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

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PANELES DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA

Memoria de titulación presentada por

Rodrigo Ignacio Oda Montecinos

Como requisito parcial para optar al título de

Constructor Civil

Profesor Guía

Sergio Carmona Malatesta

Valparaíso, Mayo de 2019

Resumen

El uso del hormigón proyectado reforzado con mallas de acero galvanizado para el sostenimiento de túneles durante su contrucción es una tecnica bastante conocida y aplicada en las obras dentro de la minería subterranea. Es por ello que con el tiempo se ha ido perfeccionando de acuerdo a los requerimientos de cada nuevo proyecto.

Sin embargo, pese a ser utilizado desde hace varias decadas, el proceso de instalación de estas mallas de acero es una faena que presenta una gran complejidad y riesgo que deben ser considerados al momento de comenzar con este proceso ya que, sumado a los problemas que se presentan en la proyección dan origen a oquedades que no son posibles cubrir con el hormigón, entregan un producto final de menores caracteristicas en relación con el diseño propuesto.

El objetivo principal de esta memoria es realizar una comparación entre el comportamiento de los paneles de hormigón reforzado con fibras sinteticas BarChip 48 y los paneles de hormigón reforzados con la malla tejida de acero galvanizado MFI-3500, mediante la realización de ensayos de tracción que permitan determinar la capacidad de absorver energía, el patrón de agrietamiento y el efecto del tamaño de la placa de carga en la respuesta estructural de cada uno de los paneles elaborados.

Para la realización de esta investigación, se elaboraron tres series de paneles de 600x600x100 mm reforzados con diferentes materiales (Malla MFI-3500, 6 kg/m^3 de BarChip 48 y 8 kf/m^3 de BarChip 48). Las placas de carga utilizadas fueron de 10x10 mm y 20x20 mm, colocadas aleatoriamente en cada ensayo, de manera tal que permitieran analizar y comparar el comportamiento del hormigón en cada caso.

El ensayo a realizar corresponde a una modificación del Ensayo de Panel Cuadrado propuesto por EFNARC en 1996, y que considera dejar embebido un perno de anclaje en el centro de cada panel para ser traccionado por medio de una gata hidraúlica hueca que permite la inserción de este perno en ella. La aplicación de la carga sobre el panel, es un reproducción del efecto del sostenimiento sometido a cargas provocadas por la roca en túneles.

Con la ejecución del ensayo a cada panel, se pudo obtener, mediante un software diseñado para estos casos, los valores de resistencia máxima hasta el punto de fractura del hormigón y con ellos posteriormente determinar la energía absorvida por cada panel durante el ensayo de manera tal que de comparar el efecto de cada uno de los tipos de refuerzos utilizados.

Al analizar y comparar los resultados obtenidos en los ensayos, se concluirá que la inclusión de las fibras sintéticas BarChip 48 como refuerzo del hormigón para sostenimiento, entregaron similares o mejores resultados que la técnica tradicional de reforzar con malla de acero galvanizado de acuerdo con la dosificación que se le adhiera a la mezcla. A mayor cantidad de fibra por m^3 de hormigón, mayor será la capacidad del material para absorver energía durante la aplicación de cargas. También se concluyó que a mayor tamaño de la placa de carga colocada al perno de anclaje, mejor será el comportamiento estructural del material.

Abstract

The use of mesh-reinforced sprayed concrete for supporting rocks and excavations during tunnel construcion is a well-known tecnology used in undeground mining. It is also a technology that has gone through a constant process of improvement in order to meet the needs of new projects.

Although iron meshes have been used since several decades, their instalation is a complex and risky process. Concrete projection is not problem-free either, and the presence of cavities after cement has been sprayed is one of them, thus providing a final structure with lesser qualities than those calculated when designing a project.

The objective of this work is to compare the performance of concrete panels reinforced with BarChip 48 synthetic fibers with that of concrete panels reinforced with MFI-3500 galvanised iron mesh, by means of tensile tests to determine the capacity to absorb energy, the cracking pattern and the effect of the dimensions of the contact surface when applying the loads.

Three series of 600x600x100 mm concrete panels were produced, each reinforced with a different material (MFI-3500 Galvanised Iron Mesh, BarChip 48 fiber at 6 kg/m³ , and BarChip 48 fiber at 8 kg/m³). The load surfaces were 10x10 mm and 20x20 mm, distributed at random.

The test applied was a modification of the Square Panel Test proposed by EFNARC in 1996. A bolt of anchorage embedded in the center of each panel was subjected to controlled tensile loads by means of a hollow hydraulic jack that allows the bolt to pass through it. The loads applied mimmick the loads on the reinforcements caused by the rock in tunnels.

The results were recorded by a software specially designed for this type of tests. The values for maximum resistance at fracture point were obtained and used to calculate the absorbed energy by each panel, which in turn was used to assess the performance of each of the reinforcements being tested.

The analysis of the results indicate that the synthetic fiber BarChip 48 as reinforcement of concrete for supporting rocks and excavations showed, depending on the rate of fiber added, a similar or better performance than the traditional technology of reoinforcing by means of a galvanised iron mesh. The higher the rate of fiber added, the higher capacity of the material to absorb energy when loads are applied. It was also concluded that the bigger the contact area when loads are applied, the better will be the structural performance of the material.

Índice

- **Resumen** **2**
- **Abstract** **3**
- **Índice** **4**
- **Capítulo 1: INTRODUCCIÓN** **5**
  - 1.1 Antecedentes Generales 6
  - 1.2 Objetivos 7
- **Capítulo 2: MARCO TEORICO** **8**
  - 2.1 Método Q de Barton 10
  - 2.2 Hormigón proyectado o Shotcrete 16
  - 2.3 Fibra sintética BarChip 48 19
  - 2.4 Ensayo de Panel Cuadrado EFNARC 21
- **Capítulo 3: INVESTIGACIÓN PROPUESTA** **23**
- **Capítulo 4: DETALLES EXPERIMENTALES** **25**
  - 4.1 Materiales utilizados 26
    - 4.1.1 Arena 26
    - 4.1.2 Cemento 28
    - 4.1.3 Agua 28
    - 4.1.4 Aditivos 28
      - 4.1.4.1 Glenium 130 28
      - 4.1.4.2 TamShot 90 AFC 29
    - 4.1.5 Fibra sintética BarChip 48 29
    - 4.1.6 Malla para fortificación MFI 3500 29
  - 4.2 Dosificaciones 31
  - 4.3 Elaboración de paneles 32
  - 4.4 Ensayos realizados 35
- **Capítulo 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS** **38**
  - 5.1 Patrón de agrietamiento 39
    - 5.1.1 Serie 1: Paneles reforzados con malla MFI 3500 39
    - 5.1.2 Serie 2: Paneles reforzados con 6 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48 39
    - 5.1.3 Serie 3: Paneles reforzados con 8 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48 40
  - 5.2 Resultados de ensayos de paneles 41
    - 5.2.1 Serie 1: Paneles reforzados con malla MFI 3500 41
    - 5.2.2 Serie 2: Paneles reforzados con 6 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48 44
    - 5.2.3 Serie 3: Paneles reforzados con 8 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48 46
    - 5.2.4 Gráfico promedio de cada serie de paneles 48
    - 5.2.5 Gráficos promedio de cada serie de paneles ensayados con placa 10x10 50
    - 5.2.6 Gráficos promedio de cada serie de paneles ensayados con placa 20x20 52
- **Capítulo 6: CONCLUSIONES** **54**
- **Referencias** **57**
- **Anexos** **59**

Capítulo 1:

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes Generales

El hormigón proyectado es una técnica utilizada en el mundo de la minería y la construcción desde hace más de 100 años, principalmente para el revestimiento de túneles y para la estabilización de taludes.

Si bien la idea original del hormigón proyectado no estaba enfocada en el mundo de la construcción, con el paso del tiempo se han ido realizando mejoras que permiten ubicarlo como una etapa clave dentro de los procesos constructivos, por lo cual se ha generado un campo de especialización necesaria para los profesionales a cargo de ella.

Su uso en la minería subterránea, específicamente para el sostenimiento de la roca en túneles, ha significado un importante avance en el desarrollo de estos trabajos, permitiendo en corto plazo cubrir muros curvos o de difícil acceso y colocar los refuerzos necesarios para su estabilidad estructural.

El refuerzo utilizado tradicionalmente en los túneles, es una malla de acero galvanizado con características estructurales que entrega al revestimiento y cumple con las propiedades necesarias de acuerdo al diseño de la estructura.

Sin embargo, con el paso del tiempo y a medida que se ha ido masificando el sistema de reforzamiento de muros con hormigón proyectado, se han encontrado los defectos a este sistema. Entre estos, podemos mencionar el que en ciertos casos el hormigón proyectado queda retenido en la malla de refuerzo y no alcanza a cubrir toda la superficie de trabajo, generando “nidos” que con el paso del tiempo llevan a la reducción de las propiedades con que fue diseñado el túnel. Otro problema del sistema con malla de acero es el tiempo que involucra la correcta instalación de la malla de refuerzo y la especialización que requieren los trabajadores que ejecutan estas faenas.

Como solución a los problemas que presenta el hormigón proyectado reforzado con malla, se comenzó a poner en práctica el reemplazar el tipo de refuerzo por fibras sintéticas diseñadas para cumplir con las exigencias que provoca la aplicación de cargas sobre el elemento revestido, para entregar mejor comportamiento de éste frente al paso del tiempo. Gracias a este diseño es que las fibras sintéticas cumplen con evitar al máximo la aparición de grietas en el hormigón, además de aumentar la energía que puede absorber éste y entregar una mayor vida útil al revestimiento, ya que es un material que no se oxida ni se daña tan fácilmente al entrar en contacto con el hormigón.

Si bien se sabe que la fibra sintética entrega diversos beneficios al elemento que es reforzado por ésta, es necesario analizar y cuantificar todo esto, en comparación con métodos tradicionales utilizados durante décadas en el mismo rubro de la construcción de túneles. Por ello, este estudio se propone investigar el comportamiento del hormigón reforzado con diferentes dosificaciones de fibra sintética y compararlo con los paneles tradicionales reforzados sólo con la malla de acero.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de esta memoria es comparar el comportamiento de paneles de hormigón reforzado con fibras sintéticas con el comportamiento de paneles reforzados con mallas tejidas, mediante la capacidad de absorción de energía.

Los objetivos secundarios son:

- Determinar la capacidad de absorción de energía de paneles reforzados con mallas de acero tejidas.

- Determinar la capacidad de absorción de energía de paneles reforzados con 6 y 8 kg/m^3 de fibras sintéticas.

- Determinar el efecto del tamaño de la placa de carga en el comportamiento estructural de los paneles.

Capítulo 2:

MARCO TEÓRICO

En el mundo de la construcción, el hormigón es un material central y transversal. Los usos que se le pueden dar son bastante diversos, desde un revestimiento de piso (pavimento) hasta el levantamiento de un edificio (hormigón armado), presentando en cada caso ventajas y desventajas.

Cuando es utilizado en estado puro y es sometido a esfuerzos de compresión, el hormigón presenta un buen comportamiento, soportando estas fuerzas sin sufrir daños importantes en su estructura. Sin embargo, al someterlo a esfuerzos de tracción, el material puro si sufre daños importantes: normalmente agrietamiento y deformaciones. Lo anterior hace que su resistencia a las cargas se vea afectada significativamente, haciéndolo poco apropiado para trabajos estructurales.

Por décadas se ha buscado solucionar este problema a través de la incorporación de refuerzos estructurales, tales como la malla de acero galvanizada o incorporando barras de acero con una distribución acorde con las propiedades que se quieren entregar. Estos refuerzos, diseñados para cada caso, han permitido responder correctamente al someterse a los esfuerzos externos considerados en el diseño de la estructura de acuerdo al tipo de cargas a la que será sometida. Además, la aparición de otros esfuerzos externos como la retracción que se produce durante el fraguado del hormigón o la variación de volumen provocado por los cambios del nivel de humedad del mismo, han debido ser resueltos con nuevos diseños en los refuerzos para cada situación, lo que lleva a un aumento en la cantidad de material utilizado. Por otra parte, el agregar refuerzos repercute en que el tiempo de armado y la cantidad de material a utilizar sea mayor, lo que hace aumentar los costos y duración del proyecto.

Con este material como referencia y luego de realizar estudios que permitieran obtener un producto de similares características, en Europa se comenzó a utilizar fibras sintéticas como refuerzo del hormigón, perfeccionando esta técnica durante las últimas décadas. Actualmente se agregan al hormigón diferentes tipos de fibras, de acuerdo a la función que se le quiera dar. Existen algunas fibras que sólo cumplen condiciones estructurales y otras que cumplen con entregar un buen acabado al hormigón, evitando el agrietamiento excesivo.

Aun cuando, con el tiempo, las fibras han adquirido mayor importancia en la construcción de elementos con hormigón reforzado, resulta necesario obtener mayores antecedentes acerca del comportamiento de la fibra sintética ante la aplicación de cargas externas. En este ensayo, la fibra estudiada corresponde a Fibra Sintética BarChip 48

Para un correcto diseño del refuerzo a utilizar en cada roca sobre la que se trabaja, es necesario realizar previamente una clasificación geomecánica del macizo rocoso, permitiéndose obtener valores de resistencia y deformabilidad que presenta el material y con ello poder estimar el tipo de sostenimiento a colocar luego de la correspondiente excavación.

Una correcta clasificación de la roca permite calificar la calidad geotécnica de esta, pudiéndose distinguir fácilmente entre diversos tipos a estudiar. La clasificación está basada en las apreciaciones empíricas del profesional por lo que a mayor experiencia que este posea, mejor serán los resultados finales.

Todas las clasificaciones geomecánicas se basan en un sistema de asignación de puntaje a cada característica analizada para luego calcular el puntaje final con el cual se realizará el posterior diseño. En el caso de los túneles, las clasificaciones geomecánicas más utilizadas son el sistema RMR de Beniawski y el método Q de Barton.

2.1 Método Q de Barton

El método de Q de Barton es una de las clasificaciones geomecánicas más empleada en macizos rocosos. Fue desarrollado en 1974 por Barton, Linde y Lunde, y también se define como el Índice de Calidad de Rocas para Túneles.

El índice Q que éste entrega, es utilizado principalmente en las evaluaciones para sostenimientos de túneles en que se colocan bulones, cerchas, hormigón proyectado, etc.

La implementación de este método fue realizada mediante la recopilación de información obtenida en los análisis de una gran cantidad de casos de refuerzo de túneles, en la cual primó la experiencia de los profesionales que fueron haciendo sus respectivos estudios.

La finalidad del método Q de Barton es entregar una clasificación geomecánica al estimar los parámetros geotécnicos del macizo rocoso para luego poder diseñar el correspondiente sostenimiento de túnel o excavación subterránea.

El Índice Q se determina utilizando la ecuación:

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF} \qquad (1)$$

Donde cada parámetro corresponde a:

- RQD: *Índice de calidad de la roca.*
- Jn: *Número de familias de juntas.*
- Jr: *Rugosidad de las juntas.*
- Ja: *Alteración de las juntas.*
- Jw: *Coeficiente reductor por la presencia de agua.*
- SRF: *Factor reductor de esfuerzos.*

Y cuyos coeficientes representan:

- $\frac{RQD}{Jn}$: *Tamaño de los bloques.*

- $\frac{Jr}{Ja}$: *Resistencia al corte entre los bloques.*

- $\frac{Jw}{SRF}$: *Estado tensional del macizo rocoso.*

Para calcular el valor del Índice Q, se deben determinar los valores de cada uno de los parámetros indicados en la ecuación 1, utilizando las siguientes tablas, correspondientes a cada uno de ellos.

Tabla 1: Parámetros de clasificación para el sistema Q de Barton

1.- Índice de calidad de la roca		**RQD (%)**
A	Muy mala	0 - 25
B	Mala	25 - 50
C	Regular	50 - 75
D	Buena	75 - 90
E	Excelente	90 - 100
Nota: 1. Para RQD ≤ 10, se toma un valor de 10 para calcular el índice Q.		
2.- Número de familias de juntas		**Jn**
A	Masivo o con pocas juntas	0,5 - 1,0
B	Una familia de juntas	2
C	Una familia de juntas + una aislada	3
D	Dos familias de juntas	4
E	Dos familias de juntas + una aislada	6
F	Tres familias de juntas	9
G	Tres familias y algunas juntas aleatorias	12
H	Cuatro familias, juntas aleatorias, roca muy facturada, roca en terrones, etc.	15
I	Roca triturada, terrosa	20
Notas: 1. En intersecciones de túneles se utiliza la expresión (3,0 x Jn) 2. En las bocaminas de los túneles se utiliza la expresión (2,0 x Jn)		
3.- Rugosidad de las Juntas		**Jr**
a) Contacto con las paredes *b) Contacto con las paredes antes de un corte de 10 cm.*		
A	Juntas sin continuidad	4
B	Rugosa e irregulares, onduladas	3
C	Lisa, ondulantes	2
D	Pulidas, ondulantes	1,5
E	Rugosas o irregulares, planares	1,5
F	Lisas, planares	1
G	Pulidas, planares	0,5
1. Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y a escala intermedia.		
c) Sin contacto con roca después de corte de 10 cm		
H	Zonas que contienen minerales arcillosos, de espesor suficiente para impedir el contacto de paredes	1
I	Zona arenosa, gravosa o de roca triturada, de espesor suficiente para impedir el contacto de paredes	1
Notas: 1. Si el espaciado de la familia de diaclasas es superior a 3 m, se aumenta Jr en una unidad. 2. En el caso de diaclasas planas perfectamente lisas que presenten lineaciones orientadas según la dirección de mínima resistencia, se puede utilizar el valor Jr=0,5.		

4.- Alteración de las juntas		**Ja**	**ϕr**
a) Contacto con las paredes de la roca			
A	Relleno soldado, duro, inablandable, impermeable	0,75	
B	Paredes de juntas inalteradas, sólo con manchas de oxidación	1	25° - 30°
C	Paredes ligeramente alteradas, con recubrimiento de minerales inablandables, partículas arenosas, roca desintegrada no arcillosa	2	25° - 30°
D	Recubrimientos limosos o arenoso-arcillosos, con una pequeña fracción de arcilla inablandable	3	20° - 25°
E	Recubrimientos ablandables o con arcilla de baja fricción, es decir, caolinita o mica. También clorita, talco, yeso, grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	4	8° - 16°
b) Contacto con las paredes antes de un corte de 10 cm.			
F	Partículas arenosas, roca desintegrada, sin arcilla, etc.	4	25° - 30°
G	Rellenos de minerales arcillosos muy sobreconsolidados e inablandables (continuos < 5 mm de espesor)	6	16° - 24°
H	Rellenos de minerales arcillosos de sobreconsolidación media a baja (continuos < 5 mm de espesor)	8	12° - 16°
I	Rellenos de arcilla expansiva, es decir, montmorillonita (continuos < 5 mm de espesor). El valor de Ja depende del % de partículas expansivas del tamaño de arcilla y del acceso al agua.	8 – 12	6° - 12°
c) Sin contacto de las paredes después del corte			
J	Zonas o capas de roca desintegrada o triturada y arcilla (ver G, H e I para las condiciones de la arcilla)	6	
K		8	
L		8 – 12	16° - 24°
M	Zonas o capas de arcilla limosa o arenosa, pequeña fracción de arcilla (inablandable).	5	
N	Zonas o capas gruesas y continuas de arcilla. (ver G, H, I para las condiciones de la arcilla)	10 - 13	
O		6 - 24	

Nota:

1. Los valores expresados para los parámetros Jr y Ja se aplican a las familias de diaclasas o discontinuidades que son menos favorables con relación a la estabilidad, tanto por la orientación de las mismas como por su resistencia al corte.

5.- Reducción por agua en las juntas		**Jw**	**Kgf/cm2**
A	Excavación seca o flujos bajos (<5 L/min localmente).	1	< 1,0
B	Flujo o presión medios, con lavado ocasional de los rellenos.	0,66	1,0 - 2,5
C	Gran flujo o presión alta en roca competente con juntas sin relleno.	0,5	2,5 - 10,0
D	Gran flujo o presión alta, lavado considerable de los rellenos.	0,33	2,5 - 10,0
E	Flujo o presión excepcionalmente altos con las voladuras, disminuyendo con el tiempo.	0,2 - 0,1	> 10
F	Flujo o presión excepcionalmente altos en todo momento.	0,1 - 0,05	> 10

Notas:

1. Los factores C hasta F son estimaciones imprecisas. Aumentar Jw, si se instala drenaje
2. Los problemas especiales causados por la presencia de hielo no se toman en consideración

6.- Factor de reducción de esfuerzos		SRF
a) Zonas de debilidad que interceptan la excavación y pueden ser las causas de que el macizo se desestabilice se construya el túnel.		
A	Múltiples zonas de debilidad con contenido de arcilla o roca químicamente desintegrada; roca circundante muy suelta (cualquier profundidad)	10
B	Zonas de debilidad aisladas que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación < 50m)	5
C	Zonas de debilidad aisladas que contengan arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación > 50m)	2,5
D	Múltiples zonas de corte en roca competente (sin arcilla), roca circundante suelta (cualquier profundidad).	7,5
E	Zonas de corte aisladas en roca competente (sin arcilla) (profundidad de excavación < 50m)	5
F	Zonas de corte aisladas en roca competente (sin arcilla) (profundidad de excavación > 50m)	2,5
G	Juntas abiertas sueltas, fisuración intensa (cualquier profundidad)	5
b) Roca competente, problemas de esfuerzos		
H	Esfuerzo bajo, cerca de la superficie	2,5
I	Esfuerzo medio	1
J	Esfuerzo elevado, estructura muy cerrada, generalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de las paredes	0,5 - 2
K	Estallido de roca moderado (roca masiva)	5 – 10
L	Estallido de roca intenso (roca masiva)	10 – 20
c) Roca compresiva, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de presiones altas de roca		
M	Presión moderada de roca extrusiva	5 – 10
N	Presión alta de roca extrusiva	10 – 20
d) Roca expansiva, acción química expansiva, dependiendo de la presencia de agua		
O	Presión moderada de roca expansiva	5 – 10
P	Presión alta de roca expansiva	10 – 15

Notas:

1. Reducir estos valores del SRF en un 25-50% si las zonas de corte relevantes influencian, pero no interceptan la excavación
2. Para un campo de tensiones muy anisotrópico (si es medido): cuando 5Uσ1/σ3U10, reducir σc a 0,8 σc y σ1 a 0,8 σt donde:
   - σc: resistencia a la compresión sin confinar
   - σc: resistencia a la tracción (carga puntual)
   - σ1 y σ3: esfuerzos principales mayor y menor
3. Hay pocos registros de casos donde la profundidad del techo debajo de la superficie sea menor que el ancho. Se sugiere que se incremente el SRF de 2,5 a 5 para esos casos (ver H).

Una vez ingresado cada parámetro en la ecuación 1, se obtiene un valor del índice Q que varía entre 0,001 y 1000. De acuerdo al intervalo en que se encuentre este valor obtenido, el tipo de roca es clasificada según indica la siguiente tabla:

Tabla 2: Clasificación del macizo rocoso según intervalo de índice Q.

Índice Q (intervalo)	Tipo de roca
0,001 – 0,01	*Excepcionalmente mala*
0,01 – 0,1	*Extremadamente mala*
0,1 – 1	*Muy mala*
1 – 4	*Mala*
4 – 10	*Media*
10 – 40	*Buena*
40 – 100	*Muy buena*
100 – 400	*Extremadamente buena*
400 – 1000	*Excepcionalmente buena*

A partir del índice Q obtenido, se puede determinar el tipo de sostenimiento sugerido por intermedio del gráfico N°1, ingresando las coordenadas que representan los valores De y Q respectivamente. El valor De se calcula con la siguiente ecuación:

- **Diámetro equivalente del túnel (De)**

$$De = \frac{vano, diámetro\ o\ altura\ de\ la\ excavación\ (mt)}{ESR} \qquad (2)$$

- **Relación de sostenimiento de excavación (ESR)**

Este valor depende de la categoría en que se encuentre la excavación, tal como muestra la tabla N°3. Esta relación de sostenimiento se puede entender también como un factor de seguridad según el tipo de excavación a ejecutar.

Tabla 3: Valores de índice ESR para la clasificación Q de Barton.

Categoría de excavación		ESR
A	Excavaciones mineras temporales	3 – 5
B	Excavaciones mineras permanentes, túneles de conducción de agua para proyectos hidroeléctricos (excluyendo tuberías forzadas de alta presión), galerías, túneles piloto y galerías de avance.	1,6
C	Cámaras de almacenamiento, plantas de tratamiento de agua, túneles menores para carreteras o vías férreas, cámaras de equilibrio, túneles de acceso.	1,3
D	Estaciones de energía, túneles grandes para carreteras y vías férreas, refugios de defensa civiles, intersecciones de portales.	1,0
E	Estaciones de energía nuclear subterráneas, estaciones ferroviarias, instalaciones deportivas y públicas, fábricas.	0,8

Para definir el tipo de sostenimiento utilizando el índice Q, se ubica el valor obtenido de este en el gráfico N°1 y se intercepta con el De calculado anteriormente. El punto correspondiente a las coordenadas (índice Q, De) entrega la zona del gráfico en que se ve reflejada la calidad del macizo rocoso y que, de acuerdo a este, debe utilizar el tipo de sostenimiento asignado.

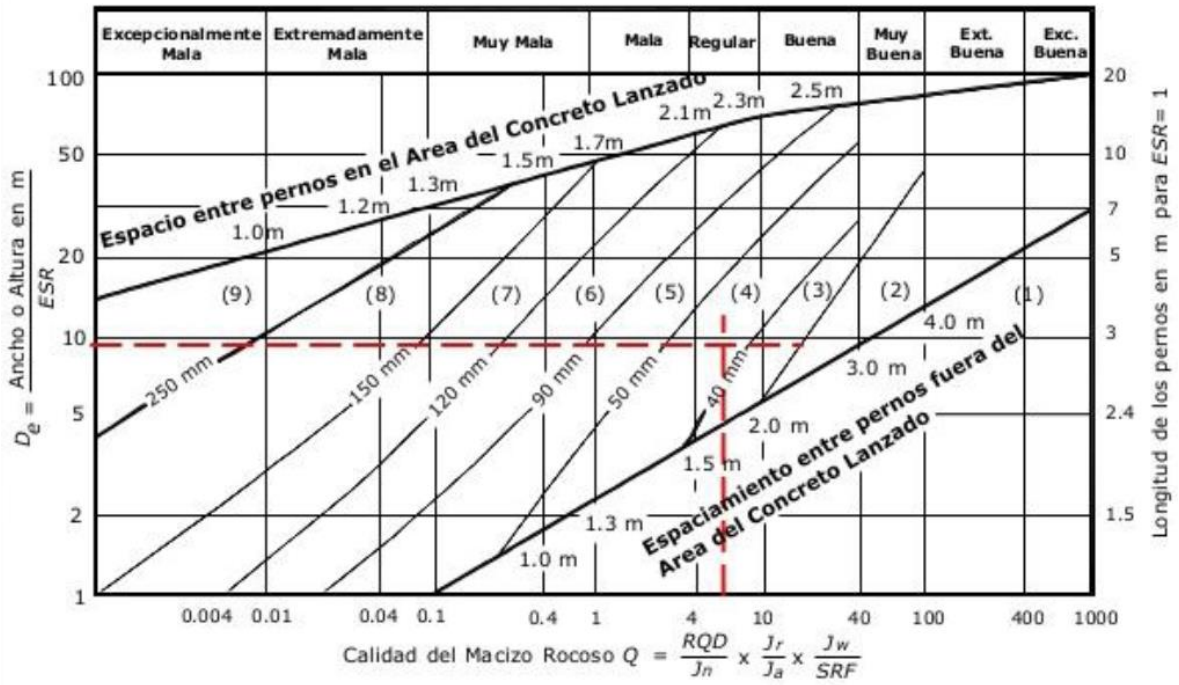

Gráfico N°1: Categorías de sostenimiento estimadas en base al índice Q.

Los números que se encuentran en el gráfico entre paréntesis, indican el tipo de refuerzo a utilizar. Estos son:

(1) Sin sostenimiento.
(2) Empernado puntual.
(3) Empernado sistemático.
(4) Empernado sistemático con 40-100 mm de Shotcrete sin refuerzo.
(5) Shotcrete reforzado con fibra, de 50-90 mm, y empernado.
(6) Shotcrete reforzado con fibra, de 90-120 mm, y empernado.
(7) Shotcrete reforzado con fibra, de 120-150 mm, y empernado.
(8) Shotcrete reforzado con fibras, >150 mm, con cerchas reforzadas de shotcrete y empernado.
(9) Revestimiento de concreto moldeado

2.2. Hormigón proyectado o Shotcrete

La historia del Hormigón Proyectado comienza con Carl Ethan Akely quien inventa, en 1907, la máquina que permite mezclar y proyectar materiales secos, agregándoles cierta cantidad de agua a la salida de ésta. Esta máquina fue siendo perfeccionada con el tiempo, a medida que aumentaba su demanda, hasta que en 1966 el Instituto Americano del Hormigón (ACI) patentó el término "Shotcrete" para las aplicaciones neumáticas de mortero y hormigón por vía húmeda o seca. En la Unión Europea, el término utilizado para referirse a esta aplicación es "Sprayed Concrete" (hormigón proyectado).

Las características del Hormigón Proyectado lo hacen ser un sistema muy rentable para los proyectos civiles y de minería, gracias a su gran adherencia a diferentes superficies y la eficiencia del trabajo en refuerzo de pavimentos, revestimientos y edificaciones.

Sus principales ventajas son:

- La colocación y compactación del hormigón se ejecutan en una única etapa.
- Reduce casi por completo el uso de moldajes.
- Disminuye el tiempo de espera entre la colocación del hormigón y la puesta en servicio del proyecto.
- Disminuye la duración de las faenas en trabajos de refuerzos y túneles.

La inclusión de equipos controlados a distancia ha permitido que el hormigón proyectado logre ser utilizado en zonas de difícil acceso, reduciendo el riesgo de accidentes de los trabajadores, principalmente en trabajos de avance en túneles.

En Chile, el hormigón proyectado comenzó a utilizarse a mediados de los años 70, con la llegada del primer equipo, que fue instalado en la División El Teniente de Codelco. Este equipo trabajaba proyectando hormigón por vía seca y producto de sus buenos resultados, en los años 80 comenzó a utilizarse en la División El Salvador.

En los últimos años, el desarrollo del Hormigón Proyectado ha permitido obtener grandes avances en obras civiles de grandes magnitudes. Ejemplo de esto son la constante aparición de nuevos proyectos de construcción de caminos con excavaciones de cerros que necesitan ser reforzados, o también la continua construcción de nuevas líneas del tren subterráneo a partir de los años 70, que con el tiempo ha ido incorporando cada vez más nuevas tecnologías en su metodología.

La gran utilidad del sistema de Shotcrete lo ha posicionado por sobre los métodos tradicionalmente utilizados. Pese a esta masificación, en Chile aún existen inconvenientes que afectan el uso de esta técnica. Entre ellos están:

- Las Especificaciones Técnicas para cada caso son elaboradas con los conocimientos básicos que tienen los profesionales de obra, ayudados con la experiencia práctica adquirida por cada uno en proyectos anteriores, lo cual en algunos casos no es suficiente fuente de información para lo que se necesita.

- La normativa chilena no habla específicamente sobre el Hormigón Proyectado, sino que es mencionado de manera indirecta, pero sin grandes fundamentos, lo que hace que no sea completamente confiable el cumplimiento o no de las normas.

- No existe un sistema de registro que ayude a traspasar los conocimientos adquiridos por cada trabajador en terreno y que de alguna manera pudiera ayudar a establecer normas respecto al tema.

- Las guías o manuales existentes sobre el Hormigón Proyectado en Chile están basadas en normas internacionales que no siempre utilizan los mismos criterios o normas para la construcción que se utilizan en el país.

- No existe gran rigurosidad en el control de calidad de los equipos empleados para el Hormigón Proyectado, ni una forma de establecer los requerimientos para la mano de obra calificada.

En el caso del Hormigón Proyectado en túneles, éste es aplicado como revestimiento de excavaciones o como soporte temporal, mientras se instalan los refuerzos definitivos que trabajarán sobre el muro.

La correcta ejecución de este método permite reducir los espesores de revestimiento del túnel, disminuyendo la cantidad de hormigón utilizado, lo que implica bajar los costos en materiales y hacer más livianas las paredes. Además, se puede lograr un mejor recubrimiento de la roca perforada, cubriendo la mayor cantidad de espacios dentro de ésta, evitando la aparición de flujos de aire que puedan dañar los muros o entregando una mejor impermeabilización al sistema.

El hormigón proyectado por vía húmeda es el más utilizado actualmente en Chile. Consiste en procesar las dosificaciones de cemento, áridos, agua y fibras, si es requerido, en una planta o mezcladora, para luego transportarla hacia una bomba ubicada en la obra. La bomba transporta la mezcla por una manguera hasta la boquilla de ésta, en donde se le agregan los aditivos acelerantes y se proyecta neumáticamente sobre la superficie a recubrir. Un diagrama de este proceso se muestra en la imagen 1.

Imagen 1: Diagrama Shotcrete por vía húmeda
[Fuente: Guía chilena del Hormigón Proyectado (Segunda Edición), ICH, 2015]

La técnica del hormigón proyectado por vía seca consiste en dosificar el cemento junto con los áridos y fibras (si es necesario) en la máquina mezcladora, para luego, a través de la manguera, transportarla hacia la boquilla en la que se agregará el agua requerida justo antes de proyectarla hacia la superficie a reforzar. Un diagrama de este proceso se muestra en la imagen 2.

Imagen 2: Diagrama Shotcrete por vía seca
[Fuente: Guía chilena del Hormigón Proyectado (Segunda Edición), ICH, 2015]

Para asegurar una correcta proyección del hormigón se deben considerar las siguientes recomendaciones indicadas por la EFNARC 1996:

- Siempre y cuando no se indique lo contrario, se debe humectar previamente la superficie sobre la que se trabajará para mejorar la adherencia.

- Antes de aplicar el recubrimiento principal de la roca, se deben rellenar todas las oquedades de gran tamaño existentes en esta.

