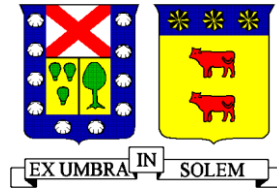


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAISO - CHILE



DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA ABSORBIDA  
DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS MEDIANTE EL ENSAYO DE  
PANELES EFNARC

NEEL ALBERTO HURTUBIA ROJAS

Memoria para optar al Título de  
Constructor Civil

Profesor Guía  
Sergio Carmona Malatesta

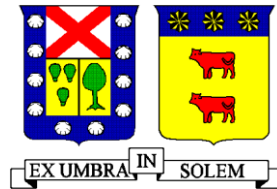
Marzo 2017



UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAISO - CHILE



DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA ABSORBIDA  
DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS MEDIANTE EL ENSAYO DE  
PANELES EFNARC

Memoria de titulación presentada por

NEEL ALBERTO HURTUBIA ROJAS

Como requisito parcial para optar al título de

Constructor Civil

Profesor Guía

Sergio Carmona Malatesta

Marzo 2017

## RESUMEN

Las especificaciones para el shotcrete reforzado con fibras a utilizar en el sostenimiento de túneles en diversos proyectos viales, mineros y de obras hidráulicas establecen la capacidad de absorción de energía determinada mediante el ensayo del panel propuesto por EFNARC en 1996, como una de las propiedades que deben cumplir los hormigones en la obra. Este ensayo consiste en someter a flexión un panel de 600 mm x 600 mm x 100 mm, el que se apoya en sus cuatro aristas y se carga en el centro hasta alcanzar una deflexión central de 25 mm.

El objetivo de la presente memoria es determinar la capacidad de absorción de energía de hormigones diseñados para shotcrete reforzados con diferentes fibras metálicas y sintéticas, dosificadas en distintas cuantías.

Para lograr el objetivo propuesto se utilizar tres tipos de dosificaciones comerciales de hormigones para shotcrete, las que se reforzaran en diferentes cuantías (25 y 40 kg/m<sup>3</sup>) para fibras metálicas y (4, 6,8 y 12 kg/m<sup>3</sup>) sintéticas, con los que se moldearan paneles que se ensayarán a los 28 días siguiendo las indicaciones establecidas en las recomendaciones EFNARC. Con los resultados de los ensayos se determinara la capacidad de absorción de energía de cada hormigón reforzado con fibras y se clasificaran según los criterios dados por la misma recomendación.

## ABSTRACTS

The specifications for the reinforced-fiber shotcrete to be used in tunnel supporting in various mining and hydraulic works projects, establish the energy absorption capacity defined by the panel testing proposed by ENFARC in 1996, as one of the properties that must have the concrete in the working progress. This test consist in bending a panel of 600mm x 600mm x 100mm, wich rest on its four edges and is loaded in the center until reaching a central deflection of 25mm

The objective of this investigation is to determinate the energy absorption capacity of shorcrete concretes reinforced with different metallic and synthetic fibers, dosed in different amounts

To make this work, three types of comercial dosages of shotcrete concrete would be used, which would be reinforced in different amounts (25 and 40 kg/m<sup>3</sup>) for synthetic and metallic fibers (4,6,8 and 12 kg/m<sup>3</sup>). Whit this, the panels will be molded to be tested at 28 days following the instructions established in the EFNARC recommendations. The results of the test will determinate the energy absorption capacity of each reinforced concrete with fibers and will be classified acording to the criteria given by the same recommendation.

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	4
ABSTRACTS.....	5
INDICE GENERAL.....	6
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	8
INDICE DE GRAFICOS.....	8
INDICE DE TABLAS.....	9
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
1.1 ANTECEDENTES GENERALES.....	10
1.2 OBJETIVOS.....	11
1.3 METODOLOGÍA.....	12
<b>2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1 HORMIGÓN PROYECTADO.....	13
2.2 HORMIGÓN PROYECTADO COMO REVESTIMIENTO.....	14
2.2.1 Usos del hormigón proyectado.....	14
2.3 LA FIBRA EN EL HORMIGÓN.....	17
2.3.1 Fibras sintéticas.....	18
2.4 TENACIDAD Y ABSORCIÓN DE ENERGÍA DE LOS HRF.....	20
2.4.1 Capacidad de absorción de energía de las fibras.....	21
2.5 ENSAYOS PARA CARACTERIZAR LOS HRF.....	23
2.5.1 Ensayos de tracción directa.....	23
2.5.2 Ensayos de tracción indirecta.....	24
2.5.3 Ensayos a flexotracción uniaxial.....	25
2.5.4 Ensayos de flexotracción biaxial en paneles.....	26
2.6 ENSAYO EFNARC, PLATE BENDING TEST (4).....	27
2.6.1 Curva desplazamiento / carga.....	28
2.6.2 Curva desplazamiento / Energía.....	29
2.6.3 Clasificación de la tenacidad EFNAR.....	29

2.6.4	Otras relaciones e indicadores .....	30
<b>3</b>	<b>OBTENCIÓN DE DATOS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE DATOS .....</b>	<b>32</b>
3.1.1	Materiales .....	32
3.1.2	Dosificación .....	33
3.1.3	Hormigonado .....	34
3.1.4	Curado .....	34
3.1.5	Ensayos .....	34
<b>3.2</b>	<b>RECOPIACIÓN DE DATOS .....</b>	<b>35</b>
3.2.1	Dosificaciones.....	36
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN DE LA TENACIDAD EFNARC .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>ANÁLISIS COMPARATIVO .....</b>	<b>45</b>
4.1.1	Fibras metálicas, 25 y 40 kg/m <sup>3</sup> .....	45
4.1.2	Fibras metálicas, 25 kg/m <sup>3</sup> .....	47
4.1.3	Fibras sintéticas, Barchip 54.....	49
4.1.4	Fibras sintéticas, 6 kg/m <sup>3</sup> .....	51
4.1.5	Fibras metálicas y sintéticas.....	53
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>56</b>
6.1	NORMAS.....	56
6.2	PUBLICACIONES.....	57
6.3	PAGINAS WEB.....	60
<b>7</b>	<b>ANEXO .....</b>	<b>61</b>
7.1	ANEXO MATERIALES .....	61
7.2	ANEXO GRAFICOS ENSAYOS .....	65

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 funcionamiento de las fibras ante la propagaciones una grieta.....	21
Ilustración 2 formas de fibras.....	22
Ilustración 3 ejemplo probeta tipo hueso de perro (Reinhardt , 1998).....	23
Ilustración 4 configuración ensayo tracción uniaxial, aplicado a cilindro con entalla.(Stang, 1999) .....	24
Ilustración 5 configuración del ensayo Barcelona. ....	24
Ilustración 6 esquema de distribución de un ensayo de viga con cargas a tercios. ....	25
Ilustración 7 esquema de distribución de un ensayo de viga con carga central y entalla. ....	25
Ilustración 8 diagrama de ensayo de panel EFNARC, medidas del apoyo y la carga central.....	27
Ilustración 10 diferentes modos de falla, con variación en el número de grietas radiales. ....	40

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1 ejemplo curvas carga - deflexión tipo. ....	28
Gráfico 2 curvas D/Q y D/E para dos ensayos.....	29
Gráfico 3 ejemplos 1 y 2, tipos de espectros en curva deflexión / carga. ....	38
Gráfico 4 ejemplos 3 y 4, tipos de espectros en curva deflexión / carga. ....	39
Gráfico 5 ejemplos 5 y 6, tipos de espectros en curva deflexión / carga. ....	39
Gráfico 6 ejemplos 7 y 8, tipos de espectros en curva deflexión / carga. ....	40
Gráfico 7 Niveles de E25 para fibras metálicas y cantidad añadida .....	41
Gráfico 8 Curvas Q/D y D/E para fibras metálicas. ....	42
Gráfico 9 Niveles de E25 para fibras sintéticas y cantidad añadida .....	44
Gráfico 10 Curvas Q/D y D/E para fibras sintéticas.....	44

Gráfico 11 Curvas Q/D y D/E correspondientes a las fibras Dramix 3D 65 35 con 25 y 40 kg/m <sup>3</sup> .....	46
Gráfico 12 Niveles de E25 Alcanzados por la fibra Dramix 3D 65 35 adhiriendo 25 y 40 kg/m <sup>3</sup> de fibra.....	46
Gráfico 13 Curvas Q/D y D/E para dosificaciones con fibra metálicas y 25 kg/m <sup>3</sup> .....	48
Gráfico 14 Curvas Q/D y D/E para fibra Barchip54 con 4,8 y 12 kg/m <sup>3</sup> .....	49
Gráfico 15 Niveles de E25 alcanzados con fibra Barchip 54 con 4,8 y 12 kg/m <sup>3</sup> .....	50
Gráfico 16 Curvas Q/D y D/E para fibras sintéticas dosificadas con 6 kg/m <sup>3</sup> .....	52
Gráfico 17 Niveles de E25 obtenidos con dos fibras, una metálica y otra sintética dosificadas con diferentes cantidades de fibras y su línea de tendencia.....	53

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de la tenacidad EFNAR.....	29
Tabla 2 dosificación "P" .....	34
Tabla 3 Resumen ensayos de paneles, fibras metálicas.....	35
Tabla 4 Dosificaciones "HP1" y "HP2".....	36
Tabla 5 Dosificaciones P , HP1 y HP2 simplificadas.....	36
Tabla 6 Resumen recopilación de datos, fibras metálicas.....	37
Tabla 7 Resumen recopilación de datos, fibras sintéticas.....	37
Tabla 8 Resultados y clasificación de la tenacidad efnarc para fibras metálicas .....	41
Tabla 9 Resultados y clasificación de la tenacidad efnarc para fibras sintéticas .....	43
Tabla 10 Comparación resultados Dramix 3D 65 35 con 25 y 40 kg/m <sup>3</sup> .....	45
Tabla 11 comparación resultados obtenidos con fibras metálicas dosificadas con 25 kg/m <sup>3</sup> .....	47
Tabla 12 Resultados para ensayos con fibra Barchip 54 con 4,8y 12 kg/m <sup>3</sup> .....	49
Tabla 13 Resultados de fibras sintéticas dosificadas con 6 kg/m <sup>3</sup> .....	51

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES GENERALES

El hormigón ha sido uno de los materiales más usados en la construcción debido principalmente a su alta resistencia a la compresión, sin embargo su desempeño ante otros requerimientos como flexión, tracción, corte, fisuración o tenacidad no son tan destacables, es por esto que el hormigón ha sido reforzado con diferentes materiales, como el acero, buscando mejorar su comportamiento otorgándole tenacidad.

El hormigón armado con barras de acero estriado complementa propiedades mecánicas del hormigón y el acero, obteniéndose un hormigón armado tenaz. Las fibras también son un refuerzo que se ha aplicado en hormigones proyectados principalmente.

El hormigón proyectado es un método de colocación del hormigón aplicado en faenas como contención de taludes y revestimientos en túneles, este método es normalmente acompañado de malla electro soldada como refuerzo y pernos de anclaje según diseño basado en los estudios de suelo. Este refuerzo de malla electro soldada ha sido complementado y hasta reemplazado por las fibras, empleándose solo la proyección de hormigón reforzado con fibras en ciertas secciones que se permite.

Existen diferentes tipos de fibras y estas se pueden clasificar principalmente por su materialidad y forma, características que influyen en su rendimiento como refuerzo. A nivel de investigación, diseño y control se aplican diferentes ensayos para caracterizar los HRF según las solicitaciones específicas que se busque analizar.

En secciones de sostenimiento de taludes y revestimiento de túneles, las cargas se transmiten al revestimiento de hormigón reforzado con fibras provocando desplazamientos y este a su vez las transmite a los pernos de anclaje, anclados al mismo terreno. El ensayo EFNARC, plate bending test 4 simula muy bien esta situación, al cargar un panel cuadrado apoyado sobre un borde también cuadrado, mediante una sección central de carga, este ensayo clasifica a los hormigones reforzados con fibras según la energía que absorben hasta una deflexión central de 25[mm].

En la siguiente investigación se ensayan, evalúan, clasifican y comparan diferentes dosificaciones de HRF con fibras metálicas y sintéticas

## **1.2 OBJETIVOS**

Determinar la capacidad de absorción de energía de hormigones reforzados con fibras dosificados para uso en hormigón proyectado, empleando recomendaciones EFNARC 1996.

Analizar las curvas que se extraen de los ensayos.

Clasificar el tipo de absorción de energía según especificaciones EFNARC.

Comparar los resultados obtenidos por las diferentes dosificaciones.

### 1.3 METODOLOGÍA

Se investiga sobre las propiedades mecánicas del funcionamiento del hormigón proyectado reforzado con fibras dando énfasis en el periodo de post fisuración y en la tenacidad, propiedad que se puede evaluar mediante el ensayo de panel EFNARC.

La primera parte experimental consiste en elaborar las probetas tipo panel con las diferentes dosificaciones a investigar en las que se emplea fibras metálicas, y existe una segunda etapa que consiste en recopilar datos de investigaciones previas en los que se ha empleado este ensayo.

En la primera fase se elaboran tres grupos de paneles con dosificación base “P”, estos paneles serán reforzados con dos diferentes tipos de fibras metálicas cortas tipo 3D, las que son fabricadas por Bekaert. La primera de las fibras es la fibra comercializada con el nombre de “Dramix 3D 65/35”, la que se estudiará en dos grupos agregando fibra en cantidades de 25 y 40 kg/m<sup>3</sup>. La segunda fibra se conoce por el nombre de “LH 35 07” y se estudiara en una dosificación que contiene 25 kg/m<sup>3</sup>, en estos grupos se ha utilizado un hormigón base denominado “P”.

En la segunda etapa de recopilación de datos, las fibras aplicadas son metálicas y sintéticas. La fibra metálica es la “Dramix 3D 65/35” con 25 kg/m<sup>3</sup> utilizando hormigón base “HP1” y “HP2”. Entre las fibras sintéticas esta la fibra “Barchip 54” con tres grupos de 4, 8 y 12 kg/m<sup>3</sup> de fibra, utilizando hormigón base “P” y otro grupo con 6 kg/m<sup>3</sup> de fibra utilizando “HP1” como base, otra fibra dosificada en 6 kg/m<sup>3</sup> es la “Enduro” con base “HP1”. Se analizan 6 grupos más variando entre tres fibras sintéticas diferentes, “Barchip 3000 dt”, “Istrice 55” y “Istice 55/ 0,91 ISHOTS”, cada una en dosificaciones “HP1” y “HP2”, con 6 kg/m<sup>3</sup> de fibra en cada grupo.

Previo a al análisis se presenta una descripción de las curvas obtenidas en este ensayo y modo de falla de las probetas tipo panel, para concluir con el análisis, clasificación y comparación de los niveles de energía alcanzados por diferentes tipos de dosificaciones base en los que se aplican fibras de materialidad distinta y en variadas cantidades adheridas.

