamiento de vidrio monolítico, pero en estos momentos se está estudiando su aplicación al cálculo de placas de vidrio laminado, formado por dos o más vidrios simples unidos por láminas de Butiral Polivinilo, abreviadamente denominado PVB, tal como queda indicado en la Figura N° 14.a.

La característica más sobresaliente del vidrio laminado es su resistencia a la penetración, ya que en caso de rotura los fragmentos de vidrio quedan adheridos a la lámina de PVB, con lo que se reduce el riesgo de accidentes (ver Figura N° 14.b). Asimismo, la presencia del PVB mejora las propiedades acústicas al amortiguar el fenómeno de resonancia y actúa como protección contra la radiación ultravioleta al ser absorbida por el PVB.

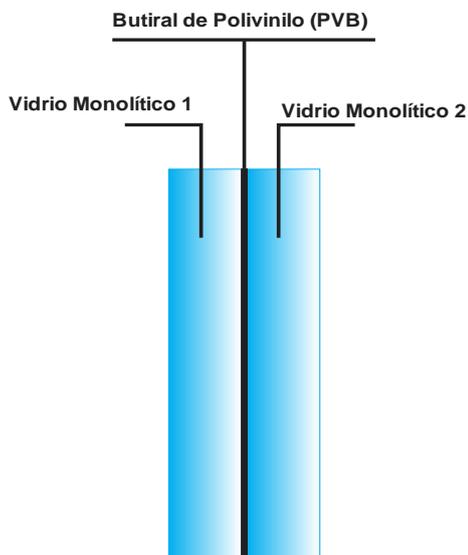


Figura N° 14.a



Figura N° 14.b

Figura N° 14 - Estructura y características del vidrio laminado
(Fuente Empresa Glasstech)

2.2.6.1. Norma americana ASTM A 1300-02

La norma ASTM E 1300-02 “Standard Practice for Determining Load Resistance of Glass in Buildings”, que se encuentra en un continuo proceso de desarrollo, presenta un procedimiento de cálculo de resistencia de vidrios monolíticos, laminados y aislantes en placas rectangulares de espesor determinado, apoyadas en un único borde (placa en voladizo), en dos bordes (viga simplemente apoyada), en tres y cuatro bordes, sometidas a una carga lateral uniforme de corta o larga duración para una probabilidad de fallo dada del 8‰ o con la opción de cambiar a otros valores.

Esta norma, basada en el modelo de rotura de Beason, que relaciona la resistencia del vidrio con la condición de su superficie, presenta doce ábacos para la selección del espesor de placas de vidrio monolítico en un rango de 2,5 mm a 22 mm. (H.L. Ewalds, 1993).

De las normas consultadas, la ASTM es la más completa debido a la consideración de una gran variedad de tipos de vidrio, condiciones de apoyo y duración de la sollicitación aplicada.

Sin embargo, como puntos débiles es necesario mencionar que en esta norma no se especifican claramente los factores parciales de seguridad del material y de las cargas, no se tratan diferentes geometrías de placas, ni tipos de sollicitación y no se establece un modelo probabilístico para el vidrio laminado.

2.2.6.1. Descripción del modelo de cálculo

2.2.6.1.1 Flexión pura

La flexión es un concepto muy importante, ya que se utiliza en el diseño de muchos componentes estructurales y de máquinas, tales como vigas y traveses. (Figura N°15).

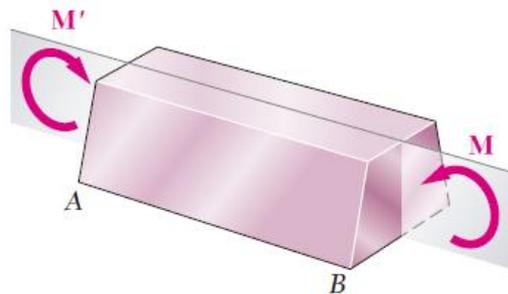


Figura N° 15 - FLEXIÓN PURA
(Fuente Libro Mecánica de material Beer)

2.2.6.1.2 Deformaciones en un elemento simétrico sometido a flexión pura

Se estudiarán ahora las deformaciones de un elemento prismático que posee un plano de simetría y está sometido en sus extremos a partes iguales y opuestas M y M' que actúan en el plano de simetría. El elemento se flexionará bajo la acción de los pares, pero permanecerá simétrico con respecto a dicho plano (figura 4.9). Además, como el momento flector M es el mismo en cualquier sección, el elemento se flexionará de manera uniforme. (Figura N°16).

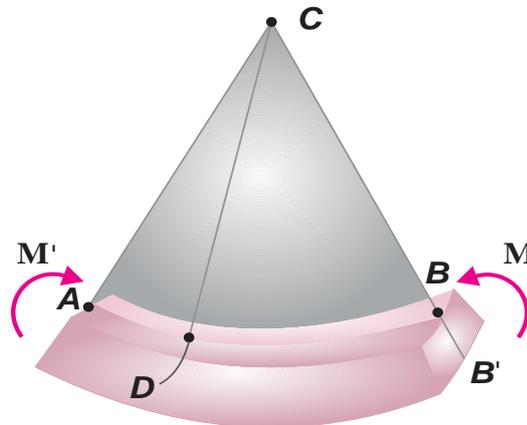


Figura N° 16 - 2.2.6.1.2 Deformaciones en un elemento simétrico sometido a flexión pura. (Fuente Libro Mecánica de material Beer)

Suponga que el elemento está dividido en un gran número de pequeños elementos cúbicos con caras paralelas a los tres planos coordenados. (Figura N°17.a).

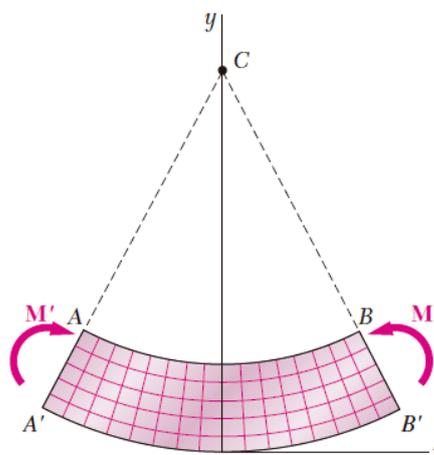


Figura N° 17.a - Sección longitudinal, vertical (Plano de Simetría). (Fuente Libro Mecánica de material Beer)

De lo anterior se deduce que debe existir una superficie paralela a las caras superior e inferior del elemento, donde σ y ϵ se anulan. Esta superficie es la superficie neutra. (Figura N° 17.b).

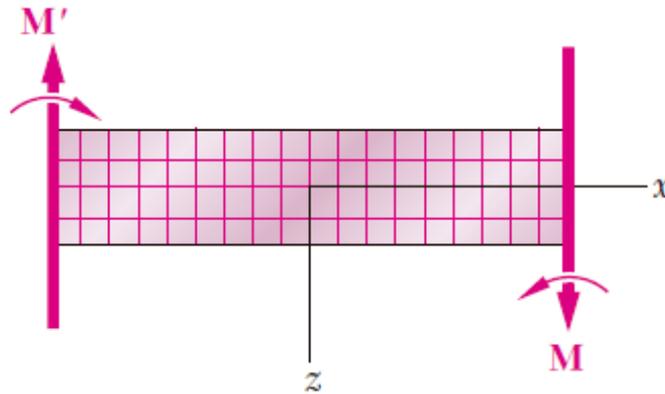


Figura N° 17.b - Sección longitudinal, horizontal.
(Fuente Libro Mecánica de material Beer)

La superficie neutra interseca el plano de simetría según un arco de círculo DE (Figura N° 18.a) e interseca una sección transversal a lo largo de una línea recta llamada eje neutro de la sección (Figura N° 18.b).

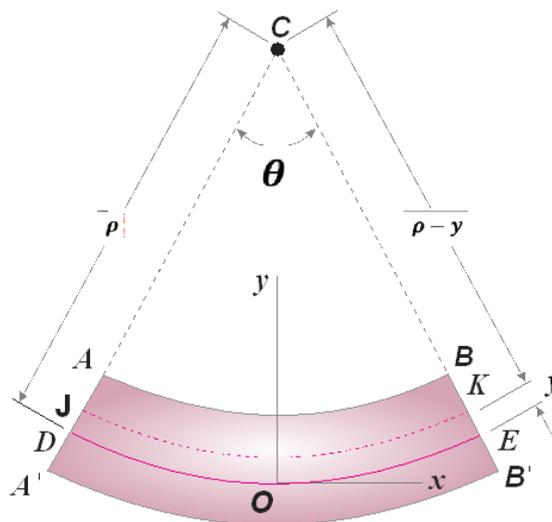


Figura N° 18.a - Sección longitudinal, horizontal.
(Fuente Libro Mecánica de material Beer)

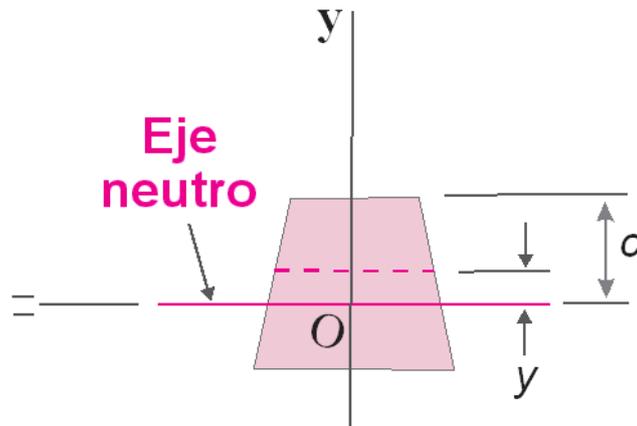


Figura N° 18.b - Sección transversal.
(Fuente Libro Mecánica de material Beer)

Se escogerá el origen de coordenadas en la superficie neutra, en lugar de la cara inferior, como se hizo antes, de modo que la distancia de cualquier punto a la superficie neutra se medirá por la coordenada y .

Llamando ρ el radio del círculo DE (Figura N° 18.a), θ el ángulo central que corresponde a DE, y observando que la longitud de DE es igual a la longitud L del elemento no deformado, se tiene

$$L = \rho \theta \quad (1.1)$$

Considerando ahora el arco JK ubicado a una distancia y sobre la superficie neutra, se observa que su longitud L' es

$$L' = (\rho - y) \theta \quad (1.2)$$

Como la longitud original del arco JK era igual a L , la deformación de JK es

$$\delta = L' - L \quad (1.3)$$

sustituyendo

$$\delta = (\rho - y) \theta - \rho \theta = -y \theta \quad (1.4)$$

La deformación unitaria longitudinal ϵ_x de los elementos de JK se obtiene dividiendo δ entre la longitud original L de JK:

$$\epsilon_x = \frac{\delta}{L} = \frac{-y\theta}{\rho\theta}$$

$$\epsilon_x = \frac{-y\theta}{\rho\theta} \quad (1.5)$$

2.2.6.1.3 ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN EL RANGO ELÁSTICO

A continuación, se estudiará el caso en el que el momento flector M es tal que los esfuerzos normales en el elemento permanecen por debajo del esfuerzo de fluencia σ_y . Esto implica que, para propósitos prácticos, los esfuerzos en el elemento permanecerán por debajo del límite estático. No habrá deformaciones permanentes y podrá aplicarse la ley de Hooke para el esfuerzo uniaxial. Suponiendo que el material es homogéneo, y denotando por E al módulo de elasticidad, se tiene que en la dirección longitudinal x .

$$\sigma_x = E\epsilon_x$$

Usando

$$\sigma_x = -\frac{y}{c} \sigma_m \quad (1.6)$$

Donde σ_m es el máximo valor absoluto de esfuerzo. Este resultado muestra que, en el rango elástico, el esfuerzo normal varía linealmente con la distancia al plano neutro (Figura N° 19).

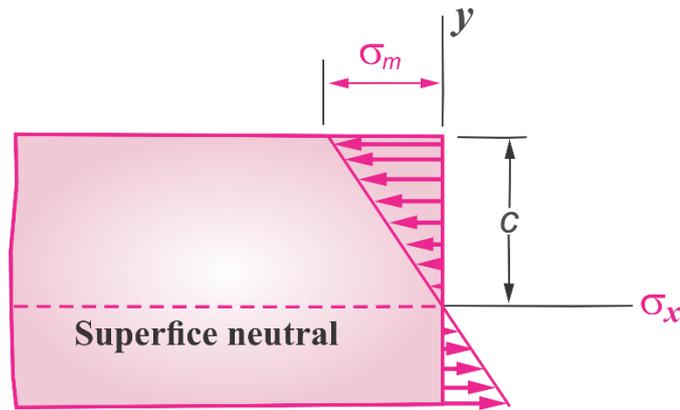


Figura N° 19
(Fuente Libro Mecánica de material Beer)

2.2.6.1.4 Deformaciones en una sección transversal

Al probarse que la sección transversal de un elemento sometido a flexión pura permanece plana, no se excluye la posibilidad de que se presentaran deformaciones dentro del plano de la sección. Que tales deformaciones existirán, es evidente si se recuerda que los elementos en un estado uniaxial de esfuerzo, $\sigma_x \neq 0, \sigma_y = \sigma_z = 0$, se deforman tanto en las direcciones transversales “y” y “z”, como en la dirección axial x. Las deformaciones normales ϵ_y y ϵ_z dependen del módulo de Poisson ν del material usado y se expresan como:

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= -\nu \epsilon_x & \epsilon_z &= -\nu \epsilon_x \\ \text{Ó} \\ \epsilon_y &= \frac{\nu y}{\rho} & \epsilon_z &= \frac{\nu y}{\rho} \end{aligned} \quad (1.7)$$

Las relaciones obtenidas muestran que los elementos situados por encima de la superficie neutra ($y > 0$) se expanden en ambas direcciones “y” y “z”, en tanto que los elementos por debajo de la superficie neutra ($y < 0$) se contraen.

En un elemento de sección rectangular, se compensarán la expansión y contracción de los elementos en la dirección vertical y no se observarán cambios en la dirección vertical. En cuanto a las deformaciones en la dirección transversal horizontal “z”, sin embargo, la expresión de los elementos situados sobre la superficie neutra y la contracción correspondiente de los elementos situados debajo producirán que las líneas longitudinales de

la sección se conviertan en arcos de círculo (Figura N° 20). La situación señalada es similar a la de una sección longitudinal. Comparando la segunda de las ecuaciones (1.7) con la ecuación (1.5), se deduce que el eje neutro de la sección transversal se flexionará en un círculo de radio $\rho' = \rho/v$. El centro C' de este círculo se localiza debajo de la superficie neutra (si $M > 0$), es decir, en el lado opuesto al centro de curvatura C del elemento. El inverso del radio de curvatura ρ' es la curvatura de la sección transversal y se denomina curvatura anticlástica. Se tiene:

$$\text{Curvatura anticlástica} = \frac{1}{\rho'} = \frac{v}{\rho} \quad (1.8)$$

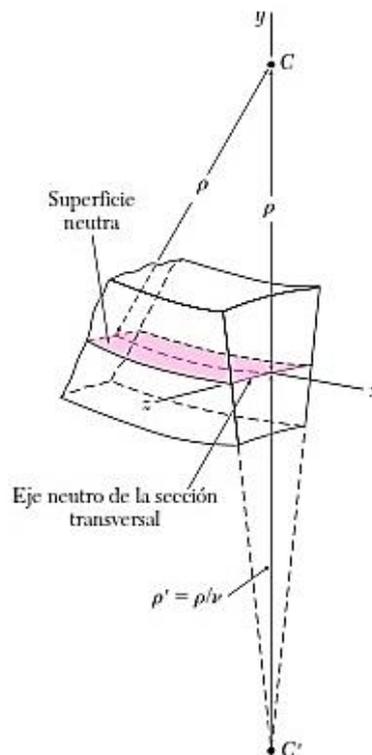


Figura N° 20
 (Fuente Libro Mecánica de material Beer)

En el análisis de las deformaciones de un elemento simétrico sometido a flexión pura, tanto en esta sección como en las anteriores, se habrá ignorado el modo en que realmente M y M se aplicaban a ese elemento. Si todas las secciones transversales del elemento, de un extremo a otro, han de permanecer planas y libres de esfuerzo cortante, se debe estar seguro de que los pares se aplican de tal manera que los extremos del elemento mismo permanecen

planos y libres de esfuerzos cortantes. Esto puede cumplirse aplicando los pares M y M' por medio de placas rígidas y lisas (Figura N° 20.1).

Las fuerzas elementales que las platinas ejercen sobre el elemento serán normales a las secciones del extremo, y estas secciones, mientras permanecen planas, quedarán libres para deformarse como se ha descrito en esta sección.

Debe recalarse que estas condiciones de carga no se presentan en la práctica, ya que requieren que cada placa ejerza fuerzas de tensión sobre la sección correspondiente por debajo de su eje neutro, y se permita simultáneamente que la sección se deforme libremente en su propio plano. El que las placas rígidas de la figura N° 20.1 no puedan darse en la realidad no les quita su importancia, que es permitir visualizar las condiciones de carga correspondientes a las relaciones descritas en las secciones precedentes. Las condiciones de carga reales pueden diferir mucho del modelo idealizado. En virtud del principio de Saint-Venant, sin embargo, las relaciones obtenidas pueden utilizarse para calcular los esfuerzos en situaciones prácticas, siempre que la sección considerada no esté muy cerca de los puntos de aplicación de los pares.

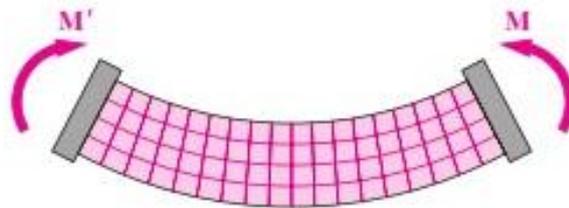


Figura N° 20.1
(Fuente Libro Mecánica de material Beer)

2.2.6.1.5 Flexión de elementos hechos de varios materiales

La hipótesis de que el material era homogéneo, con un módulo dado de elasticidad (E). Si el elemento sometido a flexión pura está hecho de dos o más materiales, con distintos módulos de elasticidad, la aproximación para la determinación de esfuerzos debe cambiar.

Considere, por ejemplo, una barra compuesta de dos porciones de diferentes materiales, unidos como muestra la sección transversal de la figura N° 21. Esta barra compuesta se deformará, puesto que su sección transversal permanece igual en toda su longitud, no se planteó hipótesis alguna sobre la relación esfuerzo-deformación unitaria del material o

materiales. Así, la deformación normal todavía varía linealmente con la distancia y al eje neutro de la sección (figuras N° 21a y b) y la ecuación (1.9) rige:

$$\epsilon_x = -\frac{y}{\rho} \quad (1.9)$$

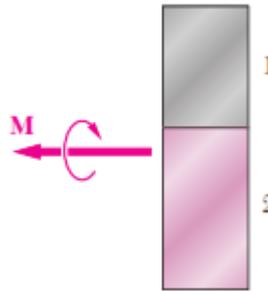


Figura N° 21
 (Fuente Libro Mecánica de material Beer)

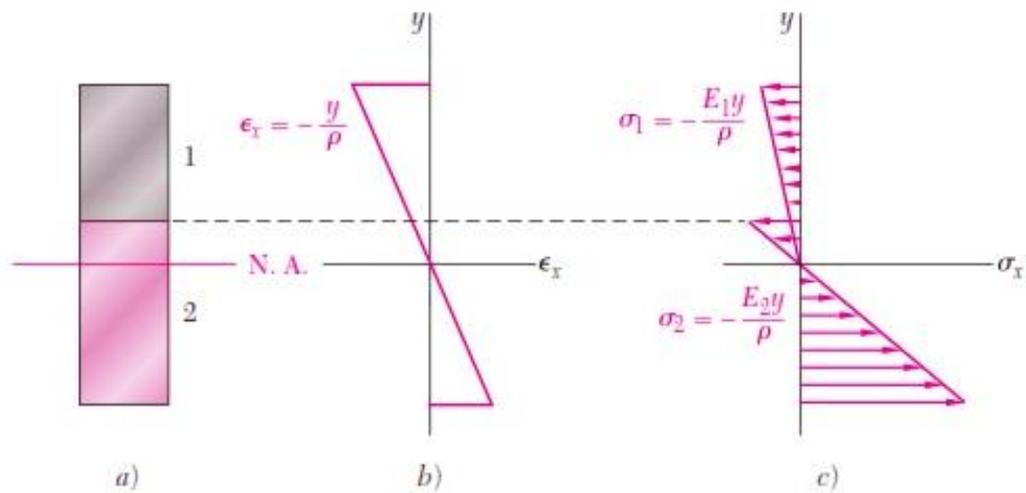


Figura N° 21 – Distribución de esfuerzos y de deformaciones en una barra hecha de dos materiales.

