UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE

EQUIVALENCIA ENTRE ENSAYO DE PANEL EFNARC Y EL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA POR DOBLE PUNZONAMIENTO

Memoria de titulación presentada por:

VALENTINA PAZ ESPINOZA TORRES

Como requisito para optar al título de:

CONSTRUCTOR CIVIL

Profesor Guía:

SERGIO CARMONA MALATESTA

VALPARAÍSO
AGOSTO, 2017

RESUMEN

Actualmente, los shotcrete reforzados con fibras utilizados para el sostenimiento de túneles se controlan a través de su capacidad de absorber energía, la que se cuantifica mediante ensayos de paneles de grandes dimensiones de acuerdo a los procedimientos establecidos por la organización europea “European Federation of National Associations Representing for Concrete” (EFNARC) en 1996. Debido a la difícil manipulación de los paneles, estos presentan muchos defectos que alteran los resultados de los ensayos, lo que impide disponer de información válida para la aceptación o rechazo del shotcrete. Para subsanar este problema se ha propuesto utilizar el ensayo de tracción indirecta de doble punzonamiento, también conocido como ensayo Barcelona, para controlar el shotcrete reforzado con fibras, a partir de testigos extraídos directamente desde el hormigón proyectado.

El objetivo de la presente memoria de título es establecer una equivalencia empírica entre la energía disipada por el shotcrete reforzado con fibras determinada mediante el ensayo Barcelona y la capacidad de absorción de energía cuantificada mediante el ensayo de panel EFNARC.

Para lograr el objetivo propuesto se elaboraron y ensayaron cilindros y paneles usando mezclas de hormigón diseñadas para shotcrete, reforzadas con 4, 8 y 12 kilogramos de fibra por metro cúbico de hormigón. En total se estudiaron 17 cilindros y 12 paneles para fibra Barchip48 y 20 cilindros y 27 paneles para Barchip54. Con los resultados de los ensayos se determinó la energía disipada y la capacidad de absorción de energía de las probetas.

De esta forma, se encontraron equivalencias con un alto coeficiente de determinación para ambos tipos de fibra, por lo cual se comprueba que es efectivo utilizar el ensayo Barcelona en vez del ensayo de panel EFNARC en el control sistemático de los shotcrete reforzados con fibras en obra.

ABSTRACT

At present, the fibre reinforced shotcrete used for the sustenance of tunnels is controlled through its capacity to absorb energy, which is quantified by big dimension panels tests according to the procedures established by the European organization a “European Federation of National Associations Representing for Concrete” (EFNARC) in 1996. Due to the difficult manipulation of the panels, these present many defects that alter the results of the assays, impeding the provision of valid information for the acceptance or rejection of the shotcrete. In order to correct this problem, it has been proposed to use the double punching test of indirect tensile, also known as the Barcelona test. This, to control the fibre reinforced shotcrete from samples extracted directly from the projected concrete.

The objective of the present work is to establish empiric equivalence between the energy dissipated by the fibre reinforced shotcrete, determined by he Barcelona test, and the energy absorption capacity, quantified through the EFNARC panel test.

In order to fulfill the proposed objective, cylinders and panels of shotcrete-designed concrete were made and tested, reinforced with 4, 8 and 12 kilograms of fiber per cubic meter of concrete. In total, 17 cylinders and 13 panels were tested for Barchip48 fiber, and 20 cylinders and 27 panels for Barchip54. With the result of the assay, the dissipated energy and the energy absorption capacity of the samples was determined.

The equivalents with a high determination coefficient for both types of fiber were found, by which it is proven that it is effective to use the Barcelona Test instead of the EFNARC Panel Test in the systematic control of the fiber reinforced shotcrete on site.

GLOSARIO

ACI	American Concrete Institure
UNE	Una Norma Española
EFNARC	European Federation of National Associations Representing for Concrete
HRFS	Hormigón Reforzado con Fibra Sintética
Shotcrete	Hormigón Proyectado
TCOD	Total Circumferential Opening Displacement
δ	Deflexión
P	Carga
Kg	Kilógramos
mm	Milímetros
°C	Grados Celsius
GPA	Giga Pascal
MPA	Mega Pascal
m^3	Metro cúbico
mm/min	Milímetros por minuto
Kg/m^3	Kilogramos por metro cúbico

CONTENIDO

RESUMEN 1
ABSTRACT 2
GLOSARIO 3
CONTENIDO 4
1. INTRODUCCIÓN 6
2. MARCO TEÓRICO 7
2.1. HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA 7
2.2. FIBRAS SINTÉTICAS BARCHIP 8
2.3. ENSAYO BARCELONA 10
2.4. ENSAYO PANELES EFNARC 14
3. INVESTIGACIÓN PROPUESTA 17
4. ANALISIS Y RESULTADOS 18
4.1. HORMIGON REFORZADO CON FIBRA BARCHIP 48 18
4.1.1. ENSAYO BARCELONA(BCN) 18
4.1.2. ENSAYO PANEL EFNARC 20
4.1.3. ENQUIVALENCIA ENTRE ENSAYO BCN Y PANEL EFNARC 24
4.2. HORMIGON REFORZADO CON FIBRA BARCHIP 54 26
4.2.1. ENSAYO BARCELONA BCN 26
4.2.2. ENSAYO PANEL EFNARC 28
4.2.3. EQUIVALENCIA ENTRE ENSAYO BCN Y PANEL EFNARC 32
5. CONCLUSIONES 34
6. REFERENCIAS 36
7. ANEXO 38
7.1. RELACIÓN CARGA VS DEFORMACION CIRCUNFERENCIAL TOTAL ENSAYO BARCELONA BARCHIP 48. 38
7.1.1. 4 [Kg/m^3] DE FIBRA. 38
7.1.2. 8 [Kg/m^3] DE FIBRA 39
7.1.3. 12 [Kg/m^3] DE FIBRA 40
7.2. RELACIÓN ENERGÍA VS DEFORMACION CIRCUNFERENCIAL TOTAL ENSAYO BARCELONA BARCHIP 48 41

7.2.1. 4 [Kg/m^3] DE FIBRA. 41
7.2.2. 8 [Kg/m^3] DE FIBRA 42
7.2.3. 12 [Kg/m^3] DE FIBRA. 43
7.3. RELACIÓN CARGA VS DEFORMACION PANELES EFNARC BARCHIP 48 44
7.3.1. 4 [Kg/m^3] DE FIBRA. 44
7.3.2. 8 [Kg/m^3] DE FIBRA 45
7.3.3. 12 [Kg/m^3] DE FIBRA. 46
7.4. RELACIÓN ENERGÍA VS DEFORMACION PANELES EFNARC BARCHIP 48. 48
7.4.1. 4 [Kg/m^3] DE FIBRA. 48
7.4.2. 8 [Kg/m^3] DE FIBRA 49
7.4.3. 12 [Kg/m^3] DE FIBRA. 50
7.5. RELACIÓN CARGA VS DEFORMACION CIRCUNFEENCIAL TOTAL ENSAYO BARCELONA BARCHIP 54. 52
7.5.1. 4 [Kg/m^3] DE FIBRA. 52
7.5.2. 8 [Kg/m^3] DE FIBRA 53
7.5.3. 12 [Kg/m^3] DE FIBRA. 54
7.6. RELACIÓN ENERGÍA VS DEFORMACION CIRCUNFERENCIAL TOTAL ENSAYO BARCELONA BARCHIP 54 55
7.6.1. 4 [Kg/m^3] DE FIBRA. 55
7.6.2. 8 [Kg/m^3] DE FIBRA 56
7.6.3. 12 [Kg/m^3] DE FIBRA. 57
7.7. RELACIÓN CARGA VS DEFORMACION PANELES EFNARC BARCHIP 54 58
7.7.1. 4 [Kg/m^3] DE FIBRA. 58
7.7.2. 8 [Kg/m^3] DE FIBRA 60
7.7.3. 12 [Kg/m^3] DE FIBRA. 61
7.8. RELACIÓN ENERGÍA VS DEFORMACION PANELES EFNARC BARCHIP 54. 63
7.8.1. 4 [Kg/m^3] DE FIBRA. 63
7.8.2. 8 [Kg/m^3] DE FIBRA 65
7.8.3. 12 [Kg/m^3] DE FIBRA. 67

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el hormigón reforzado con fibra sintética (HRFS) se ha introducido fuertemente en la industria de la construcción, pues se cuenta con un conocimiento más acabado del comportamiento de este. Sus principales usos son en hormigón proyectado (Shotcrete), hormigón para túneles mineros, civiles e hidráulicos, pisos industriales, pavimentos delgados de uso general y carreteras, elementos prefabricados, entre otros.

Estos presentan una serie de ventajas en los procesos productivos durante la ejecución de los proyectos de construcción en cuanto a tiempos de trabajo, logística, transporte, seguridad, etc.

En los HRFS, la tenacidad o capacidad de absorber energía ha sido reconocida como uno de los beneficios más importantes de la incorporación de fibras, mejorando el comportamiento ante la fractura, al impacto y a la fatiga (Gopalaratnam y Gettu, 1995).

El hormigón debe ser controlado mediante distintos procedimientos experimentales, siendo uno de estos el Ensayo de Panel EFNARC, el cual es utilizado principalmente en la industria minera en el área de túneles. Sin embargo, este ensayo presenta varias complejidades en su ejecución, ya que requiere de elementos muy pesados, los cuales se realizan con el hormigón proyectado en terreno, pero no permite evaluar el hormigón ya endurecido y trabajando.

Por otro lado, el Ensayo Barcelona propuesto por *Molins et al.* (2009) ha demostrado ser adecuado para el control de calidad del HRFS, debido a su fácil ejecución, probetas más pequeñas con una alta superficie de fractura, las cuales pueden ser moldeadas o sacadas del hormigón ya endurecido, además la baja variabilidad de los resultados. Asimismo, este ensayo es más común en la industria, reduciendo el costo de ejecución y el tiempo requerido para realizar este ensayo, pues es considerablemente menor al tiempo para realizar el ensayo de paneles.

El objetivo principal de la presente memoria de título es establecer una correlación entre la energía absorbida por el Ensayo de Panel EFNARC y la cantidad de energía disipada por el Ensayo Barcelona, estableciendo una equivalencia entre estas, la cual nos entregará una ecuación que nos permitirá, a través del BCN, conocer la tenacidad del ensayo de paneles EFNARC y de esta forma poder prescindir de este último.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA

El hormigón reforzado con fibra (HRF) está compuesto con cemento hidráulico, agregados de diferentes tamaños, y la incorporación de fibras discontinuas discretas. En el HRF, las fibras pequeñas y discontinuas están distribuidas más o menos uniformemente en toda la masa del concreto, con orientaciones normalmente aleatorias.

Este, según la definición del ACI-American Concrete Institute, no es más que concreto hecho a partir de cementos hidráulicos, conteniendo agregados finos, o finos y gruesos, agua y fibras discretas discontinuas cuya misión es contribuir a la mejora de determinadas características de los concretos (ACI544.1R, 1996).

A diferencia del hormigón reforzado convencional, en el HRF las propiedades mecánicas tienen más bien un carácter isótropo, no dependiente de la orientación y concentración del refuerzo en determinada zona.

Las fibras, al reducir las pequeñas grietas que siempre se producen en la matriz del concreto, aumentan la resistencia a la fisuración y la ductilidad del material, así como en grado pequeño, la resistencia a tensión. Las ventajas principales del HRF son su resistencia al impacto, resistencia a esfuerzos térmicos, resistencia al desgaste y astillamiento, y su elevada capacidad de absorción de energía (Sánchez, 1978).

El hormigón reforzado con fibras es un material de múltiples fases, que contiene pasta de cemento (partículas hidratadas), agua, agregados, aditivos y fibras. En términos generales, las propiedades mecánicas y físicas de un sistema compuesto dependen de las propiedades de sus componentes y de la interacción mecánica, física y química entre ellos.

El HRF está constituido esencialmente por los mismos componentes que un concreto convencional su diferencia radica en la adición de algún tipo de fibra para concreto, ya sea natural, artificial o sintética. La inclusión de las fibras, además de alterar el comportamiento del concreto en estado endurecido, también lo hace en estado fresco, por lo que a algunos de sus componentes se les exigen condiciones que en los hormigones tradicionales no son necesarias.

En función de la cantidad de fibras que se va adicionar al concreto y de la geometría de éstas, el material compuesto tendrá que sufrir ciertas modificaciones respecto de

un concreto convencional. Estas modificaciones pasan principalmente por una limitación en el tamaño máximo del agregado (T.M.A), menores valores de relación grava-arena, mayores cantidades de aditivos reductores de agua, y mayor demanda de finos, entre otros.

2.2. FIBRAS SINTÉTICAS BARCHIP

Las fibras son elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan al hormigón como parte de su dosificación, siendo distribuido dentro de este de forma aleatoria y tridimensional confiriéndole ciertas propiedades específicas. Existen distintos tipos de fibras con distintas propiedades, el aspecto de estas se puede observar en la Imagen 1.

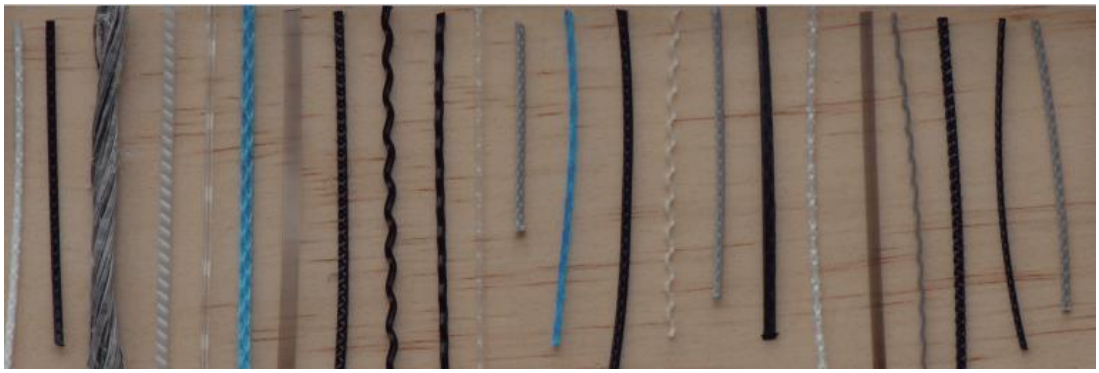


IMAGEN 1 - TIPOS DE FIBRAS SINTÉTICAS

Las fibras sintéticas Barchip 48 y Barchip 54 son consideradas como Macro-fibras (basadas en la Norma EN14889-1 y 2) , es decir, como fibras estructurales, las cuales aportan capacidad de absorción de energía al hormigón después de la fisura al deformarse dúctilmente, estas son dosificadas por kg/m^3 o volumen (%) dentro de la masa de hormigón.

Las características de las fibras Barchip se muestran en la Tabla 1.

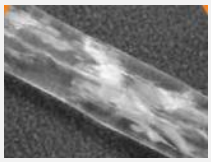
Características	**Barchip 48**	**Barchip 54**
Resina	Olefina modificada	Olefina modificada
Largos	48 [mm]	54 [mm]
Resistencia a la tracción	550 MPa	640 MPa
Superficie	Relieve Continuo	Relieve Continuo
Cantidad de Fibra	33.000 Fibras/Kg	37000 Fibra/Kg
Densidad relativa	0,90 - 0,92	0,90 – 0,92
Módulo de Elasticidad	10 GPa	10 GPa
Punto de Fusión	150 °C – 170°C	159 °C – 179° C
Físico		

Tabla 1- CARACTERISTICAS DE LAS FIBRAS BARCHIP

Los principales beneficios de las fibras se muestran a continuación:

- Aumenta la ductilidad a la flexión del hormigón
- Aumenta la resistencia y capacidad de carga de la matriz frágil del hormigón
- Aumenta la resistencia a la abrasión e impacto del hormigón
- Mejora el control de la fisuración del hormigón
- No se corroe
- Durabilidad a largo plazo
- Reducen los costos versus el refuerzo mediante acero tradicional
- Aumentan la productividad y eficiencia
- No afectan las técnicas de acabado
- Más seguras y livianas de manipular que el acero
- Más bajo costo de fibra por joule ($/Joule)
- Mayor resistencia residual por kilo de fibra

2.3. ENSAYO BARCELONA

El Ensayo BCN permite determinar la resistencia a la fisuración, la tenacidad y la resistencia residual a tracción del hormigón reforzado con fibras mediante un ensayo de doble punzonamiento sobre una probeta cilíndrica (UNE 83515-2010).

La probeta debe constar con una altura aproximadamente igual a su diámetro. La dimensión normal del diámetro de la probeta debe ser de 150 [mm]. Esta se obtiene por moldeo directo de una probeta de 150 [mm] de diámetro y 300 [mm] de altura, (UNE 83504), con posterior corte a la mitad de altura por un plano perpendicular al eje de simetría de la misma. Tras el corte, las bases de la probeta deben ser sensiblemente planas, sin irregularidades en la zona de contacto con los discos superiores a 2 [mm] y perpendiculares a su eje longitudinal con una desviación máxima de 5°. Por otro lado, estas también se pueden obtener a través de la extracción de testigos, siempre que se mantenga la relación diámetro igual a su altura. La toma de muestras, la fabricación y la conservación de las probetas con fibra se debe hacer de acuerdo a la Norma UNE 83501:2004 cuando el hormigón se tome en obra, con la Norma UNE 83502:2004 en el caso que se fabrique en laboratorio y, con la UNE 83504:2004 cuando se obtenga mediante extracción de testigos.
El ensayo se realizara en una prensa de ensayo a compresión según la norma UNE 83507:2004 , este consiste en someter compresión uniaxial a la probeta mediante dos placas de carga cilíndricas de acero, de un diámetro correspondiente a ¼ del diámetro de la probeta, en contacto con la cara inferior y superior de esta, dispuesta de forma concéntrica como especifica la Ilustración 1. Para obtener la carga versus la deformación circunferencial total (TCOD en Ingles), en milímetros, durante el ensayo se debe medir la carga aplicada y la variación del diámetro de la probeta en la mitad de ella como se muestra en la Imagen 2.

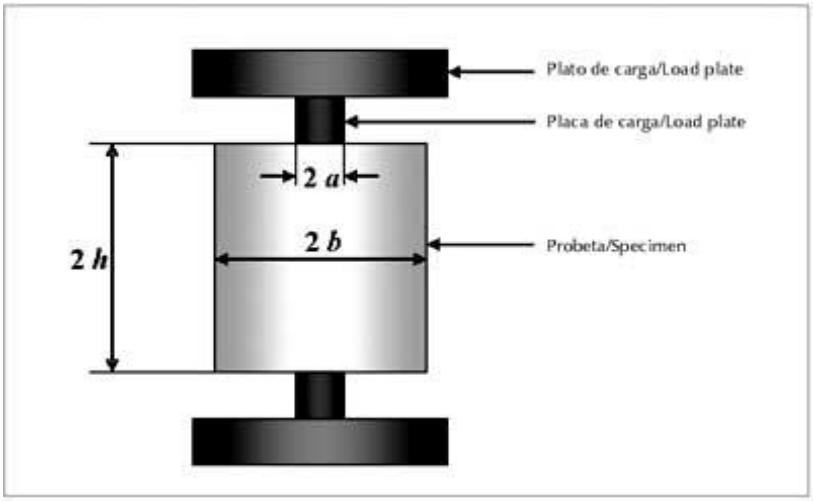


Ilustración 1- FORMA DEL ENSAYO BARCELONA

Durante el ensayo, la carga aplicada a través de las placas de acero produce una zona cónica de compresiones bajo estos. Esta situación origina un incremento del diámetro del cilindro produciendo esfuerzos de tracción perpendiculares a las líneas radiales de la probeta. Cuando el estado tensional sobrepasa la resistencia del hormigón se produce la fractura del hormigón.

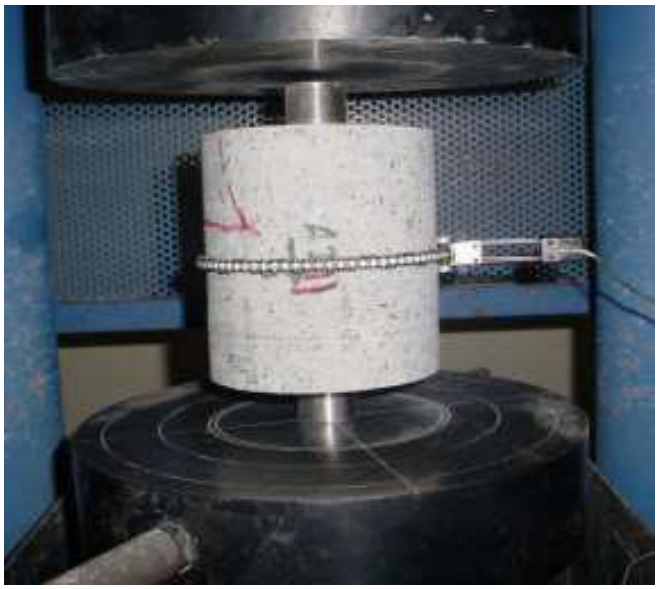


IMAGEN 2- MEDICION DE LA DEFORMACION CENTRA EN BCN

Debido a la concentración de tensiones en planos concéntricos, en el momento de la rotura se producen grietas radiales perpendiculares a este campo de tensiones. Las

grietas se propagan desde el centro de la probeta perpendiculares al borde de la probeta. Esto permite que el cono de compresión penetre el cilindro, aumenta el radio y produciendo más grietas. Luego, en el estado final de la probeta se pueden observar 2 grietas alineadas o 3 grietas a 120° entre ellas como se muestra en la Ilustración 2.

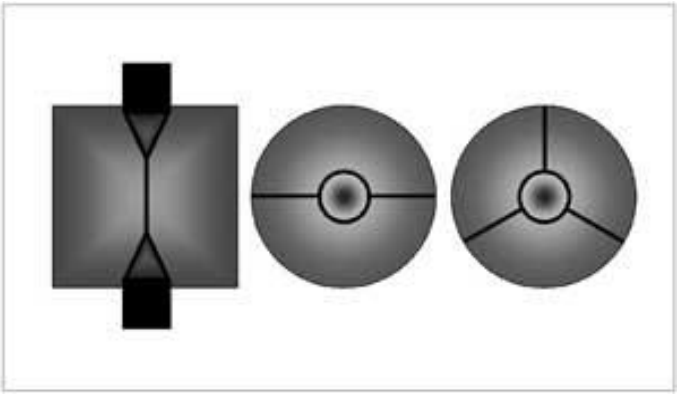


Ilustración 2 FORMA DE LAS GRIETAS EN BCN AL FINAL DEL ENSAYO

Cuando esta colapsa, la dilatación circunferencial corresponde al total del desplazamiento de las aberturas de las grietas (TCOD) y la energía disipada se puede calculas mediante la Ecuación 1.

Ecuación 1 ENERGIA DISIPADA POR BCN

$$E(TCOD) = \int_{0}^{TCOD} P(TCOD)d(TCOD)$$

Donde E(TCOD) es la energía disipada a cierto valor del desplazamiento del TCOD. P(TCOD) es la carga aplicada en [KN] en función de la deformación.

Según la Norma UNE 83515 esta debe ser registrada hasta los 6[mm]

En la Ilustración 4 e Ilustración 5 se observa cómo se comportan la carga aplicada y la energía disipada, respectivamente en función del desplazamiento o deformación del TCOD en [mm].