## **2 MARCO TEÓRICO**

### **2.1 HORMIGÓN PROYECTADO**

Según la Guía chilena del hormigón proyectado, el término “Hormigón Proyectado” se ha adoptado en Chile para la descripción del “Shotcrete” de acuerdo con la definición del “American Concrete Institute” (ACI), organización que lo define como un “hormigón colocado por proyección neumática de alta velocidad desde una boquilla”

Las especificaciones Europeas EFNARC, para el hormigón que se coloca neumáticamente sobre una superficie, definen al hormigón proyectado como una mezcla de cemento, árido y agua proyectado neumáticamente. Esta mezcla normalmente lleva aditivos, también puede incluir adiciones, fibras o combinaciones de estas.

La Guía chilena del hormigón proyectado clasifica en dos tipos al hormigón , según su proceso de proyección .El Hormigón Proyectado podrá ser por mezcla seca o mezcla húmeda, y en general deberá cumplir con lo estipulado en ACI 506R-05 Guide to Shotcrete y ACI 506.2-95 Specification for Shotcrete.

Shotcrete por vía húmeda es una técnica en que el cemento, áridos, agua y otros componentes se procesan por lotes y se mezclan juntos en una planta o equipo móvil de mezclado, para luego transportarlos y descargarlos a una bomba, dónde la mezcla se transporta a través de un sistema de tuberías y mangueras a una boquilla desde la cual se proyecta neumáticamente sobre el sustrato. El aire comprimido se introduce en el flujo en la boquilla con el fin de proyectar el material hacia el sustrato. En este hormigón proyectado se incorpora el aditivo acelerante antes de ingresar a la boquilla

Shotcrete por vía seca es una técnica donde el cemento y agregados se procesan por lotes y se mezclan mecánicamente sin hidratar el cemento. El material es transportado neumáticamente a través de mangueras o tuberías a la boquilla, donde se introduce el agua de hidratación antes de proyectar. Este hormigón proyectado también puede incluir aditivos o fibras o combinación de ambos.

## **2.2 HORMIGÓN PROYECTADO COMO REVESTIMIENTO**

Las especificaciones Europeas EFNARC, para el hormigón que se coloca neumáticamente sobre una superficie, clasifican al hormigón proyectado por su aplicación, las que pueden ser, estructural, apoyo a la roca y excavación, soporte de corto plazo, mejoras de superficie y reparar.

### **2.2.1 Usos del hormigón proyectado**

El hormigón proyectado juega hoy en día un papel esencial en la industria de la construcción civil y minera. Es un material versátil, que puede ser fácil y rápidamente aplicado transformándose en un medio rentable para la construcción. El hormigón proyectado es una forma eficiente de colocación de hormigón y posee excelente adherencia a múltiples sustratos, incluyendo roca, hormigón, albañilería y acero. Se adapta a diferentes aplicaciones en soporte de suelo, revestimientos y edificación. La aplicación del hormigón proyectado reforzado con fibras en contención de taludes y sostenimiento de túneles tiene ventajas en comparación con el uso de hormigón proyectado reforzado con malla electro soldada, una de ellas es que se puede llegar a ahorrar la faena de enfierradura, al no llevar esta, además el hormigón proyectado reforzado con fibras se adapta a todos los relieves del terreno a revestir. Y dependiendo del tipo de fibra, cantidad de fibra y espesores de la masa se puede llegar hasta sustituir el acero por fibras de acero o de polímeros que podrían ser reciclados.

Las ventajas en comparación con el hormigón moldeado son muchas, por ejemplo, la colocación y compactación se efectúan en una sola etapa, no se necesita moldajes, permite un rápido proceso de colocación y puesta en marcha acortando los ciclos de trabajo.

Tras la aplicación y después de un período inicial de fraguado y de rigidización, el hormigón proyectado proporciona un soporte pasivo temprano al terreno. El hormigón proyectado, correctamente diseñado y aplicado, permanece en su lugar sin hundimiento inclusive en paredes verticales o aplicaciones sobre cabeza. Es muy adecuado en áreas de acceso limitado, usando equipos pequeños, móviles y portables. El hormigón proyectado puede ser aplicado a través de equipos operados remotamente o por pitoneros. Los equipos remotos o telecomandados son usados generalmente en aplicaciones subterráneas, lo que permite una operación segura manteniendo alejado al

operador del sector sin fortificar. Estas ventajas han dado lugar a que el hormigón proyectado sea usado cada vez más y con variadas aplicaciones, algunas de las cuales se describen a continuación, agrupadas en áreas generales de aplicación.

Tunelería, en tunelería, el hormigón proyectado puede ser usado como revestimiento final o como soporte temporal. En revestimientos finales es usado en combinación con pernos de anclaje, cables, hormigón con fibras y marcos de acero (donde se requiera un soporte adicional). Los espesores del hormigón proyectado varían desde 50 mm hasta 500 mm, pudiendo ser aplicados en múltiples capas.

Soporte de suelo en minería, las primeras aplicaciones mecanizadas de hormigón proyectado en minería fueron efectuadas sobre mallas y pernos instalados en áreas de suelos de mala calidad, donde la malla era inadecuada y requería la colaboración de pernos. Sin embargo, desde la década de los noventa, el hormigón proyectado reforzado con fibra (HRF) está reemplazando progresivamente a la malla de acero como principal método de soporte de suelo en la minería subterránea debido a las siguientes razones: El nivel del soporte de suelo logrado con HRF y el post apernado excede en muchos casos significativamente el nivel de soporte logrado con pernos y mallas. Se produce un incremento en la seguridad al no tener la exposición de personas en zonas no fortificadas. Aumenta la velocidad en el desarrollo de la mina al usar hormigón proyectado. Se reduce significativamente la necesidad de rehabilitación del sistema de soporte del suelo. Ha aumentado la disponibilidad de equipos mecanizados para la proyección de hormigón

Se puede mejorar el desempeño de las capas de hormigón proyectado con un aumento de los espesores de las capas aplicadas y/o con un incremento de la dosis de fibra. Por lo tanto, un mismo sistema de aplicación puede hacer frente a una serie de diferentes requisitos de diseño. Hoy en día, en las faenas subterráneas de la gran minería y obras civiles en Chile, se utiliza una combinación de hormigón proyectado, fibras, mallas y pernos de anclaje.

Edificación, el hormigón proyectado tiene aplicación en la construcción de edificios en los muros estructurales en subterráneos.

Excavaciones para subterráneos y estacionamientos, el hormigón proyectado se aplica cuando se requieren cortes verticales. Junto con los pernos de anclaje se logra

avanzar con los muros a medida que avanza el proceso de excavación, dejando un muro permanente que puede ser usado estructuralmente.

Estructuras civiles complejas, el hormigón proyectado es muy eficiente en estructuras que poseen geometrías complejas, incluyendo reducción de sección o secciones curvas.

Canales, embalses y aliviaderos, los embalses y canales pueden ser construidos excavando hasta la forma requerida y luego proyectando hormigón directamente sobre el suelo o roca expuesta. El hormigón proyectado tiene la capacidad de ser colocado, compactado y afinado en un solo paso, si es necesario en casos que se requiera un acceso rápido, variedad de formas o revestimientos muy gruesos,

Cavernas, en algunos países se ha hecho común la construcción de cavernas subterráneas para almacenar productos o materias primas a granel y materiales como petróleo, gas, aguas residuales y desechos nucleares, las que han sido construidas usando un revestimiento permanente de hormigón proyectado.

Piscinas y skatepark, estas estructuras recreacionales son buenos ejemplos de la diversidad de formas que pueden construirse con hormigón proyectado. Estas estructuras son construidas excavando acorde a la forma requerida y reforzando según sea necesario con proyección de hormigón.

Acabados decorativos, el hormigón proyectado es muy adecuado para generar formas libres con un acabado que puede ser realizado en el mismo sitio.

Relleno de hundimientos o superficies sobre-excavadas

Reparación, restauración y reforzamiento, el hormigón proyectado es usado ampliamente en la rehabilitación de estructuras dañadas.

Protección contra el fuego, el uso del hormigón proyectado como material para la protección contra el fuego es común, y puede ser una excelente solución especialmente en plantas químicas y refinerías. Este proceso puede incluir el revestimiento de estructuras de acero o un incremento en los espesores del hormigón de recubrimiento. Por otra parte, el hormigón proyectado puede ser diseñado incorporando micro-fibras sintéticas para minimizar el “desconchamiento” bajo condiciones de calor extremo “spalling”. Las altas temperaturas derriten estas microfibras permitiendo que el vapor de

agua viaje a través de los vacíos que quedan y se disipe en la superficie, por ende, reduciendo la presión interna y el “desconchamiento” posterior.

Estructuras contra explosiones El hormigón proyectado ha sido usado por la industria militar para construir hangares e instalaciones a prueba de bombas.

### **2.3 LA FIBRA EN EL HORMIGÓN**

Las fibras se definen como “filamentos delgados y alargados en la forma de haz, malla o trenza de cualquier material natural o fabricado que puede ser distribuido a través del concreto en estado fresco”.

Desde los años 70, se han empleado las fibras metálicas como adición al concreto, y desde entonces se han realizado gran cantidad de estudios que han confirmado que las fibras confieren mejores propiedades mecánicas a la mezcla, como lo es la tenacidad, resistencia a la flexión, control del agrietamiento, entre otros. El incremento en dichas propiedades se adquiere con un impacto en la manejabilidad de la mezcla, la cual disminuye con el incremento de fibras en la mezcla; los procesos de mezclado, compactación y colocación se vuelven más exigentes, los cuales son determinantes para garantizar la correcta distribución aleatoria de las fibras en toda la mezcla. La dosificación, relación de aspecto y tipología de las fibras son variables que determinan notablemente la mejora en las propiedades anteriormente mencionadas.

La fibra de refuerzo comprende elementos discretos cortos, distribuidos uniformemente a través de la masa del hormigón proyectado. Las fibras individuales se fabrican típicamente de acero o de polímeros, aunque en aplicaciones especializadas se han utilizado fibras sintéticas resistente a los álcalis. Las fibras pueden ser introducidas al hormigón proyectado por razones distintas al refuerzo estructural, tales como el control del rebote y de la fisuración por retracción plástica y para mejorar la resistencia al fuego. Cabe mencionar que uno de los argumentos de los diseñadores que se han resistido al uso de la fibra pasa por la dispersión uniforme de las fibras en la masa de hormigón. Sin embargo, otros estudios han mostrado que un buen diseño de mezcla y un adecuado carguío de este producto permiten una homogénea dispersión en la masa.

El rol estructural de la fibra de refuerzo en el hormigón proyectado es proporcionar tenacidad, La tenacidad describe la capacidad del hormigón proyectado reforzado con fibras para mantener y potencialmente redistribuir las cargas desde que la fisuración comienza. En un diseño determinista, el sistema estructural con hormigón proyectado se diseña de manera idealizada para no agrietarse. Sin embargo, debido a la complejidad y la incertidumbre inherente a algunos sistemas estructurales, especialmente cuando está implicado el soporte del suelo, sigue existiendo la posibilidad de una subestimación de las solicitaciones, por lo que la capacidad de carga después de la fisuración es crucial para mantener la seguridad y capacidad de servicio global del sistema. La tenacidad se cuantifica en términos de la capacidad de carga o de la absorción de energía post agrietamiento, la que se evalúa a través de vigas o paneles. Las mediciones de la capacidad de carga posterior a la fisuración, en una viga o panel de prueba se utiliza para cuantificar la capacidad del hormigón con fibra agrietado para soportar las solicitaciones de carga. Existen varias herramientas de diseño geotécnico que sirven como orientación sobre el valor de tenacidad que se debe especificar para aplicaciones en minería u obras civiles subterráneas.

### 2.3.1 Fibras sintéticas

Las fibras sintéticas son elementos que se agregan a la mezcla del hormigón capaces de aportarle características especiales o variar sus propiedades mecánicas. Esto, debido a que son fabricadas a partir de materiales sintéticos que pueden resistir la alcalinidad del hormigón y las condiciones adversas del ambiente.

Las fibras sintéticas no sufren procesos de oxidación, son estables químicamente frente a todos los ataques y garantizan la durabilidad del hormigón de manera más efectiva que la fibra metálica, que tiene una baja resistencia a la corrosión cuando está expuesta a ambientes agresivos. No obstante sus propiedades, este elemento igualmente se degrada bajo la acción de los rayos UV y, algunas de ellas, tienen un punto de vitrificación a  $-20^{\circ}\text{C}$ , dependiendo del material con el que estén fabricadas. Además, las fibras incluso comienzan a perder sus propiedades físicas y mecánicas a temperaturas superiores a  $50^{\circ}\text{C}$  hasta desintegrarse completamente a los  $160^{\circ}\text{C}$ .

### 2.3.1.1 *Clasificación de las fibras sintéticas*

Dependiendo de su diámetro, las fibras sintéticas se clasifican en microfibras, con diámetro menor a 0,3mm., y en macrofibras, las que tienen un diámetro igual o superior a 0,3 mm. En la foto 2 se presentan ambos tipos.

La macrofibra, denominada fibra sintética estructural, tiene la capacidad de armar estructuralmente el hormigón, permitiendo eliminar las mallas de acero electro soldada y reducir la armadura en determinadas condiciones. La incorporación de estas fibras le confiere al hormigón ductibilidad, que le permite deformarse conservando una buena resistencia; y tenacidad, dándole la capacidad de oponerse a la propagación de la fisura disipando energía de deformación.

La longitud de la macrofibra varía entre los 20 y los 60 mm., y la elección de la misma para el empleo en el hormigón está directamente relacionada con el tamaño máximo de este. Para reemplazar la malla electro soldada por la fibra sintética estructural y/o reducir la armadura, se debe evaluar la particularidad del proyecto y verificar el cálculo estructural del elemento y/o de la estructura en general.

En tanto, las microfibras en el hormigón tienen un uso no estructural y se emplean, principalmente, para el control de fisuración por retracción plástica, protección pasiva contra el fuego y durabilidad.

En general, estas fibras se incorporan al hormigón durante la preparación de la mezcla, de manera que queden distribuidas aleatoriamente en la masa del mismo. En el caso de la adición de microfibra, no estructural, no se requiere ningún cambio en el diseño de la dosificación del hormigón, sin embargo, para determinar la dosificación de la fibra sintética estructural, se requiere evaluar las características estructurales del mismo.