- La aplicación del hormigón proyectado se realiza de abajo hacia arriba, de manera que se eviten las perdidas de material producto del rebote generado.

- La proyección del hormigón se debe realizar direccionando la boquilla de la manguera en un ángulo de 90° respecto a la superficie sobre la que es aplicada.

- Se debe ajustar la velocidad y distancia con que se aplica el hormigón proyectado para optimizar la adherencia y compactación de este sobre la roca.

2.3 Fibra sintética BarChip 48

Este material es fabricado por la empresa Elasto Plastic Concrete, que a través de su Programa de investigación y desarrollo "Fibra Futura", en los últimos años se ha dedicado a masificar sus productos principalmente en el rubro de la construcción de túneles, ya sea para la minería o para el transporte de trenes. Al no existir gran conocimiento sobre las fibras sintéticas, se han preocupado de darlas a conocer mediante la realización de ensayos en las mismas faenas, de manera tal de validar sus propiedades con datos reales obtenidos en terreno.

La fibra sintética BarChip 48 está clasificada como una macrofibra, es decir una fibra estructural que ayuda a disminuir el ancho de las grietas y aumenta la tenacidad del hormigón para seguir resistiendo cargas externas luego de producido el agrietamiento. Su dosificación va entre 2,5 kg/m^3 y 10 kg/m^3, dependiendo de la exigencia que se le quiere dar al material, ajustando siempre sus cantidades hasta alcanzar una mezcla homogénea sin presencia de aire en su interior.

Los beneficios de la fibra sintética BarChip 48 son:

- Reducir costos hasta en 50%, comparado con la instalación de la malla electrosoldada.
- Gran durabilidad, gracias a que no se oxida.
- Mejorar la productividad, ya que se eliminan las faenas de cortar e instalar mallas.
- Liviana y fácil de trasladar.
- Reducir la exfoliación en caso de incendios.
- Reducir el deterioro de bombas, mangueras y boquillas.

Las características de la fibra sintética BarChip 48 se ven en la siguiente tabla:

Tabla 4: Propiedades de fibras sintéticas BarChip 48

Resina	Olefina modificada
Largo	48 [mm]
Resistencia a la tracción	6400 [kg/cm^2]
Superficie	Relieve continuo
Cantidad de fibra	59.500 fibras/kg
Densidad Relativa	0,90 – 0,92
Módulo de Elasticidad	10 GPa
Punto de fusión	169° C
Punto de Ignición	320° C – 360° C

[Fuente: Hoja Técnica BarChip 48, Elasto Plastic Concrete]

Otras características se pueden observar en la imagen 3 y 4.

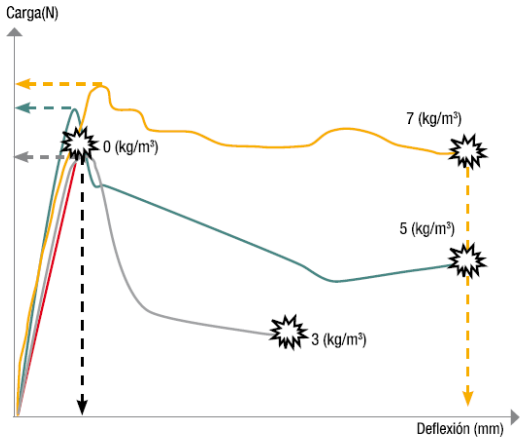

Figura 4.

Imagen 3: Grafico Carga vs Deflexión de cuatro diferentes paneles cargadas con gato hidráulico
[Fuente: Concrete Hormigón reforzado con fibras, Sika Chile, 2014]

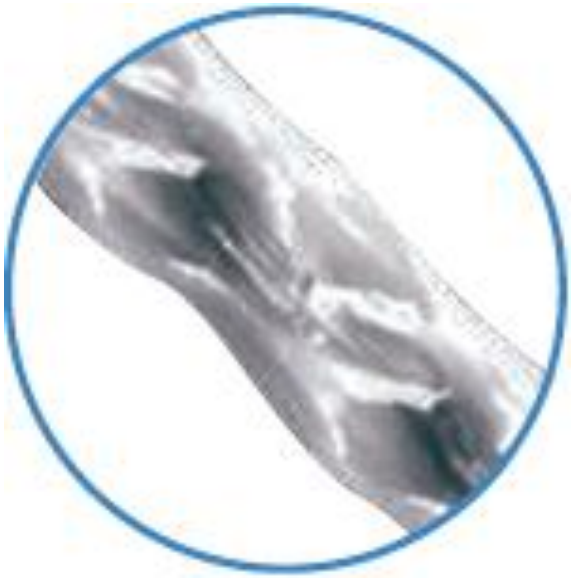

Imagen 4: Vista de cerca fibra BarChip 48
[Fuente: Hoja Técnica BarChip 48, Elasto Plastic Concrete, 2010]

2.4 Ensayo de Panel Cuadrado EFNARC

De acuerdo con la norma EN 14488-5, el ensayo consiste en estudiar un panel de hormigón con dimensiones 600x600x100 mm. Este panel es apoyado en sus bordes sobre una base de fierro cuadrado que posee dimensiones interiores 500x500x100 mm, quedando una superficie de contacto, entre el panel y el fierro, de 10 cm para cada lado.

El panel es sometido a una carga en su punto central, la cual produce el inicio de la deformación de éste y que va aumentando a una velocidad constante de 1,5 mm/min.

Por medio de sensores colocados sobre el panel y conectados a un software determinado, se va registrando la curva carga-deformación hasta que el punto central donde se aplica la carga, llegue a una deformación de 25 mm. Los datos obtenidos son los de la energía absorbida por el panel hasta alcanzar el máximo de deformación y que se obtienen del área bajo la curva generada durante el ensayo. La imagen 5 muestra un esquema del ensayo; la imagen 6 muestra un panel ya ensayado y la imagen 7 muestra el tipo de curvas obtenidas.

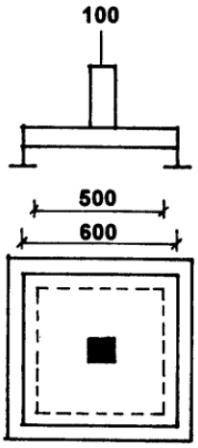

Imagen 5: Esquema ensayo de panel cuadrado EFNARC
[Fuente: EFNARC 1996]

Imagen 6: Ensayo de panel cuadrado EFNARC para determinar absorción de energía.

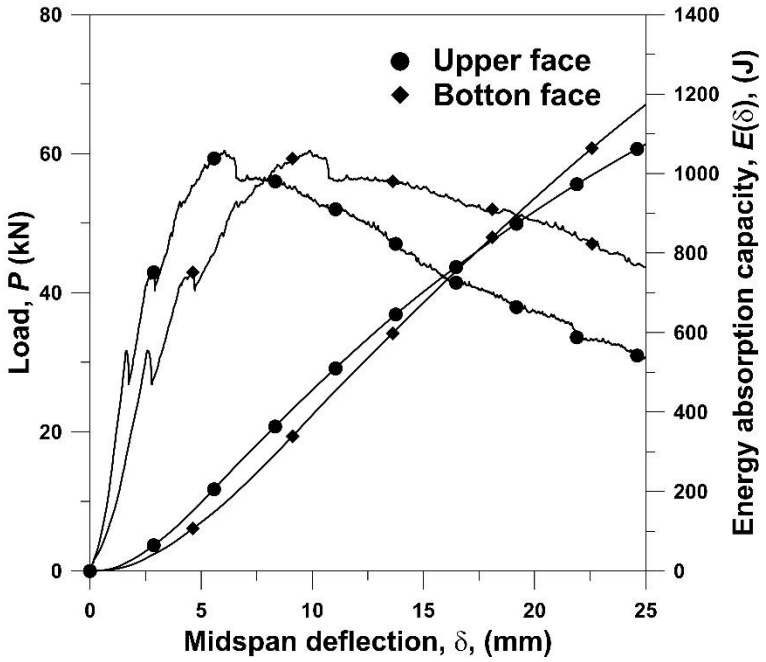

Imagen 7: Curvas Carga-Desplazamiento y Energía-Desplazamiento obtenidas en esayo de panel cuadrado EFNARC

La norma EN 14488-5 establece que para obtener resultados que sean considerados válidos, se deben preparar y ensayar un mínimo de tres muestras, cada una de las cuales debe estar compuesta por a lo menos dos pruebas exitosas.

Los paneles a ensayar se preparan en terreno, llenando los moldes con el hormigón preparado de acuerdo a la dosificación solicitada y dejando la superficie completamente lisa. Se deben proteger los paneles, esperando que pase el tiempo de curado del hormigón, el cual no debe pasar de los tres días. A continuación, se llevan los paneles a una cámara húmeda, con un 95% de humedad relativa y una temperatura de 20° C, dejándolos en ese lugar hasta el momento en que vayan a ser ensayados.

La absorción de energía puede ser clasificada en tres tipos, de acuerdo con el rango mínimo que obtiene cada panel para alcanzar a deformarse 25 mm, tal como se ve en la tabla 2.

Tabla 5: Clasificación de la Absorción de Energía EFNARC

Clasificación	Característica
E500	Absorción de Energía de al menos 500 [J] para deformación hasta 25 [mm]
E700	Absorción de Energía de al menos 700 [J] para deformación hasta 25 [mm]
E1000	Absorción de Energía de al menos 1000 [J] para deformación hasta 25 [mm]

Capítulo 3:

INVESTIGACIÓN PROPUESTA

Para poder cumplir con los objetivos mencionados anteriormente, se deben elaborar tres series de 5 paneles cada una, cuyas medidas son 600x600x100 mm y diferenciandose cada una de las series por el tipo de refuerzo colocado en el hormigón.

Estas series de paneles son:

- Serie 1: Paneles reforzados con malla para fortificación MFI-3500.
- Serie 2: Paneles reforzados con 6 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48.
- Serie 3: Paneles reforzados con 8 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48.

Cada uno de estos paneles llevará embebido en su centro un perno de anclaje sobresaliente tanto en su cara inferior y como superior.

Una vez elaborados todos los paneles y cumplidos los 28 dias de fraguado de estos, se procederá a ensayarlos a flexión de acuerdo al método utilizado por Carlos Castillo D. y que contempla traccionar el perno de anclaje embebido al centro del panel. Para esto se utiliza una gata hidraulica que posee un espacio hueco en su centro por donde se engancha este perno de anclaje, lo que permite simular el efecto producido en el sostenimiento al ser sometido a cargas provocadas por la roca.

A medida que se va ensayando cada panel y utilizando un computador que posee un software diseñado especialmente para este tipo de ensayo, se irá registrando la carga y desplazamiento producidos sobre cada panel durante todo el proceso, medidos por intermedio de LVDTs colocados sobre el perno de anclaje y en los bordes del panel.

Una vez obtenidos los resultados de cada ensayo, se determinará la capacidad de absorción de energía que presentó cada uno de los paneles junto con el efecto que provoca el tamaño de la placa de carga en el comportamiento estructural del panel.

Capítulo 4:

DETALLES EXPERIMENTALES

4.1 Materiales utilizados

4.1.1 Arena

Para una correcta realización de los ensayos se trabajó con arena fina que cumple con las especificaciones de la norma NCh 163.Of79.

El cumplimiento de los requisitos asegura obtener un árido de buena calidad, que cumple con la necesidad de obtener un hormigón dócil durante su estado fresco y que una vez endurecido pueda alcanzar su resistencia requerida y entregue una estructura durable de acuerdo a para qué fue diseñado.

Para verificar que la arena utilizada cumpliera con los requerimientos, se realizó la correspondiente granulometría a una pequeña muestra, siguiendo el procedimiento entregado en la norma NCh 165.Of77. Los resultados de este análisis se ven en la tabla 3.

Tabla 6: Tabla de tamizado de la arena utilizada en ensayo

Tamiz	% retenido	% que pasa
3/8”		100 %
# 4	13 %	87 %
# 8	25 %	62 %
# 16	18 %	44 %
# 30	20 %	24 %
# 50	16 %	8 %
# 100	7 %	1 %
# 200	1 %	-

Los resultados de la granulometría se compararon con las bandas granulométricas de la norma ASTM C1436 y EFNARC respectivamente y se obtuvieron los gráficos para cada caso

Tabla 7: Tabla de banda granulométrica ASTM C1436 y EFNARC

Tamiz	ASTM C1436	EFNARC
1/2"		100%
3/8"	100%	90 - 100%
# 4	95 - 100%	73 - 100%
# 8	80 - 98%	55 - 90%
# 16	50 - 85%	37 - 72%
# 30	25 - 60%	22 - 50%
# 50	10 - 30%	11 - 26%
# 100	2 - 10%	4 - 12%

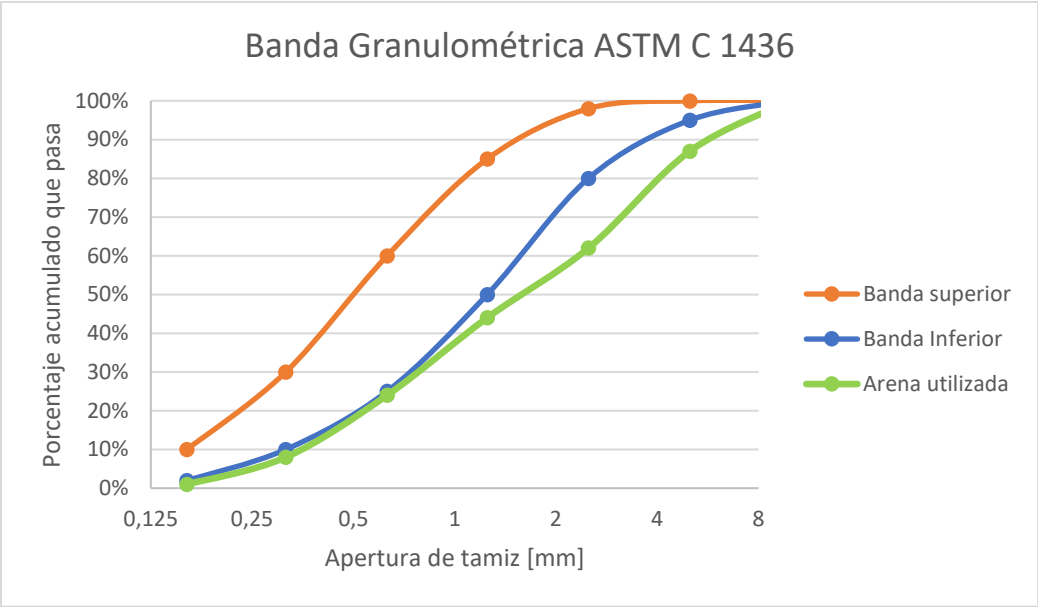

Gráfico N°2: Banda granulométrica ASTM C1436

De acuerdo con la norma ASTM C1436, la arena utilizada para la elaboración de los paneles se encuentra por debajo de la banda granulométrica, es decir que se puede considerar que es muy fina para ser utilizada en este tipo de hormigón proyectado

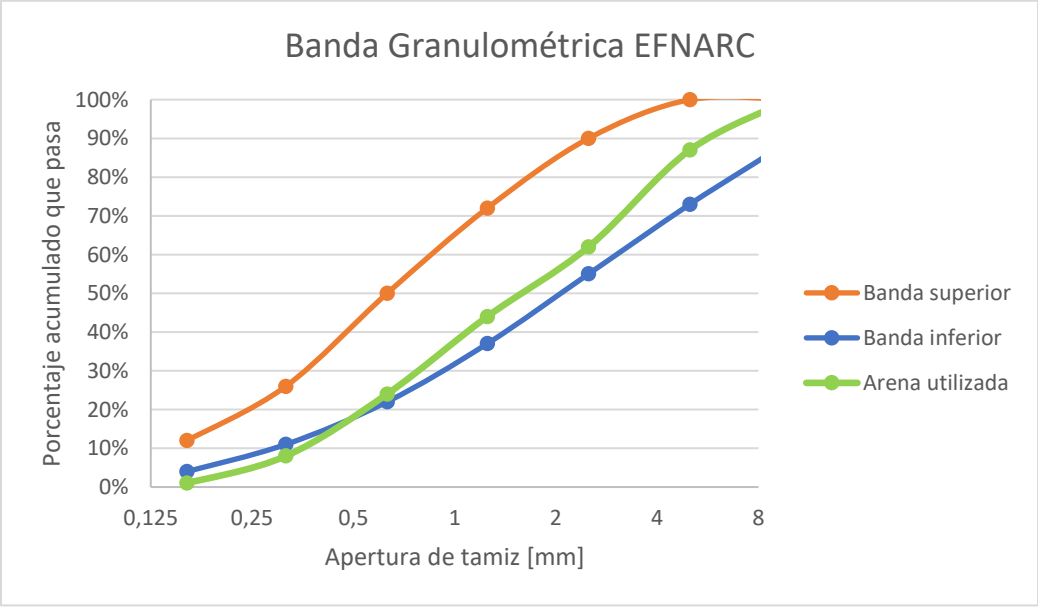

Gráfico N°3: Banda granulométrica EFNARC

En este caso se puede ver que la arena cumple con el rango establecido por la EFNARC hasta el tamiz #30. En este punto la granulometría indica que el material se encuentra por debajo de la banda, lo que significa que tiene menor cantidad de material fino (bajo el tamiz #30).

4.1.2 Cemento

Para la elaboración de los paneles, se utilizó Cemento Bio Bio de Alta Resistencia, clasificado por la norma NCh 148.Of 68, según la composición y resistencia, como un material de Clase Siderúrgico y de Grado Alta Resistencia.

Este tipo de cemento se utiliza en la elaboración de hormigones que requieren una alta resistencia inicial, aplicados en obras marítimas, elementos pre y post tensados, pavimentos, hormigones proyectados, etc.

Las siguientes normas internacionales, clasifican el Cemento Bio Bio de Alta Resistencia como se indica a continuación:

- ***ASTM C-595:*** de acuerdo a su composición, corresponde a un tipo IS (cemento portland de escoria de alto horno).

- ***EN 197-1:*** de acuerdo a su composición, corresponde a un tipo II/B-S (cemento portland con escoria)

4.1.3 Agua

Se utilizó agua potable no contaminada, de acuerdo a la norma NCh 1498.Of 82, que establece los requisitos que debe cumplir el agua a utilizar en el amasado del hormigón.

La principal función que debe cumplir el agua en la preparación del hormigón es la de hidratar la mezcla de cemento y agregados (áridos, aditivos, fibras, etc), permitiendo obtener un amasado más moldeable para alcanzar un resultado final homogéneo que entregue la resistencia final al hormigón, de acuerdo con el diseño de éste.

4.1.4 Aditivos

La clasificación de todos los tipos de aditivos que se pueden agregar al hormigón y los requisitos que cada uno de ellos debe cumplir están establecidos dentro de la norma NCh 2182.Of 95.

En el caso de la preparación de las muestras para estos ensayos, los aditivos utilizados cumplen con la norma y fueron:

4.1.4.1 Glenium 130

Aditivo hiperplastificante reductor de agua que entrega al hormigón mayor trabajabilidad con una menor dosificación de agua. Al ser una mezcla más trabajable, ésta puede ser colocada fácilmente en superficies complejas como las murallas de túneles o superficies reforzadas con mallas de acero.

Al disminuir la relación agua/cemento, manteniendo la trabajabilidad de la mezcla, se mejoran las características de resistencia, permeabilidad y durabilidad del hormigón, permitiendo un producto final de mejor calidad.

Al aplicar el aditivo hiperplastificante sin modificar la relación de agua/cemento, se mejora la trabajabilidad del hormigón, obteniendo una mezcla más fluida que evita la segregación y facilita los trabajos de colocación y vibrado de éste.

4.1.4.2 TamShot 90 AFC

Acelerante líquido, libre de álcalis, para hormigón proyectado. Es un acelerador diseñado para utilizarlo en el método del hormigón proyectado por vía húmeda, tanto en túneles como en minería, siendo agregado en la boquilla al mismo tiempo que el aire comprimido empuja la mezcla.

Su correcta dosificación permite controlar el tiempo de fraguado de la mezcla al ser proyectada, para evitar problemas de adherencia con la superficie trabajada que generan pérdidas de material.

Este acelerante está regulado por la norma europea EN-934-5 que se refiere a "Aditivos para hormigón proyectado: Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado"

4.1.5 Fibra sintética BarChip 48

Este material fue descrito en la sección 2.3. Se utilizaron 2,5 kg correspondientes a un saco del producto envasado.

4.1.6 Malla para fortificación MFI 3500

De acuerdo con la información entregada por el fabricante, esta malla es de acero galvanizado especial, es capaz de resistir una mayor carga a la ruptura por m^2 en comparación con productos similares. Por ser más liviana, resultaría más fácil de colocar para los trabajadores, entregando mayor seguridad a los trabajos. Sus dimensiones y menor espesor reducen la cantidad de hormigón proyectado, dando un menor costo por m^2 respecto a otras mallas similares.

Sus usos se encuentran principalmente en el refuerzo de túneles para la minería y en la estabilización de taludes viales y mineros.

La siguiente tabla muestra las principales características de la malla MFI 3500 y un diagrama de ella se muestra en la imagen 8.

Tabla 8: Especificaciones Malla Fortificación MFI 3500

Características Geométricas	
Abertura del cuadro	100 ± 7 [mm]
Diámetro Alambre	4,13 ± 0,10 [mm]
Peso Aproximado	2,3 [kg/m^2]
Características Desempeño	
Carga mínima ruptura alambre	11.850 [N] (1.200 [kg])
Carga máxima de punzonamiento	3.500 [kg/m^2]
Recubrimiento Zn mínimo	90 gr/m^2

Dimensiones Disponibles	
Ancho adaptable	desde 1,0 hasta 5,0 [mt]
Longitud adaptable	desde 5,0 hasta 35 [mt]

[Fuente: Ficha Técnica MFI3500-100, Inchalam, 2014]

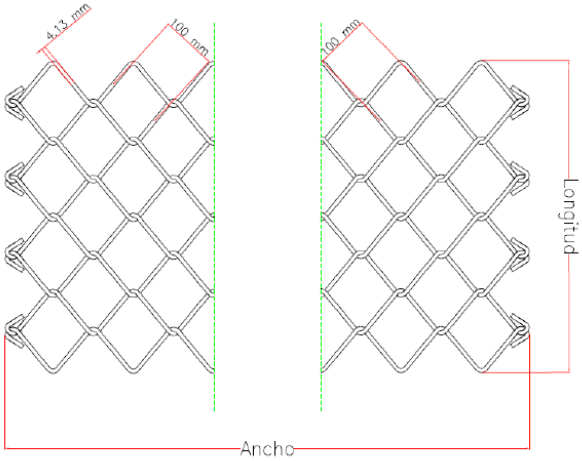

Imagen 8: Diagrama Malla Fortificación MFI 3500
[Fuente: Ficha Técnica MFI3500-100, Inchalam, 2014]

Imagen 9: Rollo de malla MFI 3500

4.2 Dosificaciones

Los ensayos realizados tuvieron como fin estudiar el comportamiento de 3 tipos de paneles frente a distintos niveles de carga. Estos paneles fueron:

a) Hormigón reforzado con malla para fortificación MFI-3500.
b) Hormigón reforzado con 6 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48.
c) Hormigón reforzado con 8 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48.

Para cada uno de los paneles se utilizó la dosificación solicitada por la empresa externa que requirió la realización de estos ensayos para futuros estudios al respecto. La dosificación base utilizada corresponde a la indicada en la siguiente tabla:

Tabla 9: Dosificación utilizada para elaborar los paneles estudiados, por m^3 de mezcla

Material	Cantidad
Arena [kg]	1413
Cemento Bio AR [kg]	500
Glenium 130 [gr]	5000
TamShot 90 AFC [gr]	4000
Agua [lt]	170

En este caso, se ajustó la dosificación para trabajar con 100 [lts.] de hormigón dado que, si la betonera era cargada excesivamente, esta no trabajaría en óptimas condiciones y no realizaría una correcta mezcla de los materiales.

La dosificación utilizada para cada tipo de panel fue la siguiente:

Tabla 10: Dosificación ajustada para 100 litros de mezcla, para cada tipo de panel a elaborar

Material	Malla galvanizada	Fibra 6 [kg/m^3]	Fibra 8 [kg/m^3]
Arena [kg]	141,3	141,3	141,3
Cemento Bio AR [kg]	50	50	50
Glenium 130 [gr]	500	500	500
TamShot 90 AFC [gr]	400	400	400
Agua [lt]	17	17	17
BarChip 48 [gr]	--	600	800

4.3 Elaboración de paneles

1. Se armó un marco de madera, que fuera apoyado sobre el de fierro, con una perforación al centro para afirmar verticalmente el perno de anclaje embebido en el hormigón. Para los paneles reforzados con malla de acero, este mismo marco también se utilizó para afirmar la malla y darle la altura requerida respecto a la base del panel.	 *Imagen 10: Elaboración de marcos de madera*
2. Se preparó el moldaje a utilizar para elaborar cada panel, consistente en armar el molde de fierro de 600x600x100 mm, apretando correctamente las tuercas de cada perno para evitar el escurrimiento de la mezcla en estado fresco. Finalmente se cubre todo el interior del molde con líquido desmoldante para facilitar el desarme del mismo una vez fraguada la mezcla de hormigón.	 *Imagen 11: Moldes de fierro armados.*
3. Se colocó el molde del panel en una zona segura para poder dejar fraguar la mezcla sin que fuera intervenida durante el proceso. Se inserta el perno de anclaje en la perforación del centro del molde y se coloca el marco de madera que lo mantendra fijo verticalmente, haciendo coincidir las perforaciones del centro de ambos con el perno de anclaje. En el caso de los paneles con malla de acero, a este marco de madera se le amarraron alambres que afirmaban la malla y le daban la altura correspondiente.	 *Imagen 12: Molde de fierro con perno de anclaje y marco de madera.*

4. Se dosificó todo el material indicado para preparar el hormgón de cada panel. Se pesó cada uno de ellos y se distribuyeron en recipientes adecuados para una facil manipulación y vertido en la betonera.	*Imagen 13: Materiales pesados y distribuidos en recipientes fácil de manipular.*
5. Se hizó funcionar la betonera y se comenzó a mezclar toda la dosificación. Primero se colocó arena, cemento y agua en cantidades particionadas para permitir la homogeneidad de la mezcla. Luegó se agregarón los aditivos lentamente para que actuaran sobre la mezcla de hormigón, dejando que girara la betonera por unos segundos sin intervenirla. En el caso de los paneles con fibra sintética, estos se agregaron después de los aditivos, esparciendolos lentamente por toda la mezcla para que cubrieran la mayor superficie posible.	*Imagen 14: Betonera.*
6. Una vez lista la mezcla de hormigón, utilizando una carretilla, se vació todo el contenido de la betonera en los moldes de fierro, cuidando de cubrir todos los espacios de manera homogénea para no dejar "nidos de aire" que puedieran afectar el comportamiento del panel al ensayar. Luego de cubrir todo el molde, se platachó la superficie para dejarla alisada completamente.	*Imagen 15: Molde hormigonado.*

7. Se crubrió el molde completamente, utilizando cartones, para evitar que la mezcla se ensuciara o fuera intervenida durante su fraguado.	*Imagen 16: Moldes cubiertos por cartones y objetos pesados.*
8. Se dejó fraguar el hormigón durante 48 horas y se desmoldó para ser dejado en la camara húmeda hasta cumplir los 28 días de fraguado en condiciones óptimas.	*Imagen 17: Panel desmoldado.*
9. Luego de los 28 dias, se sacó el panel de la camara húmeda y se llevó al lugar de ensayo.	*Imagen 18: Paneles listos para ser ensayados.*

4.4 Ensayos realizados

1. Se preparó el sector donde se realizaron las pruebas, despejando la zona de trabajo para poder maniobrar libremente cada panel antes y después del ensayo.	*Imagen 19: Despeje y limpieza del sector en que se va trabajar.*
2. Se colocó el marco de acero en que se apoyó cada panel durante las pruebas, asegurando que el centro del panel coincidiera con la perforación en la losa, que correspondía a la ubicación de la gata hidráulica con que se aplicó la fuerza durante cada ensayo. Este orificio es el que permitió situar el perno de anclaje que unía el panel de ensayo, la gata y la celda de carga.	*Imagen 20: Marco de acero centrado con la ubicación de la gata hidráulica.*
3. Se instaló el equipo para registrar los datos de las pruebas, compuesto por un computador conectado a los sensores LVDTs y a la celda de carga, que entregaban los valores de carga y desplazamiento a medida que se producía la deformación del panel. Se utilizaron tres LVDTs sobre el panel a ensayar, uno en el centro de éste y dos en los bordes. Estos sensores se fijaron con prensas a la estructura metálica (“araña”) diseñada especialmente para este tipo de ensayo.	*Imagen 21: Instalación de computador y posterior conexión a LVDTs y celda de carga.*

4. Todos los sensores fueron configurados y calibrados con el computador al que se conectaron, ingresando los parámetros establecidos para la correcta realización del ensayo. Se verificó que los LVDTs entregasen el desplazamiento del panel en el punto en que fueron instalados y que la celda de carga indicara la fuerza que aplicaba la gata hidráulica contra el panel ensayado.	 *Imagen 22: Calibración de equipo y sensores.*
5. Cada panel fue elaborado con un perno de anclaje en el centro que debió ser alargado, uniéndolo, con una copla especialmente diseñada, a una barra similar, pero de 1,2 mt de largo para lograr pasar a través de la gata hidráulica y la celda de carga que se encontraban bajo la losa, tal como se puede ver en la imagen 24. El perno ya unido fue insertado en la perforación de la losa, levantando el panel con una grúa horquilla tal como se ve en la imagen 23. A medida que el perno iba ingresando se debió controlar que coincidiera el centro del panel con el centro del marco de acero sobre el cual se apoyó para el ensayo.	 *Imagen 23: Extensión del perno de anclaje y traslado de panel.*
6. Con el panel apoyado y centrado en relación al marco de acero, se colocó la estructura metálica "araña" donde se fijaron los LVDTs con las prensas. En la cara superior del panel, se insertó una placa en el perno de anclaje, de 10x10 cm o 20x20 cm según correspondiera, y se fijó con una tuerca.	 *Imagen 24: Ajuste de LVDTs sobre panel a ensayar.*

7. Una vez situado el panel y habiendo el perno de anclaje atravesado la gata hidráulica instalada bajo la losa del lugar de ensayo, se insertó la celda de carga en el perno de forma que quedara conectada a la gata hidráulica con el sensor contra esta. Bajo la celda de carga se colocó una placa que permitiera protegerla contra la tuerca que presionaba todo el sistema.	*Imagen 25: Conexión de gata hidráulica y celda de carga.*
8. Ya habiendo instalado todos los componentes del sistema, se revisó que el computador estuviese listo para registrar los datos de carga y desplazamiento, y dar así inicio al ensayo.	*Imagen 26: Panel listo para ser ensayado.*
9. El ensayo se inició con el bombeo manual de la gata hidráulica, comenzando a traccionar el perno de anclaje y generando lentamente la deformación y agrietamiento del panel. Las cargas detectadas por la celda de carga fueron registradas por el software del computador. Mientras era aplicada la carga sobre el panel, éste se fue deformando y generando un desplazamiento vertical detectado por los LVDTs en los puntos en que fueron colocados, registrándose en el mismo software del computador hasta superar los 25 mm. Este procedimiento fue repetido para cada panel ensayado.	*Imagen 27: Panel deformado producto del ensayo.*

Capítulo 5:

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Patrón de agrietamiento

A continuación se muestra la tendencia que presenta el agrietamiento de cada serie de paneles luego de realizado los ensayos.

5.1.1 Serie 1: Paneles reforzados con malla MFI-3500

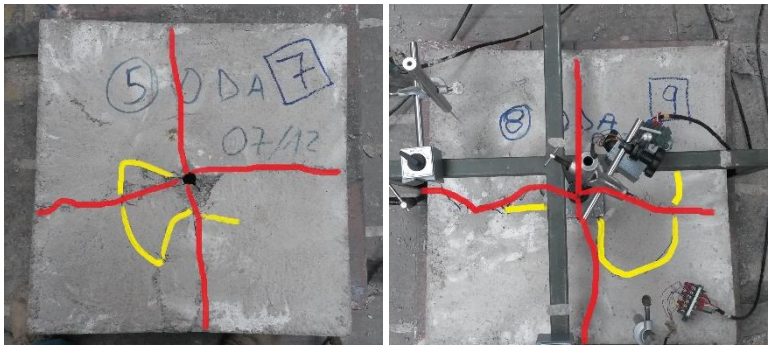

Imagen 28: Patrón de agrietamiento panel con malla MFI-3500 ensayado con placa de 10x10.

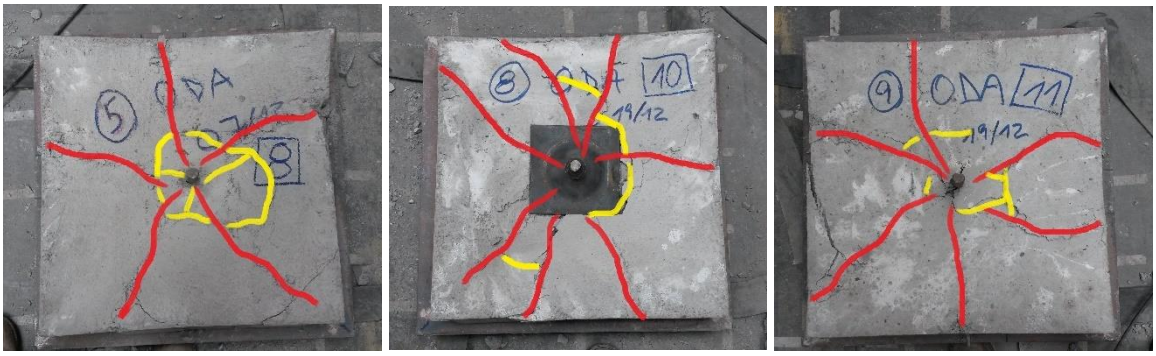

Imagen 29: Patrón de agrietamiento panel con malla MFI-3500 ensayado con placa de 20x20.

