



**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

---

**“DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS  
PERFILES ESTRUCTURALES DE FIBRA DE VIDRIO”**

---

**AREA DE INVESTIGACIÓN:**  
CONSTRUCCION Y MATERIALES

**AUTOR:**  
Br. VASQUEZ GUZMAN, MANUEL JONATHAN

**JURADO EVALUADOR:**

Presidente: URTEAGA GARCIA, JUAN MANUEL

Secretario: HURTADO ZAMORA, OSWALDO

Vocal: NARVAEZ ARANDA, RICARDO

**ASESOR:**

ING. BURGOS SARMIENTO, TITO ALFREDO

Codigo Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2143-1566>

TRUJILLO-PERÚ

2020

Fecha de Sustentacion: 2021/01/15

## DEDICATORIA

A mi mamá Elva, por siempre estar ahí para mí, motivándome, por su amor y constante apoyo.

A mi papá Manuel por todo su sacrificio, por siempre apoyarme, y por sembrar los buenos valores en mí.

A mi hermano Arturo, por todos los momentos compartidos y por todo el cariño que me brinda

A mis tias Esther y Esperanza, por apoyarme en la parte final de la culminación de esta Tesis

A mi abuela, Marcela por siempre apoyarme durante toda mi carrera universitaria y ser parte fundamental de la familia

Br. Manuel Vásquez Guzmán

## **AGRADECIMIENTO**

Al ing. Enrique Rodríguez Zamora por el apoyo brindado, su confianza y sus consejos que me fueron de mucha ayuda, tanto en el ámbito personal, como para culminar la presente investigación.

Al ing. Paredes Estacio Jorge por ser un ejemplo a seguir y motivarme en el campo de la innovación.

Al ing. Tito Burgos por su tiempo como asesor final de esta tesis.

A todo el personal de la empresa AYNI S.A.C, por la confianza de abrir sus puertas y prestar la materia prima, para los propósitos de esta investigación

Un especial agradecimiento a todos nuestros docentes de la Universidad Privada Antenor Orrego por impartirnos sus conocimientos y valores durante toda la carrera universitaria, sin ellos nada de esto sería posible.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	11
1.1. Descripción del problema.....	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Objetivo general.....	12
1.4. Objetivos específicos.....	12
1.5. Justificación de la investigación.....	13
1.6. Viabilidad de la investigación.....	13
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Antecedentes de la investigación.....	14
2.2. Bases teóricas.....	16
2.3. Definiciones conceptuales.....	30
2.4. Hipótesis.....	31
2.5. Variables dependientes e independientes.....	31
2.6. Operacionalización de las variables.....	31
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.1. Tipo de investigación, enfoque y alcance o nivel.....	33
3.2. Población y muestra.....	33

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	35
3.4. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información .....	42
CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....	46
4.1. Cuadros con su correspondiente descripción y numeración .....	46
4.2. Contrastación y prueba de la hipótesis .....	47
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	63
CONCLUSIONES .....	65
RECOMENDACIONES .....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
ANEXOS .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aditivos usados en la fabricacion de FVRP, Fuente: AYNI S.A.C .....	28
Tabla 2: Propiedades mecanicas promedio de perfiles estructurales de la empresa Master Fibra, Fuente: Masterfibra.cl .....	34
Tabla 3: Composicion de las capas de material para la fabricacion perfiles estructurales, Fuente: AYNI S.A.C .....	35
Tabla 4:Designations for speed of testing, Fuente: ASTM .....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Perfil sometido a esfuerzo de tracción .....	17
Figura 2: Sección sometida a Esfuerzos de Tracción.....	18
Figura 3: Probetas a tracción ASTM D638.....	20
Figura 4: Probetas tipo dogbone - ASTM D638.....	21
Figura 5: Probetas a compresión ASTM D695.....	21
Figura 6: Selección de las dimensiones de las probetas.....	22
Figura 7: Probetas cortas H 100 x 100 .....	22
Figura 8: Configuraciones de ensayo de perfiles doble C.....	23
Figura 9: Configuración de ensayo de flexión pura.....	23
Figura 10: Normas ASTM.....	26
Figura 11: Resina poliéster.....	27
Figura 12: Fibra de vidrio tipo malla.....	27
Figura 13:fibra de vidrio tipo Woven Robing .....	27
Figura 14: Fractura dúctil.....	30
Figura 15: Perfil H 100 x 100.....	35
Figura 16: Perfil C 70 x 60, Perfil 100 x 40.....	35
Figura 17: Ensayo de tracción realizado en la Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Metalúrgica.....	38
Figura 18: Ensayo de compresión realizado en Universidad Privada Antenor Orrego.....	40
Figura 19: Ensayos de Tracción realizados en Universidad privada Antenor Orrego .....	41
Figura 20: Propiedades geométricas de la Sección C.....	43
Figura 21:Propiedades geométricas de la sección Doble C.....	44
Figura 22:Propiedades Geométricas de la Sección H.....	45

## **RESUMEN**

En la investigación titulada “determinación de las propiedades mecánicas de los perfiles estructurales de fibra de vidrio”, el cual su objetivo fue el determinar las propiedades mecánicas de los perfiles estructurales de fibra de vidrio, siendo una investigación descriptiva y de diseño experimental, el cual se realizó diferentes ensayos a los perfiles estructurales de fibra de vidrio reforzada con resina polyester (FVRP), y como muestra perfiles estructurales fabricados artesanalmente Tipo H 100 x 100, tipo C 70 x 60, C 100 x 40, los cuales fueron fabricados en la empresa AYNI S.A.C en el año 2015; se concluye que estos tienen un mejor comportamiento sometidos a las fuerzas de flexión pura. Destacando especialmente los perfiles H 100 x 100, doble C 100 x 85 y doble C 70 x 125.

Palabras claves: fibra de vidrio, artesanal, propiedades mecánicas.

## **ABSTRACT**

In the research entitled "Mechanical properties of structural fiber profiles ", which aimed to determine the mechanical properties of structural profiles of fiberglass, being a descriptive research and experimental design, which concluded that when performing the different tests on the structural profiles of fiberglass reinforced with polyester resin (FRP), and as shown by structural profiles manufactured by hand Type H 100 x 100, type C 70 x 60, C 100 x 40, which were manufactured in the company AYNY SAC in 2015; it is concluded that these have a better behavior subjected to pure bending forces. Highlighting especially the profiles H 100 x 100, double C 100 x 85 and double C 70 x 125.

Keywords: fiberglass, handmade, mechanical properties.

## INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Descripción del problema

La utilización de la fibra de vidrio recubierta con resina poliéster no es reciente, Varios países como USA, Canadá, Brasil y España entre otros, han incorporado este tipo de material compuesto para diseñar y construir estructuras.

Actualmente países como USA, Chile, Brasil, Ecuador y España son los principales países pioneros donde se inició investigaciones de las aplicaciones de la fibra de vidrio en el campo de la fabricación de perfiles estructurales y otros usos estructurales e industriales, como muelles para autos, carrocerías, antenas, etc., obteniendo mejor eficiencia y eficacia en cuanto al montaje, mantenimiento y durabilidad. Estos países han venido implementando cada vez nuevas ideas que permitan el desarrollo y mejoramiento de las estructuras, de modo que puedan contar con materiales acorde a sus necesidades, es por esto que surgen estudios de investigación sobre las características mecánicas y físicas de perfiles estructurales de fibra de vidrio fabricados artesanalmente, como una forma de dar solución a ciertos inconvenientes que actualmente se presenten cuando se seleccionan perfiles estructurales.

En el Perú existen tres tipos de materiales usados comúnmente como elementos estructurales en las viviendas peruanas, dentro de los más comunes según el Perfil Sociodemográfico del INEI (2017, p.117): “El concreto armado (46.7 %), Madera (7%) y Acero (0,3 %)”, siendo el concreto armado el elemento estructural predominante, el cual a su vez es uno de los más vulnerables ante la acción de la erosión y la corrosión principalmente en zonas costeras, disminuyendo su durabilidad en este tipo de climas, además de su elevado costo y su poca versatilidad de fabricación.

Haciendo esto un problema de encontrar nuevos materiales para elementos estructurales y una motivación para nuestra investigación de determinar las propiedades mecánicas de los perfiles estructurales de fibra de vidrio los cuales destacaran por su resistencia ante diferentes tipos de cargas, así como su durabilidad u otras características que nos brindara el estudio.

Su uso en nuestro País como un material de construcción no ha sido desarrollado como lo ha sido en otros países donde los costos son más bajos debido a la popularidad de este material, además de usarlo en estructuras de gran envergadura como puentes, edificios, muelles, etc.

El presente trabajo pretende estudiar las propiedades mecánicas de los perfiles estructurales de fibra de vidrio ante diferentes tipos de carga, estos perfiles se fabricarán bajo normativas, para luego a través de ensayos en laboratorio determinar sus esfuerzos máximos, resistencia a la rotura, deformaciones, etc., lo que permitiría incorporar a la fibra de vidrio como un material que brinde soluciones en el campo de la construcción.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles son las propiedades mecánicas de los perfiles estructurales de fibra de vidrio fabricados artesanalmente?

## **1.3. Objetivo general**

Determinar las propiedades mecánicas de los perfiles estructurales de fibra de vidrio.

## **1.4. Objetivos específicos**

- Formular las cantidades necesarias de materiales: Fibra de Vidrio, Resina Poliéster, monóxido, catalizadores y demás, para la fabricación de los perfiles estructurales de fibra de vidrio tipo H y tipo C.
- Someter a ensayos de Flexión pura a los perfiles estructurales de fibra de vidrio tipo H 100 x 100, C 70 x 60, C 100 x 40 para conocer sus Esfuerzos, Modulo de Elasticidad, tensión máxima en la cara de Tracción
- Someter a ensayos de Tracción a los perfiles estructurales de fibra de vidrio tipo H 100 x 100, C 70 x 60, C 100 x 40 para conocer sus Esfuerzos, Modulo de Elasticidad, Tensión de Fluencia, Deformaciones unitarias
- Someter a ensayos de Compresión a los perfiles tipo H00 x 100, C 70 x 60, C 100 x 40 para conocer su resistencia a la compresión, esfuerzos y tipo de rotura

- Maquinar las probetas según las normas ASTM, medir y pesar detalladamente las secciones para determinar sus propiedades geométricas y mecánicas de una manera más precisa
- Interpretar los resultados de los ensayos de los perfiles tipo H 100 x 100, C 70 x 60, C 100 x 40 de fibra de vidrio y sugerir aplicaciones donde se ponga en obra su uso.

### **1.5. Justificación de la investigación**

La Fibra de Vidrio recubierta con resina poliéster es un excelente material que ofrece además de sus principales características mecánicas de alto desempeño una gran absorción al impacto (siendo esta su mejor característica) además de ser inerte (no se desarrollan hongos) es prácticamente incombustible y tiene buenas propiedades acústicas.

Se justifica académicamente investigando a través de ensayos las características y propiedades mecánicas de los perfiles estructurales de fibra de vidrio para que en proyectos a futuro se tome en cuenta estas investigaciones y cambie la forma de diseñar las Estructuras actuales, dando una nueva innovación a la construcción.

Dentro de las muchas Aplicaciones de los perfiles estructurales de fibra de vidrio se encuentran sistemas de columnas, vigas o tijerales ubicados en zonas costeras, zonas que están expuestas a fenómenos como la corrosión y sulfatación.

### **1.6. Viabilidad de la investigación**

Para la presente investigación es viable ya que cuenta con todos los materiales a emplear y el laboratorio que se utilizará para los diferentes ensayos de carga

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de la investigación**

Habiendo realizado una pesquisa bibliográfica a nivel nacional e internacional vía web, se encontró información relevante relacionada al tema de la investigación, de lo cual se destaca lo siguiente:

#### **“Fibra de Vidrio, pruebas y aplicaciones”**

Sergio Alejandro Morales Ortuño, - México - 2008

Objetivo General:

Demostrar la durabilidad de la fibra de vidrio ante los efectos climatológicos, para lo cual desarrolló diferentes ensayos en máquinas de laboratorio.

Objetivos Específicos:

- Predecir el comportamiento de la fibra de vidrio en la intemperie y su respuesta a las condiciones climatológicas basándose en las pruebas experimentales
- Proponer a la fibra de Vidrio en diferentes usos como material de construcción de muelles, recubrimiento de cilindros, escaleras, entre otros.

#### **“Estados de tensión y deformación en materiales compuestos reforzados con fibra antes diferentes casos de carga”**

Juan Luis Martínez Vicente, - España - (2016)

Objetivo General:

Estudiar, desde un punto de vista experimental, el comportamiento mecánico de un material compuesto reforzado con fibra de vidrio (GFRP) ante diferentes estados biaxiales de carga (tracción-tracción y tracción- compresión).

Objetivo Específico:

- Determinar la curva de fallo biaxial (tracción-tracción) del material compuesto GFRP y los estados de deformación alcanzados en el momento de la rotura del mismo.
- Analizar el comportamiento mecánico a cortadura del material compuesto GFRP a partir de los ensayos biaxiales tracción-compresión realizadas y determinar sus propiedades de resistencia y de deformación de cortadura en el plano.

- Estudiar la reducción de resistencia del material compuesto CFRP debida a una discontinuidad geométrica a modo de concentrador de tensiones (agujero pasante) y la influencia de la secuencia de apilado del laminado en dicha reducción (sensibilidad a la entalla).

### **“Los materiales compuestos”**

Alejandro. Besednjak, - España - (2006).

Objetivo General:

Describir detalladamente los materiales existentes en el mercado y que son necesarios para la fabricación de perfiles y otras estructuras de fibra de vidrio, así como hablar sobre los diferentes tipos y partes de los materiales compuestos en general

Objetivos Específicos:

- Proponer tablas de las características mecánicas de los diferentes tipos de resinas
- Proponer tablas de los principales sistemas catalíticos para resinas poliéster y vinil éster
- Proponer el estudio de la fibra de vidrio en dos partes que la conforman: la matriz y el refuerzo

### **“Estudio de la Deformabilidad a Tracción de Películas Plásticas: Norma ASTM D638 vs ASTM D882”**

Daniela, Santaella – Bolivia - (2012)

Objetivo General:

Comparar el comportamiento en tracción de películas extruidas de diferentes polímeros, evaluado a través de diferentes protocolos experimentales estandarizados (normas ASTM D638-10 y ASTM D882-09), que se diferencian entre sí principalmente por considerar diferentes geometrías y dimensiones de probeta

Objetivos Específicos:

- Bajo la norma ASTM D638-10, comparar los parámetros mecánicos obtenidos al emplear diferentes dimensiones de probetas halterios (tipo IV y V de acuerdo a la norma) y dos velocidades de ensayo: 50 y 500 mm/min.
- Tomando el comportamiento tensil evaluado bajo norma ASTM D638-10 como “referencial”, comparar el comportamiento evaluado bajo las pautas de

la norma ASTM D882-09 que implica el uso de probetas rectangulares o cintas. Para este objetivo se consideraron películas de PEAD, PEBD, PSAI y polipropileno (PP)

### **“Resistencia Última en Perfiles Delgados de Acero Conformados en Frio, una Comparativa de Distintas Normas, Análisis mediante Métodos Numéricos y Ensayos Reales”**

Cassano, Arturo – Hernan, Barrera – Grzelak, Franco. Argentina - (2011)

Objetivo General:

Determinar la capacidad de reserva inelástica a Flexión pura en tramos cortos (sin pandeo lateral torsional)

Objetivos Específicos:

- Demostrar la capacidad inelástica a flexión mediante diferentes ensayos según normas nacionales e internacionales como la AISI 1996 y la norma CIRSOC 303 a perfiles Tipo “C”
- Ensayar a flexión pura y analizar las fallas localizadas en diferentes configuraciones de ensayo (diferentes momentos de inercia, diferentes grados de libertad en los apoyos) a los perfiles conformados en frio Tipo “C”
- Comparar los valores teóricos con los valores reales producto de los ensayos realizados a las probetas

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Los Materiales Compuestos: Matriz – Refuerzo**

Un material compuesto se puede definir como la combinación a escala macroscópica de dos o más materiales para formar un nuevo material que posea las propiedades que no pueden ser alcanzadas por ninguno de los constituyentes actuando de forma aislada. De tal manera, estos materiales constituyentes se identifican según la tarea que lleven a cabo en el nuevo compuesto, diferenciando entre matriz o fase continua y refuerzo o fase dispersa. La matriz se encarga de dar cohesión y continuidad al material compuesto y el refuerzo, embebido en la matriz, soporta la mayor parte de las solicitaciones que recaen sobre el conjunto (Martínez Vicente, 2016, p.7).

Por tanto, la fibra de vidrio reforzada con resina poliéster será el material compuesto en estudio, en este trabajo se estudiará y se formulara las cantidades de material necesario para armar su matriz y la fibra utilizada a modo de refuerzo, utilizaremos una matriz de poliéster, que se ha reforzado con fibra de vidrio discontinua aleatoriamente distribuida (FVRP).

## 2.2.2. Propiedades Mecánicas y Formulas Empleadas en los Cálculos

### A. Importancia de las Propiedades Mecánicas

La importancia de las propiedades mecánicas de un material se fundamenta en el uso determinado en el que pueda ser usado, para nuestro estudio se realizarán los ensayos mínimos para tres distintos tipos de cargas diferentes a las que estarán sometidos los perfiles estructurales de fibra de vidrio en sus posibles aplicaciones en la construcción.

### B. Esfuerzo, Deformación y Modulo de Young:

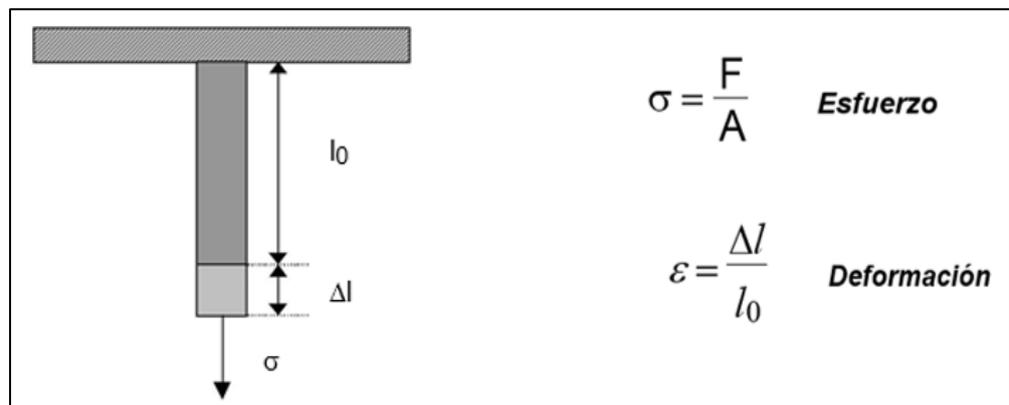


Figura 1: Perfil sometido a esfuerzo de tracción

Relacionando el esfuerzo con la deformación se obtiene el Módulo de Young o el Módulo de Elasticidad:

$$\text{Módulo de Young (E)} \quad E = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformación unitaria}}$$

### C. Módulo de Poisson

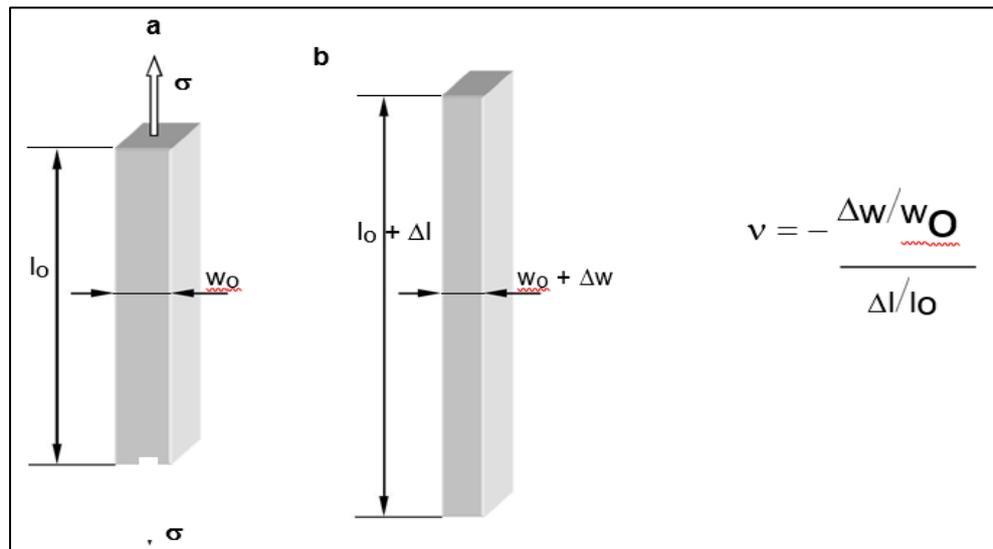


Figura 2: Sección sometida a Esfuerzos de Tracción.