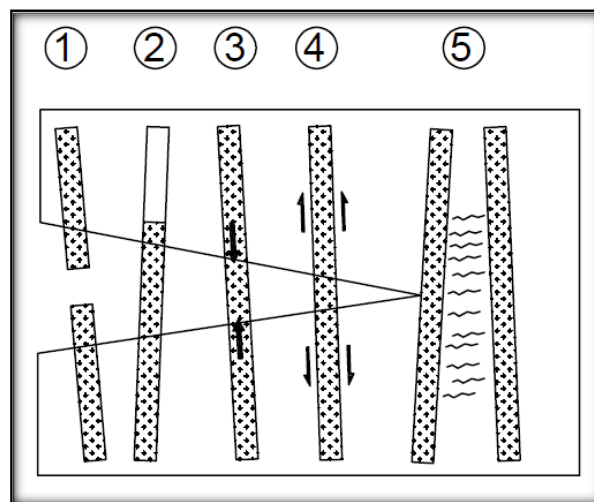
## 2.4 TENACIDAD Y ABSORCIÓN DE ENERGÍA DE LOS HRF

Es una propiedad relevante cuando se espera que la estructura esté sometida a deformaciones o desplazamiento importantes después del agrietamiento. La tenacidad puede evaluarse en términos de capacidad de absorción de energía, normalmente entre el inicio de la carga y una deflexión especificada en un ensayo de viga o panel y se determina como el área bajo la curva carga/deflexión para una probeta. Es una propiedad que se ve afectada principalmente por el contenido y tipo de fibra, pero también puede ser fuertemente influenciada por la resistencia y la calidad de la matriz de hormigón proyectado. Las unidades de medida son Joules (Nm o KNmm). En Australia y América del Norte la prueba del panel redondo, como se describe en la norma ASTM C155017, es el método de prueba más común para medir la tenacidad del hormigón proyectado reforzado con fibras. En otras partes del mundo, especialmente en Europa occidental, se utilizan principalmente la Norma Europea EN 14488-318 para vigas o la norma EN 14488-5 para paneles, estos ensayos se conocían con anterioridad como los ensayos de vigas y de paneles de EFNARC. Existe evidencia de correlaciones útiles entre los valores de tenacidad y absorción de energía usando los diversos métodos de ensayo, siempre que el espesor de las probetas sea el mismo. El sistema de calidad de la roca "Q" de uso general para la determinación empírica de soporte en roca se actualizó en 2002 para incluir valores de tenacidad, según ensayos en panel EN 14488-5 para hormigón proyectado reforzado con fibras utilizados en los revestimientos. Los valores de tenacidad necesarios para un proyecto dependen de los requisitos de la aplicación de que se trate, de los valores y método de ensayo adecuado deben ser especificados por un ingeniero o experto geomecánico. En aplicaciones de minería, donde no solo se permiten deformaciones y anchos de fisura importantes, sino que a veces es visto como un indicador de la conveniencia económica del sistema de soporte, es una práctica común el especificar el comportamiento en términos de resistencia a partir de pruebas de panel.

#### 2.4.1 Capacidad de absorción de energía de las fibras

La tenacidad es la propiedad del concreto que mejor se ve influenciada por la adición de fibras, pues son éstas las que permiten que el concreto soporte cargas luego de que el agrietamiento de la matriz cementicia ha iniciado. Gran cantidad de estudios han comprobado este incremento, con la elaboración de ensayos en probetas como los son placas circulares, placas cuadradas y vigas, mediante metodologías estandarizadas como los procedimientos descritos en las recomendaciones EFNARC y normas ASTM y EN.

Un parámetro que influye en gran medida en la mejora de la tenacidad del concreto y que es de gran importancia en el momento de seleccionar un tipo de fibra determinado, corresponde al anclaje que la fibra tenga con la matriz de concreto, ya que la fibra es la encargada de resistir el agrietamiento. Esta debe ser capaz de soportar los esfuerzos de tensión, por lo tanto, su composición, dimensiones, y forma deben asegurar un buen anclaje y adherencia con la masa de hormigón. A continuación se explica mediante una imagen y posterior descripción el comportamiento general de las fibras actuando ante la propagación de una grieta.



*Ilustración 1 funcionamiento de las fibras ante la propagaciones una grieta.*

Los mecanismos de absorción de energía fibra/matriz, descritos por Zollo en 1996 corresponden a:

**1. Falla de la fibra:** En este caso, la fibra absorbe la energía llegando a su resistencia máxima, resultado de una buena adherencia con la matriz cementicia.

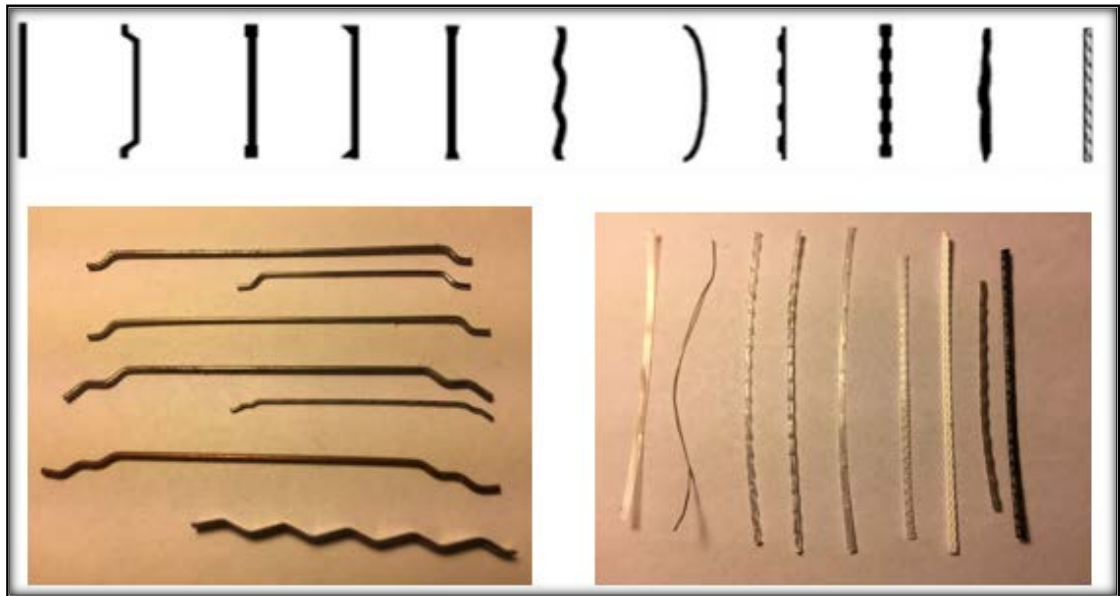
2. *Desprendimiento de la fibra:* La fibra pierde la adherencia con la matriz cementicia, por lo tanto no absorbe gran cantidad de energía pues no desarrolla su resistencia última.

3. *Alargamiento de la fibra:* La fibra no alcanza su resistencia última, pero fluye, disipando energía sin fracturarse.

4. *Falla de la matriz cementicia:* En este caso, se presenta una buena adherencia fibra-matriz, pero la fibra supera la resistencia de la matriz, haciendo que esta última falle.

5. *Fisuramiento de la matriz cementicia:* Se presentan diferentes fallas en la matriz cementicia, al igual que alargamiento de la fibra; en este caso la matriz cementicia y la fibra disipan energía.

Los tipos de mecanismos de absorción de energía se desarrollarán dependiendo de las propiedades geométricas y de los materiales que componen las fibras. Las macro fibras que se comercializan actualmente tienen diferentes formas (lisas, rugosas), diferentes formas de anclarse al concreto y diferentes dimensiones, como se muestra en la Ilustración 2, estas características determinan en gran medida el comportamiento final del elemento .



*Ilustración 2 formas de fibras.*

## 2.5 ENSAYOS PARA CARACTERIZAR LOS HRF

Para caracterizar el comportamiento del HRF se han propuesto diferentes ensayos, normados por diferentes instituciones en el mundo. En nuestro país se aplican principalmente ensayos de procedencia norteamericana y europea para caracterizar las propiedades mecánicas de los HRF. Estos ensayos se pueden clasificar en ensayos de tracción directa, tracción indirecta, flexo tracción uniaxial (vigas) y flexo tracción biaxial (Paneles).

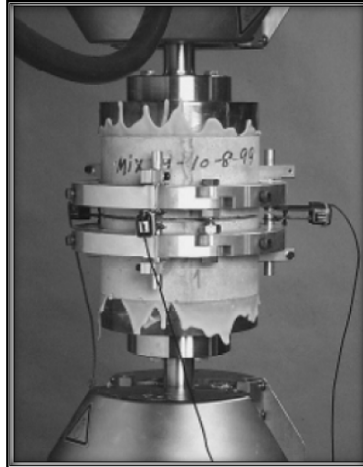
### 2.5.1 Ensayos de tracción directa

Los ensayos de tracción directa se realizan sobre probetas tipo hueso o también tracción directa sobre cilindros con entalle, estos métodos no se han masificado porque no simulan prestaciones reales del HRF, ya que el hormigón no es usado frecuentemente solo a tracción, la forma en que se genera y se propaga la grieta en este ensayo no es adecuada al comportamiento in situ del HRF.



*Ilustración 3 ejemplo probeta tipo hueso de perro (Reinhardt , 1998).*

También existen ensayos a tracción directa sobre cilindros con entalle, los cuales tampoco se han aplicado mayormente en HRF, debido a la complejidad de preparación de la muestra , como también el problema que se presenta en la adherencia entre la máquina de ensayo y la probeta al momento de traccionar .

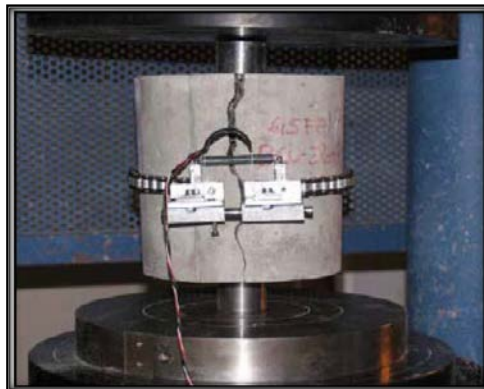


*Ilustración 4 configuración ensayo tracción uniaxial, aplicado a cilindro con entalla. (Stang, 1999)*

### 2.5.2 Ensayos de tracción indirecta

Debido a los problemas que presentan los ensayos a tracción directa en las rutinas de preparación de estos, se han creado diferentes ensayos de tracción indirecta entre los que destaca el de doble punzonamiento o ensayo Barcelona, también existen otros menos aplicados como el ensayo brasileño normado por ASTM C-496, 1996 y UNE 83306, 1985 y el Ensayo Wedge-Splitting o ensayo de cuña.

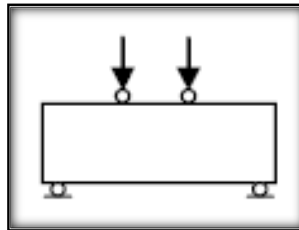
Entre los ensayos de tracción indirecta destaca el de doble punzonamiento, creado en la década del 60. Este ensayo se ha aplicado con más frecuencia en el último tiempo, esto se debe a su gran estabilidad en los datos, a su fácil preparación y posterior ensayo ya que la probeta es de bajo peso y volumen en comparación con otras, también se pueden obtener probetas al moldear o mediante testigos, esto ha llevado a este ensayo a ser aplicado ampliamente en la caracterización y control de los HRF en obra.



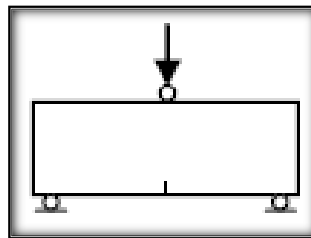
*Ilustración 5 configuración del ensayo Barcelona.*

### 2.5.3 Ensayos a flexotracción uniaxial

Este tipo de ensayos también se encuentra en diferentes formas y aplicaciones según la norma que los describa, pero en general existen los que se aplican a vigas prismáticas con cargas que pueden ser dos cargas a tercios centrales o con carga central y entalla para inducir la grieta y obtener menor dispersión en los datos, estas vigas van simplemente apoyadas en dos puntos como se muestra a continuación.



*Ilustración 6 esquema de distribución de un ensayo de viga con cargas a tercios.*



*Ilustración 7 esquema de distribución de un ensayo de viga con carga central y entalla.*

Existen diferentes normativas específicas para el ensayo de vigas con carga a tercios, las más populares y utilizadas son la belga (NBN B 15-238, 1992), la europea (EFNARC, 1996) y la americana (ASTM C-1018, 1997). EL ensayo de viga EFNARC con carga a tercios involucra una viga más esbelta que mide 75 x 125 x 550 mm apoyada en dos puntos con una luz de 450 mm. Tienen en común que ambos procedimientos involucran una distribución de carga a tercios de la luz de una muestra mayor previamente cortada, con el comportamiento basado en las características del registro carga post fisuración-deflexión. El ensayo de viga EFNARC, a diferencia del resto de ensayos de vigas con carga a tercios, está ideado para hormigón proyectado reforzado con fibras.

Se pueden realizar ensayos con vigas entalladas, dicho uso evita la mayoría de problemas que surgen al determinar la respuesta post-pico en flexión. Se usa la apertura del entalle para controlar el ensayo de un modo estable. El uso de muestras con entalla requiere de una atención especial con lo que respecta a la interpretación de los resultados del ensayo, ya que debido a la presencia entalle, se tendrán concentraciones de tensiones. Las variables más características que se miden generalmente en los ensayos a flexotracción son el pico de carga, deflexión de la viga y el CMOD (desplazamiento de la apertura de la fisura). Éste último, en el caso de vigas con entalla.

#### 2.5.4 Ensayos de flexotracción biaxial en paneles

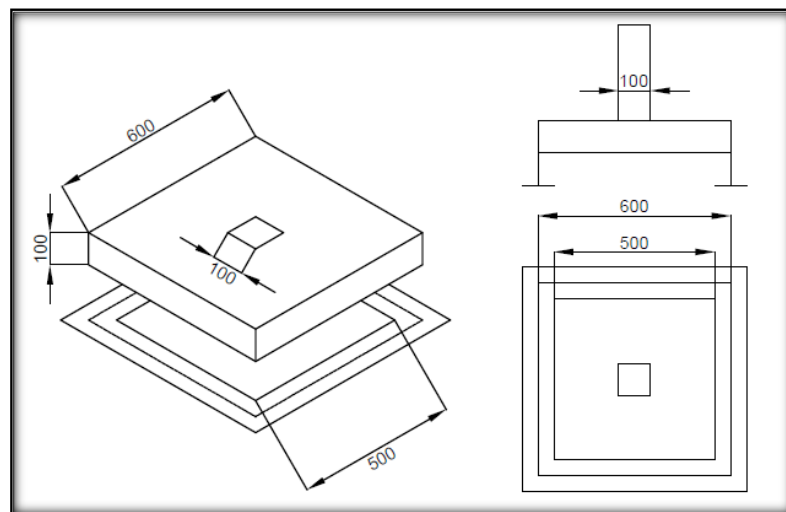
Como alternativa a los ensayos uniaxiales en vigas surgen ensayos con cargas puntuales a paneles, como el ensayo de Panel EFNARC, plate bending test (4) publicado por EFNARC en 1996 y normado en UNE-EN 14487-1, 2008, este ensayo se aplica a paneles prismáticos cuadrados a diferencia de otros, estos ensayos ofrecen una mayor fiabilidad en HRF que con vigas, aunque su procedimiento no está exento de problemas.

En muchas ocasiones se requieren revestimientos de hormigón proyectado para resistir cargas puntuales. Por este motivo es lógico en algunas situaciones cuantificar el comportamiento de los diseños a través de la aplicación de una carga puntual a un panel, el cual representa una parte de un revestimiento continuo con pernos de anclaje.

El ensayo de Panel Cuadrado EFNARC es posiblemente el procedimiento de evaluación basado en paneles más extendido, entre otros se destaca el Round Determinate Panel (RDP) normado en ASTM C1550, 2002) el que es un ensayo aplicado a paneles circulares con tres puntos de apoyo.