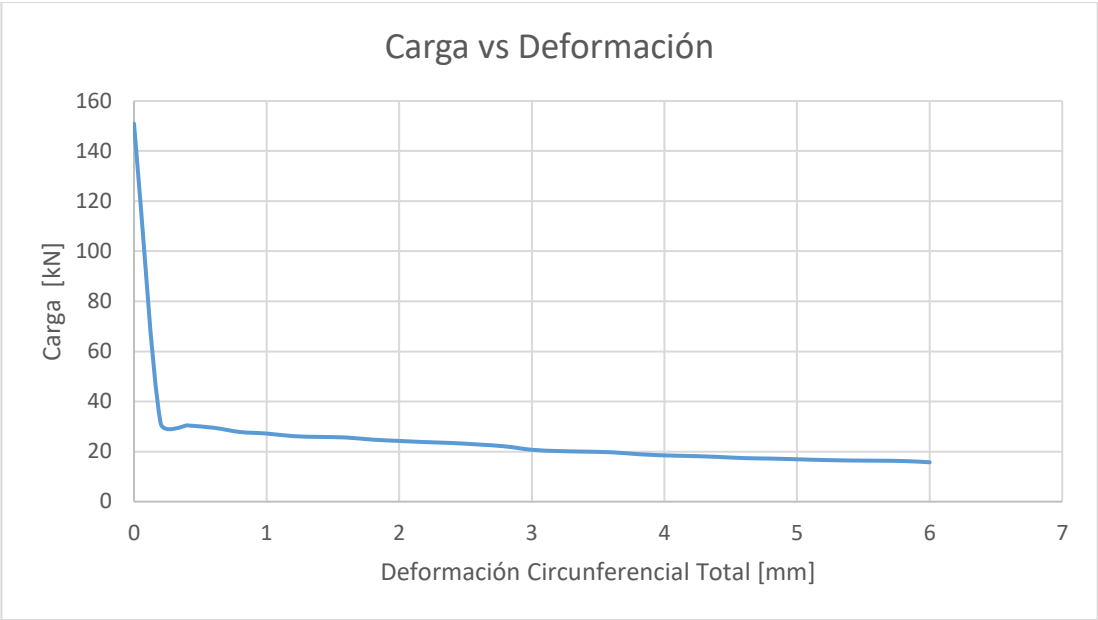


Ilustración 3 COMPORTAMIENTO DE LA CARGA ANTE DEFORMACION TCOD

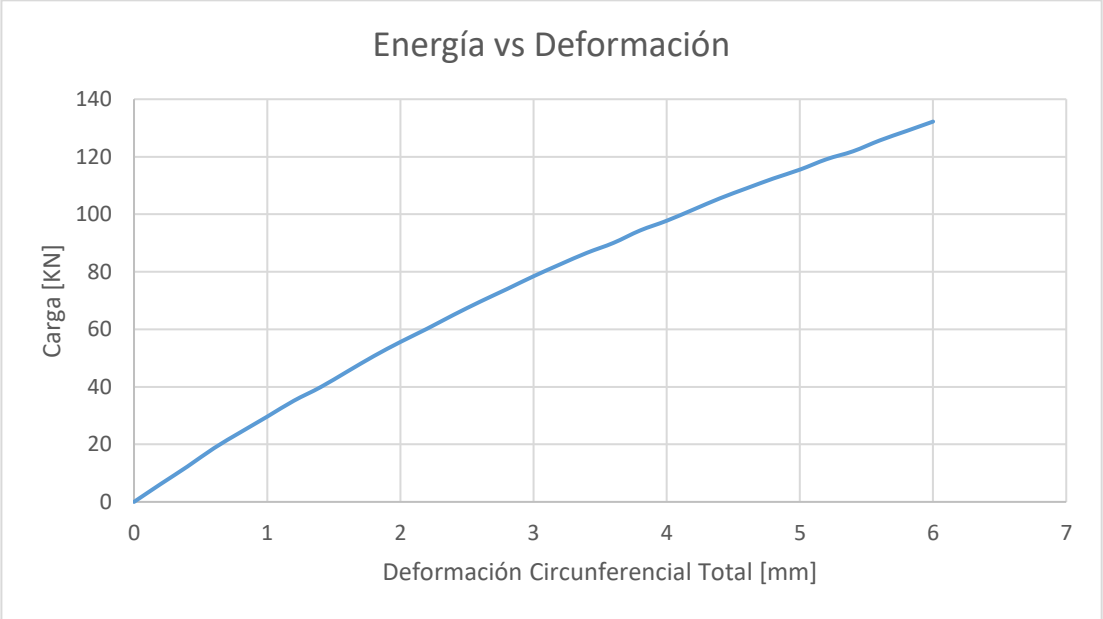


Ilustración 4 COMPORTAMIENTO DE LA ENERGIA ANTE DEFORMACION TCOD

2.4. ENSAYO PANELES EFNARC

El ensayo EFNARC para paneles es un ensayo de flexión, el cual nos permite conocer la resistencia residual del hormigón proyectado y la capacidad de absorción de energía de este.

Este consiste en paneles de 600 x 600 x 100 [mm], los cuales para su elaboración deberán ser posicionados de forma vertical, donde se les proyectara el HRF, con el mismo equipo, técnica, espesor de capa por pasada, distancia de proyección, como si se hiciera en terreno. Este deberá ser protegido inmediatamente para evitar la pérdida de humedad utilizando el mismo método que se usará en terreno.

Para realizar el ensayo, el panel deberá ser apoyado en sus cuatro ejes y aplicar una carga en el centro, por la cara contraria a la cual se proyectó el hormigón, a través de una superficie de contacto de 100 x 100 [mm]. Como se muestra en la Imagen 3 e Ilustración 6.

IMAGEN 3- APLICACIÓN DE CARGA A PANEL EFNARC

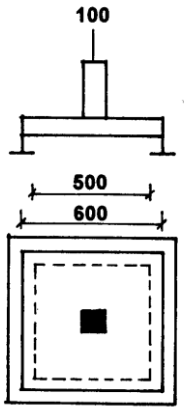


Ilustración 6- FORMA DE PANEL EFNARC.

La velocidad con la que se aplicará la carga en el punto medio será de 1,5 [mm/min]. La placa preparada para el ensayo deberá ser almacenada durante 3 días en agua, para inmediatamente después de retirada de esta, someterla al ensayo, donde se mantendrá húmeda.

Durante el ensayo se registrará una curva de carga vs deformación como se muestra en la Ilustración 7 hasta conseguir una deflexión de 25[mm] en el punto central del panel.

Ilustración 7- CURVA TIPO CARGA VS DEFORMACION EFNARC

De la curva carga vs deformación anterior, se podrá calcular la capacidad de absorción de energía, mediante la Ecuación 2, en función de la deformación del panel.

Ecuación 2 ENERGÍA ABSORBIDA POR PANEL EFNARC

$$E(\delta) = \int_0^{\delta} P(\delta)\, d(\delta)$$

Donde $P(\delta)$ corresponde a la carga en la deflexión δ.

En la Ilustración 8 se muestra en grafico que representa esta energía.

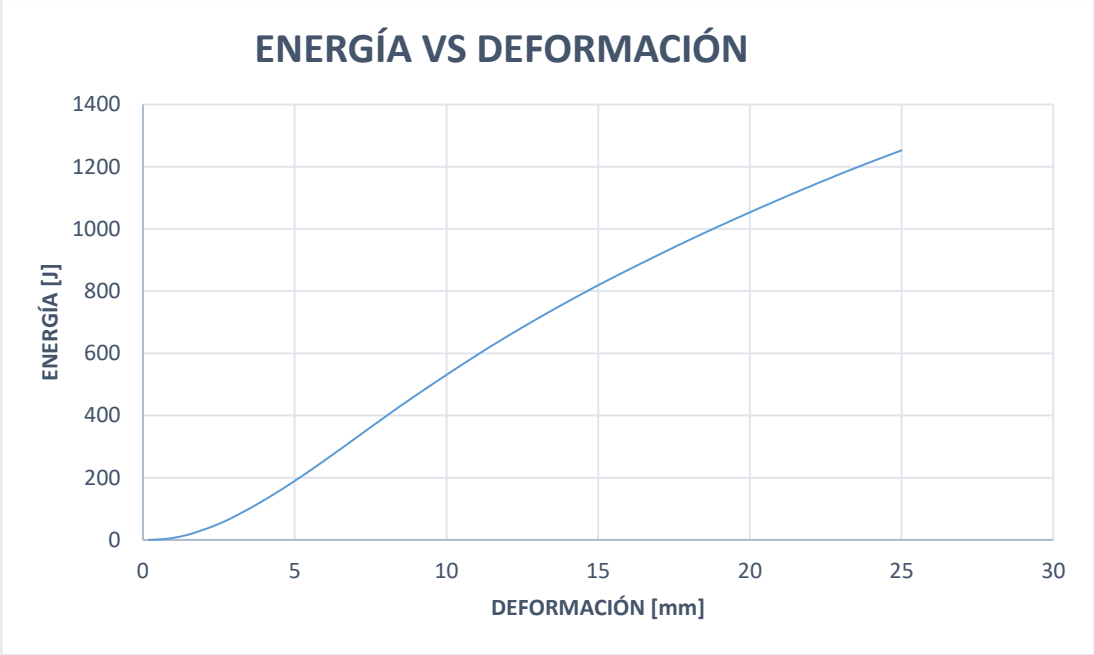


Ilustración 8 CURVA TIPO ENERGÍA VS DEFORMACION PANEL EFNARC

Esta energía absorbida por los paneles nos permite clasificar el Shotcrete en tres categorías por clase:

- Clase A: Sólido en condiciones rocosas desde 500[J]
- Clase B: Intermedio en condiciones rocosas desde 700[J]
- Clase C: Difícil en condiciones rocosas desde 1000[J]

Según lo establecido por la “European Specification for Sprayed Concrete”.

3. INVESTIGACIÓN PROPUESTA.

En la presente memoria de título se podrá conocer y estudiar el comportamiento del hormigón reforzado con fibra sintética ante una carga constante y la tenacidad que este libera.

Para el estudio se usaron las dosificaciones presentes en la Tabla 2 para ambos tipos de fibra los cuales fueron diseñados para ser proyectados.

Estas fibras cuentan con un módulo de elasticidad de 10 [GPa] y resistencia a la tracción de 550 [MPa] y 640 [MPa] para Barchip48 y Barchip54 respectivamente.

Material kg/m3	Dosificación
Cemento	420
Arena Semi Industrial	1340
Arena correctora	331
Plastocrete MX - 1390	2,10
Viscocrete 5100	2,10
SíliceColoidal	2,94
Agua Total	215
Relación a/c	0,511

Tabla 2DOSIFIACION HORMIGON

Se analizarán probetas cilíndricas y paneles, las cuales se observarán cómo se comportan una vez alcanzada la carga máxima de rotura y la tenacidad de estas, mediante el ensayo BCN y ensayo de panel EFNARC respectivamente.

Así se establecerá una equivalencia empírica entre la energía disipada mediante el ensayo Barcelona y la capacidad de absorción de energía mediante el ensayo de panel EFNARC. Estableciendo una función potencial que verifica el uso del ensayo BCN para el control de calidad de Shotcrete.

4. ANALISIS Y RESULTADOS

Se realizó un análisis de probetas ensayadas en laboratorio, para ambos tipos de fibra, las cuales cuentan con una dosificación de 4 [kg] de fibra, 8 [kg] de fibra y 12 [kg] de fibra por metro cúbico de hormigón. Ambos ensayos se llevaron a cabo con el mismo tipo de hormigón.

Para el análisis general se estudió el promedio de las cargas soportadas por un cierto número de muestras y la tenacidad de estas, las cuales se muestra en el Anexo 1, dando los siguientes resultados.

4.1. HORMIGON REFORZADO CON FIBRA BARCHIP 48

4.1.1. ENSAYO BARCELONA(BCN)

Para el BCN se estudiaron 17 probetas dosificadas como muestra la Tabla 3.

Cantidad de fibras [Kg/m^3] por Probeta	Cantidad de Probetas
4	6
8	5
12	6

Tabla 3- DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS BCN BARCHIP 48

En la Tabla 4 se ve el comportamiento de la deformación circunferencial total en milímetro de las probetas luego de alcanzar la carga máxima, donde se observa que al obtener ésta, el desplazamiento del extensómetro es cercano a cero. Así, mientras se sigue aplicando la carga y a medida que va cediendo la probeta, aumenta la superficie medida y disminuye gradualmente la carga aplicada, hasta alcanzar los 6[mm] de deformación.

	Carga máxima [KN] por cantidad de fibra [Kg/m^3]		
TCOD [mm]	**4**	**8**	**12**
0	96,636	100,387	114,318
1	64,951	68,724	78,397
2	35,095	45,252	54,742
3	24,558	34,295	47,876
4	21,285	28,367	41,026
5	17,937	22,938	36,394
6	15,787	19,324	33,083

Tabla 4 COMPORTAMIENTO DE LA CARGA RESPECTO A DEFORMACION DEL TCOD

En el Gráfico 1 se puede ver el comportamiento de las probetas, donde se observa que al momento de fracturarse la probeta hasta los 2 [mm] tiene una pendiente mayor a superado los 2 [mm] de deformación hasta los 6[mm].

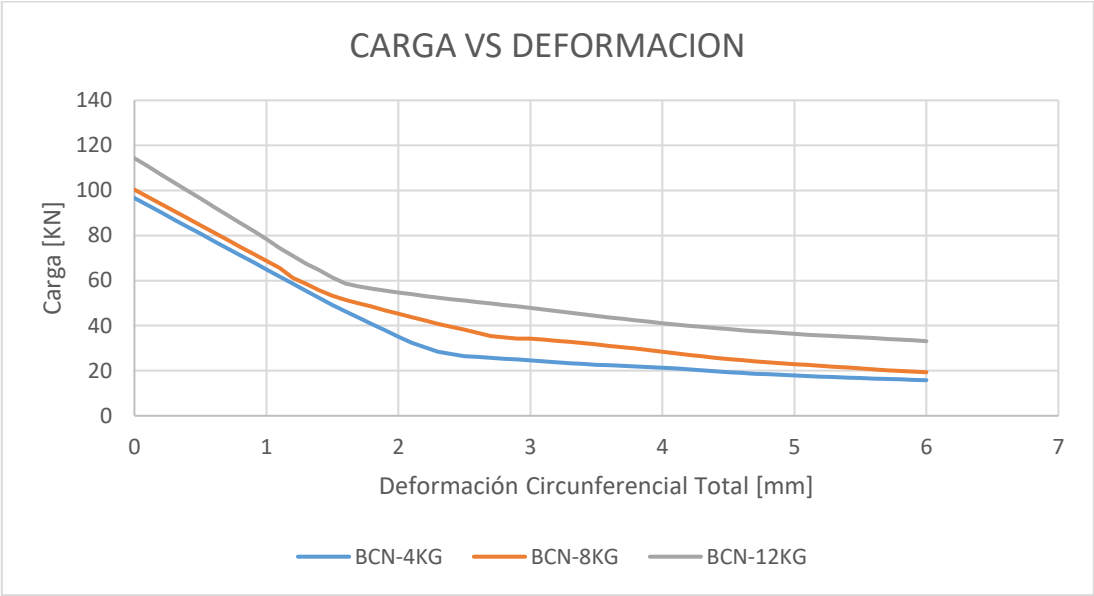


Gráfico 1- COMPORTAMIENTO DE LA CARGA RESPECTO AL DESPLAZAMIENTO DEL TCOD

La Tabla 4 muestra que a medida que aumenta la dimensión del TCOD, la energía liberada por la probeta va aumentando durante la ejecución del ensayo, hasta los 6 [mm] de deformación.

	Energía [J] por Cantidad de Fibra [Kg/m^3]		
TCOD [mm]	**4**	**8**	**12**
0	0	0	0
1	80,794	84,556	96,392
2	130,346	139,322	159,759
3	158,049	177,860	210,922
4	180,819	209,408	255,328
5	200,304	234,766	293,873
6	217,059	255,806	328,612

Tabla 5 COMPORTAMIENTO DE LA ENERGÍA RESPECTO AL DESPLAZAMIENTO DEL TCOD

En el Gráfico 2 se puede observar cómo se disipa la energía de las probetas luego de alcanzar la carga máxima, notándose de forma clara que a mayor cantidad de fibra mayor es la energía liberada por las probetas, teniendo un comportamiento similar entre ellas, llegando a los 6[mm] con una pendiente similar entre las curvas de los tres tipos de fibra.

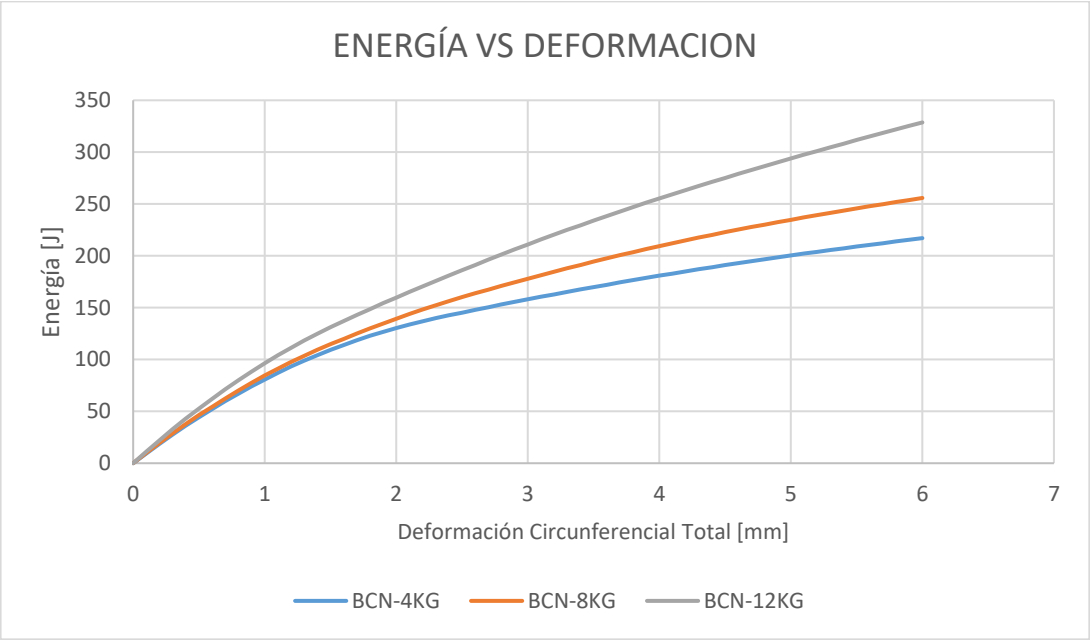


Gráfico 2 COMPORTAMIENTO DE LA ENERGÍA RESPECTO AL TCOD

4.1.2. ENSAYO PANEL EFNARC

El ensayo se hizo en 12 paneles dosificados como se muestra en la Tabla 6.

Cantidad de fibras [Kg/m^3] por Probeta	Cantidad de Probetas
4	6
8	3
12	3

Tabla 6 DISTRIBUCION DE PANELES BARCHIP 48

En la Tabla 7 se observa la carga que alcanza el panel a los 25[mm] de deformación, pues en este momento el panel alcanza una alta superficie de agrietamiento permitiendo que las fibras trabajen a su máxima capacidad.

	Carga Máxima [KN] por Cantidad de Fibra [Kg/m^3]		
Desplazamiento [mm]	**4**	**8**	**12**
0	0	0	0
1	15,651	15,206	15,334
2	23,088	30,219	35,767
3	28,621	38,324	49,246
4	34,346	46,01	62,505
5	38,364	51,719	71,676
6	39,599	57,378	79,833
7	38,779	58,141	81,643
8	37,940	58,271	86,111
9	37,679	57,727	87,653
10	37,286	56,234	89,514
11	36,221	55,828	91,567
12	34,828	55,122	92,696
13	33,637	53,122	92,339
14	32,659	50,623	91,914
15	31,562	48,379	90,522
16	29,934	45,805	87,291
17	28,609	44,032	85,308
18	27,253	42,033	83,286
19	26,523	40,376	81,384
20	25,693	38,752	79,021
21	24,742	37,679	76,845
22	24,078	35,437	74,517
23	23,0782	34,404	72,681
24	22,222	33,119	70,958
25	21,570	31,396	68,695

Tabla 7 COMPORTAMIENTO CARGA RESPECTO DEFORMACION EXTENSOMETRO

Por otro lado, en el Gráfico 3, se puede visualizar el comportamiento del panel, el cual alcanza su carga máxima entre los 5 y 10[mm] de deformación, a excepción de los paneles con 12 [kg] de fibra que la alcanzan entre los 10 y 15[mm] de deformación, para luego tener un comportamiento lineal descendente.

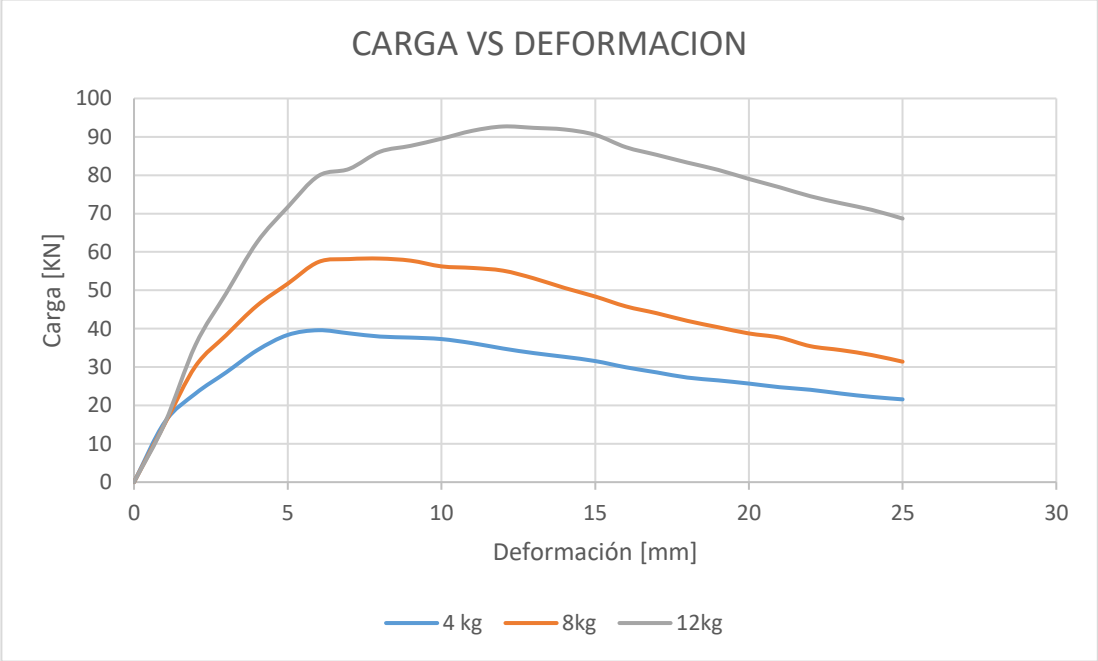


Gráfico 3 CARGA VS DEFORMACION EXTENSOMETRO

De los datos anteriores se puede conocer la energía absorbida por el panel, a través de la Ecuación 2 antes mencionada y de esta forma mostrar la energía por milímetro de desplazamiento como se muestra en la Tabla 8. En esta también se puede ver que a mayor cantidad de fibra que contiene el panel, mayor es la energía absorbida por este, pues resisten mayor cantidad de carga hasta los 25[mm] de deformación.

	Energía [J] por Cantidad de Fibra [Kg/m^3]		
Desplazamiento [mm]	**4**	**8**	**12**
0	0	0	0
1	6,873	6,360	7,074
2	27,794	30,128	33,357
3	53,810	65,698	74,495
4	86,065	108,710	131,179
5	122,178	157,630	198,364
6	161,248	212,143	273,688
7	200,358	270,588	356,174
8	238,531	328,949	438,242
9	276,612	387,064	525,623
10	314,210	444,068	614,250
11	351,040	500,064	705,096
12	386,498	555,738	796,623
13	420,768	609,801	889,673
14	453,835	661,733	981,619
15	485,974	711,170	1073,359
16	516,771	758,482	1162,297
17	545,873	803,284	1248,994
18	573,810	846,163	1333,285
19	600,667	887,225	1414,971
20	626,717	926,911	1495,495
21	651,966	965,109	1573,351
22	676,441	1001,656	1649,278
23	700,002	1036,577	1723,105
24	722,7640	1070,242	1794,650
25	744,699	1102,445	1864,533

Tabla 8 COMPORTAMIENTO ENERGIA RESPECTO DEFORMACION DEL EXTENSOMETRO

En el Gráfico 4 se muestra cómo se comporta la energía respecto al desplazamiento del extensómetro, hasta alcanzar los 25[mm] de deformación.