### D. Tensión de Fluencia:

$$\sigma_y = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Donde  $P_{\max}$  es la Carga ultima registrada en la curva Esfuerzo – Deformación en el Limite Elástico, y  $A_0$  es el Área

### E. Alargamiento en el Límite de Fluencia:

$$\varepsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0} * 100$$

Donde  $L_y$  es el largo alcanzado por la probeta en el estado de fluencia y  $L_0$  es el largo inicial de la probeta, este valor se expresa en porcentaje

### F. Resistencia a la Compresión.

$$\sigma_{cp} = \frac{P_Y}{A_0}$$

Donde  $P_y$  es la fuerza en el Límite de Fluencia y  $A_0$  el Área donde actuó dicho esfuerzo

### **G. Deflexión o Flecha:**

$$Y^* = \frac{P S^3}{48 E I}$$

Donde P es la Carga Máxima que soporto la probeta antes de la fractura, S es la separación entre los apoyos e I es el momento de Inercia de la Sección.

### **H. Módulo de Elasticidad en Flexión**

$$E_f = \left[ \frac{\Delta P}{\Delta Y} \right]$$

La variación de la fuerza respecto a ala deflexión, es decir la pendiente inicial del registro Carga desplazamiento, Ef proporciona un valor aproximado al módulo de Young.

### **I. Momento Máximo por carga puntual para probetas de flexión**

$$M_{max} = \frac{P \cdot L}{4}$$

Donde P es la fuerza puntual aplicada, L es el largo total entre apoyos.

### **J. Tensión Máxima en la Cara de Tracción**

$$\sigma_f = \frac{M_{max} \cdot Y_c}{I_y}$$

Donde Mmax es el momento máximo generado por la carga puntual, Yc es el centro geométrico de la sección, Iy es el momento de inercia perpendicular a la carga.

### **2.2.3. Selección y maquinado de las probetas de fibra de vidrio**

En cuanto al comportamiento mecánico del material compuesto FVRP, se ha considerado cuasi-isótropo debido a la aleatoriedad de la distribución de las fibras. Las probetas que en total suman 42 fueron distribuidas de la siguiente manera:

5 para cada perfil con cargas de tracción, 5 para cada perfil con cargas de compresión y 4 para cada perfil con cargas de flexión pura, las probetas que se ensayaron han sido tomadas de un lote fabricado en el 2015 por la empresa Trujillana AYNI S.A.C y son: H (100 x 100) mm, C (70 x 60) y C (100 x 40).

Ensayaremos estas probetas a Tracción, compresión y flexión pura para lo cual es necesario maquinar, recortar, armar las secciones tal cual los especifican las normas ASTM para ensayos mecánicos a Polímeros reforzados

### A. Probetas a tracción ASTM D638

Debido a que la máquina de ensayos de Tracción solo puede ensayar secciones pequeñas (dogbone y pletinas rectangulares) las probetas para este tipo de ensayo se obtendrán recortando una parte del alma de los perfiles para luego maquinarlas con una maquina “fresadora”, las medidas y el tipo de probeta se encuentran en función al espesor de la sección y se encuentran especificadas en esta norma como lo muestra la siguiente grafica.

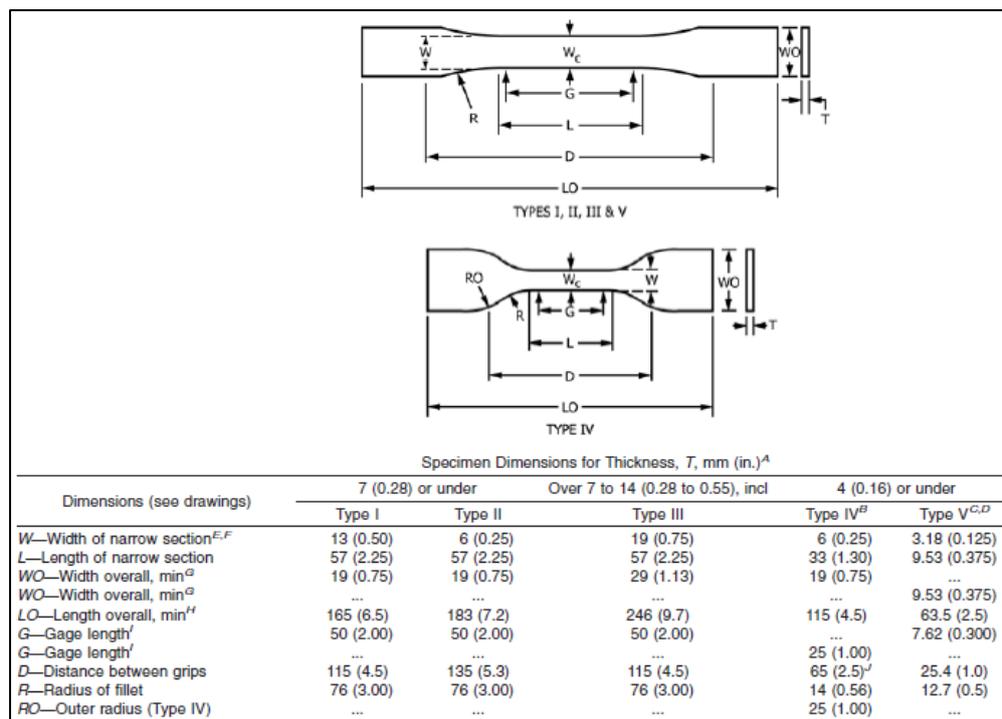


Figura 3: Probetas a tracción ASTM D638.

Tomando entonces las medidas necesarias del espesor de los perfiles que están entre los 8 y los 13.5 mm, concluimos que se trata de un tipo III por lo tanto se

deben maquinaron las probetas tal cual lo especifica la norma para este tipo de probetas las cuales tienen un largo total de 140 mm.



Figura 4: Probetas tipo dogbone - ASTM D638.

**B. Probetas a compresión ASTM D695:**

A diferencia de las probetas a tracción este tipo de probetas cortas serán recortadas con la longitud indicada en la norma ASTM D695 para polímeros reforzados como lo muestra la gráfica.

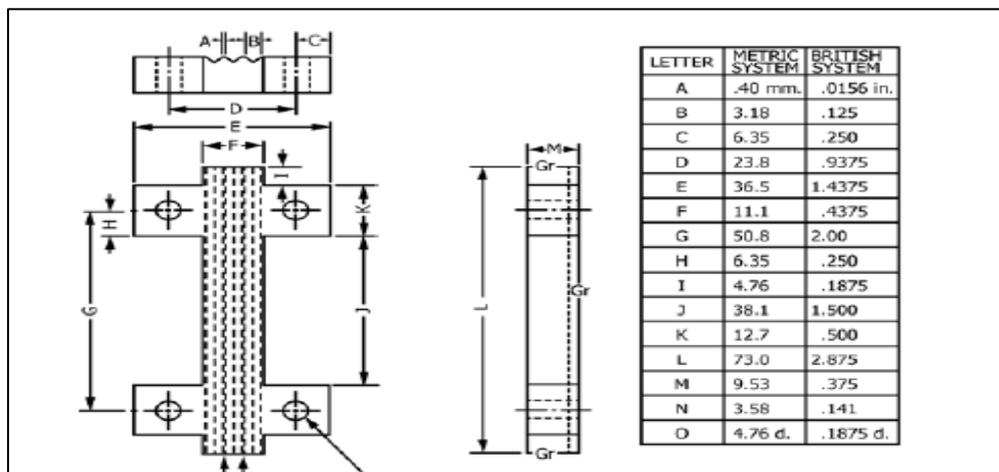


Figura 5: Probetas a compresión ASTM D695.

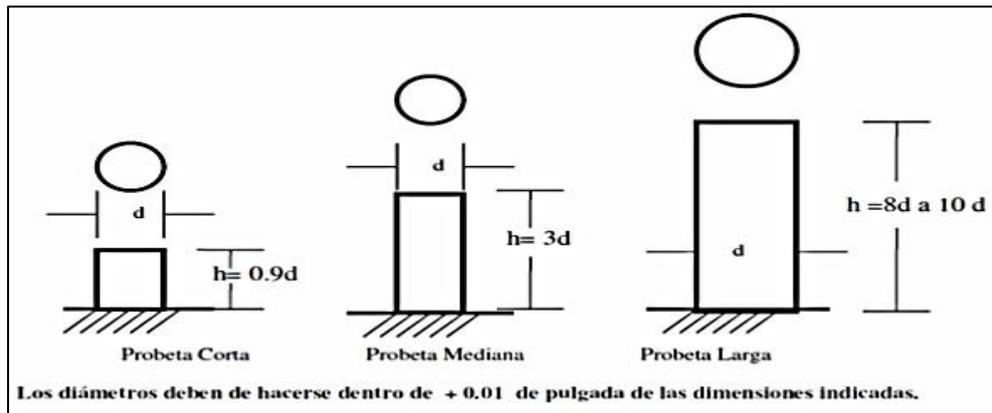


Figura 6: Selección de las dimensiones de las probetas.

Seleccionaremos las probetas las cuales serán cortas debido al limitado tamaño de los perfiles matrices obtenidos en la empresa AYNI S.A.C, trataremos de uniformizar un tamaño para todas las probetas, este largo total será de 9 cm, las probetas son cortadas con maquina trozadora y verificadas con escuadra, ya que los apoyos deben ser totalmente lizos para no generar esfuerzos concentrados.



Figura 7: Probetas cortas H 100 x 100

### C. Probetas a flexión ASTM D7264 – CIRSOC 303:

Para la elaboración de las probetas a flexión pura se tuvo en cuenta la sección de cada perfil ya que en este caso las secciones tipo “C” al ser sometidos a flexión generaran un momento torcionante el cual nos generara un error en el ensayo por lo tanto se deberá crear una configuración que nos permita someter este tipo de perfil a flexión pura y disminuir el efecto torcionante al mínimo,

para apoyarnos en un sustento teórico de las configuración de ensayos de las probetas en flexión nos guiaremos en la norma argentina CIRSOC 303, 2014. Para perfiles estructurales de acero laminados en frío y caliente, esta norma nos muestra las siguientes configuraciones de ensayo.

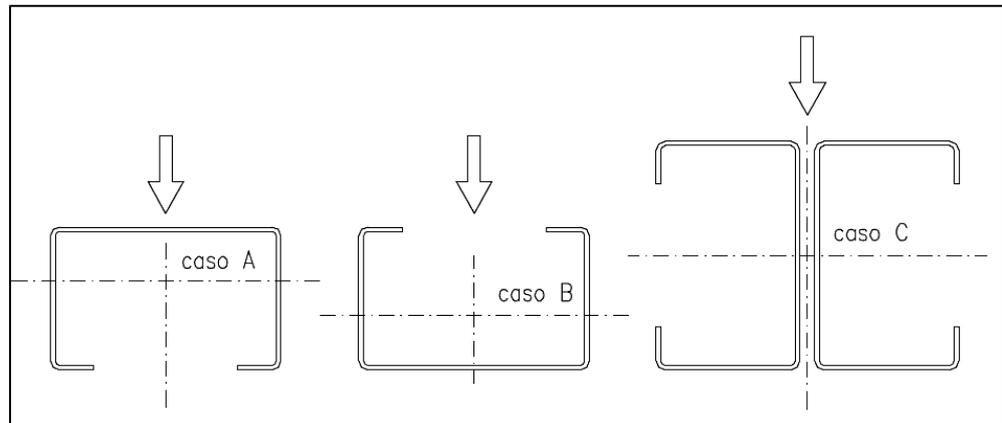


Figura 8: Configuraciones de ensayo de perfiles doble C.

En este caso estaríamos frente al caso C por lo que es necesaria la unión de dos perfiles para poder disminuir al mínimo las fuerzas torsionantes. el largo total para todas las probetas es de 50 cm y el largo efectivo entre los apoyos de 45 cm.

Para el montaje de la probeta en la máquina de ensayos de flexión usaremos la siguiente configuración, dejando un espaciamiento libre de 2.5 cm a cada lado el cual se irá reduciendo conforme se aplique la carga ya que los puntos de apoyo se encuentran libres

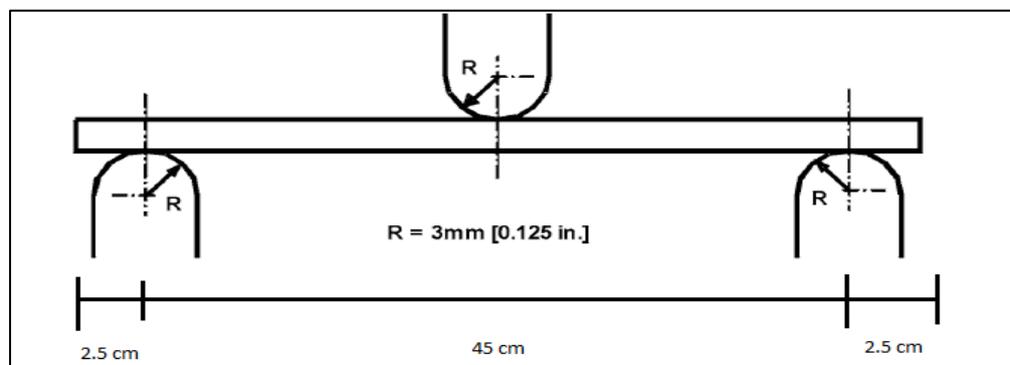


Figura 9: Configuración de ensayo de flexión pura.

#### **2.2.4. Determinación de Las propiedades Mecánicas de las Probetas Ensayadas**

La evaluación de los ensayos se realiza a partir de los resultados obtenidos en los ensayos, teniendo en cuenta que se trata de un material compuesto, Fibra de Vidrio Reforzada con Resina Polyester (FVRP), y que sus fibras están aleatoriamente distribuidas, para el entendimiento de sus propiedades mecánicas será necesario conocer los parámetros que se calcularán y que serán de gran importancia para poder diseñar cualquier tipo de estructura, analizaremos pues las curvas Esfuerzo - Deformación (Mpa – mm).

Las deformaciones en tracción, compresión y flexión (mm). Esfuerzos en tracción, compresión y flexión (Mpa) (Ton/cm<sup>2</sup>), Modulo de elasticidad (adimensional), además de observar los distintos tipos de fracturas que producen los diferentes tipos de cargas.

- a) Esfuerzo de tracción. - Se calcula a partir de la fuerza de tracción soportada por la probeta dividida por su sección transversal.
- b) Límite elástico. - Es la máxima tensión que el material es capaz de mantener sin desviación de la ley de Hooke, es decir es una medida de su resistencia a la deformación elástica. Se expresa en fuerza por unidad de área, generalmente MPa.
- c) Resistencia a la tracción. - Tensión máxima de tracción que ha soportado la probeta durante el ensayo.
- d) Tensión de tracción a rotura. - Tensión de tracción soportada por la probeta en el momento de su rotura.
- e) Módulo de elasticidad o Módulo de Young. - Es la relación entre la tensión realizada y la deformación adquirida en el tramo lineal de la curva tensión-deformación (región elástica). Sus unidades son MPa o N/mm<sup>2</sup>. Se calcula mediante la tangente a la recta en el tramo lineal.
- f) Alargamiento y deformación. - es el incremento en longitud producido por la tensión de tracción y se expresa en unidades de longitud, usualmente milímetros. La deformación se define como  $\Delta l/l_0$ , en donde  $l_0$  es la longitud original antes de aplicar la carga y no tiene unidades. A veces, la deformación se expresa como porcentaje.

- g) Esfuerzo de Compresión. - Se calcula a partir de la fuerza de compresión soportada por la probeta dividida por su sección transversal.
- h) Esfuerzo máximo en la cara de Tracción: a partir de calcular previamente los momentos generados por la fuerza puntual aplicada se multiplicará este valor por el largo total de la probeta y su centro de gravedad entre la inercia de la sección, la cual es perpendicular a la carga aplicada

#### **2.2.5. Durabilidad de la Fibra de Vidrio Reforzada con resina polyester ante situaciones climáticas extremas.**

Un proyecto realizado por el Centro de Servicio en Ingeniería de las Facilidades Navales (NFESC), se enfocó en el comportamiento de materiales reforzados con fibra de vidrio. El objetivo de este proyecto fue determinar la durabilidad de seis tipos de materiales compuestos sometidos a exposición acelerada de sal y niebla. Estos materiales compuestos utilizados fueron vinil éster, poliéster, fenol, y epoxi, todos ellos reforzados con fibras de vidrio. La durabilidad fue medida principalmente en base a la pérdida del módulo de elasticidad y la resistencia a la flexión luego de la exposición. Para acelerar el envejecimiento, los especímenes fueron sometidos a temperaturas de 35° C, 49° C y 71° C durante uno, dos y tres meses mientras eran expuestos a un rociado de sal y niebla. Se realizaron ensayos de flexión, junto con análisis mecánico dinámico y con microscopio electrónico. (Morales, 2008, p.13).

#### **2.2.6. Normas ASTM para los ensayos de cargas y fabricación de los Perfiles Estructurales de Fibra de Vidrio**

En nuestra investigación para tendremos en cuenta las siguientes normas ASTM:

ASTM	D 695	Método de prueba estándar para las propiedades de compresión de plásticos rígidos.
ASTM	D 3914	Método para la determinación de la resistencia a cortante en el plano de plásticos reforzados con fibra de vidrio (GRP) fabricados mediante pultrusión. Aprobado 2008.
ASTM	D 790	Métodos de prueba estándar para las propiedades de flexión de armado y plásticos reforzados y materiales de aislamiento eléctricos.
ASTM	D 5028	Método de prueba estándar para la curación de las propiedades de las resinas de pultrusión por análisis térmico. Aprobada 2003.
ASTM	D 5117	Método de prueba estándar para la penetración de tinte de fibra de vidrio solida armado de stock pultruidos.
CIRSOC	301	Reglamento Argentino de estructuras de Acero para Edificios

Figura 10: Normas ASTM

### 2.2.7. Selección de materiales.

Como ya se ha determinado anteriormente, los perfiles de fibra de vidrio que se utilizaran para los múltiples ensayos de carga están constituidas por un material compuesto de resina reforzada con fibras de vidrio

#### Selección de la Resina

Un material compuesto regularmente tiene una matriz polimérica en este caso con fibras de vidrio, se opta por utilizar la matriz adecuada comercialmente más utilizada para la fabricación de elementos en fibra de vidrio, Resina Poliéster

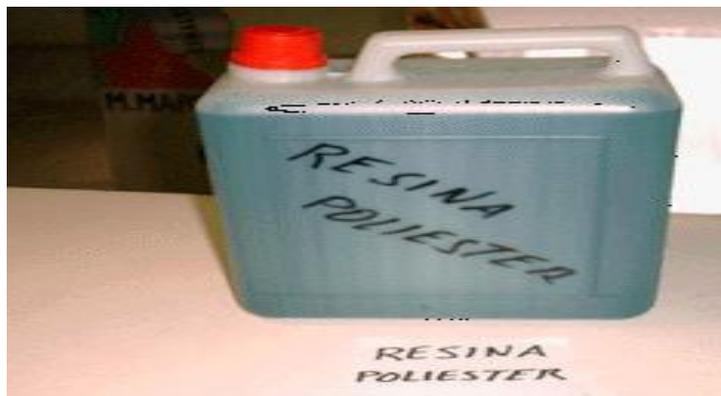


Figura 11: Resina poliéster

**Selección del material de refuerzo.**

La fibra de vidrio a utilizar para el refuerzo de las probetas patrón, es la fibra de vidrio tipo malla, que es la comercialmente más utilizadas para trabajos artesanales, así como el Woven Roving.