5.1.2 Serie 2: Paneles reforzados con 6 kg/m3 de fibra sintética BarChip 48

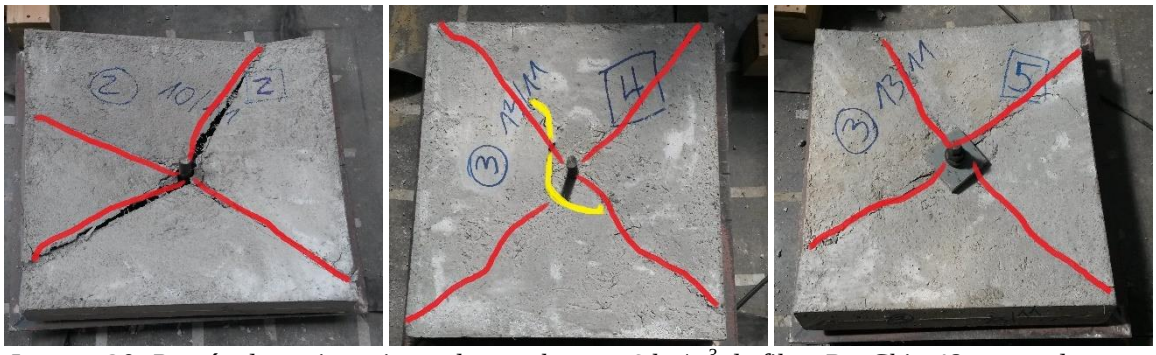

Imagen 30: Patrón de agrietamiento de paneles con 6 kg/m^3 de fibra BarChip 48 ensayados con placa de 10x10.

5.1.3 Serie 3: Paneles reforzados con 8 kg/m3 de fibra sintética BarChip 48

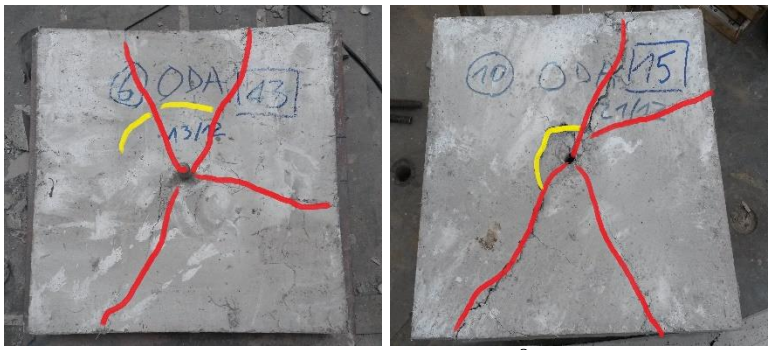

Imagen 31: Patrón de agrietamiento de paneles con 8 kg/m^3 de fibra BarChip 48 ensayados con placa de 10x10.

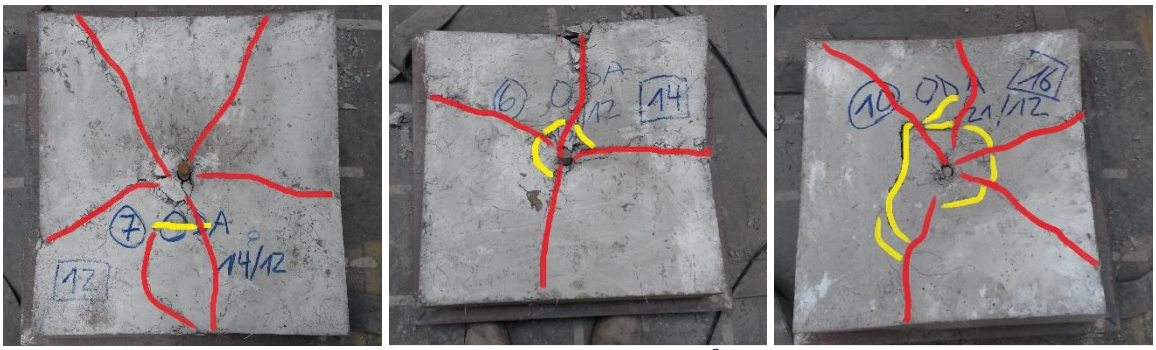

Imagen 32: Patrón de agrietamiento de paneles con 8 kg/m^3 de fibra BarChip 48 ensayados con placa de 20x20.

De acuerdo con las imágenes que muestran los patrones de agrietamiento, se puede decir que:

- Los paneles reforzados con malla y ensayados con placa de carga de 10x10, muestran grietas con forma de cruz (+) en ambos casos. En este caso se podria decir que la línea de agrietamiento se forma respecto a la ubicación de la malla colocada ya que estos aparecen desde el centro del perno de anclaje y se mueven por entre medio del tejido de la malla, atravesandola de manera perpendicular.

- En los dos casos de paneles reforzados con fibra sintetica y ensayados con placa de carga de 10x10, estos muestran un agrietamiento con forma de X. En el caso de los paneles con 6 kg/m^3 de fibra, estos presentan una forma más parecida a la X en comparación con los de 8 kg/m3 que tienden a agrietarse con sus “brazos” más abiertos, teniendo sus lados opuestos un ángulo similar.

- En los paneles ensayados con placa de carga de 20x20, se presenta un agrietamiento mayor que en los casos anteriores, siendo su forma similar a la de una estrella. En el caso de los paneles reforzados con malla, estos muestran un mayor daño producido por el efecto de punzonamiento que los reforzados con fibra, reflejandose que tienen una menor capacidad de absorver energia cuando se le aplica una fuerza de tracción.

5.2 Resultados de ensayos de paneles

Todos los valores durante el ensayo fueron registrados por el software del computador, obteniéndose detalladamente el registro del desplazamiento vertical del punto donde se colocó cada LVDT en el panel, producto de la deflexión provocada al aplicar la determinada fuerza de tracción por parte de la gata hidráulica sobre el perno de anclaje.

Con los datos registrados, el mismo software calculó la energía absorbida por el panel ensayado a medida que se iba aplicando la carga sobre éste.

Junto con los datos, el software entregó los gráficos Carga v/s Desplazamiento y Energía v/s Desplazamiento necesarios para el análisis del comportamiento en cada caso.

Los datos obtenidos se clasificaron de la siguiente manera:

5.2.1 Serie 1: Paneles reforzados con malla MFI-3500

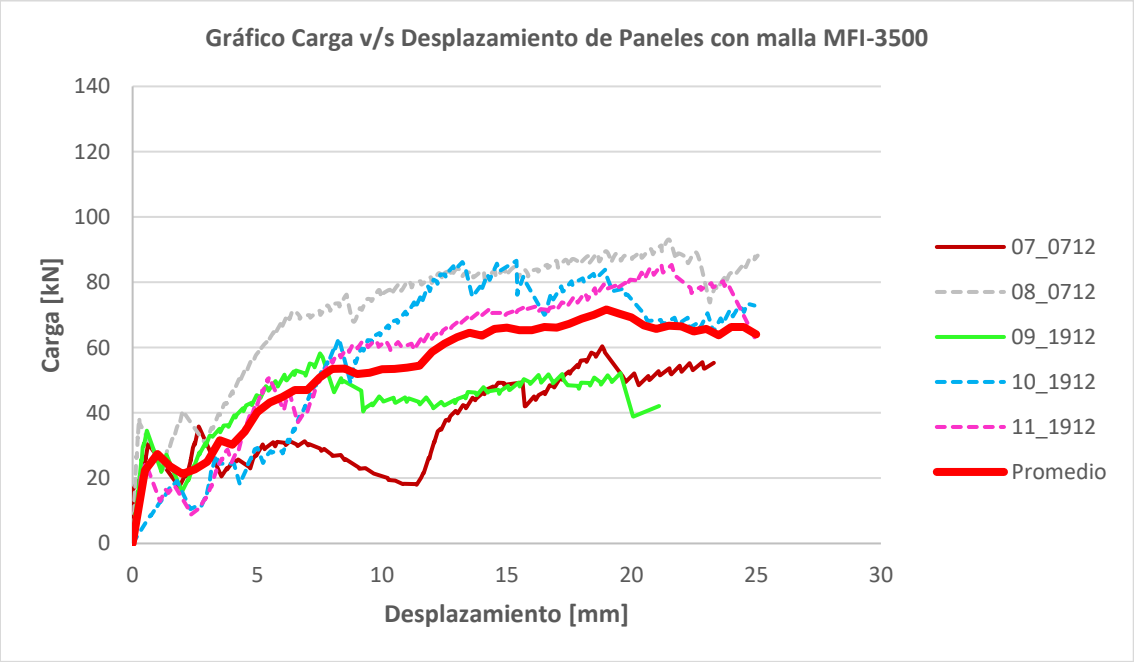

Gráfico 4: Gráfico Carga v/s Desplazamiento de paneles con malla MFI-3500.

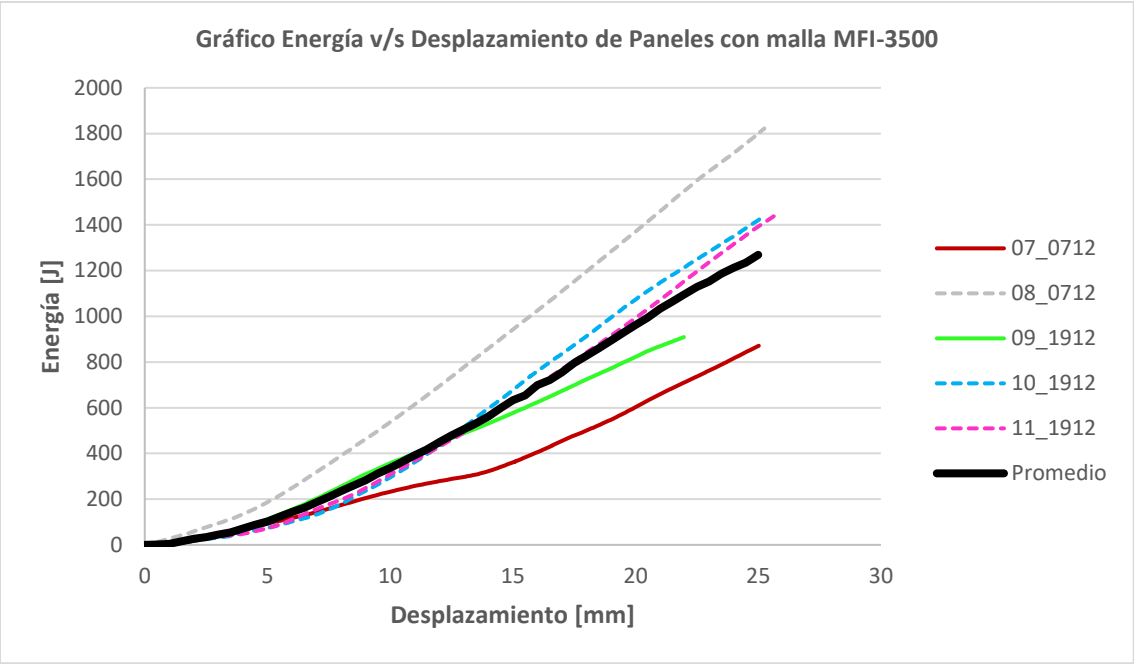

Gráfico 5: Gráfico Energía v/s Desplazamiento de paneles con malla MFI-3500

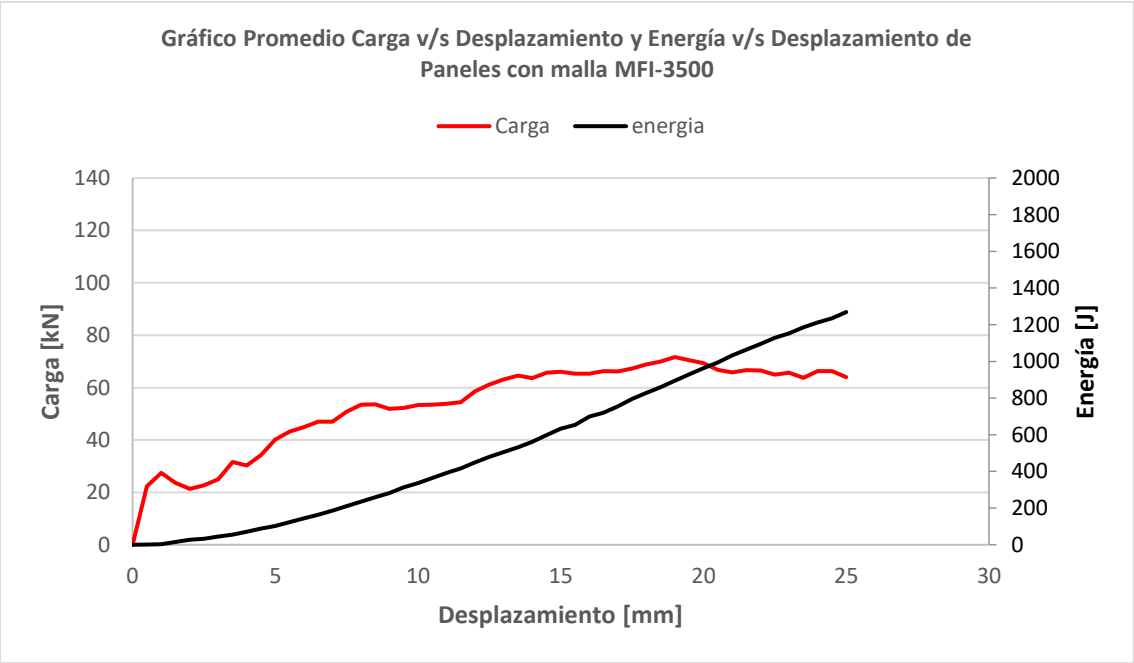

Gráfico 6: Gráfico Promedios Carga v/s Desplazamiento y Energía v/s Desplazamiento de paneles con malla MFI-3500.

Tabla 11: Resultado de ensayos de paneles con malla MFI-3500

Panel	Carga Máxima [kN]	Deflexión a Máxima Carga [mm]	Energía Absorbida [J] hasta los 25 [mm]
07_0712	60,40	20,55	850
08_0712	97,97	31,60	1793
09_1912	58,21	8,38	909
10_1912	86,59	15,70	1417
11_1912	85,39	22,02	1374
Promedio	**77,71**	**19,65**	**1269**

Los paneles 07_0712 y 09_1912 fueron ensayados con placa de 10x10, mientras que en los otros tres restantes se realizaron con placa de 20x20. La diferencia entre ambas situaciones se puede apreciar en los gráficos de carga y energía v/s desplazamiento.

Estos graficos muestran que para los casos con placa de 10x10, el comportamiento es notoriamente menor a los casos de placa 20x20, quedando sus curvas por debajo de la línea promedio obtenida. Por el contrario, todas los paneles ensayados con placa de 20x20 muestran sus curvas de carga y energía por sobre la línea promedio.

La energía absorvida por los paneles ensayados con placa de 20x20 es por lo menos un 50% superior a los con placa de 10x10, llegando incluso hasta casi el doble en el caso en que se compara el de mejor rendimiento (panel 08_0712) con el de peor (panel 07_0712).

5.2.2 Serie 2: Paneles reforzados con 6 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48

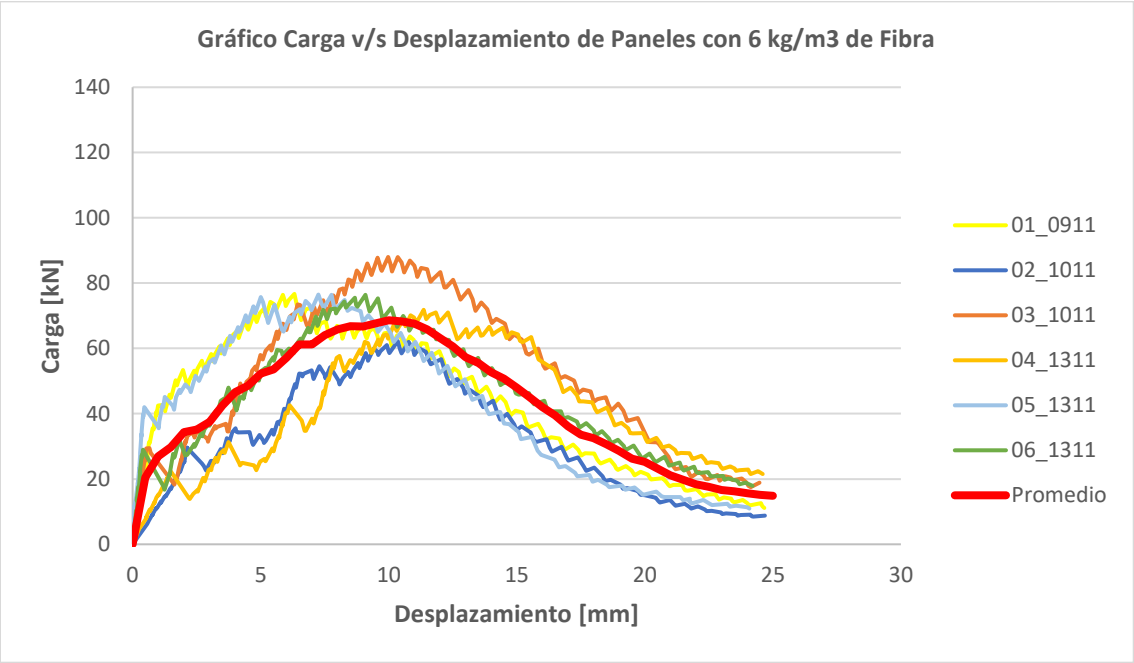

Gráfico 7: Gráfico Carga v/s Desplazamiento de paneles con 6 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48

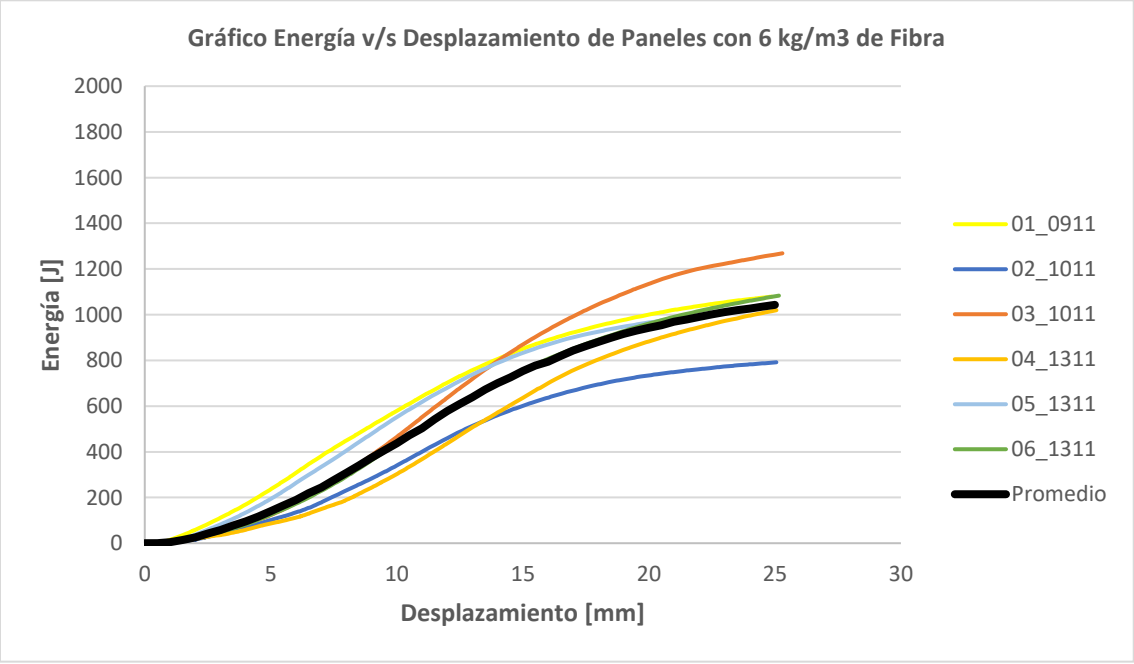

Gráfico 8: Gráfico Energía v/s Desplazamiento de paneles con 6 kg/m^3 de fibra sintética BarChip48.

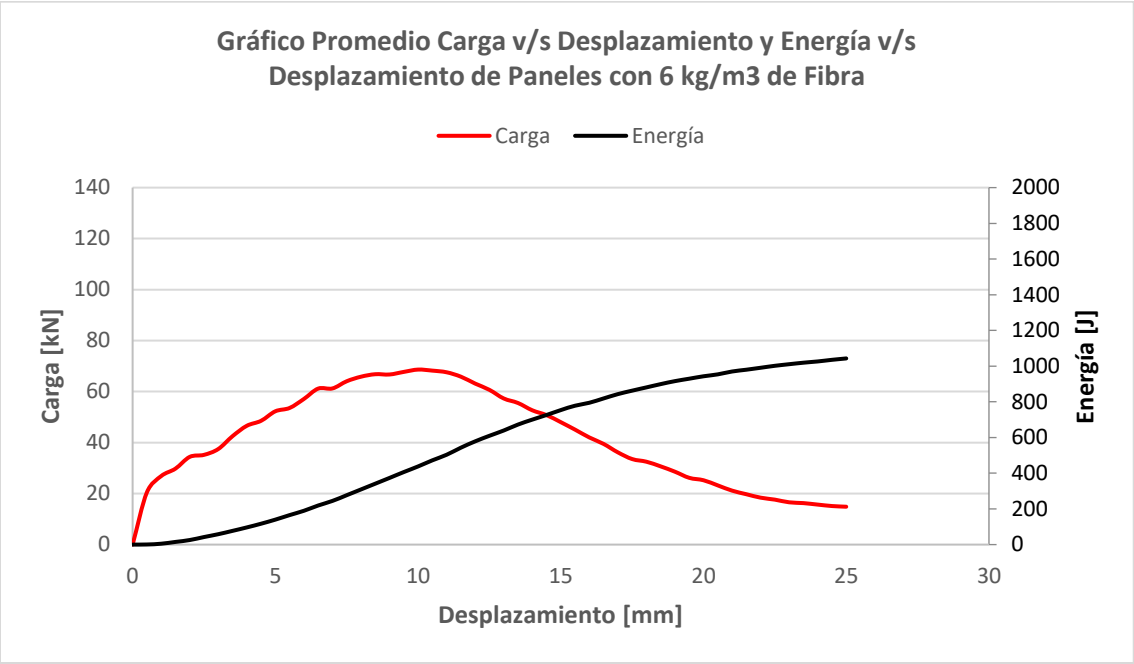

Gráfico 9: Gráfico Promedios Carga v/s Desplazamiento y Energía v/s Desplazamiento de paneles con 6 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48.

Tabla 12: Resultado de ensayos de paneles con 6 kg/m^3 de fibra BarChip 48.

	Carga Máxima [kN]	Deflexión a Máxima Carga [mm]	Energía Absorbida [J] hasta los 25 [mm]
01_0911	76,70	6,52	1078
02_1011	62,24	10,72	787
03_1011	88,01	10,80	1262
04_1311	71,82	11,82	1015
05_1311	76,50	8,18	1034
06_1311	76,41	10,04	1078
Promedio	**75,28**	**9,68**	**1042**

Para esta serie de paneles, todos los ensayos fueron realizados con la placa de 10x10 por lo que no hay grandes variaciones en los resultados de cada uno.

Si se comparan los valores obtenidos en esta serie con los de la serie que tenia malla de acero galvanizada, se podria concluir que en la anterior se obtienen paneles con mejor comportamiento mecánico que estos, ya que, la energía absorvida en ellos es mayor a esta con fibras. Sin embargo, se debe tener en cuenta que para los resultados de la serie con malla de acero galvanizada están considerados los realizados con placa de 10x10 y con placa de 20x20, lo cual no ocurre en esta serie ya que sólo se ensayaron con placa de 10x10.

5.2.3 Serie 3: Paneles reforzados con 8 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48

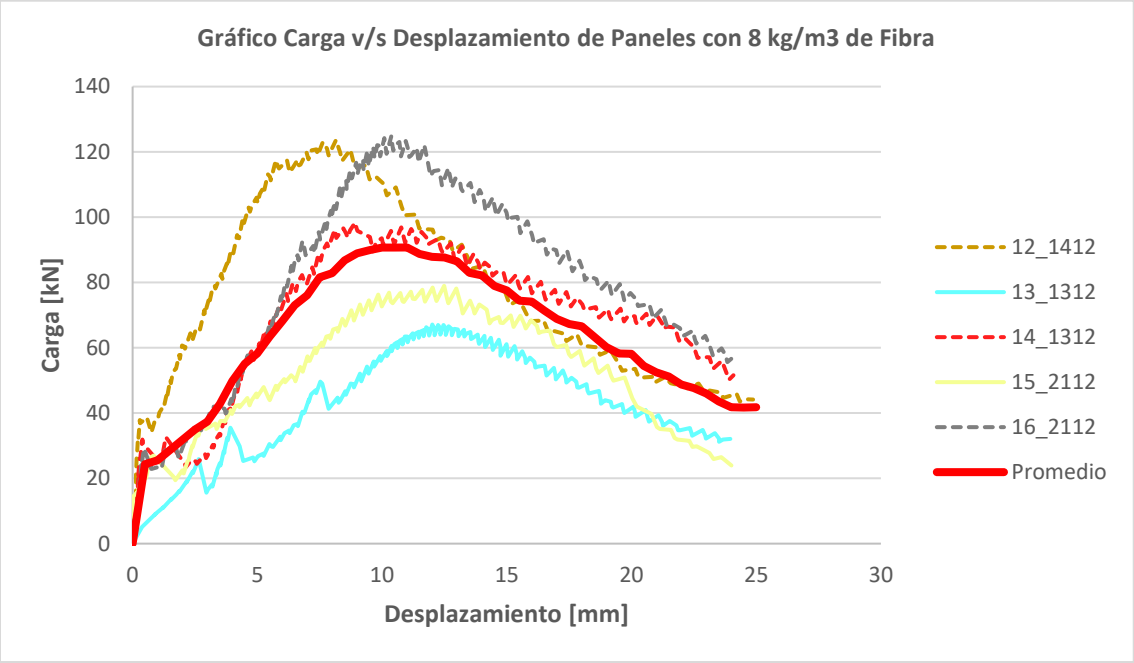

Gráfico 10: Gráfico Carga v/s Desplazamiento de paneles con 8 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48.

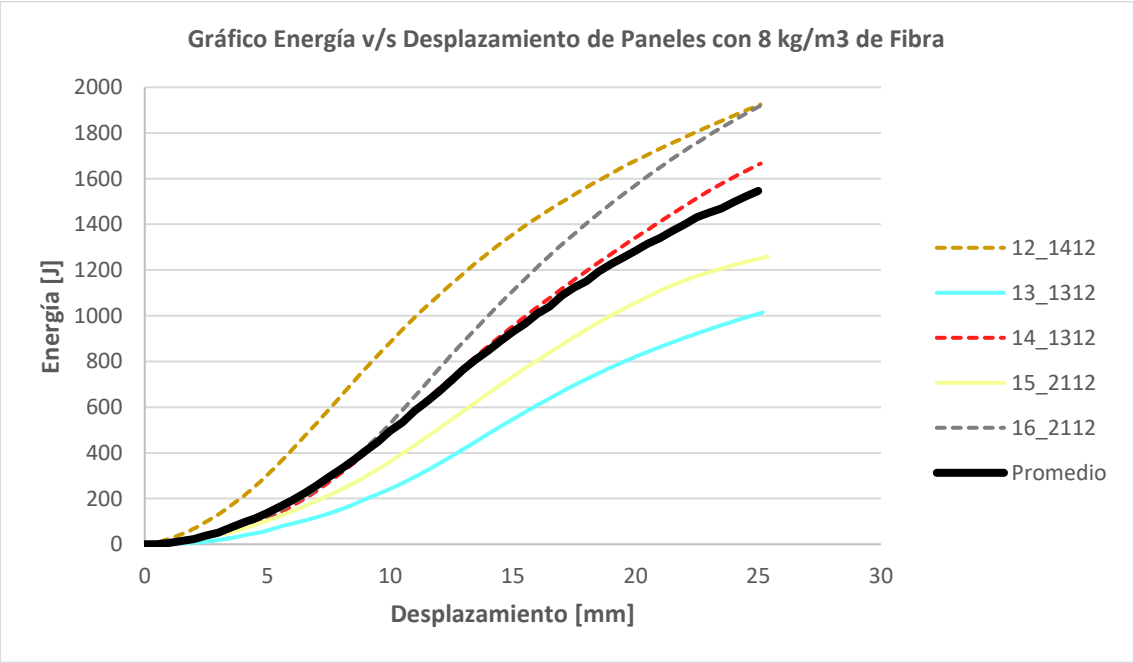

Gráfico 11: Gráfico Energía v/s Desplazamiento de paneles con 8 kg/m^3 de fibra sintética BarChip48.

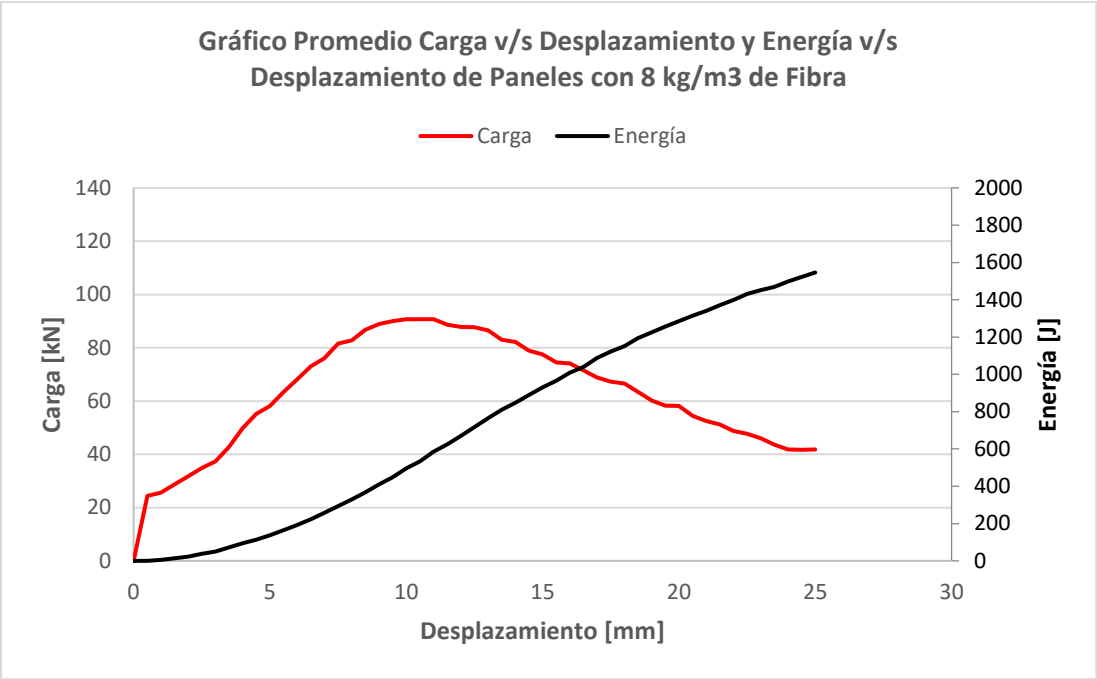

Gráfico 12: Gráfico Promedios Carga v/s Desplazamiento y Energía v/s Desplazamiento de paneles con 8 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48.

Tabla 13: Resultado de ensayos de paneles con 8 kg/m^3 de fibra BarChip 48.

Panel	Carga Máxima [kN]	Deflexión a Máxima Carga [mm]	Energía Absorbida [J] hasta los 25 [mm]
12_1412	123,63	8,37	1912
13_1312	67,12	13,24	1005
14_1312	98,38	11,79	1656
15_2112	78,96	13,86	1248
16_2112	124,83	11,44	1908
Promedio	**98,58**	**11,74**	**1546**

En esta serie de paneles, los ensayos fueron realizados con placa de 10x10 y con placa de 20x20. Esto permite hacer una comparación preliminar más confiable entre el comportamiento de esta serie con la serie en que se reforzó con malla MFI-3500.

En primer lugar, se puede ver nuevamente que los resultados de los paneles con placa de 10x10 son menores a los con placa de 20x20 y que también estos se encuentran por debajo de la línea promedio de cada gráfico.

Tambien se puede ver que la relación en el aumento de energía absorvida entre el caso de mejor rendimiento con el de peor, sigue siendo casi el doble tal como en el caso de la malla MFI-3500. Con esto se podría decir que dentro de los beneficios de aumentar el tamaño de la placa de 10x10 a 20x20, es que el comportamiento del panel ensayado puede verse beneficiado en casi el doble de lo obtenido con la de menor tamaño.

5.2.4 Gráfico promedio de cada serie de paneles.

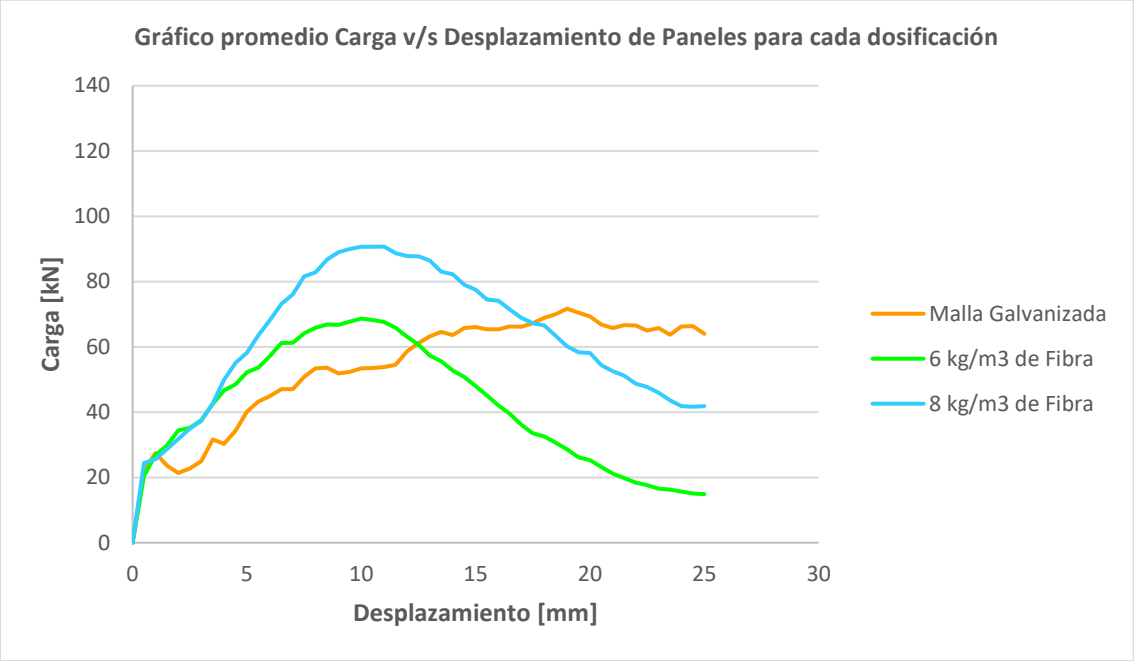

Gráfico 13: Gráfico Promedios Carga v/s Desplazamiento de paneles para cada dosificación.