## 2.6 ENSAYO EFNARC, PLATE BENDING TEST (4)

Para comprobar el comportamiento estructural del shotcrete reforzado con fibras en la construcción de un túnel, se ha desarrollado un método de ensayo de punzonamiento y flexión sobre un panel cuadrado de shotcrete reforzado con fibras, que simula con mucha efectividad el comportamiento de un revestimiento de túnel bajo la presión de la roca alrededor de un perno de anclaje. Este ensayo está normado según EN 14487 y también fue publicado en las recomendaciones de la EFNARC. Las dimensiones de los paneles de shotcrete reforzado con fibras de acero son: 600 mm x 600 mm x 100 mm, según EN 14488-5. Las pruebas se llevan a cabo en laboratorio y consisten en aplicar una carga puntual en el centro del panel cuadrado apoyado por los cuatro lados, esta carga es a una velocidad de 25um/s o 1,5 mm/min. Luego la prueba continúa hasta alcanzar una deflexión de 25 mm. A partir de la curva de carga/deflexión, se extrae una segunda curva resultado de la absorción de energía (en Joules) en función a la deflexión del panel cuadrado. Este método simula con fidelidad el comportamiento del revestimiento y proporciona una buena idea de la capacidad de carga y absorción de energía del shotcrete reforzado con fibras.



*Ilustración 8 diagrama de ensayo de panel EFNARC, medidas del apoyo y la carga central.*

La Energía es un parámetro que se calcula integrando el área que encierra la curva carga-desplazamiento. Mientras mayor sea la absorción de energía, más capaz será la mezcla de soportar una carga en el estado de fisuración. Una de las ventajas que presenta el panel EFNARC es la gran superficie de rotura que se obtiene al ensayar la muestra, este hecho hace que la dispersión de los resultados sea menor.

### 2.6.1 Curva desplazamiento / carga

Al terminar cada ensayo se exporta un archivo Excel con diferentes datos obtenidos, de todos estos datos provenientes de la consola por diferentes canales se selecciona la carga y la deflexión, hasta los 25 mm de deflexión central. A partir de estos datos se podrá graficar el espectro del comportamiento del panel ante un aumento constante de la deflexión y la carga correspondiente a cada nivel de deflexión,

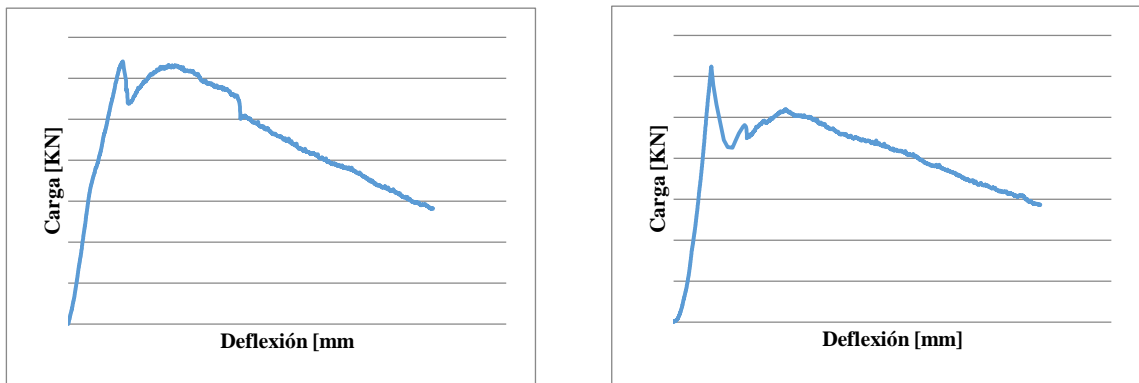


Gráfico 1 ejemplo curvas carga - deflexión tipo.

En este grafico el comportamiento se aprecia muy variable en sus inicios y en la zona cercana a la carga máxima, la carga máxima es un parámetro muy variable en un conjunto de ensayos, esta se presenta a diferentes niveles de deflexión y rodeada por un par o varios máximos locales. Es por esto que la carga máxima no es un parámetro tan importante como la energía que absorbe el panel hasta los 25 mm de deflexión central ( $E_{25}$ ).

### 2.6.2 Curva desplazamiento / Energía

En este ensayo se evalúa la energía, esta corresponde al área bajo la curva del gráfico descrito anteriormente, por lo tanto es siempre creciente y el dato más importante de este ensayo es la energía absorbida hasta los 25 mm de deflexión ( $E_{25}$ ). A continuación se presenta en simultaneo dos ensayos con sus curvas desplazamiento / carga y desplazamiento / Energía.

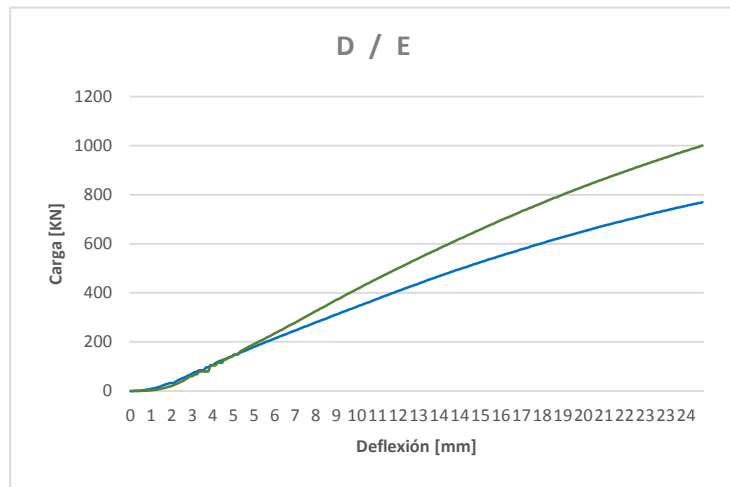


Gráfico 2 curvas D/Q y D/E para dos ensayos.

### 2.6.3 Clasificación de la tenacidad EFNAR

Las especificaciones EFNARC clasifican en tres tipos a, b y c, según los requisitos de energía que cumplen los paneles ensayados, lo que se puede observar en “tabla 9.3.2 Requisitos de absorción de energía”, european specification for sprayed concrete EFNARC,

Clasificación de la tenacidad	Absorción de energía en [Joule] hasta los 25 mm de deflexión.
a- E500	500
b- E700	700
c- E1000	1000

Tabla 1 Clasificación de la tenacidad EFNAR

#### 2.6.4 Otras relaciones e indicadores

La absorción de energía a los 25 mm ( $E_{25}$ ) es el dato más importante que se extrae de este ensayo y los paneles son clasificados por EFNAR con este dato, pero además existen otros datos, indicadores y relaciones que se desprenden de este ensayo y que proporcionan más información para el análisis y la caracterización de los HRF, pero que al tener variaciones altas no son tan considerables para la caracterización de los hormigones, sin embargo para comprender el funcionamiento de la fibra y los gráficos que se extraen de este ensayo se nombran a continuación:

##### 2.6.4.1 Carga máxima ( $Q_m$ )

Este dato nos proporciona la carga máxima alcanzada por la probeta, esta puede ser alcanzada en diferentes niveles de deflexión dependiendo del comportamiento que presente el panel. Ya que este podría presentar diferentes máximos locales y luego un máximo general, como también un máximo general seguido de máximos locales.

##### 2.6.4.2 Deflexión en la carga máxima ( $DQ_m$ )

Este dato corresponde a la deflexión en mm en la cual se obtiene la carga máxima, debido a que la carga máxima presenta gran variación, también este parámetro presenta grandes variaciones.

##### 2.6.4.3 Carga a los 25 mm de deflexión ( $QD_{25}$ )

Este dato corresponde a la carga última que se registra en este ensayo, que es la carga a los 25 mm de deflexión central.

##### 2.6.4.4 Indicadores de capacidad de mantención de carga

Al aplicar el ensayo y luego de obtenido los máximos, la carga que mantiene el panel irá disminuyendo de forma aproximadamente lineal. Lo que se vuelve relevante en este punto es la capacidad de mantención de carga del panel, dos indicadores nos cuantificarán esta propiedad.

#### 2.6.4.4.1 $(QD25)/(Qm)$

Este indicador nos muestra una relación entre la carga última y la máxima carga alcanzada por el panel, si se analiza como porcentajes se podrá ver qué porcentaje de la carga máxima es soportado hasta finalizar el ensayo.

#### 2.6.4.4.2 $((QD25)-(Qm))/(25-(DQm))$

Por otra parte este indicador nos presenta la pendiente del gráfico carga / deflexión, desde que se obtiene la carga máxima hasta finalizado el ensayo. En otras palabras este indicador muestra la pendiente correspondiente a la tasa de pérdida de carga luego de que el panel alcanza su carga máxima.

### **3 OBTENCIÓN DE DATOS**

La metodología empleada para la obtención de datos, constó de dos fases principales. En la primera se obtuvo datos, al aplicar el ensayo de panel EFNARC a probetas fabricadas en el LEMCO, en una segunda etapa se seleccionaron resultados y datos experimentales de ensayos EFNARC, que han sido aplicados a paneles en investigaciones previas y se encuentran en los archivos del área de investigación.

#### **3.1 OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE DATOS**

Los datos de esta memoria obtenidos experimentalmente, junto con los datos recopilados también son parte de otras investigaciones. Todos estos han sido obtenidos por memoristas y otros investigadores en el LEMCO, en base a probetas elaboradas en este laboratorio.

El autor al integrarse al grupo de memoristas participó inicialmente de forma instruida en las faenas de hormigonado y desmolde de diferentes probetas con fibra sintéticas, para continuar participando de forma cada vez más activa en la investigación.

Luego, al continuar el trabajo conjunto entre memoristas, se experimenta ahora con fibra metálica “Dramix 3D 65/35” en dosificaciones “P” de 25 y 40 kg/m<sup>3</sup> confeccionando 10 paneles EFNARC con cada dosificación entre otras probetas.

Los últimos datos obtenidos corresponden a una dosificación “P”, pero esta vez se ha agregado otra fibra del tipo 3D, también fabricada por BEKAERT pero diferente a la “Dramix 3D 65/35”, esta es la fibra “LH 35 07”, con la que se han obtenido 10 paneles aplicando 25 kg/m<sup>3</sup> de esta fibra.

##### **3.1.1 Materiales**

###### **3.1.1.1 Agregados pétreos**

Se emplea arena negra gruesa, extraída del río Aconcagua, los resultados de ensayos de áridos se encuentran en el anexo de materiales.

### 3.1.1.2 Cemento

Cemento polpaico 400, Este cemento se fabrica en la Planta Polpaico bajo la Norma Chilena 148.Of68 “Cemento, Terminología, Clasificación y Especificaciones Generales”. Según esta norma, el “Polpaico 400” es un “Cemento Puzolánico, Grado Alta Resistencia” las especificaciones técnicas se pueden encontrar en el anexo materiales.

### 3.1.1.3 Aditivos

Sika® Viscocrete® 5100 CL Reductor de agua de alta eficiencia :es un aditivo de alta capacidad de reducción de agua, basado en polímeros sintéticos que permite máxima fluidez, alta cohesión y mantener la trabajabilidad de la mezcla en forma prolongada

Plastocrete® MX-1390 Aditivo Reductor de agua – Retardador :Es un aditivo reductor de agua con efecto retardador para hormigón. No contiene cloruros, no es tóxico, cáustico ni inflamable.

### 3.1.1.4 Fibras

Se ha empleado las fibras metálicas del fabricante BEKAERT comercializadas con el nombre de “Dramix 3D 65/35” y la fibra “LH 35 07” cuyas especificaciones se encuentran en el anexo materiales.

## 3.1.2 Dosificación

En la siguiente tabla se detalla la composición de la dosificación “P”

<b>P</b>	
<b>Componente</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Cemento</b>	450
<b>Arena</b>	1700
<b>Agua</b>	210
<b>Aditivo Superplastificante (litros)</b>	4,5

<b>Fibra</b>	x
--------------	---

*Tabla 2 dosificación "P"*

### 3.1.3 Hormigonado

El hormigonado se realizó en las dependencias de LEMCO por un conjunto de memoristas de la carrera Construcción Civil de la UTFSM, en donde se utilizó una mezcladora de eje vertical con capacidad de 100 lt, se han confeccionado paneles en diferente amasadas según el programa semanal variable semana a semana.

Se han ocupado moldajes desmontables de acero existentes en LEMCO , los que se han nivelado al momento de hormigonar con un nivel de carpintero, luego se tapan con polietileno con el fin de que no pierda humedad .Luego de desmoldarlos a las 48 horas se llevan a la cámara de curado , hasta su ensayo a 30 días.

### 3.1.4 Curado

El curado se realiza en una cámara de curado que se encuentra en LEMCO, donde se mantiene temperatura y humedad controlada. Para ser ensayados a los 28 días.

### 3.1.5 Ensayos

En esta fase se han realizado ensayos a 30 paneles diferentes correspondiente a tres dosificaciones distintas con dos tipos de fibras , estos ensayos se realizan en LEMCO USM mediante un bastidor de carga y celda de carga la que está conectada con una consola MCC8 Multitest que controla esta carga mediante un circuito cerrado, este circuito cerrado es el que permite mantener la deflexión a tasa constante mediante la constante medición de la deflexión que realiza un transductor conectado a la consola.

Los datos obtenidos son exportados a un archivo Excel para el posterior análisis, los datos que se tabulan son la deflexión hasta los 25 mm y la carga en cada nivel de deflexión.



*Ilustración 10 Prensa se ensayo y consola mcc8.*

Los ensayos se han aplicado a 30 paneles, en los que se ha empleado la dosificación “P”. Para ensayar tres grupos de paneles diferentes con la misma dosificación de hormigón base, en los que se ha variado el tipo de fibra y la cantidad adherida como se muestra a continuación:

Dosificación	Fibra	Cantidad de fibra	Paneles validos
P	Dramix 3D 65 35	40Kg/m <sup>3</sup>	10
P	Dramix 3D 65 35	25Kg/m <sup>3</sup>	9
P	LH 35 07	25Kg/m <sup>3</sup>	8

*Tabla 3 Resumen ensayos de paneles, fibras metálicas*

### **3.2 RECOPIACIÓN DE DATOS**

Se han recopilado datos correspondientes a investigaciones previas y paralelas realizadas por alumnos memoristas de la carrera construcción civil UTFSM , estos datos son obtenidos luego de aplicar el ensayo de panel EFNARC a probetas fabricadas en LEMCO USM que son parte de diferentes proyectos.

Se han recopilado 14 grupos de probetas en los que existen 3 dosificaciones distintas, P , HP1 y HP2, en las que se encuentran 6 tipos de fibras entre metálicas y sintéticas.

### 3.2.1 Dosificaciones

Se han recopilado dos principales dosificaciones, las que se han nombrado HP1 y HP2, detalladas a continuación:

	<b>HP1</b>	<b>HP2</b>
<b>Componente</b>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
<b>Cemento Melón Extra</b>	380	420
<b>Arena Semi Industrial (PSB)</b>	1354	1324
<b>Arena Correctora</b>	339	331
<b>Agua</b>	216	215
<b>Plastocrete MX-1390</b>	1,9	2,1
<b>Viscocrete 5100</b>	1,9	2,1
<b>Silice Coloidal</b>	2,66	2,94
<b>Fibra</b>	x	x

*Tabla 4 Dosificaciones "HP1" y "HP2"*

También se han recopilado datos con la dosificación que se ha aplicado en la parte experimental, la dosificación que ya se ha nombrado como P, se detalla a continuación las tres dosificaciones en forma simplificada, que se aplicaron a los ensayos de los cuales se han recopilado los resultados.