Figura 12: Fibra de vidrio tipo malla



Figura 13: fibra de vidrio tipo Woven Roving

**Aditivos utilizados durante la fabricación de los perfiles de material compuesto.**

La resina poliéster que se utiliza como matriz de los Perfiles fabricados, requiere de determinados aditivos que facilitan su manejo.

Los aditivos necesarios para la fabricación de los perfiles de material compuesto son los indicados en la siguiente tabla:

Tabla 1: Aditivos usados en la fabricación de FVRP, Fuente: AYNI S.A.C

FUNCION	ELEMENTO UTILIZADO	IMAGE N
Diluyente	Monómero de estireno	
Catalizador	Peróxido meletil cetona (Meck)	
Acelerante	Octato de cobalto	
Pigmento	Tinte negro	
Desmoldante	Cera desmoldarte	

### **2.2.8. Disminución de la Contaminación Causada por la Fibra de Vidrio.**

En la empresa Busscar S.A de Colombia se emplea cloruro de metileno, utilizado en la fabricación de Piezas de PRFV - Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio, en la limpieza de herramientas y pistolas para la aplicación de resinas, del Gel coat y de pinturas, además de otras actividades de limpieza de piezas y algunas superficies de los moldes. Dicho compuesto tiene una velocidad de evaporación alta, generando emisiones al aire de COV-Compuestos Orgánico Volátiles, altamente nocivo para la salud de los trabajadores y pérdidas económicas por la evaporación de ésta materia prima. Se desarrolló una tecnología de PML - Producción Más Limpia, por medio de la implementación de un Safe Tainer que logro disminuir la evaporación del cloruro de metileno de 18% al 5%. Lo que representó una disminución del 13% en el consumo promedio día. Para el caso del estireno la disminución fue del 30% por día.

### **2.2.9. Tipos de fracturas mecánicas en los materiales.**

Dentro de las fracturas más comunes en los materiales compuestos concreto armado, fibrocemento, fibra de vidrio reforzada con resina polyester, plásticos estructurales, podemos agruparlas en tres tipos: dúctiles, semi dúctiles y frágiles, en nuestro caso la fibra de vidrio tiende a tener un mayor comportamiento elástico asociándolo directamente con un tipo de fractura dúctil sin embargo la cristalización de la resina polyester tiende a tener un comportamiento frágil, volviendo a la fibra de vidrio reforzada a la resina polyester un material semi dúctil, la cual se puede apreciar de mejor forma en cargas a flexión, en cuanto al ensayo de tracción y compresión el comportamiento de las fracturas se acerca más hacia el estado frágil.

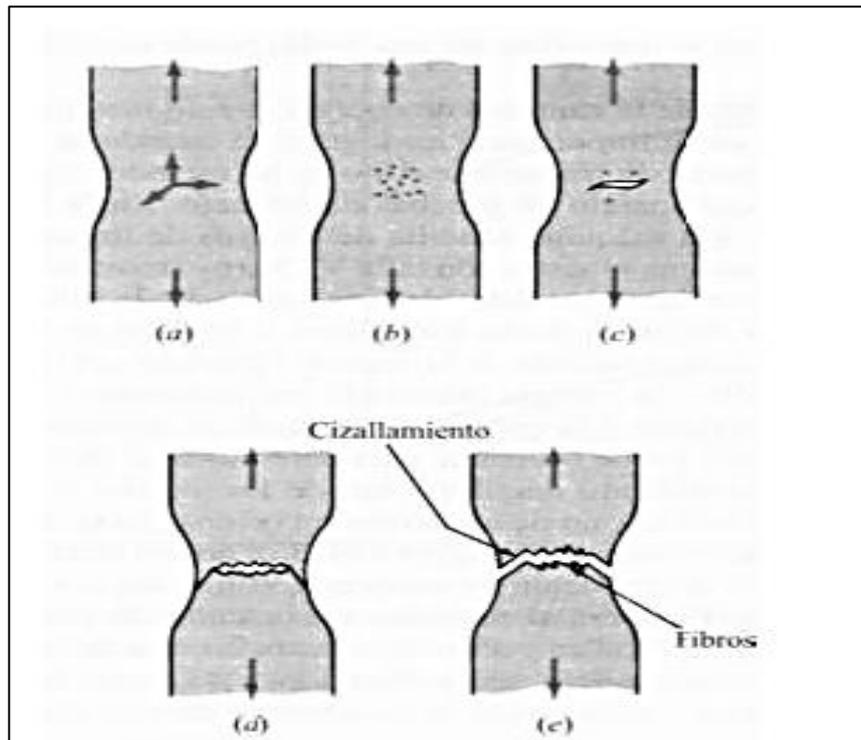


Figura 14: Fractura dúctil.

### 2.3. Definiciones conceptuales

En la presente investigación se utilizan muchos términos, expresiones o variables, los cuáles es necesario definirlos según el contexto para el correcto entendimiento de lo que se pretende explicar y desarrollar en el presente trabajo de investigación.

- Ensayo de compresión: es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. En la mayoría de los casos se realiza con hormigones y metales (sobre todo aceros), aunque puede realizarse sobre cualquier material, en este caso fibra de vidrio.
- Ensayo de flexión: evalúa el comportamiento esfuerzo-deformación y la resistencia a la flexión de un material. Se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.
- Ensayo de Tracción: consiste en aplicar a una probeta en dirección axial, un esfuerzo de tracción creciente, este ensayo se realiza con una máquina de laboratorio con un grupo hidráulico.

- Fibra de vidrio: Filamento continuo o discontinuo, obtenido mediante estiramiento de vidrio fundido, que se emplea como aislante térmico, acústico y para usos de reforzamiento
- Material compuesto: Todo material combinado a partir de una unión (no química) de dos o más componentes, que da lugar a propiedades con características específicas, no siendo ninguna de las anteriores
- Resina Poliéster: es un compuesto químico formado por largas cadenas de polímeros, que se han formado por reacción de la condensación. Estos se conocen como polímeros de condensación, y al proceso, como polimerización por condensación. Las resinas epoxi tienen enlaces insaturados que hacen que su estructura sea flexible.

## 2.4. Hipótesis

Las características mecánicas de los perfiles estructurales de fibra de vidrio destacarán por sus propiedades mecánicas y físicas.

## 2.5. Variables dependientes e independientes

### ▪ Variable dependiente

<b>Variable dependiente: Perfiles estructurales de fibra de vidrio tipo H y C</b>			
<b>TECNICO</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Instrumento de Investigación</b>
	Dimensiones del perfil	mm	Vernier
	Composición del perfil	--	--
	Peso total del perfil	kg	balanza

- **Variable independiente**

<b>Variable independiente: Propiedades mecánicas de los perfiles</b>			
	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Instrumento de Investigación</b>
<b>TECNICO</b>	Ensayo de Tracción	MPa	Máquina de Ensayos de Tracción
	Ensayo de compresión	MPa	Prensa Hidráulica
	Ensayo de Flexión	MPa	Máquina de Ensayos de Flexión

## **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Tipo de investigación, enfoque y alcance o nivel**

#### **Tipo de investigación**

- **Tipo de investigación:**  
Investigación cuantitativa.
  
- **Nivel de investigación**  
Investigación descriptiva.
  
- **Diseño de investigación**  
Investigación Experimental.

### **3.2. Población y muestra**

#### **Población**

La empresa Perugrating y Ercasac son los más grandes fabricantes de perfiles estructurales de fibra de vidrio en el Perú, Master fibra es una de las más grandes de Colombia, en el catálogo de su sitio web se pueden encontrar los perfiles estructurales de fibra de vidrio de diferentes tipos como:

- Perfiles tipo Tubo Cuadrado
- Perfiles tipo Tubo Rectangular
- Perfil tipo Tubo
- Perfil tipo Angulo
- Perfil tipo T
- Perfil tipo varilla Lisa
- Perfil tipo doble Angulo
- Perfil tipo H
- Perfil tipo C

Tabla 2: Propiedades mecánicas promedio de perfiles estructurales de la empresa Master Fibra, *Fuente: Masterfibra.cl*

Prop. Mecánicas	Unidad	Método	Dirección	Valor Típico
Resistencia a la tensión	Kgf/cm <sup>2</sup>	ASTM D638	Longitud transversal	2.5 703
Módulo de tensión	Kgf/cm <sup>2</sup>	ASTM D638	Longitud transversal	220 72
Resistencia a la Flexión	Kgf/cm <sup>2</sup>	ASTM D790	Longitud transversal	2.5 984
Modulo a la compresión	Kgf/cm <sup>2</sup>	ASTM D695	Longitud transversal	175.75 84.36
Módulo de Elasticidad	Sección completa			195
Impacto Izod	Kgf/cm/cm <sup>2</sup>	ASTM D256	Longitud transversal	175.75 84.36
Corte Horizontal Aparente	Kgf/cm <sup>2</sup>	ASTM D2344		250

### **Muestra**

Para este trabajo de Investigación se estudiarán los perfiles estructurales fabricados artesanalmente Tipo H 100 x 100, tipo C 70 x 60, C 100 x 40, los cuales fueron fabricados en la empresa AYNY S.A.C en el año 2015, durante el mantenimiento de una Torre de Enfriamiento de aguas residuales calientes de la empresa agroindustrial Cartavio SA provenientes del proceso de Pasteurización, por lo que estas secciones de perfiles son las que se reemplazaron, luego de 4 años de fabricación conoceremos las propiedades mecánicas de los perfiles fabricados anteriormente los cuales fueron obtenidos del almacén de control de calidad de la empresa



*Figura 15: Perfil H 100 x 100.*



*Figura 16: Perfil C 70 x 60, Perfil 100 x 40.*

### **3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.3.1. Materiales usados para la fabricación de los perfiles:**

La fibra de vidrio seleccionada para reforzar nuestras probetas viene a manera de láminas, por lo que usualmente, cualquier material trabajado en fibra de vidrio es reforzado por capas de esta, la siguiente tabla muestra la constitución de los materiales usados.

Tabla 3: Composición de las capas de material para la fabricación de perfiles estructurales, *Fuente: AYNI S.A.C*

<b>CAPAS</b>	<b>MATERIAL</b>
2	Gelcoat
1	Fibra de Vidrio
3	Woven Roving
2	Resina

### **3.3.2. Descripción de los pasos para la elaboración de los perfiles estructurales de fibra de vidrio Tipo H y C:**

Para la elaboración de los perfiles estructurales artesanales de fibra de vidrio reforzada con resina polyester se debe contar con áreas libres, permitiendo así una adecuada ventilación del lugar de trabajo, personal calificado, equipos y maquinaria, los pasos a seguir para la fabricación son:

- Preparación de los moldes, aplicado de cera desmoldante en la superficie
- Corte, pesaje y de la fibra de vidrio (fibra suelta y woven rovin)
- Preparación y dosificación de la Resina poliéster, monóxido, catalizador
- Aplicado de la resina polyester con compresora a una presión de 100 psi sobre las capas de fibra de vidrio formando de esta forma el “sándwich” en este proceso es fundamental el aplicado de resina sobre las capas de fibra de vidrio (repetir este proceso hasta lograr el ancho efectivo de la sección)
- Tapado del molde con cera desmoldante y cerrado con mordazas
- Corte de excesos de material
- Fraguado y curado del perfil, aproximadamente por 72 horas

### **3.3.3. Método de ensayo de tracción**

#### **A. Objetivo**

El objetivo del ensayo de tracción es determinar aspectos importantes de la resistencia y alargamiento de materiales, que pueden servir para el control de calidad, las especificaciones de los materiales y el cálculo de piezas sometidas a esfuerzos.

#### **B. Características de la Máquina de Ensayo de Tracción**

Para este ensayo usaremos la máquina de Tracción de marca “Time” modelo WDW-200E la cual puede generar una fuerza de tracción máxima de 2,000 KN, esta

máquina se encuentra en el laboratorio de materiales de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica en la Universidad Nacional de Trujillo.

### C. Procedimiento para ensayo de tracción según ASTM D638:

Para poder hacer un correcto uso del equipo y tener datos más confiables se siguieron los siguientes pasos:

Paso 1: Verificar el estado de la máquina, encender el equipo hidráulico y iniciar el software de control

Paso 2: Enumerar las 5 probetas e insertar los datos geométricos de las probetas en el software

Paso 3: Sujetar por los extremos las probetas con las mordazas mecánicas para luego iniciar el software donde se configurará la velocidad de ensayo tal cual lo establece la norma ASTM D638

Tabla 4: Designations for speed of testing, *Fuente: ASTM*

Classification <sup>B</sup>	Specimen Type	Speed of Testing, mm/min (in./min)	Nominal Strain <sup>C</sup> Rate at Start of Test, mm/mm·min (in./in.·min)
Rigid and Semirigid	I, II, III rods and tubes	5 (0.2) ± 25 %	0.1
		50 (2) ± 10 %	1
		500 (20) ± 10 %	10
	IV	5 (0.2) ± 25 %	0.15
		50 (2) ± 10 %	1.5
		500 (20) ± 10 %	15
	V	1 (0.05) ± 25 %	0.1
		10 (0.5) ± 25 %	1
		100 (5) ± 25 %	10
	Nonrigid	III	50 (2) ± 10 %
500 (20) ± 10 %			10
IV		50 (2) ± 10 %	1.5
		500 (20) ± 10 %	15

Paso 4: Como se trata de una probeta tipo III usamos una velocidad máxima de ensayo de 50 mm/min llevaremos la probeta al colapso, asimismo se observa en el monitor como se va trazando la curva Esfuerzo/Deformación.

Paso 5: Grabamos y exportamos los resultados proporcionados por el software de control del equipo de tracción, retiramos la probeta de la máquina de tracción, asimismo hacemos un análisis visual del tipo de falla que tuvo en el momento de la rotura.



Figura 17: Ensayo de tracción realizado en la Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Metalúrgica

### 3.3.4. Método De Ensayo de Compresión

#### A. Objetivo:

El objetivo del ensayo de compresión es determinar aspectos importantes de la resistencia y la deformación, así como el tipo falla generada en la sección después del ensayo les que pueden servir para el control de calidad, las especificaciones de los materiales y el cálculo de piezas sometidas a esfuerzos de compresión.

## **B. Características de la Máquina de Ensayos de Compresión**

Para este ensayo usaremos la máquina de compresión Marca “ELE International” Modelo 1912B0001/37-4950/09, la cual tiene una fuerza máxima de trabajo de 1500 KN, además de un panel táctil y un sistema que detecta la falla por rotura a la compresión, este equipo hidráulico se encuentra en el Laboratorio de materiales de la Universidad Privada Antenor Orrego.

## **C. Procedimiento para ensayo de compresión según ASTM D638:**

Para poder hacer un correcto uso del equipo y tener datos más confiables se siguieron los siguientes pasos:

Paso 1: Verificar el estado de la máquina, encender el equipo hidráulico e iniciar el software de control

Paso 2: Enumerar las 5 probetas y configurar el tipo de ensayo en la pantalla táctil.

Paso 3: Montar los separadores necesarios hasta lograr casi el contacto entre la probeta y el apoyo superior, verificar la alineación para hacer coincidir el centro de la probeta con el centro del actuador hidráulico, la configuración de la velocidad de ensayo se hará tal cual lo establece el apartado N° 9 de la norma ASTM D695, para nuestro tipo de probetas será de  $1.3 \text{ mm} + - 0.3 \text{ mm/min}$

Paso 4: Ensayar la probeta hasta llevarla al colapso y anotar los datos proporcionados por el equipo de compresión, limpiar el área de trabajo y cargar nuevamente la siguiente probeta.



Figura 18: Ensayo de compresión realizado en Universidad Privada Antenor Orrego

### **3.3.5. Método De Ensayo de Flexión**

#### **A. Objetivo**

El objetivo del ensayo de Flexión es poder determinar la capacidad de respuesta de un material, en este caso FVRP ante situaciones de carga como la flexión pura, obteniendo datos importantes como, resistencia máxima ala flexión, deformacion máxima y esfuerzo máximo en la cara de tracción los cuales son importantes para el diseño de elementos a flexión como vigas portantes o voladizas

#### **B. Características de la Maquina de ensayos de Flexión**

Para este ensayo se planteó inicialmente usar la máquina de flexión de fabricación artesanal que se encuentra en el laboratorio de suelos de UPAO, esta máquina consiste en una prensa hidráulica (gata hidráulica) que trabaja de forma inversa la cual viene empotrada en una placa con pernos y la lectura de las fuerzas aplicadas se

logra mediante el uso de una celda de carga de capacidad máxima de 4.5 Ton, la cual transfiere los datos a un PC portátil



Figura 19: Ensayos de Tracción realizados en Universidad privada Antenor Orrego  
Luego de cargar la probeta de la Sección H, notamos que la fuerza aplicada en la probeta de 50 cm de largo había llegado al tope de resistencia de la celda de carga por lo cual se optó por cancelar el ensayo y buscar otra alternativa para su realización en cumplimiento de la norma.

Para poder generar la fuerza necesaria para hacer fallar las probetas usaremos máquina de compresión marca “ELE International” Modelo 1912B0001/37-4950/09, la cual tiene una fuerza máxima de trabajo de 1500 KN, este equipo hidráulico se encuentra en el Laboratorio de suelos de la Universidad Privada Antenor Orrego.

### **C. Procedimiento para ensayo de Flexión según ASTM D638:**

Para poder hacer un correcto uso del equipo y tener datos más confiables se siguieron los siguientes pasos:

Paso 1: Verificar el estado de la máquina, encender el equipo hidráulico y iniciar el software de control

Paso 2: Enumerar las 5 probetas y configurar el tipo de ensayo en la pantalla táctil.

Paso 3: Retirar la tapa posterior de la máquina de compresión con un desarmador, para poder colocar la plancha de flexión, con cuidado de no dañar los cables

Paso 4: Retirar los separadores circulares y colocar la plancha de apoyo para ensayos a flexión la cual consta de una plancha de fierro de 1" de espesor, dos apoyos circulares de 1" de diámetro, separados 45 cm uno respecto al otro y 15 cm de ancho

Paso 5: Colocar la probeta de 50 cm de largo transversalmente sobre la plancha dejando una separación de 2.5 cm a cada lado, la barra de 1 ½" se monta en el centro de la probeta la cual transmitirá la carga puntual, verificamos también que este alineada con el centro del actuador hidráulico, así como con el centro de la plancha, para verificar estos valores utilizamos una wincha.

### 3.4. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Utilizando el programa Excel 2017, realizaremos el procesamiento de la información con el cálculo de la resistencia a la compresión de todas las muestras utilizando la data obtenida de los ensayos de laboratorio. Luego realizaremos un análisis comparativo en función de los resultados obtenidos.

#### 3.4.1. Propiedades de la Sección Simple

Para el cálculo de las propiedades de la sección simple utilizaremos las fórmulas empleadas en el Manual AISI 1996 de perfiles de acero, de esta forma calcularemos las propiedades que servirán para los fines de esta investigación.