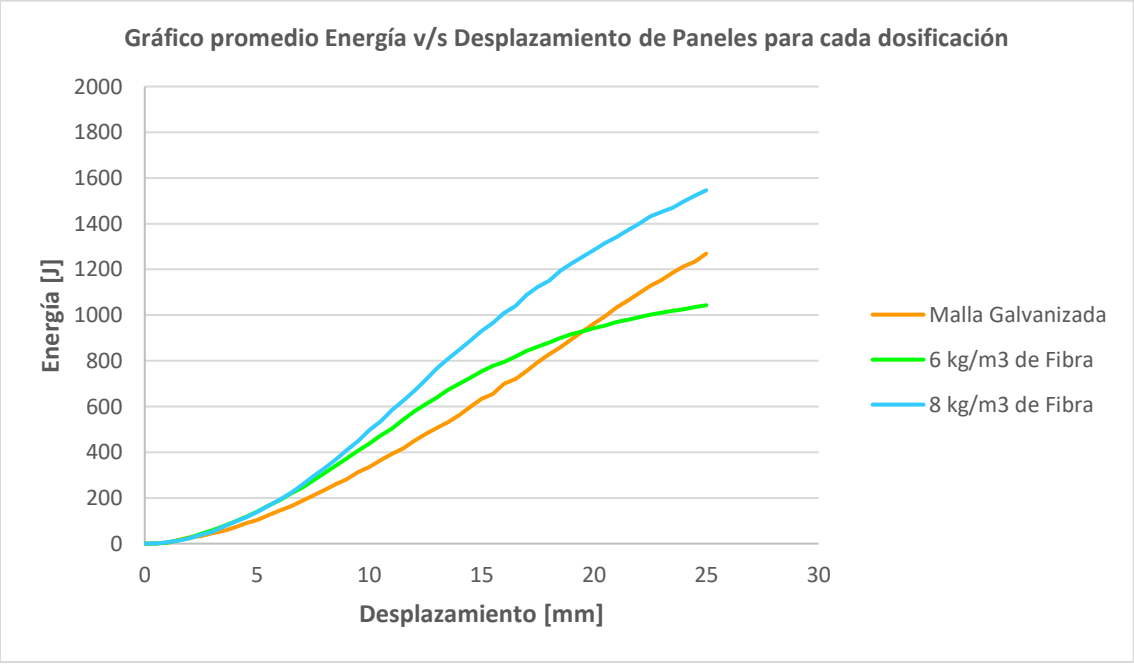

Gráfico 14: Gráfico Promedios Energía v/s Desplazamiento de paneles para cada dosificación.

Tabla 14: Valores promedios para cada tipo de panel ensayado

Refuerzo	Carga Máxima [kN]	Deflexión a Máxima Carga [mm]	Energía Absorbida [J] hasta los 25 [mm]
Malla MFI-3500	77,71	19,65	1269
6 kg/m^3 de Fibra	75,28	9,68	1042
8 kg/m^3 de Fibra	98,58	11,74	1546

Los resultados gráficados para el promedio de las serie de paneles con malla MFI-3500 y la serie de paneles con 8 kg/m^3 de fibra incluyen los ensayos realizados con placa de 10x10 y con placa de 20x20. Es por esto que la serie con 6 kg/m^3 de fibra entrega peores resultados, ya que solo considera placa de 10x10.

Si vemos los resultados tal como se presentan en los graficos y en la tabla, nuevamente se nota la superioridad de la serie de paneles con 8 kg/m^3 de fibra por sobre las otras dos series.

5.2.5 Gráficos promedio de cada serie de paneles ensayados con placa de 10x10

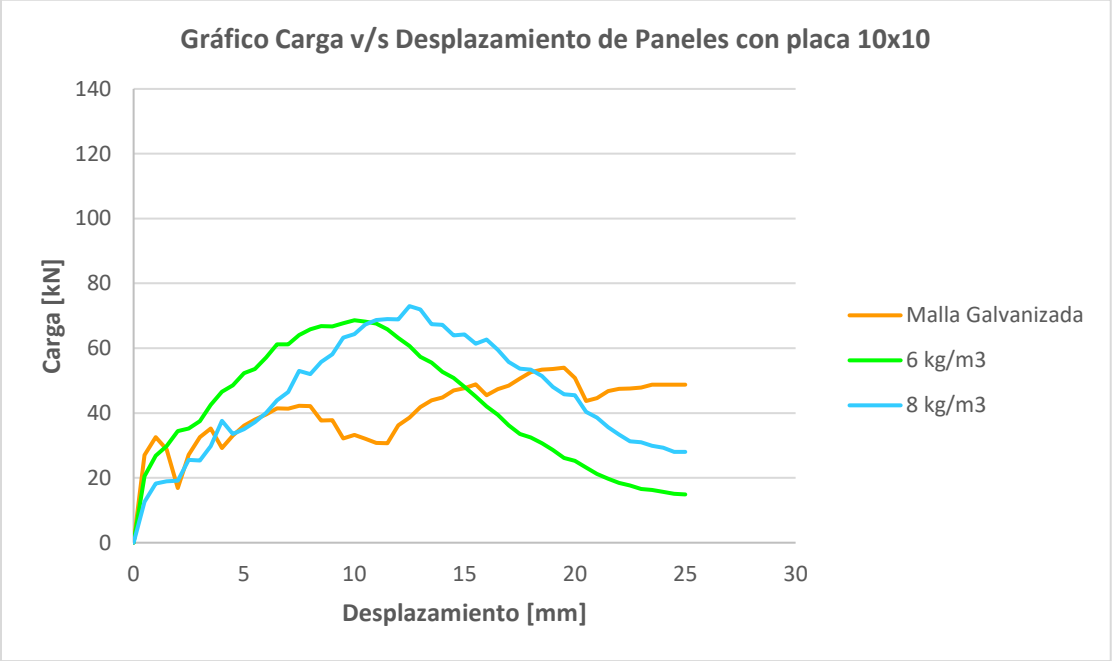

Gráfico 15: Gráfico Promedios Carga v/s Desplazamiento de paneles con placa 10x10.

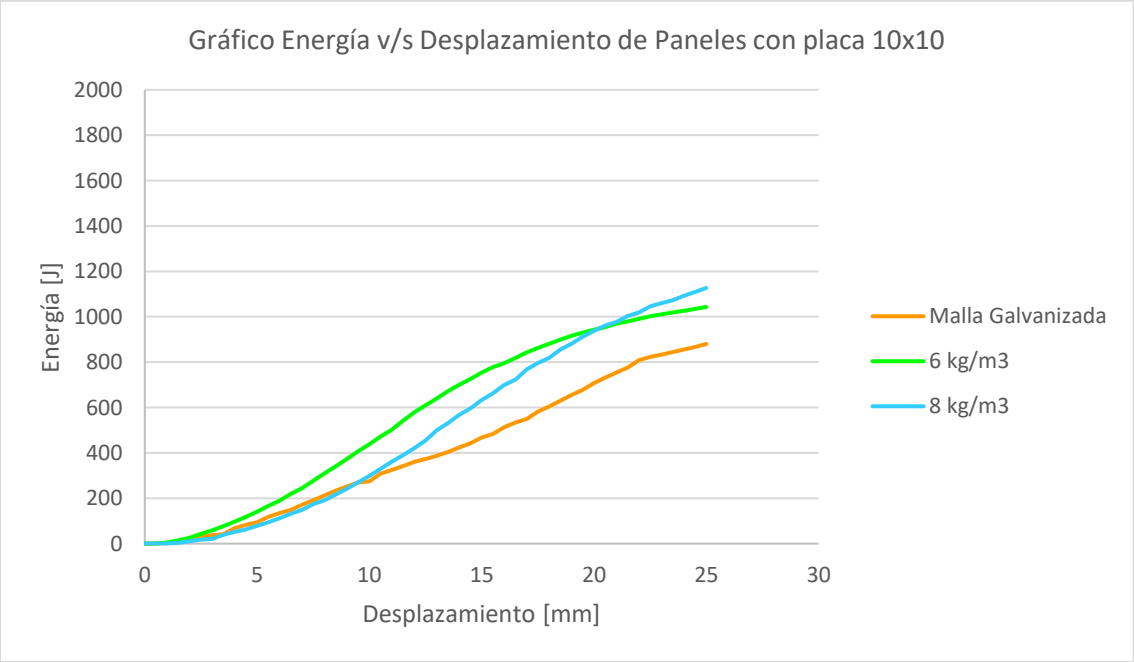

Gráfico 16: Gráfico Promedios Energía v/s Desplazamiento de paneles con placa 10x10.

Tabla 15: Resultado de ensayo realizado con placa de 10x10.

Panel	Carga Máxima [kN]	Deflexión a Máxima Carga [mm]	Energía Absorbida [J] hasta los 25 [mm]
Malla MFI-3500			
07_0712	60,40	20,55	850
09_1912	58,21	8,38	909
6 kg/m^3 de fibra BarChip 48			
01_0911	76,70	6,52	1078
02_1011	62,24	10,72	787
03_1011	88,01	10,80	1262
04_1311	71,82	11,82	1015
05_1311	76,50	8,18	1034
06_1311	76,41	10,04	1078
8 kg/m^3 de fibra BarChip48			
13_1312	67,12	13,24	1005
15_2112	78,96	13,86	1248

Tabla 16: Valores promedio de ensayos realizados con placa de 10x10.

Refuerzo	Carga Máxima [kN]	Deflexión a Máxima Carga [mm]	Energía Absorbida [J] hasta los 25 [mm]
Malla MFI-3500	59,31	14,46	880
6 kg/m^3 de Fibra	75,28	9,68	1042
8 kg/m^3 de Fibra	73,04	13,55	1127

Para esta clasificación se consideran las mismas condiciones de ensayo, es decir todos fueron realizados con placa de 10x10. Esta importante condición nos permite analizar de manera correcta los resultados obtenidos para este caso.

En este caso se puede comprobar correctamente que existe un mejoramiento en el comportamiento de los paneles en relación con el método tracidional que utiliza como refuerzo la malla de acero galvanizado.

Lo primero que se puede decir es que existe un claro mejoramiento al utilizar la fibra sintética por sobre la malla MFI-3500. Por otra parte, es correcto decir que a medida que se aumenta la cantidad de fibra sintetica por m3, mejoraran los resultados de energía absorvida por parte del hormigón.

5.2.6 Gráficos promedio de cada serie de paneles ensayados con placa de 20x20

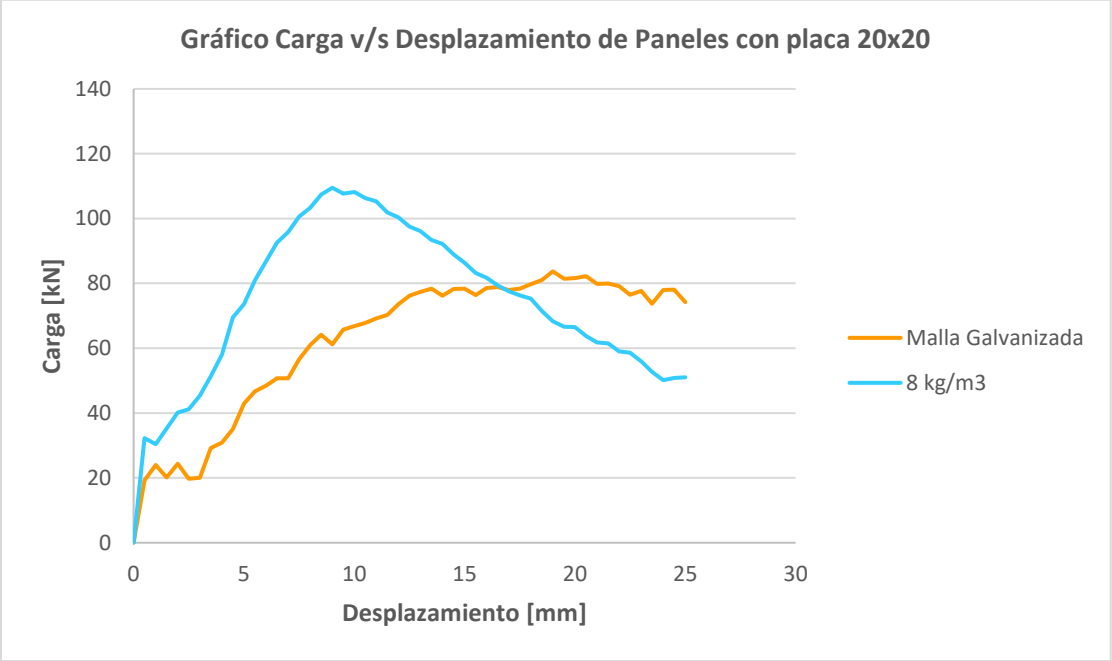

Gráfico 17: Gráfico Promedios Carga v/s Desplazamiento de paneles con placa 20x20.

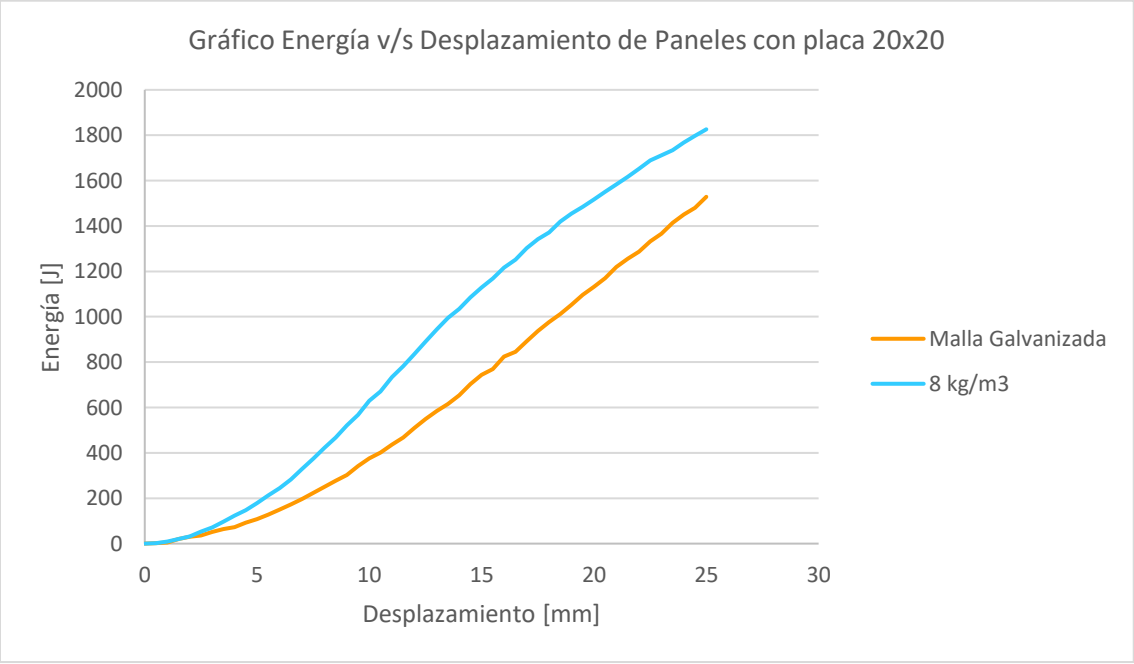

Gráfico 18: Gráfico Promedios Energía v/s Desplazamiento de paneles con placa 20x20.

Tabla 17: Resultado de ensayo realizado con placa de 20x20

Panel	Carga Máxima [kN]	Deflexión a Máxima Carga [mm]	Energía Absorbida [J] hasta los 25 [mm]
Paneles con Malla MFI-3500			
08_0712	97,97	31,60	1793
10_1912	86,59	15,70	1417
11_1912	85,39	22,02	1374
Paneles con 8 kg/m^3 de Fibra			
12_1412	123,63	8,37	1912
14_1312	98,38	11,79	1656
16_2112	124,83	11,44	1908

Tabla 18: Valores promedio de ensayos realizados con placa de 20x20.

Refuerzo	Carga Máxima [kN]	Deflexión a Máxima Carga [mm]	Energía Absorbida [J] hasta los 25 [mm]
Malla MFI-3500	89,98	23,11	1528
8 kg/m^3 de Fibra	115,61	10,53	1825

En este caso, como se considera sólo los paneles ensayados con placa de 20x20, no se incluye la serie reforzada con 6 kg/m^3 de fibra.

De acuerdo a los resultados y tal como se verificó anteriormente, se puede afirmar que el trabajo de las fibras sinteticas entrega mejores resultados en comparación con la malla de acero galvanizado.

Por otra parte se demuestra el aumento importante de la energía absorvida al reemplazar la malla por las fibras. Sin embargo, con los resultados obtenidos en este punto se aprecia que la proporción en que la capacidad de absorver energía aumenta no es tan grande como se dijo en un punto anterior. En este caso se obtiene que el aumento está por debajo el 50% en relación a la serie con malla MFI-3500 y no cercana al 100% como se pensaba anteriormente.

Capítulo 6:

CONCLUSIONES

Una vez realizado los ensayos de todos los paneles y analizados los resultados que se registraron en cada caso, se puede concluir lo siguiente:

Al agrupar los resultados sólo de acuerdo al refuerzo utilizado en cada caso, se obtiene que el promedio de la energía absorbida para cada serie es: Serie 1, de paneles con malla galvanizada, 1268 [J]; Serie 2, de paneles con 6 kg/m^3 de fibra sintética, 1042 [J] y Serie 3, de paneles con 8 kg/m^3 de fibra sintética, 1545 [J].

Estos resultados indicarían que la fibra sintética en dosis de 6 kg/m^3 no entrega mejores propiedades que la malla galvanizada utilizada tradicionalmente. En el caso de la serie 3 se ve claramente un mejor comportamiento de los paneles gracias al trabajo realizado por las fibras, aumentando por sobre el 20% la energía absorbida durante el ensayo respecto a los paneles con malla galvanizada. Sin embargo, al analizar en mayor detalle los resultados, los valores de la serie 2 no indican realmente un comportamiento inferior en relación a los otros paneles, debido a que éstos fueron ensayados solamente con la placa de 10x10 insertada en el perno de anclaje y no intercaladas con la placa de 20x20 como fue el caso de las otras dos series. Es por esto que fue necesario subclasificar estos resultados de acuerdo a la placa utilizada en cada caso.

Al reagrupar los resultados solamente de los paneles ensayados con la placa de 10x10, los nuevos valores de energía absorbida promedio para cada serie son: Serie 1, de paneles con malla galvanizada, 879 [J]; Serie 2, de paneles con 6 kg/m^3 de fibra sintética, 1042 [J] y Serie 3 de paneles con 8 kg/m^3 de fibra sintética, 1126 [J]. En este caso, se obtienen resultados más representativos ya que todos estos paneles fueron ensayados en iguales condiciones (con placa de 10x10).

Los resultados indican claramente que las propiedades del hormigón para las series con fibra sintética ensayadas con la placa de 10x10 mejoran significativamente, llegando a ser en el caso de la serie 2, casi un 20% superior a la malla galvanizada y en la serie 3, casi un 30% superior. Este mejoramiento en la resistencia de cada panel se debe a la función que cumple la fibra sintética de retardar la aparición de grietas en el hormigón a medida que aumenta la carga sobre éste, incrementándose así la carga máxima que resiste cada muestra junto con la energía absorbida durante el ensayo gracias a la resistencia a la tracción que confiere este material.

Para los ensayos con placa de 20x20, se probaron sólo los paneles con malla galvanizada y con 8 kg/m^3 de fibra sintética. La energía absorbida promedio de cada serie fue: Serie 1, de paneles con malla galvanizada, 1528 [J] y Serie 3, de paneles con 8 kg/m^3 de fibra sintética, 1825 [J]. Los resultados en este caso confirman que la fibra sintética confiere mejores características que la malla galvanizada.

Al comparar luego los paneles sólo con fibra sintética agregada bajo similar tratamiento (placa 10x10) los valores promedio obtenidos fueron Serie 2, de paneles con 6 kg/m^3 de fibra sintética, 1042 [J] y Serie 3, de paneles con 8 kg/m^3 de fibra sintética, 1126 [J] indicando que la capacidad de absorción de energía de los paneles aumenta con mayores dosis de fibra sintética añadida. La determinación de dosificaciones óptimas requeriría ensayos adicionales.

Los resultados también muestran que el tamaño de la placa con que se aplica la carga, influye directamente en la capacidad de absorber energía que posee el hormigón, siendo menor la carga soportada a menor el tamaño de la placa con la que se aplica la carga, mostrando sobre un 60% de diferencia entre los resultados obtenidos con placa 20x20 por sobre los obtenidos con placa de 10x10. La cantidad óptima de fibra sintética agregada, por lo tanto, dependerá del tipo de cargas a ser soportadas por la estructura en construcción.

Independientemente de estas consideraciones, todas las series de paneles que fueron elaborados con fibra sintética BarChip 48 como refuerzo, muestran una clara superioridad en sus propiedades mecánicas respecto a la serie de paneles elaborados con el refuerzo de malla galvanizada tejida, independiente del tamaño de la placa colocada en el perno de anclaje. Este mejoramiento en las propiedades mecánicas de cada panel indica entonces la conveniencia de incorporar la fibra sintética como refuerzo estructural, teniendo como principal efecto una mayor capacidad de absorber energía durante la deformación y el retardar la aparición de las primeras grietas superficiales que luego conllevan al colapso del material.

Finalmente se debe mencionar que, en los paneles con malla galvanizada, aunque mostraron menor capacidad de absorción de energía, la malla colocada como refuerzo no se fracturó producto de las cargas aplicadas. Por otro lado, los paneles con fibra sintética mostraron mayor capacidad de absorción de carga, pero sí se fracturaron. Llevado esto a terreno, se puede traducir en que el hormigón con malla galvanizada se agrieta con cargas de menor intensidad, pero presenta mayor resistencia a desmoronarse.

Referencias

- ASTM C 1436 (1999). Standard Specification for Material for Shotcrete.

- Breve historia del Shotcrete [en línea] <http://bestsupportunderground.com/breve-historia-shotcrete/> [Consulta: 26 de diciembre 2018].

- CABALLERO R., Rodrigo. Normativa y Recomendaciones para Shotcrete de Fortificación. En: Seminario Internacional "Diseño y Durabilidad del Shotcrete" (2013, Santiago, Chile).

- CASTILLO Ortiz, Carlos Orlando. "Efecto del perno de anclaje en el comportamiento estructural de paneles de hormigón reforzado con fibras". Memoria para optar al título de Constructor Civil. Valparaíso. Universidad Técnica Federico Santa María. Departamento de Obras Civiles, 2017, 167 hojas.

- Clasificación geomecánica Índice Q Barton. ¿Para qué sirve? y Cómo calcularlo? [en línea] <http://geotecniafacil.com/clasificacion-geomecanica-indice-q-barton/> [Consulta: 24 de abril 2019].

- Clasificación Q de Barton. [en línea]<https://es.slideshare.net/billgonzalesingeniero/clasificacion-q-barton> [Consulta: 25 de abril 2019]

- Concrete – Hormigón reforzado con fibras. Sika Chile. Chile. Septiembre 2014.

- ESPINOZA Torres, Valentina Paz. "Equivalencia entre ensayo de panel EFNARC y el ensayo de tracción indirecta por doble punzonamiento". Memoria para optar al título de Constructor Civil. Valparaíso. Universidad Técnica Federico Santa María. Departamento de Obras Civiles, 2017, 69 hojas.

- European specification for sprayed concrete. Especificaciones EFNARC 1996.

- Hoja Técnica BarChip 48. Elasto – Plastic Concrete. 2010.

- Hoja Técnica Cemento Alta Resistencia. Cementos Bio Bio. Chile.

- Hoja Técnica Glenium 130. Basf. 2010.

- Hoja Técnica Malla fortificación MFI 3500. Inchalam. Chile. Abril 2014.

- Hoja Técnica TamShot 90AF. Normet. Suecia. 2014.

- Hormigones especiales (II): Hormigón reforzado con fibras. [en línea] <https://masqueingenieria.com/blog/hormigones-especiales-hormigon-reforzado-con-fibras/> [Consulta: 19 de Diciembre 2018].

- Hormigón reforzado con fibras. TexDelta. [en línea] <https://texdelta.com/blog/hormigon-reforzado-con-fibras/> [Consulta: 19 de diciembre 2018]

- HURTUBIA Rojas, Neel Alberto. “Determinación de la capacidad de absorción de energía absorbida de hormigones reforzados con fibras mediante el ensayo de paneles EFNARC”. Memoria para optar al título de Constructor Civil. Valparaíso. Universidad Técnica Federico Santa María. Departamento de Obras Civiles, 2017, 74 hojas.

- JERIA, Rodolfo. Hormigón con fibra. Chile. Ministerio de Obras Públicas. S.A. Extraído de <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Hormigon%20con%20Fibra%20RJ.pdf>

- NCh 148.of68. Cemento – Terminología, clasificación y especificaciones generales.

- NCh 163.of79. Aridos para morteros y hormigones – Requisitos generales.

- NCh 165.of77. Aridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de la granulometría.

- NCh 1498.of82. Hormigón – Agua de amasado – Requisitos.

- NCh 2182.of95. Hormigón y mortero – Aditivos – Clasificación y requisitos.

- PACHECO Ortega, Luis Gonzalo. “Análisis comparativo de los codigos internacionales para hormigón proyectado. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Santiago. Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería Civil, 2012, 158 hojas.

- Shotcrete – Guía chilena del hormigón proyectado. Segunda Edición. Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. Chile. 2015.

- UNE-EN 934-5 of 2009. Aditivos para hormigones morteros y pastas - Parte 5: Aditivos para hormigón proyectado. Deficiniciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.

- UNE-EN 206-1 of 2008. Hormigón – Parte 1: Especificaciones, prestaciones, producción y conformidad.

- UNE-EN 934-5 of 2009. Aditivos para hormigones, morteros y pastas – Parte 1: Requisitos comunes.

Anexos

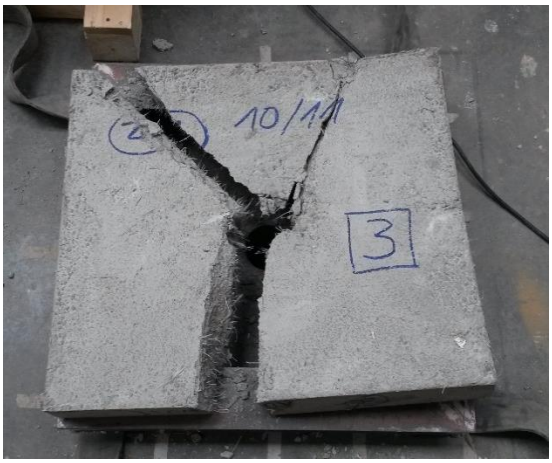

Imagen 33: Panel con fibra sintética. Agrietamiento en cara superior.

Imagen 34: Panel con fibra sintética. Agrietamiento en cara inferior.

Imagen 35: Panel con fibra sintética.

Imagen 36: Panel con malla de acero galvanizado. Agrietamiento en cara superior.

Imagen 37: Panel con malla de acero galvanizado. Agrietamiento en cara inferior.

Imagen 38: Panel con malla de acero galvanizado. Condiciones post ensayo.

Resultados Ensayos de Paneles con 6 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48

- **PANEL 01_0911**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	01-0911
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	76,70
Momento unitario	11,537
Energía [J] a los 25 [mm]	1078,895
Clasificación	Clase C

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	49,95	49.945	57,8
5,0	70,91	70.907	232,9
10,0	61,47	61.468	570,6
15,0	39,56	39.560	849,3
20,0	23,21	23.212	996,1
25,0	23,21	23.212	1078,9
30,0	11,11	11.111	1078,9
35,0	11,11	11.111	1078,9

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

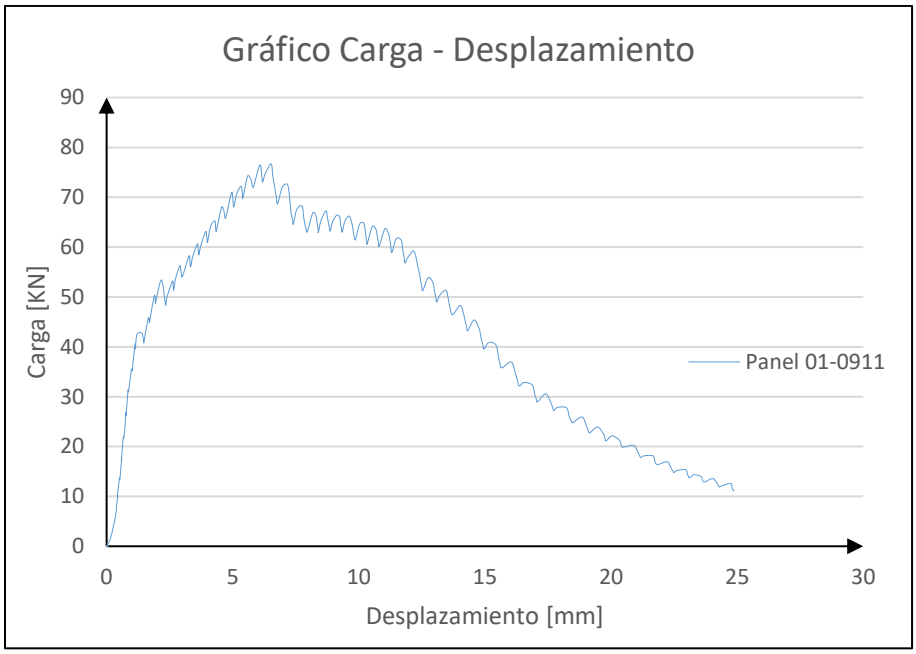

Gráfico 19: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 01_0911.

Resistencia Máxima
76,6991 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
6,5225 [mm]

Cálculo de Energía		
Desde:	Hasta:	
0	25	[mm]
1078,8947 [J]		

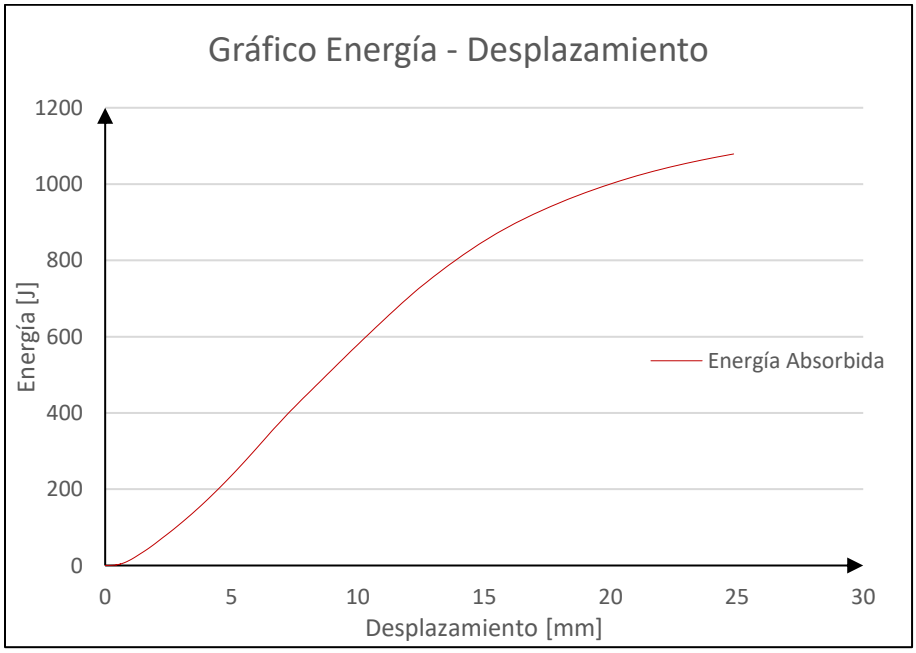

Gráfico 20: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 01_0911

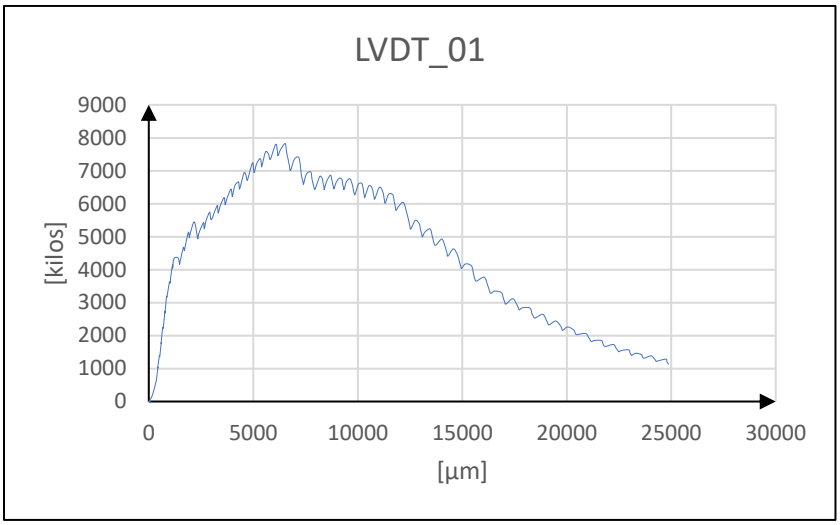

Gráfico 21: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 01_0911.