(Fuente Libro Mecánica de material Beer)

Sin embargo, no puede suponerse que el eje neutro pasa por el centroide de la sección compuesta. Por ello, uno de los objetivos de este análisis es determinar la posición de dicho eje. Como los módulos de elasticidad de los materiales E_1 y E_2 son diferentes, las expresiones obtenidas para los esfuerzos normales en cada material serán también diferentes. Al escribir

$$\sigma_1 = E_1 \epsilon_x = -\frac{E_1 y}{\rho}$$

$$\sigma_2 = E_2 \epsilon_x = -\frac{E_2 y}{\rho} \quad (2.0)$$

se obtiene una curva de distribución de esfuerzos que consiste en dos segmentos de línea recta (Figura 21.c). Se deduce, de las ecuaciones (2.0), que la fuerza dF_1 ejercida sobre un elemento de área dA de la porción superior de la sección es:

$$dF_1 = \sigma_1 dA = -\frac{E_1 y}{\rho} dA \quad (2.1)$$

Puesto que la sección transformada representa la sección transversal de un elemento hecho de un material homogéneo con módulo elástico E_1 , es posible hallar el eje neutro de la sección y los esfuerzos normales en varios puntos de ella. El eje neutro se trazará por el centroide de la sección transformada.

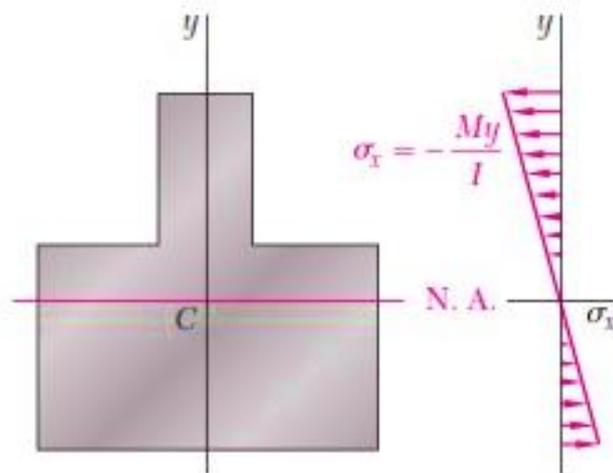


Figura N° 22 – Distribución de esfuerzos en la sección transformada
 (Fuente Libro Mecánica de material Beer)

2.2.6.2. Esfuerzos cortantes

Una carga transversal aplicada a una viga resultará en esfuerzos normales y cortantes en cualquier sección transversal dada de la viga. Los esfuerzos normales se crean por el momento flector M en dicha sección y los esfuerzos cortantes por el cortante V . Como el criterio dominante en el diseño de una viga por resistencia es el máximo valor del esfuerzo normal en la viga, en el capítulo 5 el análisis se limitó a la determinación de los esfuerzos normales. Los esfuerzos cortantes, sin embargo, son importantes, particularmente en el diseño de vigas cortas y gruesas.

Las fuerzas cortantes V son las resultantes de los esfuerzos cortantes distribuidos sobre el área de la sección transversal. (Figura N° 23).

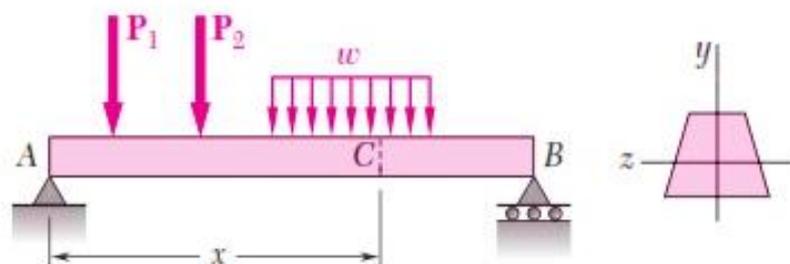


Figura N° 23 – Esfuerzos cortantes.
 (Fuente Libro Mecánica de material Beer)

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables

3.1.1. Variable independiente (V.I)

- Espesor.

3.1.2. Variable dependiente (V.D)

- Resistencia a la cortante.
- Resistencia a la flexión.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Espesor	Calibre de fábrica del vidrio	Espesor de lámina que conforma sección compuesta	Longitud	Milímetros (mm)

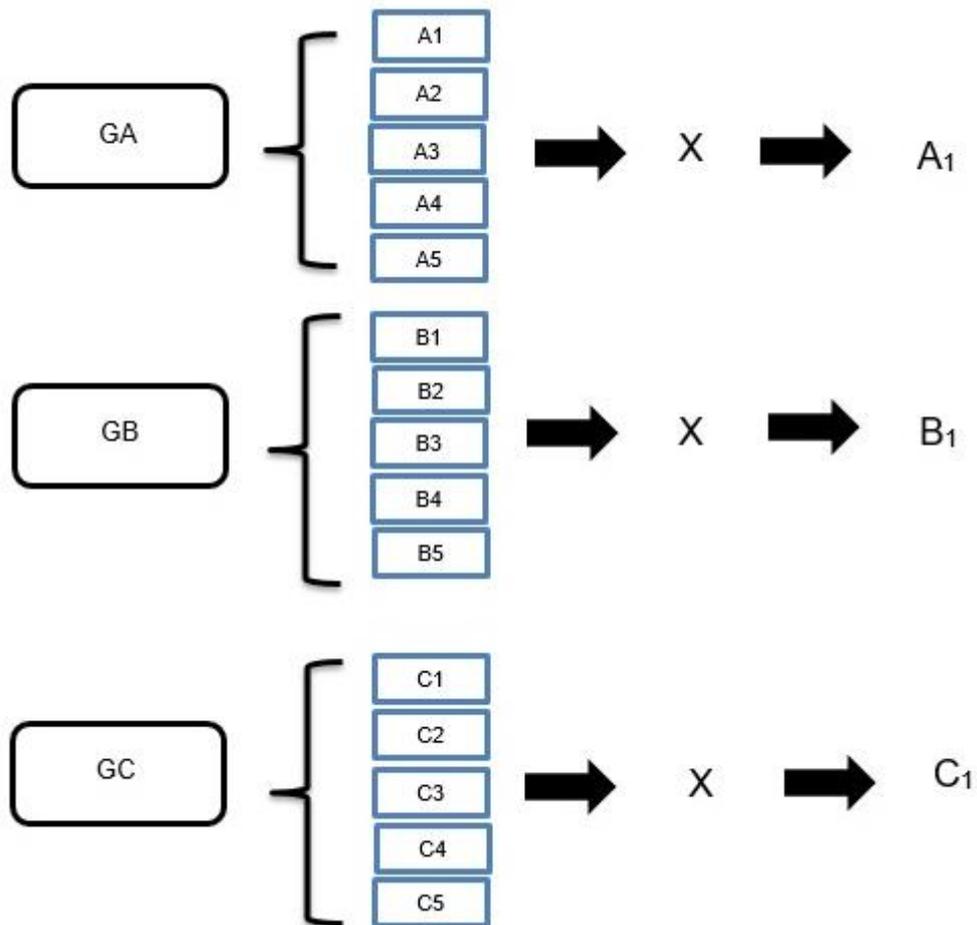
Diseño Fuente: Elaboración propia

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Resistencia al corte	Medida de la resistencia de un material al corte o a la rotura	Esfuerzo cortante	Mega Pascales (Mpa)
Resistencia a la flexión	Medida de la resistencia de un elemento o miembro estructural a las fuerzas flectoras.	Esfuerzo flector	Mega Pascales (Mpa)

Diseño Fuente: Elaboración propia

3.2. Diseño de Investigación

De acuerdo a la definición de Sampieri nuestra investigación propuesta cumple con las características plateadas por los autores, por lo que se puede definir que esta investigación es Experimental. La finalidad del estudio es que se evaluará las propiedades tanto físicas como mecánicas para establecer el uso del vidrio laminado como elemento que soporta esfuerzos dentro del diseño estructural.



Diseño Fuente: Elaboración propia.

3.3. Unidad de estudio

Probetas por cada espesor (6.38mm, 8.38mm y 10.38mm) de vidrio laminado a los que se les aplicarán los ensayos respectivos para evaluar y comparar sus propiedades mecánicas.

3.4. Población

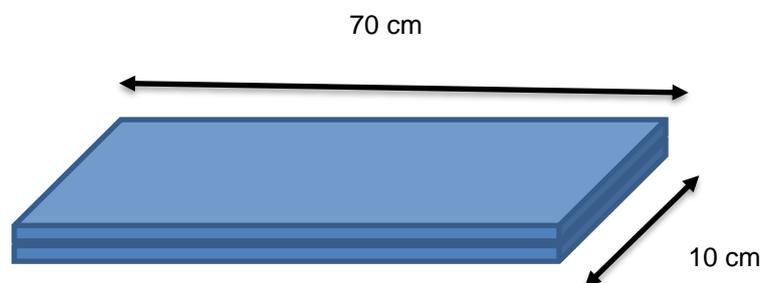
El objeto de estudio lo constituye el vidrio laminado, y dado que este material no es únicamente fabricado en un país, el universo de los vidrios laminados que puedan ser usados como material estructural es Infinito.

3.5. Muestra (muestreo o selección)

Como la población es infinita la muestra es mínima. Se decidió ensayar vidrios laminados cuya nomenclatura comercial corresponde a 6mm, 8mm y 10mm de espesor, de cada espesor se fabricaron cinco probetas con la finalidad de conseguir un promedio para cada uno de ellos, con los tres promedios de cada dato versus los espesores se pueden elaborar curvas de tres puntos con lo que una regresión lineal es bastante probable de ser realizada, la correlación lograda no indica Juicio de expertos.

3.6. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

Las probetas que se utilizaron se fabricaron teniendo en cuenta las dimensiones necesarias para poder ser ensayadas en la máquina a la que tuvimos acceso, estas fueron de 50.00 cm de largo, 10.00 cm de ancho y el espesor estuvo dado por los diferentes espesores que comercialmente tiene cada espécimen.



Este espesor, al igual que el ancho de la sección, fue medido con vernier para poder conseguir las propiedades de sección lo más fidedignamente posible. Los espesores y los anchos se reportan en el cuadro siguiente:

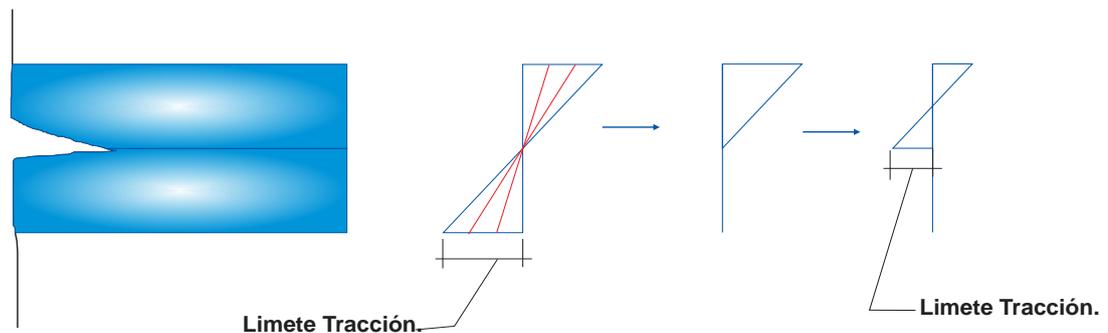
N° de Probetas	Espesores		
	6mm	8mm	10mm
1	6.27	8.22	10.20
2	6.29	8.15	10.25
3	6.28	8.20	10.31
4	6.27	8.30	10.19
5	6.18	8.26	10.22

N° de Probetas	Masa (g)		
	6mm	8mm	10mm
1	715.62	974.61	1213.75
2	717.67	980.97	1211.29
3	716.12	968.42	1215.57
4	721.24	973.46	1237.56
5	732.51	976.02	1213.78

El principal ensayo realizado corresponde al de flexión, el que se realizó en el equipo universal de ensayos de la Universidad Nacional de Trujillo, siendo este equipo de mayor sensibilidad para este tipo de material.



Se identificaron dos momentos de falla uno en el que la lámina inferior llega a su esfuerzo de tracción figura 25a, lo que llamaremos primera falla luego de los cual al cabo de incrementarse la carga falla la lámina superior también por tracción figura 25b lo que llamamos segunda falla, a partir de este instante la lámina de polivinil butiral es la que es esforzada. el instante de falla de esta no se ha determinado.



PRIMERA FALLA

Figura N° 25a

SEGUNDA FALLA

Figura N° 25b

En los resultados se han calculado las reacciones que corresponden a estos dos instantes de fallas con la finalidad de construir el diagrama de fuerza cortante y el diagrama de momento flector correspondientes. Con el momento máximo que se ha alcanzado en los dos instantes los esfuerzos de tracción y compresión.

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$$

En esta fórmula que es la universalmente utilizada para calcular los esfuerzo a una distancia y del eje neutro de una sección sometida a una carga axial P y a un momento flector M con una sección A y un momento de inercia I.

La nomenclatura que se ha usado en el informe son:

R_{A1}: es la reacción en el lado izquierdo al momento de la primera falla.

R_{B1}: es la reacción en el lado derecho al momento de la primera falla.

R_{A2}: es la reacción en el lado izquierdo al momento de la segunda falla.

R_{B2}: es la reacción en el lado derecho al momento de la segunda falla.

b: es el espesor de la probeta.

h₁: es la altura de sección que trabaja hasta el instante en el que se produce la primera falla.

y₁: Es la distancia del eje neutro, que es la mitad de h, a la que se producirán los máximos esfuerzos.

Y_2 : Es la distancia del eje neutro, que es la mitad de h , a la que se producirán los máximos esfuerzos.

I_1 : Es el momento de inercia de la sección antes de la primera falla.

I_2 : Es la inercia transformada de la sección remanente

σ_{t1} : Es la falla por tracción en la parte superior.

σ_{c2} : Es la falla por compresión en la parte inferior.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Tabla 1 - Resultados obtenidos en laboratorio de todas las probetas de vidrio analizadas.

N°	Cod. De Prueba	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (KN)		Resistencia a la flexión (N/mm ²)		Deformación (mm)	
				Falla-1	Falla-2	Falla-1	Falla-2	Falla-1	Falla-2
1	P1	100	10.16	0.631	0.777	21.11	103.91	0.89	2.64
2	P2	100	10.16	0.437	0.775	14.61	103.66	0.76	2.77
3	P3	100	10.16	0.553	0.795	18.49	106.4	0.9	2.86
4	P4	100	10.16	0.775	0.965	25.91	129.12	1.02	2.29
5	P5	100	10.16	0.487	0.779	16.3	104.16	0.76	2.5
6	P6	100	8.15	0.224	0.734	11.65	98.16	0.76	3.05
7	P7	100	8.15	0.504	0.592	25.89	79.19	1.91	3.18
8	P8	100	8.15	0.315	0.553	16.41	114.91	0.76	4.32
9	P9	100	8.15	0.319	0.500	16.6	104.05	0.76	1.78
10	P10	100	8.15	0.429	0.590	22.33	83.87	1.14	2.67
11	P11	100	6.15	0.338	0.433	30.96	158.71	1.73	3.2
12	P12	100	6.15	0.280	0.446	25.66	163.5	1.52	3.15
13	P13	100	6.15	0.248	0.469	22.76	171.7	1.4	3.68
14	P14	100	6.15	0.319	0.405	29.25	148.46	1.4	2.79
15	P15	100	6.15	0.131	0.220	11.99	80.77	0.89	1.78
Desviación estándar				0.170	0.198	6.085	30.499	0.389	0.656
Promedio				0.399	0.602	20.661	116.705	1.107	2.844

Nota. Las fallas enumeradas son respecto a la carga aplicada, la primera es por tracción y la segunda por compresión, así mismo las deformaciones corresponden a las fallas ver sus cargas respectivamente.

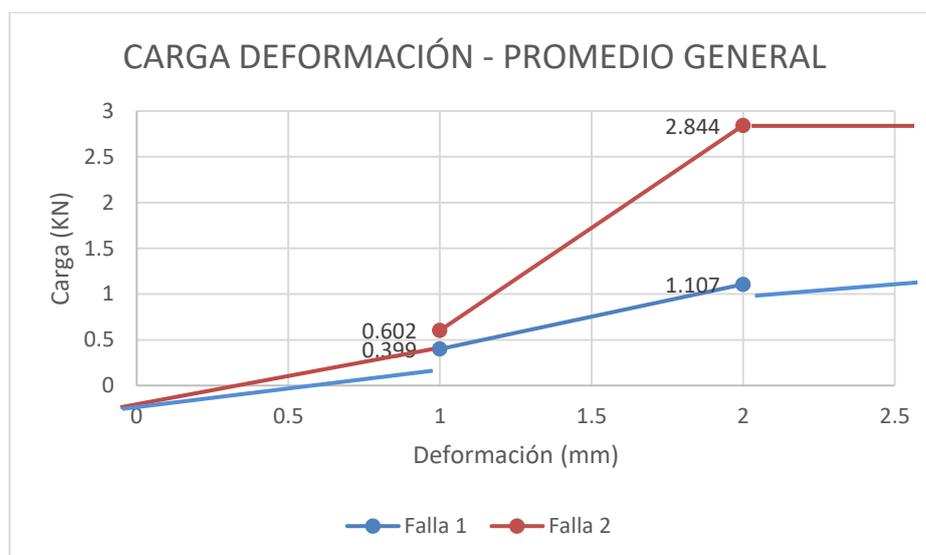


Gráfico 1

Tabla 2 - Resultados de los ensayos a las probetas de vidrio con espesores de 10.16 mm.

N°	Cod. De Prueba	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (KN)		Resistencia a la flexión (N/mm ²)		Deformación (mm)	
				Falla-1	Falla-2	Falla-1	Falla-2	Falla-1	Falla-2
1	P1	100	10.16	0.631	0.777	21.11	103.91	0.89	2.64
2	P2	100	10.16	0.437	0.775	14.61	103.66	0.76	2.77
3	P3	100	10.16	0.553	0.795	18.49	106.4	0.9	2.86
4	P4	100	10.16	0.775	0.965	25.91	129.12	1.02	2.29
5	P5	100	10.16	0.487	0.779	16.3	104.16	0.76	2.5
Desviación estándar				0.133	0.082	4.433	11.050	0.109	0.226
Promedio				0.577	0.818	19.284	109.450	0.866	2.612

Nota. Las fallas enumeradas son respecto a la carga aplicada, la primera es por tracción y la segunda por compresión, así mismo las deformaciones corresponden a las fallas ver sus cargas respectivamente.