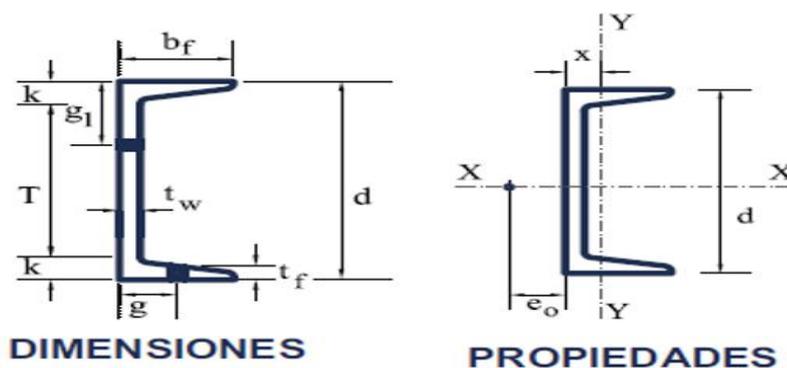


Figura 20: Propiedades geométricas de la Sección C

**A. Dimensiones y Propiedades Sección C 100 x 40**

d (mm)	100.00
b <sub>f</sub> (mm)	40.00
t <sub>w</sub> (mm)	5.00
Area (mm <sup>2</sup> )	850.00
x <sub>c</sub> (mm)	10.735
y <sub>c</sub> (mm)	50.00
I <sub>x</sub> (mm <sup>4</sup> )	1207083.333
I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	119123.775
r <sub>x</sub> (mm)	37.684
r <sub>y</sub> (mm)	11.838

**B. Dimensiones y Propiedades Sección C 70 x 60**

d (mm)	70.00
b <sub>f</sub> (mm)	60.00
t <sub>w</sub> (mm)	7.00
Area (mm <sup>2</sup> )	1232.00
x <sub>c</sub> (mm)	21.568
y <sub>c</sub> (mm)	35.00
I <sub>x</sub> (mm <sup>4</sup> )	939362.667
I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	441292.939
r <sub>x</sub> (mm)	27.613
r <sub>y</sub> (mm)	18.926

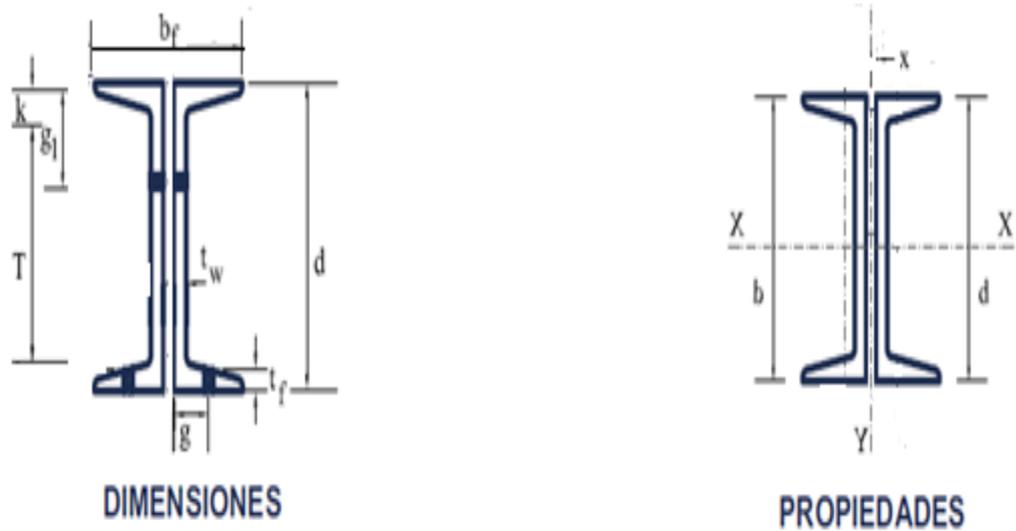


Figura 21:Propiedades geométricas de la sección Doble C

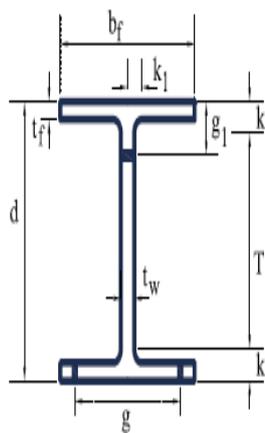
### C. Dimensiones y Propiedades Sección Doble C 70 x 125

d (mm)	70.00
b <sub>f</sub> (mm)	125
t <sub>w</sub> (mm)	7.00
Area (mm <sup>2</sup> )	2898
x <sub>c</sub> (mm)	64.39
y <sub>c</sub> (mm)	35.00
I <sub>x</sub> (mm <sup>4</sup> )	2105334
I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	2660841
r <sub>x</sub> (mm)	26.95
r <sub>y</sub> (mm)	30.30

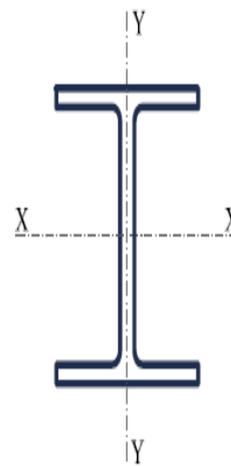
### D. Dimensiones y Propiedades Sección Doble C 100 x 85

d (mm)	70.00
b <sub>f</sub> (mm)	60.00
t <sub>w</sub> (mm)	7.00

Area (mm <sup>2</sup> )	2200
x <sub>c</sub> (mm)	42.5
y <sub>c</sub> (mm)	50
I <sub>x</sub> (mm <sup>4</sup> )	2830833.333
I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	537083.333
r <sub>x</sub> (mm)	35.871
r <sub>y</sub> (mm)	15.625



**DIMENSIONES**



**PROPIEDADES**

Figura 22: Propiedades Geométricas de la Sección H

**E. Dimensiones y Propiedades Sección H 100 x 100**

d (mm)	<b>100.00</b>
b <sub>f</sub> (mm)	100.00
t <sub>w</sub> (mm)	12.00
Area (mm <sup>2</sup> )	2960.00
x <sub>c</sub> (mm)	50
y <sub>c</sub> (mm)	50
I <sub>x</sub> (mm <sup>4</sup> )	939362.667

$I_y$ (mm <sup>4</sup> )	441292.939
$r_x$ (mm)	27.613
$r_y$ (mm)	18.926

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

### 4.1. Cuadros con su correspondiente descripción y numeración

#### 4.1.1. Resultados de ensayo de tracción.

##### A. Resultados del Ensayo de Tracción Sección C 70 x 60

N° Probeta	Largo Lo (mm)	Size (mm)	So (mm <sup>2</sup> )	Fuerza Máxima (kN)	Tipo de Falla
1	62	12	66	3.54	Fractura Dúctil Cizallamiento
2	64	12	66	5.36	Fractura Dúctil Cizallamiento
3	65	12	60	4.59	Fractura Dúctil Cizallamiento
4	64	12	62	5.16	Fractura Dúctil Cizallamiento
5	62	12	66	4.22	Fractura Dúctil Cizallamiento

##### B. Resultados del Ensayo de Tracción Sección C 100 x 40

N° Probeta	Largo Lo (mm)	Size (mm)	So (mm <sup>2</sup> )	Fuerza Máxima (kN)	Tipo de Falla
1	70	11	66	5.35	Fractura Dúctil Cizallamiento

2	69	11	66	5.40	Fractura Dúctil Cizallamiento
3	67	11	66	5.19	Fractura Dúctil Cizallamiento
4	70	11	66	5.95	Fractura Dúctil Cizallamiento
5	69	11	64	4.88	Fractura Dúctil Cizallamiento

### C. Resultados del Ensayo de Tracción Sección H 100 x 100

N° Probeta	Largo Lo (mm)	Size (mm)	So (mm <sup>2</sup> )	Fuerza Máxima (kN)	Tipo de Falla
1	70	12	121	15.32	Fractura Dúctil Cizallamiento
2	65	11	66	9.78	Fractura Dúctil Cizallamiento
3	67	12	120	11.74	Fractura Dúctil Cizallamiento
4	66	12	120	13.76	Fractura Dúctil Cizallamiento
5	69	12	120	10.94	Fractura Dúctil Cizallamiento

### 4.1.2. Ensayo de Compresión.

#### A. Resultados del Ensayo de Compresión Sección C 100 x 40

N° Probeta	Largo (mm)	Peso (kg)	Fuerza Max (KgF)	Tipo de Rotura
1	90	0.139	6622.7	Aplastamiento
2	90	0.136	4998.5	Aplastamiento
3	90	0.139	6266.9	Aplastamiento
4	90	0.138	6376.5	Aplastamiento

5	90	0.137	5877.3	Aplastamiento
---	----	-------	--------	---------------

### B. Resultados del Ensayo de Compresión Sección C 70 x 60

N° Probeta	Largo (mm)	Peso (kg)	Fuerza Max (KgF)	Tipo de Rotura
1	90	0.183	5920.0	Aplastamiento
2	90	0.179	7972.3	Aplastamiento
3	90	0.189	7523.4	Aplastamiento
4	90	0.187	7188.5	Aplastamiento
5	90	0.177	6945.6	Aplastamiento

### C. Resultados del Ensayo de Compresión Sección H 100 x 100

N° Probeta	Largo (mm)	Peso (kg)	Fuerza Max (KgF)	Tipo de Rotura
1	90	0,389	35571.5	Aplastamiento
2	90	0.379	29911.1	Aplastamiento
3	90	0.377	32903.3	Aplastamiento
4	90	0.386	33768.2	Aplastamiento
5	90	0.391	31056.6	Aplastamiento

### 4.1.3. Ensayos de Flexión Pura

#### A. Resultados del Ensayo de Flexión Sección Doble C 70 x 131

N° Probeta	Largo (m)	Peso (kg)	Fuerza Max (KgF)	Tipo de Falla
1	0.45	1.817	2150.0	Cizallamiento en cara a Tracción
2	0.45	1.754	2042.5	Cizallamiento en cara a Tracción
3	0.45	1.803	2256.7	Cizallamiento en cara a Tracción
4	0.45	1.786	2496.5	Cizallamiento en cara a Tracción

#### B. Resultados del Ensayo de Flexión Sección Doble C 100 x 85

N° Probeta	Largo (m)	Peso (kg)	Fuerza Max (KgF)	Tipo de Falla
1	0.45	1.835	2450.4	Cizallamiento en cara a Tracción
2	0.45	2.092	2840.8	Cizallamiento en cara a Tracción
3	0.45	1.945	3092.6	Cizallamiento en cara a Tracción

4	0.45	1.977	2535.3	Cizallamiento en cara a Tracción
---	------	-------	--------	----------------------------------

### C. Resultados del Ensayo de Flexión Sección H 100 x 100

N° Probeta	Largo (m)	Peso (kg)	Fuerza Max (KgF)	Tipo de Falla
1	0.42	1.823	6793.9	Cizallamiento en cara a Tracción
2	0.42	1.814	6107.5	Cizallamiento en cara a Tracción
3	0.42	1.831	5806.8	Cizallamiento en cara a Tracción
4	0.42	1.819	5728.3	Cizallamiento en cara a Tracción

#### 4.1.4. Cálculos de las Propiedades Mecánicas de los Perfiles Estructurales de Fibra de Vibra de Vidrio en Perfiles C 70 x 60 y Doble C 70 x 125

##### A. Cálculo de la tensión de Fluencia

$$\sigma_y = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

##### ➤ Probeta 1:

$$\sigma_y = 3.54 \text{ kN} / 66 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 53.63 \text{ MPa}$$

##### ➤ Probeta 2:

$$\sigma_y = 5.36 \text{ kN} / 66 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 81.21 \text{ MPa}$$

##### ➤ Probeta 3:

$$\sigma_y = 4.59 \text{ kN} / 60 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 76.5 \text{ MPa}$$

##### ➤ Probeta 4:

$$\sigma_y = 5.16 \text{ kN} / 62 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 83.22 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 5:**

$$\sigma_y = 4.22 \text{ kN} / 62 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 63.93 \text{ MPa}$$

**B. Alargamiento en el Límite de Fluencia:**

$$\varepsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0} * 100$$

➤ **Probeta 1:**

$$0.045 = (L_y - 62) / 62$$

$$L_y = 64.8 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 2:**

$$0.055 = (L_y - 64) / 64$$

$$L_y = 67.5 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 3:**

$$0.095 = (L_y - 64) / 64$$

$$L_y = 70.1 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 4:**

$$0.064 = (L_y - 62) / 62$$

$$L_y = 65.9 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 5:**

$$0.070 = (L_y - 64) / 64$$

$$L_y = 68.5 \text{ mm}$$

### **A. Módulo de Elasticidad**

**E = ESFUERZO / DEFORMACIÓN UNIT.**

➤ **Probeta 1:**

$$E = 53.63 \text{ MPa} / 0.045$$

$$E = 1192$$

➤ **Probeta 2:**

$$E = 81.21 \text{ MPa} / 0.055$$

$$E = 1477$$

➤ **Probeta 3:**

$$E = 76.5 \text{ MPa} / 0.095$$

$$E = 805$$

➤ **Probeta 4:**

$$E = 83.22 \text{ MPa} / 0.064$$

$$E = 1300$$

➤ **Probeta 5:**

$$E = 63.93 \text{ MPa} / 0.070$$

$$E = 914$$

### **B. Resistencia a la Compresión.**

$$\sigma_{cp} = \frac{P_Y}{A_0}$$

➤ **Probeta 1:**

$$\sigma_c = 5920.0 / 1232 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = 47.07 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 2:**

$$\sigma_c = 7972.3 / 1232 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = 63.44 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 3:**

$$\sigma_c = 7523.4 / 1232 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = 59.82 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 4:**

$$\sigma_c = 7188.5 / 1232 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = 57.17 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 5:**

$$\sigma_c = 6945.6 / 1232 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = 55.21 \text{ MPa}$$

**C. Deflexión o Flecha:**

$$Y^* = \frac{P S^3}{48 E I}$$

➤ **Probeta 1:**

$$Y^* = (2150 * 450^3) / (48 * 1138 * 1644479)$$

$$Y^* = 2.2 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 2:**

$$Y^* = (2042.5 * 450^3) / (48 * 1138 * 1644479)$$

$$Y^* = 2.1 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 3:**

$$Y^* = (2256.7 * 450^3) / (48 * 1138 * 1644479)$$

$$Y^* = 2.3 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 4:**

$$Y^* = (2496.5 * 450^3) / (48 * 1138 * 1644479)$$

$$Y^* = 2.5 \text{ mm}$$

**I. Tensión Máxima en la Cara de Tracción**

$$M_{\max} = \frac{P.L}{4}$$

Centro de gravedad en  $Y_c = 5 \text{ cm}$

$$\text{Esfuerzo máximo en la cara a tracción } \sigma_f = \frac{M_{\max} \cdot Y_c}{I}$$

CALCULOS FLEXION PURA SECCION H 70 x 125								
N° Probeta	Fuerza (KgF)	Largo L (mm)	Modulo de Elasticidad E	Inercia Iy (mm <sup>4</sup> )	Fuerza P (ton)	Momento max (ton.cm) <b>P.L/4</b>	Centro de Gravedad Yc (cm)	Esfuerzo Flexion (ton/cm <sup>2</sup> ) <b>(Mmax.Yc)/I</b> <b>y</b>
1	2150	450	1138	1644479	2.15	24.19	3.5	0.51
2	2042.5	450	1138	1644479	2.04	22.98	3.5	0.49
3	2256.7	450	1138	1644479	2.26	25.39	3.5	0.54
4	2496.5	450	1138	1644479	2.50	28.09	3.5	0.60

**4.1.5. Cálculos de las Propiedades Mecánicas de los Perfiles Estructurales de Fibra de Vibra de Vidrio en Perfiles C 100 x 40 y Doble C 100 x 85.**

**A. Cálculo de la tensión de Fluencia**

$$\sigma_y = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

➤ **Probeta 1:**

$$\sigma_y = 5.35 \text{ kN} / 66 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 81.06 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 2:**

$$\sigma_y = 5.40 \text{ kN} / 66 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 81.82 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 3:**

$$\sigma_y = 5.19 \text{ kN} / 66 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 78.64 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 4:**

$$\sigma_y = 5.95 \text{ kN} / 66 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 90.15 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 5:**

$$\sigma_y = 4.88 \text{ kN} / 64 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 76.25 \text{ MPa}$$

**B. Alargamiento en el Límite de Fluencia:**

$$\epsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0} * 100$$

➤ **Probeta 1:**

$$0.064 = (L_y - 70) / 70$$

$$L_y = 74.5 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 2:**

$$0.066 = (L_y - 69) / 69$$

$$L_y = 73.5 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 3:**

$$0.072 = (L_y - 67) / 67$$

$$L_y = 71.8 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 4:**

$$0.063 = (L_y - 70) / 70$$

$$L_y = 74.4 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 5:**

$$0.057 = (L_y - 69) / 69$$

$$L_y = 72.9 \text{ mm}$$

**C. Módulo de Elasticidad**

**E = ESFUERZO / DEFORMACIÓN UNIT.**

➤ **Probeta 1:**

$$E = 81.06 \text{ MPa} / 0.064$$

$$E = 1266$$

➤ **Probeta 2:**

$$E = 81.82 \text{ MPa} / 0.066$$

$$E = 1239$$

➤ **Probeta 3:**

$$E = 78.64 \text{ MPa} / 0.072$$

$$E = 1092$$

➤ **Probeta 4:**

$$E = 90.15 \text{ MPa} / 0.063$$

$$E = 1431$$

➤ **Probeta 5:**

$$E = 76.25 \text{ MPa} / 0.057$$

$$E = 1337$$

**D. Resistencia a la Compresión.**

$$\sigma_{cp} = \frac{P_Y}{A_0}$$

➤ **Probeta 1:**

$$\sigma_c = 6622.7 / 850 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = 76.5 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 2:**

$$\sigma_c = 4998.5 / 850 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = 57.7 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 3:**

$$\sigma_c = 6266.9 / 850 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = 72.3 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 4:**

$$\sigma_c = 6376.5 / 850 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = 73.6 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 5:**

$$\sigma_c = 5877.3 / 850 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = 67.9 \text{ MPa}$$

**E. Deflexión o Flecha:**

$$Y^* = \frac{P S^3}{48 E I}$$

➤ **Probeta 1:**

$$Y^* = (2450.4 * 450^3) / (48 * 1273 * 537083)$$

$$Y^* = 6.8 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 2:**

$$Y^* = (2840.8 * 450^3) / (48 * 1273 * 537083)$$

$$Y^* = 7.9 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 3:**

$$Y^* = (3092.6 * 450^3) / (48 * 1273 * 537083)$$

$$Y^* = 8.6 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 4:**

$$Y^* = (2535.3 * 450^3) / (48 * 1273 * 537083)$$

$$Y^* = 7.0 \text{ mm}$$

## II. Tensión Máxima en la Cara de Tracción

$$M_{\max}: \frac{P.L}{4}$$

Centro de gravedad en  $Y_c = 5 \text{ cm}$

$$\text{Esfuerzo máximo en la cara a tracción } \sigma_f = \frac{M_{\max}.Y_c}{I}$$

CALCULOS FLEXION PURA SECCION H 100 X 85									
N° Probeta	Fuerza (KgF)	Largo L (mm)	Modulo de Elasticidad E	Inercia Iy (mm <sup>4</sup> )	Y (mm) $\frac{(P.L^3)/(4}{8E.Iy}$	Fuerza P (ton)	Momento max (ton.cm) $\frac{P.L}{4}$	Centro de Gravedad Yc (cm)	Esfuerzo Flexion (ton/cm <sup>2</sup> ) $\frac{(M_{\max}.Y_c)}{I}$
1	2450.4	450	1273	537083	6.8	2.45	27.57	5	2.57
2	2840.8	450	1273	537083	7.9	2.84	31.96	5	2.98
3	3092.6	450	1273	537083	8.6	3.09	34.79	5	3.24
4	2535.3	450	1273	537083	7.0	2.54	28.52	5	2.66

### 4.1.6. Cálculos de las Propiedades Mecánicas de los Perfiles Estructurales de Fibra de Vibra de Vidrio en Perfiles H 100 x 100