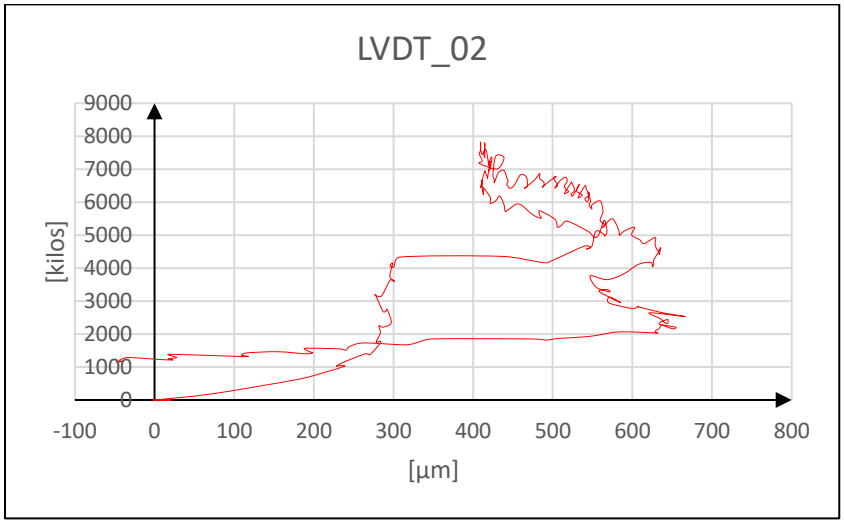

Gráfico 22: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 01_0911.

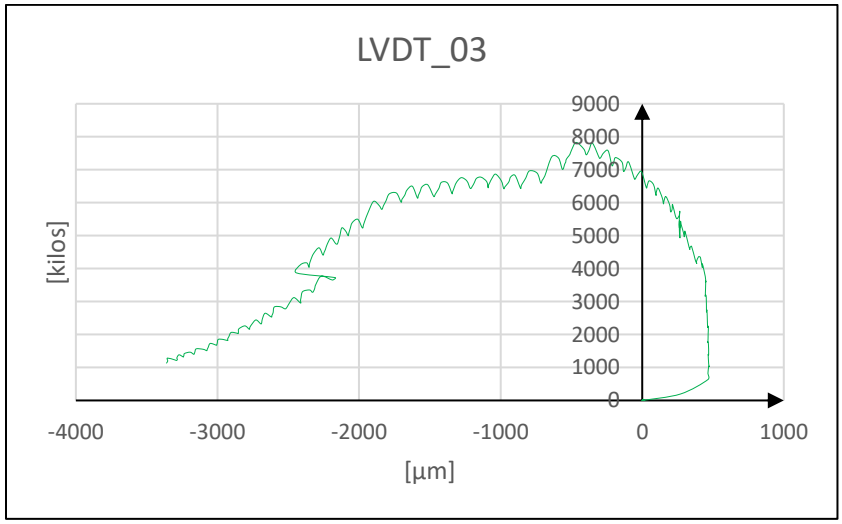

Gráfico 23: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 01_0911.

- **PANEL 02_1011**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	02-1011
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	62,24
Momento unitario	9,363
Energía [J] a los 25 [mm]	787,886
Clasificación	Clase B

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	17,78	17.782	14,8
5,0	34,39	34.395	99,5
10,0	57,97	57.970	337,8
15,0	39,95	39.955	601,2
20,0	17,17	17.169	729,2
25,0	8,53	8.533	787,9
30,0	6,75	6.749	825,8
35,0	6,30	6.300	843,4

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

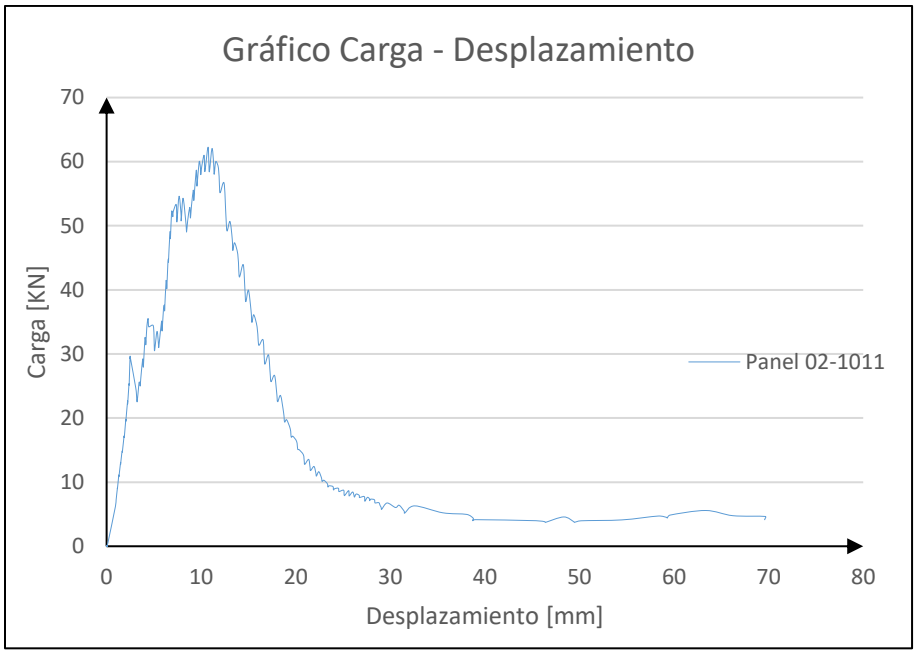

Gráfico 24: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 02_1011

Resistencia Máxima
62,2440 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
10,7196 [mm]

Cálculo de Energía		
Desde:	Hasta:	
0	25	[mm]
787,8863 [J]		

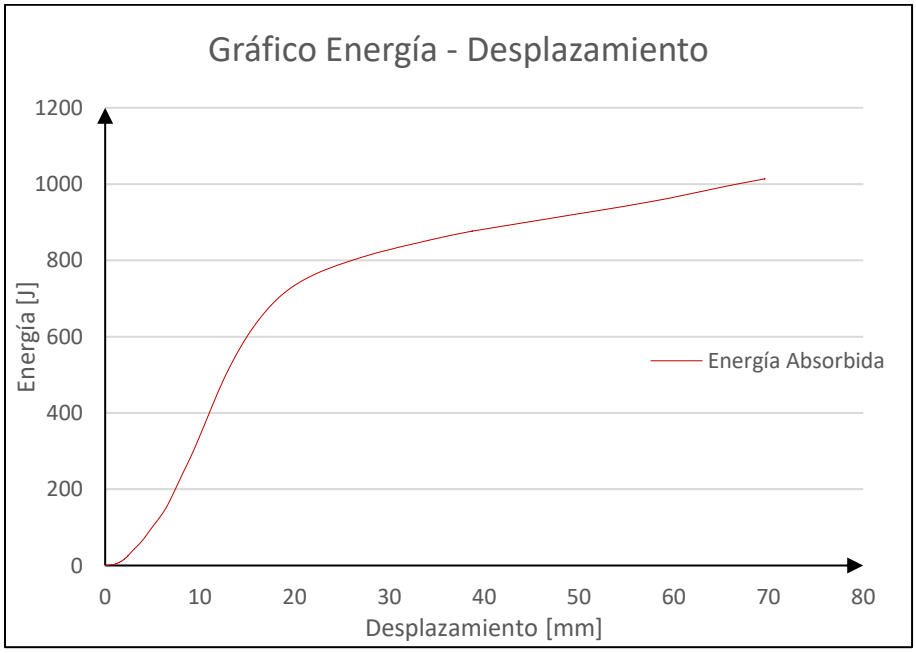

Gráfico 25: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 02_1011

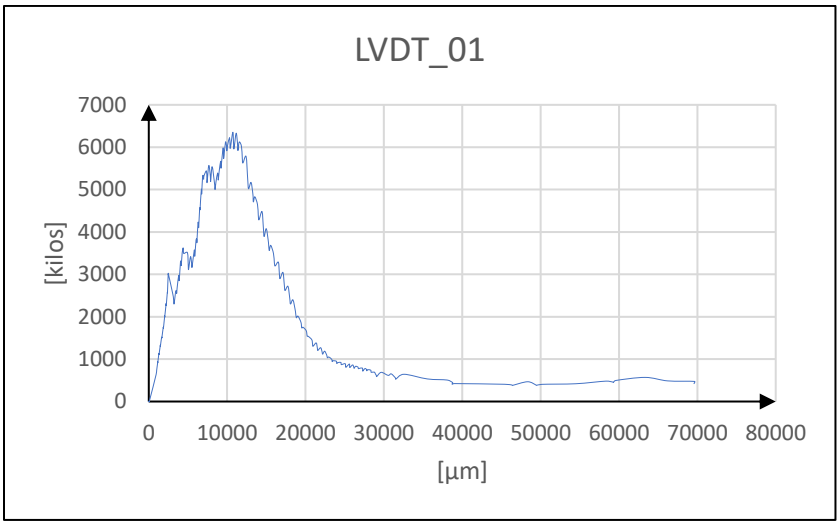

Gráfico 26: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 02_1011.

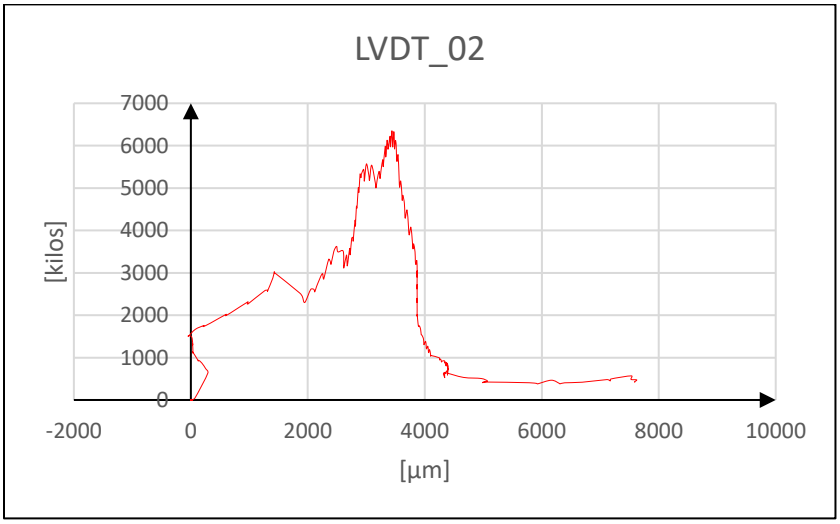

Gráfico 27: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 02_1011.

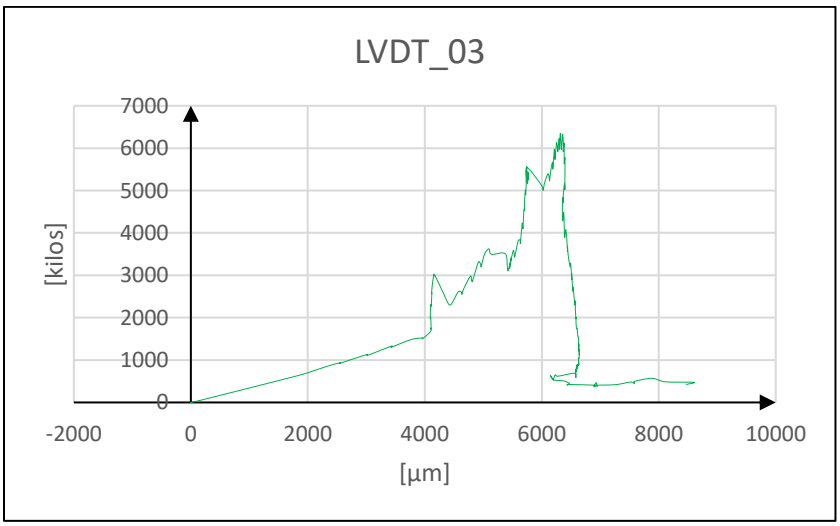

Gráfico 28: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 02_1011.

- **PANEL 03_1011**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	03-1011
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	88,01
Momento unitario	13,238
Energía [J] a los 25 [mm]	1262,408
Clasificación	Clase C

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	27,99	27.990	15,5
5,0	44,51	44.514	120,1
10,0	86,00	85.996	464,3
15,0	67,74	67.742	858,3
20,0	40,96	40.962	1134,7
25,0	17,54	17.536	1262,4
30,0	12,79	12.785	1339,1
35,0	12,05	12.050	1370,2

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

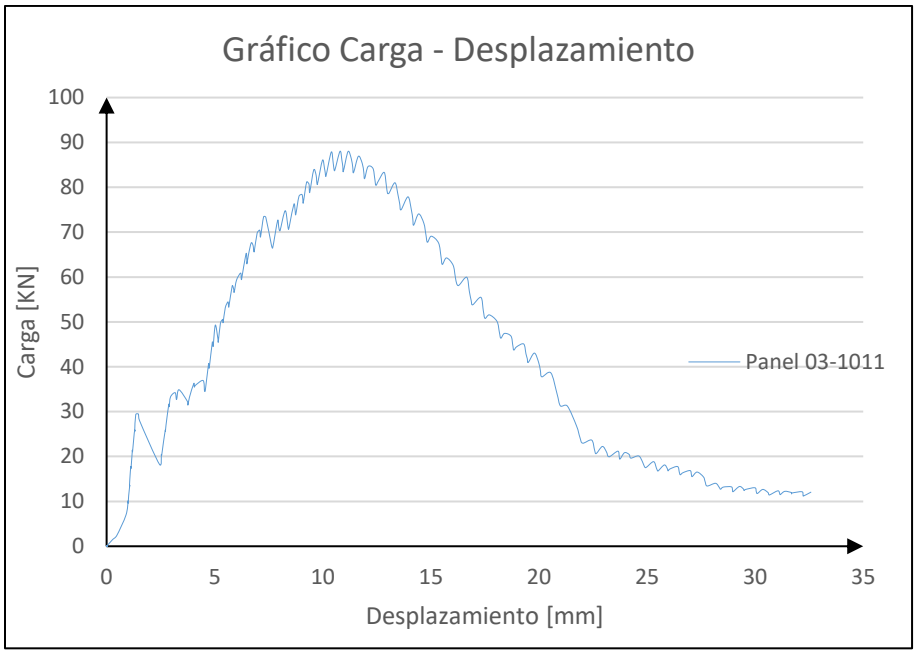

Gráfico 29: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 03_1011

Resistencia Máxima
88,0102 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
10,7964 [mm]

Cálculo de Energía	
Desde:	Hasta:
0	25
1262,4083 [J]	

mm]

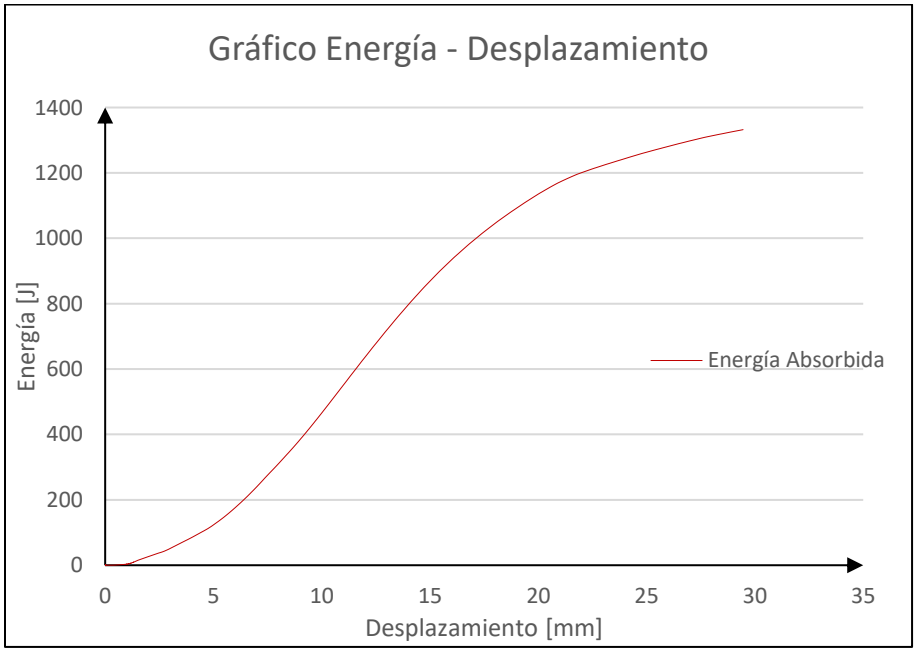

Gráfico 30: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 03_1011

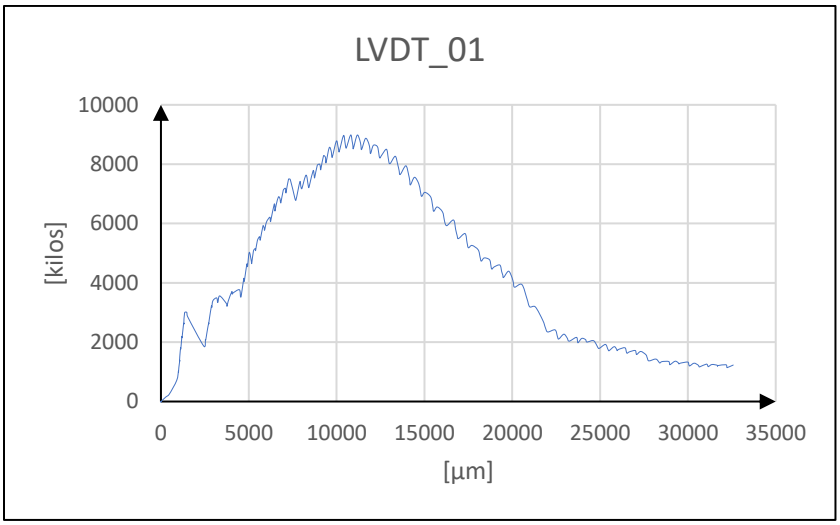

Gráfico 31: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 03_1011.

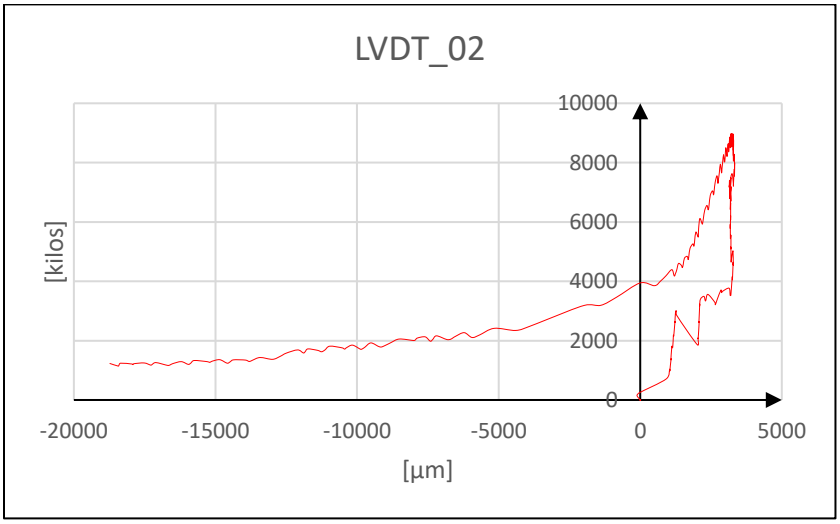

Gráfico 32: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 03_1011.

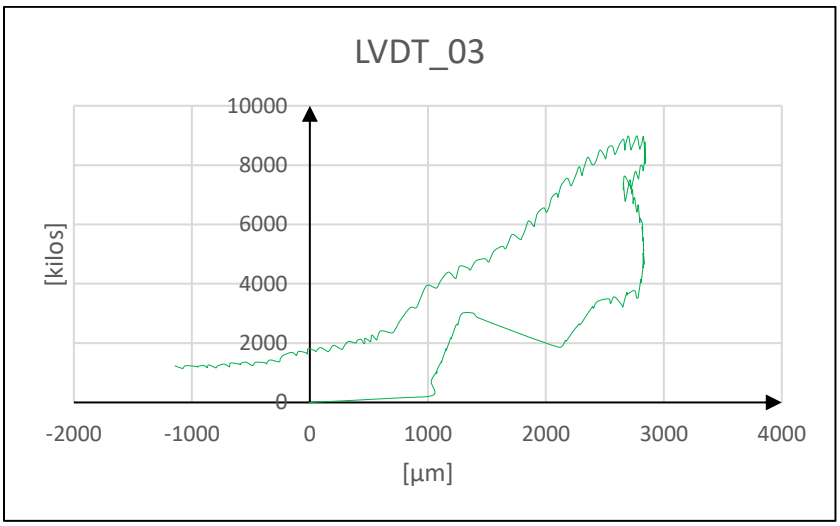

Gráfico 33: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 03_1011.

- **PANEL 04_1311**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	04-1311
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	71,82
Momento unitario	10,804
Energía [J] a los 25 [mm]	1015,700
Clasificación	Clase C

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	22,33	22.333	18,1
5,0	24,93	24.926	79,7
10,0	58,73	58.730	292,1
15,0	66,31	66.312	630,8
20,0	33,94	33.937	882,8
25,0	22,45	22.449	1015,7
30,0	14,65	14.649	1104,3
35,0	11,11	11.110	1170,0

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

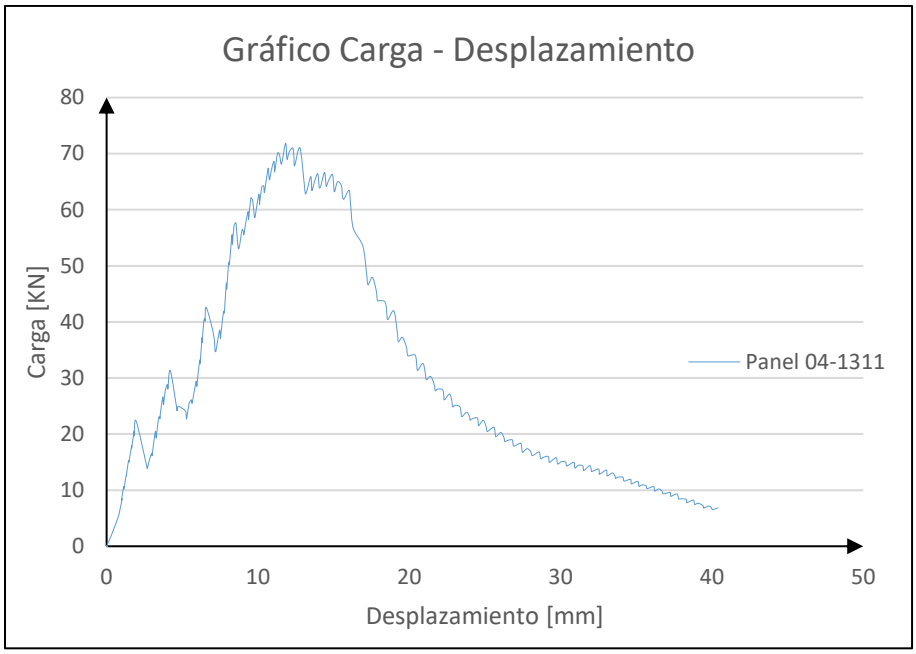

Gráfico 34: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 04_1311.

Resistencia Máxima
71,8248 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
11,8209 [mm]

Cálculo de Energía	
Desde:	Hasta:
0	25
1015,7003 [J]	

mm]

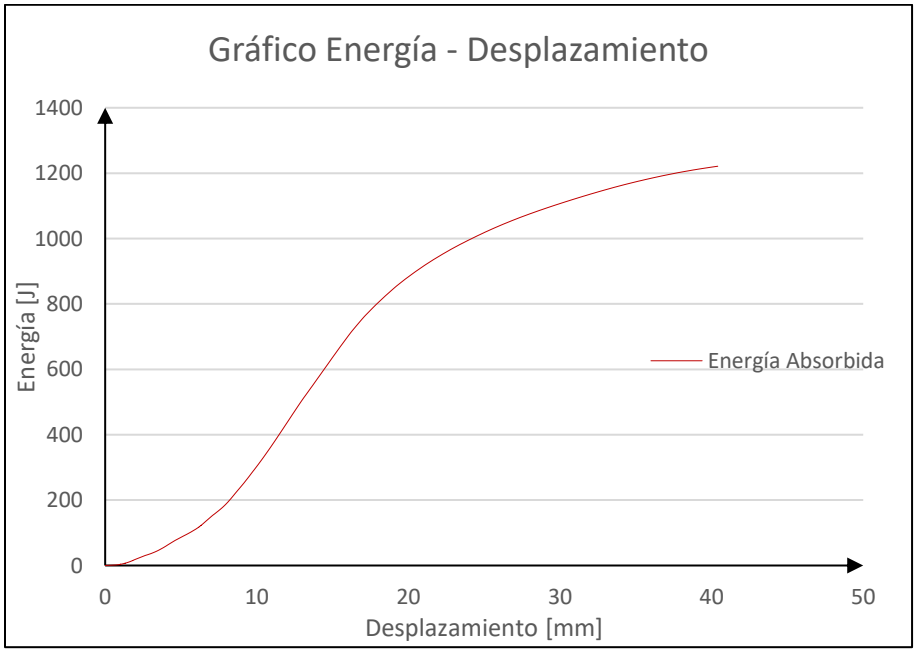

Gráfico 35: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 04_1311.

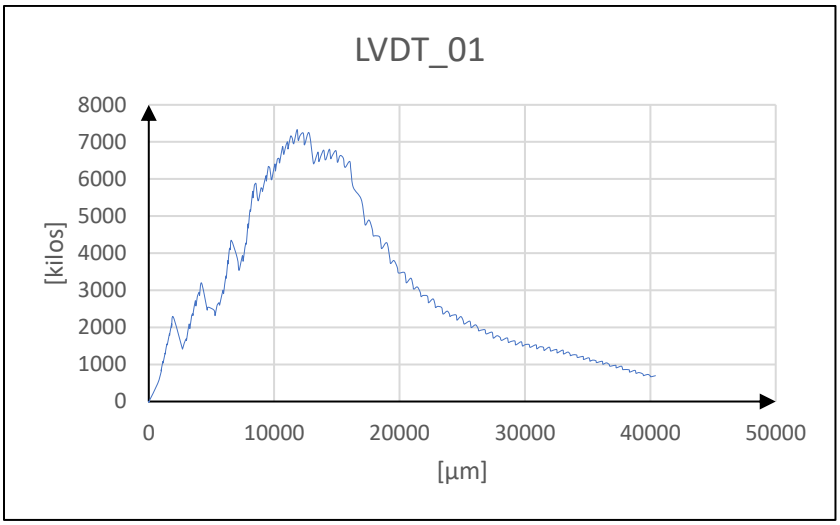

Gráfico 36: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 04_1311.

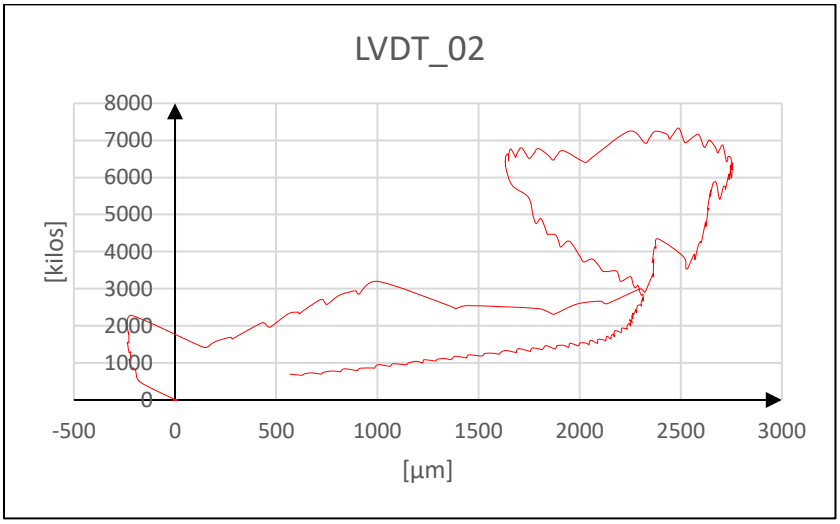

Gráfico 37: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 04_1311.

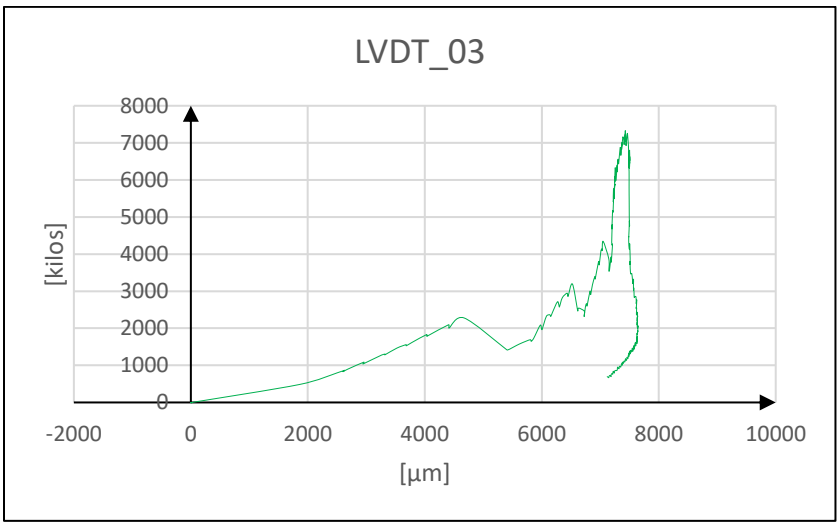

Gráfico 38: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 04_1311.

- **PANEL 05_1311**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	05-1311
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	76,50
Momento unitario	11,506
Energía [J] a los 25 [mm]	1034,755
Clasificación	Clase C

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	37,67	37.669	37,0
5,0	62,11	62.109	182,7
10,0	68,17	68.173	545,8
15,0	39,88	39.881	826,3
20,0	17,46	17.456	957,5
25,0	11,36	11.358	1034,8
30,0	9,26	9.262	1084,5
35,0	6,28	6.281	1130,4

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

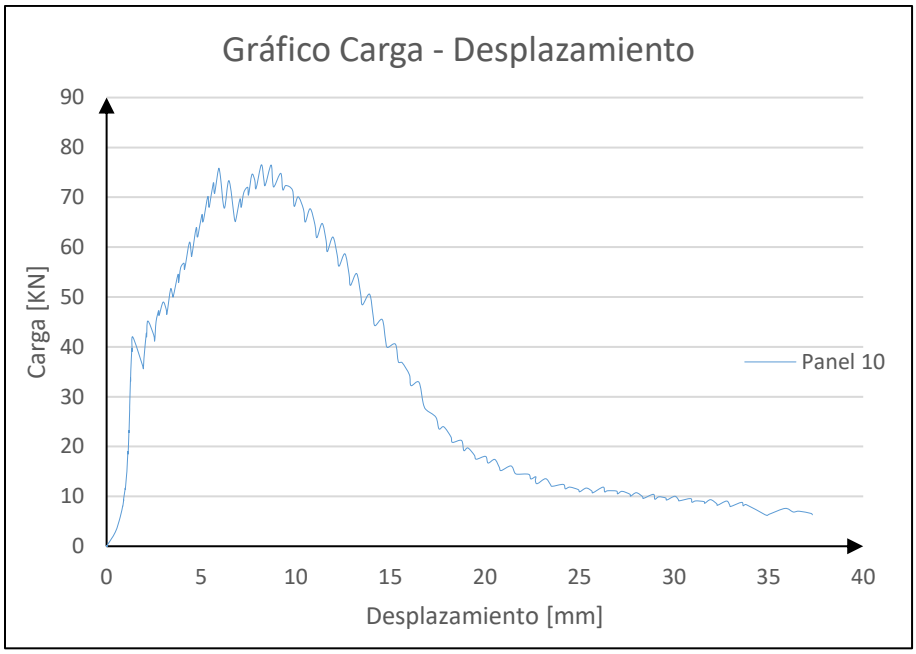

Gráfico 39: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 05_1311.

Resistencia Máxima
76,4962 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
8,1785 [mm]

Cálculo de Energía	
Desde:	Hasta:
0	25
1034,7554 [J]	

mm]

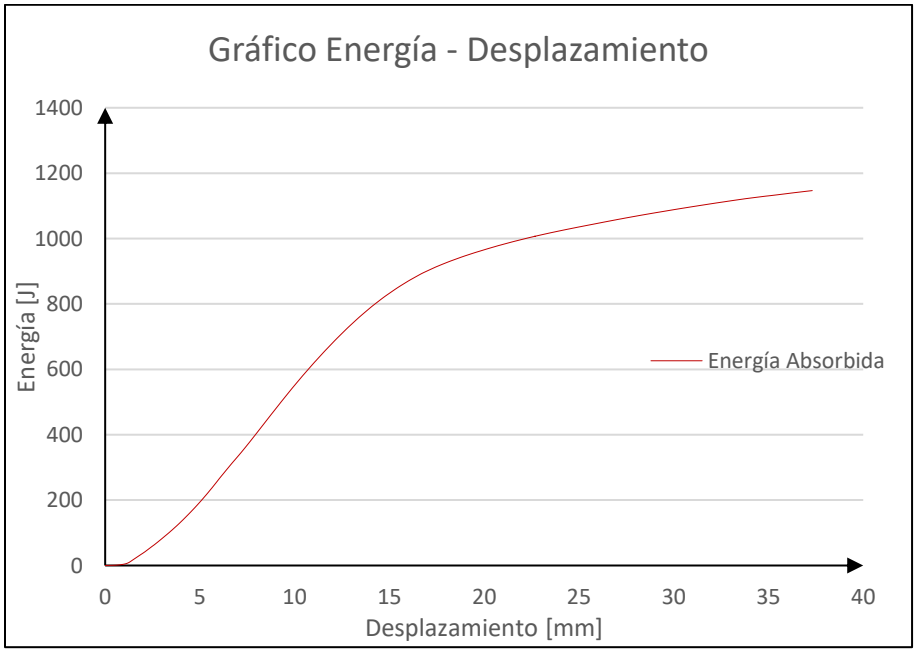

Gráfico 40: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 05_1311.