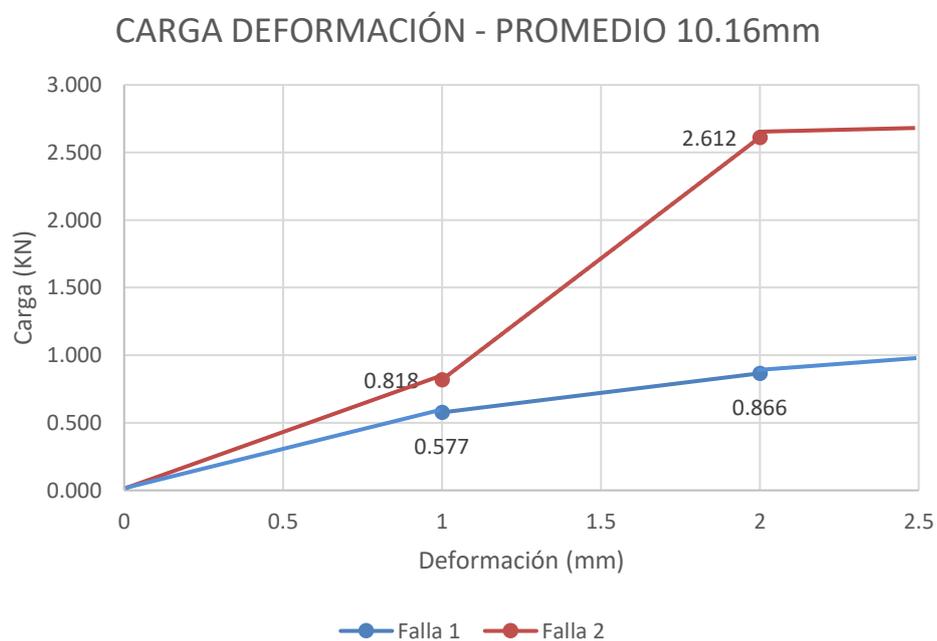


Gráfico 2

Tabla 3 - Resultados de los ensayos a las probetas de vidrio con espesores de 8.15 mm.

N°	Cod. De Prueba	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (KN)		Resistencia a la flexión (N/mm ²)		Deformación (mm)	
				Falla-1	Falla-2	Falla-1	Falla-2	Falla-1	Falla-2
6	P6	100	8.15	0.224	0.734	11.65	98.16	0.76	3.05
7	P7	100	8.15	0.504	0.592	25.89	79.19	1.91	3.18
8	P8	100	8.15	0.315	0.553	16.41	114.91	0.76	4.32
9	P9	100	8.15	0.319	0.500	16.6	104.05	0.76	1.78
10	P10	100	8.15	0.429	0.590	22.33	83.87	1.14	2.67
Desviación estándar				0.109	0.087	5.571	14.635	0.500	0.919
Promedio				0.358	0.594	18.576	96.036	1.066	3.000

Nota. Las fallas enumeradas son respecto a la carga aplicada, la primera es por tracción y la segunda por compresión, así mismo las deformaciones corresponden a las fallas ver sus cargas respectivamente.

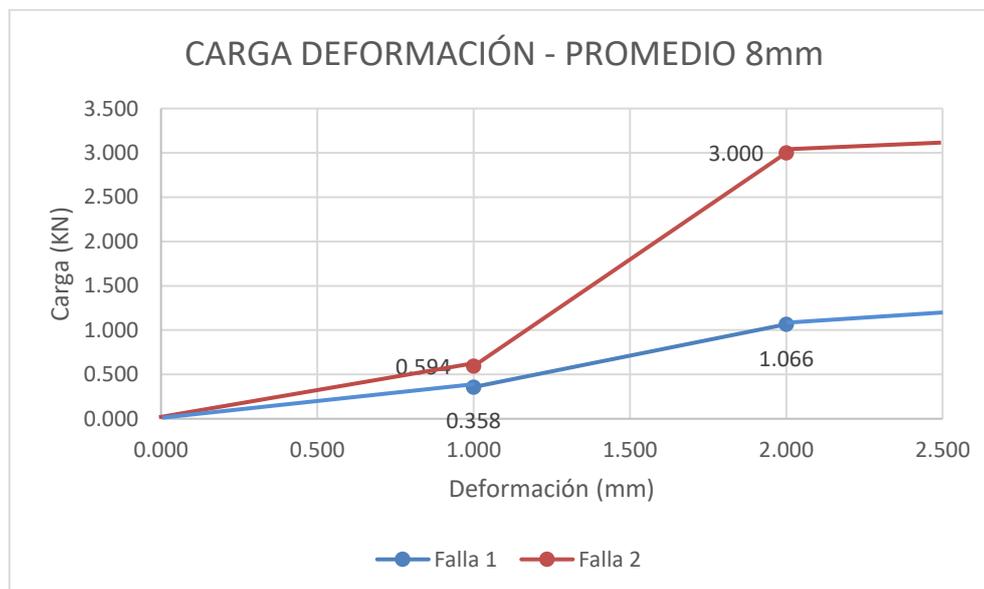


Gráfico 3

Tabla 4 - Resultados de los ensayos a las probetas de vidrio con espesores de 6.15 mm.

N°	Cod. De Prueba	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (KN)		Resistencia a la flexión (N/mm ²)		Deformación (mm)	
				Falla-1	Falla-2	Falla-1	Falla-2	Falla-1	Falla-2
11	P11	100	6.15	0.338	0.433	30.96	158.71	1.73	3.2
12	P12	100	6.15	0.280	0.446	25.66	163.5	1.52	3.15
13	P13	100	6.15	0.248	0.469	22.76	171.7	1.4	3.68
14	P14	100	6.15	0.319	0.405	29.25	148.46	1.4	2.79
15	P15	100	6.15	0.131	0.220	11.99	80.77	0.89	1.78
Desviación estándar				0.082	0.100	7.491	36.674	0.309	0.712
Promedio				0.263	0.395	24.124	144.628	1.388	2.920

Nota. Las fallas enumeradas son respecto a la carga aplicada, la primera es por tracción y la segunda por compresión, así mismo las deformaciones corresponden a las fallas ver sus cargas respectivamente.

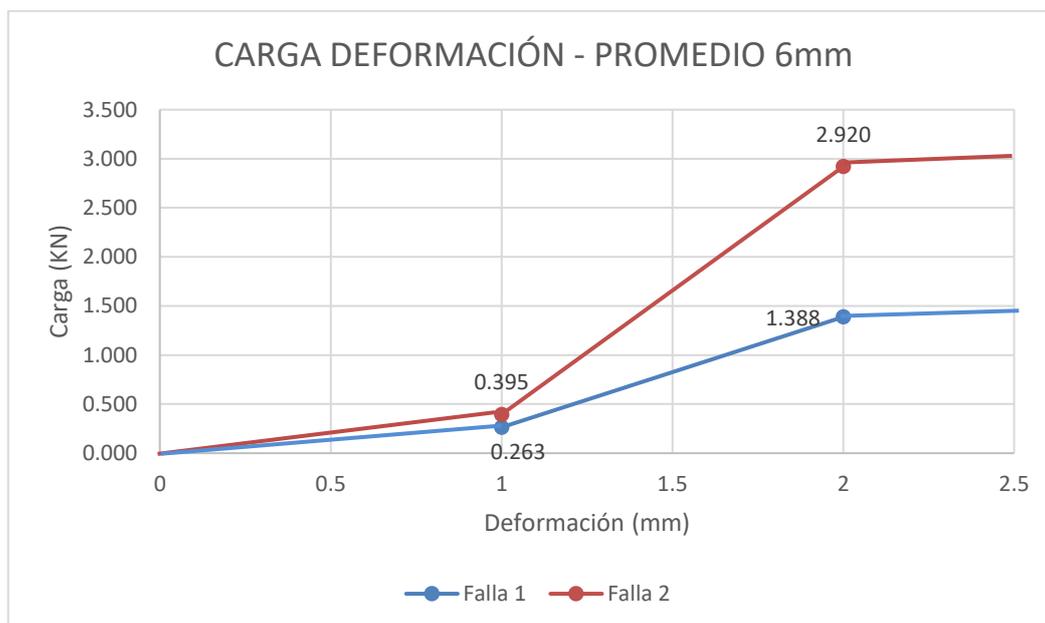


Gráfico 4

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En todas las gráficas carga deformación (gráficos 1,4,7,10,13,16,19,22,25,28,31,34,37,40,43) se aprecian tres tramos notoriamente marcados:

- El primero corresponde al comportamiento elástico de la sección completa y termina con la falla a tracción del vidrio inferior (en un esfuerzo que supera en promedio 20 Mpa).
- El segundo tramo corresponde al comportamiento elástico del vidrio superior con la lámina intermedia actuando en tracción y termina en la falla a compresión del vidrio superior en un esfuerzo que supero 100 Mpa.
- El tercer tramo corresponde a la fluencia de la lámina de refuerzo.

En las probetas de 6mm; el esfuerzo en la primera falla (tracción del vidrio inferior) fue 20 MPa (promedio); el esfuerzo de la segunda falla (compresión del vidrio superior) fue 100 MPa (promedio).

En las probetas de 8mm; el esfuerzo en la primera falla (tracción del vidrio inferior) fue 19 MPa (promedio); el esfuerzo de la segunda falla (compresión del vidrio superior) fue 95 MPa (promedio).

En las probetas de 10mm; el esfuerzo en la primera falla (tracción del vidrio inferior) fue 20 MPa (promedio); el esfuerzo de la segunda falla (compresión del vidrio superior) fue 110 MPa (promedio).

Los vidrios normalmente presentan fallas de tipo frágil, ya que no entran a una fase plástica, ósea una vez superado su rango elástico pasa directamente a la falla, no siendo posible evaluar su rango plástico.

En esta investigación por ser una sección compuesta tenemos dos fallas, una por tracción y otra por compresión, demostrando así que el vidrio es más resistente a esfuerzos de compresión. De esta manera podremos tener los criterios para su uso como elemento estructural en obras nuevas y en remodelaciones.

Cuando el vidrio falla en una primera instancia a tracción y en una segunda instancia a compresión deja como última barrera de resistencia la fluencia de la lámina de PVB, esta; en los ensayos no llegó a fallar, se observó su amplia ductilidad.

CONCLUSIONES

Se logró determinar la resistencia a la flexión y compresión de la sección compuesta en las siguientes probetas que fueron vidrios laminado de 6mm, 8mm y 10mm respectivamente. Se puede utilizar el vidrio laminado en diferentes áreas de un proyecto como pueden ser pasos de escaleras, coberturas, muros cortina, ventanas, divisiones de ambientes, piscinas, entre otros.

Todos los especímenes fallaron a flexión y no se llegó al esfuerzo de falla cortante.

Los parámetros de diseño que pueden ser usados son: el esfuerzo a tracción límite del vidrio es a $2,0 \times 10^7$ N/m² y el esfuerzo a compresión límite del vidrio es $1,0 \times 10^8$ N/m² y un módulo de elasticidad de $7,50 \times 10^{10}$ N/m².

Se observó que la lámina de PVB no presentó fallas de rotura por ser un material con alto rango elástico, esto hace que tal sección compuesta se comporte de manera segura en caso de que el vidrio sufra roturas por cualquier tipo de esfuerzos.

RECOMENDACIONES

Para el desarrollo de un modelo matemático estrictamente utilizable para este tipo de vidrios se recomienda realizar futuros ensayos a tracción de la lámina PVB para determinar su resistencia última a la tracción.

En caso de que el vidrio falle este seguirá en servicio por la fluencia de la lámina de PVB, sin embargo, se recomienda el cambio inmediato por razones de seguridad, ya que la capacidad de resistencia a la tracción en estas condiciones no se ha determinado.

Para complementar este trabajo ha de ser necesario la determinación de los factores de seguridad que se deben usar en el diseño, situación que ameritará una investigación que puede ser otra tesis.

REFERENCIAS

- A. Fernández Canteli, M. G. (2007). Cálculo de elementos de vidrio em edificación: propuesta de norma española. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 71-75.
- ASTM E, 1.-0. (2002). *Standard Practice for Determining Load Resistance of Glass in Buildings*. EEUU.
- Berlin, M. J. (9 de octubre de 2013). *Introducción a la Arquitectura*. Obtenido de fuerzas en estructuras: http://museojudiodeberlin.blogspot.com/2013/10/fuerzas-en-estructuras_9.html
- Boutet, M. L., & Jacobo, G. J. (2004). *El Vidrio en la Construcción y su aplicación en Equipamiento Urbano*. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.
- Capeco. (2016). El mercado del vidrio para la construcción. *Perú Construye*.
- emaze. (s.f.). Obtenido de <https://app.emaze.com/@AZCZQWTF#4>
- Eusebio Teheran, R. N. (2015). *Implementacion de un banco para ensayos de impacto de vidrios planos templados de seguridad usados en edificios*. Lima: Universidad Tecnológica del Perú.
- Furukawa, C. (2010). *Catalago Tecnico*. Lima.
- Gamallo Arosa, A. (2015). *Nuevas soluciones para la caracterización de envolventes de vidrio*. Coruña: Departamento de tecnología y ciencia de la representación gráfica.
- García-Prieto, M. (2001). *"Dimensionamiento probabilística y análisis experimental de vidrios en rotura" Tesis Doctoral*. España: Universidad de Oviedo.
- Guillermo Silva Lavín. (04 de Noviembre de 2014). <http://www.iconstruccion.cl>. Obtenido de <http://www.iconstruccion.cl/contenidos/opinion/contingencia-el-vidrio-y-la-seguridad-en-la-construccion-no-son-incompatibles>
- H.L. Ewalds, R. W. (1993). *"Fracture Mechanics"*.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandes-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación* (4 ed.). México D.F: Atlas.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandes-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación* (4 ed.). México D.F: Atlas.
- Humedos, B. d. (30 de Marzo de 2013). *Biblioteca de Materiales Humedos*. Obtenido de Biblioteca de Materiales Humedos: <http://bibliotecadehumedas.blogspot.com/2014/03/vidrio-flotado.html>
- labse, R. H. (2004). *"Material Glass". Structural Engineering International*. (Vol. 14).
- M.J. Lamela-Rey, M. G.-P.-C. (2006). *"A Probabistic Design Model Proposal for Structural Glass Plates*. Budapest (Hungria: Pollack Periodica.
- Maderame. (2017). *El Vidrio Laminado: Definición y Usos*. Obtenido de <https://maderame.com/vidrio-laminado/>
- Miguel, C., & Jesús, M. (2015). *Nuevo concepto de elementos estructurales horizontales de vidrio: placa autoportante y pretensada en forma de pi*. España: (Doctoral dissertation, Arquitectura).
- N.N. Nemeth, J. M. (1990). *"Ceramics Analysis and Reliability Evaluation of Structures (CARES)"*. NASA technical paper 2916.
- Novas Perez, S. (2015). *El vidrio como material estructural*. CORUÑA: Universidade da Coruña. Escola Técnica Superior de Arquitectura.
- Ramos, A., Muñoz-Calvente, M., Fernández, P., Canteli, A. F., & Lamela, M. J. (2 de JULIO-AGOSTO de 2015). boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio. *Análisis probabilístico de elementos de vidrio recocido mediante una distribución triparamétrica Weibull*, págs. 54(4), 153-158.
- Revestimientos. (s.f.). *Revestimientos*. Obtenido de <http://www.revestimientos.ws/vidrio/vidrio-serigrafado.html>

Sanz-Ablanedo, E. (octubre-diciembre de 2010). *Materiales de construcción*. Obtenido de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/612/659>
Vidrios de seguridad. (17 de Octubre de 2017). Obtenido de <http://4b2011jgaq.blogspot.com/2011/10/vidrios-de-seguridad-templados-y.html>
 W.L. Beason, T. K. (1996). *Basis for ASTM E-1300 Glass Thickness Selection Procedur*. EEUU: Texas A&M University.

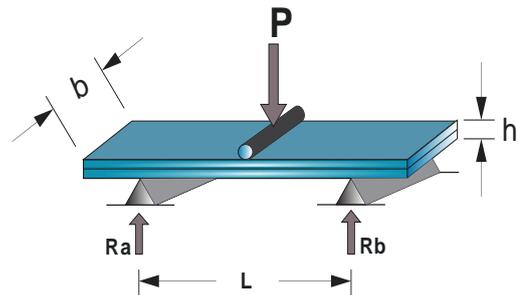
ANEXOS

1. Desarrollo de resultados por probeta.

1.1 Ensayo de probeta N° 1

Tabla 5 - Carga deformación Probeta N° 1

	Deformación (mm)	Carga (N)
	0.00	33.887
	0.13	192.642
	0.25	351.396
	0.38	420.501
	0.51	476.532
	0.64	536.298
	0.89	631.551
	0.89	657.699
	1.02	693.185
	1.14	717.465
	1.27	717.465
	1.45	730.539
	1.52	760.422
	1.66	777.232
	2.64	777.232
Desviación estándar	0.696	227.958
Promedio	0.959	564.936



Características de la probeta

Espesor (h) = 10.15 mm

Ancho (b) = 100 mm

Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

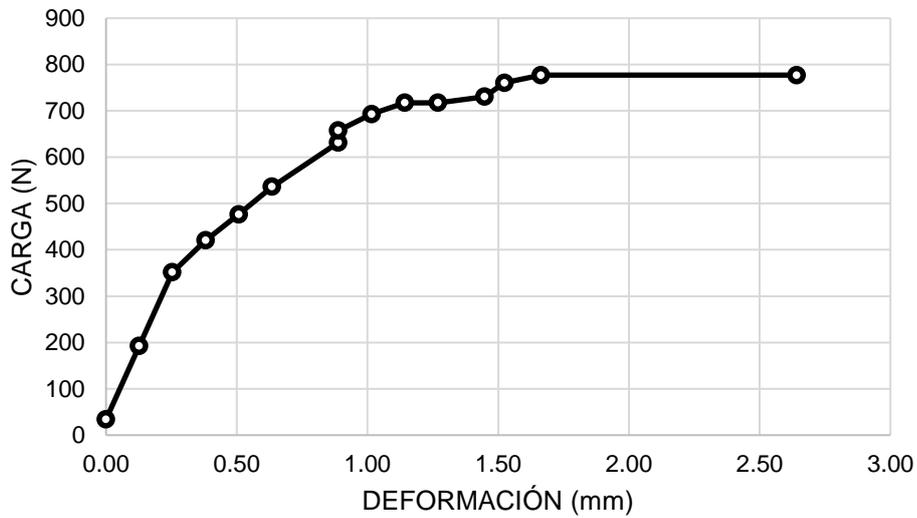


Gráfico 5

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 315.78 \text{ N}$
 $R_{B1} = 315.78 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A2} = 388.62 \text{ N}$
 $R_{B2} = 388.62 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

$M_{C1} = 36314.18 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 10.16 \text{ mm}$
 $y = 5.08 \text{ mm}$
 $I_1 = 8739.77 \text{ mm}^4$
 $\sigma_{\tau 1} = 21.11 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

$M_{C2} = 44690.84 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 5.08 \text{ mm}$
 $y = 2.54 \text{ mm}$
 $I_2 = 1092.47 \text{ mm}^4$
 $\sigma_{\tau 2} = 103.91 \text{ N/mm}^2$