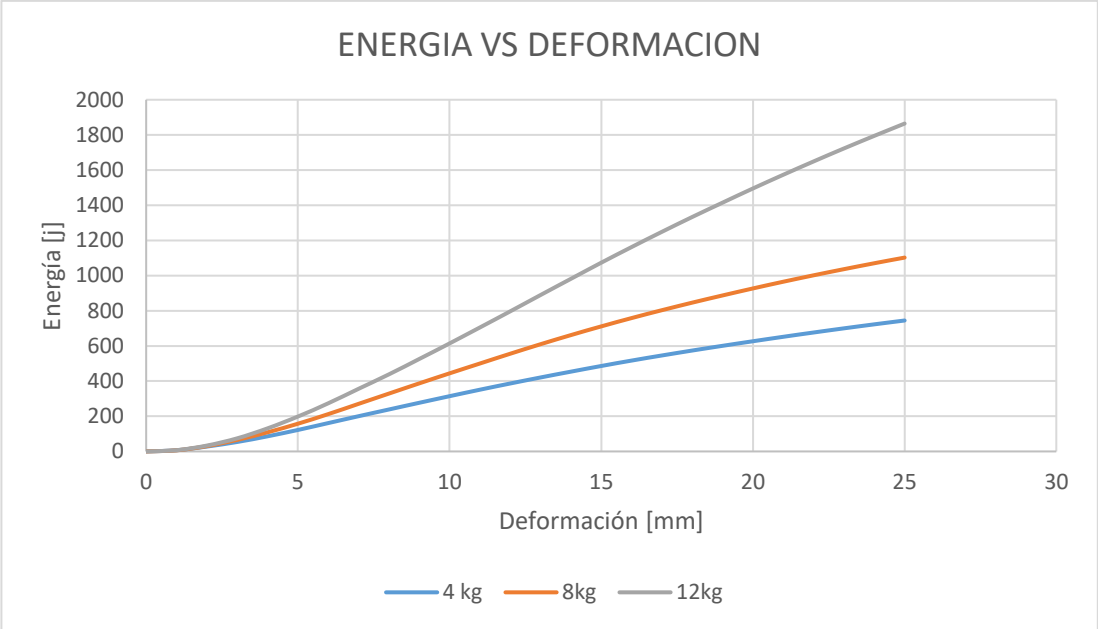


Gráfico 4 ENERGIA VS DEFORMACION EXTENSOMETRO

4.1.3. ENQUIVALENCIA ENTRE ENSAYO BCN Y PANEL EFNARC

Para el análisis se realizará una regresión no lineal, para así lograr establecer una ecuación que nos permita conocer una equivalencia entre el comportamiento de ambos ensayos.

En la Tabla 9 se presentan los resultados de la tenacidad obtenida en ambos ensayos y la variabilidad de estos.

Ensayo	Hormigón Reforzado con Barchip48		
	4 kg Fibra	8 kg Fibra	12kg Fibra
E_{BCN} (TCOD = 6[mm]) [J]	217,059	255,806	328,612
CV_{BCN} (%)	14,635	15,806	10,444
E (d = 25[mm]) [J]	744,699	1102,445	1864,533
CV_E (%)	18,448	10,399	9,161

Tabla 9 RESUMEN ENERGIA HRF BARCHIP 48

Realizando una regresión no lineal se obtienen la Ecuación 3 y el Gráfico 5.

$$E_{25} = 0{,}006455 * E_{BCN,6}^{2,1701}$$

$$r^2 = 0{,}999$$

Ecuación 3 EQUIVALENCIA BCN - EFNARC BARCHIP48

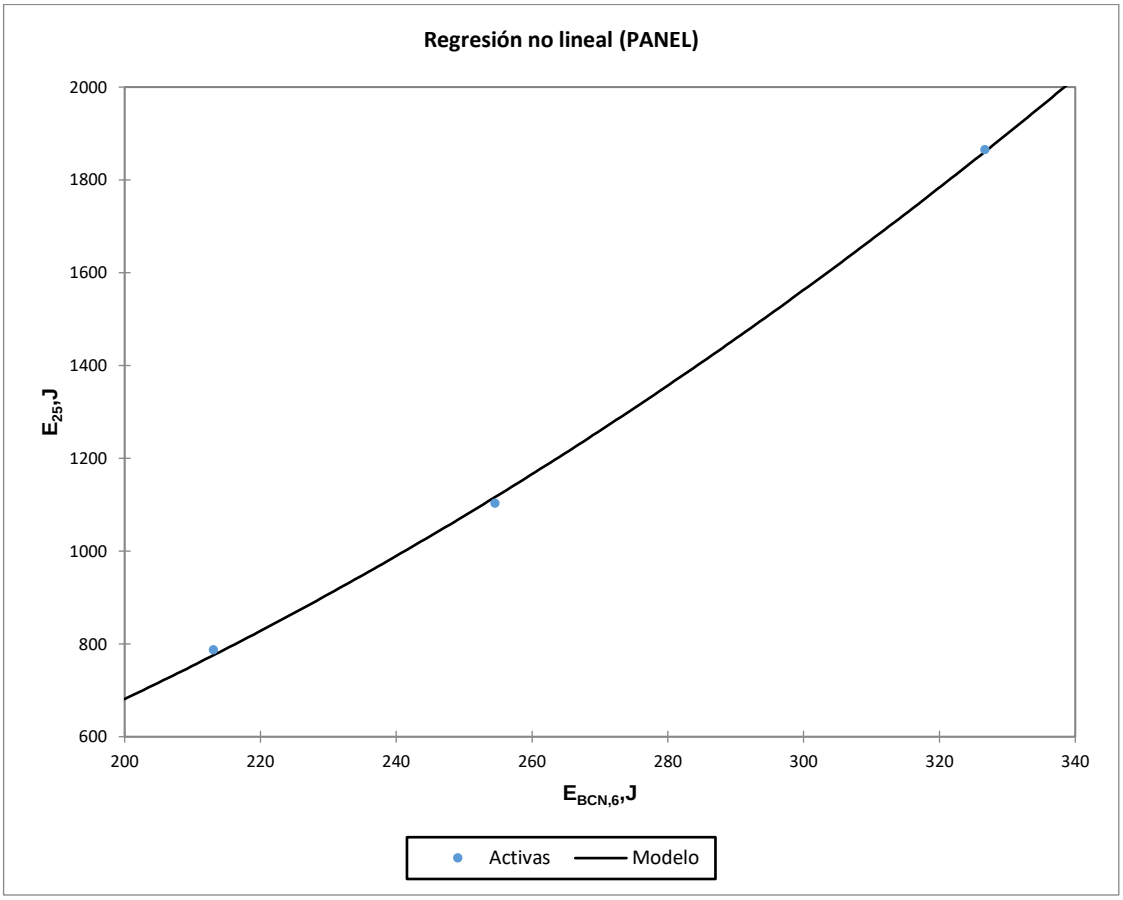


Gráfico 5 Equivalencia Ensayo BCN vs EFNARC- Barchip48

Con el coeficiente de determinación obtenido se puede establecer se puede utilizar el ensayo BCN para el control de calidad de los shotcrete reforzado con fibra Barchip48.

4.2. HORMIGON REFORZADO CON FIBRA BARCHIP 54

4.2.1. ENSAYO BARCELONA BCN

Se analizaron 20 probetas dosificadas como muestra en la Tabla 10.

Cantidad de fibras [Kg/m^3] por Probeta	Cantidad de Probetas
4	6
8	5
12	9

Tabla 10 DOSIFICACION PROBETAS

En la Tabla 11 se muestra la carga máxima que resisten las probetas, donde la deformación del TCOD es cercano a cero, para después ver cómo va disminuyendo la carga a medida que aumenta la superficie del cilindro hasta alcanzar una deformación de 6[mm], donde las grietas ya no se abren más.

	Carga Máxima [KN] por Cantidad de Fibra[kg]		
TCOD[mm]	**4kg**	**8kg**	**12kg**
0	121,480	163,254	105,906
1	22,597	26,654	67,146
2	16,897	25,463	40,457
3	16,093	21,751	36,953
4	15,875	20,191	34,073
5	14,404	19,687	31,137
6	13,301	18,564	29,135

Tabla 11 COMPORTAMIENTO CARGA RESPECTO A TCOD BARCHIP54

En el gráfico 6 se observa las siguientes curvas de cargas vs deformación del TCOD obtenidos en el Ensayo BCN, en estas se puede observar que, al alcanzar la carga máxima, el TCOD es cercano a cero y aumenta cuando comienza a ceder la probeta. Luego del agrietamiento, la probeta presenta un ablandamiento, el cual se rige por el contenido de fibra. Ya pasados los 4[mm] de deformación para los tres tipos de probetas presentan una pendiente similar entre ellas.

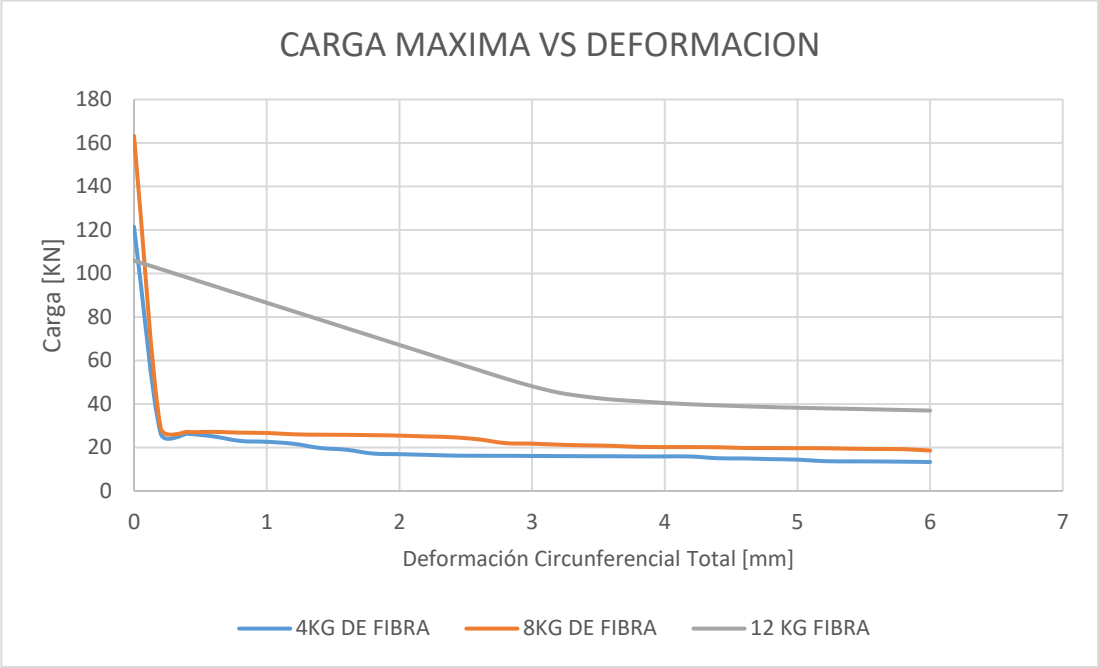


Gráfico 6 Carga vs deformación TCOD Barchip 54

Luego, a través de la ecuación 1 y con los datos anteriores se puede conocer la capacidad de disipación de energía de las probetas como se muestra en la Tabla 12, de esta mista forma se observa el comportamiento de las energías de cada probeta en el Gráfico 7.

	Energía [J] por Cantidad de Fibra[kg]		
TCOD[mm]	4kg	8kg	12kg
0	0	0	0
1	23,294	29,647	86,526
2	42,152	55,600	136,895
3	58,996	78,450	175,307
4	74,021	97,746	210,791
5	88,080	115,520	243,389
6	101,337	132,230	273,482

Tabla 12 Energía vs desplazamiento

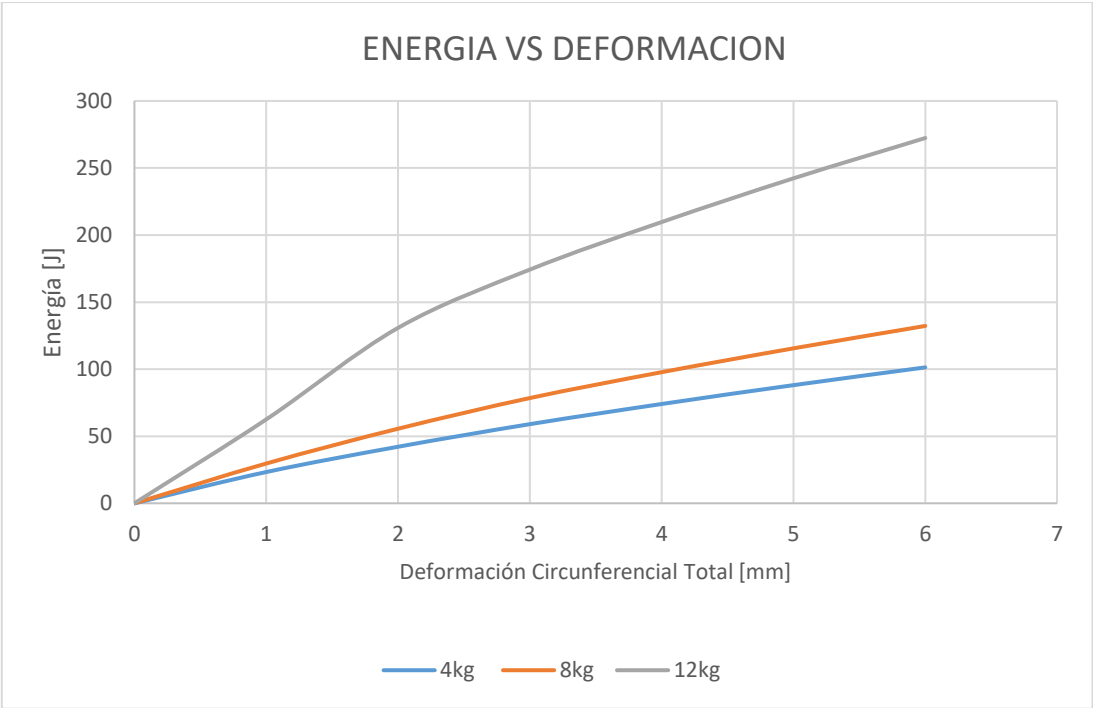


Gráfico 7 Energía vs deformación

En el Gráfico 7, se puede apreciar que a mayor cantidad de fibra mayor es la cantidad de disipación de energía de las probetas, pero que esta tiene el mismo comportamiento para las tres cantidades de fibras estudiadas, es decir, ascienden con una pendiente similar entre ellas.

4.2.2. ENSAYO PANEL EFNARC

Para los paneles se hizo un estudio a 27 paneles, siendo dosificados como se muestra en la Tabla 13.

Cantidad de fibras [Kg/m^3] por Probeta	Cantidad
4	10
8	10
12	7

Tabla 13 Distribución paneles EFNARC Barchip54

El ensayo de los paneles se realizó con un sistema de control hidráulico de 100 KN de capacidad, donde la deformación fue medida tuvo un rango de 50 mm, posicionada

en el centro de la cara inferior del panel. Los datos se establecieron a 3 datos por segundo, dando los siguientes datos de la Tabla 14.

	Carga Máxima [KN] por Cantidad de Fibra [kg]		
DEFORMACION [MM]	4KG FIBRA	8 KG FIBRA	12 KG FIBRA
0	0	0	0
1	18,403	26,840	16,204
2	30,661	36,800	34,474
3	35,555	48,097	50,726
4	38,795	52,826	58,088
5	39,928	55,142	64,087
6	38,998	54,210	69,222
7	39,561	55,417	70,645
8	39,706	55,471	69,896
9	39,175	53,869	66,389
10	38,191	52,410	64,465
11	36,996	50,744	62,253
12	36,265	48,707	58,560
13	35,304	46,906	55,760
14	34,415	44,474	53,889
15	33,325	42,493	51,087
16	32,441	40,895	49,076
17	31,319	39,604	47,644
18	30,214	38,205	45,896
19	29,462	37,034	44,275
20	28,490	35,766	43,193
21	27,375	34,550	42,203
22	26,473	33,568	40,504
23	25,677	32,208	39,098
24	24,612	31,106	37,347
25	23,461	30,021	36,319

Tabla 14 Carga Máxima de acuerdo a la deformación

Con respecto al comportamiento de la carga aplicada se muestra que esta muestra la resistencia máxima del panel, es decir, el instante en el que comienza la fractura entre los 5 y 10[mm] de deflexión, para luego ir decreciendo gradualmente hasta los 25 [mm] donde la fibra se somete a su máximo esfuerzo dentro del panel, como se demuestra en el Gráfico 8.

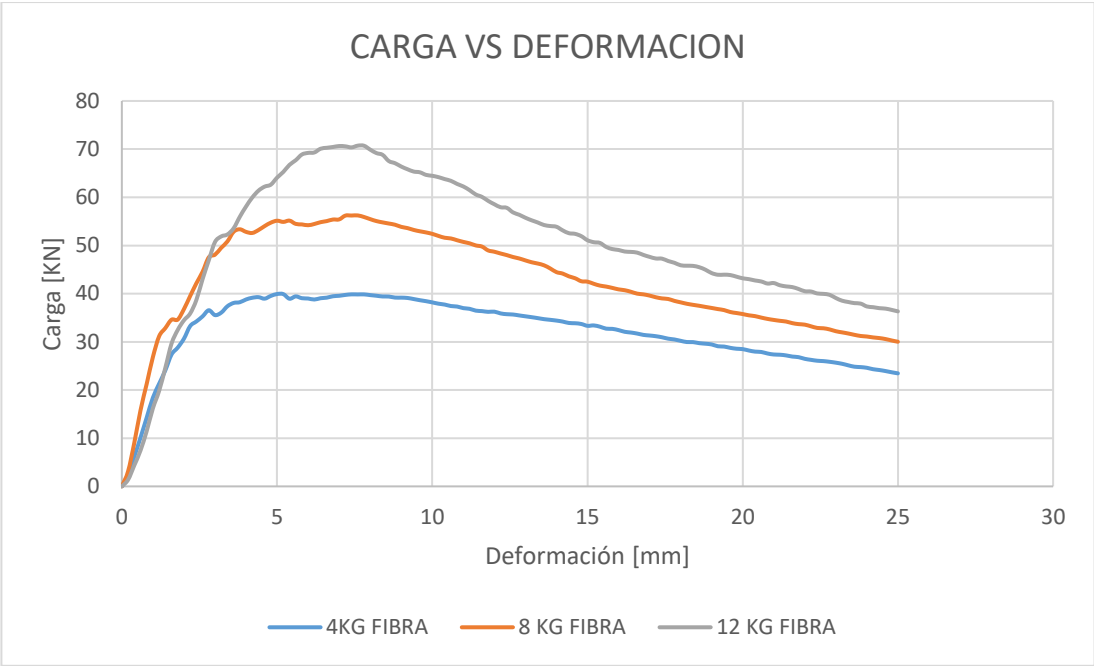


GRÁFICO 8 CARGA VS DEFORMACIÓN EXTENSÓMETRO

Para conocer la energía absorbida por los paneles se utilizó la Ecuación 2 antes mencionada, entregando los datos que se muestran en la Tabla 15.

	Energía [J] por cantidad de Fibra[Kg]		
Deformación	4[Kg]	8[Kg]	12[Kg]
0	0	0	0
1	8,448	12,562	6,595
2	32,777	45,550	32,966
3	66,947	88,733	74,388
4	104,353	140,076	128,052
5	143,839	193,864	189,585
6	183,252	248,673	256,432
7	222,540	303,614	326,586
8	262,423	359,327	396,973
9	301,807	414,185	464,955
10	340,563	466,528	530,362
11	378,183	517,846	593,728
12	414,675	567,579	654,157
13	450,408	616,491	711,412
14	485,232	662,383	766,101
15	519,146	705,821	818,581

16	552,119	747,498	868,534
17	583,850	787,662	916,776
18	614,719	826,598	963,976
19	644,497	864,171	1009,292
20	673,420	900,560	1053,191
21	701,276	935,697	1095,611
22	728,344	969,753	1137,012
23	754,418	1002,661	1177,358
24	779,487	1034,273	1215,575
25	803,572	1064,937	1252,411

TABLA 15 ENERGÍA ABSORBIDA [J] HASTA LOS 25[MM]

A través de los datos entregados en la Tabla 15 se obtiene el Gráfico 8, donde se observa que los tres tipos de fibra presentan un comportamiento similar, al igual que en las comparaciones anteriores, demostrando que el contenido de fibra influye de forma directa en el comportamiento de los paneles, pues a mayor cantidad de fibra, mayor es la energía absorbida por estos.