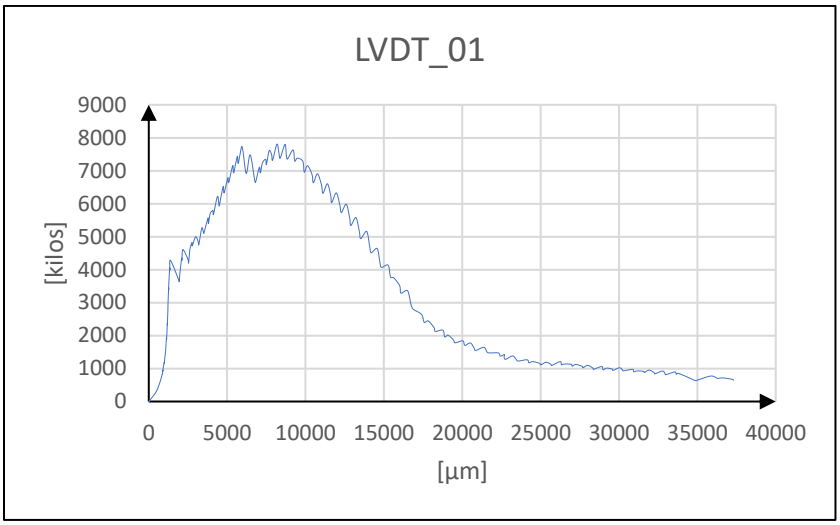

Gráfico 41: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 05_1311.

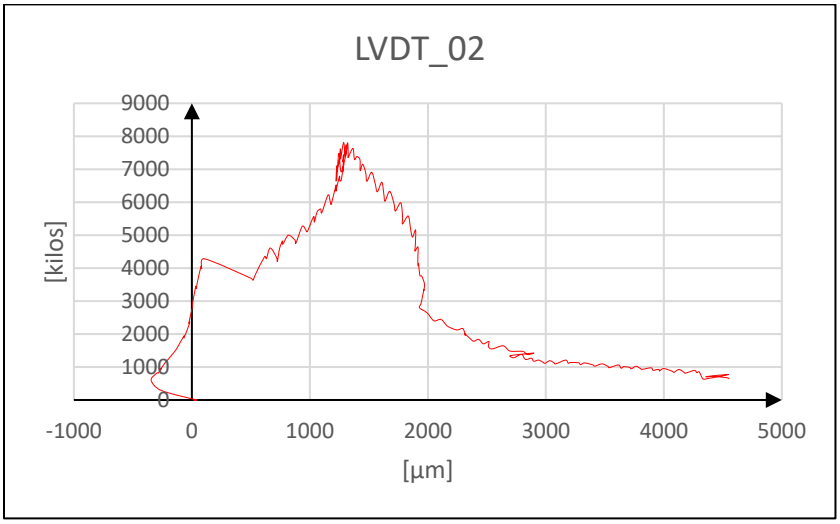

Gráfico 42: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 05_1311.

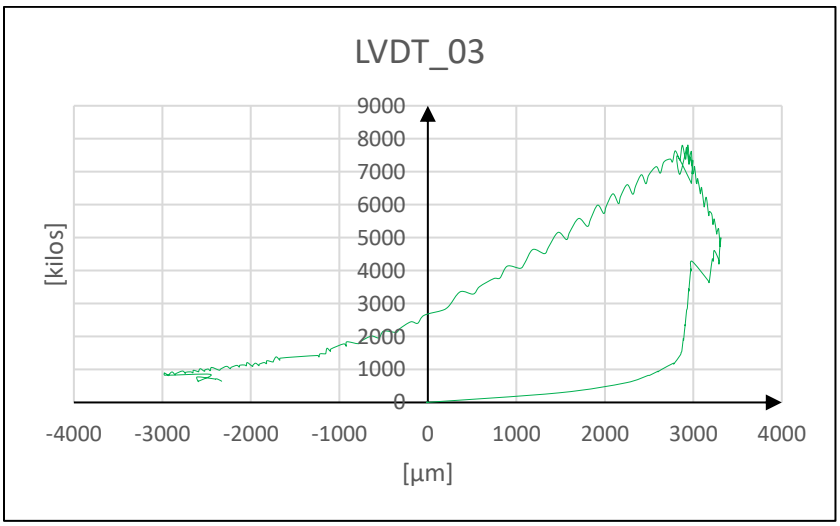

Gráfico 43: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 05_1311.

- **PANEL 06_1311**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	06-1311
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	76,41
Momento unitario	11,494
Energía [J] a los 25 [mm]	1078,342
Clasificación	Clase C

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	28,93	28.928	9,4
5,0	41,83	41.825	124,1
10,0	72,83	72.826	416,2
15,0	53,99	53.994	755,7
20,0	32,01	32.011	957,9
25,0	18,91	18.910	1078,3
30,0	12,77	12.771	1155,2
35,0	9,61	9.613	1212,3

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

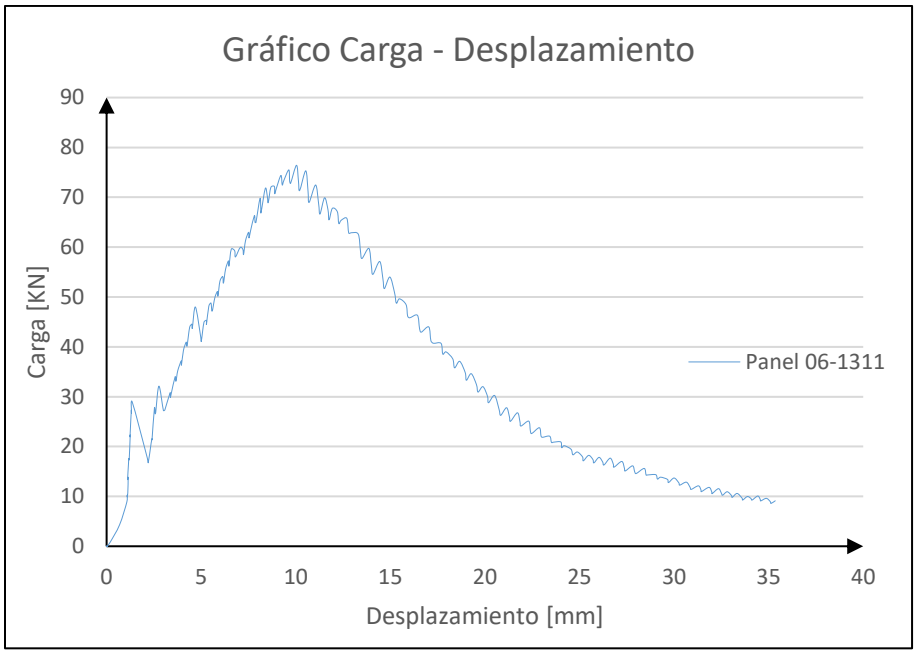

Gráfico 44: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 06_1311.

Resistencia Máxima
76,4123 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
10,0377 [mm]

Cálculo de Energía	
Desde:	Hasta:
0	25
1078,3416 [J]	

mm]

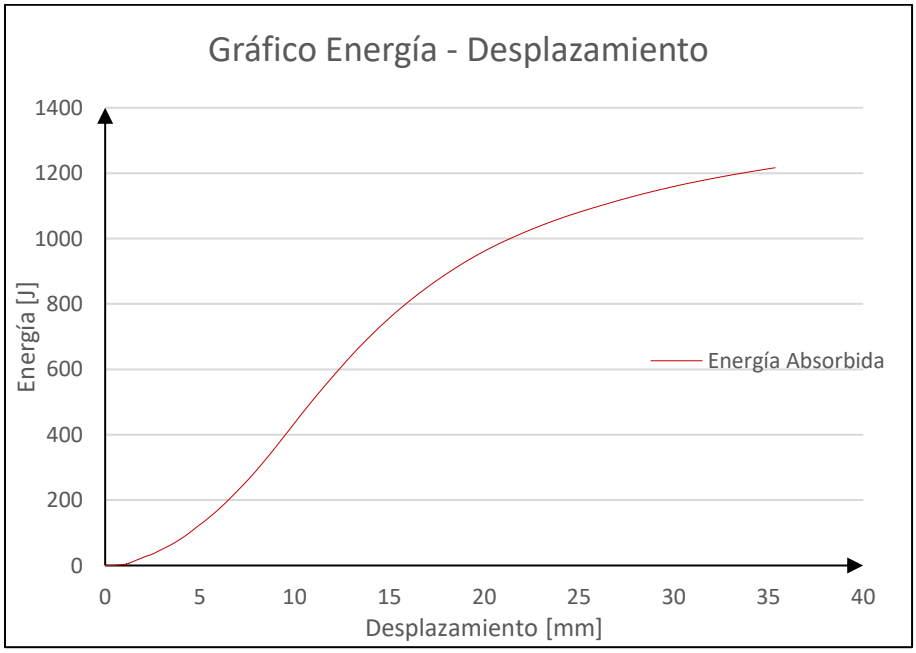

Gráfico 45: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 06_1311.

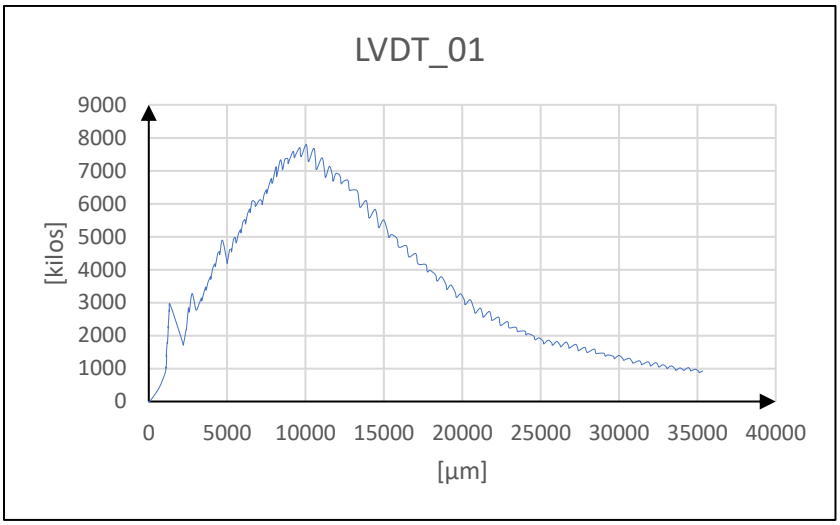

Gráfico 46: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 06_1311.

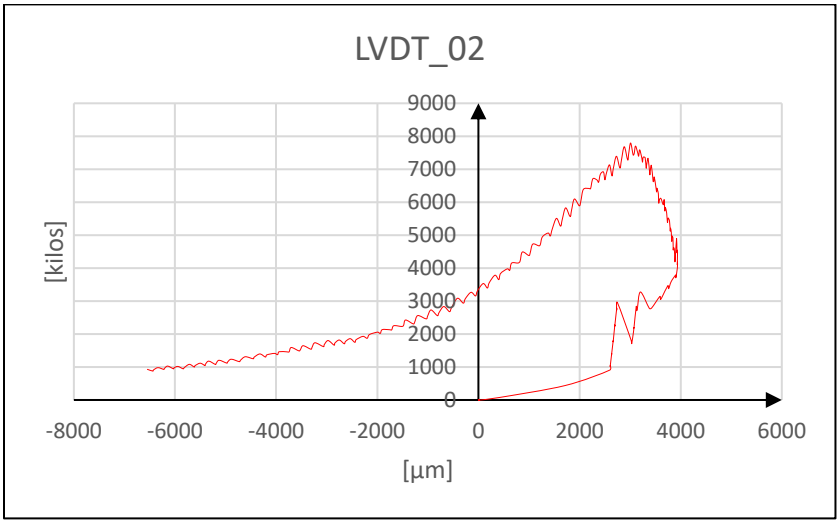

Gráfico 47: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 06_1311.

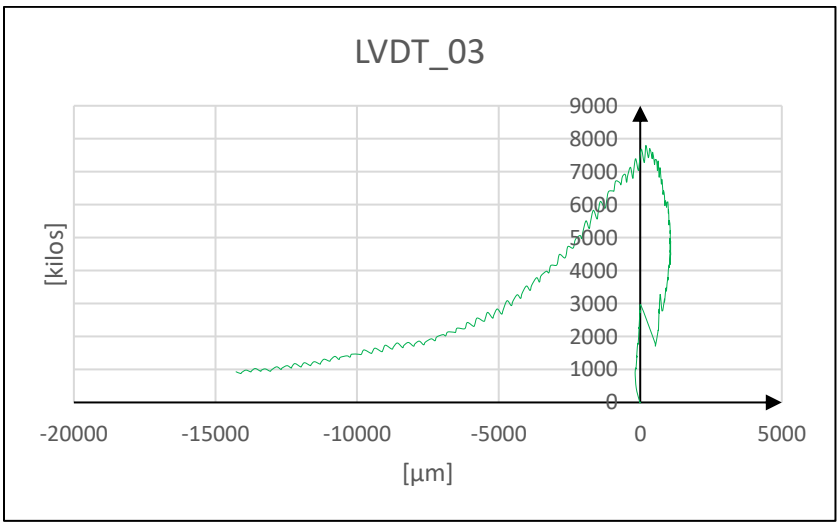

Gráfico 48: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 06_1311.

Resultados Ensayos de Paneles con Malla de acero galvanizada MFI-3500

- **PANEL 07_0712**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	07-0712
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	60,40
Momento unitario	9,085
Energía [J] a los 25 [mm]	850,969
Clasificación	Clase B

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	18,67	18.666	16,4
5,0	35,22	35.218	76,2
10,0	26,77	26.772	225,5
15,0	42,34	42.336	359,8
20,0	55,65	55.649	597,6
25,0	53,56	53.559	851,0
30,0	57,15	57.153	1141,9
35,0	44,83	44.834	1417,0

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

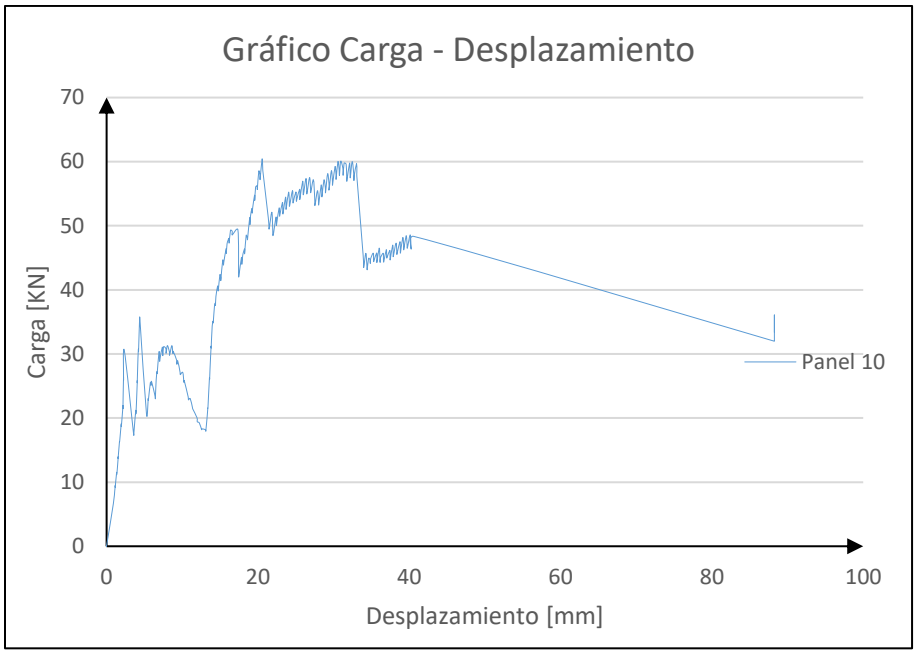

Gráfico 49: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 07_0712.

Resistencia Máxima
60,3991 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
20,5483 [mm]

Cálculo de Energía		
Desde:	Hasta:	
0	25	[mm]
850,9686 [J]		

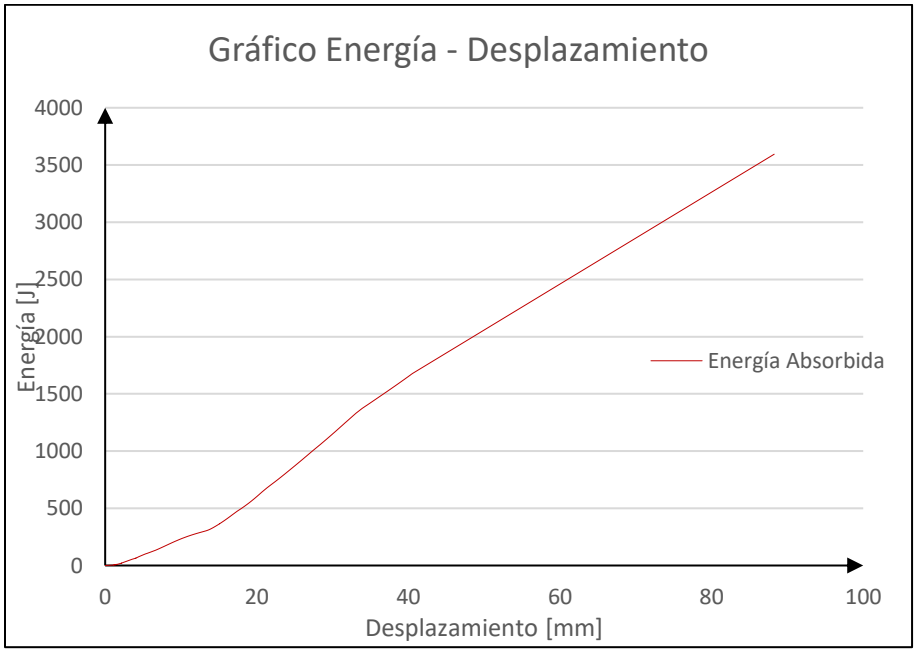

Gráfico 50: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 07_0712.

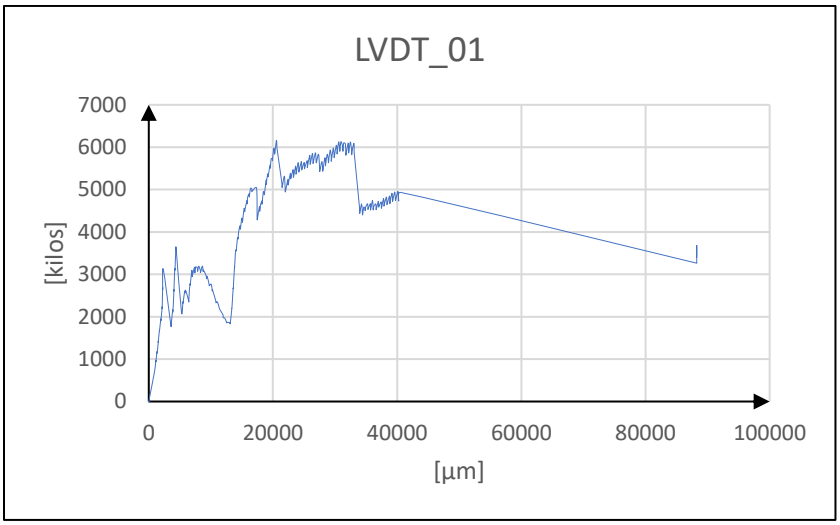

Gráfico 51: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 07_0712.

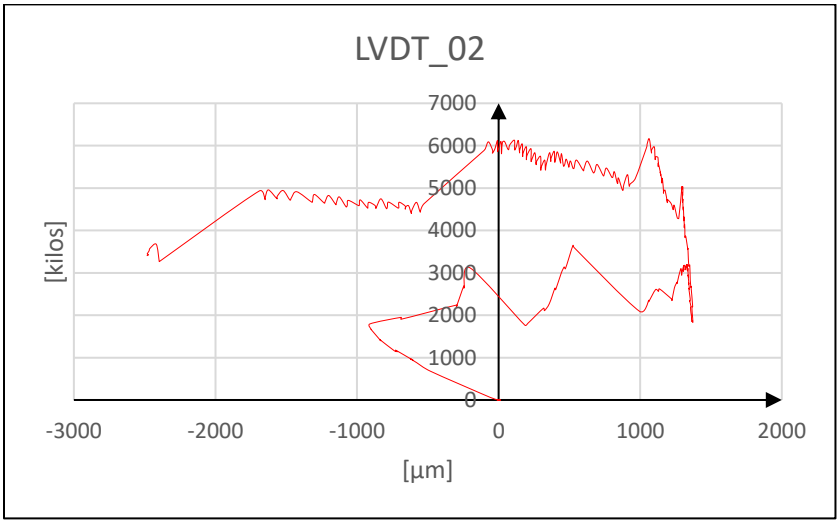

Gráfico 52: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 07_0712.

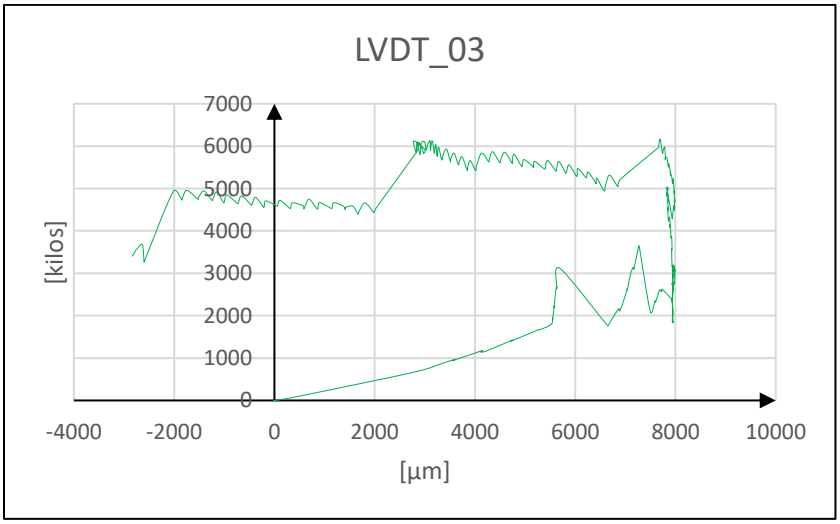

Gráfico 53: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 07_0712.

- **PANEL 08_0712**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	08-0712
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	97,97
Momento unitario	14,736
Energía [J] a los 25 [mm]	1793,792
Clasificación	Clase C

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	36,12	36.122	54,3
5,0	57,47	57.471	182,5
10,0	75,43	75.432	533,3
15,0	82,14	82.136	938,1
20,0	87,87	87.866	1371,0
25,0	88,83	88.826	1793,8
30,0	88,83	88.826	2244,0
35,0	97,97	97.966	2428,1

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

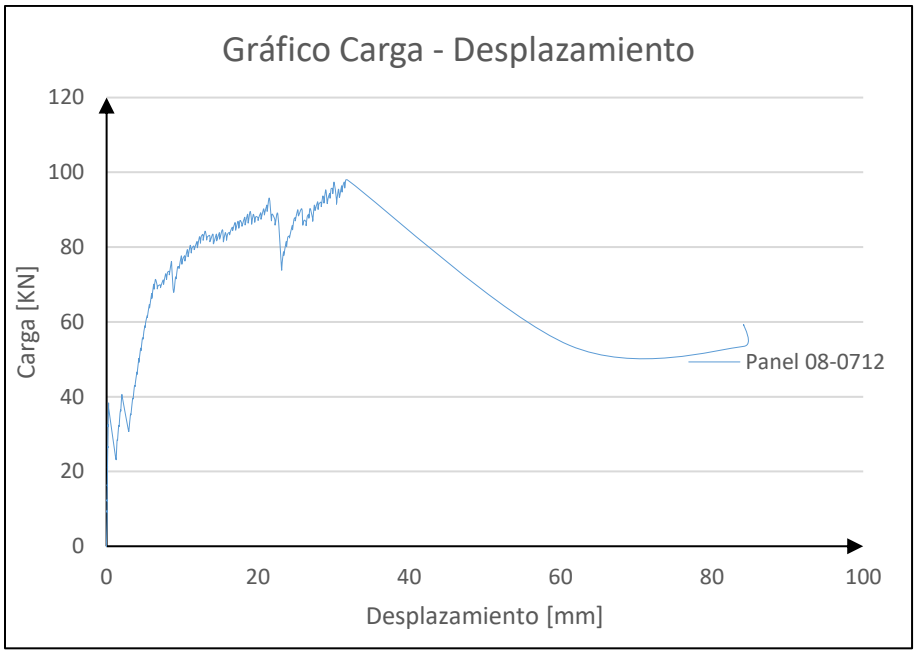

Gráfico 54: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 08_0712.

Resistencia Máxima
97,9660 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
31,6049 [mm]

Cálculo de Energía	
Desde:	Hasta:
0	25
1793,7919 [J]	

mm]

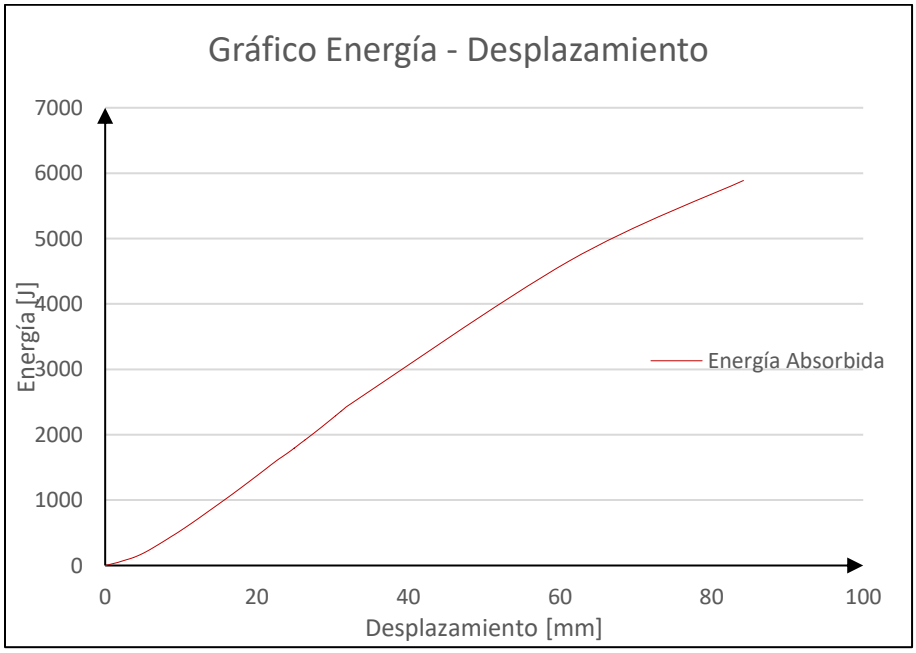

Gráfico 55: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 08_0712.

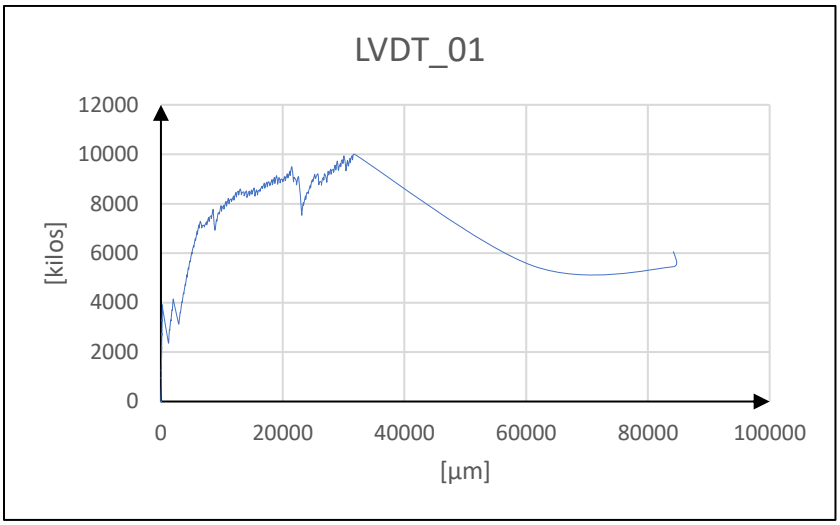

Gráfico 56: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 08_0712.

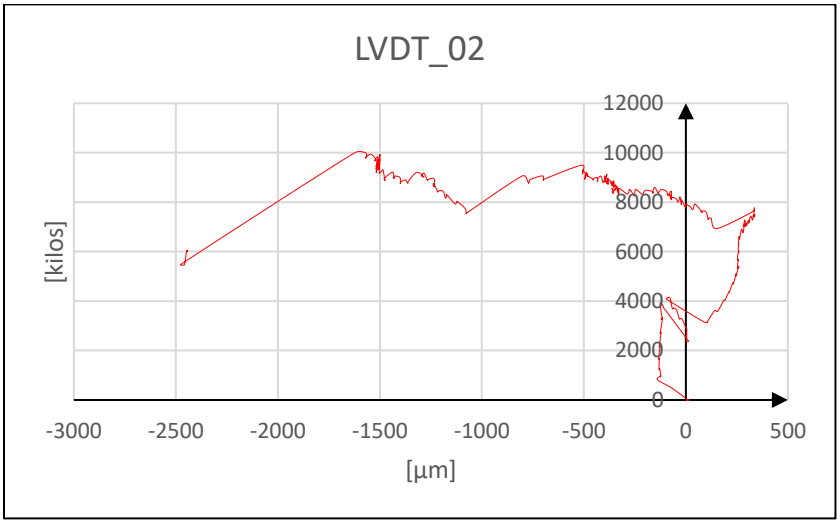

Gráfico 57: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 08_0712.

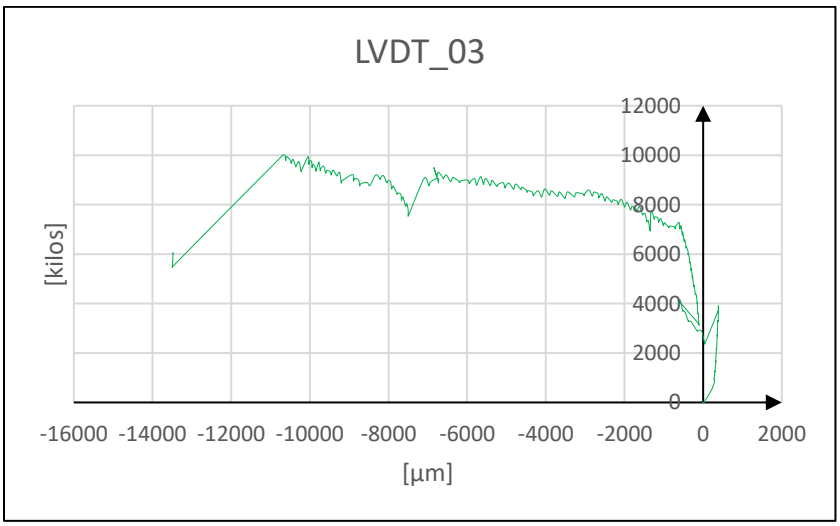

Gráfico 58: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 08_0712.

- **PANEL 09_1912**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	09 1912
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	58,21
Momento unitario	8,756
Energía [J] a los 25 [mm]	909,195
Clasificación	Clase B

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	22,35	22.354	28,6
5,0	38,53	38.531	111,7
10,0	49,84	49.835	323,8
15,0	47,83	47.828	574,0
20,0	51,52	51.523	818,0
25,0	42,14	42.138	909,2
30,0	42,14	42.138	909,2
35,0	42,14	42.138	909,2

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

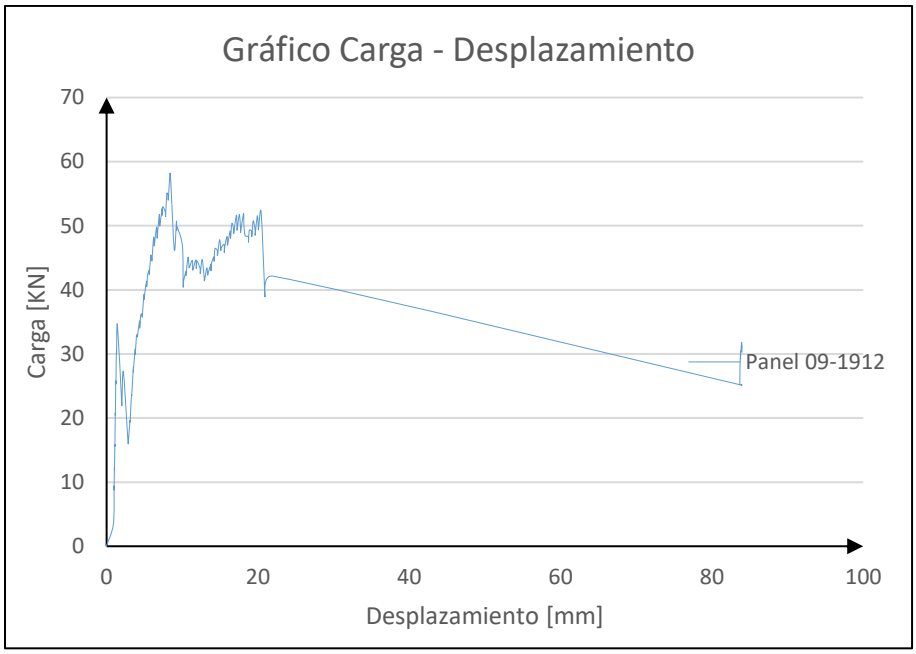

Gráfico 59: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 09_1912.

Resistencia Máxima
58,2134 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
8,3798 [mm]

Cálculo de Energía		
Desde:	Hasta:	
0	25	[mm]
909,1951 [J]		

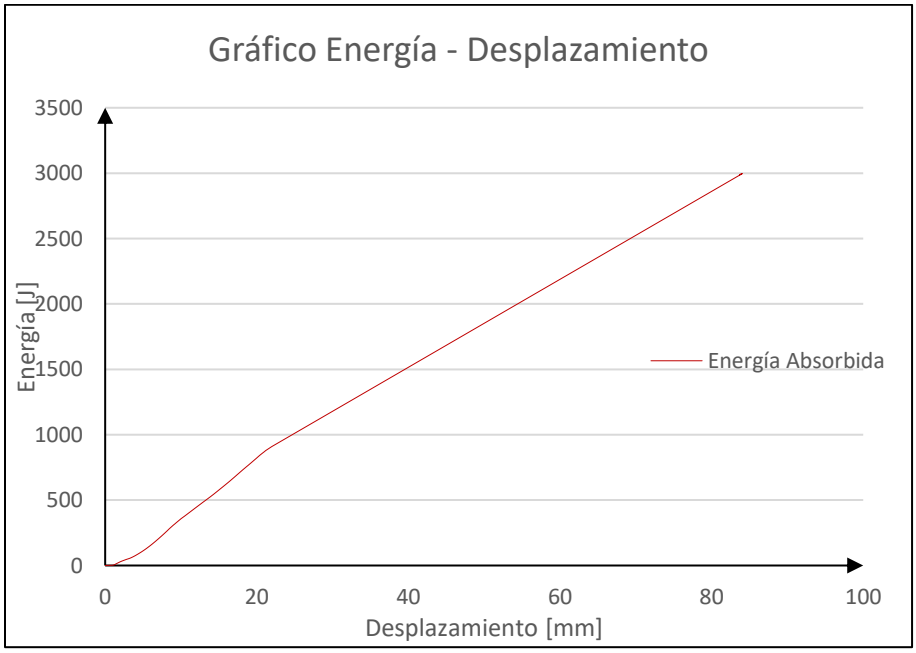

Gráfico 60: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 09_1912.