#### A. Calculo Tensión de Fluencia

$$\sigma_y = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

➤ **Probeta 1:**

$$\sigma_y = 15.32 \text{ kN} / 121 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 126.6 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 2:**

$$\sigma_y = 9.78 \text{ kN} / 66 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 148.2 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 3:**

$$\sigma_y = 11.74 \text{ kN} / 120 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 97.8 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 4:**

$$\sigma_y = 13.76 \text{ kN} / 120 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 114.6 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 5:**

$$\sigma_y = 10.94 \text{ kN} / 120 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_y = 91.2 \text{ MPa}$$

**B. Alargamiento en el Límite de Fluencia:**

$$\epsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0} * 100$$

➤ **Probeta 1:**

$$0.072 = (L_y - 70) / 70$$

$$L_y = 75.0 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 2:**

$$0.055 = (L_y - 65) / 65$$

$$L_y = 68.6 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 3:**

$$0.066 = (L_y - 67) / 67$$

$$L_y = 71.4 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 4:**

$$0.033 = (L_y - 66) / 66$$

$$L_y = 68.2 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 5:**

$$0.054 = (L_y - 69) / 69$$

$$L_y = 72.7 \text{ mm}$$

**C. Módulo de Elasticidad**

**E = ESFUERZO / DEFORMACIÓN UNIT.**

- **Probeta 1:**  
 $E = 126.6 \text{ MPa} / 0.072$   
 $E = 1558.49$
- **Probeta 2:**  
 $E = 148.2 \text{ MPa} / 0.055$   
 $E = 2694$
- **Probeta 3:**  
 $E = 97.83 \text{ MPa} / 0.066$   
 $E = 1482$
- **Probeta 4:**  
 $E = 114.7 \text{ MPa} / 0.033$   
 $E = 3474$
- **Probeta 5:**  
 $E = 91.2 \text{ MPa} / 0.054$   
 $E = 1688$

#### D. Resistencia a la Compresión.

$$\sigma_{cp} = \frac{P_Y}{A_0}$$

- **Probeta 1:**  
 $\sigma_c = 35571.5 / 2960 \text{ mm}^2$   
 $\sigma_c = 117.93 \text{ MPa}$
- **Probeta 2:**  
 $\sigma_c = 29911.1 / 2960 \text{ mm}^2$   
 $\sigma_c = 99.2 \text{ MPa}$
- **Probeta 3:**  
 $\sigma_c = 32903.3 / 2960 \text{ mm}^2$   
 $\sigma_c = 109.1 \text{ MPa}$
- **Probeta 4:**

$$\sigma_c = 33768.2 / 2960 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = 111.9 \text{ MPa}$$

➤ **Probeta 5:**

$$\sigma_c = 31056.6 / 2960 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = 102.9 \text{ MPa}$$

**E. Deflexión o Flecha en ensayo de Flexión:**

$$Y^* = \frac{P S^3}{48 E I}$$

➤ **Probeta 1:**

$$Y^* = (6793.9 * 450^3) / (48 * 2058 * 1678186)$$

$$Y^* = 3.7 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 2:**

$$Y^* = (6107.5 * 450^3) / (48 * 2058 * 1678186)$$

$$Y^* = 3.4 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 3:**

$$Y^* = (5806.8 * 450^3) / (48 * 2058 * 1678186)$$

$$Y^* = 3.2 \text{ mm}$$

➤ **Probeta 4:**

$$Y^* = (5728.3 * 450^3) / (48 * 2058 * 1678186)$$

$$Y^* = 3.1 \text{ mm}$$

**III. Tensión Máxima en la Cara de Tracción**

$$M_{\max} = \frac{P.L}{4}$$

Centro de gravedad en  $Y_c = 5 \text{ cm}$

$$\text{Esfuerzo maximo en la cara a tracción } \sigma_f = \frac{M_{\max}.Y_c}{I}$$

CALCULOS FLEXION PURA SECCION H 100 X 100								
N° Probeta	Fuerza (KgF)	Largo L (mm)	Modulo de Elasticidad E	Inercia Iy (mm <sup>4</sup> )	Fuerza P (ton)	Momento max (ton.cm) P.L/4	Centro de Gravedad Yc (cm)	Esfuerzo Flexion (ton/cm <sup>2</sup> ) (Mmax.Yc)/Iy
1	6793.9	450	2058	1678186	6.79	76.43	5	2.28
2	6107.5	450	2058	1678186	6.11	68.71	5	2.05
3	5806.8	450	2058	1678186	5.81	65.33	5	1.95
4	5728.3	450	2058	1678186	5.73	64.44	5	1.92

#### 4.1.7. RESULTADOS DE ENSAYOS A PERFILES C 70 X 60

N° Probeta	TRACCION				COMPRESION	FLEXION	
	$\sigma_y$ (Mpa)	$\epsilon$ (%)	$\Delta L_y$ (mm)	Modulo de Elasticidad Traccion	$\sigma_c$ (Mpa)	$\sigma_f$ (Ton/cm <sup>2</sup> )	Y (mm)
1	53.63	4.5	2.8	1192	47.07	0.51	2.2
2	81.21	5.5	3.5	1477	63.44	0.49	2.1
3	76.5	9.5	6.1	805	59.82	0.54	2.3
4	83.22	6.4	3.9	1300	57.17	0.60	2.5
5	63.93	7.0	4.5	914	55.21	-	-
PROMEDIO	71.70	6.58	4.16	1138	56.54	0.54	2.3

N° Probeta	TRACCION				COMPRESION	FLEXION	
	$\sigma_y$ (Mpa)	$\epsilon$ (%)	$\Delta L_y$ (mm)	Modulo de Elasticidad Traccion	$\sigma_c$ (Mpa)	$\sigma_f$ (Ton/cm <sup>2</sup> )	Y (mm)
1	53.63	4.5	2.8	1192	47.07	0.51	2.2
2	81.21	5.5	3.5	1477	63.44	0.49	2.1
4	83.22	6.4	3.9	1300	57.17	0.60	2.5
PROMEDIO	72.69	5.5	3.4	1323	55.89	0.53	2.3

#### 4.1.8. RESULTADOS DE ENSAYOS A PERFILES C 100 X 40

N° Probeta	TRACCION				COMPRESION	FLEXION	
	$\sigma_y$ (Mpa)	$\epsilon$ (%)	$\Delta L_y$ (mm)	Modulo de Elasticidad Traccion	$\sigma_c$ (Mpa)	$\sigma_f$ (ton/cm <sup>2</sup> )	Y (mm)
1	81.06	6.4	4.5	1266	76.46	2.57	6.8
2	81.82	6.6	4.5	1239	57.71	2.98	7.9
3	78.64	7.2	4.8	1092	72.35	3.24	8.6
4	90.15	6.3	4.4	1431	73.62	2.66	7.0
5	76.25	5.7	3.9	1337	67.86	-	-
<b>PROMEDIO</b>	81.58	6.4	4.4	1273	69.60	2.86	7.6

N° Probeta	TRACCION				COMPRESION	FLEXION	
	$\sigma_y$ (Mpa)	$\epsilon$ (%)	$\Delta L_y$ (mm)	Modulo de Elasticidad Traccion	$\sigma_c$ (Mpa)	$\sigma_f$ (ton/cm <sup>2</sup> )	Y (mm)
1	81.06	6.4	4.5	1266	76.46	2.57	6.8
2	81.82	6.6	4.5	1239	57.71	2.98	7.9
4	90.15	6.3	4.4	1431	73.62	2.66	7.0
5	76.25	5.7	3.9	1337	67.86	-	-
<b>PROMEDIO</b>	82.32	6.3	4.3	1318	68.91	2.73	7.2

#### 4.1.9. RESULTADOS DE ENSAYOS A PERFILES H 100 X 100

N° Probeta	TRACCION				COMPRESION	FLEXION	
	$\sigma_y$ (Mpa)	$\epsilon$ (%)	$\Delta L_y$ (mm)	Modulo de Elasticidad E	$\sigma_c$ (Mpa)	$\sigma_f$ (ton/cm <sup>2</sup> )	Y (mm)
1	126.61	7.2	5.0	1758	117.93	2.28	3.7
2	148.18	5.5	3.6	2694	99.17	2.05	3.4
3	97.83	6.6	4.4	1482	109.09	1.95	3.2
4	114.67	4.3	2.2	2667	111.95	1.92	3.1
5	91.17	5.4	3.7	1688	102.96	-	-
<b>PROMEDIO</b>	115.69	5.8	3.8	2058	108.22	2.05	3.4

N° Probeta	TRACCION				COMPRESION	FLEXION	
	$\sigma_y$ (Mpa)	$\epsilon$ (%)	$\Delta L_y$ (mm)	Modulo de Elasticidad E	$\sigma_c$ (Mpa)	$\sigma_f$ (ton/cm2)	Y (mm)
1	126.61	7.2	5.0	1758	117.93	2.28	3.7
2	148.18	5.5	3.6	2694	99.17	2.05	3.4
4	114.67	4.3	2.2	2667	111.95	1.92	3.1
<b>PROMEDIO</b>	129.82	5.7	3.6	2373	109.68	2.08	3.4

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos en los ensayos, se han eliminado algunos resultados que tenían desviaciones muy grandes, de este modo se obtienen datos estadísticamente más confiables

Entre los ensayos de tracción que se llevaron a cabo, se ha observado la aparición de un fenómeno denominado pseudoductilidad, este fenómeno que ha sido estudiado por diversos autores consiste en una reorientación de las fibras del laminado, desplazándose para alinearse con la dirección de la carga

Los tipos de fractura varían dependiendo el tipo de ensayo al cual se sometió cada probeta, las probetas en tracción mostraron una fractura moderadamente frágil perpendicular a la carga aplicada y ante aproximadamente el 70 % de la carga aplicada ya se podía escuchar crujir las fibras desgarrándose

Las probetas en compresión mostraron fracturas por aplastamiento de las fibras en el centro de la sección generando fisuras cercanas a los 45° del plano de la carga aplicada.

Aproximadamente cuando la carga se encontraba al 80 % empezó a fracturarse ligeramente las caras en contacto con los platos de apoyo.

Las probetas sometidas a flexión mostraron un excelente desempeño respecto a su comportamiento esfuerzo deformación es decir conforme se iba aplicando la carga aproximadamente 70% empezaron deformaciones visualmente considerables, al final del ensayo las probetas mostraron fracturas moderadamente dúctiles que terminaron en una falla por cizallamiento en la cara inferior sometida a esfuerzos de tracción

El módulo de Elasticidad de los perfiles los cuales se obtuvieron por los ensayos de tracción son los siguientes para los tres tipos de secciones

Perfiles 70 x 60 = 1323

Perfiles 100 x 40 = 1318

Perfiles 100 x 100 = 2373

como vemos el perfil H 100 x 100 fue el que tuvo un módulo de elasticidad mayor lo que significa que este perfil tiene un mejor comportamiento elástico, siendo propicio para diseñar elementos estructurales que soporten cargas de flexión- traccion como vigas, tijerales, voladizos.

## CONCLUSIONES

- Al realizar los diferentes ensayos a los perfiles estructurales de fibra de vidrio reforzada con resina polyester (FRP) se concluye que estos tienen un mejor comportamiento sometidos a las fuerzas de flexión pura. Destacando especialmente los perfiles H 100 x 100, doble C 100 x 85 y doble C 70 x 125
- El proceso de fabricación de los perfiles desarrollado en la empresa “Ayni S.A.C” se ha validado experimentalmente realizando un conjunto de ensayos, tracción, compresión, flexión pura, los cuales mostraron distintos tipos de fallas al momento de ser ensayados, se tomaron en cuenta los valores que mostraron comportamientos similares en cuanto al módulo de Young, esfuerzos y deformaciones luego se suprimieron los que están fuera de este rango, tanto la formulación como la simetría de la secciones arrojaron resultados y capacidades resaltantes por su capacidad de resistencia ante las fuerzas de flexión y compresión, por lo que se recomienda su uso como un elemento estructural que soporte cargas de flexión y compresión, vigas o columnas
- Los perfiles C 70 x 60 obtuvieron los siguientes resultados en promedio 1323 en módulo de elasticidad, en cuanto a la resistencia de compresión es 55.89 MPa, en Resistencia a la tracción 72.69 MPa, el esfuerzo de flexión es 0.53 ton/cm<sup>2</sup> y la deformación máxima alcanzada este punto antes de la ruptura es de 2.3 mm. En una probeta de 45 cm
- Los perfiles C 100 x 40 obtuvieron los siguientes resultados en promedio 1318 en módulo de elasticidad, en cuanto a la resistencia de compresión es 68.91 MPa, en Resistencia a la tracción 82.32 MPa, el esfuerzo de flexión es 2.73 ton/cm<sup>2</sup> y la deformación máxima alcanzada en flexión este punto antes de la ruptura es de 7.2 mm, en una probeta de 45 cm
- Los perfiles H 100 x 100 obtuvieron los siguientes resultados en promedio 2373 en módulo de elasticidad, en cuanto a la resistencia de compresión es 109.68 MPa, en Resistencia a la tracción 129.82 MPa, el esfuerzo flexión de 2.08 ton/cm<sup>2</sup> y la deformación máxima alcanzada este punto antes de la ruptura es de 3.4 mm, en una probeta de 45 cm

## RECOMENDACIONES

El propósito de la presente investigación es evaluar las propiedades mecánicas de los perfiles estructurales de Fibra de Vidrio Reforzada con resina Polyester, luego de conocer sus propiedades mecánicas podemos sugerir su uso en:

- Construcción de puentes vehiculares hasta con luces de 20 m, en 1982 se construyó el primer Puente hecho de fibra de vidrio reforzada con resina polyester de forma artesanal tipo “sándwich” en el mundo en China (Miyun Bridge). Los sistemas de tableros se han utilizado también para puentes all composite. Así, en 1994 se construyó un puente levadizo (Bonds Mill Lift), utilizando el sistema modular ACCS. El primero que se construyó en Estados Unidos fue el Creek Bridge, en 1996 utilizando un tablero Sandwich tipo Kansas. (Villalon, A, 2010, Utilización de materiales compuestos en la Construcción de nuevos puentes, p. 1587.)
- Construcción de obras portuarias, especialmente elementos estructurales como columnas o vigas de muelles de pesca artesanal, recubrimientos de columnas y estructuras sometidas a erosión costera, Vigas que soportan balcones en Casas de playa o locales comerciales con terrazas en voladizo.
- Como sistemas de Vigas – Columnas en la Construcción de Cámaras de sedimentación, torres de enfriamiento, cuartos de reciclaje de aguas residuales para plantas industriales, sometidos a humedades y temperaturas severas.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

American Society for Testing and Materials, (2007). ASTM D7264/D7264M, Standard test method for flexural properties of polymer matrix composite materials.

American Society for Testing and Materials, (2014). ASTM D638, Standard test method for tensile properties of plastics.

American Society for Testing and Materials, (2015). ASTM D695, Standard test method for compressive properties of rigid plastics.

Besednjak, A. (2006). Los materiales compuestos, (2da ed.). Barcelona: Editorial Hanser

Cassano, M. y Barrera, H. (2015). Resistencia ultima en perfiles delgados de acero conformados en frio – Una comparativa de distintas normas, análisis mediante métodos numéricos y ensayos reales. (Tesis en posgrado de Ingeniería de Materiales). Universidad Tecnológica de Paraná.

- Martínez, J. (2016). Estados de tensión y de deformación en materiales compuestos reforzados con fibra ante diferentes estados de carga. (Tesis Doctoral en Ingeniería de Materiales). Universidad de Castilla.
- Morales, S. (2008). Fibra de vidrio, pruebas y aplicaciones (Tesis en Ingeniería Mecánica). Universidad de Culhuacán.
- Ramírez, J. (2014). Refuerzo de malla de fibra de vidrio en trabajos de aplanados en exteriores. (Tesis en posgrado de Ingeniería Civil). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ramírez, J. (2014). Refuerzo de malla de fibra de vidrio en trabajos de aplanados en exteriores. (Tesis en posgrado de Ingeniería Civil). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Santaella, D. (2012). Estudio de la deformabilidad a tracción de películas plásticas: Norma ASTM D638 vs ASTM D882. (Tesis en Ingeniería de Materiales). Universidad de Simón Bolívar.
- Villalon, A., López, C. (2010). Utilización de materiales compuestos en la construcción de nuevos puentes (Tesis en Ingeniería Civil). Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

## ANEXOS

### Anexo 01: Evidencia fotográficas.



Anexo 1.1. Maquinado de probeta a Tracción



Anexo 1.2. Probetas a tracción maquinadas



Anexo 1.3. Probetas cortas C 70 x 60 para ensayos de compresión



Anexo 1.4. Probetas cortas H 100 x 100 para ensayos de compresión



Anexo 1.5. Probeta C 70 x 60 sometida a ensayo de tracción



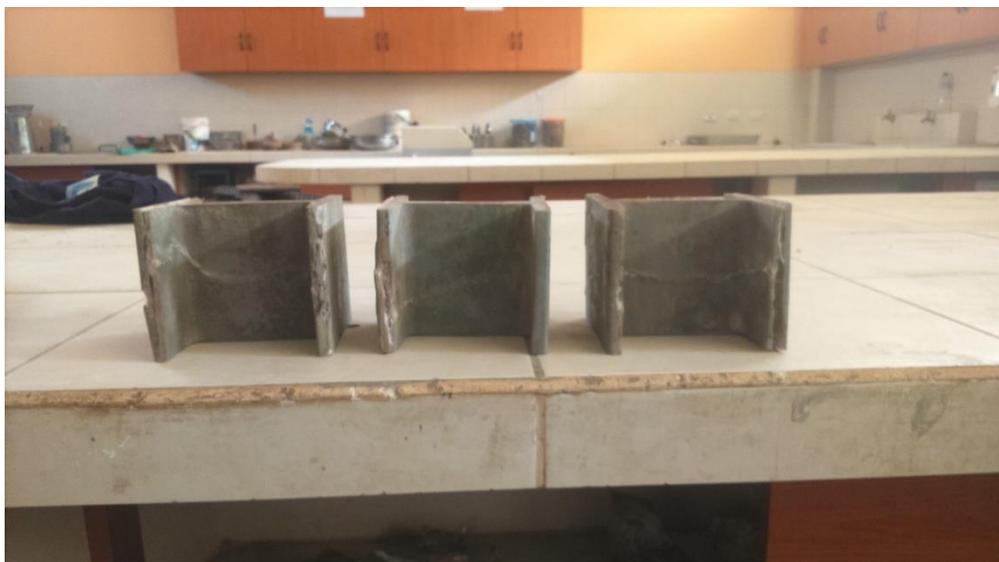
Anexo 1.6. Probeta C 100 x 40 colapsada en ensayo a tracción



Anexo 1.7. Probeta C 70 x 60 sometida a compresión



Anexo 1.8. Probetas C 100 x 40 colapsadas en ensayo de compresión



Anexo 1.9. Probetas H 100 x 100 colapsadas en ensayo a compresión



Anexo 1.10. Probetas C 700 x 60 colapsadas en ensayo a compresión



Anexo 1.11 Ensayo de flexión sección Doble C 70 x 40



Anexo 1.12 Ensayo de flexión sección Doble C 100 x 100



Anexo 1.13 Ensayo de flexión sección Doble C 70 x 60



Anexo 1.14 Probeta colapsada perfil H 100 x 100



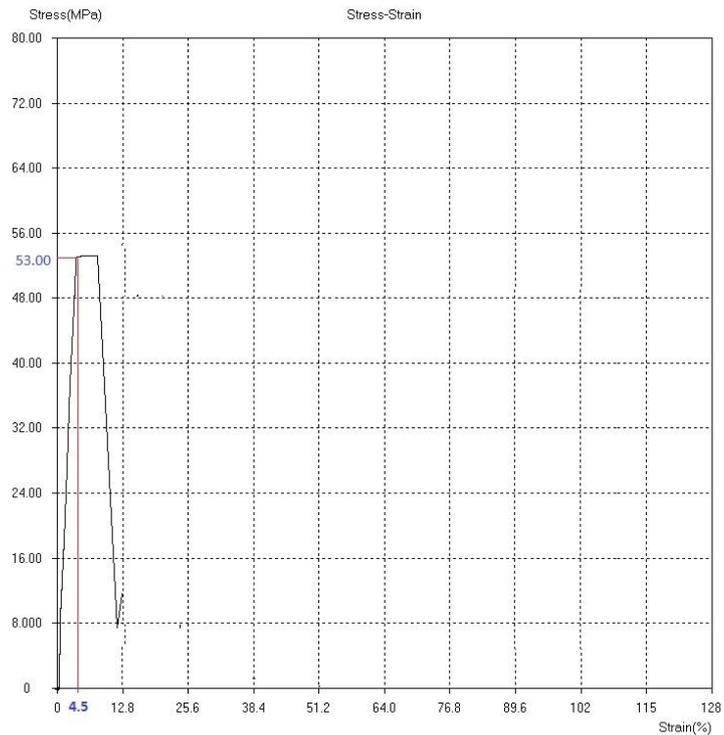
Anexo 1.15. Probeta colapsada perfil Doble C 70 x 60