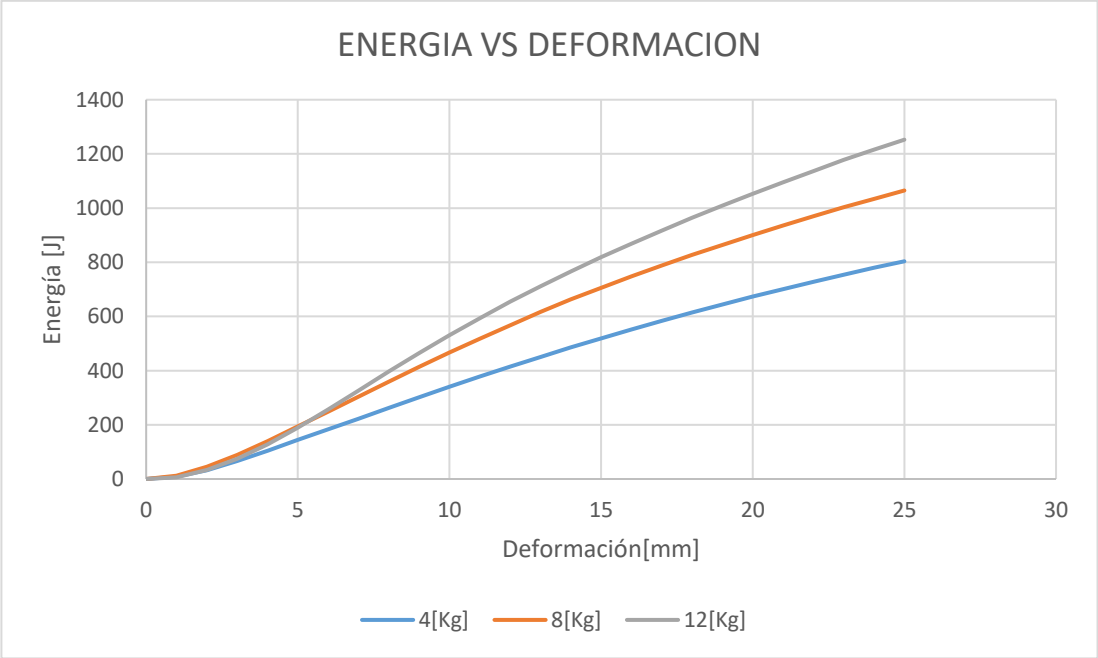


Gráfico 9 Energía vs Deformación

4.2.3. EQUIVALENCIA ENTRE ENSAYO BCN Y PANEL EFNARC

Se realizó una regresión no lineal para establecer una equivalencia entre la energía absorbida por los paneles, alcanzados los 25[mm] de deformación, punto en el cual el panel presenta la mayor cantidad de fisuras, y la energía disipada por el ensayo BCN a los 6[mm] de deformación circunferencial total, la cual es la máxima deformación establecida en promedio. Los valores de tenacidad obtenidos se muestran en la Tabla 16 con sus respectivos coeficientes de variabilidad

Ensayo	Hormigón Reforzado con Barchip54		
	4 kg Fibra	8 kg Fibra	12kg Fibra
E_{BCN} (TCOD = 6[mm])	101,337	132,230	273,482
CV_{BCN} (%)	12,794	13,057	11,184
E (d = 25[mm])	803,572	1064,937	1252,411
CV_E	11,674	9,912	10,655

Tabla 16- Energía Disipada y variabilidad

La equivalencia obtenida entre ambos ensayos, a través de una regresión no lineal, entrega la ecuación exponencial como se muestra en la Ecuación 4, además se muestra este en el Gráfico 9

$$E_{25} = \frac{383{,}045}{\alpha} * E_{BCN,6}^{0{,}211}$$

$$r^2 = 0{,}997$$

$$\text{Donde } \alpha = \begin{cases} 1{,}28 \; contenido\ de\ fibra = 4kg \\ 1 \; contenido\ de\ fibra = 8kg \\ 1 \; contenido\ de\ fibra = 12kg \end{cases}$$

Ecuación 4- Equivalencia BCN-EFNARC Barchip54

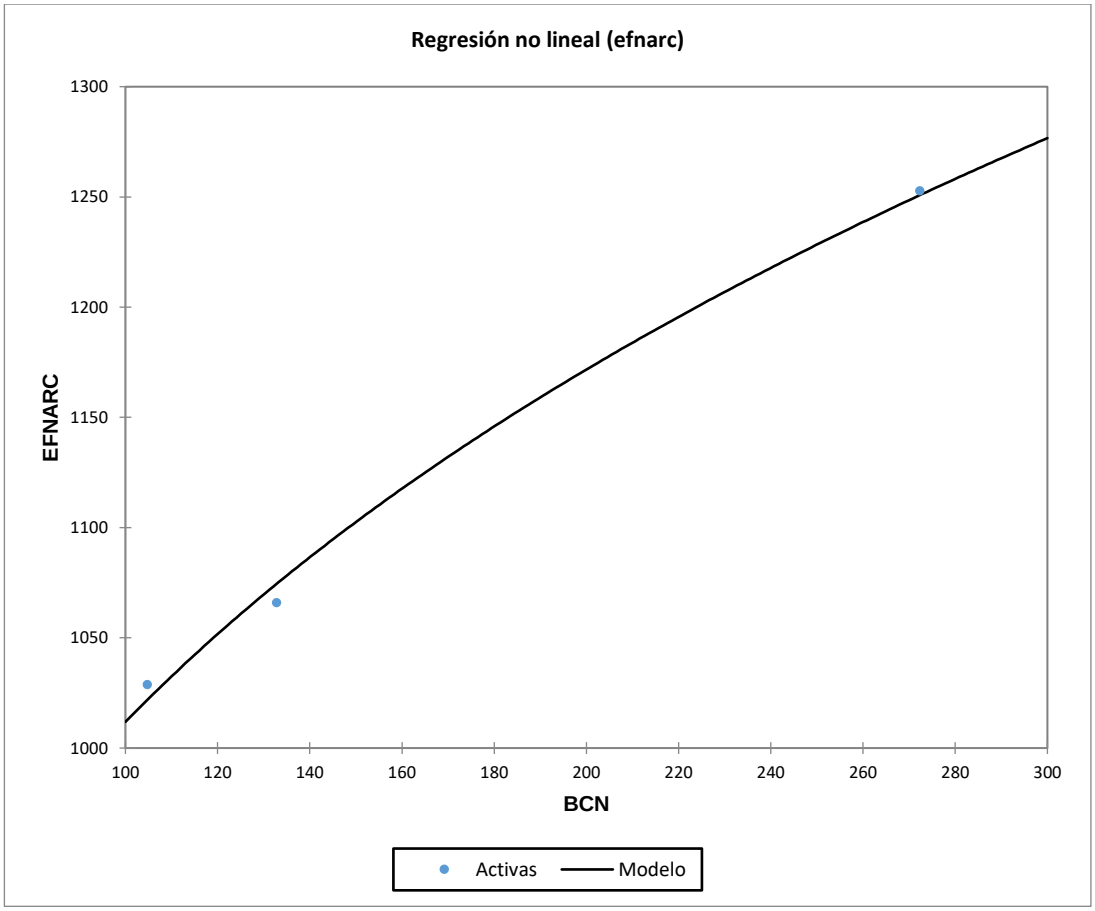


Gráfico 10- Regresión no lineal Barchip54

La correlación obtenida entre ambos ensayos muestra un alto coeficiente de determinación, estableciendo que, el ensayo BCN para el hormigón reforzado con fibra Barchip54, es efectivo para el control sistemático de este en obra.

5. CONCLUSIONES

En la presente memoria de título se estudió el Ensayo Barcelona normado por la norma española UNE 83515:2010 y el Ensayo de Panel EFNARC, basado además en la norma europea EN 14488-5. Entre los cuales se estableció una equivalencia empírica que permite utilizar el Ensayo BCN en vez del ensayo de panel EFNARC para el control sistemático del hormigón proyectado con fibra sintética.

A través de esta investigación se demostró que existe una correlación no lineal entre el ensayo Barcelona y ensayo de panel EFNARC, resultando una función potencial con coeficiente de determinación cercano a uno, para Barchip48 y Barchip54. Por lo cual, se establece que es efectivo utilizar el Ensayo BCN, en vez del ensayo de panel EFNARC, para el control de sistemático del Shotcrete reforzado con fibra sintética, utilizado para el sostenimiento de túneles.

Con respecto al ensayo Barcelona se observa que tiene un coeficiente de variación inferior al 15% dando una baja variabilidad entre los datos estudiado. En este mismo se observa que para la fibra de menor longitud, Barchip48, presente una mayor resistencia al esfuerzo, por lo cual la carga máxima soportada y la disipación de energía es mayor a la fibra de mayor longitud. Entre las ventajas que tiene este ensayo se destaca que presenta una superficie especifica de fractura mayor a los paneles estudiados, además de ser un ensayo más común en la industria, por ende, más económico al panel EFNARC. Las probetas utilizadas son de pequeñas dimensiones, las cuales pueden ser moldeados o testigos del hormigón endurecido, las que permiten fácil ejecución del ensayo.

A diferencia del ensayo Barcelona, el ensayo de paneles cuenta con probetas de grandes dimensiones y difícil manipulación, a pesar de tener una baja variabilidad en sus resultados, menor al 13%, este no es óptimo para el control de calidad de los HRFS, pues requiere de un tiempo mayor al BCN de realización y no se prueba el hormigón puesto, si no que una probeta que simula como se proyecta el hormigón. Por otro lado, en cuanto a costos de ejecución, los paneles EFNARC son más costosos y menos comunes en la industria a diferencia del ensayo Barcelona.

A través de los resultados analizados, para ambos ensayos se demuestra que el hormigón reforzado con fibra sintética mejora la resistencia al esfuerzo de corte de este, también se analiza que la cantidad de fibra es directamente proporcional a la cantidad de carga que resisten las probetas y la tenacidad de estas, es decir, a mayor cantidad de fibra por metro cubico de Shotcrete mayor es la resistencia a una carga puntual al agrietamiento.

Para ambos tipos de fibra, se obtuvo una equivalencia con coeficientes de determinación r^2 = 0,999 y r^2=0,997, para Barchip48 y Barchip 54 respectivamente, los que nos da un alto grado de confiabilidad de las ecuaciones otorgadas en el estudio, las cuales permitirán predecir el comportamiento otras dosificaciones de fibra, las cuales deben tener una variabilidad menor el 15% de lo que se obtiene realmente, de esta forma esta ecuación podría reemplazar la realización del ensayo de panel EFNARC y solo realizar el Barcelona, estimado los resultados de los paneles y permitiendo hacer más rápido y fácil el control del HRFS.

6. REFERENCIAS

UNE 83515 (2010) “Hormigones con fibras. Determinación de la resistencia a fisuración, tenacidad y resistencia residual a tracción. Método Barcelona.”.-

UNE 83504 (2004) “Hormigones con fibras. Fabricación y conservación de probetas para los ensayos de laboratorio”.-

UNE 83505 (2004)” Hormigones con fibras. Extracción y conservación de probetas testigo”

UNE 83502 (2004) “Hormigones con fibras. Fabricación en laboratorio”

ACI544.1R. (1996). Report on Fiber Reinforced Concrete. Reported by ACI Committee 544.

ACI544.2R. (1989). "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete". –

ACI544.4R. (1988). Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete. Reported by ACI Committee 544. –

Modified Effort. - Banthia, S. M. (1994). "Fiber Reinforced Cementitious Composites: Current Practice and Future Prospects". –

Carmona S. & Maripangui F. (2007). Comportamiento del Concreto Reforzado con Fibras sometidas a esfuerzo de corte. Publicación de la XVI Jornadas Chilenas del Hormigón–

Dahl, P. A. (1985). Plastic Shrinkage and Cracking Tendency of Mortar and Concrete Containing Fibermesh. FCB Cement and Concrete Institute, Trondheim. –

Gopalaratnam V. S. & Shah S. (1986). "Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete Subjected to Impact Loading". V.83, págs. 117-126. ACI JOURNAL. –

Hannant, D. J. (1978). "Fiber Cements and Fiber Concretes". J. Wiley.

Henager, Charles H. & Doherty T. J. (1976). "Analysis of Reinforced Fibrous Concrete Beams". (págs. 177-188). ASCE. - Hughes B.P. & Fattuhi N. (1976). Improving the toughness of high strength cement paste with fibre reinforcement. –

IMCYC. (1990). Concreto refrozado con fibras de acero. Construcción y Tecnología en Concreto , 23-30. - IMCYC. (2014). Concreto lanzado para tuneles y taludes. Construcción y Tecnología en Concreto, 46-51. –

Kosmatka S. H., Kerkhoff B. & Panarese W. C. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto . México : Portlad Cemente Association. –

Rodríguez L. F. & Prado P-S. D. (1984). “Hormigón con la incorporación de fibras”. Revista de Obras Públicas(3154). –

Sánchez, R. A. (1978). "Los hormigones reforzados con fibras". –

Sharma, A. K. (1986). “Shear Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams". ACI JOURNAL, 38, 624-628. –

7. ANEXO

7.1. RELACIÓN CARGA VS DEFORMACION CIRCUNFERENCIAL TOTAL ENSAYO BARCELONA BARCHIP 48.

7.1.1. 4 [Kg/m^3] DE FIBRA.

	CARGA [KN]						Promedio
EXT. [mm]	**BCN-1**	**BCN-2**	**BCN-3**	**BCN-4**	**BCN-5**	**BCN-6**	
0	101,228	89,903	88,803	84,959	118,617	96,310	96,637
0,5	84,421	75,042	74,831	69,606	100,695	80,169	80,794
1	67,613	60,180	60,859	54,253	82,773	64,028	64,951
1,5	50,806	45,319	46,887	38,940	64,850	47,887	49,115
2	33,999	30,457	32,915	34,526	46,928	31,746	35,095
2,5	29,370	24,059	23,735	30,495	35,392	15,605	26,443
3	27,967	21,696	22,080	27,096	32,007	16,504	24,558
3,5	26,285	19,830	21,045	24,958	28,248	15,592	22,659
4	25,270	18,440	19,819	23,160	26,252	14,774	21,286
4,5	24,276	17,044	18,579	20,054	22,758	13,589	19,384
5	23,363	16,077	17,742	17,841	20,068	12,534	17,937
5,5	22,131	14,749	17,265	16,267	18,488	11,417	16,719
6	21,361	13,550	16,741	14,599	17,521	10,954	15,788

Tabla 16 Carga [KN] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 4[Kg/m^3] de Fibra Barchip48

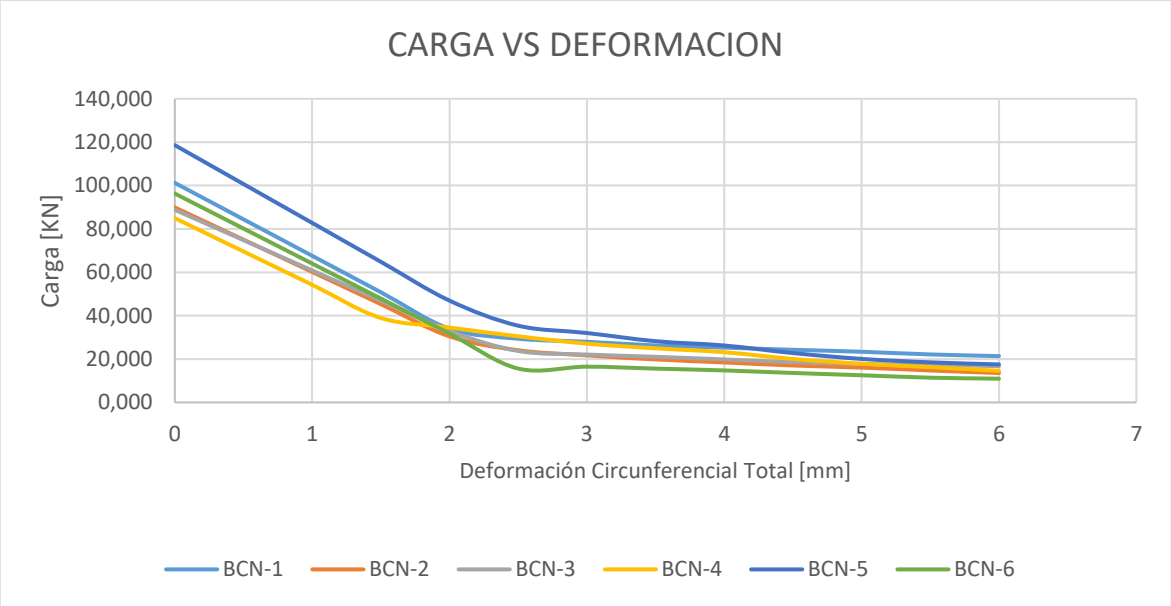


Gráfico 11 Carga [KN] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 4[Kg/m3] de Fibra Barchip48

7.1.2. 8 [Kg/m^3] DE FIBRA

	CARGA [KN]					PROMEDIO
EXT.[mm]	**BCN-1**	**BCN-2**	**BCN-3**	**BCN-4**	**BCN-5**	
0	85,776	79,673	109,331	112,329	114,827	100,387
0,5	73,499	62,902	91,071	97,136	98,172	84,556
1	61,221	46,131	72,812	81,942	81,518	68,725
1,5	49,837	31,127	53,920	66,270	64,864	53,204
2	44,484	29,104	47,654	56,810	48,209	45,252
2,5	39,635	27,708	44,508	47,343	31,555	38,150
3	36,434	25,577	40,040	41,697	27,731	34,296
3,5	32,797	25,039	35,729	38,312	26,232	31,622
4	27,744	24,174	30,846	34,866	24,209	28,368
4,5	24,979	23,445	25,711	29,854	22,030	25,204
5	22,418	23,472	22,312	26,373	20,116	22,938
5,5	20,381	22,961	19,146	23,949	18,707	21,029
6	18,992	21,552	16,694	21,919	17,467	19,325

Tabla 17Carga [KN] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 8[Kg/m3] de Fibra Barchip48

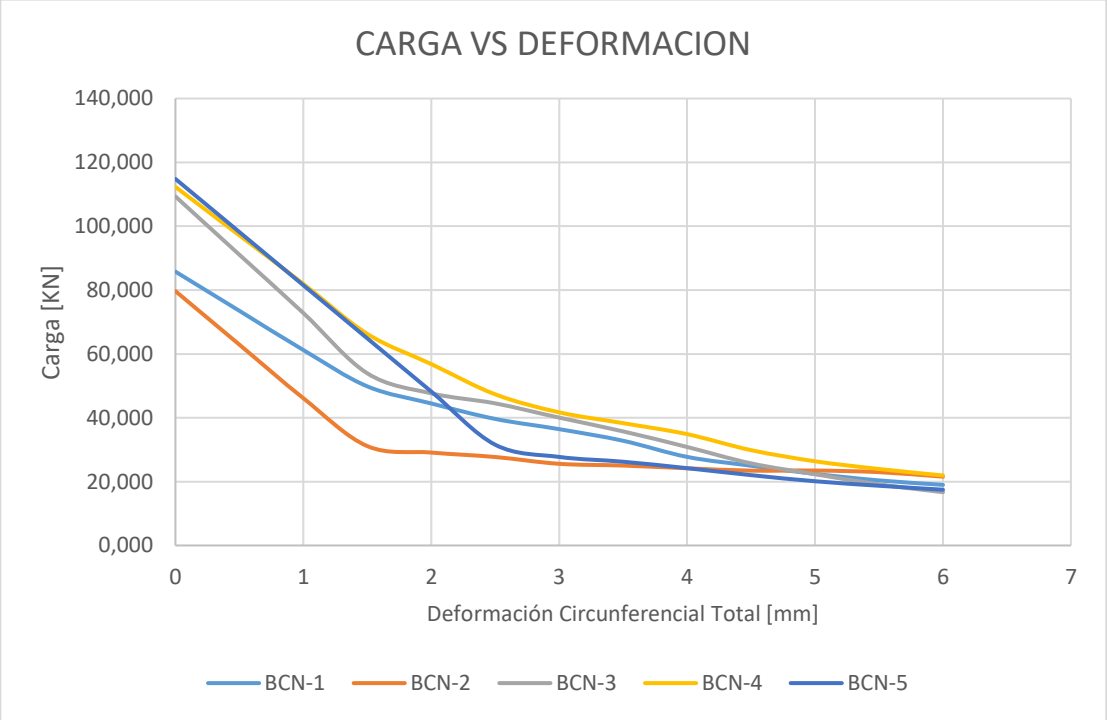


Gráfico 12Carga [KN] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 8[Kg/m3] de Fibra Barchip48

7.1.3. 12 [Kg/m³] DE FIBRA

	CARGA [KN]						Promedio
EXT. [mm]	**BCN-1**	**BCN-2**	**BCN-3**	**BCN-4**	**BCN-5**	**BCN-6**	
0	121,711	108,323	114,216	113,707	112,137	115,814	114,318
0,5	102,845	88,135	91,237	96,595	98,029	101,535	96,396
1	83,980	67,947	68,258	79,482	83,921	86,795	78,397
1,5	63,978	52,599	45,278	62,369	67,917	75,653	61,299
2	57,589	48,260	38,265	54,987	59,179	70,177	54,743
2,5	53,244	47,504	36,773	50,274	54,568	64,279	51,107
3	49,614	45,958	35,942	46,119	50,127	59,498	47,877
3,5	44,697	43,697	34,819	42,271	46,307	53,934	44,287
4	41,632	42,022	33,089	39,602	42,098	47,716	41,026
4,5	38,377	40,094	32,231	37,919	39,019	42,948	38,431
5	35,509	38,583	31,434	36,755	35,927	40,156	36,394
5,5	33,793	37,261	30,896	35,141	34,041	37,350	34,747
6	32,996	35,892	29,718	33,370	32,318	34,204	33,083

Tabla 18Carga [KN] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 12[Kg/m3] de Fibra Barchip48

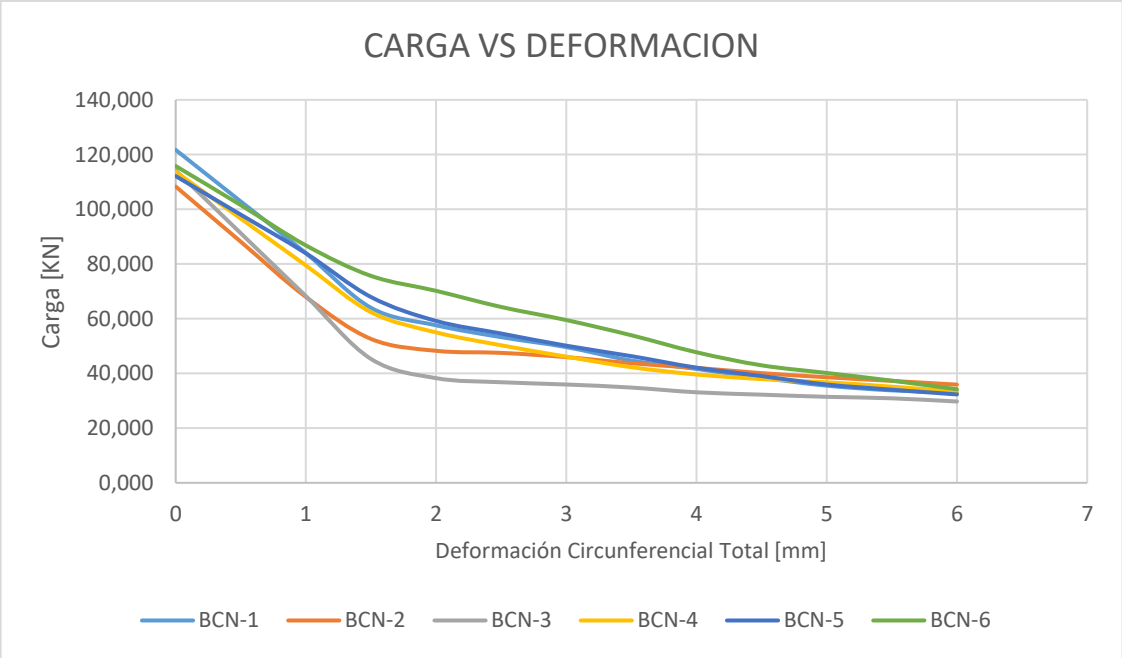


Gráfico 13Carga [KN] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 12[Kg/m3] de Fibra Barchip48

7.2. RELACIÓN ENERGÍA VS DEFORMACION CIRCUNFERENCIAL TOTAL ENSAYO BARCELONA BARCHIP 48

7.2.1. 4 [Kg/m³] DE FIBRA.