Diagrama de Fuerza cortante probeta 1

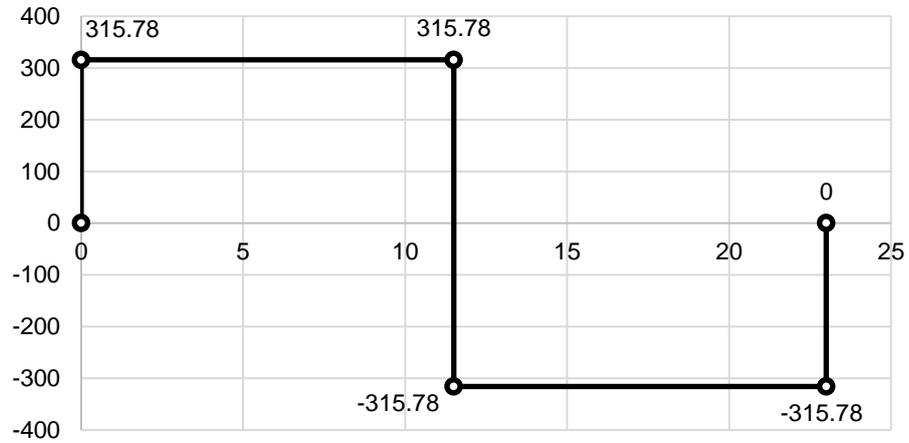


Gráfico 6

Diagrama de Momento Flector probeta 1

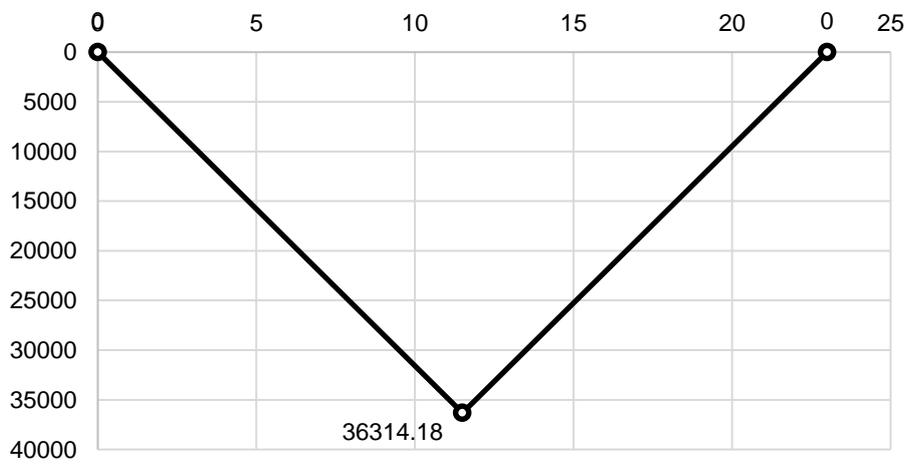
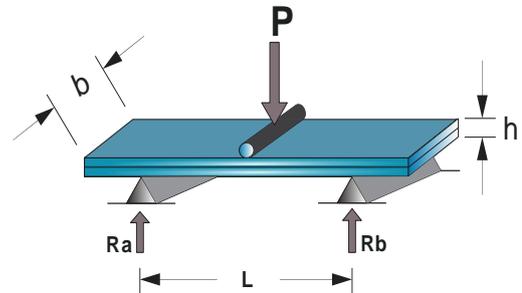


Gráfico 7

1.2 Ensayo de probeta N° 2

Tabla 6 - Carga deformación
Probeta N° 2

Deformación (mm)	Carga (N)
0.00	33.887
0.13	159.023
0.25	286.027
0.38	375.676
0.51	429.839
0.64	431.707
0.76	437.310
0.89	568.049
1.30	646.493
1.40	661.434
1.55	691.317
1.65	709.994
2.77	775.364
Desviación estándar	0.570
Promedio	0.787



Características de la probeta

Espesor (h) = 10.15 mm
Ancho (b) = 100 mm
Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

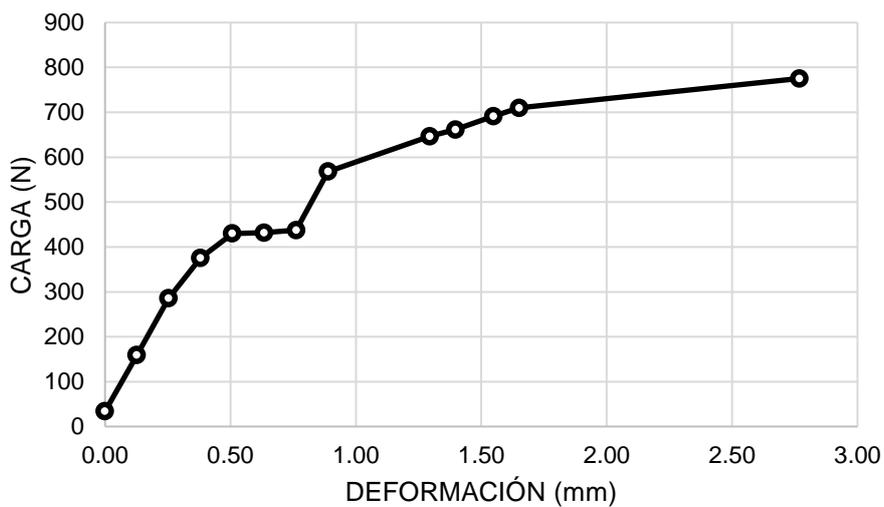


Gráfico 8

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 218.66 \text{ N}$
 $R_{B1} = 218.66 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A2} = 387.68 \text{ N}$
 $R_{B2} = 387.68 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

$M_c = 25145.33 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 10.16 \text{ mm}$
 $y = 5.08 \text{ mm}$
 $I = 8739.77 \text{ mm}^4$
 $\sigma_\tau = 14.62 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

$M_c = 44583.43 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 5.08 \text{ mm}$
 $y = 2.54 \text{ mm}$
 $I = 1092.47 \text{ mm}^4$
 $\sigma_\tau = 103.66 \text{ N/mm}^2$

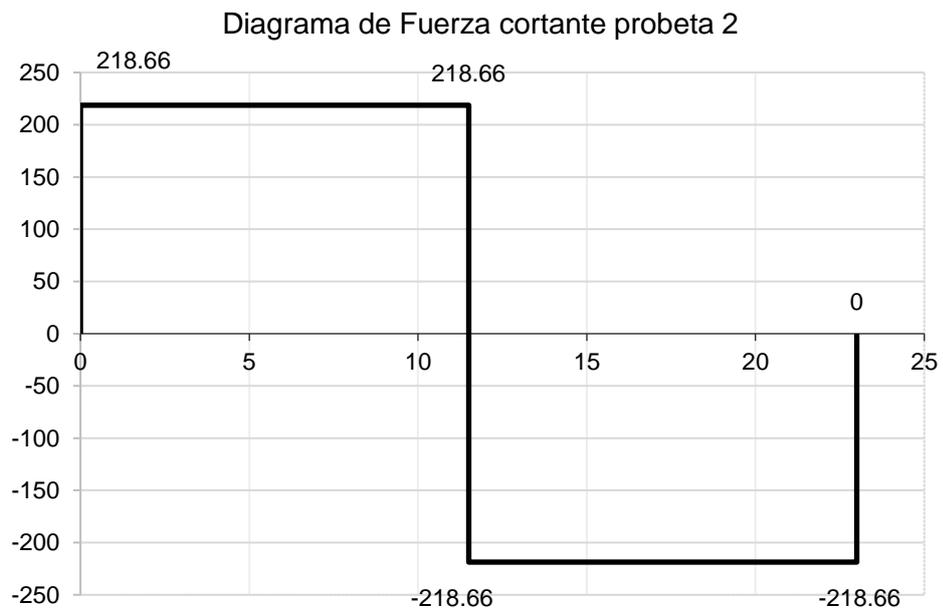


Gráfico 9

Diagrama de Momento Flector probeta 2

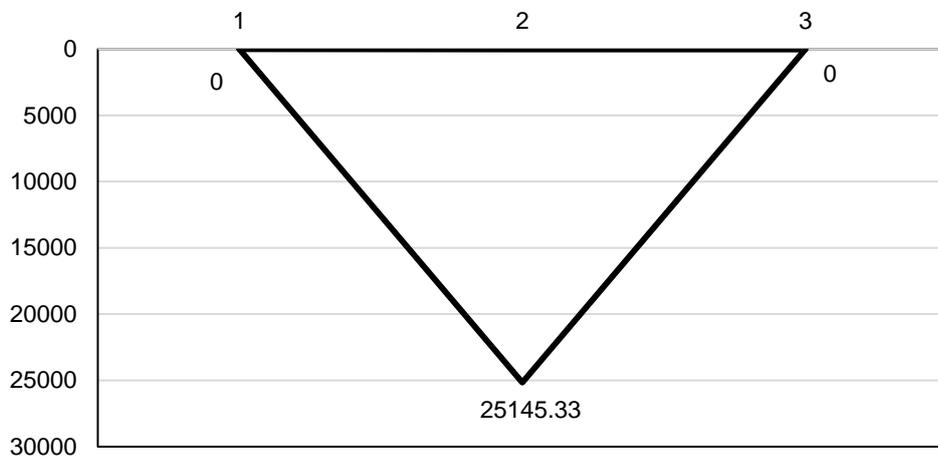
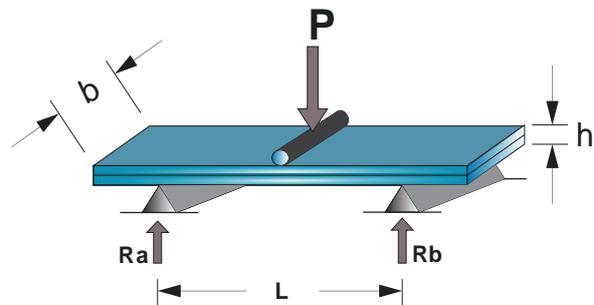


Gráfico 10

1.3 Ensayo de probeta N° 3

Tabla 7 - Carga deformación probeta N° 3

Deformación (mm)	Carga (N)
0.00	33.887
0.13	117.934
0.25	271.085
0.38	358.867
0.51	411.162
0.64	470.929
0.76	534.431
0.90	553.108
1.02	553.108
1.14	639.022
1.27	642.757
1.75	680.111
1.78	683.847
2.86	795.909
Desviación estándar	0.573
Promedio	0.810



Características de la probeta

Altura (h) = 10.16 mm
 Base (b) = 100 mm
 Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

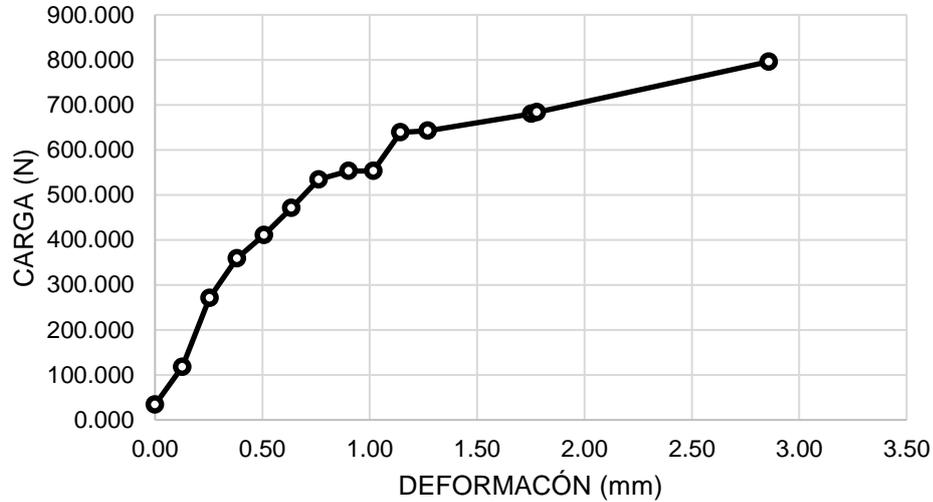


Gráfico 11

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 276.55 \text{ N}$
 $R_{B2} = 276.55 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A1} = 397.95 \text{ N}$
 $R_{B2} = 397.95 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

$M_C = 31803.71 \text{ N}\cdot\text{mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 10.16 \text{ mm}$
 $y = 5.08 \text{ mm}$
 $I = 8739.77 \text{ mm}^4$
 $\sigma_\tau = 18.49 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

$M_C = 45764.77 \text{ N}\cdot\text{mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 5.08 \text{ mm}$
 $y = 2.54 \text{ mm}$
 $I = 1092.47 \text{ mm}^4$
 $\sigma_\tau = 106.40 \text{ N/mm}^2$

Diagrama de Fuerza cortante probeta 3

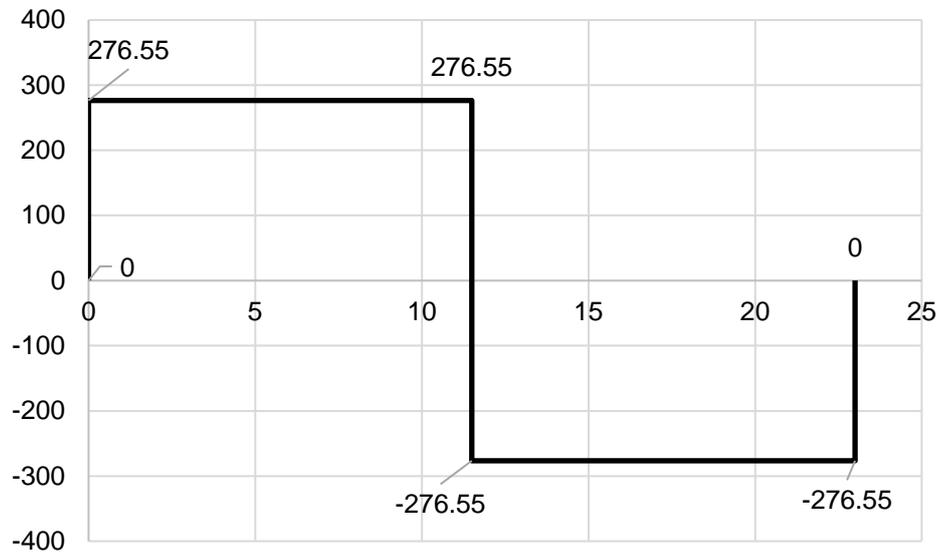


Gráfico 12

Diagrama de Momento Flector probeta 3

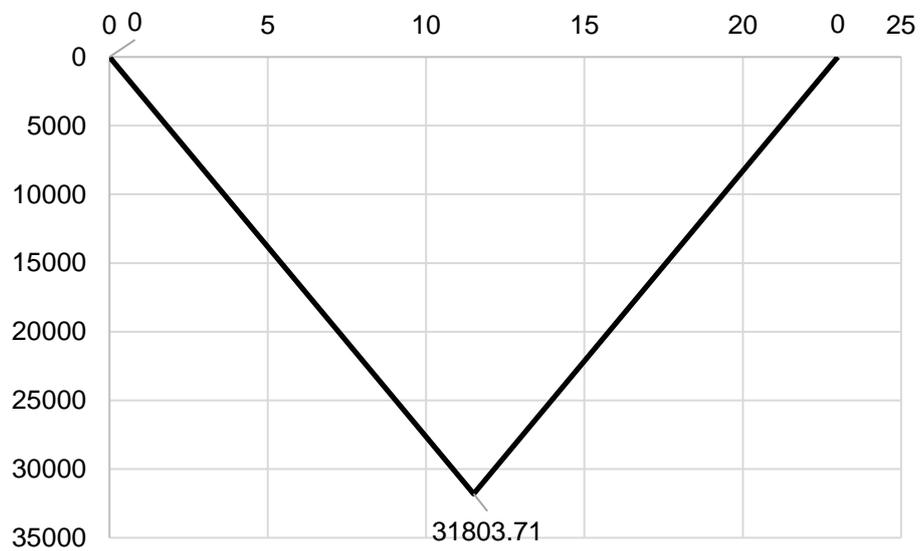
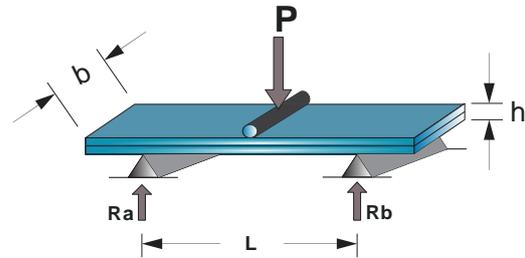


Gráfico 13

1.4 Ensayo de probeta N° 4

Tabla 8 - Carga deformación probeta N° 4

Deformación (mm)	Carga (N)
0.00	33.887
0.13	80.580
0.25	403.692
0.38	525.092
0.51	577.388
0.64	629.683
0.76	676.376
0.89	723.068
1.02	775.364
1.38	838.866
2.29	965.869
Desviación estándar	0.429
Promedio	0.596



Características de la probeta

Altura (h) = 10.16 mm
 Base (b) = 100 mm
 Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

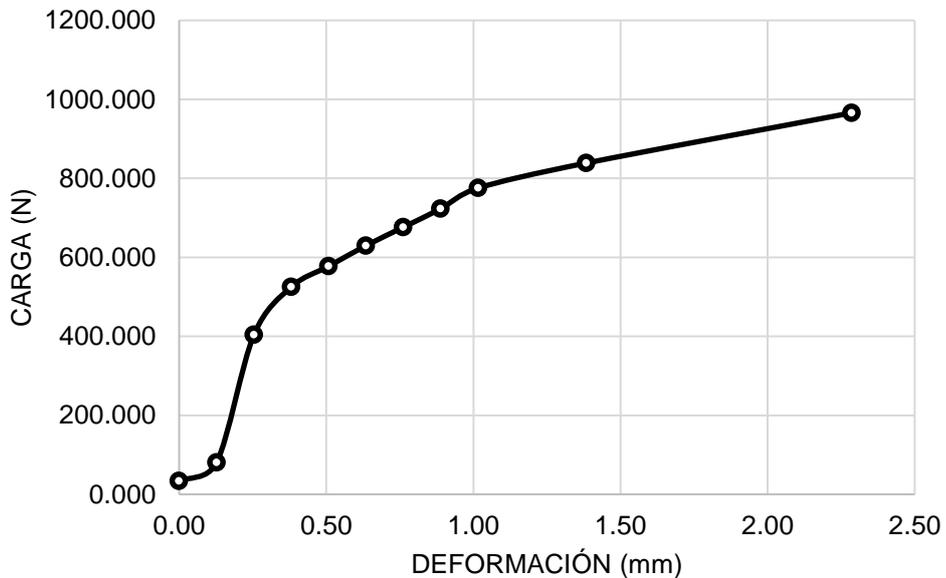


Gráfico 14

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 387.68 \text{ N}$
 $R_{B1} = 387.68 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A2} = 482.93 \text{ N}$
 $R_{B2} = 482.93 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

$M_c = 44583.43 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 10.16 \text{ mm}$
 $y = 5.08 \text{ mm}$
 $I = 8739.77 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 25.91 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

$M_c = 55537.47 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 5.08 \text{ mm}$
 $y = 2.54 \text{ mm}$
 $I = 1092.47 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 129.12 \text{ N/mm}^2$