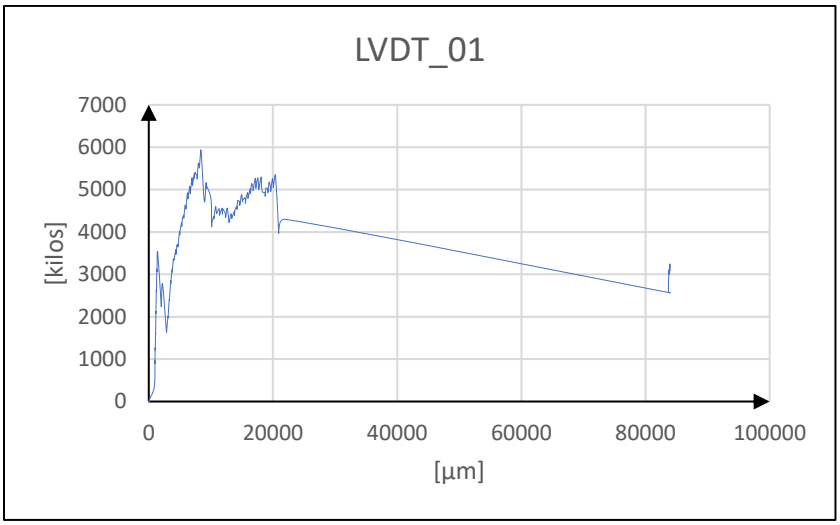

Gráfico 61: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 09_1912.

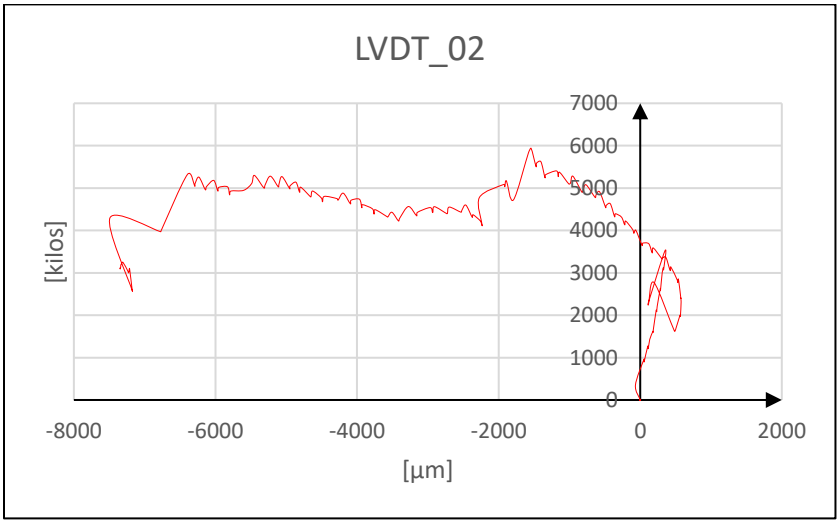

Gráfico 62: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 09_1912.

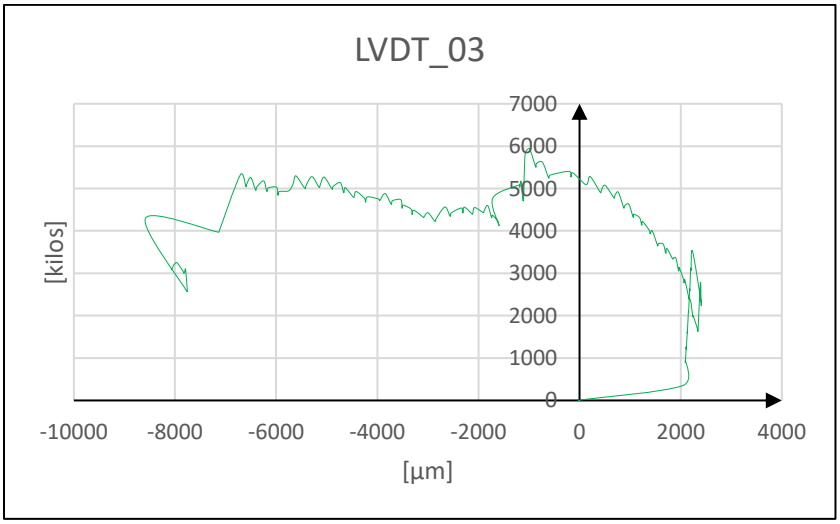

Gráfico 63: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 09_1912.

- **PANEL 10_1912**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	10 1912
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	86,59
Momento unitario	13,025
Energía [J] a los 25 [mm]	1417,789
Clasificación	Clase C

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	16,98	16.980	14,6
5,0	24,35	24.351	72,8
10,0	63,54	63.539	294,1
15,0	83,93	83.929	675,8
20,0	77,30	77.300	1038,9
25,0	67,28	67.275	1417,8
30,0	74,56	74.565	1780,5
35,0	82,47	82.473	2134,4

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

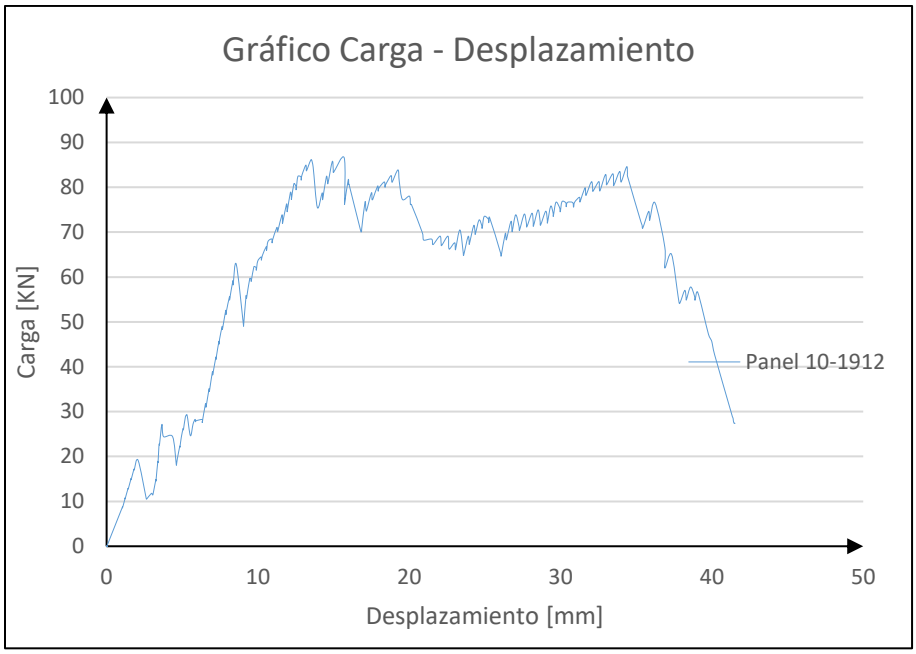

Gráfico 64: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 10_1912.

Resistencia Máxima
86,5904 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
15,6993 [mm]

Cálculo de Energía	
Desde:	Hasta:
0	25
1417,7894 [J]	

mm]

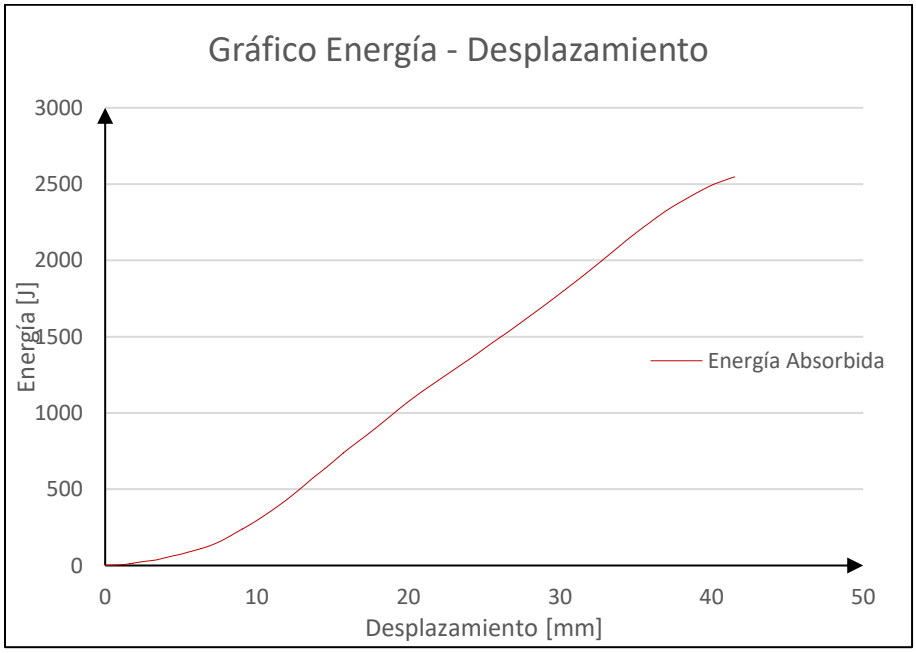

Gráfico 65: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 10_1912.

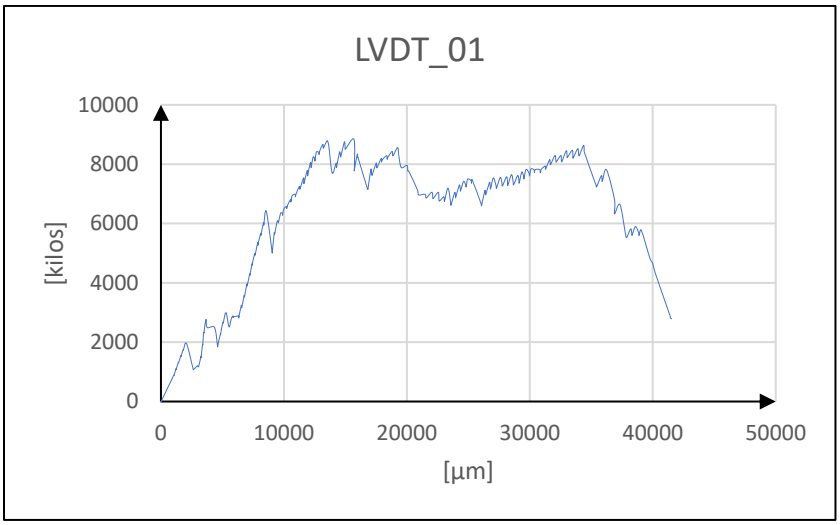

Gráfico 66: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 10_1912.

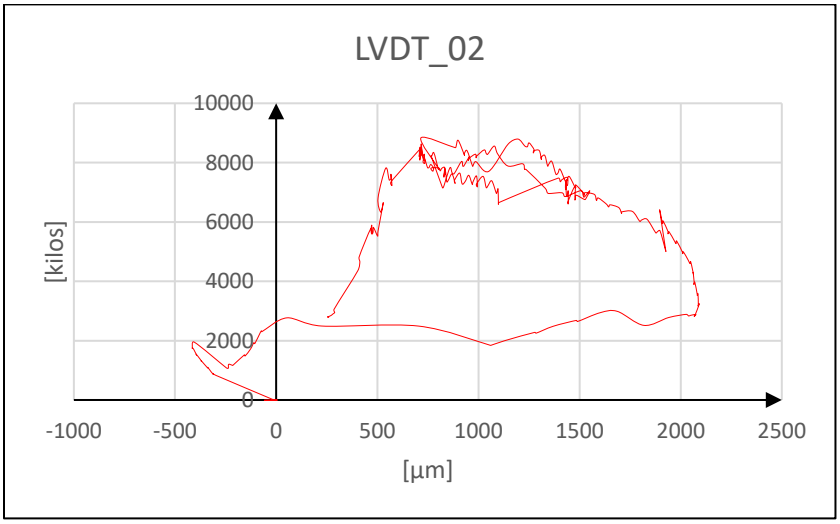

Gráfico 67: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 10_1912.

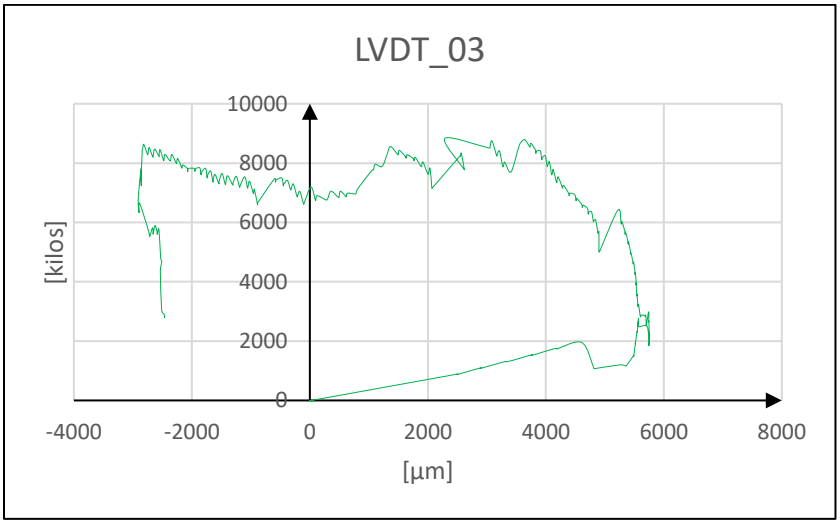

Gráfico 68: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 10_1912.

- **PANEL 11_1912**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	11 1912
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	85,39
Momento unitario	12,844
Energía [J] a los 25 [mm]	1374,089
Clasificación	Clase C

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	12,94	12.939	21,4
5,0	24,79	24.790	69,2
10,0	59,73	59.729	301,2
15,0	69,85	69.852	618,3
20,0	78,10	78.097	986,0
25,0	83,65	83.650	1374,1
30,0	63,64	63.636	1694,8
35,0	72,88	72.885	2055,4

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

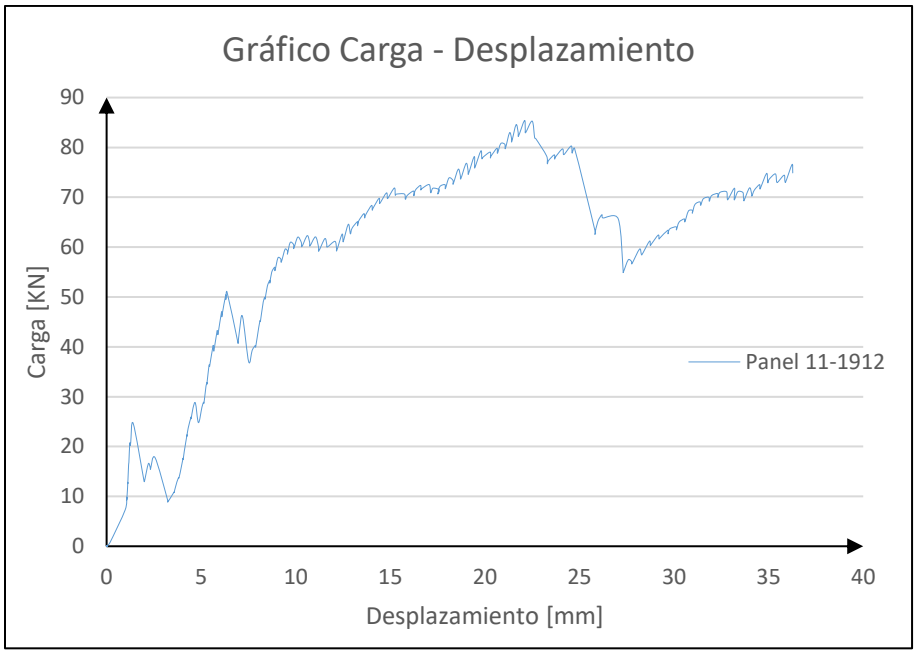

Gráfico 69: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 11_1912.

Resistencia Máxima
85,3918 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
22,0150 [mm]

Cálculo de Energía	
Desde:	Hasta:
0	25
1374,0892 [J]	

mm]

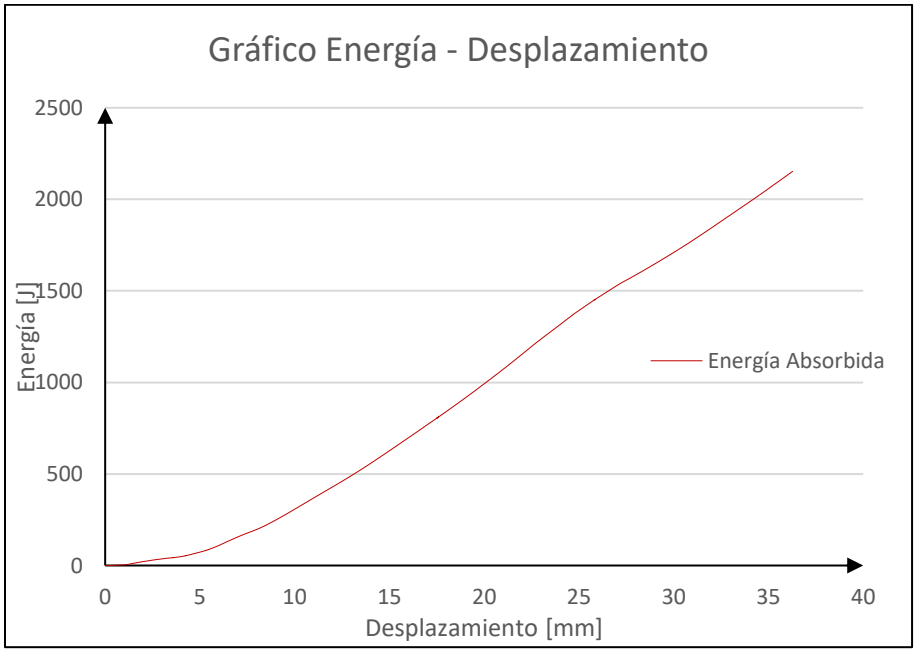

Gráfico 70: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 11_1912.

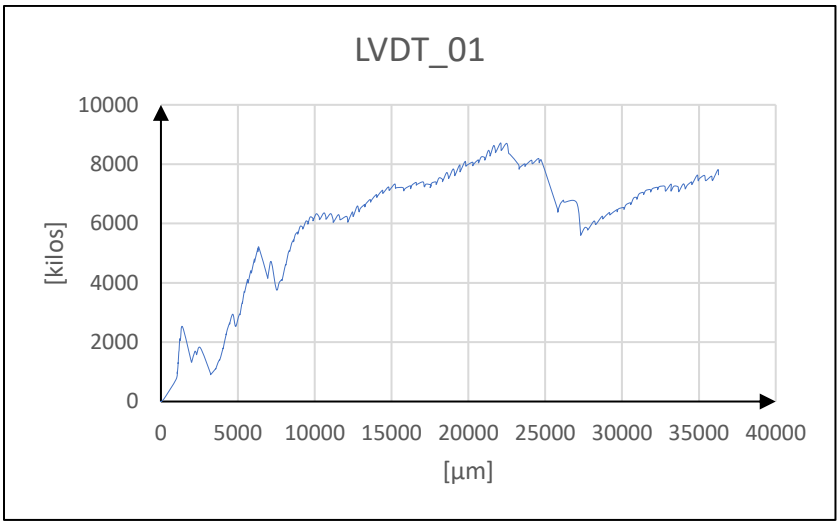

Gráfico 71: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 11_1912.

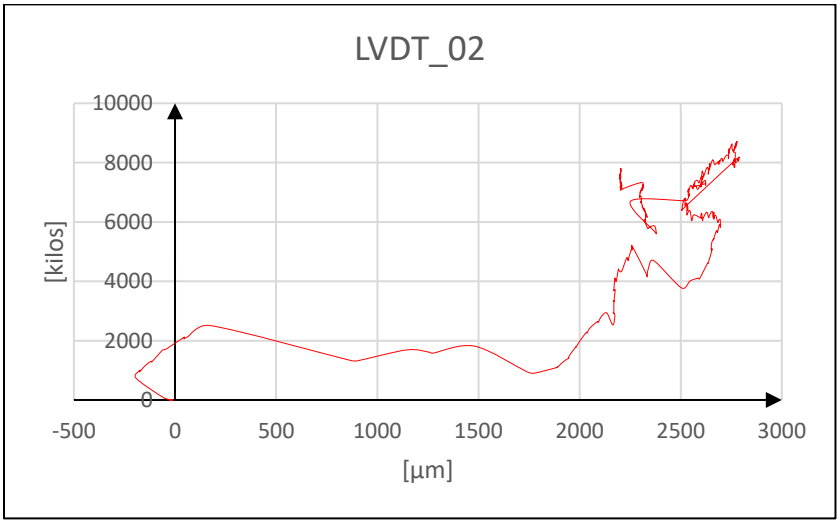

Gráfico 72: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 11_1912.

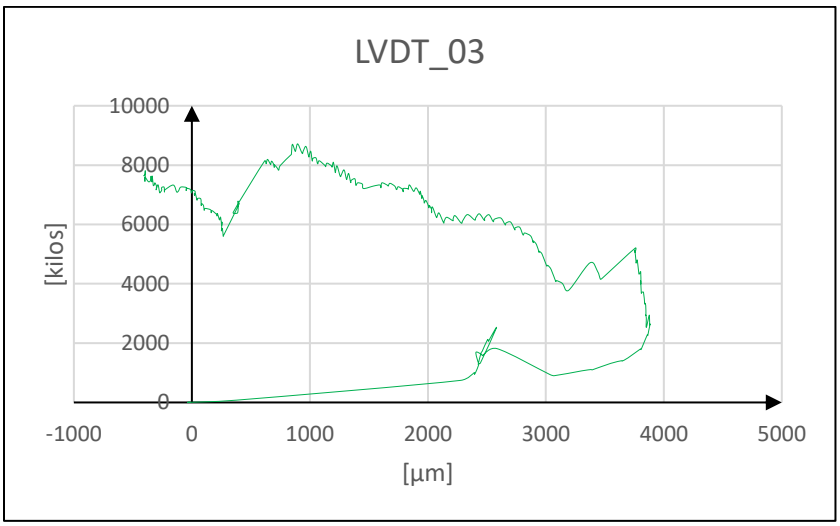

Gráfico 73: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 11_1912.

Resultados Ensayos de Paneles con 8 kg/m^3 de fibra sintética BarChip 48

- **PANEL 12_1412**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	12 1412
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	123,63
Momento unitario	18,596
Energía [J] a los 25 [mm]	1912,343
Clasificación	Clase C

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	53,53	53.534	66,3
5,0	103,53	103.527	303,2
10,0	112,48	112.482	880,2
15,0	78,81	78.814	1330,7
20,0	52,93	52.926	1670,5
25,0	44,27	44.272	1912,3
30,0	39,20	39.203	2126,0
35,0	36,91	36.908	2301,7

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

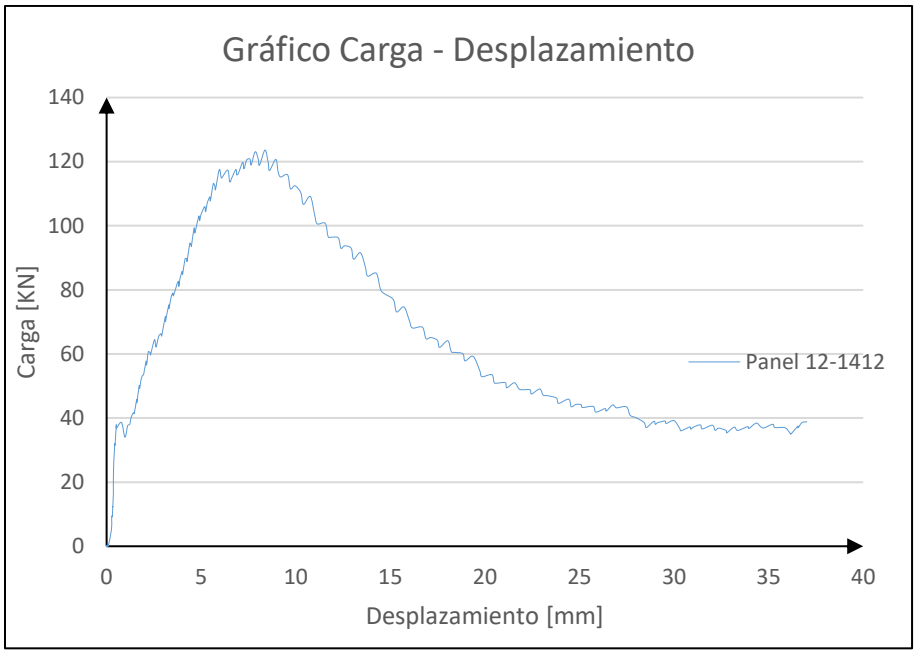

Gráfico 74: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 12_1412.

Resistencia Máxima
123,6299 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
8,3736 [mm]

Cálculo de Energía		
Desde:	Hasta:	
0	25	[mm]
1912,3433 [J]		

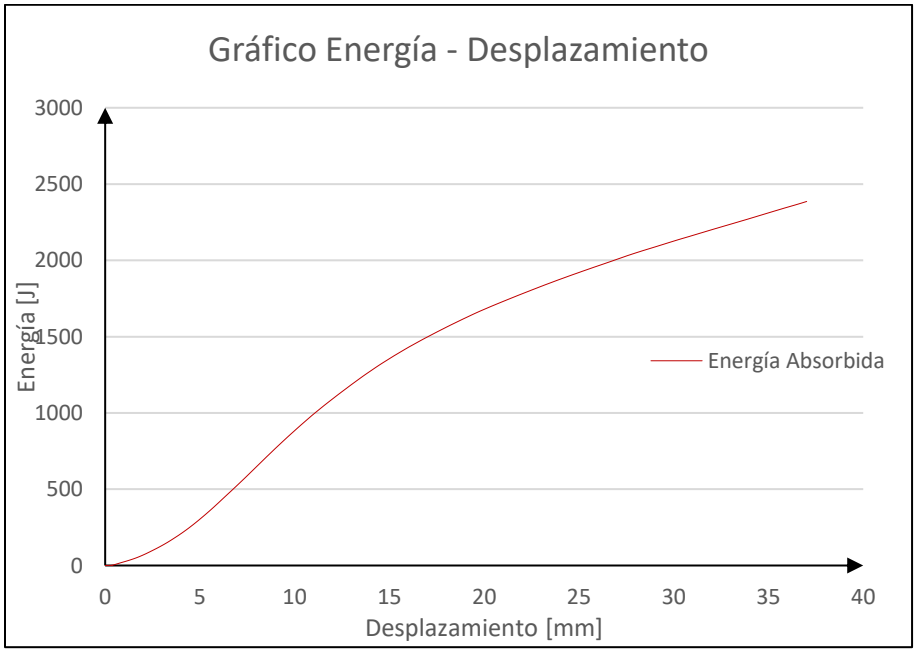

Gráfico 75: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 12_1412.

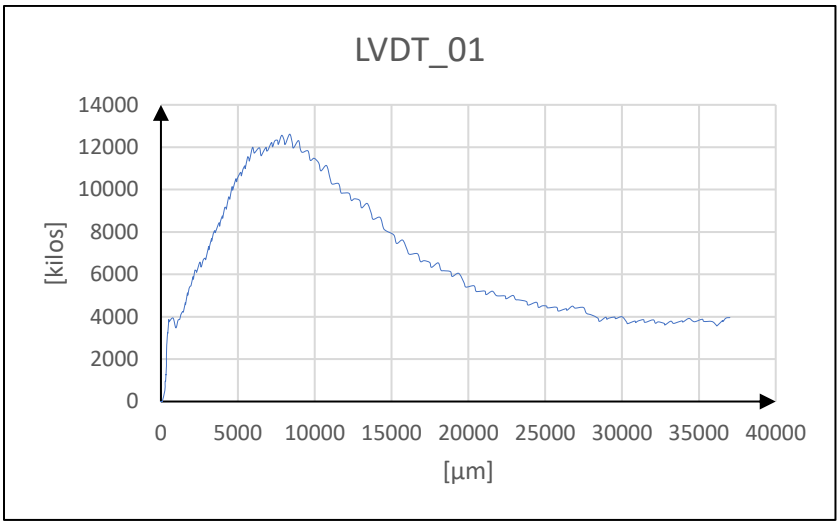

Gráfico 76: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 12_1412.

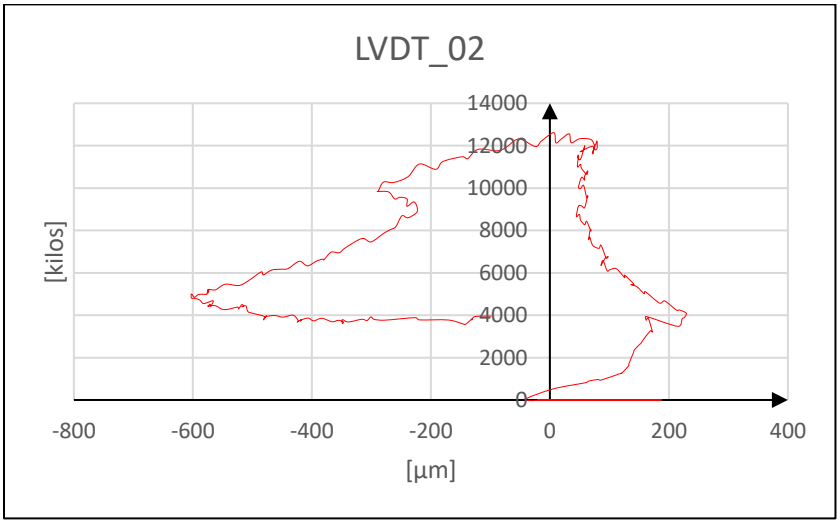

Gráfico 77: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 12_1412.

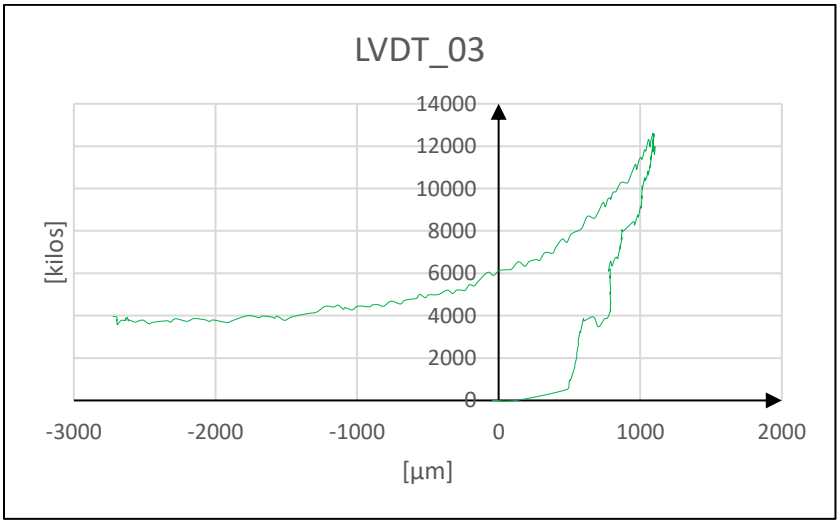

Gráfico 78: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 12_1412.

- **PANEL 13_1312**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	13 1312
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	67,12
Momento unitario	10,095
Energía [J] a los 25 [mm]	1005,140
Clasificación	Clase C

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	5,15	5.149	4,3
5,0	28,80	28.804	57,7
10,0	49,06	49.063	241,1
15,0	62,94	62.936	538,3
20,0	44,12	44.125	820,1
25,0	41,95	41.953	1005,1
30,0	22,01	22.007	1139,1
35,0	25,28	25.279	1241,6

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

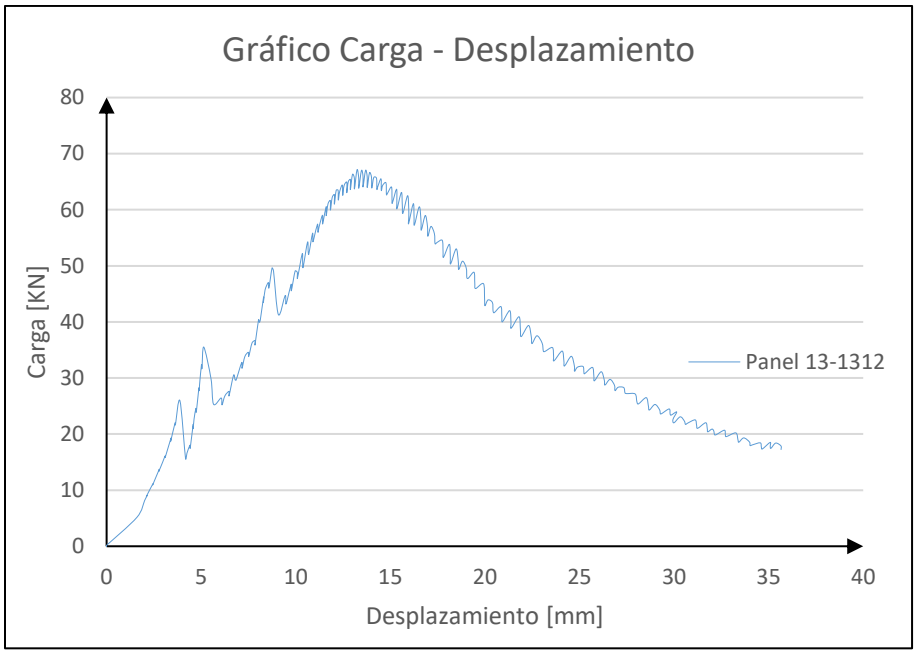

Gráfico 79: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 13_1312.