<b>Dosificación</b>	<b>P</b>	<b>HP1</b>	<b>HP2</b>
<b>Componente</b>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
<b>Cemento</b>	450	380	420
<b>Arena</b>	1700	1693	1655
<b>Agua</b>	210	216	215
<b>Aditivo Superplastificante (litros)</b>	4,5	3,8	4,2
<b>Fibra</b>	x	x	x

*Tabla 5 Dosificaciones P, HP1 y HP2 simplificadas*

En las siguientes tablas 6 y 7 se muestran los grupos de paneles ensayados de fibras metálicas seguidos por los de fibras sintéticas junto a los detalles de las dosificaciones y cantidad de probetas ensayadas:

#### Fibras metálicas

Dosificación	Fibra	kg/m <sup>3</sup>	Paneles
HP1	Dramix 3D 65/35	25	4
HP2	Dramix 3D 65/35	25	4
HP2	Dramix 3D 65/35	25	4

*Tabla 6 Resumen recopilación de datos, fibras metálicas.*

#### Fibras sintéticas

Dosificación	Fibra	kg/m <sup>3</sup>	Paneles
HP1	Barchip 3000 dt	6	4
HP2	Barchip 3000 dt	6	3
HP1	Barchip 54	6	4
P	Barchip 54	4	10
P	Barchip 54	8	10
P	Barchip 54	12	10
HP1	Enduro	6	4
HP1	Istrice 55/0,91 ISHOTS	6	4
HP2	Istrice 55/0,91 ISHOTS	6	4
HP1	Istrice 55	6	4
HP2	Istrice 55	6	4

*Tabla 7 Resumen recopilación de datos, fibras sintéticas.*

#### 4 ANALISIS DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN DE LA TENACIDAD EFNARC

A continuación se muestran diferentes espectros de la curva deflexión/carga que han sido seleccionados para mostrar los diversos comportamientos que se pueden observar en este tipo de graficas extraídas al aplicar el ensayo de panel cuadrado EFNARC.

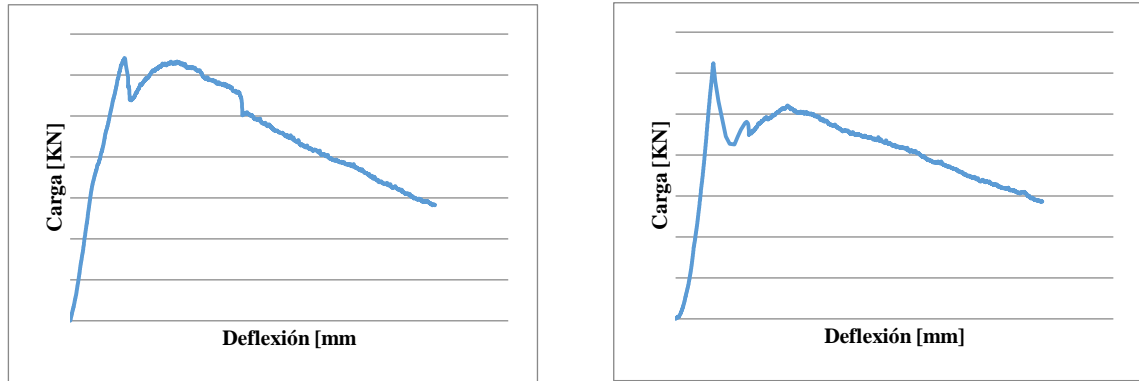


Gráfico 3 ejemplos 1 y 2, tipos de espectros en curva deflexión / carga.

Estos graficos muestran un comportamiento normalmente esperado de un panel bajo este ensayo, este tipo de espectro se caracteriza por presentar desde el comienzo, en su primer tramo, un aumento a tasa constante de carga mediante la deflexion aumenta, tal condicion se mantiene hasta llegar a un maximo local de carga, hasta este punto ya se han formado microfisuras y lo que ha resistido la carga principalmente es la masa de hormigon con poca influencia de las fibras. A partir de este maximo la grieta ya es visible y se comienza a propagar por la masa de hormigon, lo que hace perder carga repentinamente y si no existiera el refuerzo de fibras esta carga disminuiria sin recuperarse en ningun momento, sin embargo en este momento es cuando las fibras se oponen a la propagacion de las grietas absorbiendo energia.

Entonces luego de este primer maximo la carga se ha redistribuido, desde ahora las fibras se encuentran bajo esfuerzos de traccion y en adelante el comportamiento en este grafico dependera de la adherencia matriz – fibras y de las propiedades mecanicas de las fibras. Lo esperado a continuacion es que las fibras puedan mantener un nivel de carga en los siguientes milimetros de deflexion, esto se ve reflejado en un aumento de la carga a tasa decreciente hasta un nuevo maximo local que puede ser superior o inferior al anterior, para terminar en el ultimo tramo con una zona

aproximadamente lineal donde la carga ira disminuyendo a tasa relativamente constante hasta los 25 mm que se explora.

El comportamiento de los paneles bajo este ensayo se ve influenciado principalmente por la adherencia matriz – fibra, las propiedades mecanicas de las fibras, la cantidad de fibra , la correcta elaboracion de las probetas, debiendo quedar estas totalmente planas y apoyadas en el marco donde se les ensaya para disminuir variaciones por un mal apoyo.

A continuacion se presentan diferentes variaciones de los posibles graficos que se podran obteneren este tipo de ensayo.

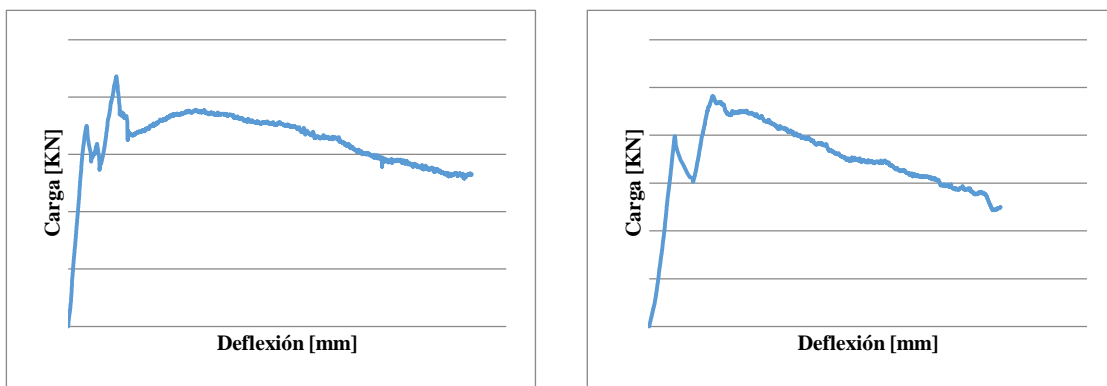


Gráfico 4 ejemplos 3 y 4, tipos de espectros en curva deflexión / carga.

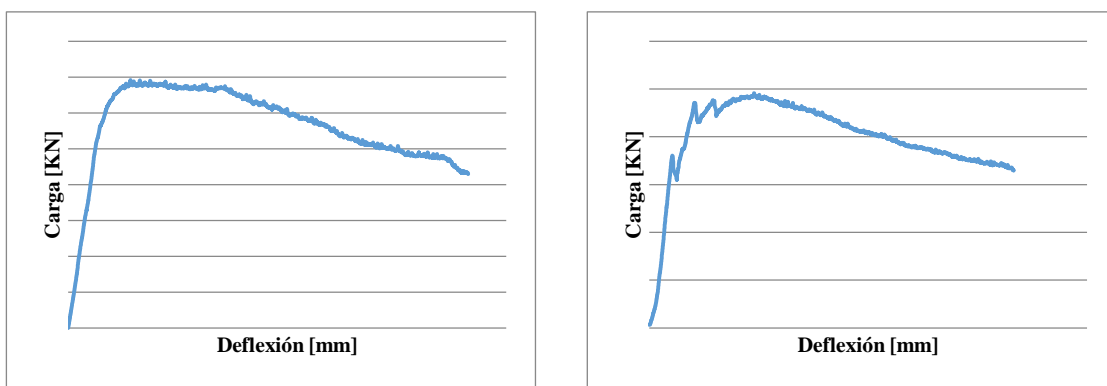


Gráfico 5 ejemplos 5 y 6, tipos de espectros en curva deflexión / carga.

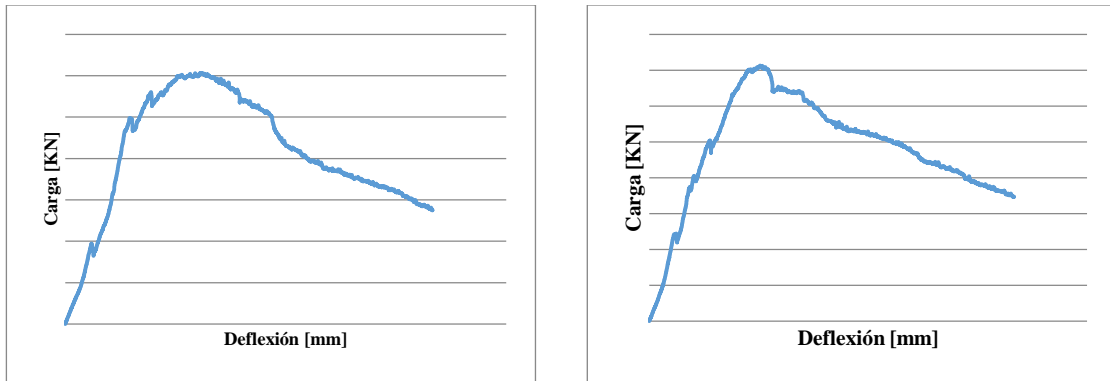


Gráfico 6 ejemplos 7 y 8, tipos de espectros en curva deflexión / carga.

En este grafico el comportamiento se aprecia muy variable en sus inicios y en la zona cercana a la carga máxima, la carga máxima es un parámetro muy variable en un conjunto de ensayos, esta se presenta a diferentes niveles de deflexión y rodeada por un par o varios máximos locales. Es por esto que la carga máxima no es un parámetro tan importante como la energía que absorbe el panel hasta los 25 mm de deflexión central ( $E_{25}$ ).

En este ensayo se puede observar grietas radiales desde el centro del panel en donde se aplica la carga hasta su borde, el número de estos rayos varia ente ,4 a 8 rayos pincipalmente, pero tambien se han registrado multiples gietas radiales asociadas a altas cantidades de fibra adherida.



Ilustración 9 diferentes modos de falla, con variación en el número de grietas radiales.

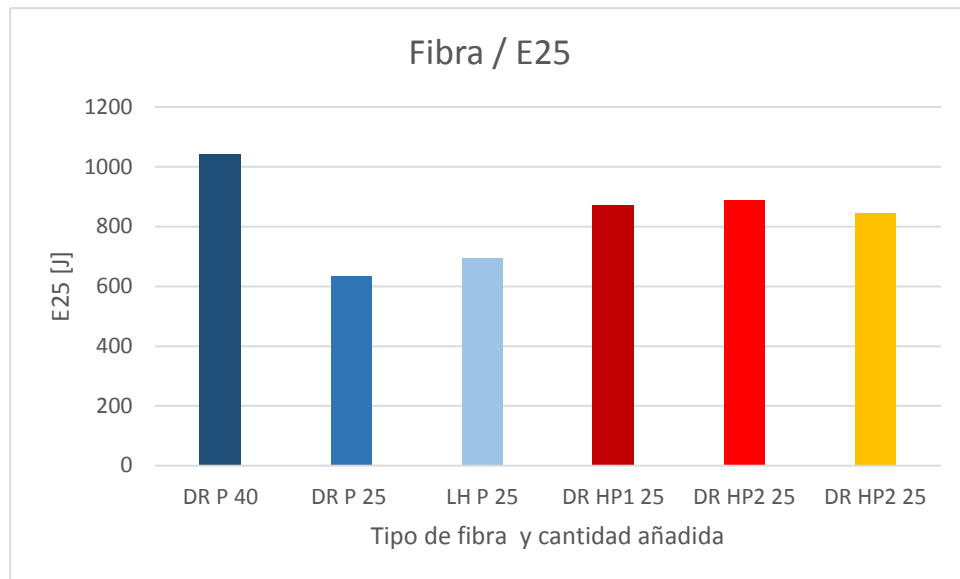
A continuación se presenta los resultados de  $E_{25}$  obtenidos al ensayar los paneles que contienen fibras metálicas junto a su clasificación EFNARC.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos en cada grupo de probetas con fibra metálicas, en donde se indica el tipo de fibra empleada, la cantidad y tipo de dosificación, para terminar con  $E_{25}$  y la clasificación EFNARC.

Fibra	Dramix 3D 65 35	Dramix 3D 65 35	LH 35 07	Dramix 3D 65 35	Dramix 3D 65 35	Dramix 3D 65 35
Sigla	DR P 40	DR P 25	LH P 25	DR HP1 25	DR HP2 25	DR HP2 25
Cantidad	40	25	25	25	25	25
Dosificación	P	P	P	HP1	HP2	HP2
$E_{25}$	1042,4	632,6	696,4	870,0	888,5	844,7
Clasificación EFNARC	c-E1000	a-E500	a-E500	b-E700	b-E700	b-E700

*Tabla 8 Resultados y clasificación de la tenacidad efnarc para fibras metálicas*

El siguiente grafico tiene por objetivo comparar los niveles de  $E_{25}$  que cada tipo de fibra metálica ha alcanzado en las diferentes dosificaciones.



*Gráfico 7 Niveles de E25 para fibras metálicas y cantidad añadida*

Se aprecia un incremento cercano al 60 % en  $E_{25}$  al aumentar de 25 a 40 kg/m<sup>3</sup> de fibra Dramix 3D 65/35, y entre los hormigones base HP1 y HP2 en los que se aplicó esta misma fibra no se presenta variación considerable, menor al 5%. La fibra LH 35 07

presenta mejor desempeño cercano al 10% mayor, al compararla con la Dramix 3D 65/35, en donde se ha empleado  $25 \text{ kg/m}^3$  de fibra en ambos grupos.

El grafico a continuación presenta el comportamiento que ha tenido cada grupo de paneles en los que se ha empleado fibra metálica, mediante un gráfico doble en el cual se representan las dos curvas principales que se extraen al aplicar este ensayo, Carga / deflexión , y energía / deflexión..