	ENERGÍA [J]						PROMEDIO	CV (%)
EXT. [mm]	**BCN-1**	**BCN-2**	**BCN-3**	**BCN-4**	**BCN-5**	**BCN-6**		
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	46,412	41,236	40,908	38,641	54,828	44,120	44,358	13,076
1	84,421	75,042	74,831	69,606	100,695	80,169	80,794	13,597
1,5	114,026	101,416	101,767	92,896	137,600	108,148	109,309	14,247
2	135,227	120,360	121,718	111,171	165,545	128,056	130,346	14,596
2,5	150,464	133,435	135,161	127,513	185,180	139,894	145,275	14,459
3	164,812	144,830	146,593	141,807	202,000	148,253	158,049	14,547
3,5	178,350	155,161	157,378	154,778	217,035	156,231	169,822	14,621
4	191,232	164,699	167,604	166,820	230,703	163,855	180,819	14,663
4,5	203,607	173,604	177,246	177,694	242,963	170,977	191,015	14,675
5	215,506	181,842	186,308	187,100	253,591	177,476	200,304	14,645
5,5	226,877	189,546	195,036	195,569	263,188	183,448	208,944	14,615
6	237,711	196,601	203,530	203,289	272,208	189,017	217,059	14,635

Tabla 19 Energía [J] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 4[Kg/m3] de Fibra Barchip48

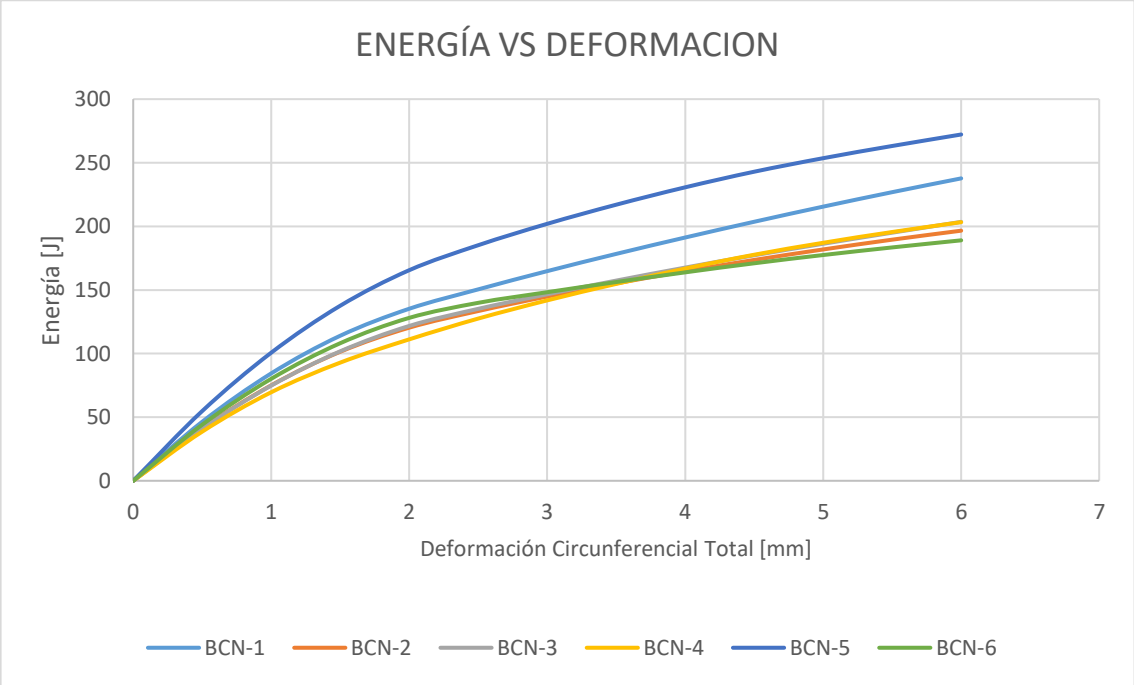


Gráfico 14 Energía [J] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 4[Kg/m3] de Fibra Barchip48

7.2.2. 8 [Kg/m³] DE FIBRA

	ENERGIA [J]					PROMEDIO	CV (%)
EXT. [mm]	**BCN-1**	**BCN-2**	**BCN-3**	**BCN-4**	**BCN-5**		
0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	39,819	35,644	50,100	52,366	53,250	46,236	17,272
1	73,499	62,902	91,071	97,136	98,172	84,556	18,486
1,5	100,758	81,863	122,881	133,468	134,768	114,747	19,942
2	124,242	96,832	147,944	164,555	163,036	139,322	20,636
2,5	145,349	111,042	170,927	190,299	182,977	160,119	20,181
3	164,305	124,364	191,947	212,418	196,266	177,860	19,430
3,5	181,725	137,011	210,990	232,355	209,759	194,368	18,914
4	196,798	149,391	227,676	250,728	222,449	209,408	18,452
4,5	209,957	161,236	241,725	266,957	233,951	222,765	17,938
5	221,801	172,975	253,721	280,899	244,436	234,766	17,259
5,5	232,511	184,594	264,053	293,458	254,153	245,754	16,525
6	242,284	195,770	272,935	304,839	263,203	255,806	15,806

Tabla 20 Energía [J] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 8[Kg/m3] de Fibra Barchip48

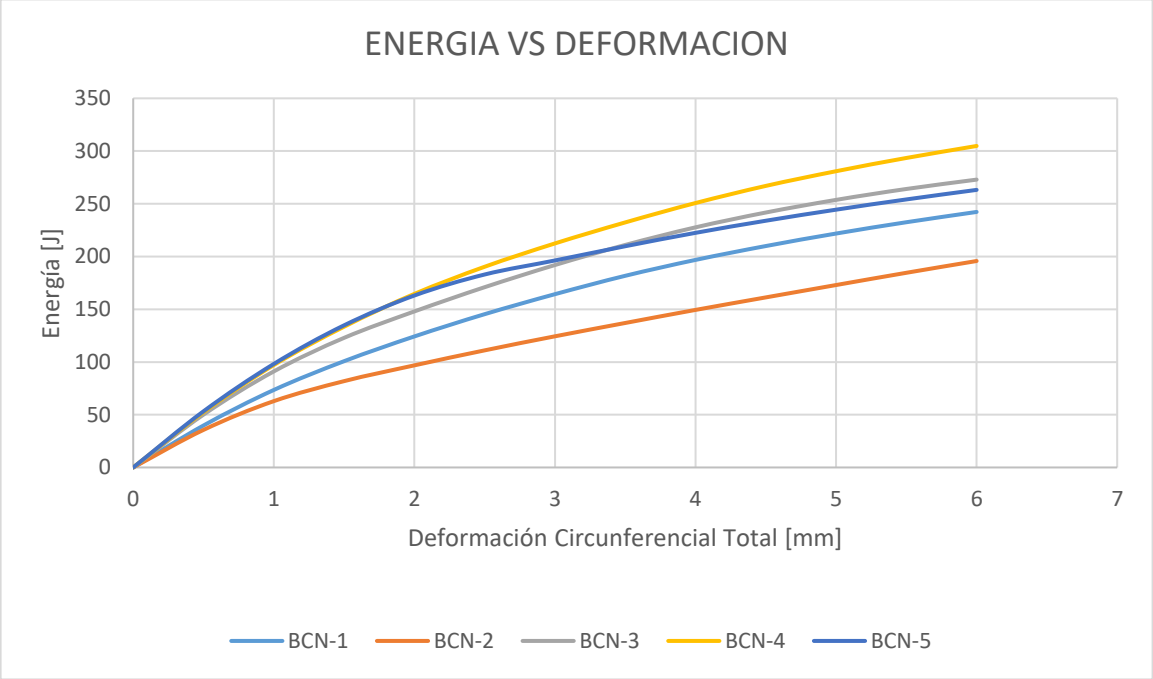


Gráfico 15 Energía [J] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 8[Kg/m3] de Fibra Barchip48

7.2.3. 12 [Kg/m³] DE FIBRA

	ENERGÍA [J]						PROMEDIO	CV (%)
EXT. [mm]	**BCN-1**	**BCN-2**	**BCN-3**	**BCN-4**	**BCN-5**	**BCN-6**		
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	56,139	49,114	51,363	52,575	52,542	54,337	52,678	4,587
1	102,845	88,135	91,237	96,595	98,029	101,512	96,392	5,966
1,5	139,810	117,455	119,621	132,057	136,650	141,270	131,144	7,843
2	170,052	142,610	139,679	160,912	167,674	177,625	159,759	9,642
2,5	197,682	166,524	158,349	187,244	196,080	211,134	186,169	10,783
3	223,418	189,830	176,542	211,373	222,198	242,170	210,922	11,392
3,5	246,867	212,344	194,282	233,372	246,324	270,654	233,974	11,639
4	268,530	233,692	211,268	253,802	268,510	296,164	255,328	11,654
4,5	288,544	254,337	227,596	273,127	288,798	318,716	275,186	11,448
5	307,035	273,973	243,505	291,785	307,478	339,461	293,873	11,156
5,5	324,271	292,886	259,085	309,784	324,977	358,796	311,633	10,814
6	340,940	311,180	274,304	326,960	341,578	376,709	328,612	10,444

Tabla 21 Energía [J] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 12[Kg/m3] de Fibra Barchip48

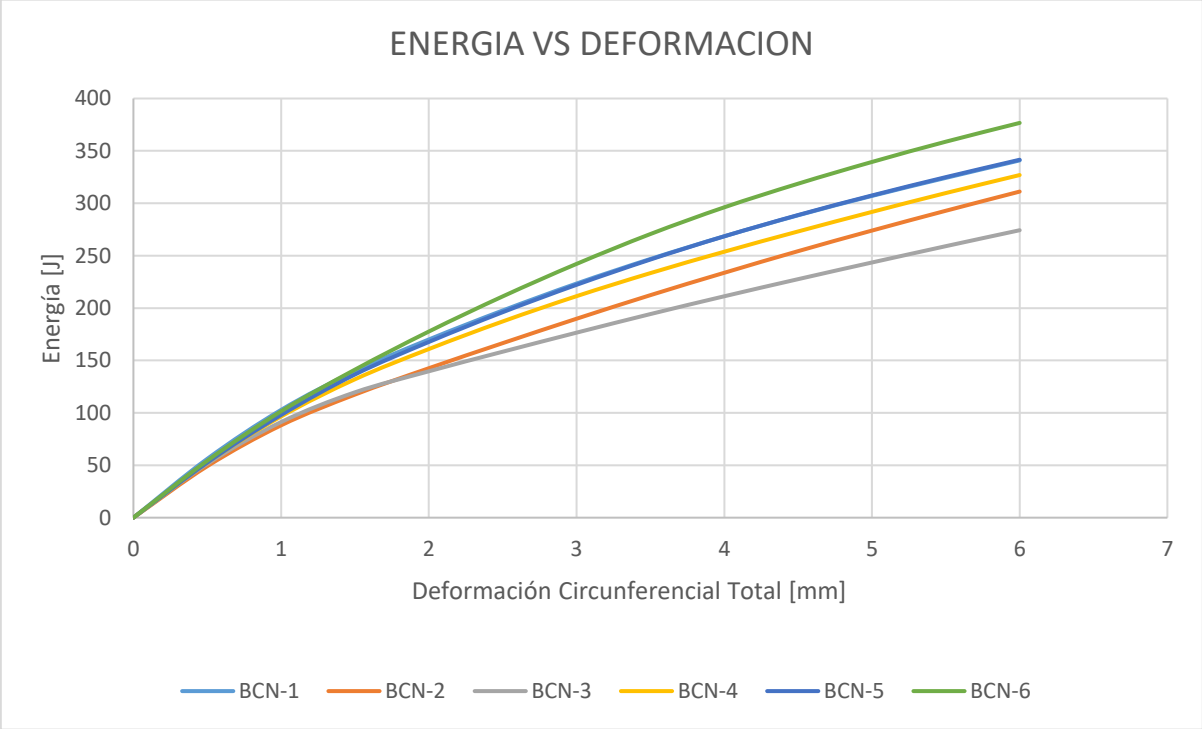


Gráfico 16 Energía [J] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 12[Kg/m3] de Fibra Barchip48

7.3. RELACIÓN CARGA VS DEFORMACION PANELES EFNARC BARCHIP 48

7.3.1. 4 [Kg/m^3] DE FIBRA.

	CARGA [KN]						PROMEDIO
EXT. [mm]	**PANEL-1**	**PANEL-2**	**PANEL-3**	**PANEL-4**	**PANEL-5**	**PANEL-6**	
0	0	0	0	0	0	0	0
1	18,861	3,643	9,057	22,398	26,446	13,504	15,652
2	21,451	15,042	20,586	33,224	38,661	9,564	23,088
3	26,928	24,811	24,01	41,087	38,948	15,943	28,621
4	26,831	33,109	34,257	44,677	45,099	22,1	34,346
5	28,255	39,028	36,539	48,471	48,119	29,772	38,364
6	28,899	41,671	39,9	49,407	43,284	34,435	39,599
7	28,527	35,551	43,303	48,906	41,232	35,155	38,779
8	24,353	36,351	46,399	47,778	40,459	32,302	37,940
9	25,108	36,537	47,573	46,315	39,703	30,837	37,679
10	24,853	36,361	46,816	44,036	39,329	32,321	37,286
11	23,781	36,03	45,798	42,545	37,243	31,93	36,221
12	23,391	34,528	43,233	40,822	35,268	31,724	34,828
13	22,472	33,674	40,943	39,279	34,082	31,372	33,637
14	21,909	32,674	39,525	38,143	33,15	30,556	32,660
15	21,771	30,456	37,9	36,997	32,277	29,969	31,562
16	20,818	29,585	36,49	35,86	28,39	28,46	29,934
17	19,953	28,764	35,298	32,866	26,988	27,782	28,609
18	19,578	27,693	31,777	31,234	26,413	26,822	27,253
19	19,091	26,605	31,562	30,363	25,434	26,081	26,523
20	18,416	25,237	30,799	29,394	24,744	25,566	25,693
21	17,462	24,032	29,892	28,632	24,078	24,359	24,743
22	16,954	23,658	28,783	28,35	23,114	23,608	24,078
23	16,395	22,389	27,605	27,323	22,001	22,756	23,078
24	14,879	21,619	26,754	26,67	21,191	22,218	22,222
25	14,732	21,226	26,274	25,653	20,114	21,426	21,571

Tabla 22 Carga [KN]por probeta vs Deformación del Extensómetro para 4 [Kg/m3] de Fibra Barchip48

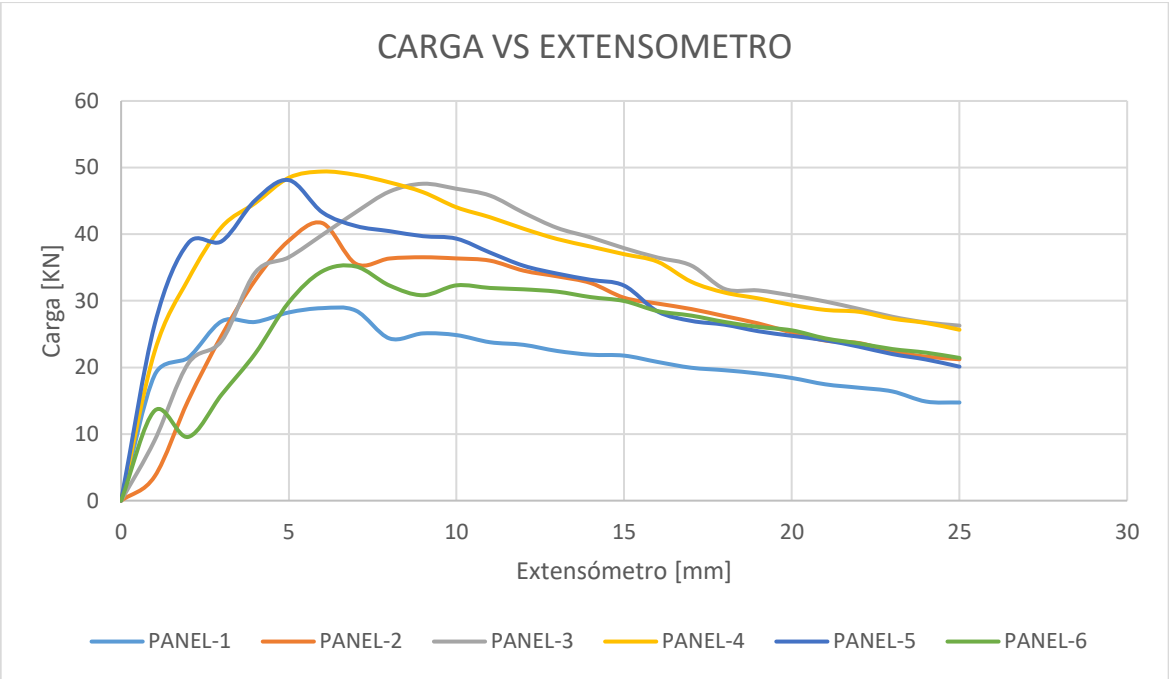


Gráfico 17Carga [KN]por probeta vs Deformación del Extensómetro para 4 [Kg/m3] de Fibra Barchip48

7.3.2. 8 [Kg/m³] DE FIBRA

	CARGA [KN]			PROMEDIO
EXTENSOMETRO[mm]	**PANEL-1**	**PANEL-2**	**PANEL-3**	
0	0	0	0	0
1	17,125	20,508	7,986	15,206
2	32,590	40,951	17,116	30,219
3	42,223	44,559	28,19	38,324
4	52,676	53,231	32,123	46,010
5	57,479	58,545	39,132	51,719
6	60,182	58,975	52,976	57,378
7	56,871	57,156	60,395	58,141
8	56,104	55,825	62,885	58,271
9	54,884	51,466	66,83	57,727
10	53,230	48,924	66,549	56,234
11	51,900	47,671	67,912	55,828
12	50,450	46,065	68,852	55,122
13	48,718	44,201	66,447	53,122
14	46,123	42,068	63,678	50,623
15	44,074	39,719	61,345	48,379
16	41,849	37,594	57,973	45,805
17	41,300	35,496	55,301	44,032

18	39,866	33,264	52,968	42,033
19	38,328	32,194	50,607	40,376
20	37,164	30,399	48,693	38,752
21	36,254	29,692	47,092	37,679
22	33,605	28,356	44,351	35,437
23	33,354	26,721	43,137	34,404
24	32,100	25,833	41,425	33,119
25	30,580	24,316	39,293	31,396

Tabla 23Carga [KN]por probeta vs Deformación del Extensómetro para 8 [Kg/m3] de Fibra Barchip48

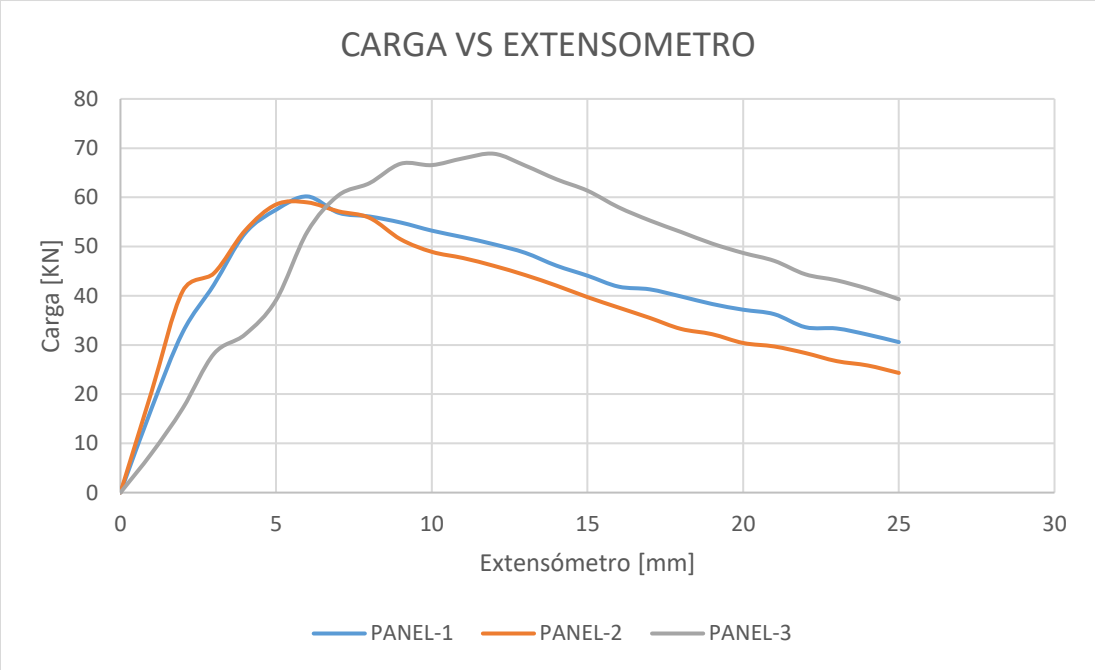


Gráfico 18Carga [KN]por probeta vs Deformación del Extensómetro para 8 [Kg/m3] de Fibra Barchip48

7.3.3. 12 [Kg/m^3] DE FIBRA

	CARGA [KN]			PROMEDIO
EXTENSOMETRO[mm]	**PANEL-1**	**PANEL-2**	**PANEL-3**	
0	0	0	0	0
1	18,410	17,918	9,673	15,334
2	40,390	42,548	24,362	35,767
3	54,070	69,350	24,317	49,246
4	69,739	83,773	34,003	62,505
5	83,592	83,94	47,495	71,676
6	86,748	88,848	63,903	79,833

7	86,490	88,406	70,033	81,643
8	94,559	91,367	72,407	86,111
9	92,857	93,340	76,761	87,653
10	93,991	94,481	80,071	89,514
11	96,978	94,083	83,639	91,567
12	97,369	94,684	86,036	92,696
13	95,53	93,121	88,368	92,340
14	95,586	92,579	87,577	91,914
15	93,815	90,036	87,716	90,522
16	91,517	83,381	86,975	87,291
17	90,559	79,210	86,156	85,308
18	89,122	78,423	82,313	83,286
19	87,300	75,638	81,214	81,384
20	84,986	73,976	78,101	79,021
21	82,929	71,989	75,618	76,845
22	81,044	68,880	73,628	74,517
23	80,035	66,882	71,123	72,680
24	78,673	65,070	69,133	70,959
25	77,201	61,782	67,102	68,695

Tabla 24Carga [KN]por probeta vs Deformación del Extensómetro para 12 [Kg/m3] de Fibra Barchip48

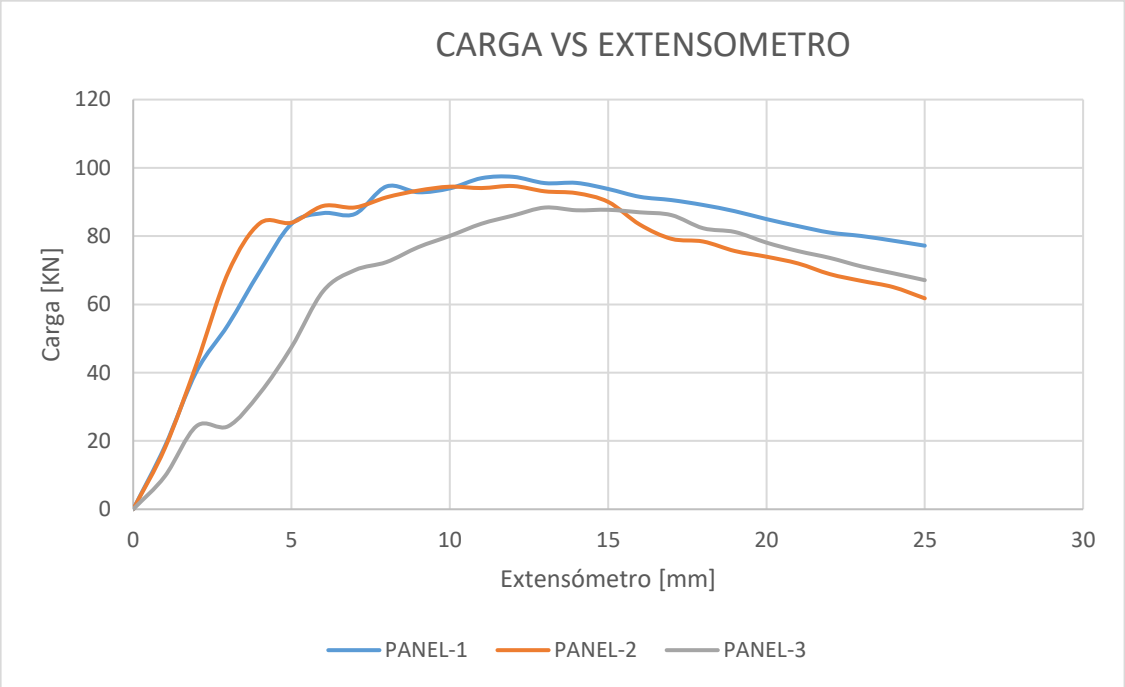


Gráfico 19 Carga [KN]por probeta vs Deformación del Extensómetro para 12[Kg/m3] de Fibra Barchip48

7.4. RELACIÓN ENERGÍA VS DEFORMACION PANELES EFNARC BARCHIP 48

7.4.1. 4 [Kg/m^3] DE FIBRA.