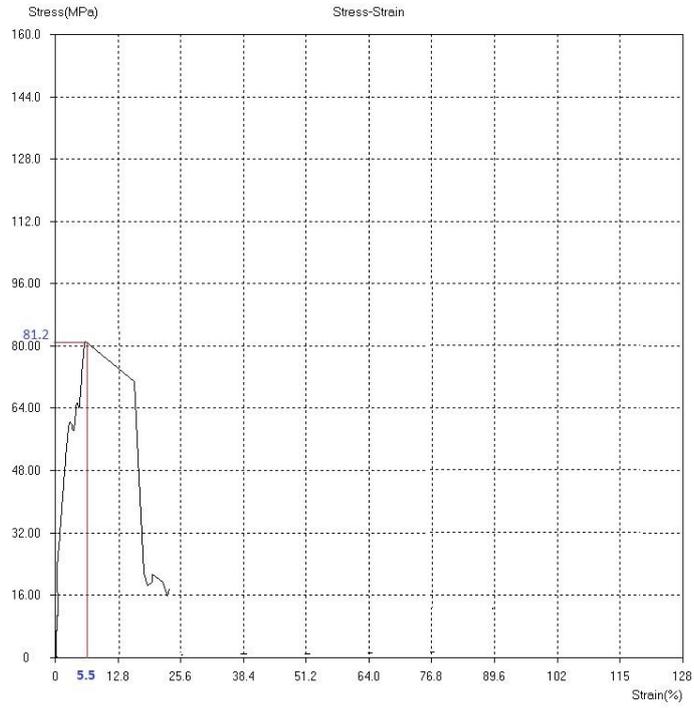
Anexo 1.16. Probeta colapsada perfil Doble C 100 x 40

**Anexo 02: Graficas de Ensayos de Tracción y Compresión**

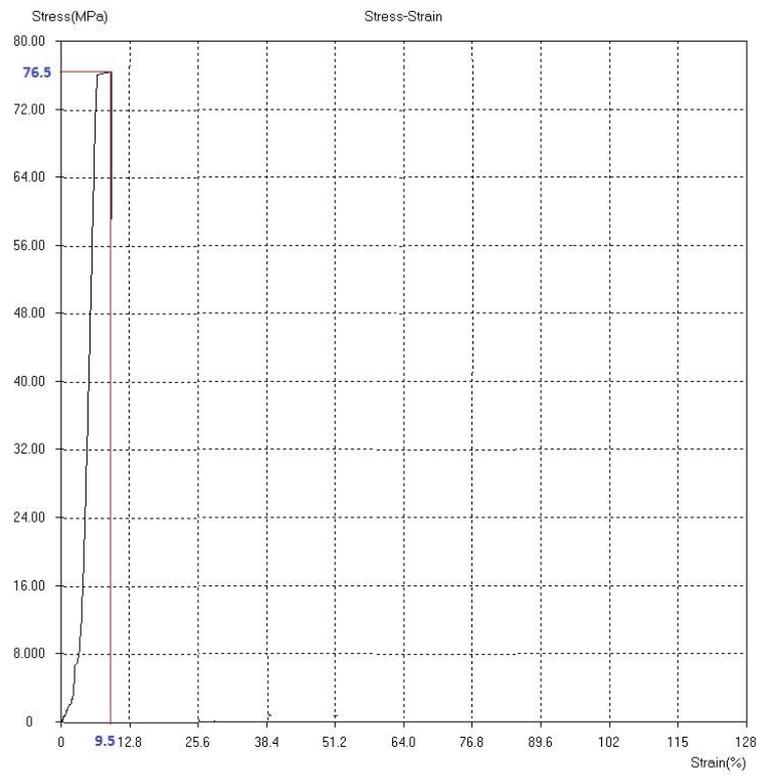
**GRÁFICOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN DE PROBETAS C 70 X 60**



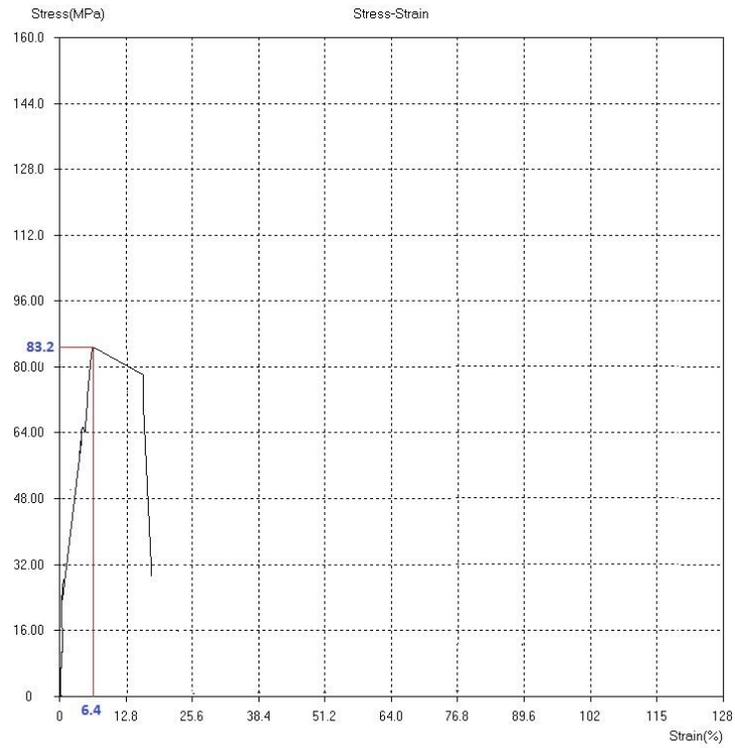
### Anexo 2.1: Probeta 1



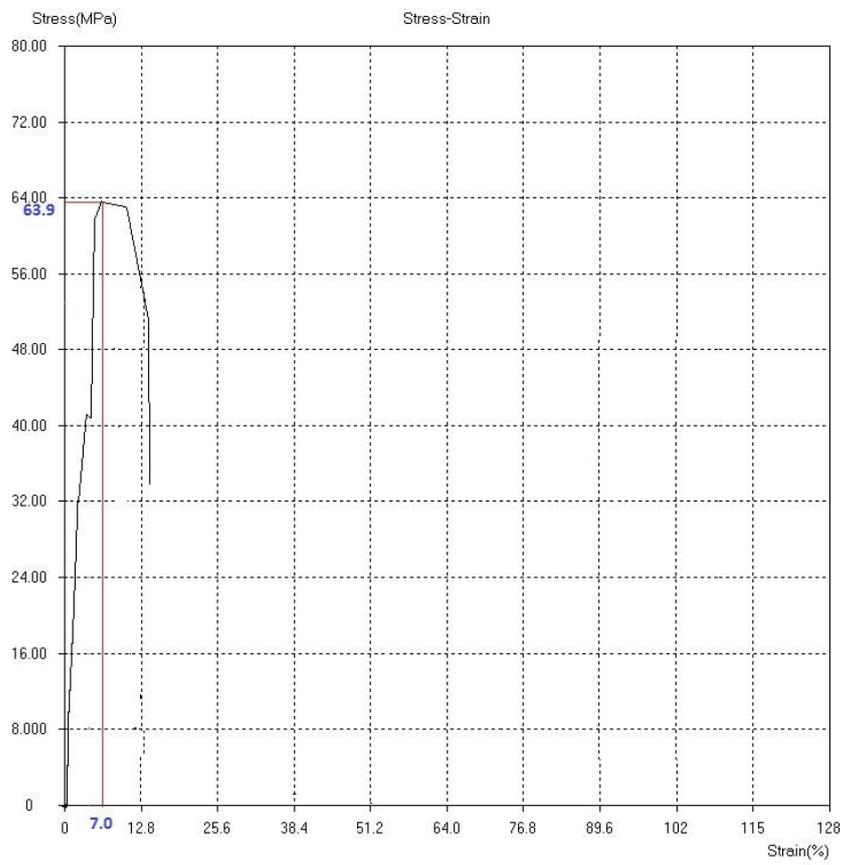
### Anexo 2.2: Probeta 2



### Anexo 2.3: Probeta 3

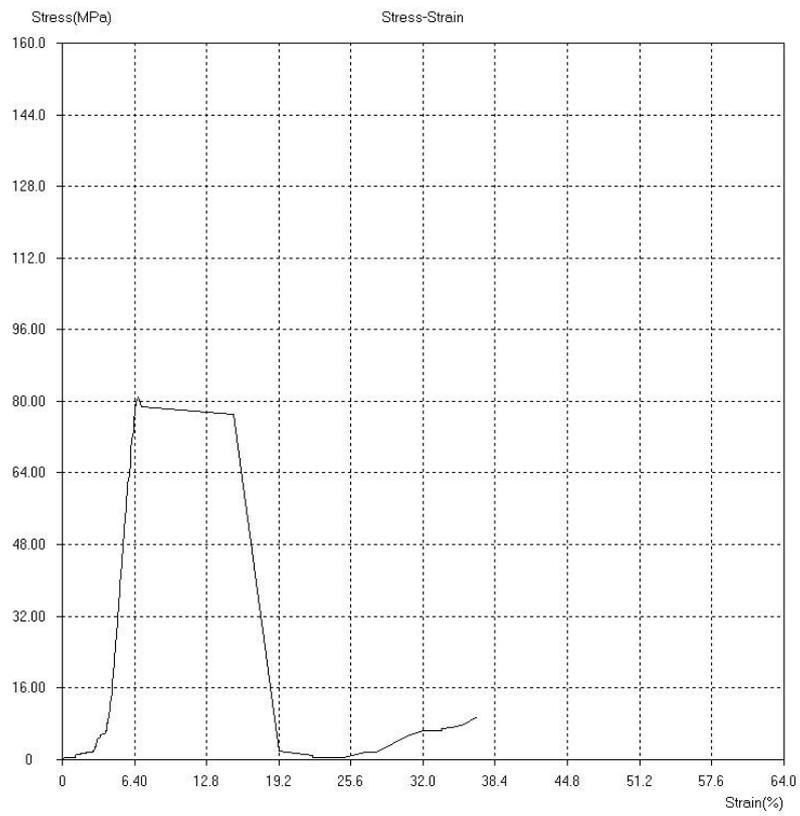


Anexo 2.4: Probeta 4

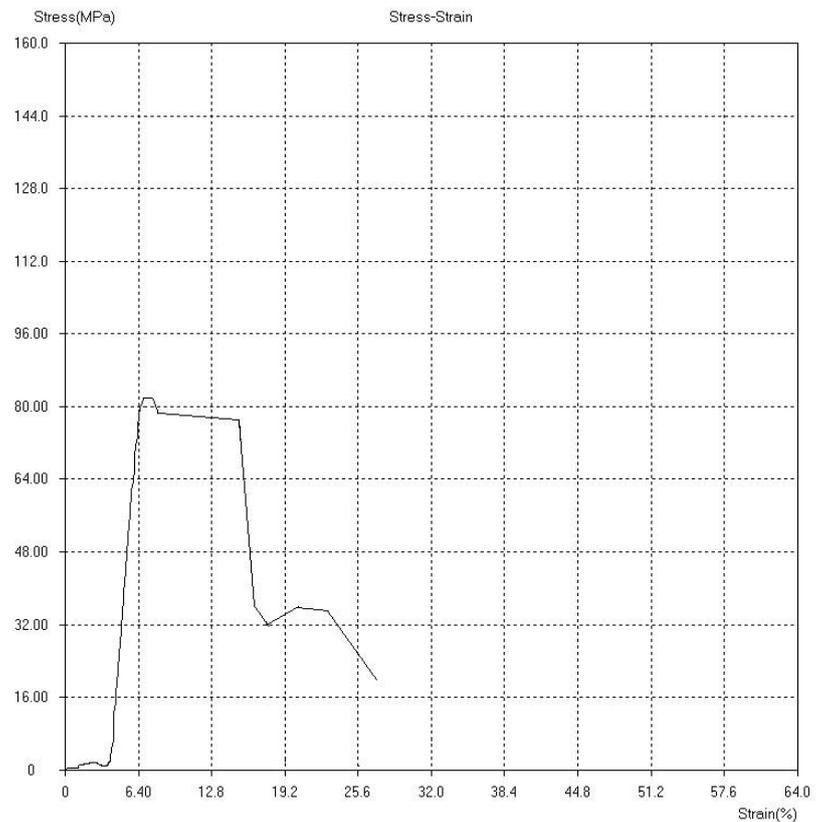


Anexo 2.5: Probeta 5

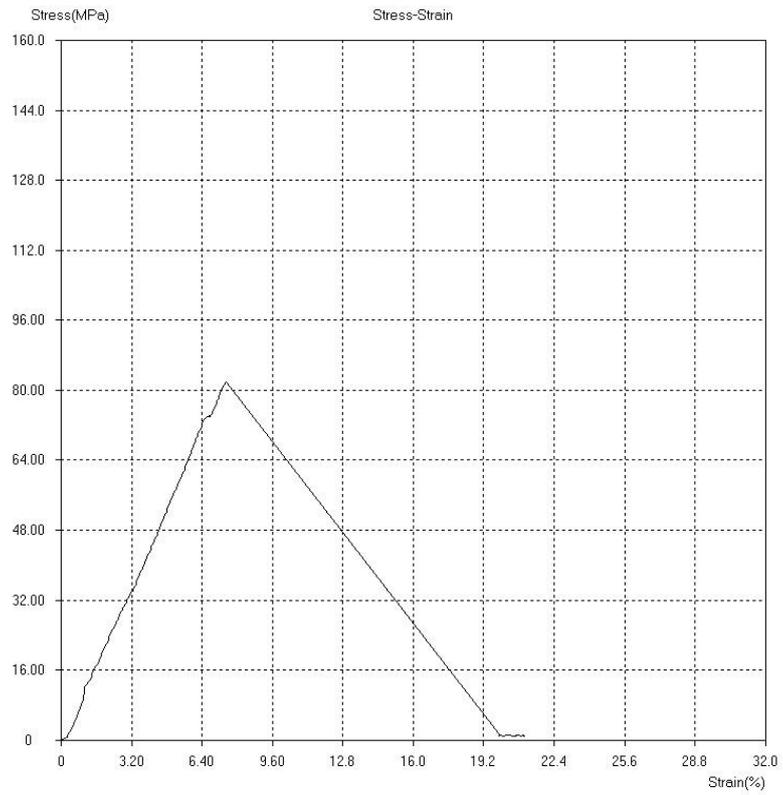
**Gráficos de ensayos a tracción de perfiles C 100 x 40**