Resistencia Máxima
67,1168 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
13,2388 [mm]

Cálculo de Energía		
Desde:	Hasta:	
0	25	[mm]
1005,1403 [J]		

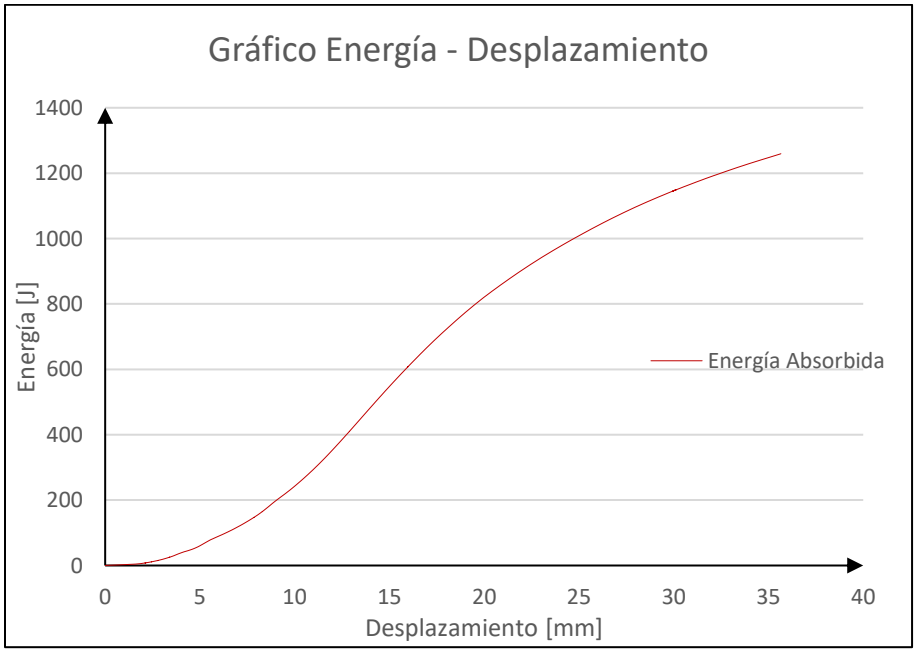

Gráfico 80: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 13_1312.

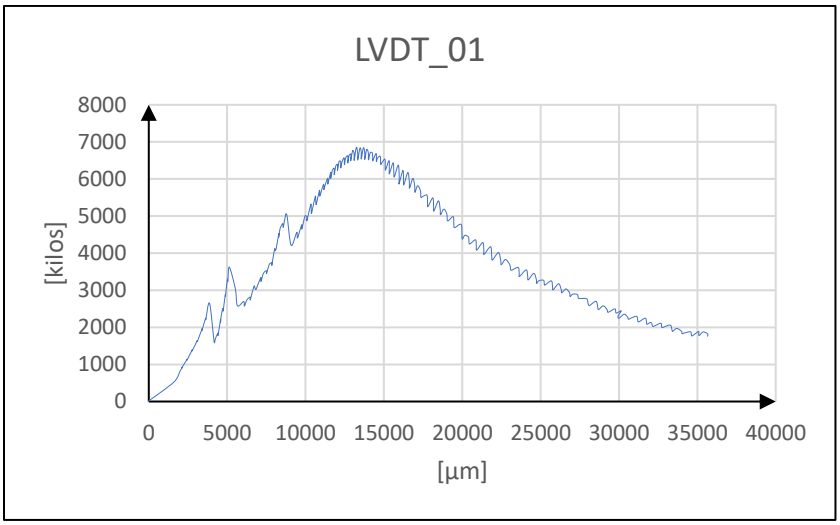

Gráfico 81: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 13_1312.

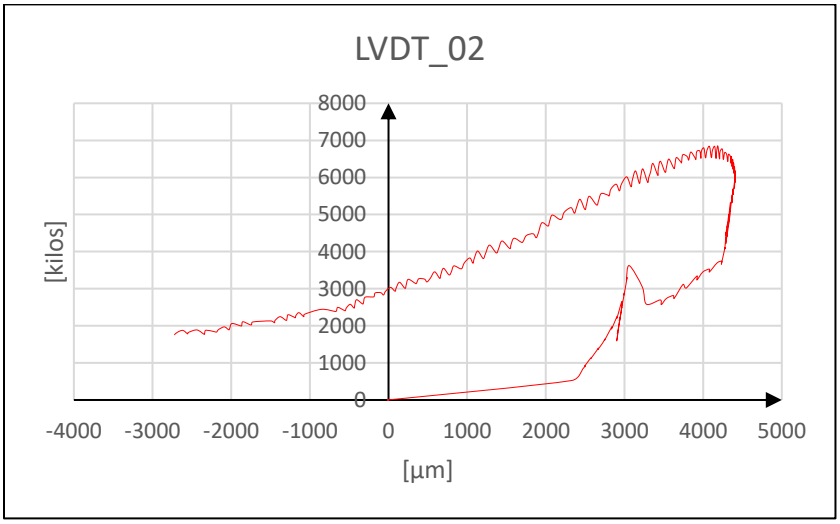

Gráfico 82: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 13_1312.

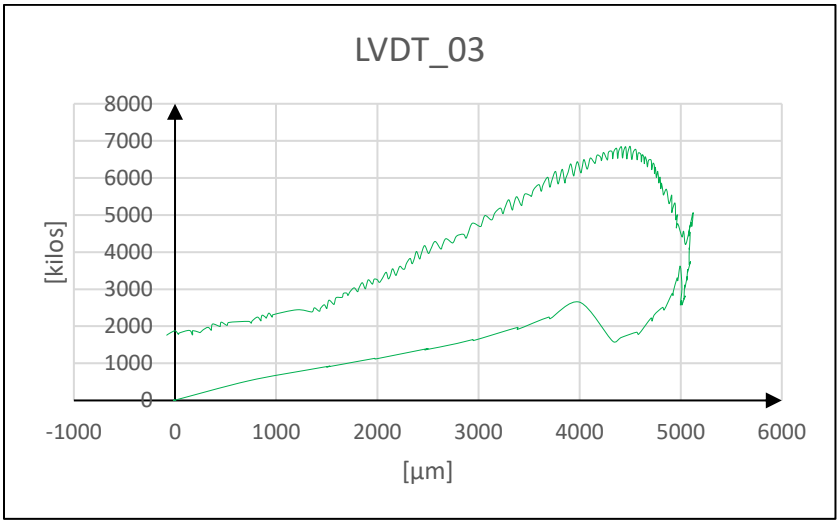

Gráfico 83: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 13_1312.

- **PANEL 14_1312**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	14 1312
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	98,38
Momento unitario	14,798
Energía [J] a los 25 [mm]	1656,682
Clasificación	Clase C

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	30,65	30.649	10,6
5,0	40,89	40.895	112,0
10,0	96,65	96.653	493,1
15,0	83,89	83.893	948,9
20,0	69,23	69.235	1321,6
25,0	62,14	62.138	1656,7
30,0	18,96	18.961	1826,2
35,0	26,33	26.332	1892,5

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

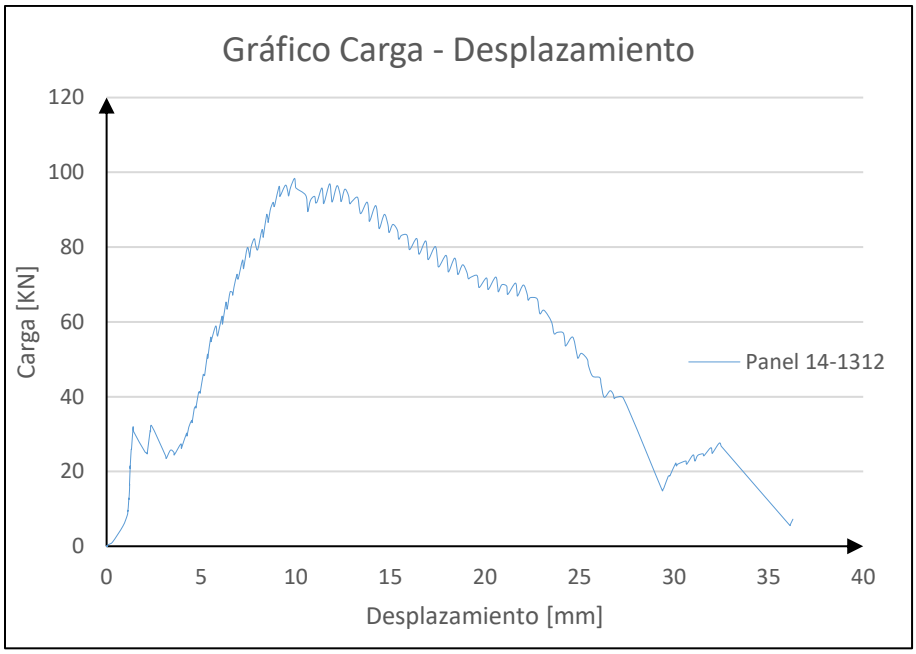

Gráfico 84: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 14_1312.

Resistencia Máxima
98,3812 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
11,7852 [mm]

Cálculo de Energía	
Desde:	Hasta:
0	25
1656,6821 [J]	

mm]

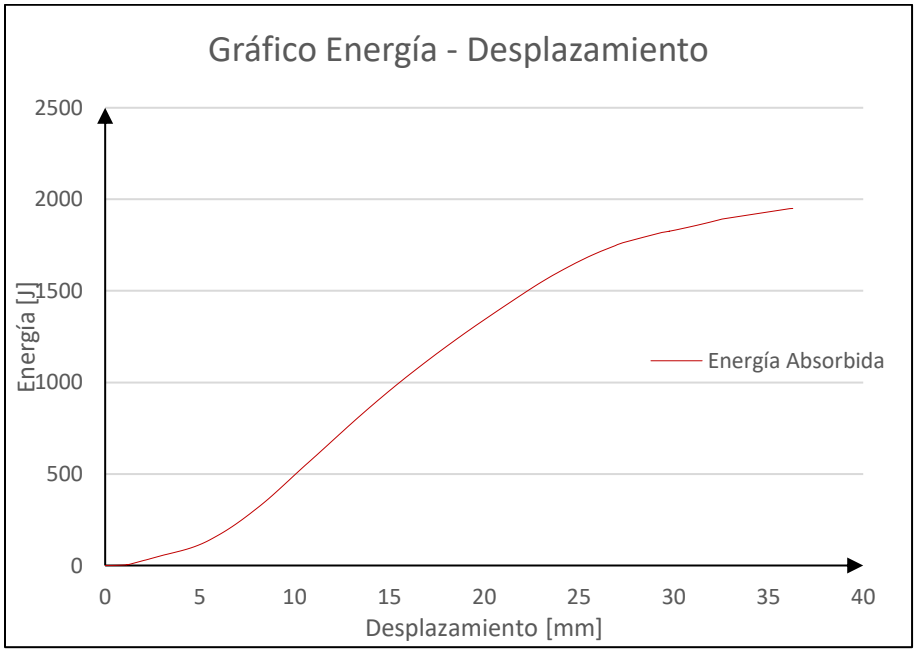

Gráfico 85: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 14_1312.

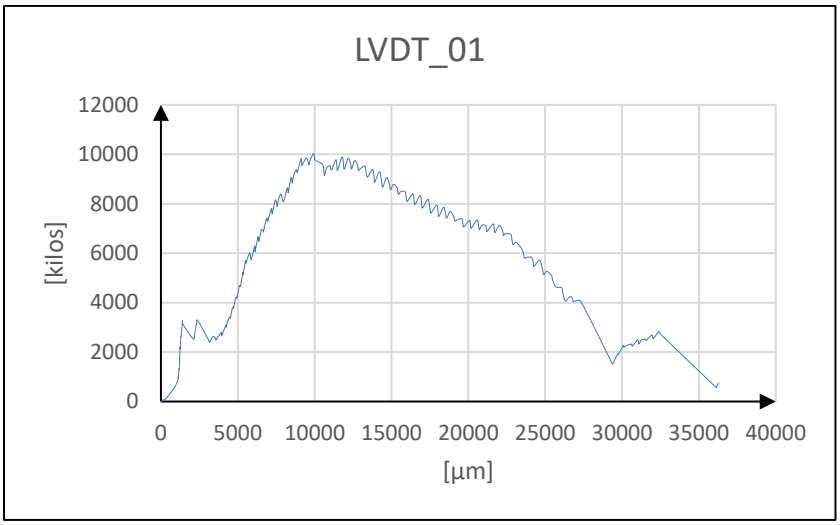

Gráfico 86: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 14_1312.

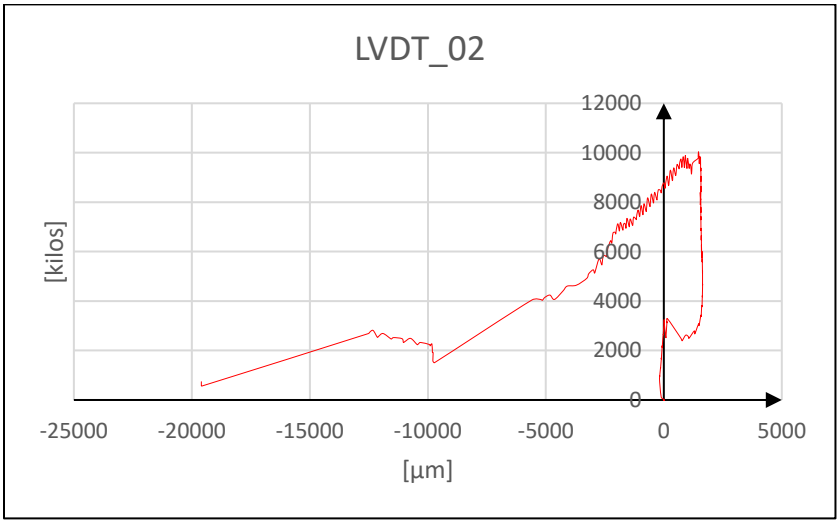

Gráfico 87: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 14_1312.

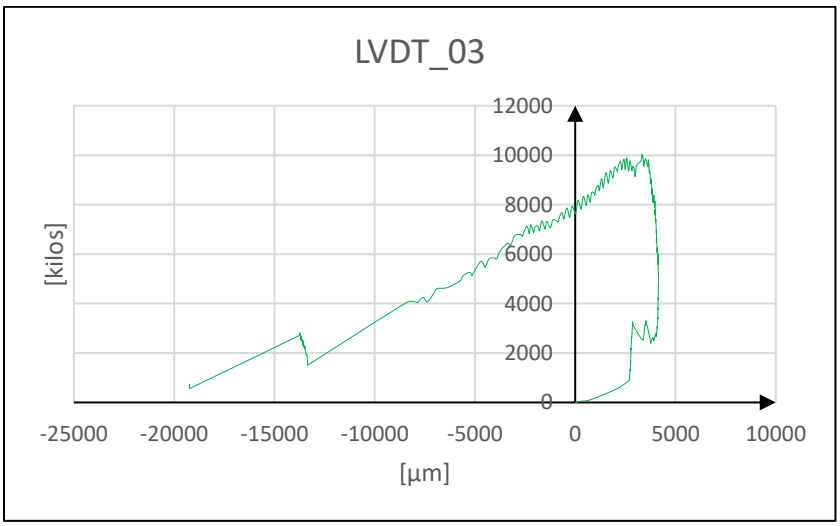

Gráfico 88: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 14_1312.

- **PANEL 15_2112**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	15 2112
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	78,96
Momento unitario	11,877
Energía [J] a los 25 [mm]	1248,567
Clasificación	Clase C

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	20,41	20.414	16,0
5,0	37,57	37.573	99,2
10,0	66,78	66.781	355,3
15,0	74,45	74.452	727,4
20,0	53,62	53.618	1054,9
25,0	26,51	26.507	1248,6
30,0	14,45	14.451	1346,0
35,0	11,42	11.418	1411,7

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

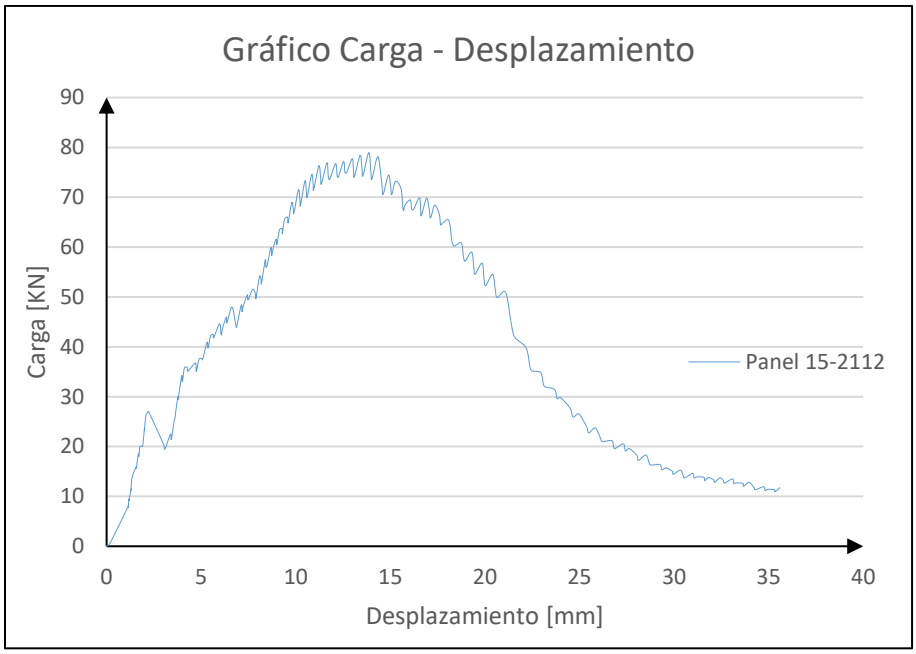

Gráfico 89: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 15_2112.

Resistencia Máxima
78,9598 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
13,8592 [mm]

Cálculo de Energía	
Desde:	Hasta:
0	25
1248,5667 [J]	

mm]

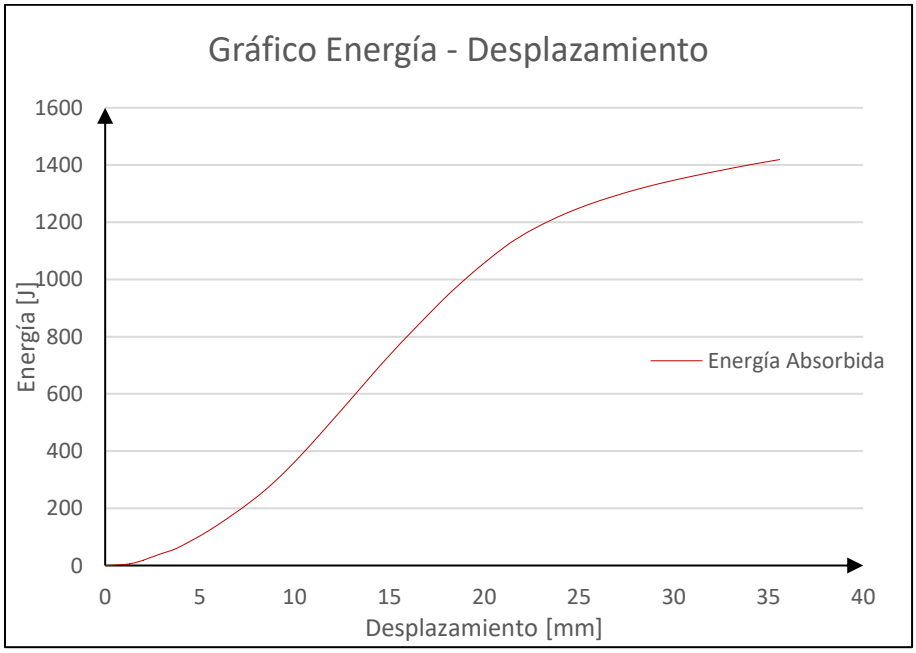

Gráfico 90: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 15_2112.

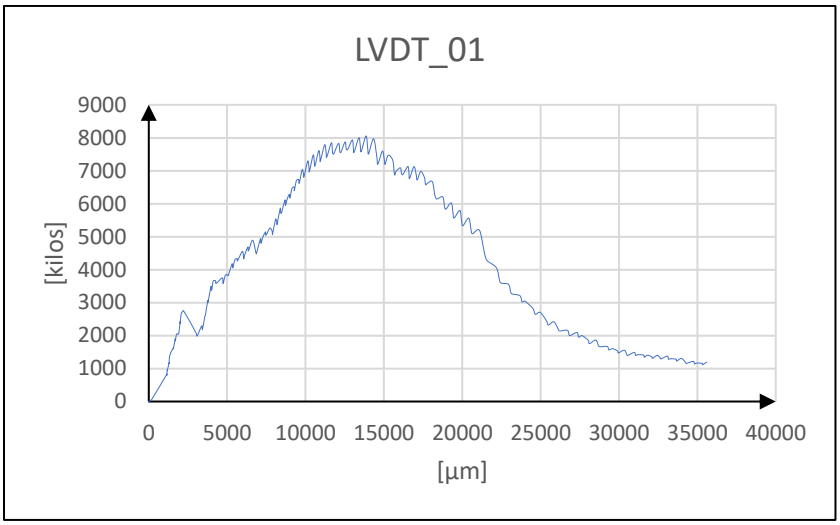

Gráfico 91: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 15_2112.

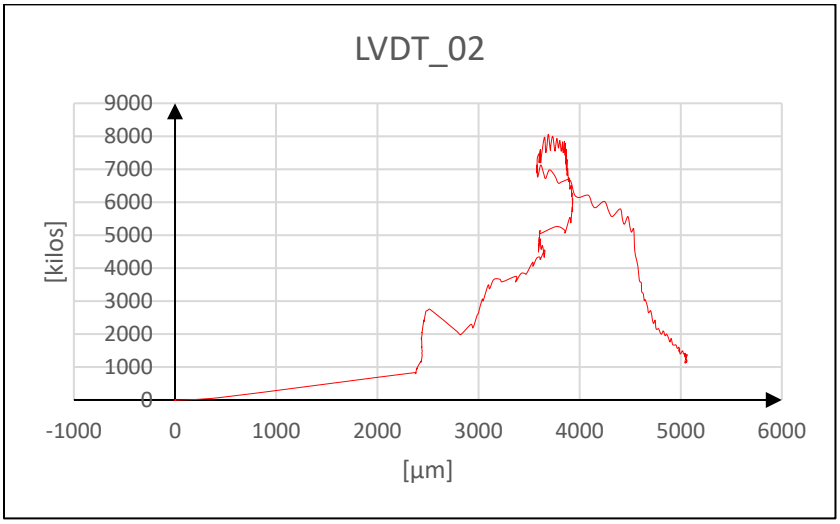

Gráfico 92: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 15_2112.

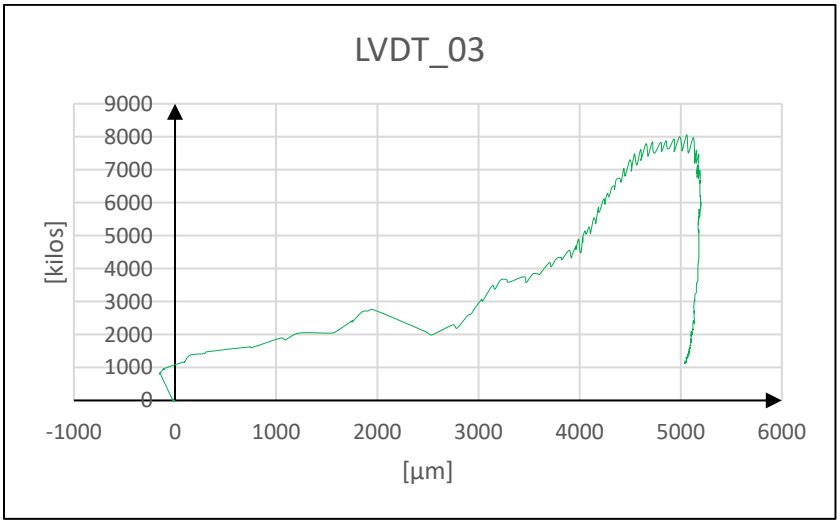

Gráfico 93: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 15_2112.

- **PANEL 16_2112**

1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.1 Ensayo de Placa de Hormigón

Panel Nº	16 2112
Ubicación	Laboratorio LEMCO
Fecha de ensayo	08-01-2018
Edad de ensaye [días]	-
Base [mm]	1.000,0
Altura [mm]	100,0
Longitud promedio [mm]	1000,0
Luz de ensayo [mm]	250,0
Carga máxima [kN]	124,83
Momento unitario	18,776
Energía [J] a los 25 [mm]	1908,975
Clasificación	Clase C

1.2 Energía [J]

Deflexión [mm]	Carga [KN]	Carga [N]	Energía [J]
2,0	22,89	22.895	18,8
5,0	40,02	40.019	118,1
10,0	111,93	111.932	514,0
15,0	108,34	108.339	1107,1
20,0	108,34	108.339	1558,0
25,0	108,34	108.339	1909,0
30,0	41,82	41.822	2144,5
35,0	80,53	80.532	2328,8

2. OBSERVACIONES

Panel diseñado en Laboratorio
Prensa ensayo: Gata Hidráulica
Tipo de control: Carga
Velocidad de deformación: Manual
Se adjunta curva carga deflexión registrada durante el ensayo
Ensayo ejecutado por: Ing. Paul Gálvez Fernández

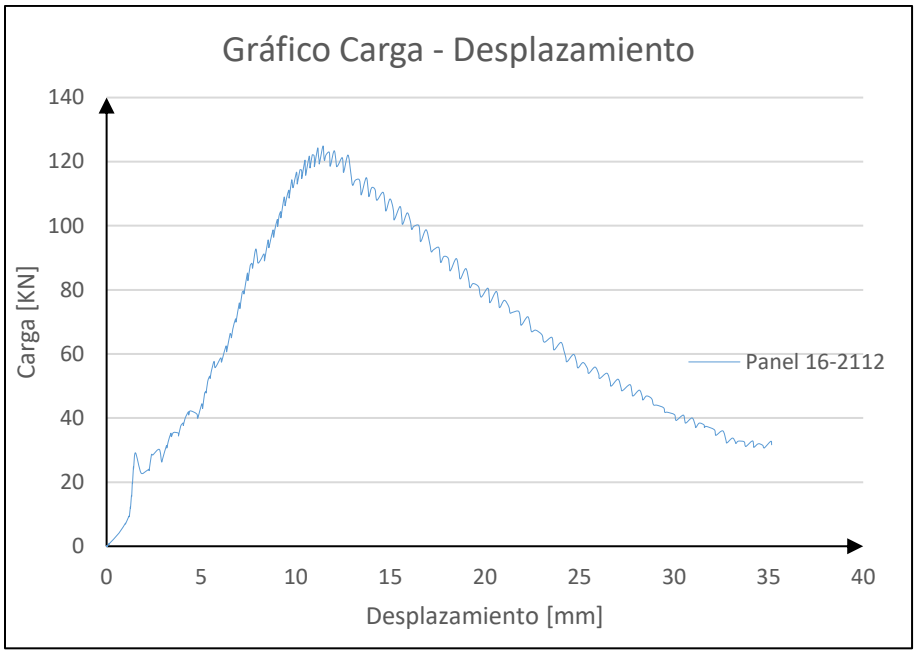

Gráfico 94: Gráfico Carga – Desplazamiento de panel 16_2112.

Resistencia Máxima
124,8283 [KN]

Deformación a Máx. Carga [mm]
11,4377 [mm]

Cálculo de Energía	
Desde:	Hasta:
0	25
1908,9747 [J]	

mm]

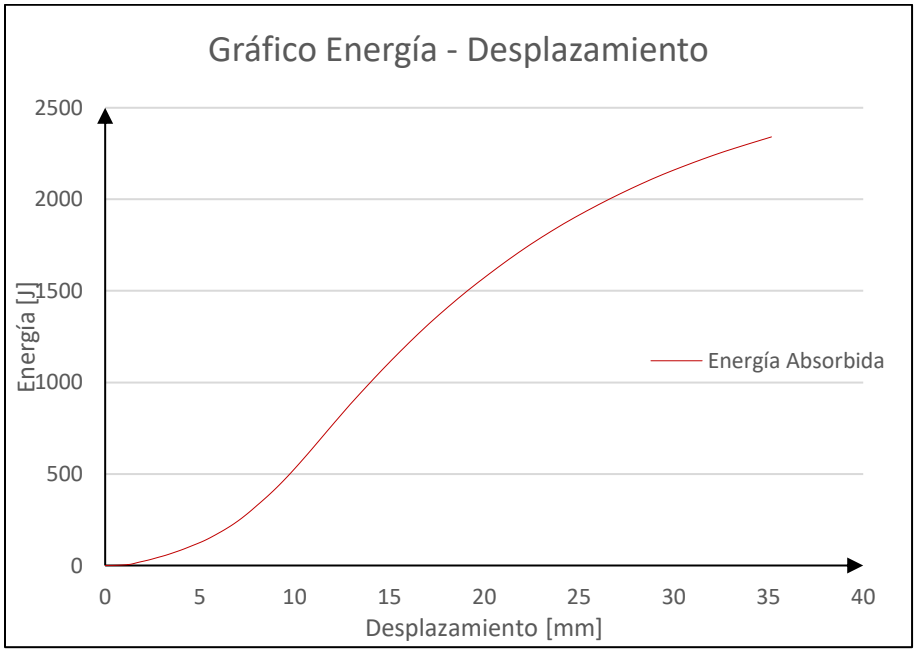

Gráfico 95: Gráfico Energía – Desplazamiento de panel 16_2112.

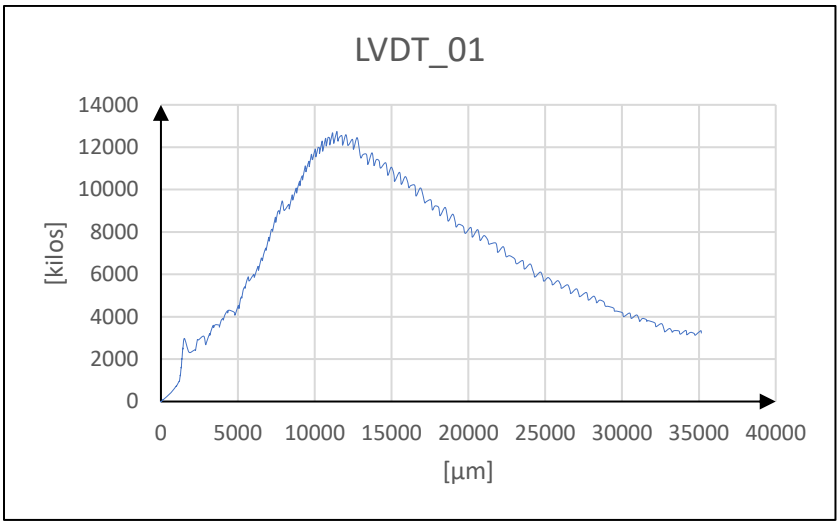

Gráfico 96: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_01 en panel 16_2112.

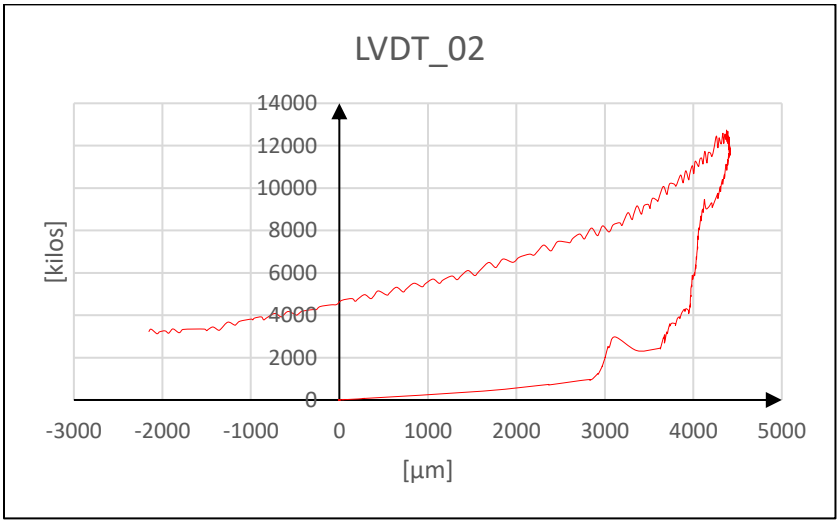

Gráfico 97: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_02 en panel 16_2112.

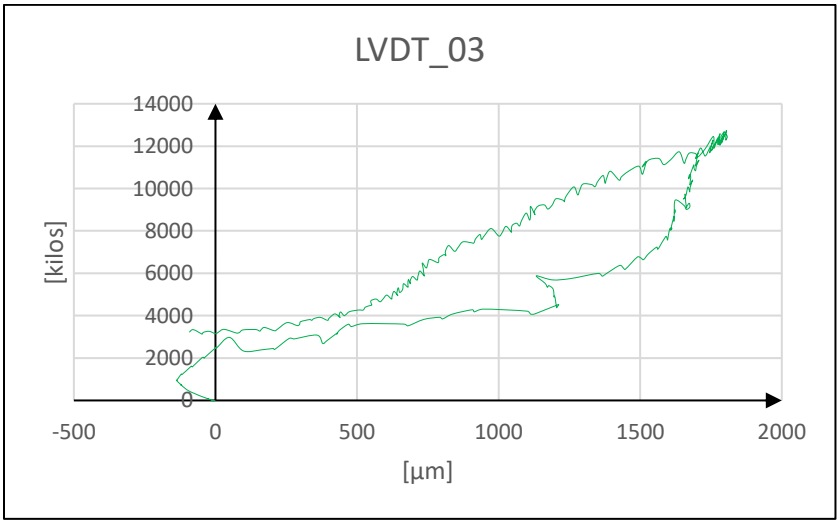

Gráfico 98: Gráfico Carga – Desplazamiento de sensor LVDT_03 en panel 16_2112.