	ENERGÍA[J]						PROMEDIO	CV%
EXT.[mm]	**PANEL-1**	**PANEL-2**	**PANEL-3**	**PANEL-4**	**PANEL-5**	**PANEL-6**		
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	6,650	12,455	9,073	3,951	0,599	8,513	6,873	60,559
2	16,808	45,347	40,076	19,306	15,132	30,095	27,794	46,000
3	30,498	81,880	80,106	42,676	34,119	53,586	53,811	41,841
4	50,260	123,924	122,535	72,679	66,220	80,778	86,066	35,419
5	74,061	170,202	169,421	108,506	102,511	108,373	122,179	31,947
6	106,614	214,794	218,528	147,219	143,357	136,976	161,248	28,064
7	141,928	258,593	266,686	188,691	180,193	166,058	200,358	25,375
8	172,767	299,594	315,168	233,469	216,466	193,725	238,531	24,044
9	205,539	339,812	362,164	280,802	253,009	218,353	276,613	23,054
10	237,153	379,521	407,575	327,988	289,574	243,453	314,211	22,380
11	269,538	417,767	450,878	374,320	325,970	267,772	351,041	21,757
12	301,522	453,889	492,595	418,536	361,084	291,363	386,498	21,255
13	333,083	488,666	532,618	460,748	395,248	314,249	420,769	20,829
14	364,021	522,157	571,286	500,802	428,330	336,419	453,836	20,475
15	394,183	555,083	608,835	539,514	460,106	358,124	485,974	20,199
16	423,237	585,619	645,291	576,897	490,005	379,580	516,771	19,953
17	451,470	613,190	678,966	612,709	519,214	399,694	545,874	19,680
18	478,772	639,817	710,976	646,250	547,623	419,422	573,810	19,402
19	505,247	665,668	741,750	677,929	574,670	438,744	600,668	19,142
20	530,879	690,786	771,564	709,124	600,594	457,359	626,718	18,937
21	555,723	715,266	800,690	739,540	625,254	475,325	651,966	18,782
22	579,895	738,908	829,182	768,852	649,107	492,702	676,441	18,653
23	603,089	761,417	857,035	797,006	672,190	509,278	700,002	18,558
24	625,548	783,237	883,984	824,312	694,230	525,272	722,764	18,483
25	647,399	804,081	910,172	850,918	715,524	540,106	744,700	18,448

Tabla 25 Energía [J] por probeta vs Deformación del Extensómetro para 4 [Kg/m3] de Fibra Barchip48

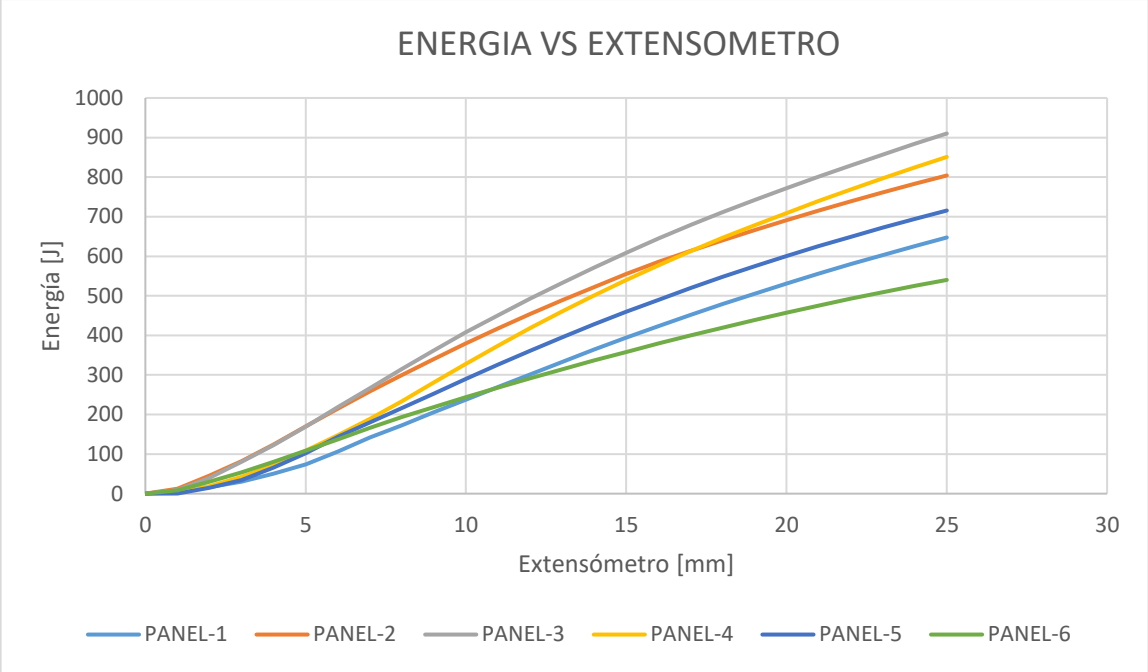


Gráfico 20 Energía [J] por probeta vs Deformación del Extensómetro para 4 [Kg/m3] de Fibra Barchip48

7.4.2. 8 [Kg/m^3] DE FIBRA

	ENERGIA[J]			PROMEDIO	CV%
EXTENSOMETRO[mm]	**PANEL-1**	**PANEL-2**	**PANEL-3**		
0	0	0	0	0	0
1	4,0156	7,915	7,150	6,360	32,488
2	16,415	40,043	33,927	30,128	40,704
3	39,275	84,155	73,664	65,698	35,734
4	71,372	133,613	121,146	108,714	30,292
5	107,327	189,459	176,104	157,630	27,959
6	151,970	249,209	235,249	212,143	24,783
7	211,689	307,342	292,735	270,588	19,043
8	274,691	362,935	349,221	328,949	14,435
9	339,339	416,913	404,940	387,064	10,789
10	406,281	466,850	459,071	444,068	7,421
11	473,636	515,178	511,379	500,064	4,592
12	542,075	562,245	562,893	555,738	2,129
13	609,386	607,321	612,694	609,801	0,444
14	674,494	650,391	660,315	661,733	1,830
15	736,911	691,292	705,306	711,170	3,285
16	796,917	730,065	748,463	758,482	4,553
17	853,302	766,542	790,010	803,284	5,586

18	907,196	800,920	830,372	846,163	6,484
19	958,709	833,554	869,413	887,226	7,264
20	1008,552	865,021	907,158	926,911	7,959
21	1056,448	895,007	943,872	965,109	8,578
22	1101,668	924,171	979,130	1001,656	9,071
23	1145,560	951,737	1012,433	1036,577	9,564
24	1187,599	978,135	1044,993	1070,242	9,996
25	1227,897	1003,297	1076,140	1102,445	10,399

Tabla 26Energía [J] por probeta vs Deformación del Extensómetro para 8 [Kg/m3] de Fibra Barchip48

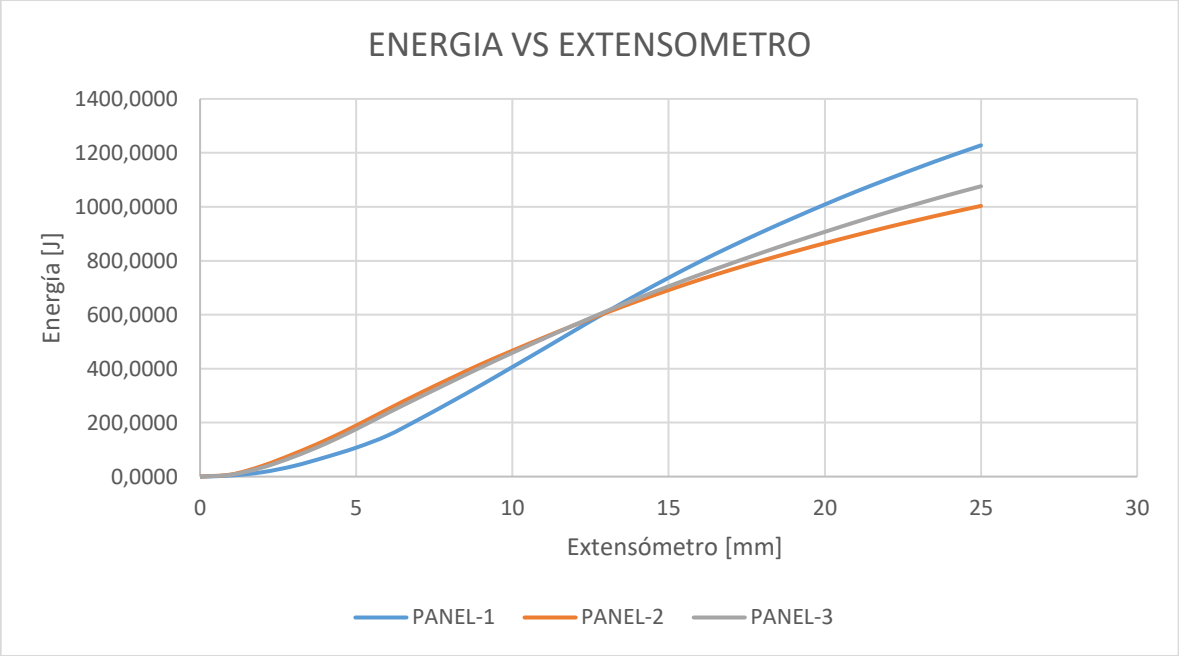


Gráfico 21 Energía [J] por probeta vs Deformación del Extensómetro para 8 [Kg/m3] de Fibra Barchip48

7.4.3. 12 [Kg/m^3] DE FIBRA

	ENERGÍA [J]			PROMEDIO	CV%
EXTENSOMETRO[mm]	**PANEL-1**	**PANEL-2**	**PANEL-3**		
0	0	0	0	0	0
1	4,379	7,741	9,102	7,074	34,369
2	21,360	40,995	37,717	33,357	31,532
3	44,135	95,132	84,217	74,495	36,045
4	74,014	172,049	147,473	131,179	38,884
5	115,941	253,921	225,231	198,364	36,704
6	172,480	339,286	309,298	273,688	32,490

7	240,036	430,366	398,121	356,174	28,599
8	305,590	520,470	488,666	438,242	26,463
9	384,113	612,685	580,072	525,623	23,521
10	462,593	707,300	672,858	614,250	21,565
11	544,411	801,521	769,356	705,096	19,867
12	629,044	894,995	865,830	796,623	18,309
13	716,758	989,279	962,982	889,673	16,896
14	804,637	1082,223	1057,997	981,619	15,662
15	893,049	1174,012	1153,017	1073,359	14,580
16	980,140	1260,685	1246,066	1162,297	13,587
17	1067,771	1342,432	1336,778	1248,994	12,567
18	1151,589	1421,123	1427,144	1333,285	11,804
19	1233,116	1497,972	1513,825	1414,971	11,144
20	1312,699	1573,104	1600,682	1495,495	10,625
21	1389,105	1646,040	1684,908	1573,351	10,216
22	1463,468	1716,731	1767,636	1649,278	9,878
23	1536,450	1784,717	1848,149	1723,105	9,560
24	1606,496	1849,614	1927,840	1794,650	9,337
25	1674,693	1913,107	2005,799	1864,533	9,161

Tabla 27Energía [J] por probeta vs Deformación del Extensómetro para 12 [Kg/m3] de Fibra Barchip48

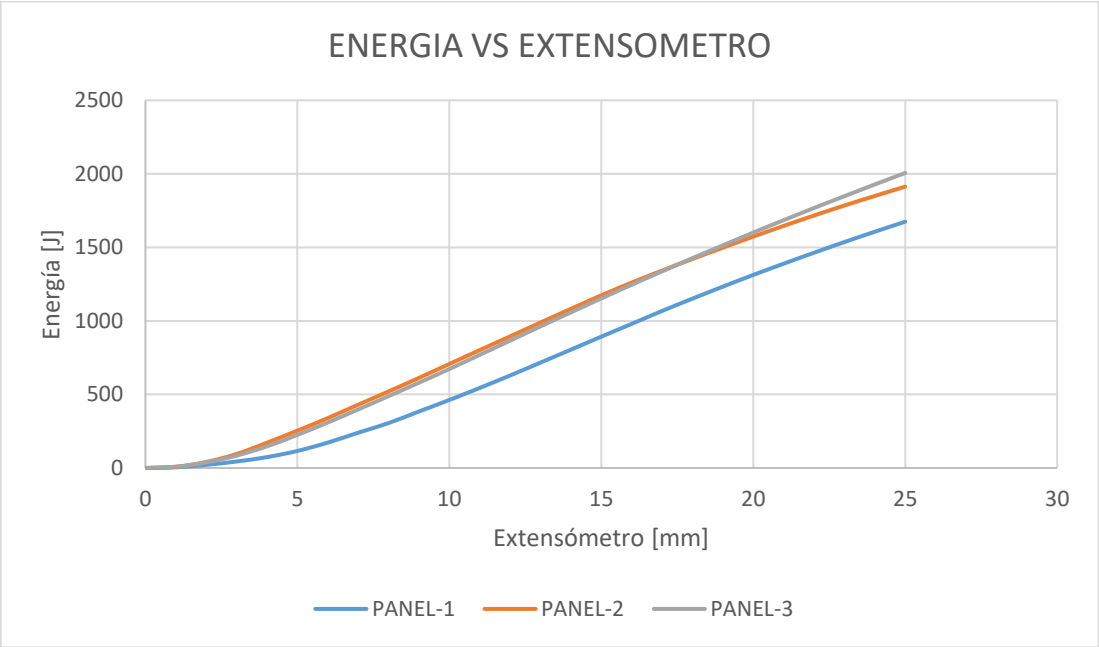


Gráfico 22 Energía [J] por probeta vs Deformación del Extensómetro para 12 [Kg/m3] de Fibra Barchip48

7.5. RELACIÓN CARGA VS DEFORMACION CIRCUNFEENCIAL TOTAL ENSAYO BARCELONA BARCHIP 54.

7.5.1. 4 [Kg/m³] DE FIBRA.

	CARGA [KN]						PROMEDIO
EXT.[mm]	BCN-1	BCN-2	BCN-3	BCN-4	BCN-5	BCN-6	
0	121,480	119,640	149,492	120,917	120,261	136,535	128,054
0,5	25,757	19,716	18,477	27,136	21,414	24,312	22,802
1	22,597	18,558	18,164	25,685	19,985	22,689	21,280
1,5	19,608	16,876	16,373	21,074	17,381	19,733	18,507
2	16,897	16,413	15,644	20,523	16,334	18,544	17,3929
2,5	16,243	14,982	14,861	20,223	15,589	17,699	16,600
3	16,093	13,389	14,357	19,903	14,986	17,014	15,957
3,5	15,964	12,047	14,282	16,586	13,842	15,716	14,740
4	15,875	11,495	13,975	16,464	13,591	15,430	14,472
4,5	14,963	11,039	13,642	16,436	13,184	14,969	14,039
5	14,404	10,903	13,512	16,130	12,919	14,667	13,756
5,5	13,607	10,801	13,247	15,394	12,472	14,160	13,280
6	13,301	10,215	13,083	13,808	11,851	13,454	12,619

Tabla 28 Carga [KN] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 4 [Kg/m³] de Fibra Barchip54

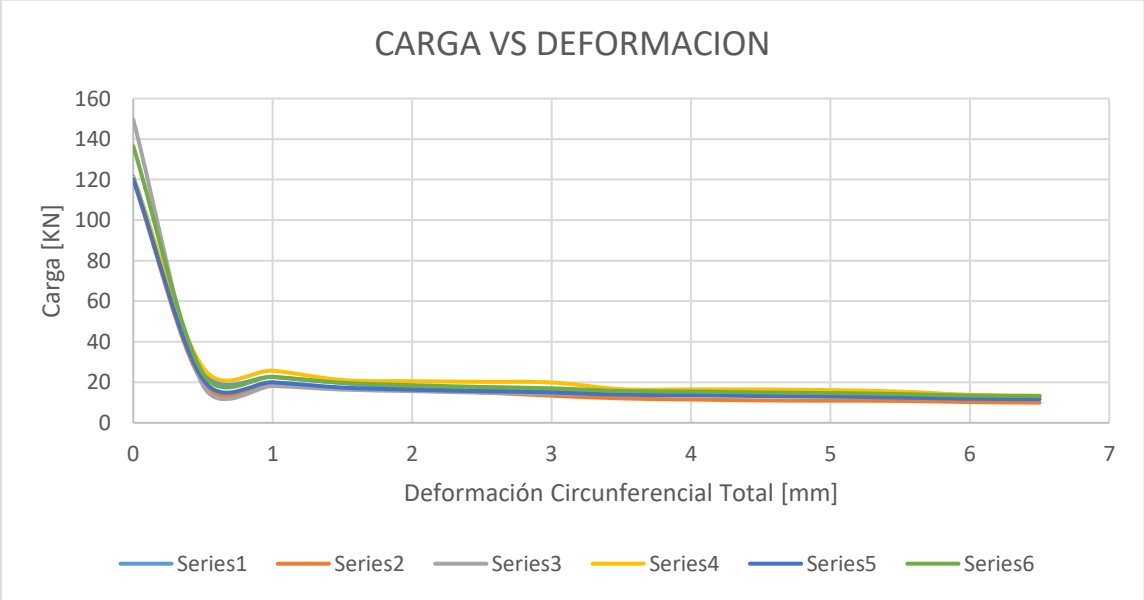


Gráfico 23 Carga [KN] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 4 [Kg/m³] de Fibra Barchip54

7.5.2. 8 [Kg/m³] DE FIBRA

	CARGA[KN]					PROMEDIO
EXT.[mm]	BCN-1	BCN-2	BCN-3	BCN-4	BCN-5	
0	159,971	165,656	112,205	153,635	163,254	150,944
0,5	36,802	31,400	29,654	26,625	27,179	30,332
1	33,383	24,848	28,115	23,023	26,654	27,205
1,5	31,817	23,398	24,696	22,873	25,824	25,721
2	30,782	20,939	23,116	20,918	25,463	24,244
2,5	29,236	19,945	21,284	20,700	24,482	23,129
3	26,797	19,325	17,348	18,351	21,751	20,714
3,5	24,863	19,080	16,769	17,574	20,859	19,829
4	20,668	18,583	16,346	16,593	20,191	18,476
4,5	18,795	18,310	15,877	15,088	20,014	17,617
5	17,808	17,861	15,386	13,849	19,687	16,918
5,5	17,651	17,704	15,277	12,092	19,333	16,411
6	16,718	16,969	14,732	11,642	18,564	15,725

Tabla 29 Carga [KN] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 8 [Kg/m³] de Fibra Barchip54

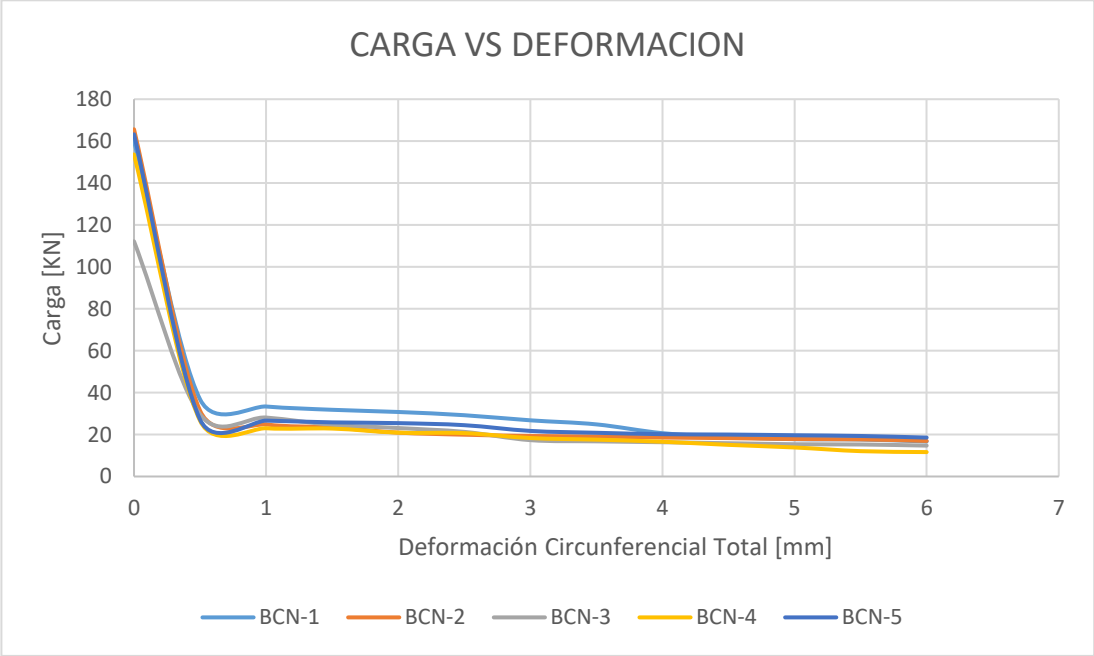


Gráfico 24 Carga [KN] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 8 [Kg/m³] de Fibra Barchip54

7.5.3. 12 [Kg/m³] DE FIBRA

	CARGA MAXIMA [KN]									PROMEDIO
EXT. [mm]	BCN-1	BCN-2	BCN-3	BCN-4	BCN-5	BCN-6	BCN-7	BCN-8	BCN-9	
0	95,950	118,662	112,827	101,278	94,039	102,581	98,153	104,365	125,300	105,906
0,5	78,617	95,004	94,315	83,121	76,909	80,814	83,596	83,465	102,898	86,527
1	61,285	71,346	75,802	64,965	59,778	59,046	69,038	62,565	80,497	67,147
1,5	44,578	47,687	57,289	46,808	42,511	40,122	54,481	41,665	58,096	48,138
2	38,994	42,070	46,963	42,497	37,301	35,865	43,097	33,733	43,593	40,457
2,5	35,125	39,850	45,934	40,018	36,170	34,326	38,888	30,797	43,260	38,263
3	33,538	38,679	45,423	38,104	34,720	33,536	38,037	28,856	41,686	36,953
3,5	32,278	38,045	44,579	36,496	32,976	32,119	36,211	27,269	38,935	35,434
4	31,018	37,119	43,598	34,991	31,975	31,057	34,209	26,200	36,497	34,074
4,5	29,895	34,960	42,379	33,023	31,049	29,565	32,799	25,145	34,924	32,638
5	29,418	32,788	40,186	31,559	29,768	27,583	31,893	24,266	32,771	31,137
5,5	28,832	31,657	39,607	31,123	27,650	26,582	30,954	23,530	30,633	30,063
6	28,294	30,200	38,756	30,251	26,765	25,717	29,830	22,952	29,455	29,135

Tabla 30 Carga [KN] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 12 [Kg/m³] de Fibra Barchip54

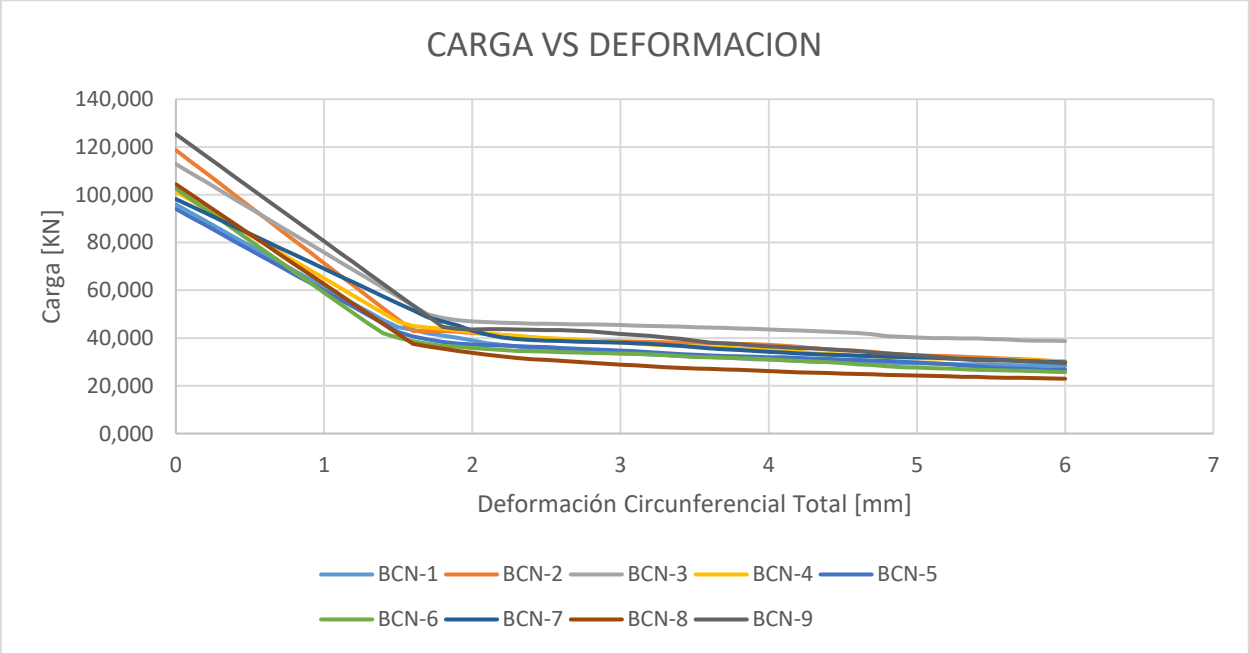


Gráfico 25 Carga [KN] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 12 [Kg/m³] de Fibra Barchip54

7.6. RELACIÓN ENERGÍA VS DEFORMACION CIRCUNFERENCIAL TOTAL ENSAYO BARCELONA BARCHIP 54

7.6.1. 4 [Kg/m³] DE FIBRA.