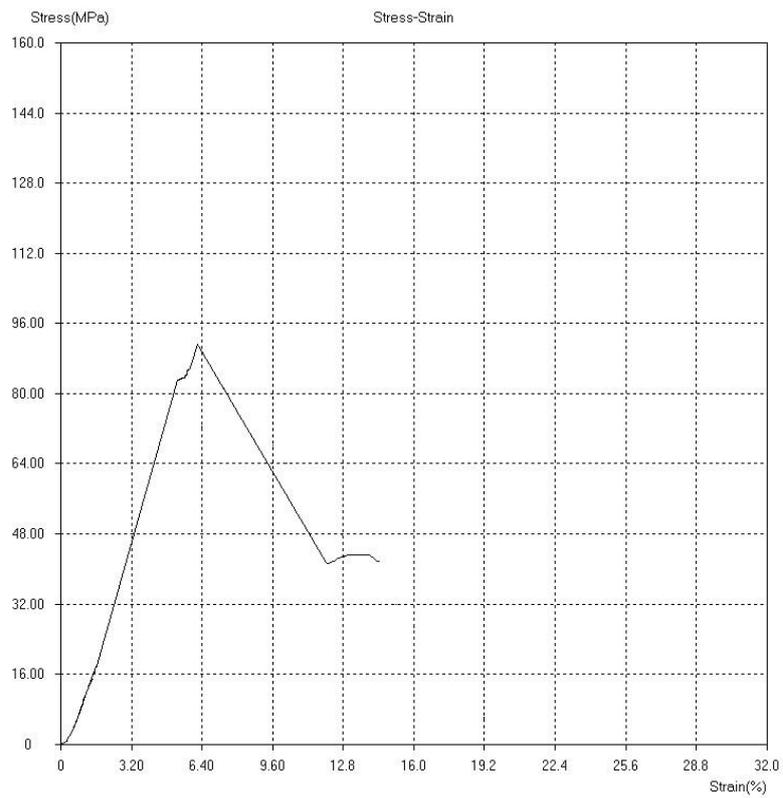
Anexo 2.6: Probeta 1



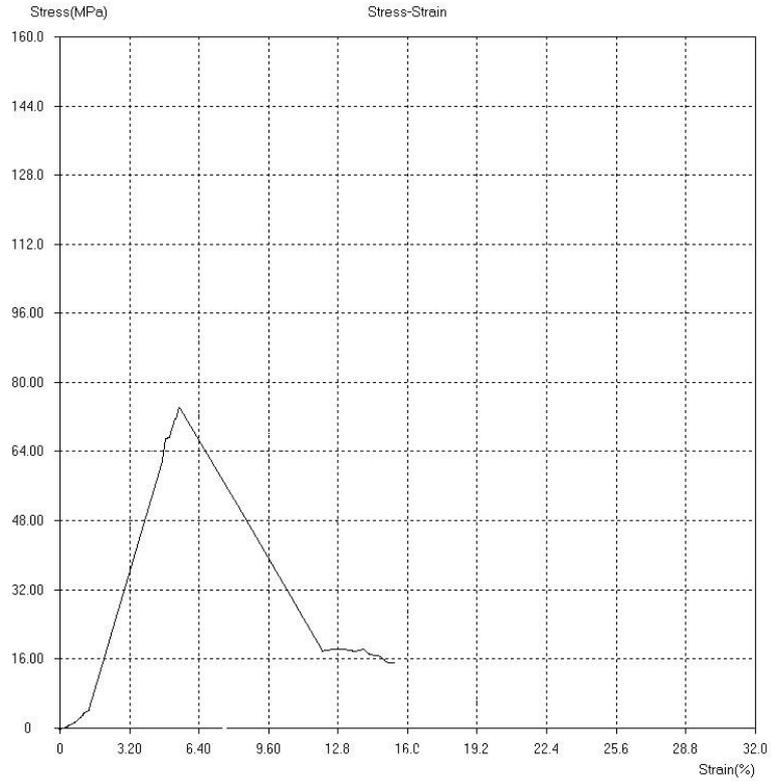
### Anexo 2.7: Probeta 2



### Anexo 2.8: Probeta 3

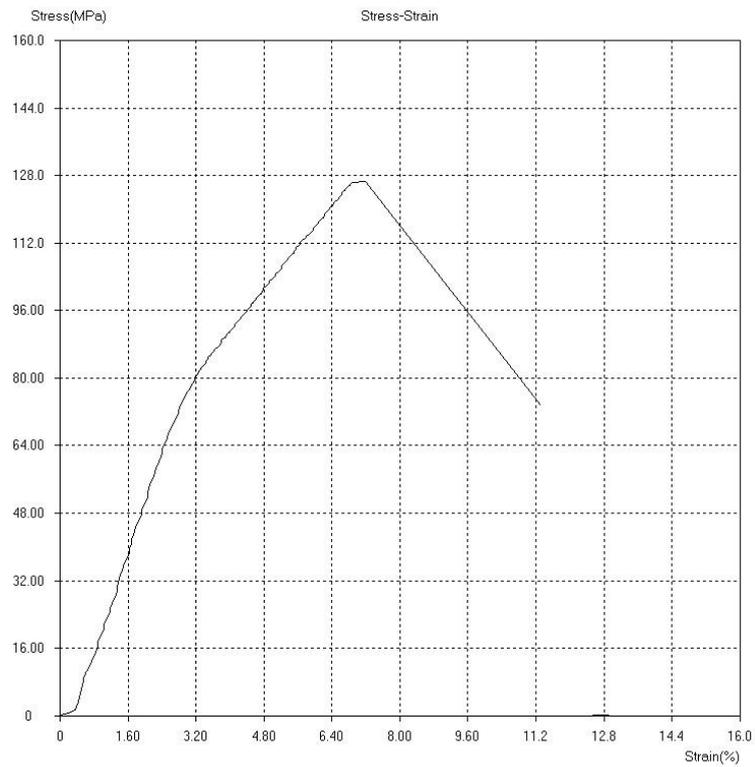


### Anexo 2.9: Probeta 4

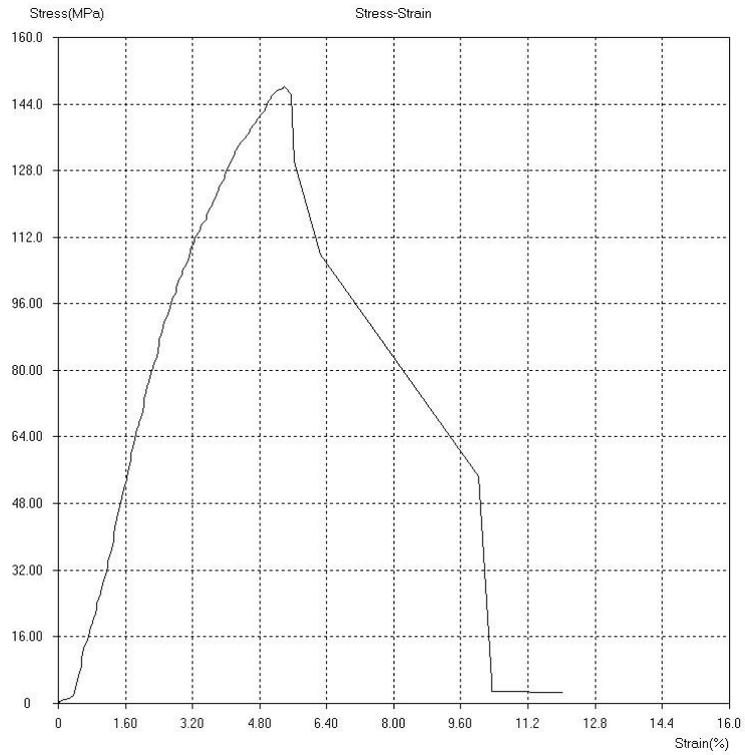


### Anexo 2.10: Probeta 5

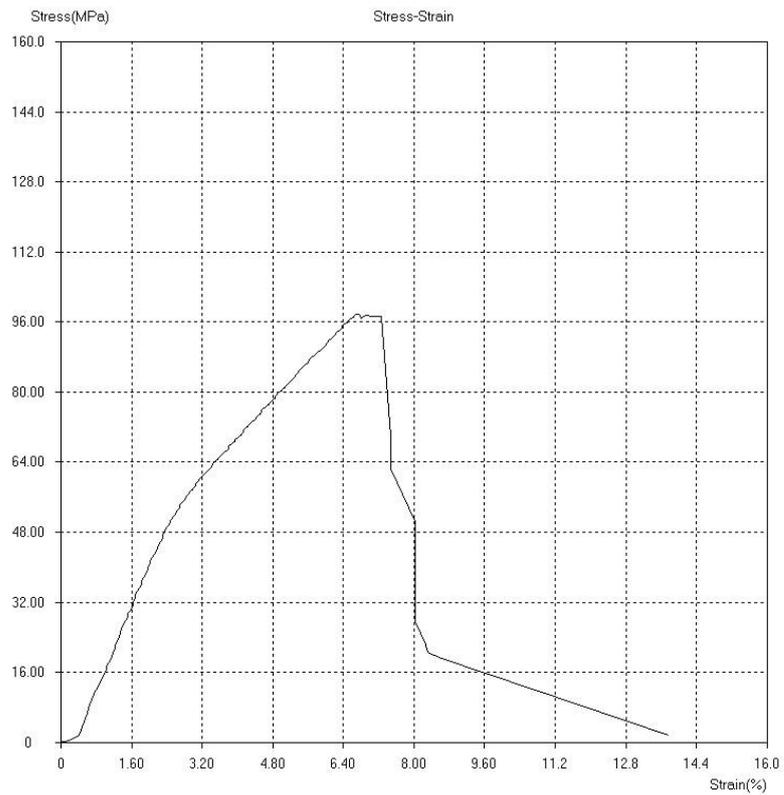
#### 4.2.3 GRAFICOS DE ENSAYOS A TRACCION A PERFILES H 100 X 100



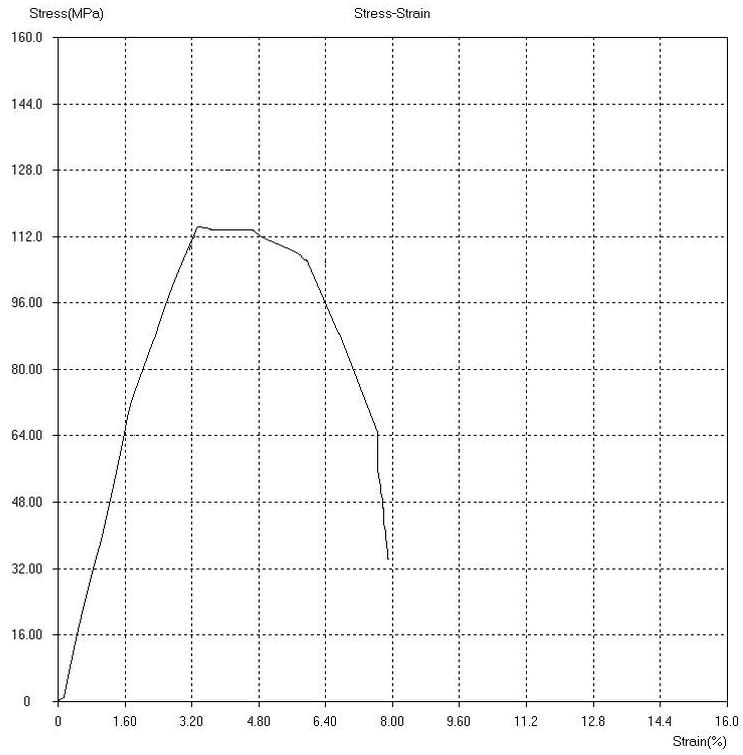
### Anexo 2.11: Probeta 1



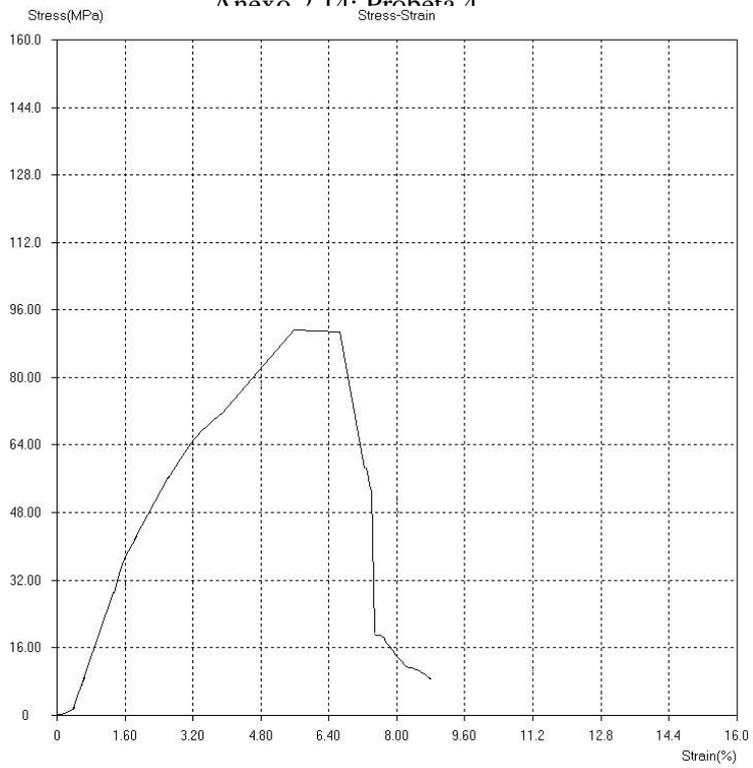
### Anexo 2.12: Probeta 2



### Anexo 2.13: Probeta 3



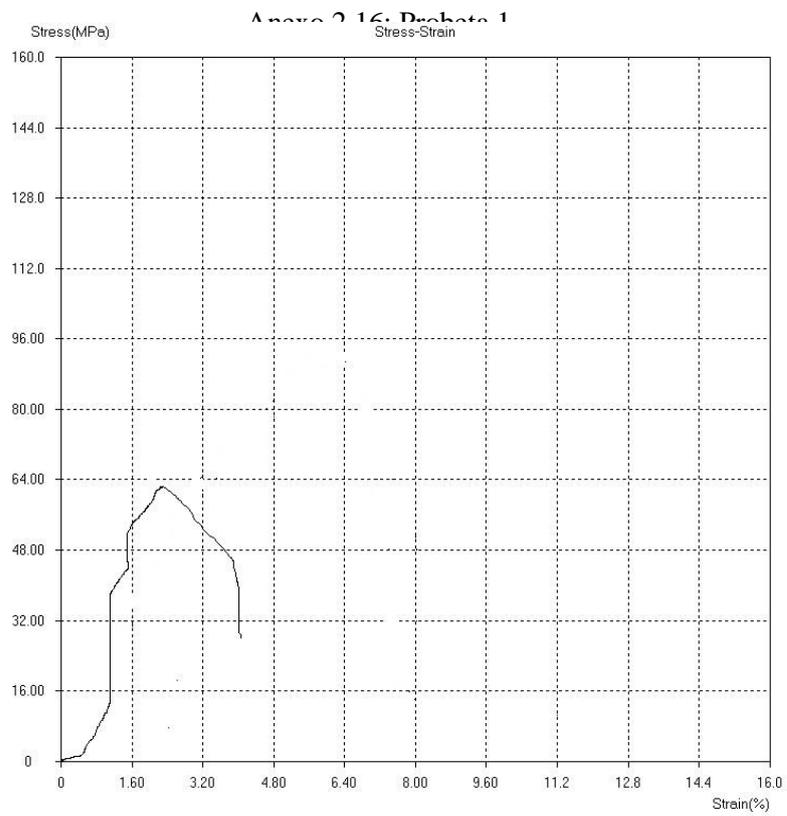
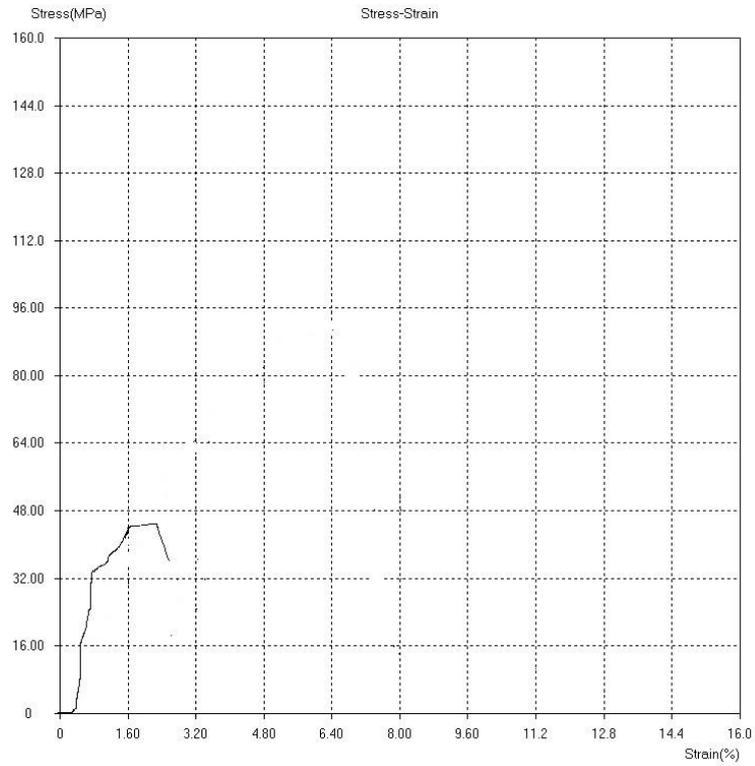
### Anexo 2.14: Probeta 4



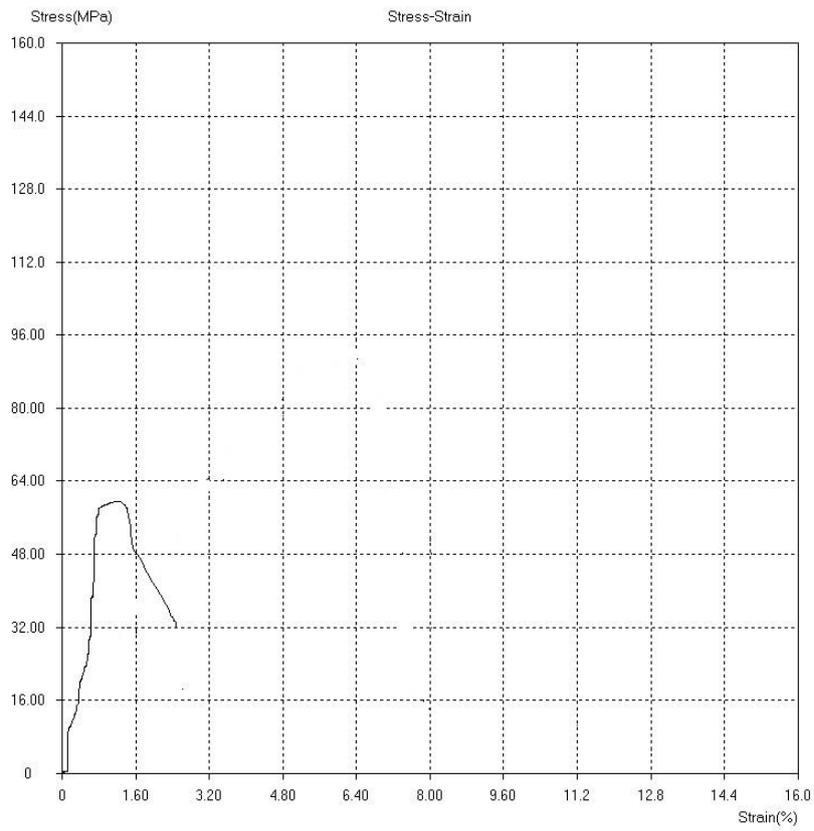
### Anexo 2.15: Probeta 5

### 4.3. GRAFICOS DE ENSAYOS A COMPRESION

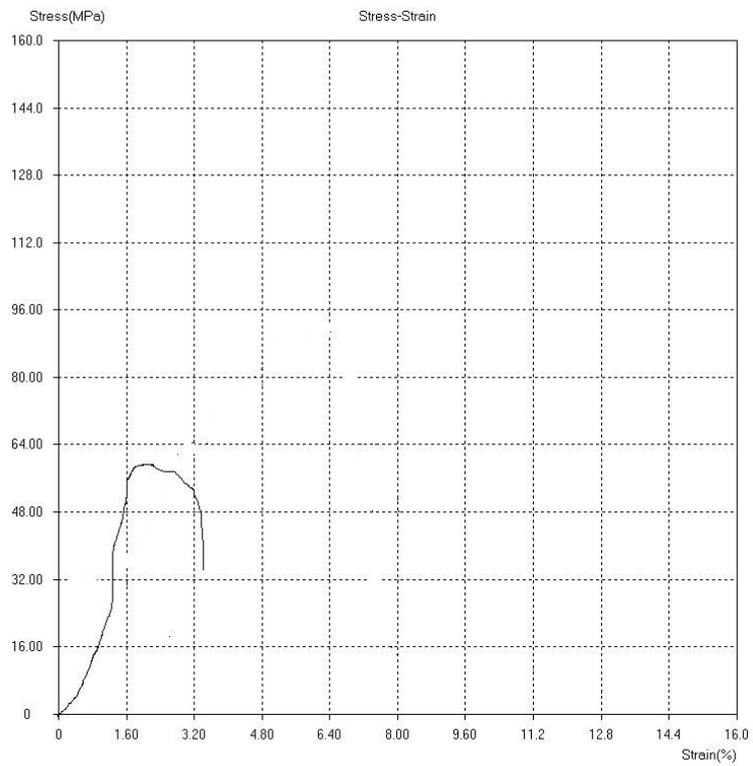
#### 4.3.1 GRAFICOS DE ENSAYOS A COMPRESION A PERFILES C 70 x 60