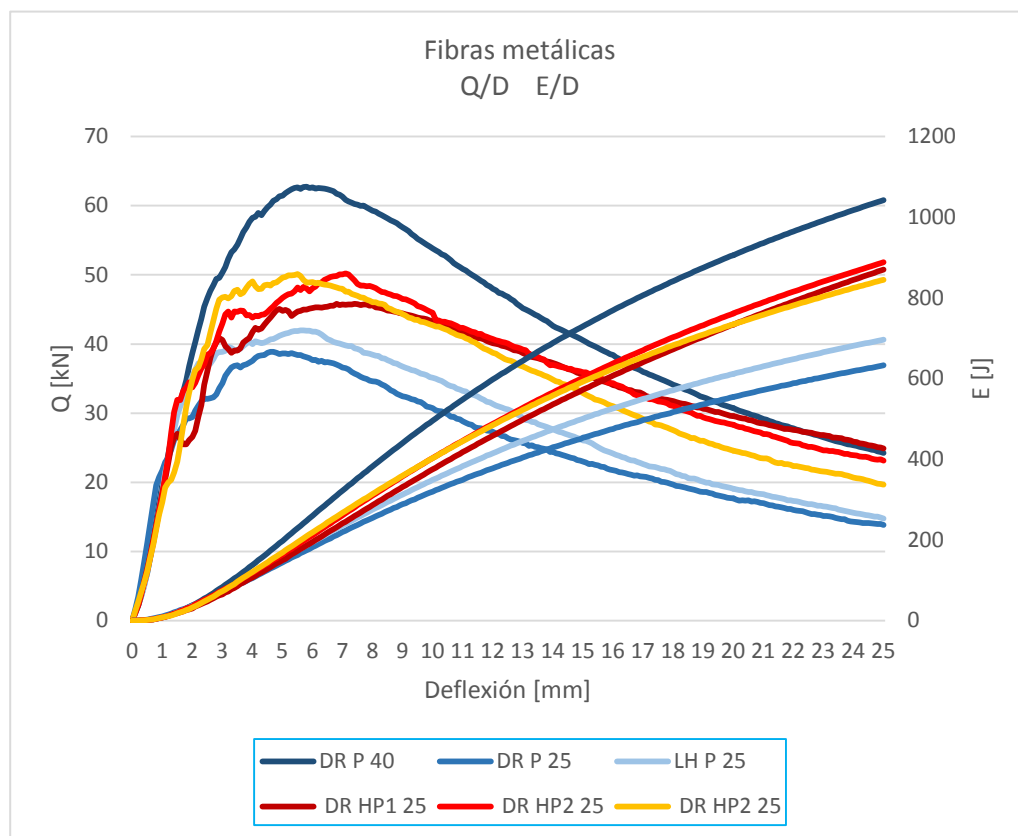


Gráfico 8 Curvas Q/D y D/E para fibras metálicas.

Lo primero que se observa en este grafico son las curvas azules correspondientes a DR P 40 que sobresale ya que tiene  $40 \text{ kg/m}^3$  de fibra en comparación con las otras que solo se les ha adherido  $25 \text{ kg/m}^3$  de fibra. Otra observación es que los grupos en los que se empleó la dosificación base HP1 y HP2 se han obtenido mejores rendimientos en comparación con la dosificación P en adiciones de  $25 \text{ kg/m}^3$  de fibra Dramix 3D 65/35, obteniendo una mejora cercana al 35 %.

A continuación se presenta los resultados de E<sub>25</sub> obtenidos al ensayar los paneles que contienen fibras sintéticas junto a su clasificación EFNARC. Se presentan los resultados obtenidos en cada grupo de probetas con fibras sintéticas, en donde se indica el tipo de fibra empleada, la cantidad y tipo de dosificación, para terminar con E<sub>25</sub> y la clasificación EFNARC.

Fibra	Enduro	Istrice 55 091 ISHOTS	Istrice 55 091 ISHOTS	Istrice 55	Istrice 55
Cantidad	6	6	6	6	6
Dosificación	HP1	HP1	HP2	HP1	HP2
E25	824,7	1155,5	1194,9	1081,7	1045,4
Clasificación EFNARC	b-700	c-E1000	c-E1000	c-E1000	c-E1000

Fibra	barchip 3000 dt	barchip 3000 dt	Barchip 54	Barchip 54	Barchip 54	Barchip 54
Cantidad	6	6	6	4	8	12
Dosificación	HP1	HP2	HP1	P	P	P
E25	1227,4	1169,0	1038,4	804,2	1065,8	1306,9
Clasificación EFNARC	c-E1000	c-E1000	c-E1000	b-700	c-E1000	c-E1000

*Tabla 9 Resultados y clasificación de la tenacidad efnarc para fibras sintéticas*

El siguiente grafico tiene por objetivo comparar los niveles de  $E_{25}$  que cada tipo de fibra sintética ha alcanzado en las diferentes dosificaciones.

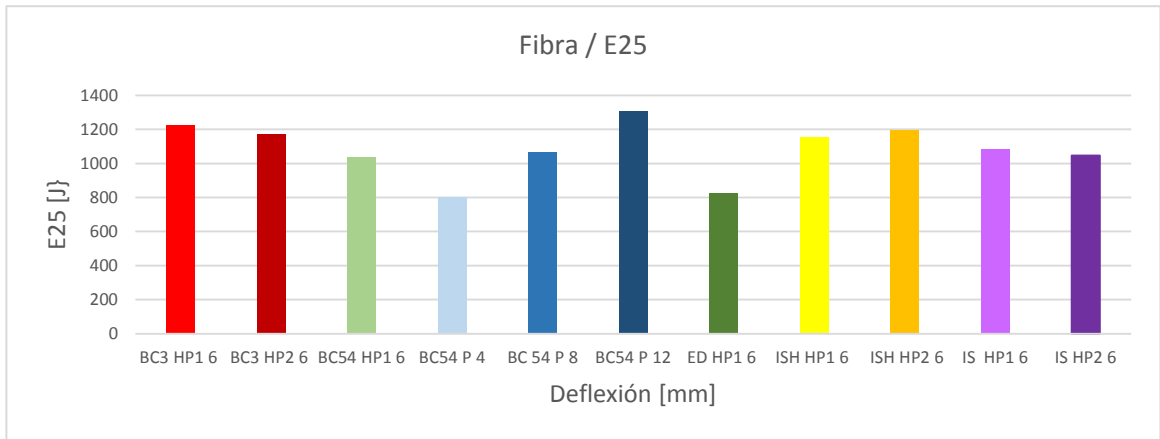


Gráfico 9 Niveles de  $E_{25}$  para fibras sintéticas y cantidad añadida

El grafico a continuación presenta el comportamiento que ha tenido cada grupo de paneles en los que se ha empleado fibra sintética, mediante un gráfico doble en el que se representan las dos curvas principales que se extraen al aplicar este ensayo.

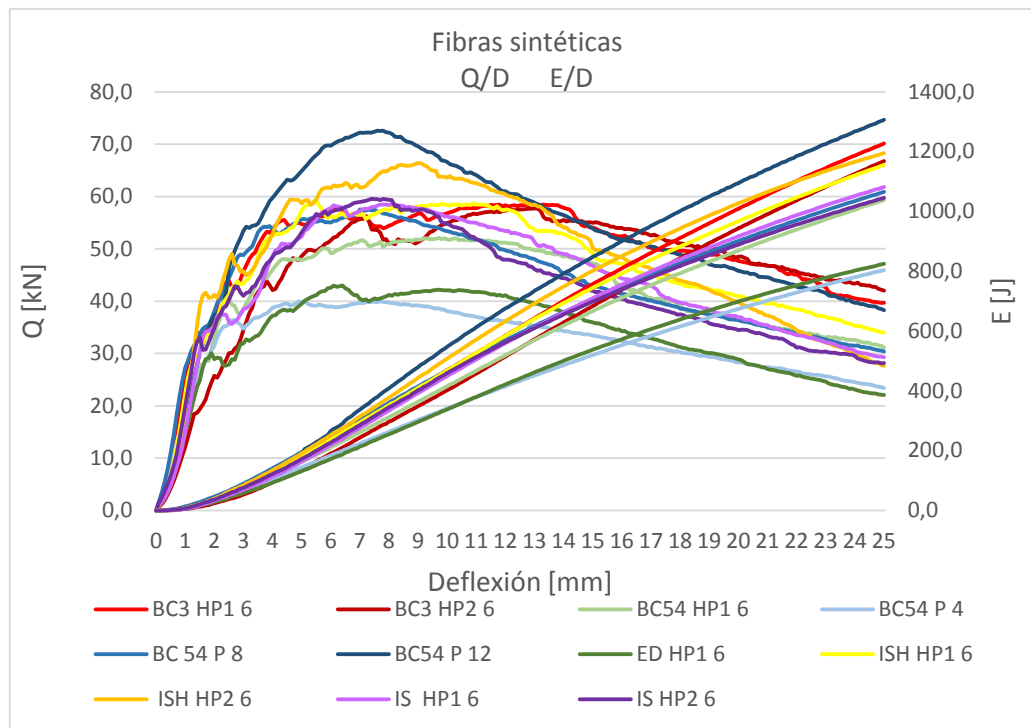


Gráfico 10 Curvas Q/D y D/E para fibras sintéticas.

## 4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO

En este análisis se comparan las diferentes dosificaciones relacionando tipos de fibras o cantidades añadidas de esta, según sea el caso, donde se muestra el valor de energía alcanzado y la clasificación EFNARC de cada grupo de probetas, para poder compararlas se presentan también el valor de diferentes indicadores que cuantifican el comportamiento de estos hormigones, extraídos de la curva Q/D.

### 4.1.1 Fibras metálicas, 25 y 40 kg/m<sup>3</sup>

Las primeras fibras a comparar son las fibras Dramix 3D 65 35, esta fibra se ha empleado en cinco grupos de probetas, ahora se compara las que se componen de dosificación P, en las que se ha dosificado con 25 kg y 40 kg por m<sup>3</sup> de hormigón

Fibra	Dramix 3D 65 35 P	Dramix 3D 65 35 P
Cantidad	25	40
Dosificación	P	P
E <sub>25</sub>	632,6	1042,4
Clasificación EFNARC	a-E500	c-E1000
Q <sub>m</sub>	41,6	64,5
DQ <sub>m</sub>	4,3	5,3
Q <sub>25</sub>	13,8	24,2
Q <sub>25</sub> /Q <sub>m</sub>	0,33	0,37
$(Q_{25}-Q_m)/(25-DQ_m)$	-1,35	-2,04

Tabla 10 Comparación resultados Dramix 3D 65 35 con 25 y 40 kg/m<sup>3</sup>

Al aumentar la adición de fibra en un 60%, de 25 kg/m<sup>3</sup> a 40 kg/m<sup>3</sup>, se aprecia un aumento de E<sub>25</sub> cercano al 65% lo que hace subir de categoría a la dosificación de “a” a “c” en la clasificación EFNARC.

El siguiente grafico compara directamente los dos niveles de fibra añadido, en donde se puede comparar los dos gráficos que se extraen de este ensayo para cada dosificación.

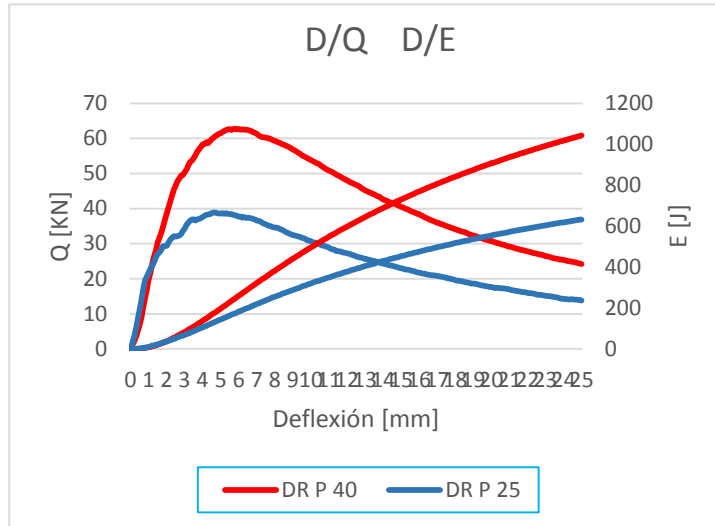


Gráfico 11 Curvas Q/D y D/E correspondientes a las fibras Dramix 3D 65/35 con 25 y 40 kg/m<sup>3</sup>

A continuación se muestra el grafico que se obtiene al comparar diferentes cantidades de fibras Dramix 3D 65/35 añadidas en 25 y 40 kg/m<sup>3</sup> de fibra, destacando sus niveles de energía alcanzados.

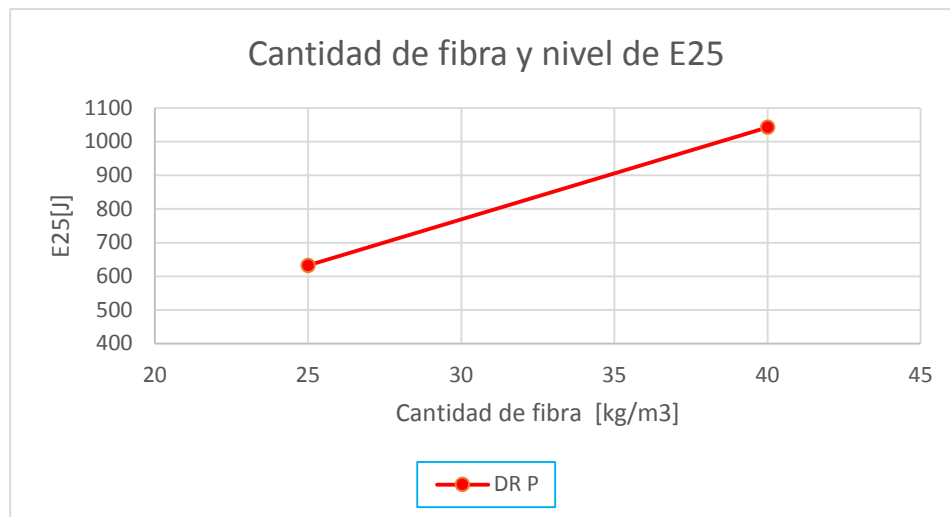


Gráfico 12 Niveles de E25 Alcanzados por la fibra Dramix 3D 65/35 adhiriendo 25 y 40 kg/m<sup>3</sup> de fibra.

#### 4.1.2 Fibras metálicas, 25 kg/m<sup>3</sup>

La siguiente comparación se realiza entre dosificaciones con fibras metálicas en las que se adhiere una cantidad de 25 kg/m<sup>3</sup>.

.Fibra	Dramix 3D 65 35	LH 35 07	Dramix 3D 65 35	Dramix 3D 65 35	Dramix 3D 65 35 (2)
Cantidad	25	25	25	25	25
Dosificación	P	P	HP1	HP2	HP2
E <sub>25</sub>	632,6	696,4	870,0	888,5	844,7
Clasificación EFNARC	a-E500	a-E500	b-E700	b-E700	b-E700
Q <sub>m</sub>	41,6	46,9	51,6	56,6	54,6
DQ <sub>m</sub>	4,3	3,7	5,5	4,7	4,2
Q <sub>25</sub>	13,8	14,7	24,9	23,1	19,7
Q <sub>25</sub> /Q <sub>m</sub>	0,33	0,31	0,48	0,39	0,36
(Q <sub>25</sub> -Q <sub>m</sub> ) / (25-DQ <sub>m</sub> )	-1,35	-1,51	-1,38	-1,67	-1,69

*Tabla 11 comparación resultados obtenidos con fibras metálicas dosificadas con 25 kg/m<sup>3</sup>*

La fibra LH 35 65 presenta una superioridad en E<sub>25</sub> de un 10% por sobre la fibra Dramix 3D 65 35, ambas en dosificaciones “P” y 25 kg/m<sup>3</sup>

Las dosificaciones “HP1” y “HP2” con fibras Dramix 3D 65 35 presentan variaciones bajas, del orden del 5% entre ellas, y estas están por sobre un 35% de los niveles de E<sub>25</sub> obtenidos con la dosificación “P” adhiriendo la misma cantidad y tipo de fibra.