	ENERGÍA [J]						PROMEDIO[J]	CV%
EXT[mm]	BCN- 1	BCN- 2	BCN- 3	BCN- 4	BCN- 5	BCN- 6		
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	13,836	13,428	10,290	15,291	13,998	11,586	13,072	13,871
1	25,414	22,325	16,964	28,473	26,633	22,043	23,642	17,368
1,5	35,336	31,402	28,070	39,792	38,033	31,479	34,019	13,137
2	45,053	38,382	35,734	49,442	48,827	40,413	42,975	13,182
2,5	53,304	47,109	43,278	60,382	59,166	48,970	52,035	13,104
3	60,834	54,356	50,449	70,349	68,914	57,038	60,323	13,230
3,5	68,742	61,055	51,667	79,499	78,190	64,716	67,311	15,716
4	77,582	66,966	64,864	86,673	87,244	72,210	75,923	12,672
4,5	85,336	72,497	71,885	94,669	96,070	79,515	83,329	12,675
5	92,436	77,642	78,214	104,028	104,656	86,621	90,600	13,230
5,5	98,120	82,636	84,957	111,604	112,880	93,428	97,271	13,248
6	105,651	88,833	91,647	119,217	120,830	100,969	104,757	12,795

Tabla 31 Energía[J] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 4 [Kg/m³] de Fibra Barchip54

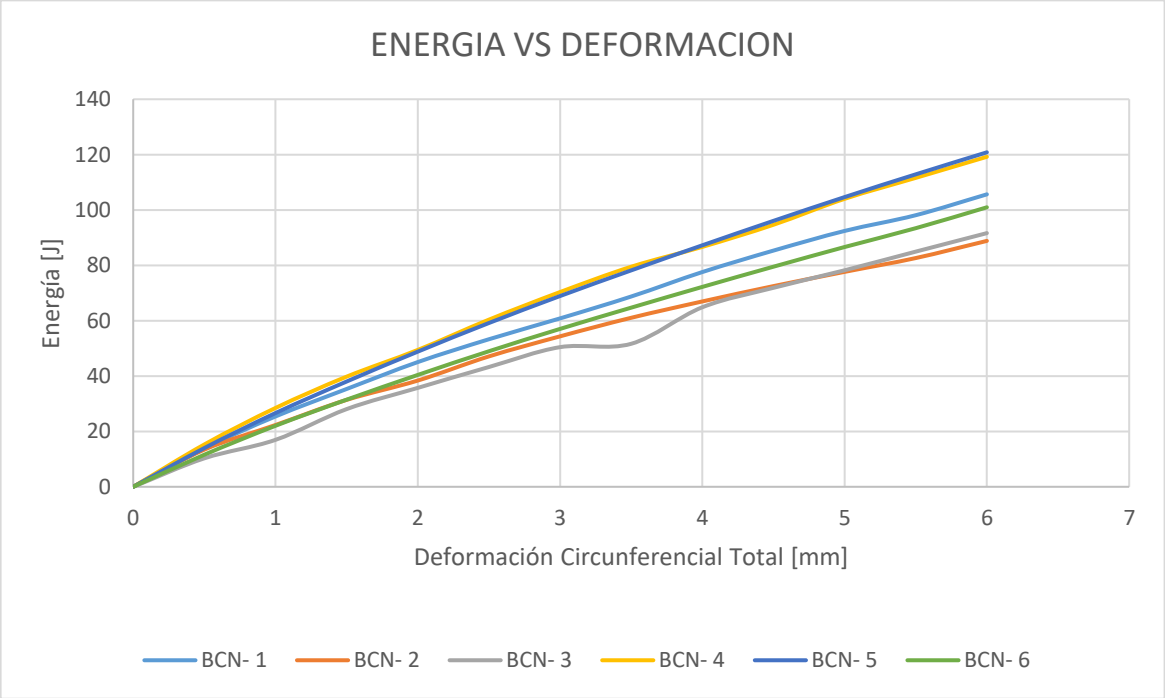


Gráfico 26 Energía[J] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 4 [Kg/m³] de Fibra Barchip54

7.6.2. 8 [Kg/m³] DE FIBRA

	ENERGÍA [J]					PROMEDIO[J]	CV%
EXT[mm]	**BCN-1**	**BCN-2**	**BCN-3**	**BCN-4**	**BCN-5**		
0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	19,001	15,375	15,302	13,242	12,717	15,127	16,346
1	36,657	30,104	29,688	24,249	27,539	29,647	15,358
1,5	53,009	41,621	42,660	36,857	40,110	42,851	14,203
2	68,750	53,084	54,287	48,405	53,478	55,601	13,851
2,5	83,780	63,120	65,662	58,291	65,882	67,347	14,376
3	98,027	72,974	75,303	68,879	77,067	78,450	14,487
3,5	110,167	82,530	83,765	77,744	87,557	88,353	14,361
4	121,327	92,385	91,105	86,564	97,350	97,746	14,047
4,5	132,023	101,611	100,333	94,673	108,120	107,352	13,597
5	141,289	110,723	107,911	101,625	116,054	115,521	13,258
5,5	150,104	119,237	115,711	105,537	127,771	123,672	13,575
6	158,996	128,251	122,867	113,633	137,403	132,230	13,058

Tabla 32Energía[J] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 8 [Kg/m³] de Fibra Barchip54

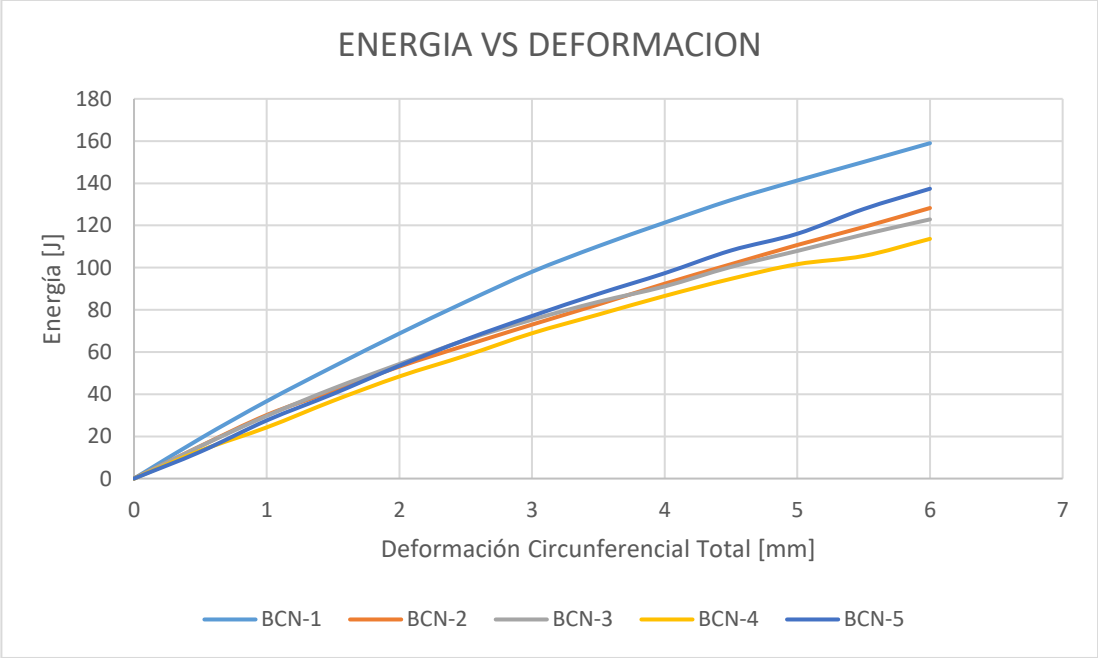


Gráfico 27 Energía[J] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 8 [Kg/m³] de Fibra Barchip54

7.6.3. 12 [Kg/m³] DE FIBRA

	ENERGÍA [J]									PROM.	CV(%)
EXT [mm]	BCN1	BCN2	BCN3	BCN4	BCN5	BCN6	BCN7	BCN8	BCN9		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	43,642	53,416	51,786	46,100	42,737	45,849	45,437	46,957	57,050	48,108	10,078
1	78,617	95,004	94,315	83,121	76,909	80,814	83,596	83,465	102,898	86,527	10,156
1,5	104,958	124,762	127,588	111,065	102,508	105,076	114,475	109,523	137,547	115,278	10,457
2	125,787	146,393	152,728	133,185	122,100	123,798	138,606	127,697	161,762	136,895	10,247
2,5	144,199	166,895	175,900	153,749	140,474	141,265	158,748	143,731	183,544	156,501	10,183
3	161,315	186,469	198,766	173,290	158,174	158,205	177,984	158,652	204,915	175,308	10,327
3,5	177,791	205,633	221,262	191,879	175,097	174,689	196,625	172,658	225,155	193,421	10,510
4	193,608	224,450	243,311	209,752	191,313	190,509	214,206	186,039	243,934	210,791	10,679
4,5	208,785	242,464	264,819	226,746	207,084	205,664	230,927	198,835	261,794	227,458	10,848
5	223,614	259,401	285,431	242,872	222,317	219,889	247,103	211,170	278,709	243,389	10,978
5,5	238,165	275,532	305,378	258,531	236,708	233,414	262,811	223,121	294,471	258,681	11,078
6	252,452	291,007	324,916	273,887	250,266	246,505	278,000	234,744	309,562	273,482	11,184

Tabla 33 Energía[J] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 12[Kg/m³] de Fibra Barchip54

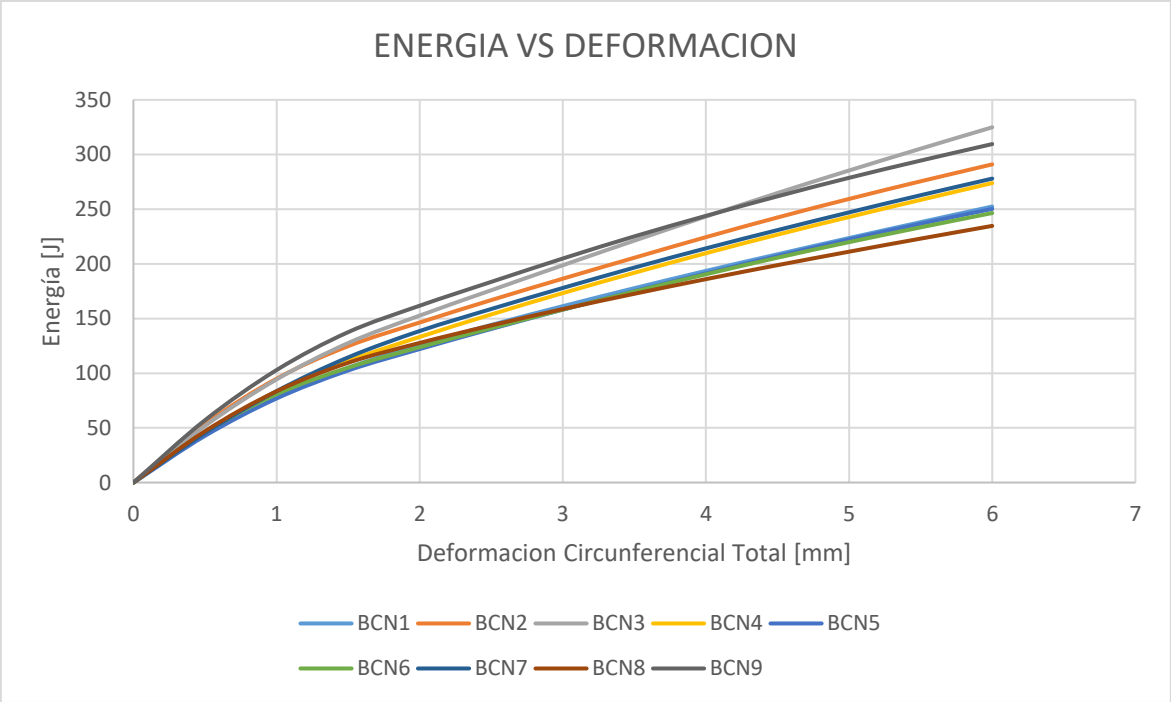


Gráfico 28 Energía[J] por probeta vs Deformación Circunferencial Total para 12 [Kg/m³] de Fibra Barchip54

7.7. RELACIÓN CARGA VS DEFORMACION PANELES EFNARC BARCHIP 54

7.7.1. 4 [Kg/m³] DE FIBRA.

	CARGA [KN]										PROM.
EXT [mm]	**PANEL 1**	**PANEL 2**	**PANEL 3**	**PANEL 4**	**PANEL 5**	**PANEL 6**	**PANEL 7**	**PANEL 8**	**PANEL 9**	**PANEL 10**	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	15,544	41,447	7,161	14,808	20,883	9,926	11,665	7,653	33,574	21,373	18,403
2	28,862	40,041	33,337	28,913	36,714	30,719	26,216	19,362	29,467	32,987	30,662
3	33,393	37,313	57,942	34,014	31,026	36,03	22,715	20,276	37,187	45,657	35,555
4	33,909	40,639	42,719	39,888	45,926	44,824	35,05	33,16	33,883	37,954	38,795
5	34,041	38,552	47,764	39,494	46,303	51,573	35,154	31,959	35,205	39,238	39,928
6	33,555	31,262	47,78	39,276	44,812	51,589	33,86	33,386	36,844	37,616	38,998
7	33,354	31,058	49,77	39,577	44,51	52,431	37,628	33,827	37,339	36,123	39,562
8	33,461	30,966	51,62	39,4	42,882	51,939	39,363	34,457	37,251	35,722	39,706
9	33,425	30,827	50,229	38,481	41,454	49,603	40,044	35,093	36,976	35,627	39,176
10	31,935	30,487	49,225	37,549	40,397	47,319	39,009	34,357	36,224	35,414	38,192
11	31,207	30,206	47,17	36,078	39,149	44,077	37,035	33,87	35,39	35,781	36,996
12	30,624	30,133	45,967	35,457	37,928	42,745	36,359	33,835	35,421	34,184	36,265
13	29,647	29,379	44,489	34,801	35,731	41,184	36,393	33,194	34,85	33,381	35,305
14	28,777	29,032	43,709	34,357	35,292	38,384	36,139	32,05	33,65	32,766	34,416
15	27,586	28,817	42,472	33,419	34,389	36,327	35,278	31,852	32,708	30,409	33,326
16	26,437	28,222	41,448	33,087	34,466	34,385	34,298	30,792	31,528	29,752	32,442
17	25,732	27,494	39,854	32,541	32,741	32,759	33,488	29,295	30,211	29,082	31,320
18	25,188	26,961	38,265	31,352	31,532	31,312	32,539	28,066	29,356	27,573	30,214
19	24,599	26,2	37,023	30,559	31,348	30,292	31,792	27,288	28,913	26,606	29,462
20	24,174	25,544	35,309	29,516	29,632	29,373	31,149	26,204	27,893	26,112	28,491
21	23,876	25,131	33,75	28,822	28,718	27,422	29,794	25,289	27,355	23,596	27,375
22	22,707	24,248	32,72	27,429	28,262	26,021	28,949	24,774	26,495	23,127	26,473
23	21,519	23,593	31,977	26,735	27,568	25,028	27,538	24,014	26,513	22,29	25,678
24	20,391	22,617	30,867	26,124	24,953	24,421	27,249	23,398	25,164	20,945	24,613
25	19,569	21,806	28,88	25,865	24,533	22,168	25,577	22,702	23,696	19,814	23,461

Tabla 34 Carga [KN] por probeta vs Deformación Extensómetro para 4[kg/m³] de Fibra Barchip54

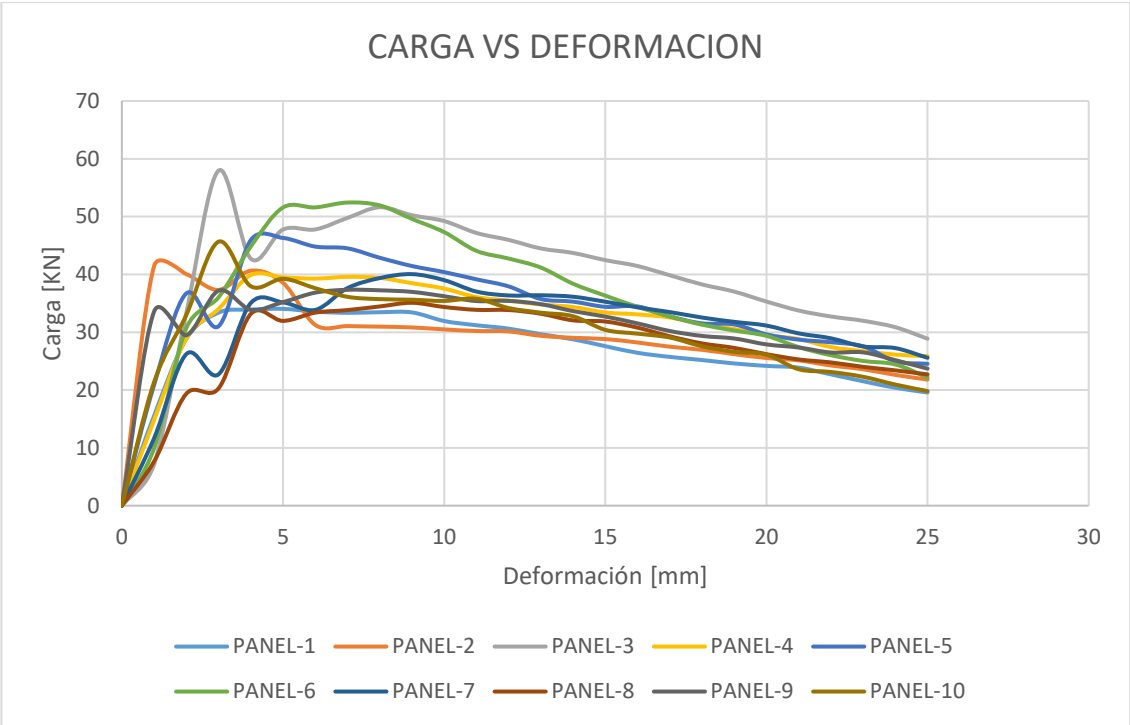


Gráfico 29 Carga [KN] por probeta vs Deformación Extensómetro para 4[kg/m³] de Fibra Barchip54

7.7.2. 8 [Kg/m³] DE FIBRA

	CARGA [KN]										PROM.
EXT [mm]	**PANEL 1**	**PANEL 2**	**PANEL 3**	**PANEL 4**	**PANEL 5**	**PANEL 6**	**PANEL 7**	**PANEL 8**	**PANEL 9**	**PANEL 10**	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	5,575	18,466	38,974	44,289	49,161	17,542	20,197	32,622	26,293	15,582	26,870
2	21,599	26,353	38,831	56,859	47,596	32,614	39,059	37,672	28,643	38,851	36,808
3	35,062	44,496	49,335	59,468	53,033	44,813	54,581	42,803	36,175	61,192	48,096
4	47,323	47,066	57,902	58,788	52,523	45,676	57,224	43,778	40,679	77,405	52,836
5	51,154	49,600	59,312	57,159	53,113	45,866	58,116	48,820	43,821	84,385	55,135
6	42,446	53,287	59,386	58,995	51,071	47,850	61,551	51,113	46,874	69,520	54,209
7	45,624	55,588	60,134	61,023	50,393	48,392	62,837	50,916	49,771	69,589	55,427
8	47,732	55,548	59,180	60,400	49,045	48,286	61,882	50,598	48,753	73,206	55,463
9	48,774	53,943	55,869	59,263	47,208	46,848	60,492	50,391	46,603	69,260	53,865
10	48,808	52,879	54,767	56,531	46,261	46,056	58,122	49,648	45,080	66,038	52,419
11	46,228	50,901	52,692	54,779	44,151	45,560	56,947	49,568	43,965	62,573	50,736
12	45,136	49,250	51,246	53,323	42,330	44,326	50,535	48,947	41,900	60,093	48,709
13	43,842	45,859	48,754	51,945	41,636	43,388	49,251	47,567	40,171	56,714	46,913
14	42,418	44,483	47,301	50,967	41,050	41,747	46,598	46,052	39,425	44,741	44,478
15	41,445	43,147	43,929	46,102	40,804	40,776	44,752	44,039	38,011	42,129	42,513
16	39,215	41,201	41,556	45,158	38,973	40,275	42,649	42,624	37,651	39,653	40,896
17	37,731	40,361	40,199	43,674	38,405	38,982	41,214	41,202	35,726	38,592	39,609
18	36,113	38,210	38,683	42,083	37,147	37,829	39,377	39,998	35,111	37,450	38,200
19	35,264	36,426	37,621	41,287	36,019	37,405	38,232	38,232	33,523	36,358	37,037
20	33,538	35,565	36,150	40,610	34,679	36,786	36,928	37,064	31,749	34,609	35,768
21	32,154	34,883	34,944	38,571	33,818	35,776	34,315	36,054	31,224	33,774	34,551
22	31,355	33,546	32,997	37,386	32,753	35,298	32,829	35,177	30,446	33,911	33,570
23	30,434	32,439	31,354	35,964	32,053	34,392	30,990	33,418	29,700	31,299	32,204
24	29,100	31,809	30,271	35,189	30,992	34,039	29,472	31,816	28,699	29,747	31,113
25	27,714	30,932	29,245	34,202	30,570	32,916	28,214	30,077	28,011	28,294	30,018

Tabla 35Carga [KN] por probeta vs Deformación Extensómetro para 8 [kg/m³] de Fibra Barchip54

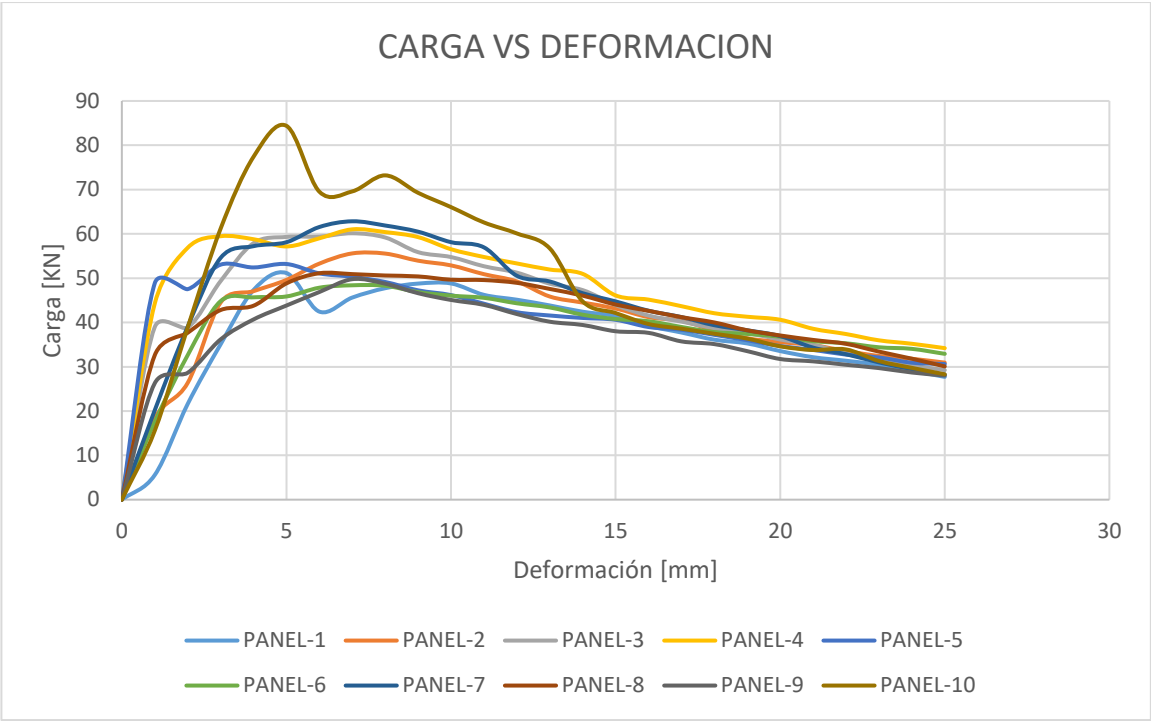


Gráfico 30 Carga [KN] por probeta vs Deformación Extensómetro para 8[kg/m³] de Fibra Barchip54