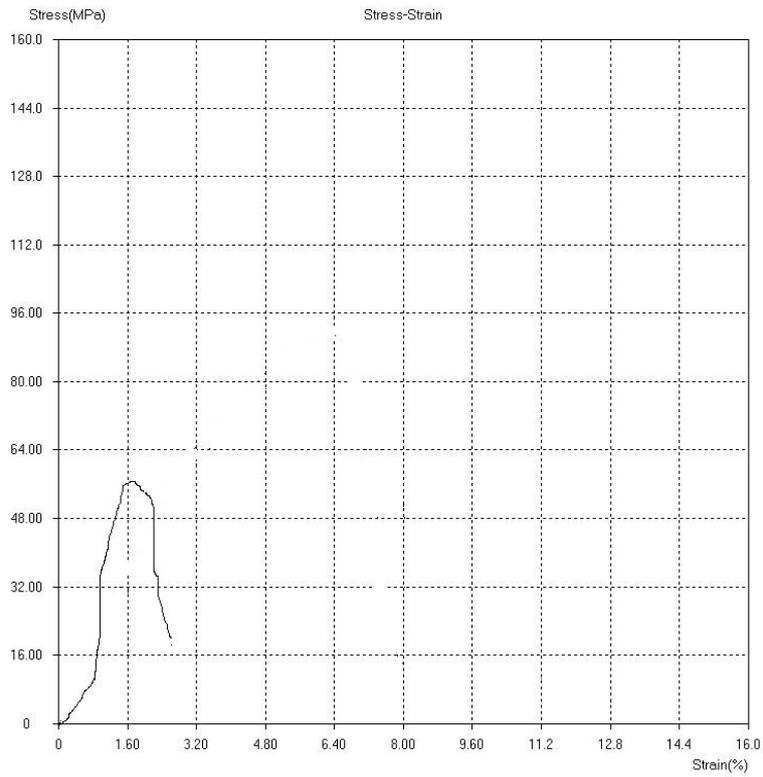
Anexo 2.17: Probeta 2



Anexo 2.18: Probeta 3

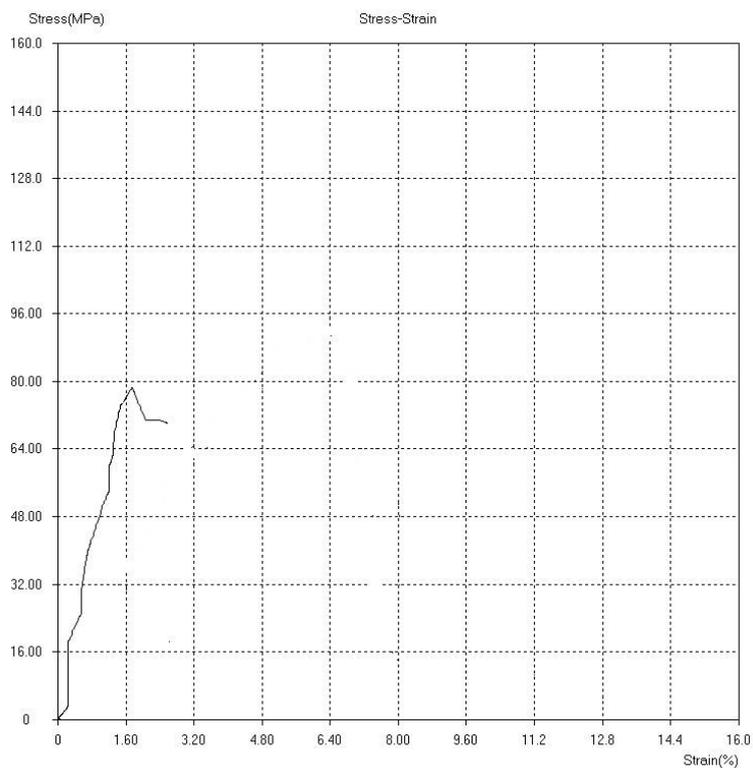


### Anexo 2.19: Probeta 4

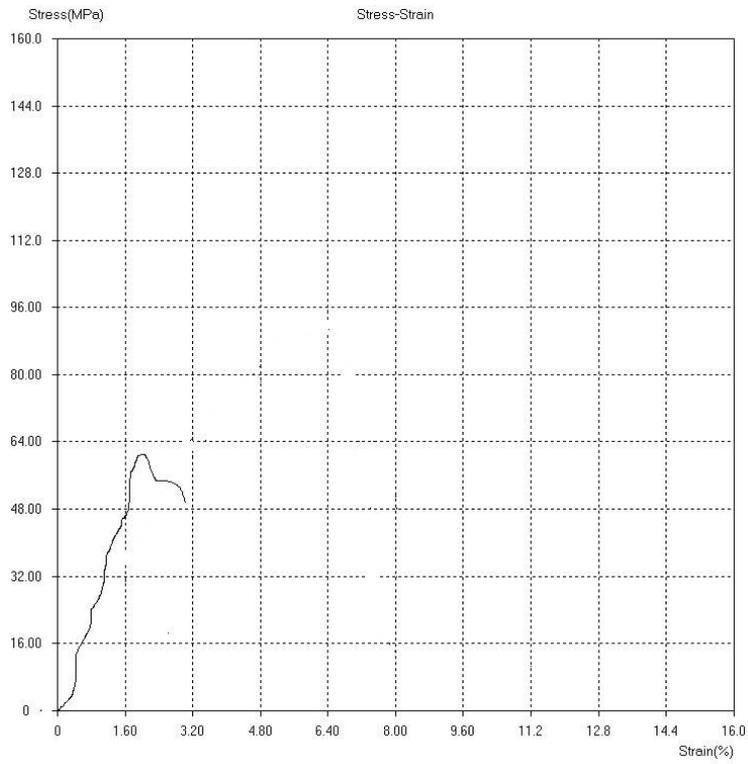


### Anexo 2.20: Probeta 5

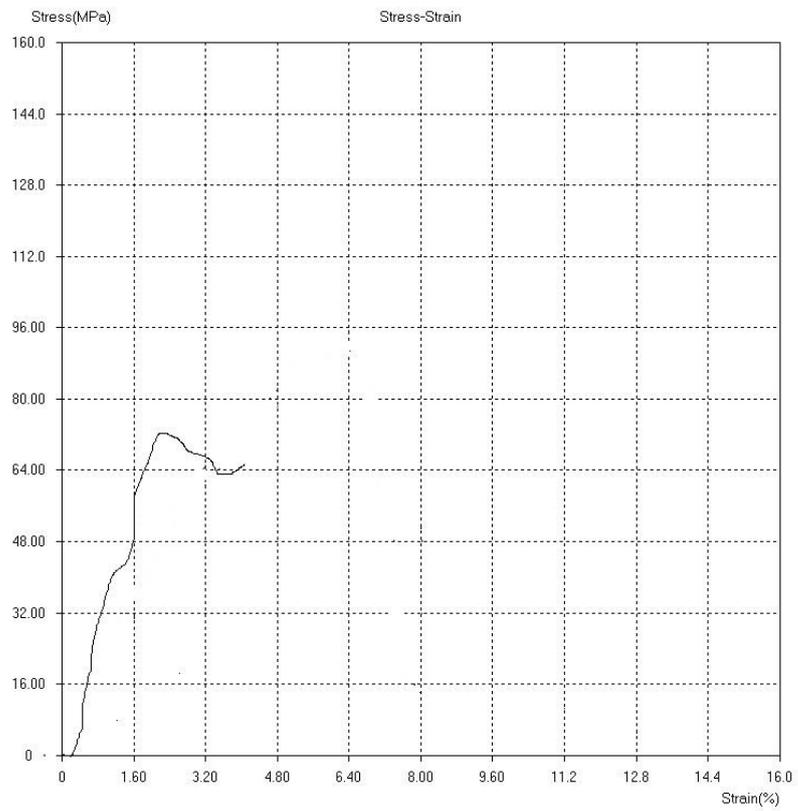
## 4.3.2 GRAFICOS DE ENSAYOS A COMPRESION A PERFILES C 100 x 40



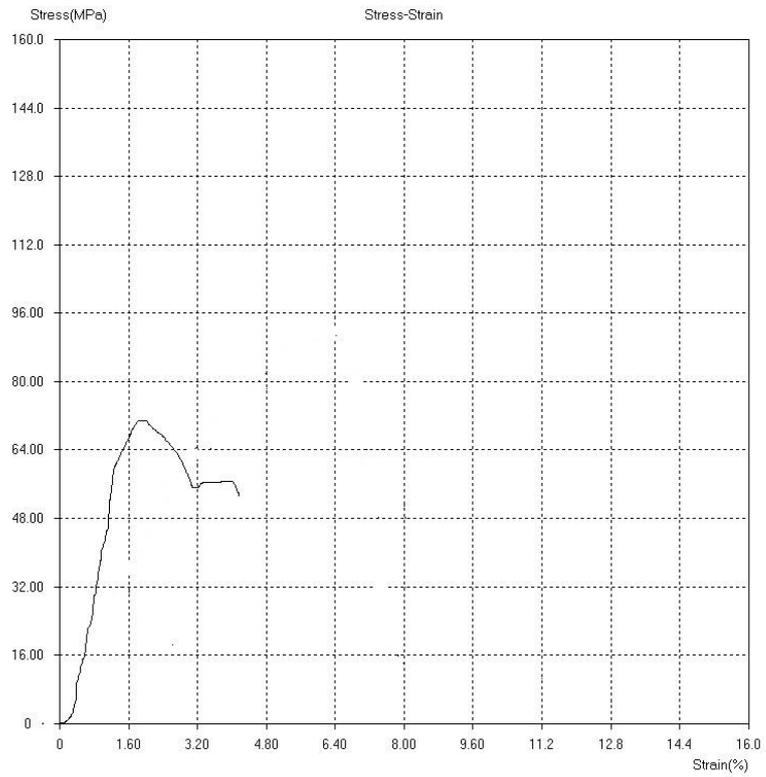
### Anexo 2.21: Probeta 1



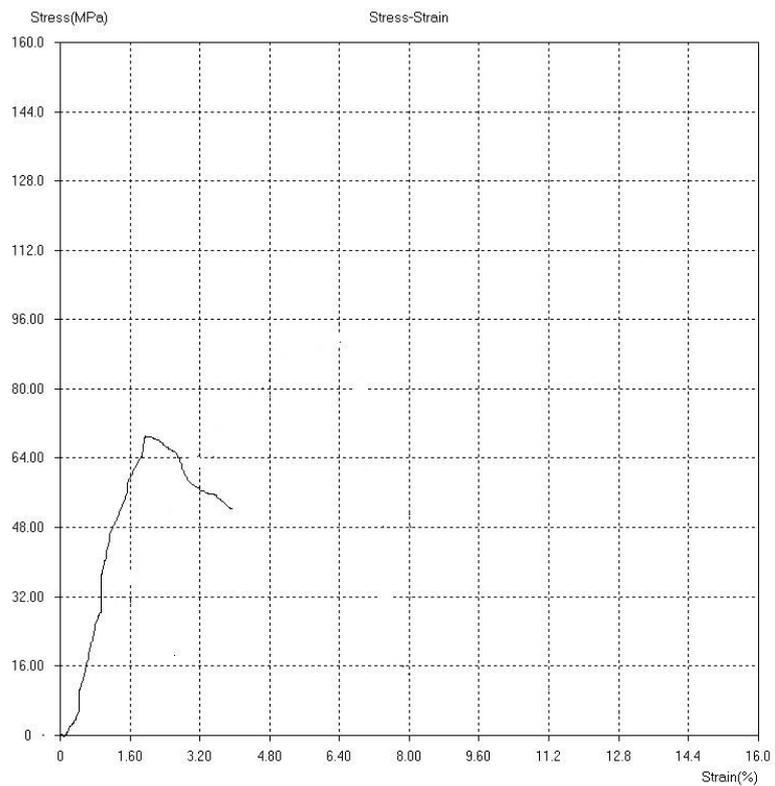
### Anexo 2.22: Probeta 2



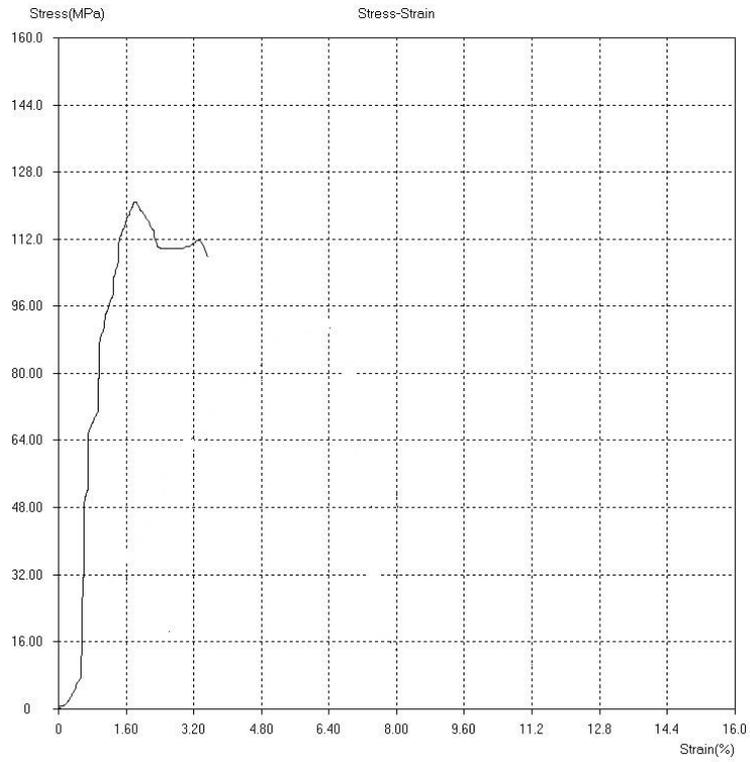
## Anexo 2.22: Probeta 2



## Anexo 2.23: Probeta 3

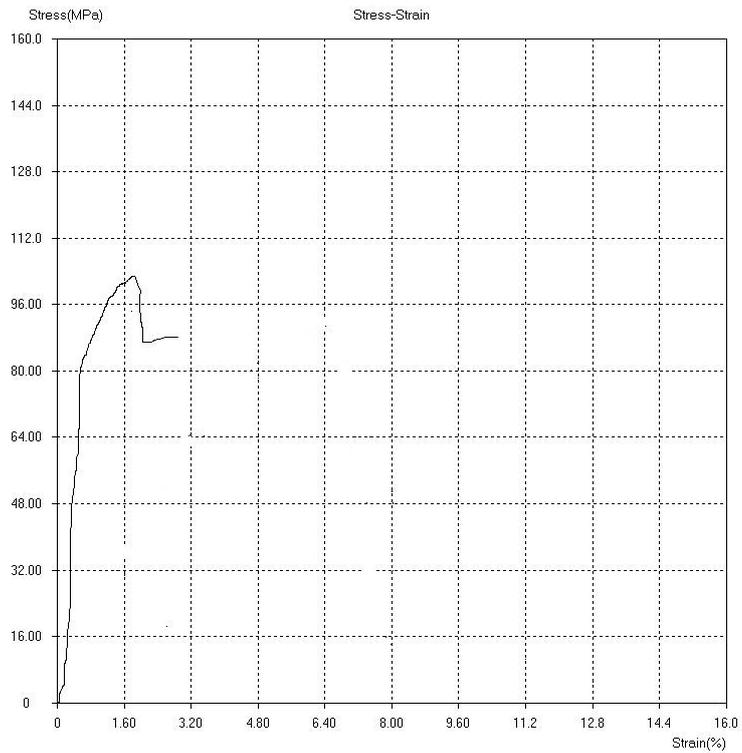


### Anexo 2.24: Probeta 4

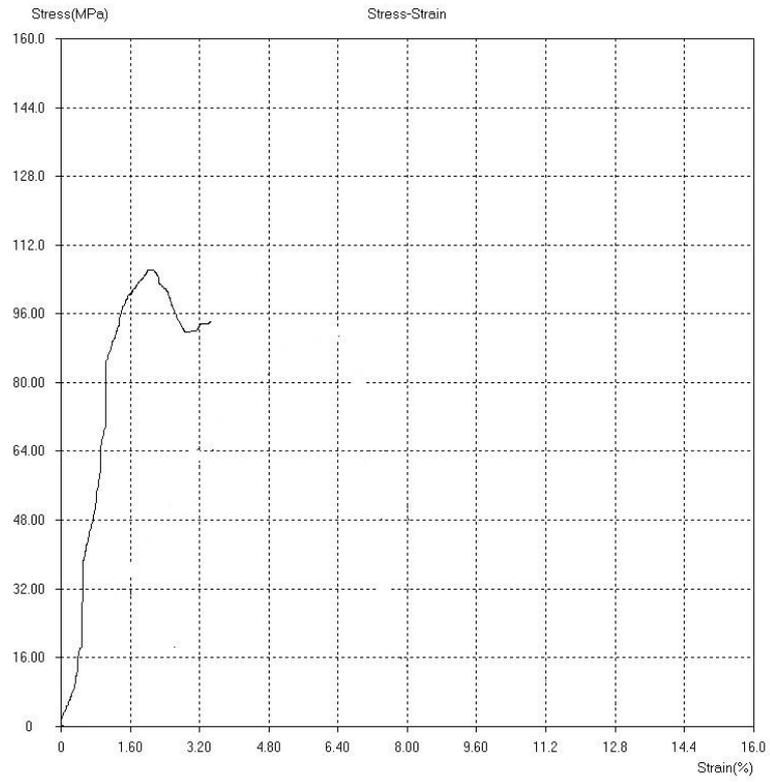


### Anexo 2.25: Probeta 5

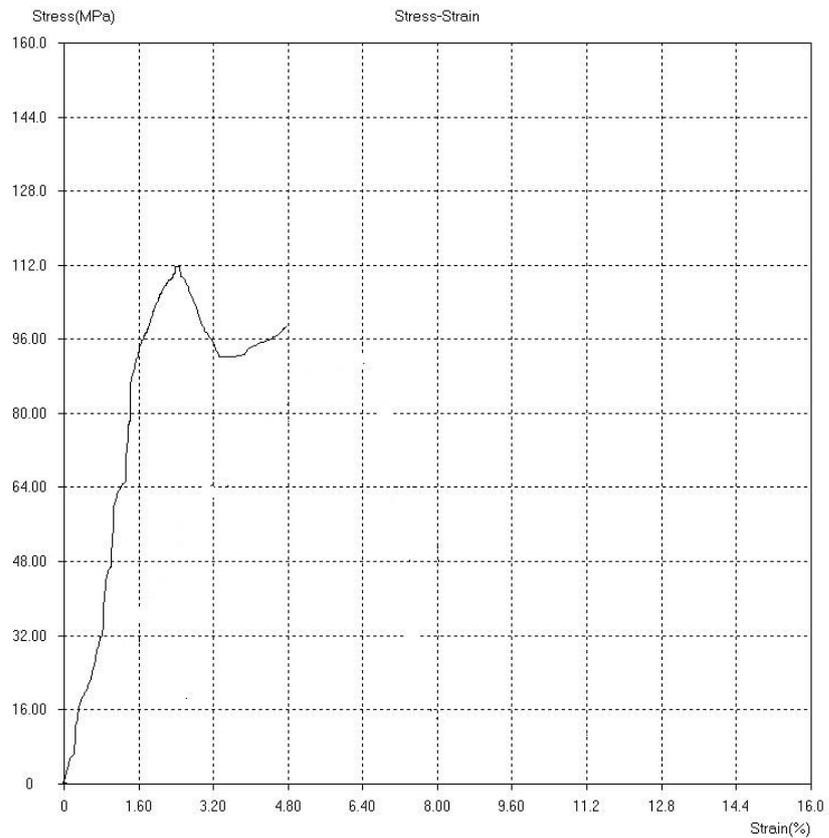
#### 4.3.3 GRAFICOS DE ENSAYOS A COMPRESION A PERFILES H 100 x 100



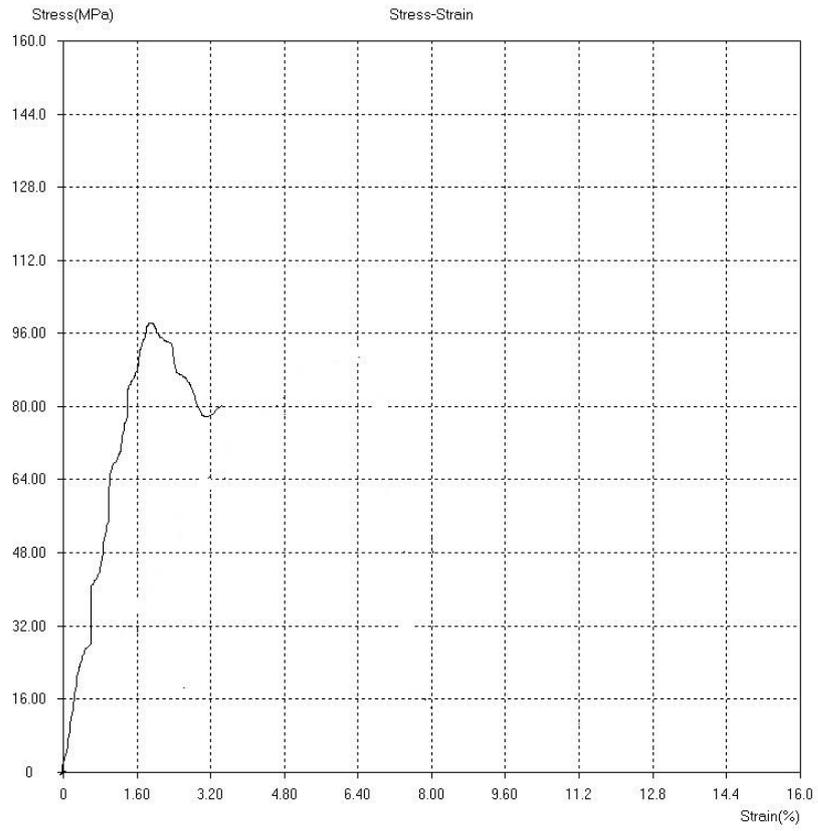
### Anexo 2.26: Probeta 1



### Anexo 2.27: Probeta 2



### Anexo 2.28: Probeta 3



### Anexo 2.29: Probeta 4