Diagrama de Fuerza cortante probeta 4

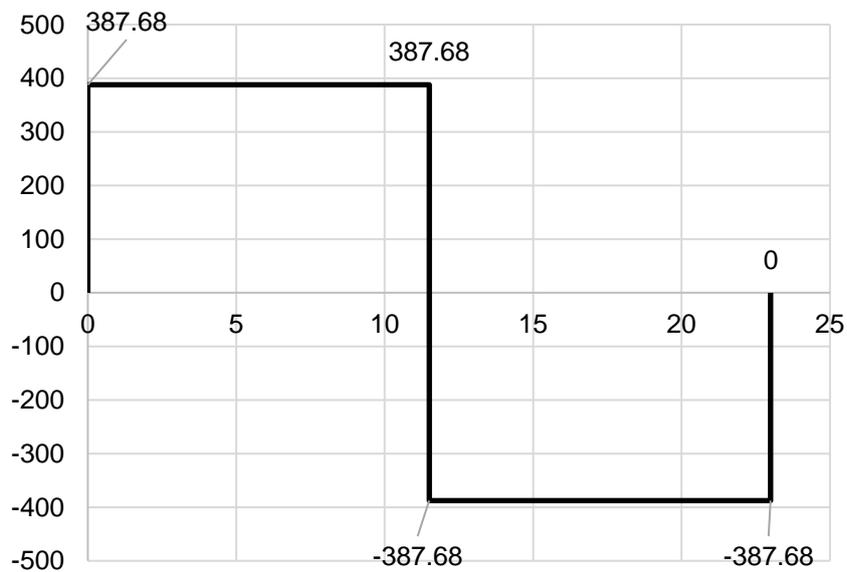


Gráfico 15

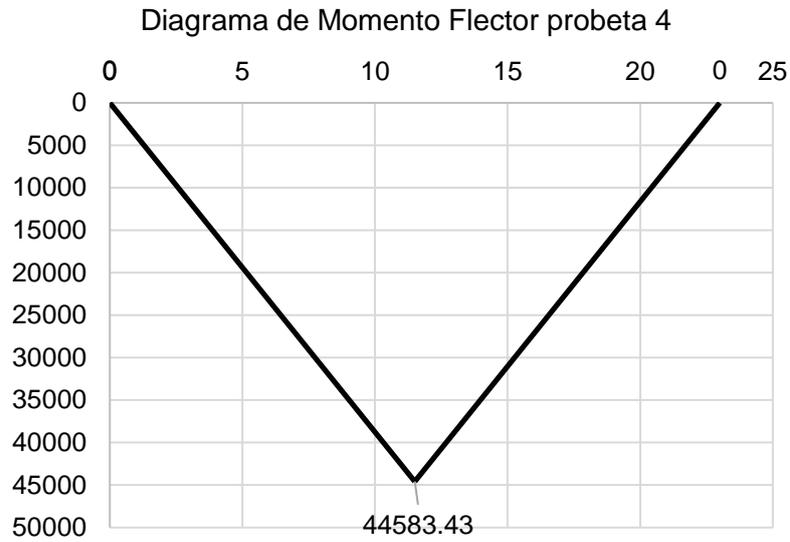
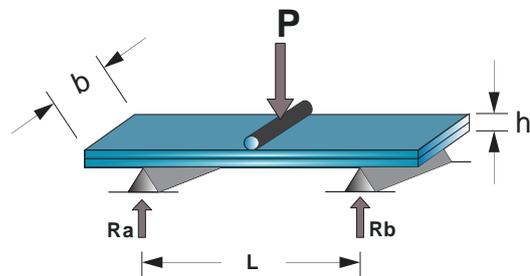


Gráfico 16

1.5 Ensayo de probeta N° 5

Tabla 9 - Carga deformación probeta N° 5

Deformación (mm)	Carga (N)
0.00	33.887
0.13	45.093
0.25	188.906
0.38	327.116
0.51	377.544
0.64	435.443
0.76	487.738
0.89	487.738
1.02	581.123
1.50	639.022
2.50	779.099
Desviación estándar	0.453
Promedio	0.607



Características de la probeta

Altura (h) = 10.16 mm

Base (b) = 100 mm

Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

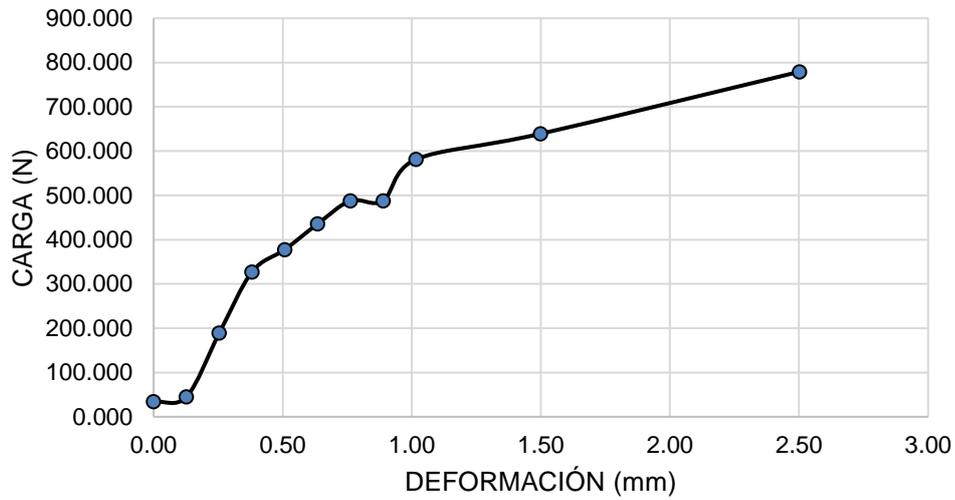


Gráfico 17

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 243.87 \text{ N}$
 $R_{B1} = 243.87 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A2} = 389.55 \text{ N}$
 $R_{B2} = 389.55 \text{ N}$

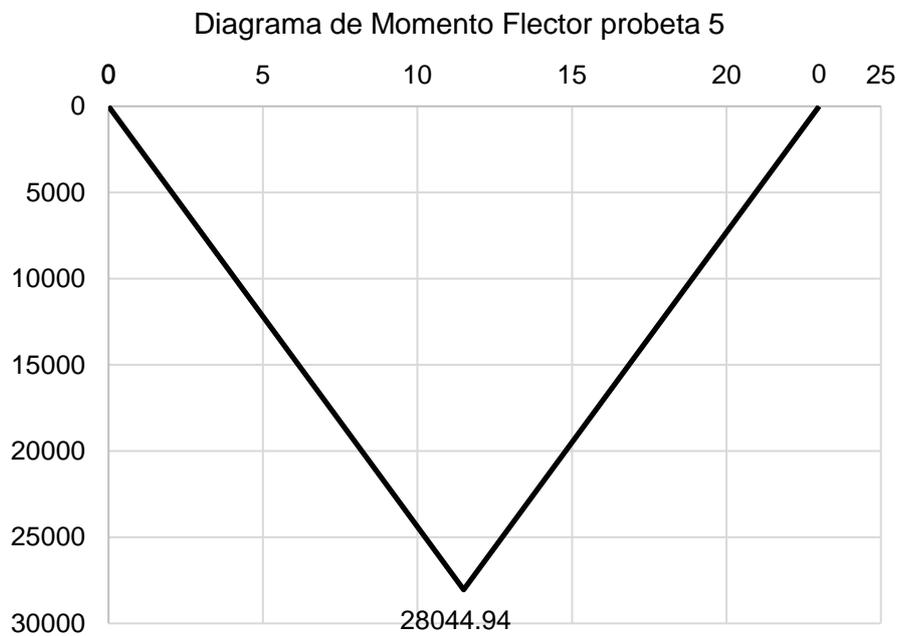
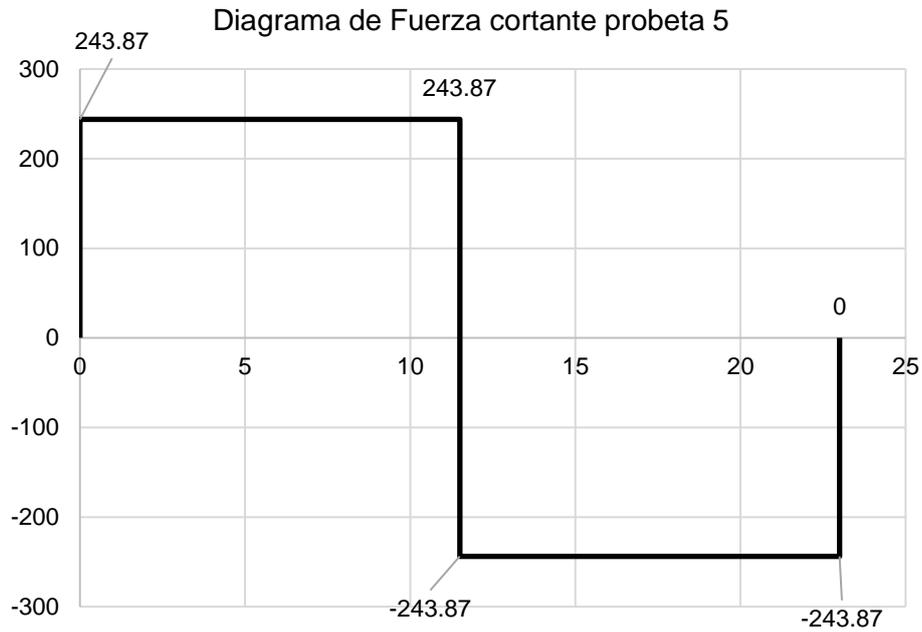
Momentos

Vidrio Inferior

$M_C = 28044.94 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 10.16 \text{ mm}$
 $y = 5.08 \text{ mm}$
 $I = 8739.77 \text{ mm}^4$
 $\sigma_\tau = 16.30 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

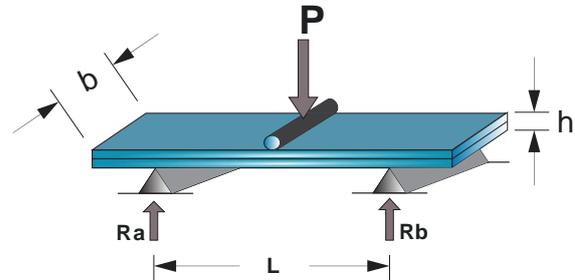
$M_C = 44798.19 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 5.08 \text{ mm}$
 $y = 2.54 \text{ mm}$
 $I = 1092.47 \text{ mm}^4$
 $\sigma_\tau = 104.16 \text{ N/mm}^2$



1.6 Ensayo de probeta N° 6

Tabla 10 - Carga deformación
probeta N° 6

Deformación (mm)	Carga (N)
0.00	33.887
0.13	33.887
0.25	91.786
0.38	145.949
0.51	190.774
0.64	224.392
0.76	224.392
0.89	330.851
1.02	368.205
1.14	396.221
1.27	416.766
1.40	427.972
1.52	427.972
1.65	489.606
1.78	519.489
1.91	519.489
2.03	611.006
2.16	625.948
2.29	640.890
2.41	652.096
2.54	670.773
2.67	687.582
2.79	702.524
2.92	715.598
3.05	734.275
Desviación estándar	0.898 221.565
Promedio	1.461 422.836



Características de la probeta

Altura (h) = 8.15 mm

Base (b) = 100 mm

Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

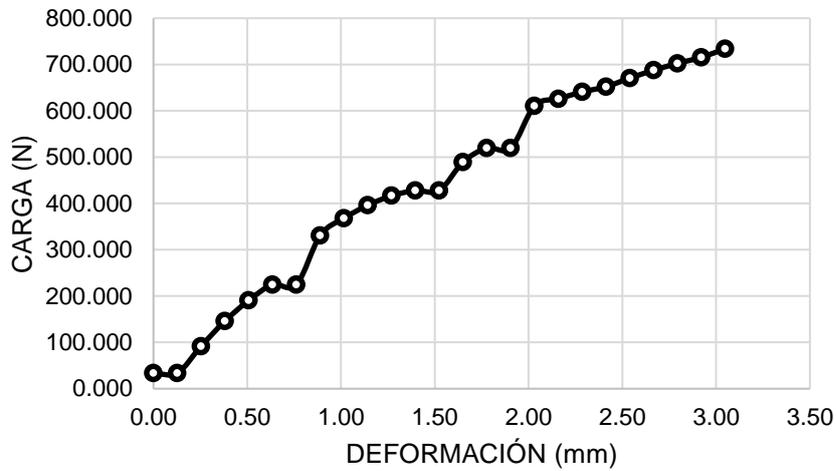


Gráfico 20

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 112.20 \text{ N}$
 $R_{B1} = 112.20 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A2} = 367.14 \text{ N}$
 $R_{B2} = 367.14 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

$M_c = 12902.54 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 8.15 \text{ mm}$
 $y = 4.08 \text{ mm}$
 $I = 4511.19 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 11.65 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

$M_c = 42220.81 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 5.08 \text{ mm}$
 $y = 2.54 \text{ mm}$
 $I = 1092.47 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 98.16 \text{ N/mm}^2$

Diagrama de Fuerza cortante probeta 6

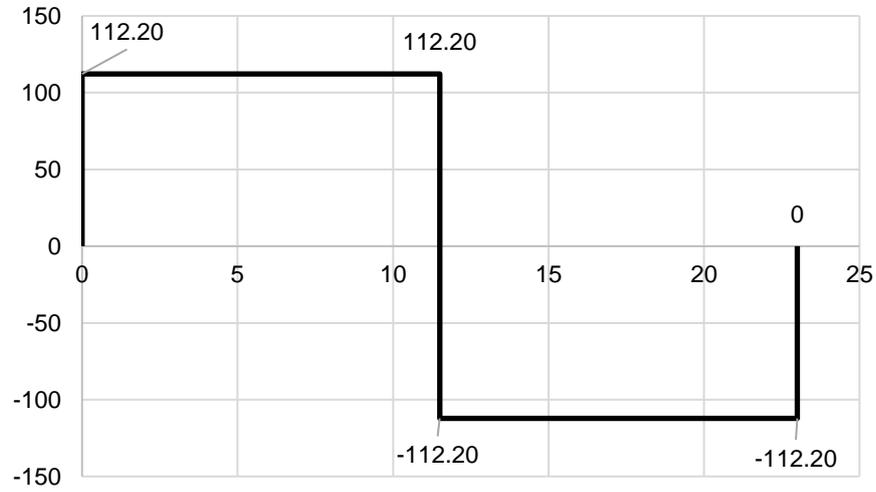


Gráfico 21

Diagrama de Momento Flector probeta 6

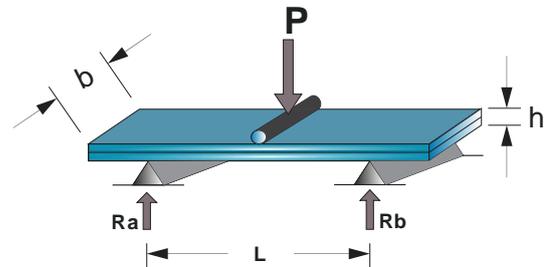


Gráfico 22

1.7 Ensayo de probeta N° 7

Tabla 11 - Carga deformación probeta N° 7

Deformación (mm)	Carga (N)
0.00	33.887
0.13	33.887
0.25	52.564
0.38	117.934
0.51	170.229
0.64	222.525
0.76	276.688
0.89	332.719
1.02	360.735
1.14	388.750
1.27	407.427
1.40	437.310
1.52	461.590
1.65	485.870
1.78	500.812
1.91	504.547
2.03	566.182
2.16	566.182
2.29	566.182
2.41	566.182
2.54	579.255
2.67	586.726
2.79	594.197
2.92	601.668
3.05	592.329
3.18	592.329
Desviación estándar	0.935
Promedio	1.524



Características de la probeta

Altura (h) = 8.20 mm

Base (b) = 100 mm

Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

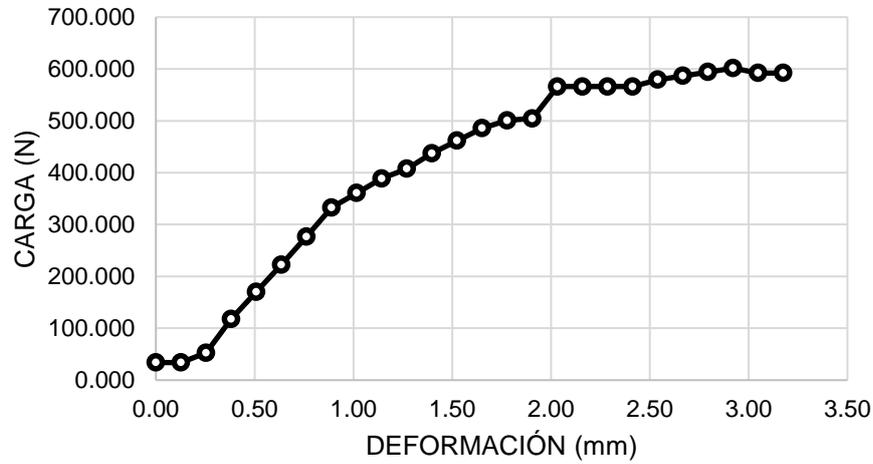


Gráfico 23

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 252.27 \text{ N}$
 $R_{B1} = 252.27 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A2} = 296.16 \text{ N}$
 $R_{B2} = 296.16 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

$M_c = 29011.45 \text{ N}\cdot\text{mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 8.20 \text{ mm}$
 $y = 4.10 \text{ mm}$
 $I = 4594.73 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 25.89 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

$M_c = 34058.92 \text{ N}\cdot\text{mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 5.08 \text{ mm}$
 $y = 2.54 \text{ mm}$
 $I = 1092.47 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 79.19 \text{ N/mm}^2$

Diagrama de Fuerza cortante probeta 7

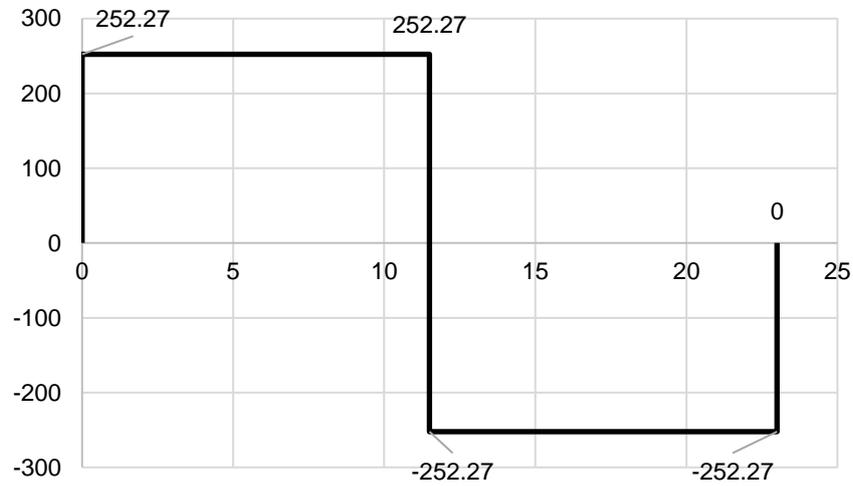


Gráfico 24

Diagrama de Momento Flector probeta 7

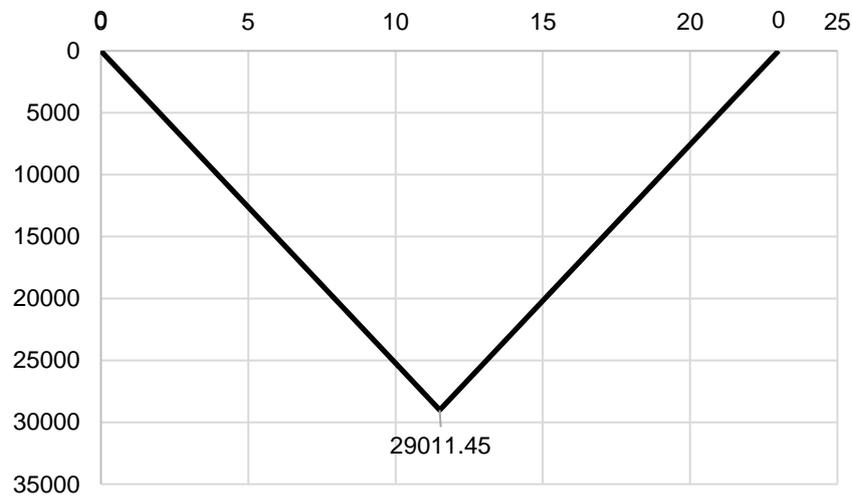
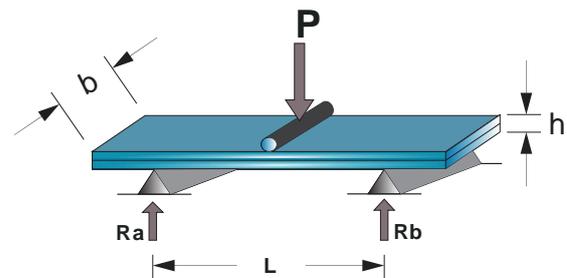