7.7.3. 12 [Kg/m³] DE FIBRA

	CARGA [KN]							PROMEDIO
EXT [mm]	PANEL 1	PANEL 2	PANEL 3	PANEL 4	PANEL 5	PANEL 6	PANEL 7	
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	26,814	29,895	8,422	8,678	10,162	19,673	9,787	16,204
2	34,401	55,113	33,722	17,505	22,714	44,237	33,628	34,474
3	52,888	64,536	45,715	27,586	38,618	67,961	57,783	50,727
4	62,721	62,877	55,040	45,689	48,670	72,505	59,117	58,088
5	74,224	64,820	63,458	49,493	54,403	74,553	67,663	64,088
6	79,379	69,467	65,921	53,472	64,487	81,542	70,286	69,222
7	75,757	71,187	66,353	57,360	70,224	85,108	68,527	70,645
8	75,071	71,167	66,446	59,795	70,829	77,753	68,217	69,897
9	73,360	70,402	64,357	59,841	64,557	65,169	67,043	66,390
10	67,326	69,914	64,399	59,622	63,669	59,596	66,734	64,466
11	62,072	68,794	62,805	57,626	60,825	59,729	63,922	62,253
12	58,356	62,755	60,677	54,123	57,149	59,712	57,153	58,561
13	56,875	57,820	54,372	52,300	54,278	59,083	55,595	55,760
14	55,788	56,048	51,044	50,324	53,056	56,815	54,150	53,889
15	52,893	54,735	47,766	43,332	52,487	54,651	51,750	51,088
16	50,503	54,688	41,677	41,464	50,985	54,705	49,511	49,076

17	48,453	53,821	40,745	39,016	49,463	54,906	47,108	47,645
18	45,535	52,001	40,851	37,424	47,302	52,905	45,254	45,896
19	45,002	51,329	38,790	36,137	44,550	50,065	44,056	44,276
20	43,451	49,496	38,017	35,149	43,007	50,142	43,094	43,194
21	42,111	48,554	37,632	33,712	41,890	49,108	42,419	42,204
22	41,010	47,248	36,157	32,540	39,544	46,034	40,997	40,504
23	39,713	46,566	34,886	31,021	37,850	43,784	39,868	39,098
24	38,353	45,305	33,703	29,107	36,308	39,626	39,033	37,348
25	36,679	45,653	33,581	27,547	34,769	38,164	37,845	36,320

Tabla 36 Carga [KN] por probeta vs Deformación Extensómetro para 12[kg/m³] de Fibra Barchip54

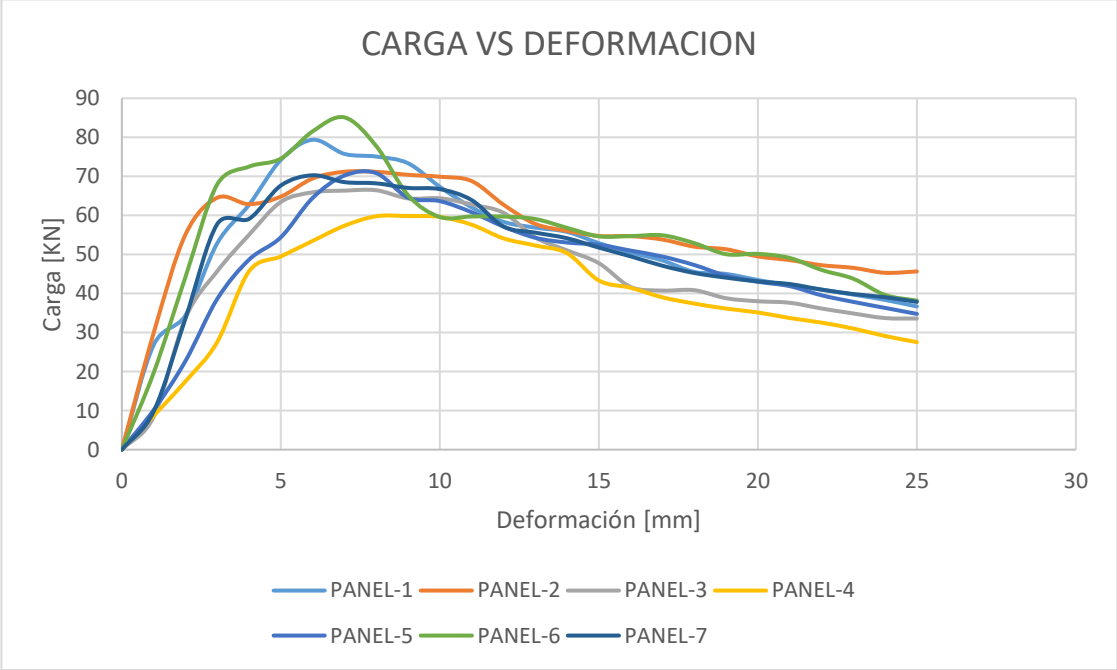


Gráfico 31 Carga [KN] por probeta vs Deformación Extensómetro para 12[kg/m³] de Fibra Barchip54

7.8. RELACIÓN ENERGÍA VS DEFORMACION PANELES EFNARC BARCHIP 54

7.8.1. 4 [Kg/m³] DE FIBRA.

	ENERGIA [J]					
EXT [mm]	**PANEL 1**	**PANEL 2**	**PANEL 3**	**PANEL 4**	**PANEL 5**	**PANEL 6**
0	0	0	0	0	0	0
1	7,752	9,423	5,320	4,920	3,713	16,539
2	30,570	36,926	21,205	24,741	16,594	47,265
3	60,178	74,697	56,218	48,925	37,910	85,162
4	101,164	113,340	96,549	77,224	63,607	120,041
5	140,491	160,303	144,995	111,803	95,862	154,381
6	179,835	205,204	196,394	145,227	130,464	190,642
7	219,463	249,776	248,579	180,660	163,517	227,769
8	258,957	293,662	301,004	219,332	197,701	265,101
9	297,830	335,808	351,343	259,265	232,366	302,309
10	335,996	376,764	400,283	298,847	266,908	338,677
11	372,954	416,460	446,177	336,707	301,124	374,607
12	408,543	454,770	489,249	373,293	334,917	410,043
13	443,699	491,477	531,243	409,621	368,427	445,244
14	478,381	526,439	571,143	446,029	400,958	479,099
15	512,460	561,225	608,643	481,844	432,894	512,242
16	545,801	595,652	643,840	517,076	464,220	544,734
17	578,209	629,284	677,452	551,065	494,204	575,359
18	610,227	661,661	709,641	584,257	522,962	604,924
19	641,094	693,061	740,294	616,274	550,760	634,035
20	671,113	723,747	769,729	647,481	577,533	662,436
21	699,977	752,965	797,925	677,860	603,025	689,960
22	728,230	781,742	824,873	707,394	628,211	716,837
23	755,432	809,616	850,173	735,608	652,576	743,333
24	781,914	834,883	874,764	762,874	676,429	769,409
25	807,770	859,701	898,209	789,558	699,695	793,922

Tabla 37 Energía[J] por probeta vs Deformación Extensómetro para 4[kg/m³] de Fibra Barchip54

	ENERGIA [J]				PROMEDIO	CV(%)
EXT [mm]	**PANEL 7**	**PANEL 8**	**PANEL 9**	**PANEL 10**		
0	0	0	0	0	0	0
1	9,104	7,448	18,236	2,022	8,448	62,400
2	40,521	30,536	58,375	21,036	32,777	40,045
3	79,254	62,151	98,060	66,911	66,947	26,643

4	123,417	95,913	137,423	114,853	104,353	21,267
5	161,976	130,134	176,974	161,469	143,839	17,417
6	200,740	163,879	209,791	210,341	183,252	15,298
7	237,084	197,258	241,710	259,581	222,540	14,433
8	274,081	230,950	272,771	310,674	262,423	13,967
9	310,076	264,269	303,587	361,221	301,807	13,647
10	345,559	297,040	334,281	411,279	340,563	13,501
11	381,324	328,697	364,569	459,211	378,183	13,366
12	416,114	359,615	394,610	505,596	414,675	13,210
13	449,872	389,701	424,174	550,620	450,408	13,050
14	482,841	418,915	453,472	595,044	485,232	12,902
15	513,995	447,313	482,551	638,292	519,146	12,749
16	544,361	474,395	511,054	680,056	552,119	12,594
17	572,690	500,513	538,768	720,960	583,850	12,501
18	601,508	525,987	566,108	759,916	614,719	12,386
19	628,444	550,887	592,618	797,506	644,497	12,279
20	654,665	575,180	618,595	833,722	673,420	12,176
21	679,821	599,200	643,747	868,276	701,276	12,064
22	703,177	622,767	668,532	901,681	728,344	11,949
23	726,252	644,773	692,584	933,832	754,418	11,847
24	747,924	665,997	715,738	964,937	779,487	11,749
25	768,316	685,840	737,880	994,828	803,572	11,674

Tabla 38Energía[J] por probeta vs Deformación Extensómetro para 4[kg/m³] de Fibra Barchip54

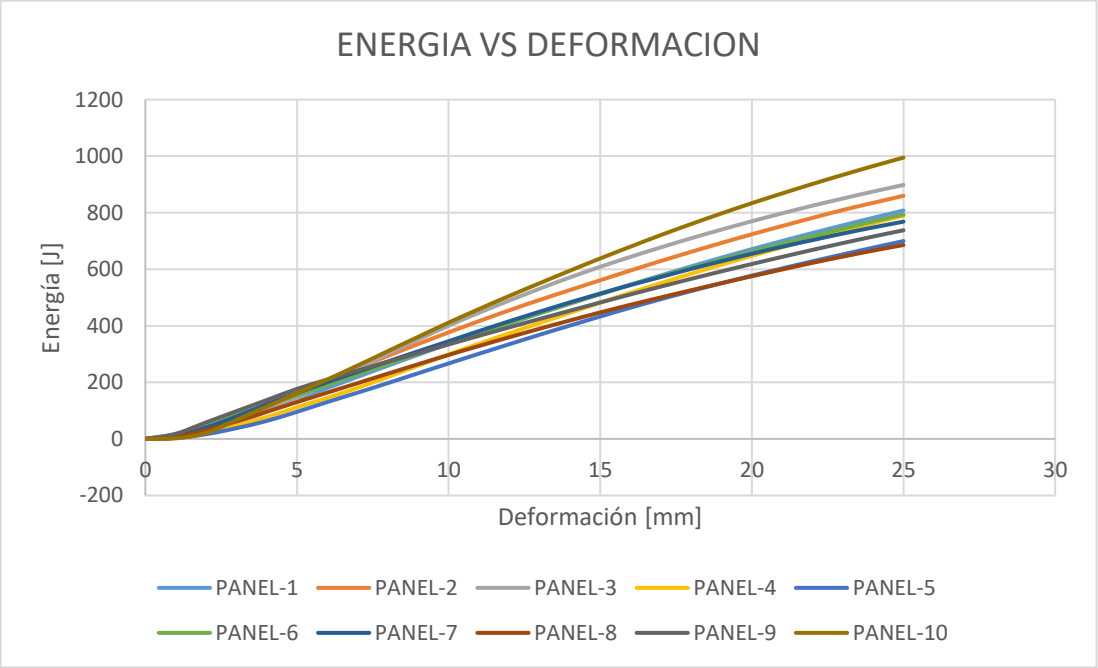


Gráfico 32 Energía[J] por probeta vs Deformación Extensómetro para 4[kg/m³] de Fibra Barchip54

7.8.2. 8 [Kg/m³] DE FIBRA

	ENERGIA [J]					
EXT.[mm]	PANEL-1	PANEL-2	PANEL-3	PANEL-4	PANEL-5	PANEL-6
0	0	0	0	0	0	0
1	18,848	27,693	6,487	8,948	13,959	10,946
2	66,328	75,222	36,075	40,215	55,247	38,540
3	124,320	126,269	74,925	86,926	94,632	72,193
4	183,375	179,909	119,614	147,435	140,943	110,458
5	240,630	232,996	165,992	203,316	187,469	152,592
6	299,331	285,485	212,847	263,386	237,979	198,137
7	359,199	335,920	260,976	325,841	289,104	246,576
8	419,858	386,074	309,345	388,494	339,708	296,636
9	480,276	434,060	356,969	450,019	389,881	343,892
10	538,198	480,753	403,569	509,254	439,334	390,034
11	593,842	525,597	449,715	566,903	489,168	434,307
12	647,916	568,820	494,614	621,561	538,195	477,062
13	700,340	610,807	538,523	671,130	586,643	518,281
14	752,106	652,276	580,835	719,042	633,437	558,034
15	800,522	692,853	622,029	764,846	678,738	596,558
16	846,326	732,528	662,486	808,772	722,207	634,296
17	890,618	771,187	702,037	850,790	763,761	670,608
18	933,961	808,949	740,629	891,091	804,372	706,022
19	975,606	845,499	778,268	929,850	843,031	740,097
20	1016,630	881,007	815,320	967,449	880,317	772,876
21	1056,135	914,962	851,685	1002,840	916,770	804,270
22	1094,101	948,489	887,006	1036,490	952,551	835,092
23	1130,901	980,821	921,960	1068,661	987,119	865,242
24	1166,211	1012,478	956,497	1098,841	1019,414	894,217
25	1201,027	1043,190	990,282	1127,723	1050,469	922,721

Tabla 39 Energía[J] por probeta vs Deformación Extensómetro para 8[kg/m³] de Fibra Barchip54

	ENERGIA [J]				PROMEDIO	CV(%)
EXT.[mm]	PANEL-7	PANEL-8	PANEL-9	PANEL-10		
0	0	0	0	0	0	0
1	6,363	2,640	7,819	21,917	12,562	63,344
2	35,630	14,929	31,379	61,937	45,550	40,606
3	91,636	45,551	65,130	105,748	88,733	28,849
4	161,431	86,141	111,895	159,563	140,076	23,012
5	242,846	132,902	159,778	220,114	193,864	20,558
6	320,331	177,449	211,166	280,614	248,673	19,297
7	390,350	221,831	265,622	340,723	303,614	18,020
8	462,030	268,882	321,597	400,648	359,327	17,081
9	535,194	317,292	376,576	457,693	414,185	16,531
10	594,922	365,754	430,419	513,040	466,528	15,626
11	656,458	413,154	482,398	566,916	517,846	15,030
12	717,556	458,838	532,287	618,937	567,579	14,618
13	786,644	502,977	580,772	668,795	616,491	14,560
14	839,038	545,901	626,495	716,666	662,383	14,122
15	882,300	587,681	670,057	762,622	705,821	13,517
16	923,092	627,759	712,101	805,419	747,498	12,940
17	962,299	666,366	752,736	846,218	787,662	12,434
18	1000,252	703,335	791,603	885,771	826,598	11,996
19	1036,997	739,212	829,164	923,990	864,171	11,609
20	1072,268	773,467	865,174	961,089	900,560	11,279
21	1106,698	806,460	900,383	996,762	935,697	10,983
22	1139,964	838,445	934,678	1030,717	969,753	10,695
23	1172,326	869,261	967,475	1062,847	1002,661	10,426
24	1202,853	899,098	999,525	1093,593	1034,273	10,159
25	1232,013	927,654	1030,949	1123,347	1064,937	9,912

Tabla 40Energía[J] por probeta vs Deformación Extensómetro para 8[kg/m^3] de Fibra Barchip54

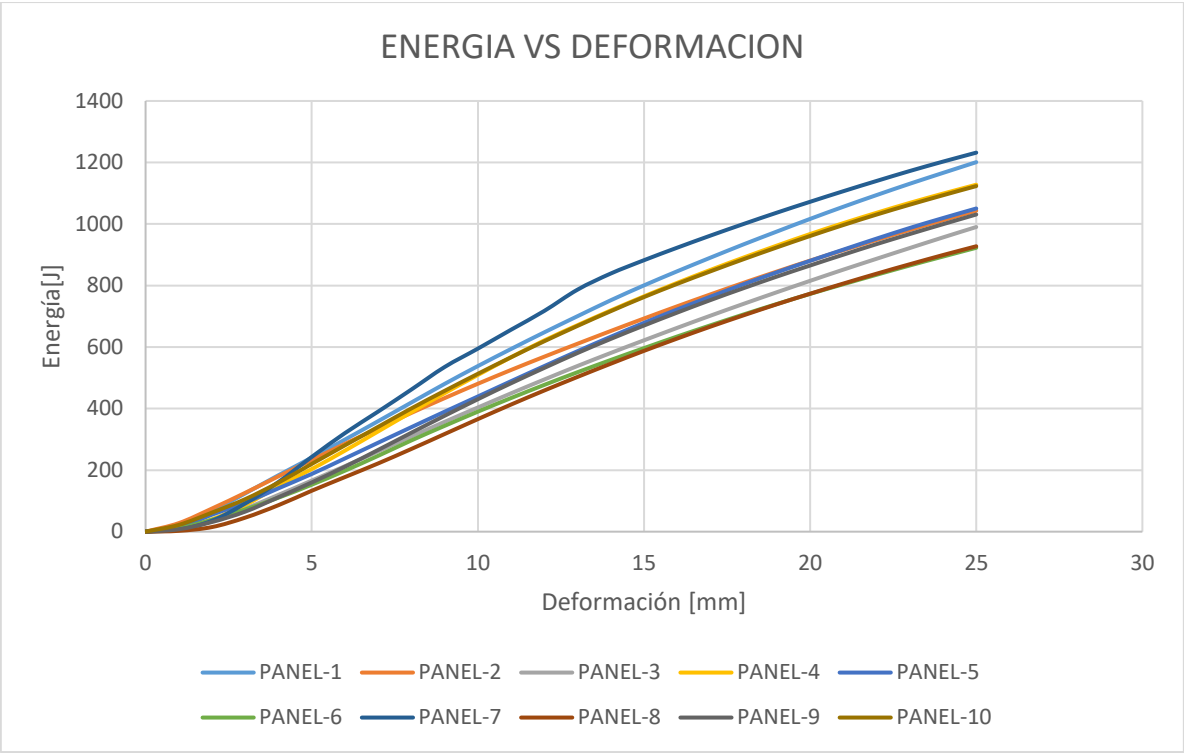


Gráfico 33 Energía[J] por probeta vs Deformación Extensómetro para 8[kg/m3] de Fibra Barchip54

7.8.3. 12 [Kg/m^3] DE FIBRA

	ENERGIA [J]							PROM.	CV (%)
EXT [mm]	PANEL 1	PANEL 2	PANEL 3	PANEL 4	PANEL 5	PANEL 6	PANEL 7		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12,152	9,749	3,353	4,456	4,715	7,869	3,871	6,595	51,233
2	40,880	55,537	23,631	19,088	23,516	42,480	25,633	32,966	40,798
3	82,377	115,003	61,700	41,569	54,543	97,778	67,749	74,388	34,433
4	140,755	177,413	112,872	77,817	97,403	165,772	124,333	128,052	28,026
5	209,851	242,760	172,226	126,033	148,104	239,997	188,127	189,585	23,434
6	286,023	310,191	236,473	178,874	208,164	318,254	257,042	256,432	20,345
7	363,238	380,654	302,633	234,474	275,974	402,108	327,018	326,586	18,368
8	437,790	451,488	368,342	293,360	346,254	486,153	395,426	396,973	16,811
9	511,930	521,829	434,060	353,107	413,095	557,355	463,311	464,955	15,242
10	583,203	592,124	498,540	413,180	477,305	617,901	530,280	530,362	13,733
11	648,432	661,331	562,211	471,825	539,768	677,131	595,401	593,728	12,545
12	709,296	724,942	623,863	528,520	599,505	736,990	655,986	654,157	11,609
13	766,508	785,666	682,292	581,578	655,061	796,539	712,241	711,412	10,990
14	822,966	842,494	734,288	633,171	708,719	854,249	766,824	766,101	10,499

15	877,424	897,609	784,457	678,993	761,459	909,656	820,470	818,581	10,211
16	929,240	952,318	829,021	721,494	813,198	963,534	870,934	868,534	10,079
17	979,076	1006,360	870,463	761,382	863,492	1017,614	919,041	916,776	10,077
18	1026,107	1059,232	911,569	799,699	912,228	1073,926	965,073	963,976	10,150
19	1071,418	1111,053	951,367	836,575	958,086	1126,836	1009,708	1009,292	10,220
20	1115,515	1161,557	989,722	872,259	1002,085	1177,581	1053,616	1053,191	10,291
21	1158,207	1210,655	1027,773	906,696	1044,663	1225,105	1096,177	1095,611	10,327
22	1199,917	1258,368	1064,645	939,940	1085,355	1272,625	1138,235	1137,012	10,395
23	1240,350	1305,402	1099,917	972,007	1123,921	1321,188	1178,719	1177,358	10,522
24	1279,609	1351,530	1134,241	1002,183	1161,031	1362,399	1218,036	1215,575	10,582
25	1317,266	1396,845	1167,694	1030,528	1196,704	1401,542	1256,298	1252,411	10,655

Tabla 41 Energía[J] por probeta vs Deformación Extensómetro para 12[kg/m³] de Fibra Barchip54

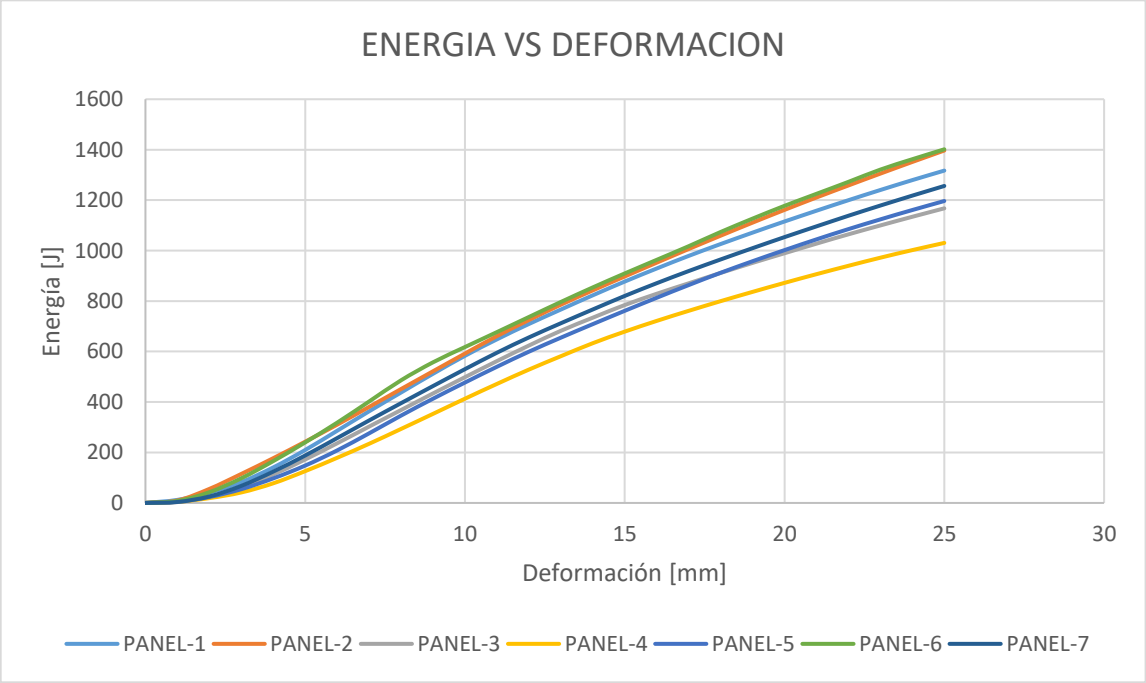


Tabla 42Energía[J] por probeta vs Deformación Extensómetro para 12[kg/m³] de Fibra Barchip54