En el siguiente grafico se compara directamente los cinco grupos de fibra metálicas en que se ha añadido  $25 \text{ kg/m}^3$  de fibra, en donde se puede observar los dos gráficos que se extraen de este ensayo para cada dosificación.

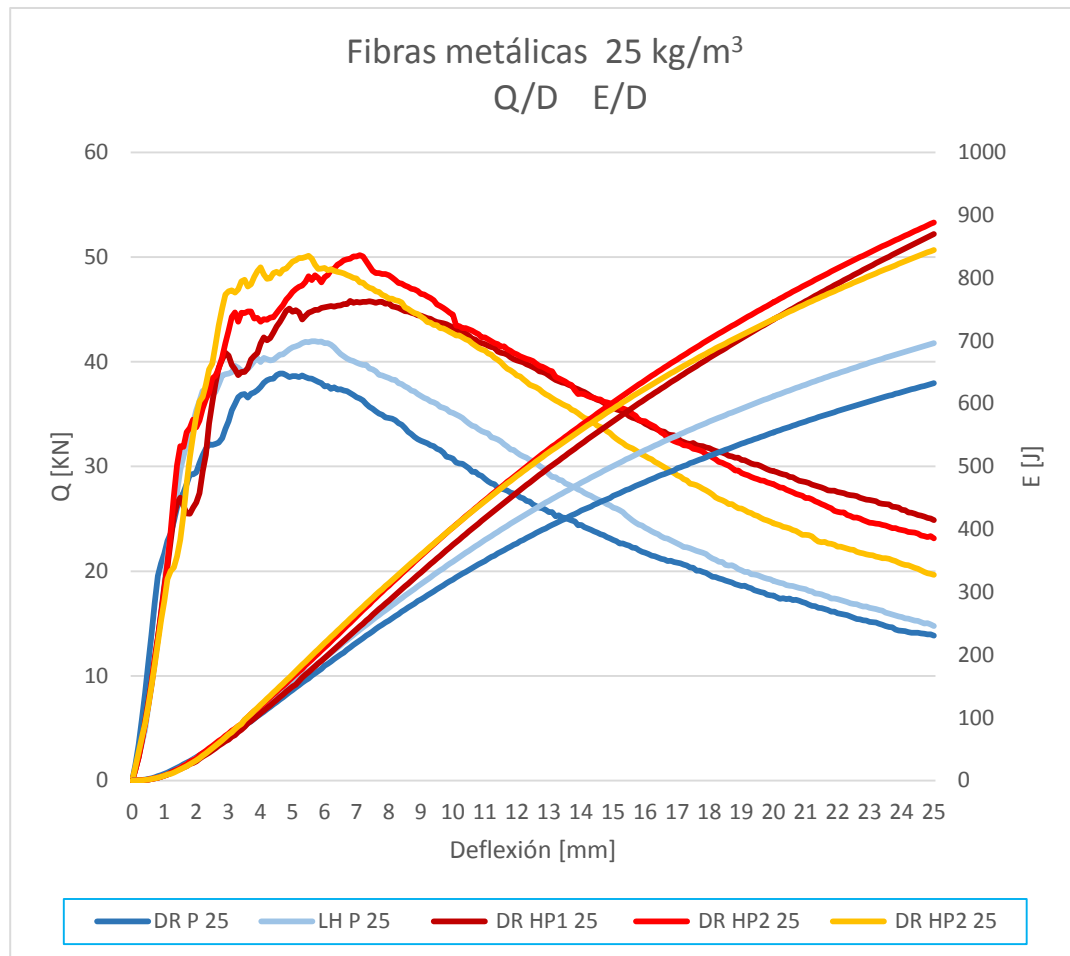


Gráfico 13 Curvas Q/D y D/E para dosificaciones con fibra metálicas y  $25 \text{ kg/m}^3$ .

En este grafico se ve claramente que las dosificaciones tipo HP1 y HP2 se comportan de mejor manera en comparación con la dosificación P. También se aprecia que la fibra LH 35 07 se encuentra en un nivel intermedio. Esto quiere decir que se puede mejorar los niveles esperados de energía modificando diferentes variables, no solo la cantidad de fibra añadida influye en el nivel alcanzado, también el tipo de fibra y la dosificación base influyen directamente en los resultados.

#### 4.1.3 Fibras sintéticas, Barchip 54

A continuación la tabla 12 expone los resultados correspondientes a una dosificación base P, empleando fibra Barchip 54 en dosificaciones de 4, 8 y 12 kg/m<sup>3</sup>.

Fibra	Barchip 54	Barchip 54	Barchip 54
Cantidad	4	8	12
Dosificación	P	P	P
E25	804,2	1065,8	1306,9
Clasificación EFNARC	b-700	c-E1000	c-E1000
Qm	46,3	58,9	75,1
DQm	4,4	5,4	7,4
Q25	23,4	30,0	38,3
Q25/Qm	0,52	0,52	0,51
(Q25-Qm)/(25-DQm)	-1,11	-1,47	-2,09

Tabla 12 Resultados para ensayos con fibra Barchip 54 con 4,8y 12 kg/m<sup>3</sup>

Estos resultados se exponen también en el siguiente grafico 14.

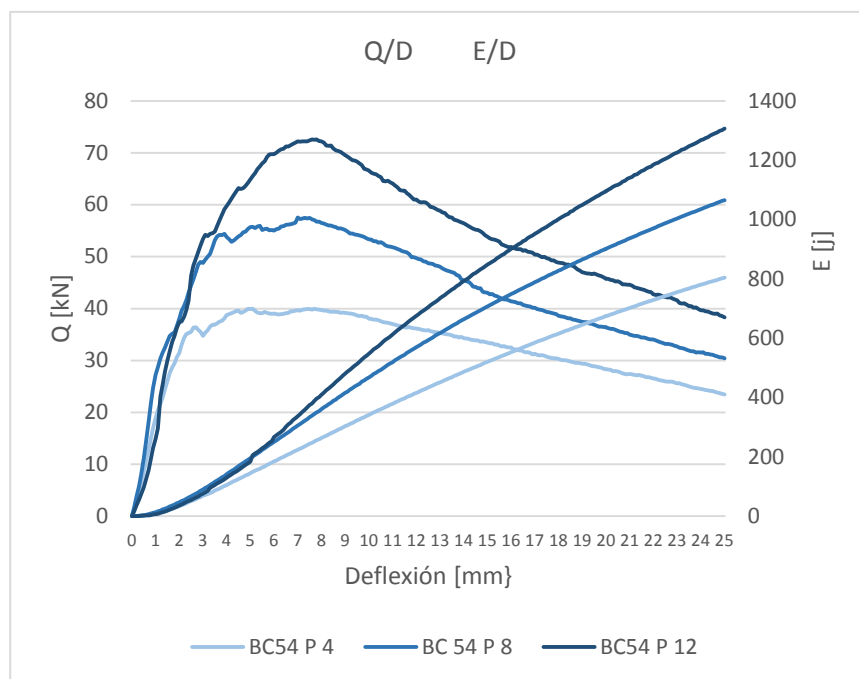


Gráfico 14 Curvas Q/D y D/E para fibra Barchip54 con 4,8 y 12 kg/m<sup>3</sup>

El grafico 14 muestra el aumento del desempeño del hormigón ante el aumento de las cantidades adicionadas de fibra. Y a continuación el grafico 15 muestra los niveles de energía alcanzados con cada cantidad de fibra añadida

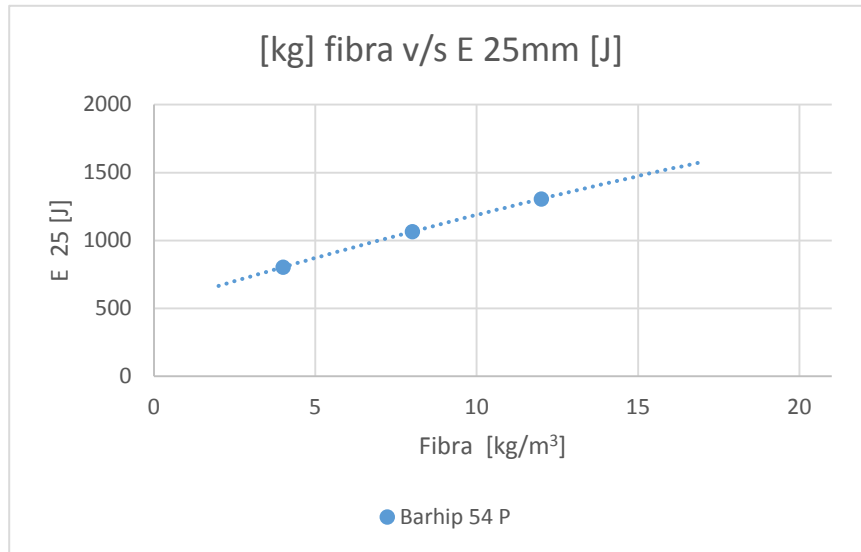


Gráfico 15 Niveles de E<sub>25</sub> alcanzados con fibra Barchip 54 con 4,8 y 12 kg/m<sup>3</sup>

En este tramo explorado entre 4 y 12 kg/m<sup>3</sup>, se aprecia un aumento de E<sub>25</sub> de 804 J a 1306 J a una tasa aproximada de 63 J por cada kilogramo añadido de fibra.

#### 4.1.4 Fibras sintéticas, 6 kg/m<sup>3</sup>

A continuación, en la tabla 13, se presentan los resultados de los grupos de ensayos donde se aplicó diferentes fibras sintéticas en cantidad de 6 kg/m<sup>3</sup>

Fibra	Barchip 3000 dt	Barchip 3000 dt	Barchip 54	Enduro	Istrice 55 091 ISHOTS	Istrice 55 091 ISHOTS	Istrice 55	Istrice 55
Cantidad	6	6	6	6	6	6	6	6
Dosificación	HP1	HP2	HP1	HP1	HP1	HP2	HP1	HP2
E25	1227,4	1169,0	1038,4	824,7	1155,5	1194,9	1081,7	1045,4
Qm	61,9	59,8	55,6	44,6	62,8	67,9	60,0	62,9
DQm	7,5	8,8	7,3	7,0	6,9	7,0	7,6	7,6
Q25	39,7	42,0	31,2	22,1	34,0	27,7	29,3	28,2
Q25/Qm	0,65	0,70	0,56	0,50	0,55	0,41	0,48	0,47
(Q25-Qm) / (25-DQm)	-1,25	-1,13	-1,42	-1,26	-1,61	-2,31	-1,76	-1,96

*Tabla 13 Resultados de fibras sintéticas dosificadas con 6 kg/m<sup>3</sup>*

En estos resultados se puede apreciar pequeñas variaciones en los niveles de E<sub>25</sub> obtenidos con dosificaciones HP1 y HP2 aplicando la misma cantidad y tipo de fibra, estas variaciones son menores al 5%.

A continuación, en el gráfico 16, se puede ver los diferentes niveles de  $E_{25}$  alcanzados y los diferentes comportamientos que se registran con cada tipo de fibra sintética que se ha investigado con adición de  $6 \text{ kg/m}^3$ .

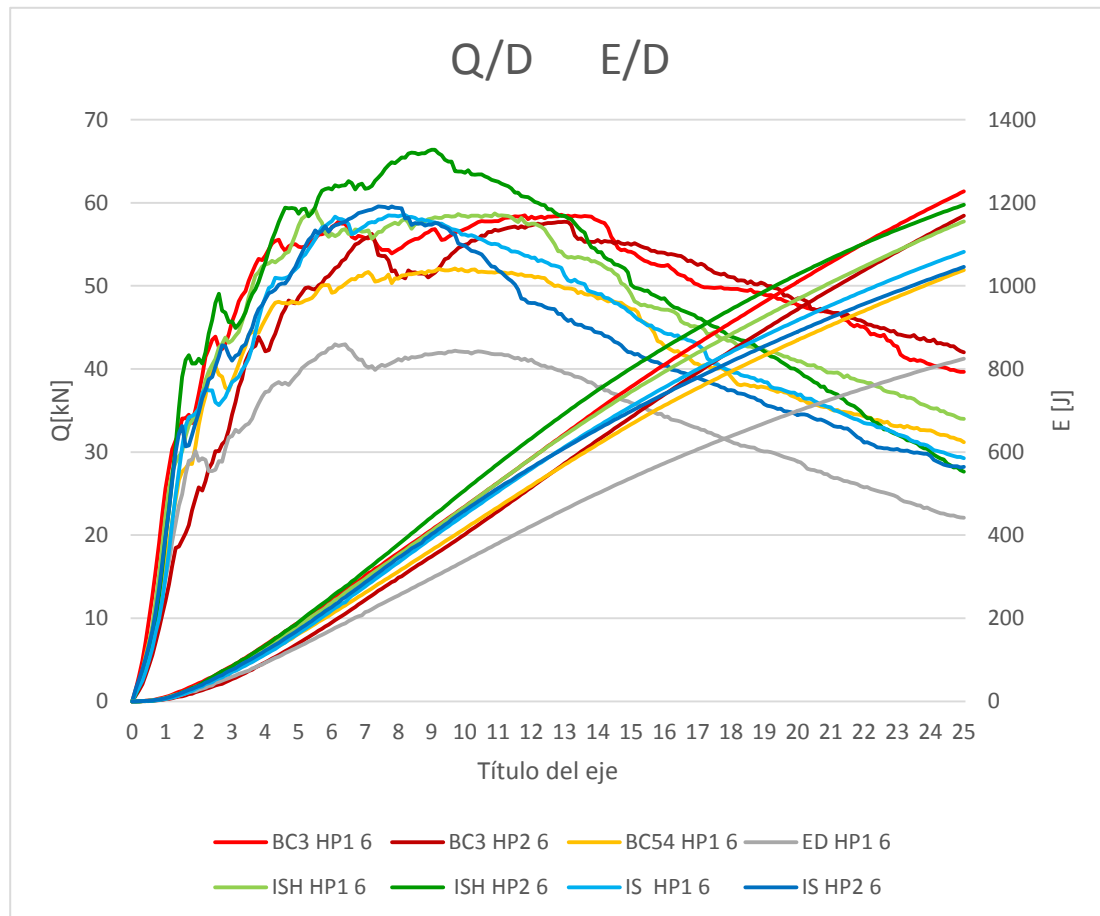


Gráfico 16 Curvas Q/D y D/E para fibras sintéticas dosificadas con  $6 \text{ kg/m}^3$

En este grupo de gráficos llama la atención como alguno de ellos se cruzan o interceptan en algún punto, esto sucede debido a que cada fibra tiene diferentes comportamientos en las interacciones internas con la masa de hormigón, lo que se va reflejando en cada instante en los gráficos de estos ensayo, en el comportamiento en Q/D de los diferentes grupos de ensayos se puede ver que alcanzan máximos en diferentes puntos de deflexión y que luego van perdiendo carga, esta carga va disminuyendo a diferentes tasas, lo que se verá reflejado en la sumatoria final de energía absorbida  $E_{25}$ .