Gráfico 25

1.8 Ensayo de probeta N° 8

Tabla 12 - Carga deformación probeta N° 8

Deformación (mm)	Carga (N)
0.00	33.887
0.13	33.887
0.25	82.447
0.38	136.611
0.51	183.303
0.64	248.673
0.76	315.910
0.89	351.396
1.02	377.544
1.14	401.824
1.27	424.236
1.40	452.252
1.52	478.400
1.65	504.547
1.78	526.960
1.91	521.357
2.03	521.357
2.16	521.357
2.29	521.357
2.41	521.357
2.54	521.357
2.67	521.357
2.79	521.357
2.92	521.357
3.05	521.357
3.18	521.357
3.30	521.357
3.43	521.357
3.56	521.357
3.68	521.357
3.81	521.357
3.94	526.960
4.06	538.166
4.19	547.505
4.32	553.108
Desviación estándar	1.265
Promedio	2.096



Características de la probeta

Altura (h) = 8.15 mm

Base (b) = 100 mm

Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

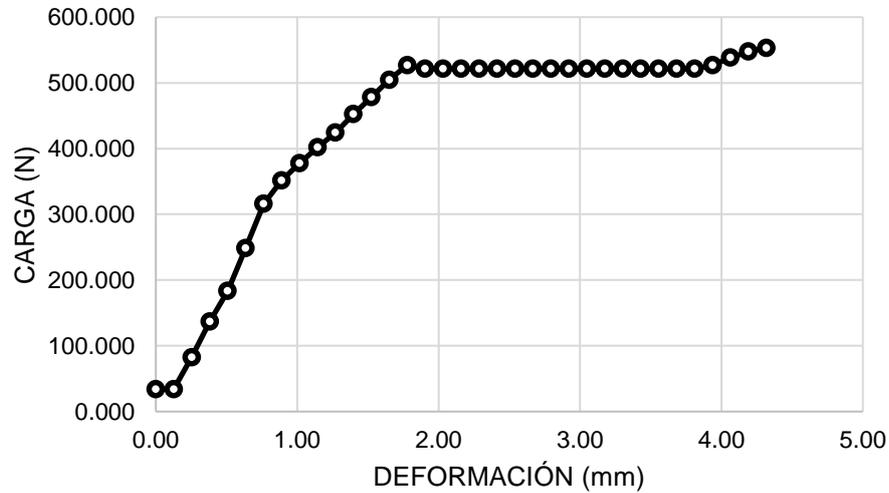


Gráfico 26

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 157.96 \text{ N}$
 $R_{B1} = 157.96 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A2} = 276.55 \text{ N}$
 $R_{B2} = 276.55 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

$M_c = 18164.83 \text{ N}\cdot\text{mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 8.15 \text{ mm}$
 $y = 4.08 \text{ mm}$
 $I = 4511.19 \text{ mm}^4$
 $\sigma_\tau = 16.41 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

$M_c = 31803.71 \text{ N}\cdot\text{mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 4.08 \text{ mm}$
 $y = 2.04 \text{ mm}$
 $I = 563.90 \text{ mm}^4$
 $\sigma_\tau = 114.91 \text{ N/mm}^2$

Diagrama de Fuerza cortante probeta 8

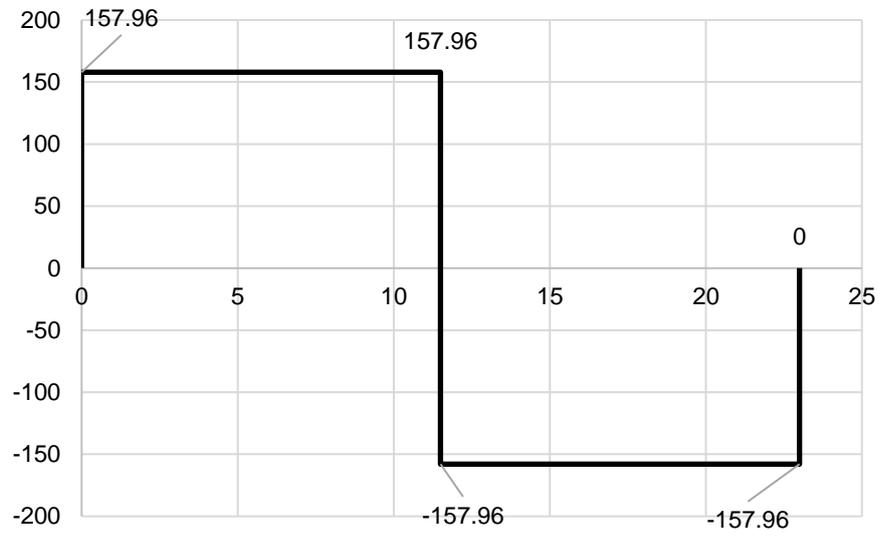


Gráfico 27

Diagrama de Momento Flector probeta 8

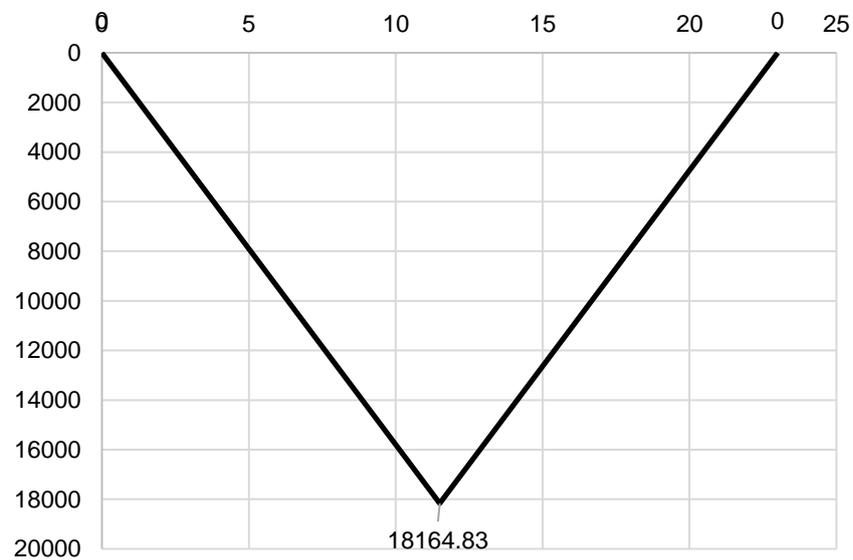
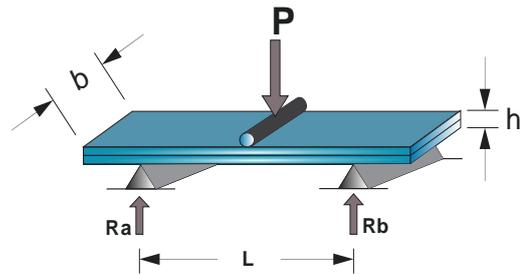


Gráfico 28

1.9 Ensayo de probeta N° 9

Tabla 13 - Carga deformación probeta
N° 9

	Deformación (mm)	Carga (N)
	0.00	33.887
	0.13	33.887
	0.25	52.564
	0.38	114.198
	0.51	183.303
	0.64	254.276
	0.76	319.645
	0.89	355.131
	1.02	385.015
	1.14	407.427
	1.27	407.427
	1.40	407.427
	1.52	498.944
	1.65	498.944
	1.78	500.812
Desviación estándar	0.568	172.730
Promedio	0.889	296.859



Características de la probeta

Altura (h) = 8.15 mm

Base (b) = 100 mm

Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

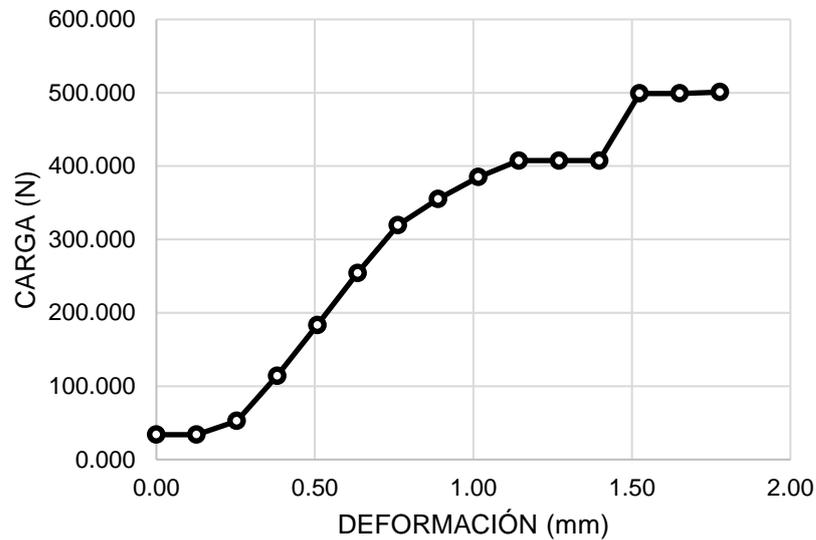


Gráfico 29

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 159.82 \text{ N}$
 $R_{B1} = 159.82 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A2} = 250.41 \text{ N}$
 $R_{B2} = 250.41 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

$M_c = 18379.59 \text{ N}\cdot\text{mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 8.15 \text{ mm}$
 $y = 4.08 \text{ mm}$
 $I = 4511.19 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 16.60 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

$M_c = 28796.69 \text{ N}\cdot\text{mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 4.08 \text{ mm}$
 $y = 2.04 \text{ mm}$
 $I = 563.90 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 104.05 \text{ N/mm}^2$

Diagrama de Fuerza cortante probeta 9

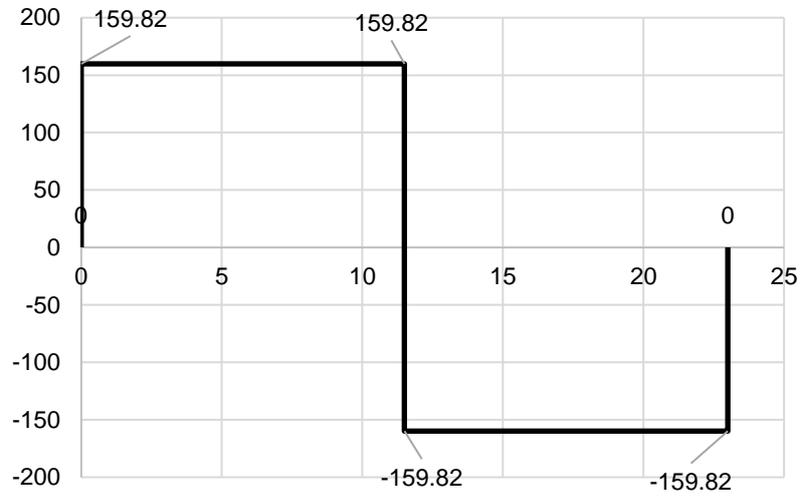


Gráfico 30

Diagrama de Momento Factor probeta 9

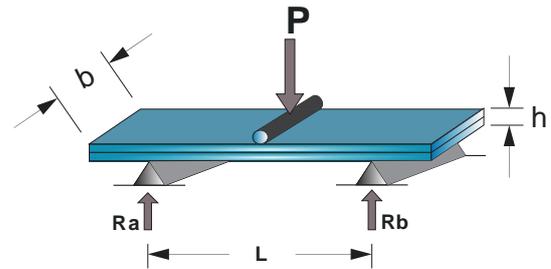


Gráfico 31

1.10 Ensayo de probeta N° 10

Tabla 14 - Carga deformación probeta N° 10

Deformación (mm)	Carga (N)
0.00	33.887
0.13	95.521
0.25	179.568
0.38	239.334
0.51	286.027
0.64	325.248
0.76	366.338
0.89	388.750
1.02	416.766
1.14	429.839
1.27	429.839
1.40	487.738
1.52	530.695
1.65	538.166
1.78	551.240
1.91	564.314
2.03	564.314
2.16	564.314
2.29	564.314
2.41	564.314
2.54	564.314
2.67	590.462
2.79	590.462
2.92	590.462
3.05	403.692
3.18	403.692
Desviación estándar	0.971
Promedio	1.588



Características de la probeta

Altura (h) = 8.15 mm

Base (b) = 100 mm

Luz (L) = 235 mm

DIAGRÁMA CARGA DEFORMACIÓN

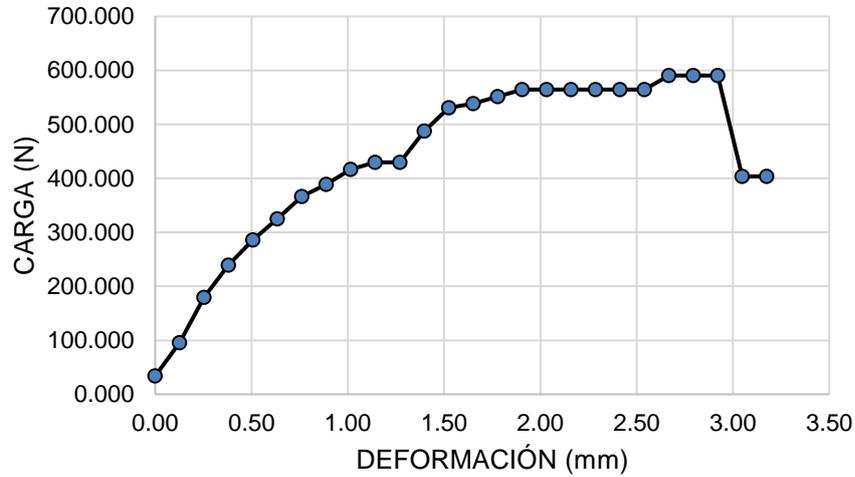


Gráfico 32

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 214.92 \text{ N}$
 $R_{B1} = 214.92 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A2} = 201.85 \text{ N}$
 $R_{B2} = 201.85 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

$M_c = 24715.74 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 8.15 \text{ mm}$
 $y = 4.08 \text{ mm}$
 $I = 4511.19 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 22.33 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

$M_c = 23212.29 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 4.08 \text{ mm}$
 $y = 2.04 \text{ mm}$
 $I = 563.90 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 83.87 \text{ N/mm}^2$

Diagrama de Fuerza cortante probeta 10

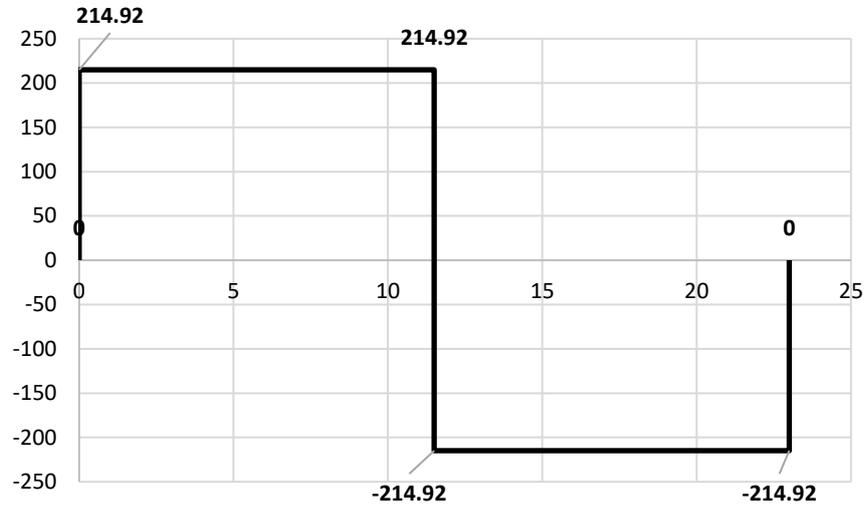


Gráfico 33

Diagrama de Momento Flector probeta 10

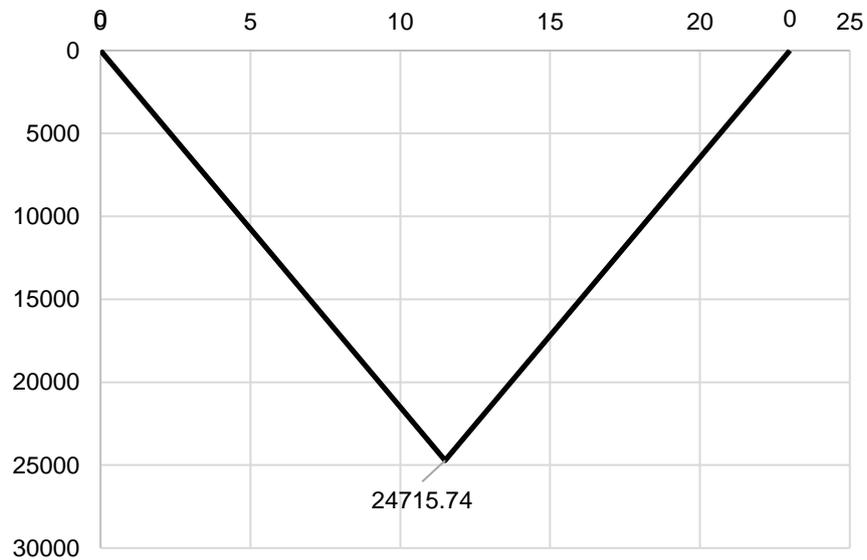
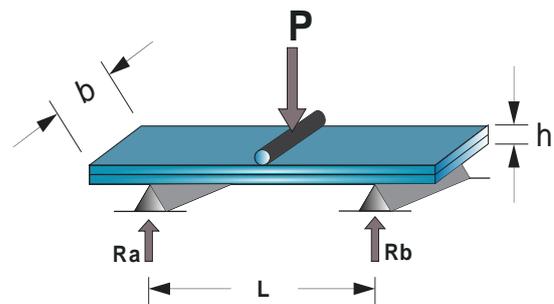


Gráfico 34

1.11 Ensayo de probeta N°11

Tabla 15 - Carga deformación probeta
N° 11

	Deformación (mm)	Carga (N)
	0.00	33.887
	0.13	33.887
	0.25	33.887
	0.38	33.887
	0.51	43.226
	0.64	65.638
	0.76	102.992
	0.89	136.611
	1.02	164.629
	1.14	183.303
	1.27	205.715
	1.40	239.334
	1.73	338.322
	1.78	334.587
	1.93	349.528
	2.03	360.735
	2.16	379.412
	2.29	398.089
	2.44	413.030
	2.54	424.236
	2.67	433.572
	2.79	459.723
	2.92	472.797
	3.00	482.135
	3.20	429.839
	3.20	433.575
Desviación estándar	1.021	165.254
Promedio	1.656	268.714



Características de la probeta

Altura (h) = 6.14 mm

Base (b) = 100 mm

Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

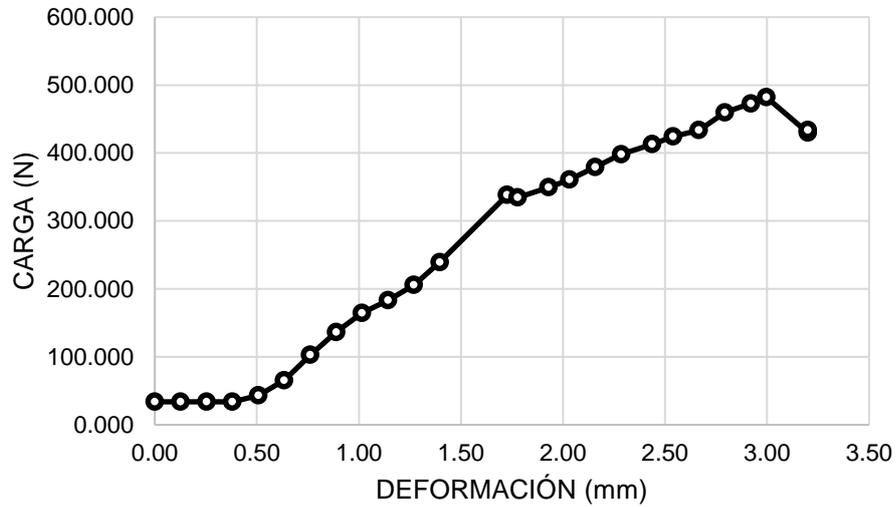


Gráfico 35

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 169.16 \text{ N}$
 $R_{B1} = 169.16 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A2} = 216.79 \text{ N}$
 $R_{B2} = 216.79 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

$M_c = 19453.52 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 6.14 \text{ mm}$
 $y = 3.07 \text{ mm}$
 $I = 1928.96 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 30.96 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

$M_c = 24930.56 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 3.07 \text{ mm}$
 $y = 1.54 \text{ mm}$
 $I = 241.12 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 158.71 \text{ N/mm}^2$

Diagrama de Fuerza cortante probeta 11

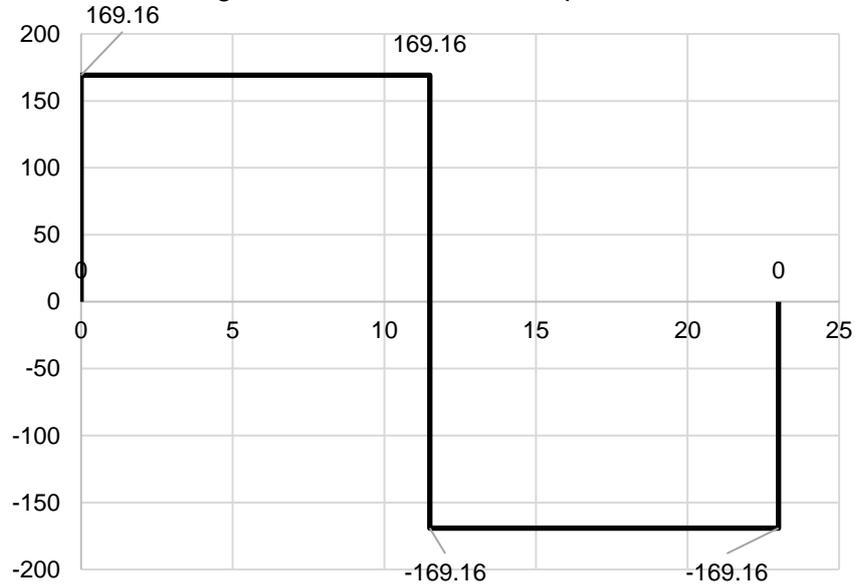


Gráfico 36

Diagrama de Momento Flector probeta 11

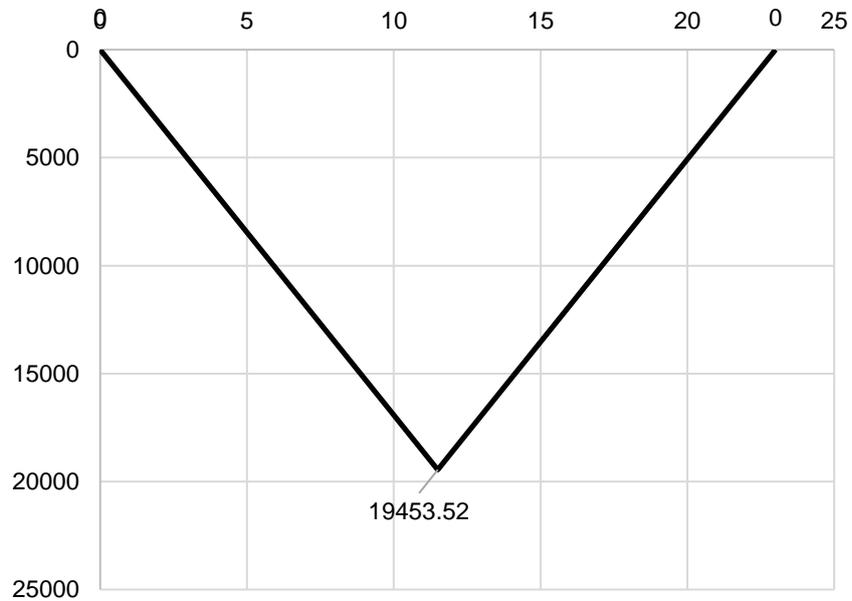
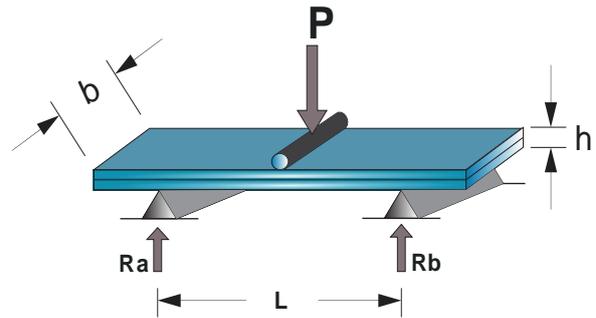


Gráfico 37

1.12 Ensayo de probeta N°12

Tabla 16 - Carga deformación
probeta N° 12

Deformación (mm)	Carga (N)
0.00	33.887
0.13	33.887
0.25	33.887
0.38	37.622
0.51	63.770
0.64	95.521
0.76	123.537
0.89	147.817
1.02	168.361
1.14	200.112
1.27	226.260
1.40	256.143
1.52	280.423
1.65	295.365
1.73	304.704
2.03	330.851
2.03	323.381
2.16	340.190
2.29	353.264
2.41	366.338
2.54	379.402
2.67	394.353
2.79	405.559
2.92	420.501
3.05	433.575
3.18	446.649
Desviación estándar	0.973 140.486
Promedio	1.590 249.822



Características de la probeta

Altura (h) = 6.14 mm

Base (b) = 100 mm

Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

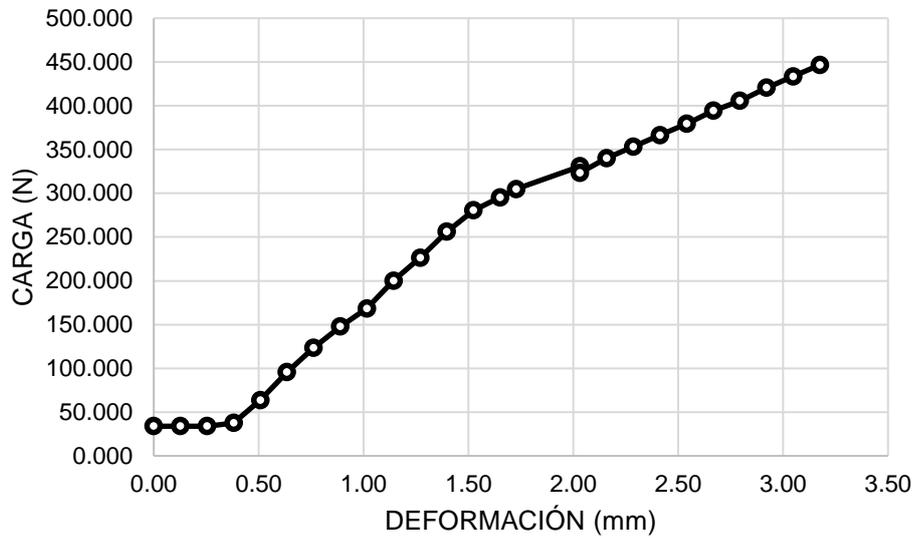


Gráfico 38

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 140.21 \text{ N}$
 $R_{B1} = 140.21 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A2} = 223.32 \text{ N}$
 $R_{B2} = 223.32 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

$M_c = 16124.32 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 6.14 \text{ mm}$
 $y = 3.07 \text{ mm}$
 $I = 1928.96 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 25.66 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

$M_c = 25682.32 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 3.07 \text{ mm}$
 $y = 1.54 \text{ mm}$
 $I = 241.12 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 163.50 \text{ N/mm}^2$

Diagrama de Fuerza cortante probeta 12

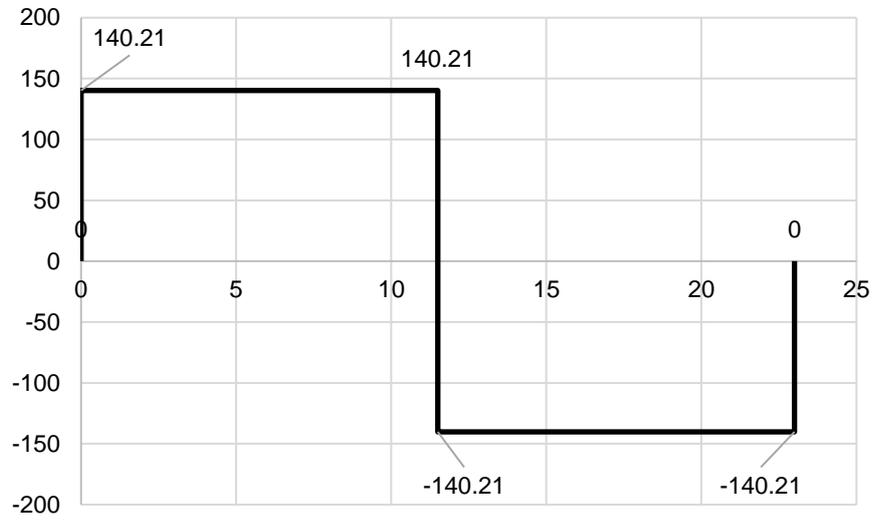


Gráfico 39

Diagrama de Momento Flector probeta 12

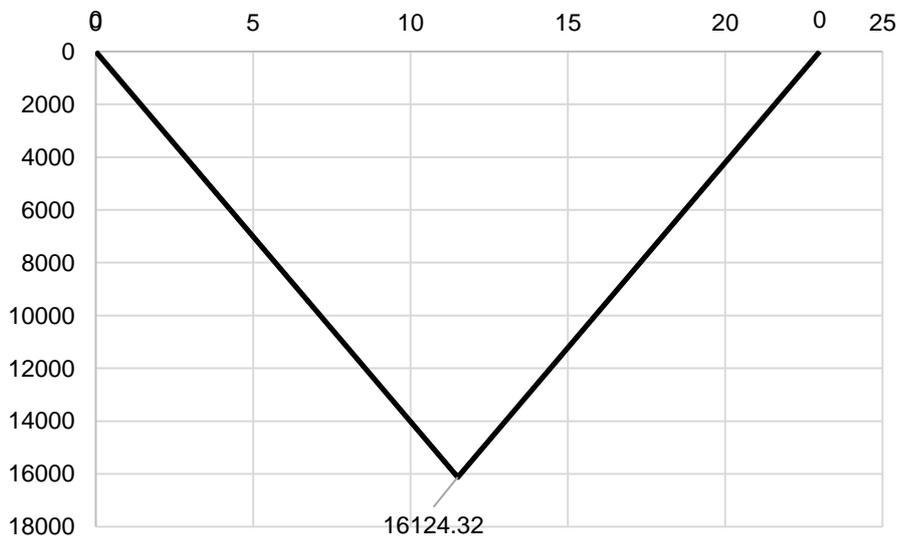
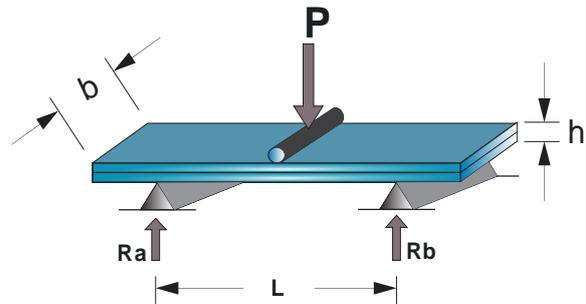


Gráfico 40

1.13 Ensayo de probeta N° 13

Tabla 17 - Carga deformación
probeta N° 13

Deformación (mm)	Carga (N)
0.00	33.887
0.13	33.887
0.25	33.887
0.38	33.887
0.51	33.887
0.64	52.564
0.76	89.918
0.89	117.934
1.02	149.684
1.14	179.568
1.27	203.848
1.40	248.673
1.52	267.350
1.65	293.497
1.78	314.042
1.91	323.381
2.03	332.719
2.25	381.279
2.29	370.073
2.41	373.808
2.54	401.824
2.64	411.162
2.79	424.236
2.95	444.781
3.05	439.178
3.15	454.120
3.30	469.061
3.40	482.135
3.56	461.590
3.68	469.061
Desviación estándar	1.117 162.412
Promedio	1.843 277.497



Características de la probeta

Altura (h) = 6.14 mm

Base (b) = 100 mm

Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

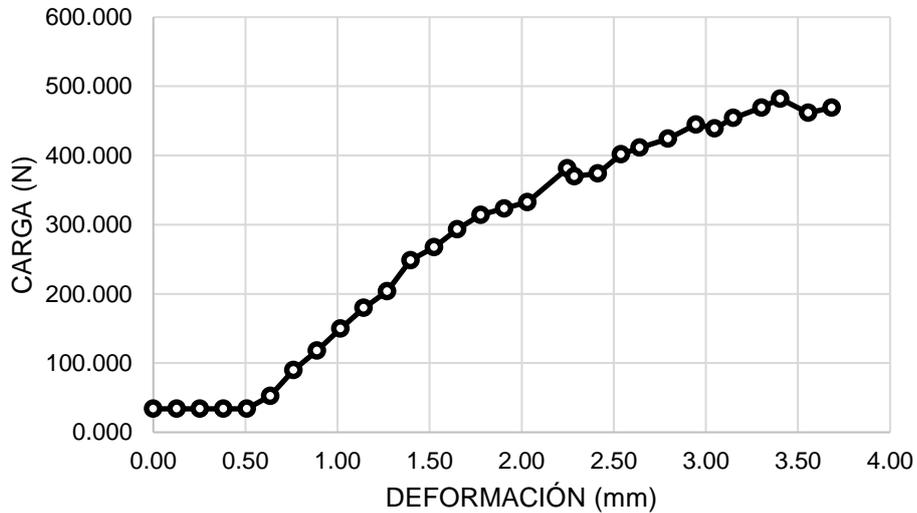


Gráfico 41

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A1} = 124.34 \text{ N}$
 $R_{B1} = 124.34 \text{ N}$

$R_{A2} = 234.53 \text{ N}$
 $R_{B2} = 234.53 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

Vidrio Superior

$M_C = 14298.70 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 6.14 \text{ mm}$
 $y = 3.07 \text{ mm}$
 $I = 1928.96 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 22.76 \text{ N/mm}^2$

$M_C = 26971.01 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 3.07 \text{ mm}$
 $y = 1.54 \text{ mm}$
 $I = 241.12 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 171.70 \text{ N/mm}^2$

Diagrama de Fuerza cortante probeta 13

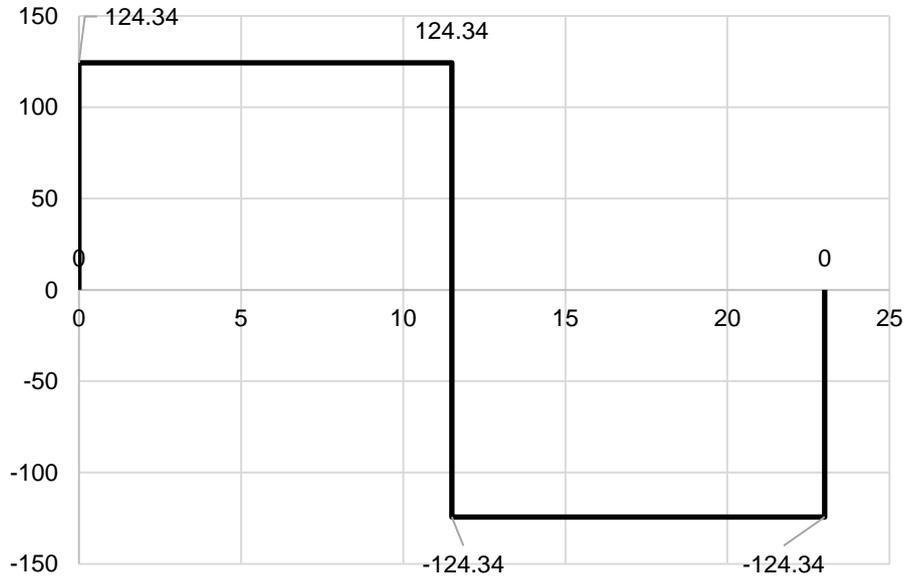


Gráfico 42

Diagrama de Momento Flector probeta 13

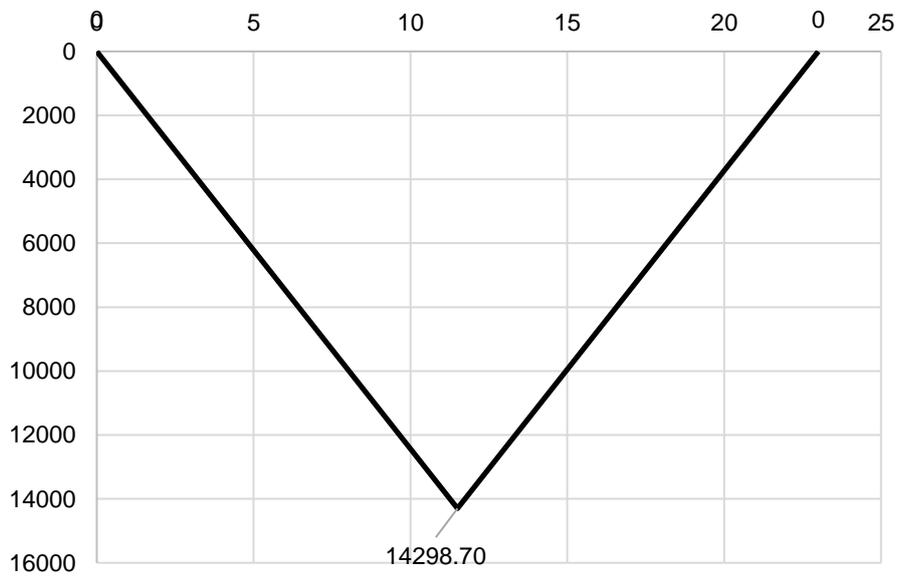
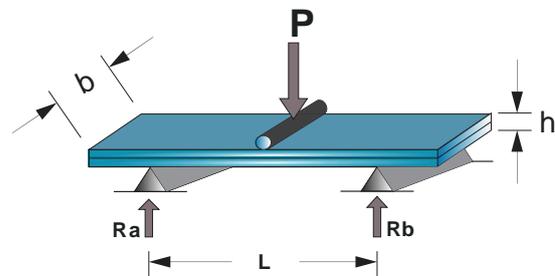


Gráfico 43

1.14 Ensayo de probeta N° 14

Tabla 18 - Carga deformación
probeta N° 14

Deformación (mm)	Carga (N)
0.00	33.887
0.13	33.887
0.25	63.170
0.38	97.389
0.51	131.007
0.64	157.155
0.76	187.038
0.89	209.451
1.02	239.334
1.14	271.085
1.27	299.100
1.40	319.645
1.52	319.645
1.65	368.205
1.78	383.147
1.91	383.147
2.03	383.147
2.16	383.147
2.29	405.559
2.41	405.559
2.54	405.559
2.67	405.559
2.79	405.559
Desviación estándar	0.861
Promedio	1.397



Características de la probeta

Altura (h) = 6.14 mm

Base (b) = 100 mm

Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

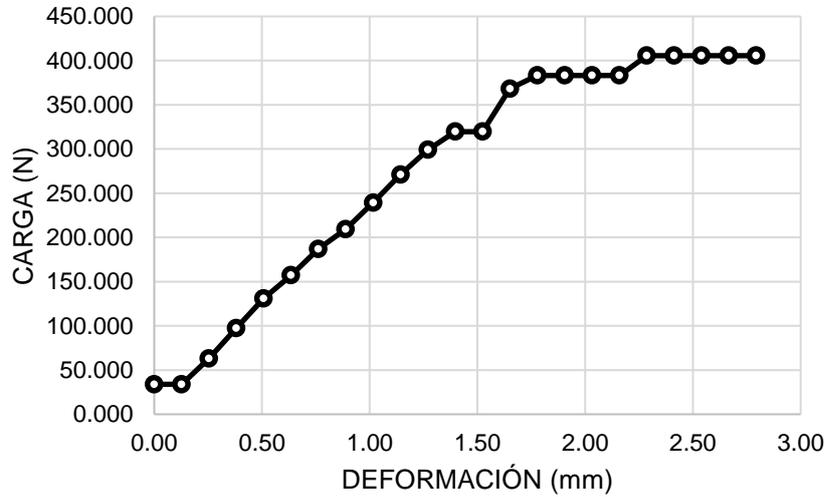


Gráfico 44

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 159.82 \text{ N}$
 $R_{B1} = 159.82 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A2} = 202.78 \text{ N}$
 $R_{B2} = 202.78 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