#### 4.1.5 Fibras metálicas y sintéticas

Este grafico contiene una comparación de los niveles de energía alcanzados con dos tipos de fibras de diferente materialidad y en diferentes cantidades adicionadas, una metálica Dramix 3D 65/35 y otra sintética Barchip 54,

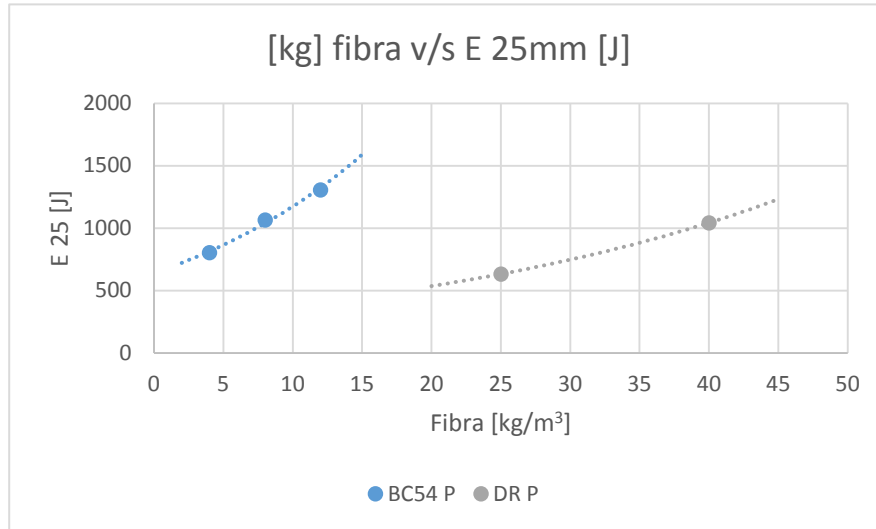


Gráfico 17 Niveles de E25 obtenidos con dos fibras, una metálica y otra sintética dosificadas con diferentes cantidades de fibras y su línea de tendencia.

Lo más importante de este grafico es que se puede ver que la materialidad no es un condicionante al momento de elegir o diseñar con requerimientos de niveles de energía, ya que se puede alcanzar niveles equivalentes de energía tanto con fibras metálicas como con fibras sintéticas. En este grafico se puede ver el nivel de 1000 J, el que se alcanza con 8 kg/m<sup>3</sup> de fibra sintética y también con 40 kg/m<sup>3</sup> de fibra metálica.

## 5 CONCLUSIONES

Respecto de la fabricación de las probetas y la realización de los ensayos se concluye que el tamaño de los paneles y su peso hacen de los ciclos de elaboración a ensayo una tarea que se ve dificultada constantemente por la falta de espacio y la pesada labor de manipular las muestras.

Dentro de los ensayos que miden la tenacidad, el ensayo de panel EFNARC tiene grandes desventajas al compararlo con otros ensayos como el ensayo Barcelona, este se aplica a probetas de un tamaño y peso tal que su manipulación se considera ligera y fluida en comparación con los robustos paneles EFNARC. Es por esto que resulta interesante la relación entre estos ensayos si se pretende ahorrar trabajo y se permite obtener indirectamente los resultados.

Acerca de la recopilación de datos se resume que los datos obtenidos en esta investigación fueron complementados con datos recopilados de investigaciones anteriores, con el fin de tener un horizonte más amplio. Se logró comparar los niveles de energía alcanzados con un tipo de fibra metálica y otra sintética.

En la fibra Dramix 3D 65 35 la incorporación de esta fibra en los niveles de 25 y 40 kg/m<sup>3</sup>, para la dosificación P, aporta mejoras en el refuerzo del hormigón obteniendo paneles clasificados por E500 y E1000 respectivamente a cada cantidad de fibra. Esto se observa también con la fibra sintética Barchip 54 con dosificación P con 4, 8 y 12 kg/m<sup>3</sup> en donde el aumento de la fibra implicó una mejora en el hormigón y se obtuvo paneles clasificados como E700, E1000 y E1000 respectivamente.

El aumento de la cantidad de fibra adicionada al hormigón implica una mejora en la tenacidad, por otra parte incorporar fibra afecta en la trabajabilidad del hormigón, característica importante a la hora de la puesta en obra del hormigón.

Las fibras Dramix 3D 65 35 y la fibra LH 35 07, dos fibras de similares características fabricadas por Bekaert, se han evaluado con dosificación P y 25 kg/m<sup>3</sup> de fibra. En esta evaluación la fibra LH 35 07 presentó un mejor desempeño en E<sub>25</sub> cercano al 10% mayor.

La fibra Dramix 3D 65 35 se ha evaluado en las tres dosificaciones distintas P, HP1 y HP2 con 25kg/m<sup>3</sup> de fibra. Entre los resultados de E<sub>25</sub> en las dosificaciones HP1 y HP2 se presenta poca variación, cercana al 5 %, pero estas se encuentran un 40% sobre los resultados obtenidos con la dosificación P.

Las fibras Barchip 3000 dt , Barchip 54 , Enduro , Istrice 55, 091 ISHOTS y Istrice 55 se dosificaron con  $6 \text{ kg/m}^3$  de fibra en HP1 y HP2 . Todas se han clasificado como E1000 a excepción de la fibra Enduro que se clasifica como E700. Entre las dosificaciones HP1 y HP2 no se concluye una superioridad en alguna dosificación, ya que los datos varían en alrededor de un 5%, en donde se obtienen valores superiores en HP1 y en HP2 en diferentes fibras.

Entonces se puede alcanzar ciertos niveles de energía con variados tipos de fibras, sean metálicas o sintéticas, estos niveles dependerán principalmente de la cantidad de fibras adherida, mientras más fibras, mayores niveles se pueden alcanzar. Las formas específicas de cada tipo de fibra influyen en el anclaje que estas tendrán con el hormigón y también la dosificación de este hormigón base son otros factores determinantes del nivel de energía que absorberá el elemento.

## 6 REFERENCIAS

### 6.1 NORMAS

- 1- European specification for sprayed concrete, Especificaciones EFNARC 1996.
- 2- UNE-EN 14488-5 of 2007, Ensayos de hormigón proyectado – Parte 5: Determinación de la capacidad de absorción de energía de probetas planas reforzadas con fibras.
- 3- UNE-EN 14488-1 of 2007, Ensayos de hormigón proyectado – Parte 1: Toma de muestras de hormigón fresco y endurecido.
- 4- NCh 163 Of. 1979, Áridos para morteros y hormigones - Requisitos Generales.
- 5- NCh 164 Of. 1976, Áridos para morteros y hormigones - Preparación y extracción de muestras.
- 6- NCh 1116 Of. 1977, Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la densidad aparente.
- 7- NCh 1117 Of. 1977, Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las gravas.
- 8- NCh 1239 Of. 1977, Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades real y neta de la absorción de agua de las arenas.
- 9- NCh 148 Of. 1968, Cemento – Terminología, clasificación y especificaciones generales.
- 10- NCh 165 of 1977, Áridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de la granulometría.
- 11- ACI Concrete Terminology ,American Concrete Institute, 2013
- 12- 506R-16 Guide to Shotcrete, ACI Committee 506, 2016
- 13- Specification for Shotcrete , American Concrete Institute , 2014

## 6.2 PUBLICACIONES

- 1- Aumento de la tenacidad de hormigones autocompactables reforzados con fibras cortas de polipropileno. G. Melián , G. Barluenga, F. Hernández-Olivares

paginas web , madrid España

2010
  
- 2- Evaluación de la tenacidad en el hormigón proyectado reforzado con fibras poliméricas de alto módulo
- T. Garcia, L. agulló, A. Aguado, G. Canals E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio
- Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. España
- Bol. Soc. Esp. Ceram. V., 43 [2]552-555 (2004)
  
- 3- Fibras de Vidrio, Acero y Polipropileno: Hormigón con Fibras es más Resistente
- Revista Concrete Massud Sadegzadeh, Roger Kettle, Vasoulla Vassou Aston University, Inglaterra. Traducción y adaptación: Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH)
- Revista BIT Enero 2004
  
- 4- Ensayos para la caracterización y control de Shotcrete reforzado con fibras – uso del ensayo Barcelona como alternativa para el control de HRF
- Seminario “Soluciones y avances tecnológicos para proyectos de túneles”
- Sergio Carmona
- [www.cdt.cl](http://www.cdt.cl)
- 19 de agosto de 2014

- 5- Análisis comparativo de los códigos internacionales para hormigón proyectado  
Memoria para optar al título de ingeniero civil  
Luis Gonzalo Pacheco Ortega  
Profesor guía Edgardo Gonzalez  
Miembros de la comisión: Federico Delfin, Jan Petter Lutnaes  
Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas  
Departamento de ingeniería civil  
Santiago de Chile Septiembre 2012
- 6- Implementación del ensayo de panel cuadrado EFNARC, para determinar la capacidad de absorción de energía del hormigón proyectado reforzado con fibras  
Diego Salvador Díaz Sotomayor  
Memoria para optar al Título de Constructor Civil  
Profesor Guía Sergio Carmona Malatesta  
Universidad Técnica Federico Santa María  
Departamento de obras civiles  
Valparaíso – Chile Junio de 2015
- 7- Comportamiento al corte de hormigones reforzado con fibras de acero  
Sergio Carmona Malatesta , Manuel Cabrera Contreras  
Universidad Técnica Federico Santa María,  
Valparaíso, Chile 2009  
Dramix® Fibras de Acero para el Refuerzo del Concreto Lanzado (Shotcrete)  
ficha técnica

- 8- Concrete / Hormigón reforzado con fibras, Sika Chile , Septiembre de 2014
- 9- Shotcrete - Guia chilena del hormigón Proyectado  
Preparado por Sergio Garcia Guzman  
Publicado por Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile  
Fecha de publicación: 15 octubre 2015
- 10- El refuerzo seguro para estructuras seguras de concreto lanzado, Dramix  
Bahn 2000 – Oenzberg, Switzerland
- 11- Relación entre la tenacidad a flexión y la energía de impacto en hormigones de alta resistencia reforzados con fibras (HSFRC)  
Khaledmair, Ózgüreren, Tahircelik  
Department of Civil Engineering Eastern  
Mediterranean University TURQUÍA  
2000

### 6.3 PAGINAS WEB

- 1- [www.bekaert.com](http://www.bekaert.com)
- 2- [www.fibreistrice.com](http://www.fibreistrice.com)
- 3- [www.elastoplastic.com/4-http://www.fibreistrice.com/schede/ISHOTS.pdf](http://www.elastoplastic.com/4-http://www.fibreistrice.com/schede/ISHOTS.pdf)
- 5- [http://irl.sika.com/dms/getdocument.get/b904a7e8-3c63-3d90-be42-dcff49eab661/LH\\_35\\_07\\_PDS.pdf](http://irl.sika.com/dms/getdocument.get/b904a7e8-3c63-3d90-be42-dcff49eab661/LH_35_07_PDS.pdf).
- 6- <http://www.fibermesh.com/downloads/Enduro%20600.pdf>
- 7- [sdhttp://www.elastoplastic.com/wpcontent/uploads/2016/08/epc\\_pds\\_barchip54.pdf](http://www.elastoplastic.com/wpcontent/uploads/2016/08/epc_pds_barchip54.pdf).
- 8- <http://www.polpaicoconexion.cl/descargas/cempolpaicop400.pdf>
- 9- <http://www.controls-group.com/spa/>
- 10- [www.concrete.org](http://www.concrete.org)

## 7 ANEXO

### 7.1 ANEXO MATERIALES

RESULTADOS DE ENSAYOS EN ARIDOS

ARENA NEGRA GRUESA RIO ACONCAGUA

Ítem	Kg/m <sup>3</sup>
densidad aparente suelta	1695,05
densidad compactada por percusión	1908,98
densidad real áridos sss	2518,8
densidad real árido seco	2521,5
densidad neta	2638,2
	%
absorción de agua	2,39
finos por lavado	6,3

Granulometría para muestra de 491 gr

tamiz	peso retenido [gr]	% parcial retenido	% retenido acumulado	% que pasa
N°4	55	11,2	11,2	88,8
N°8	144	29,33	40,53	59,47
N°16	84	17,11	57,64	42,36
N°30	58	11,81	69,45	30,55
N°50	88	17,92	87,37	12,63
N°100	41	8,35	95,72	4,28
< 100	21	4,28	100	0

Cemento

Cemento polpaico p 400  
y la norma NCH148of 68

características químicas y físicas	NCH 148 Of 68	Cemento Polpaico P 400
Expansión en autoclave %	1 máx.	0,06
Perdida por calcinación %	5,0 máx.	4
Residuo insoluble %	50,0 máx.	15,3
Contenido de SO3 %	4,0 máx.	2,1
Peso específico kg/dm <sup>3</sup>		2,9
Tiempo de fraguado, Vicat		
Inicial, minutos	45 min.	130
final, minutos	600 máx.	180
Finura, Blaine, cm <sup>2</sup> /g		4700

## Fibras metálicas

### Dramix® 3D

Resistencia a la tracción	1.345 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de Young	210.000 N/mm <sup>2</sup>
Geometría	
Longitud (l) [mm]	35
Diámetro (d) [mm]	0,55
Proporción (l/d)	65
Red de fibra 8,0 km por m <sup>3</sup> (para 15 kg/ m <sup>3</sup> ) 14.531 Fibras/kg	

### LH 35 07

suelto	L
enganchado	H
longitud [mm]	35
diámetro [mm]	0.75
L/D	47
resistencia a la tracción [N/mm <sup>2</sup> ]	1200

## Fibras sintéticas

Barchip 54

característica	propiedad material
base resina	olefina modificada
longitud	54 mm
resistencia a la tracción	640 Mpa
textura superficial	continuamente en relieve
N° de fibras por kg	37000
gravedad específica	0,9 a 0,92
módulo de Young	10 Gpa
punto de fusión	159°C - 179°C
punto de ignición	superior a 450°C

Enduro

Propiedades físicas y químicas

absorción	nula
gravedad específica	0,91
longitud	50 mm
conductividad eléctrica	baja
resistencia a los ácidos y sales	alta
punto de fusión	164 °C
punto de ignición	>550 °C
conductividad térmica	baja
resistencia a la alcalinidad	resistente a la alcalinidad

## ISTRICE ISHOTS

composición	polímero de alta densidad y resistencia
apariencia	monofilamento/ macro fibras
longitudes	55 mm
diámetro equivalente	0,91 mm
color	gris
peso específico	1kg
fuerza final a tracción	520 Mpa
módulo de elasticidad	4,1 Gpa
absorción de agua	nula
resistencia a los ácidos	total

## 7.2 ANEXO GRAFICOS ENSAYOS