$M_c = 18379.59 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 6.14 \text{ mm}$
 $y = 3.07 \text{ mm}$
 $I = 1928.96 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 29.25 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

$M_c = 23319.64 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 3.07 \text{ mm}$
 $y = 1.54 \text{ mm}$
 $I = 241.12 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 148.46 \text{ N/mm}^2$

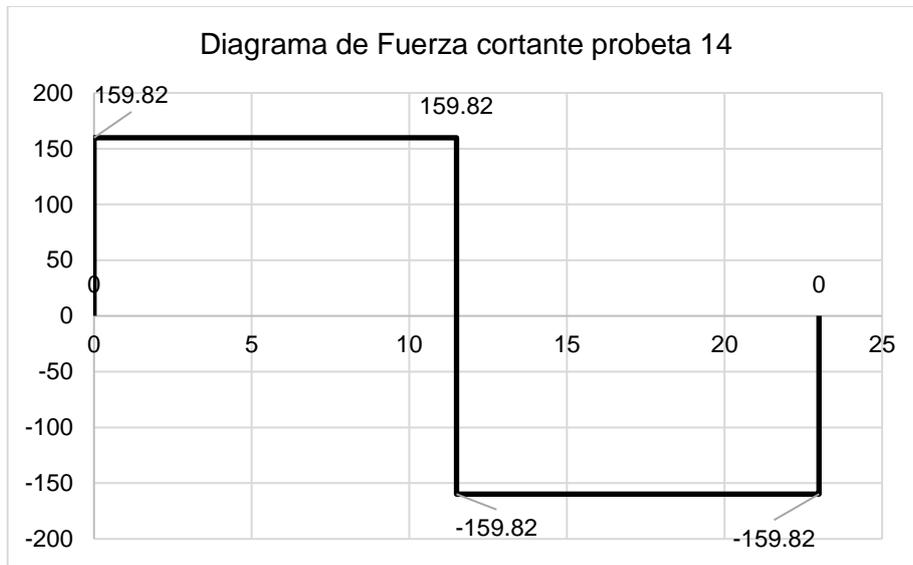


Gráfico 45

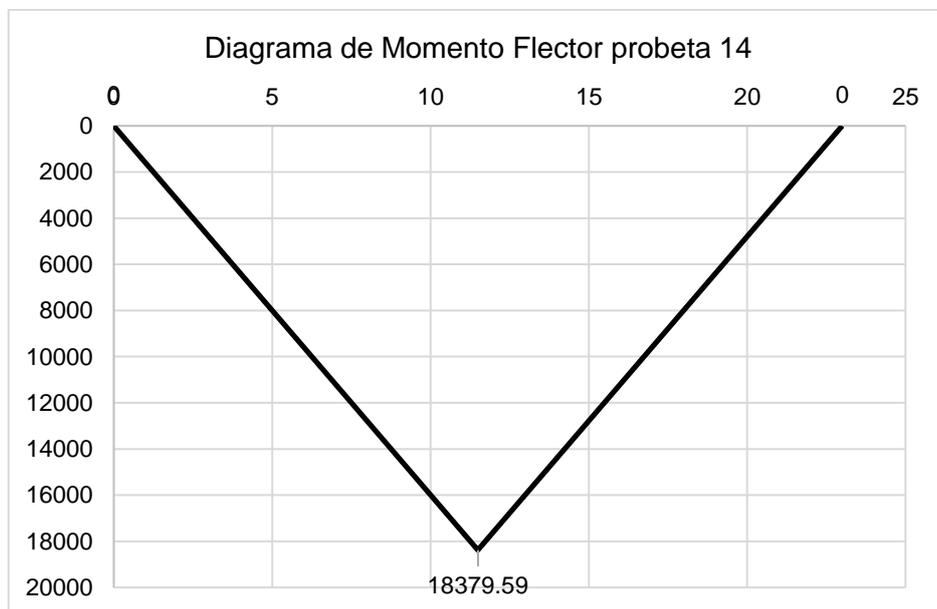
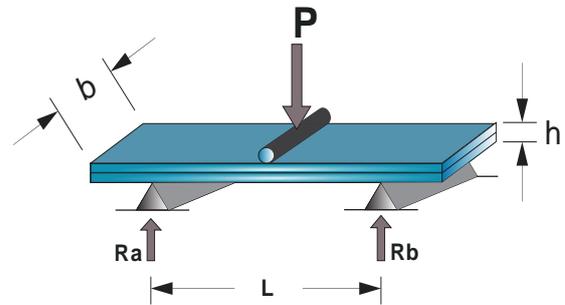


Gráfico 46

1.15 Ensayo de probeta N° 15

Tabla 19 - Carga deformación probeta N° 15

Deformación (mm)	Carga (N)
0.00	33.887
0.13	33.887
0.25	33.887
0.38	33.887
0.51	56.299
0.64	86.183
0.76	106.727
0.89	131.007
1.02	97.389
1.14	183.303
1.27	207.583
1.40	218.789
1.52	220.657
1.65	220.657
1.78	220.657
Desviación estándar	0.568 78.842
Promedio	0.889 125.653



Características de la probeta

Altura (h) = 6.14 mm

Base (b) = 100 mm

Luz (L) = 235 mm

GRÁFICA CARGA DEFORMACIÓN

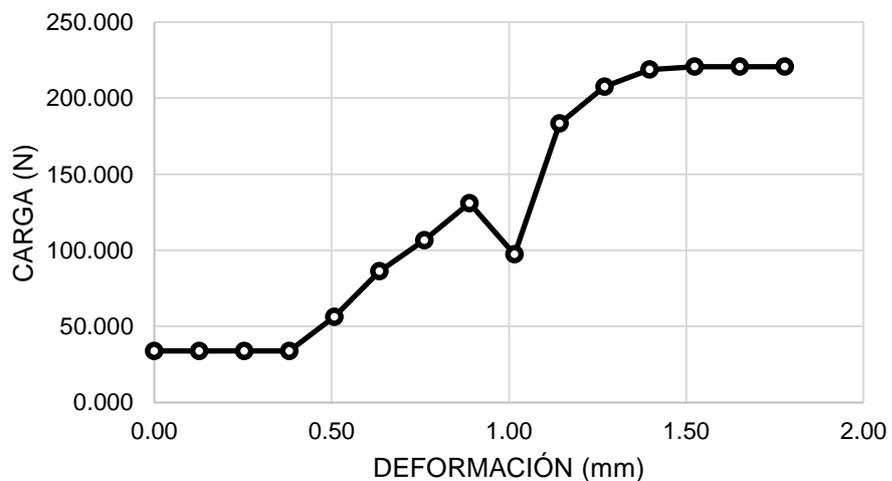


Gráfico 47

Reacciones en los apoyos.

Vidrio Inferior - 1era falla

$R_{A1} = 65.50 \text{ N}$
 $R_{B1} = 65.50 \text{ N}$

Vidrio Superior - 2da falla

$R_{A2} = 110.33 \text{ N}$
 $R_{B2} = 110.33 \text{ N}$

Momentos

Vidrio Inferior

$M_c = 7532.90 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 6.14 \text{ mm}$
 $y = 3.07 \text{ mm}$
 $I = 1928.96 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 11.99 \text{ N/mm}^2$

Vidrio Superior

$M_c = 12687.78 \text{ N.mm}$
 $b = 100.00 \text{ mm}$
 $h = 3.07 \text{ mm}$
 $y = 1.54 \text{ mm}$
 $I = 241.12 \text{ mm}^4$
 $\sigma_t = 80.77 \text{ N/mm}^2$

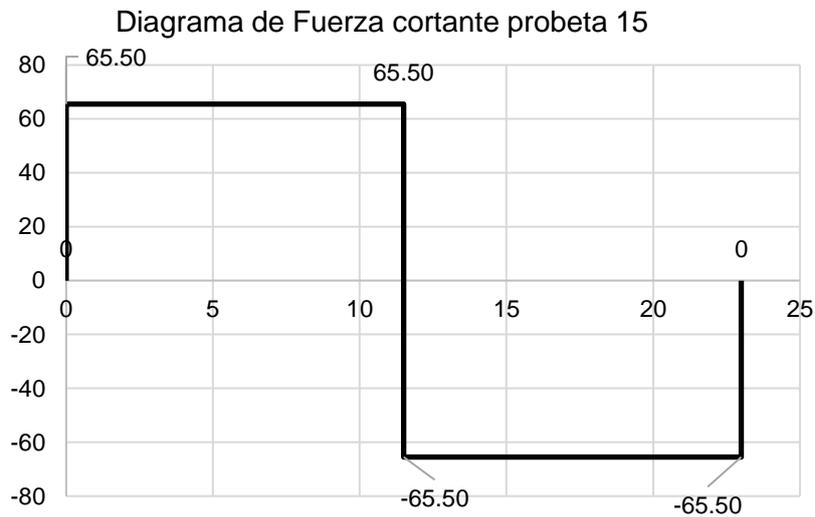
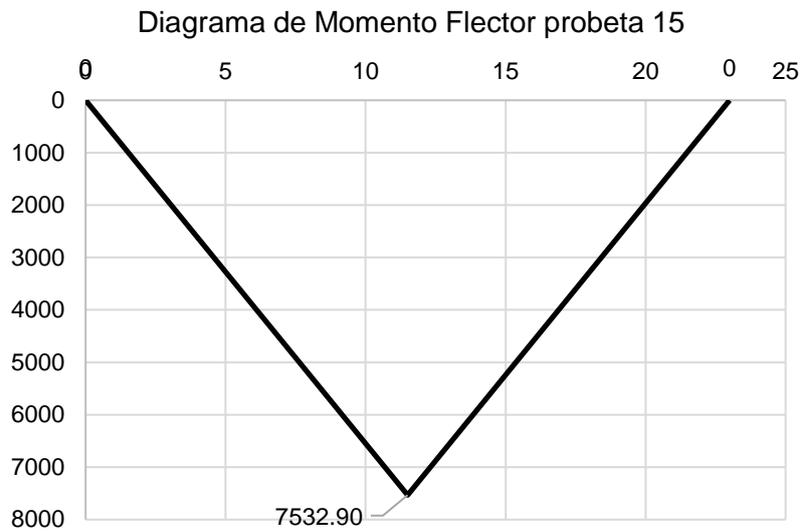


Gráfico 48



2. Cálculo del módulo de elasticidad.

$$E = \frac{-PL^3}{48 dI}$$

P = Carga de falla.

L = Longitud.

d = Deflexión máxima.

I = Inercia.

$$E = \frac{(207)(235)^3}{48 (0.38)(1928.96)}$$

$$E = 76392.96 \text{ MPa}$$

$$E = 75000 \text{ MPa}$$

3. Panel Fotográfico.



Ilustración 1 - Asesor de tesis supervisando ensayos.



Ilustración 2 - Trazado de ejes de probetas.



Ilustración 3 - Toma de dimensiones de cada probeta.



Ilustración 4 - Toma de datos, espesor de probetas de 6mm.



Ilustración 5 - Toma de datos, espesor de probetas de 8mm.



Ilustración 6 - Toma de datos, espesor de probetas de 10mm.

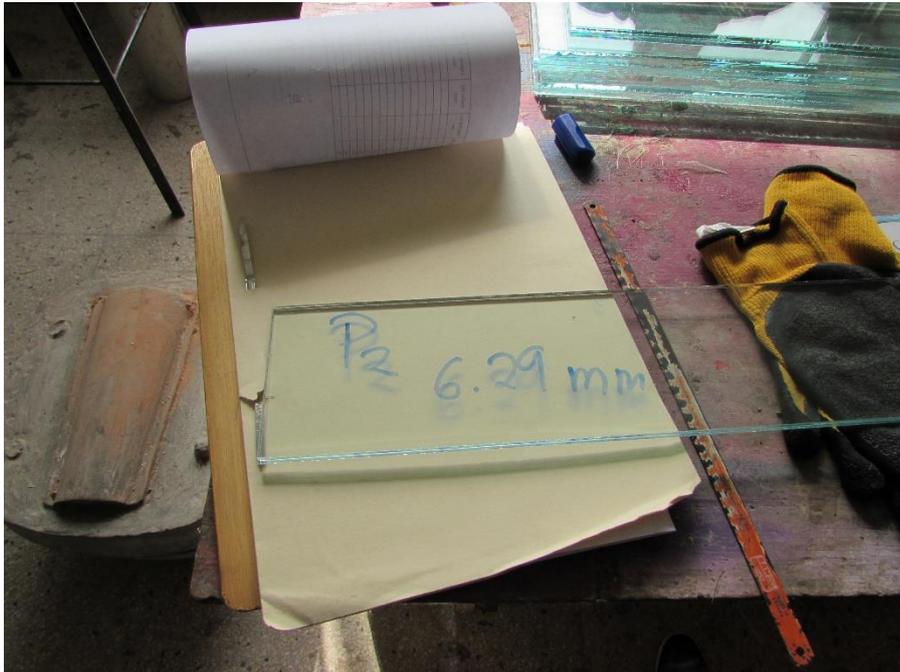


Ilustración 7 - Rotulación de probetas de 6mm.



Ilustración 8 - Rotulación de probetas de 8mm.



Ilustración 9 - Rotulado de probetas de 10mm.



Ilustración 10 - Pesado de probetas.



Ilustración 11 - Terminando toma de datos.



Ilustración 12 - Equipo universal de ensayo.



Ilustración 13 - Colocación de probeta para el ensayo.



Ilustración 14 - Rotura de probeta del vidrio laminado con espesor de 6mm.

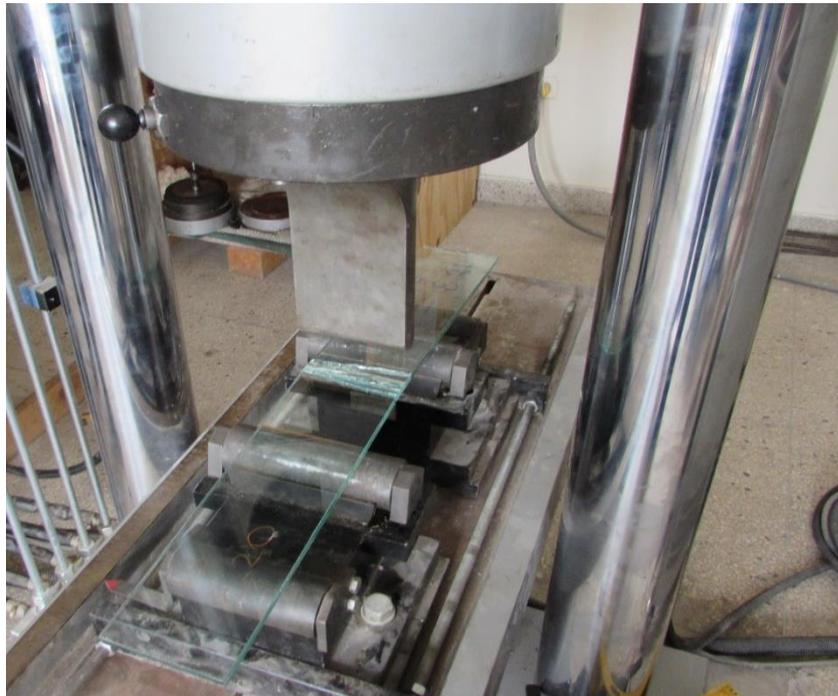


Ilustración 15 - Rotura de probeta del vidrio laminado con espesor de 8mm.

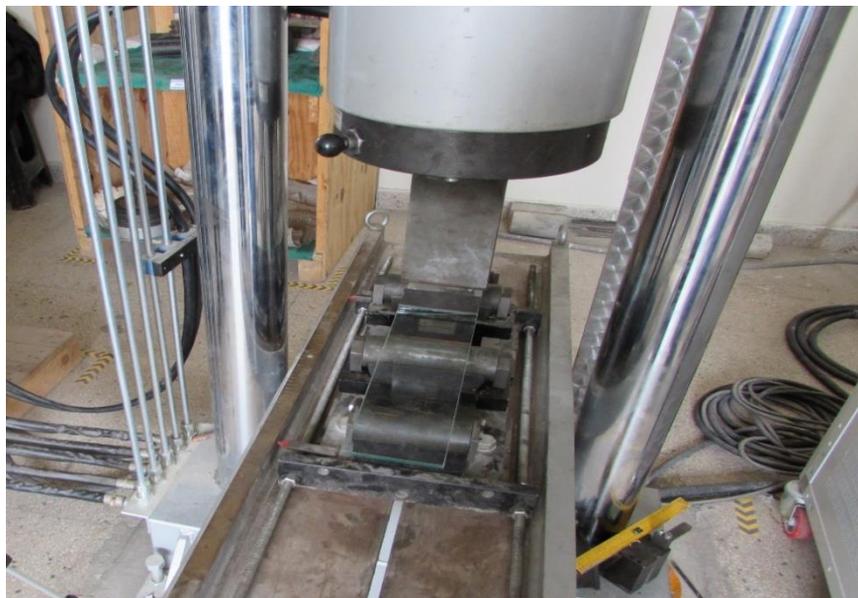


Ilustración 16 - Rotura de probeta del vidrio laminado con espesor de 10mm.

4. Reporte de laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

Facultad de Ingeniería

Departamento Académico de Ingeniería de Materiales

Solicitante(s): Daniel Quiliche Paredes y Maria del Carmen Obando Garcia.

Investigación: TESIS: *DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO DEL VIDRIO LAMINADO, PARA GARANTIZAR SU COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL, TRUJILLO 2018.*

Muestras: Puestas en Laboratorio.

N°	Cód. Prueba	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (KN)		Resistencia a la flexión (N/mm ²)		Deformación (mm)	
				Falla-1	Falla-2	Falla-1	Falla-2	Falla-1	Falla-2
1	P1	100	10.16	0.631	0.777	21.11	103.91	0.89	2.64
2	P2	100	10.16	0.437	0.775	14.61	103.66	0.76	2.77
3	P3	100	10.16	0.553	0.795	18.49	106.4	0.9	2.86
4	P4	100	10.16	0.775	0.965	25.91	129.12	1.02	2.29
5	P5	100	10.16	0.487	0.779	16.3	104.16	0.76	2.5
6	P6	100	8.15	0.224	0.734	11.65	98.16	0.76	3.05
7	P7	100	8.15	0.504	0.592	25.89	79.19	1.91	3.18
8	P8	100	8.15	0.315	0.553	16.41	114.91	0.76	4.32
9	P9	100	8.15	0.319	0.500	16.6	104.05	0.76	1.78
10	P10	100	8.15	0.429	0.590	22.33	83.87	1.14	2.67
11	P11	100	6.15	0.338	0.433	30.96	158.71	1.73	3.2
12	P12	100	6.15	0.280	0.446	25.66	163.5	1.52	3.15
13	P13	100	6.15	0.248	0.469	22.76	171.7	1.4	3.68
14	P14	100	6.15	0.319	0.405	29.25	148.46	1.4	2.79
15	P15	100	6.15	0.131	0.220	11.99	80.77	0.89	1.78

Total de pruebas: 15.

Nota: Se utilizó en todas las pruebas un Spam de 235mm, así mismo la longitud de todas las muestras tenían 100mm.



ALEXANDER Y. VEGA ANTICONA
ING. DE MATERIALES
R. CIP. 83348