UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO OBRAS CIVILES

VALPARAISO - CHILE

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL HORMIGON REFORZADO CON FIBRAS SINTETICAS A ESFUERZOS DE CORTE

Memoria de titulación presentada por

NEHEMIAS LUIS FARIAS MAULEN

Como requisito parcial para optar al título de

CONSTRUCTOR CIVIL

Profesor guía:

SERGIO CARMONA MALATESTA

DICIEMBRE 2021

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios primero por permitirme llegar a esta instancia.

A don Sergio Carmona por el tiempo y la buena disposición.

A mi familia y amigos que siempre me han acompañado.

RESUMEN

En las últimas décadas, las resistencias residuales del hormigón reforzado con fibras sometido a esfuerzos de tracción han sido objeto de amplias investigaciones, lo que ha permitido su reconocimiento como material estructural en el Código Modelo del CEF – FIB de 2010. Sin embargo, para avanzar en su uso estructural es necesario caracterizar su comportamiento ante otras solicitaciones, con el fin de proveer de ecuaciones constitutivas del material.

Esta investigación tiene como objetivo caracterizar el comportamiento del hormigón reforzado con diferentes tipos de fibras sintéticas sometido a solicitaciones de corte directo a través de la configuración del ensayo JSCE-SF6 propuesto por la Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles.

Usando el procedimiento señalado anteriormente en esta memoria se han ensayado 7 hormigones reforzados con diferentes tipos de fibras sintéticas, pero en igual contenido. Determinándose la tenacidad y las resistencias residuales.

De los resultados obtenidos se ha concluido que las fibras contribuyen a mejorar la respuesta del hormigón sometido al corte directo en el estado post fisuración, pero no se ha observado un efecto significativo del tipo de fibra en la contribución a las resistencias residuales al corte.

ABSTRACT

In recent decades, the residual strengths of fiber-reinforced concrete subjected to tensile stress have been the subject of extensive research, which has allowed its recognition as a structural material in the 2010 CEF - FIB Model Code. However, to move forward in its structural use it is necessary to characterize its behavior before other solicitations, in order to provide constitutive equations of the material.

This research aims to characterize the behavior of concrete reinforced with different types of synthetic fibers subjected to direct shear stresses through the configuration of the JSCE-SF6 test proposed by the Japanese Society of Civil Engineers.

Using the procedure indicated above in this report, 7 reinforced concretes with different types of synthetic fibers, but with the same content, have been tested. Determining the toughness and residual strengths.

From the results obtained, it has been concluded that the fibers contribute to improving the response of concrete subjected to direct shear in the post-cracking state, but a significant effect of the type of fiber in the contribution to residual shear strength has not been observed.

GLOSARIO

HRF: Hormigón reforzado con fibras. Hormigón elaborado con fibras con una determinada dosificación, incluyendo los materiales necesarios para su preparación: árido, cemento, agua y aditivos.

Tenacidad: Energía total que es capaz de resistir un material antes de su fisuración.

TONI TECHNIK: Equipo de ensaye a compresión del LEMCO

Shotcrete: Hormigón proyectado. Es el proceso por el cual se proyecta el hormigón a alta velocidad sobre una superficie. Generalmente se usa cuando se desea hormigonar contra terreno.

Ductilidad: Propiedad de algunos materiales los cuales bajo esfuerzos pueden deformarse de manera plástica sin romperse.

Resistencia residual: Resistencia a los esfuerzos que es sometido un material una vez ya fisurado.

INDICE

AGRADECIMIENTOS 1

RESUMEN 2

ABSTRACT 3

GLOSARIO 4

1. CAPÍTULO – INTRODUCCION 7

2. CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS 8

3. CAPÍTULO 3 – MARCO TEORICO 9

3.1. Clasificación de HRF 10

3.2. Ensayo de compresión 11

3.3. Ensayos de corte 11

3.4. Tenacidad y absorción de energía 14

4. CAPITULO 4 - ELABORACION DE PROBETA 15

4.1. MATERIALES UTILIZADOS 15

- **Cemento** 15
- **Áridos** 15
- **Aditivos** 15
- **Fibras** 16

4.2. FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS 17

5. CAPÍTULO 5 – ENSAYOS Y RESULTADOS 19

5.1. ENSAYOS DE COMPRESIÓN 19

5.2. ENSAYOS DE CORTE 20

5.3. COMPORTAMIENTO POST FISURACIÓN 23

5.4. TENACIDAD 23

5.5. RESISTENCIA RESIDUAL 25

CAPITULO 6 – CONCLUSIONES 27

CAPITULO VI - REFERENCIAS 29

CAPITULO 7 - ANEXOS 31

1. CAPÍTULO – INTRODUCCION

Uno de los materiales más usados en la construcción ha sido el hormigón gracias a su gran resistencia, su fácil uso y gran versatilidad, éste está constituido por una matriz cementicea que envuelve y une el material mineral inerte conformado por los agregados pétreos. Pero, el hormigón por sí solo tiene defectos en su estado endurecido como son las fisuraciones que se presentan apenas comienza la solidificación. Es por esto por lo que al hormigón se le suele agregar un material que limite estos defectos como lo es el acero, en barras, y/o las fibras sintéticas o de acero.

El hormigón armado complementa propiedades mecánicas del hormigón y el acero, obteniéndose un hormigón armado tenaz y que además puede disipar una mayor cantidad de energía. Esto se debe a que la propagación de las fisuraciones del hormigón es detenida por las fibras y/o acero lo cual genera una trabazón e impide que la fisura siga avanzando.

En este caso se investigará el hormigón con fibras sintéticas y como estas fibras sintéticas influyen en las propiedades mecánicas del hormigón para resistir esfuerzos en los cuales no tiene buen comportamiento, ya que el hormigón solamente tiene un buen comportamiento a esfuerzos de compresión más no de flexión ni tracción, y en este caso esfuerzo al corte. Hay que tener en cuenta que el esfuerzo de corte en el hormigón es soportado por la trabazón de los agregados pétreos y el material ligante como lo es el cemento, pero aparte de esto no tiene otro soporte. Es por lo cual la integración de las fibras hará un gran papel para tomar estos esfuerzos de corte y agregar resistencia de las muestras y formar una *trabazón* entre las fisuras que van apareciendo y así obtener una mayor resistencia.

2. CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS

El objetivo principal de esta memoria es caracterizar el comportamiento de hormigones reforzados con macro fibras sintéticas sometidos a esfuerzo de corte directo.

Los objetivos secundarios de esta memoria son los siguientes:

- Determinar la relación carga - desplazamiento de hormigones reforzados con 5 kg/m3 de diferentes tipos de fibras sintéticas sometidas a ensayo de corte.
- Determinar la resistencia residual al corte de hormigones reforzados con macro fibras sintéticas.
- Determinar el incremento de la tenacidad al corte directo.
- Evaluar la efectividad de los diferentes tipos de fibras en el incremento de las resistencias residuales y tenacidad al corte del hormigón.

3. CAPÍTULO 3 – MARCO TEORICO

Es conocido que el comportamiento del hormigón depende del tipo de solicitación al que sea sometido, si estas fuerzas son de compresión el hormigón tiene un excelente desempeño pero para esfuerzo de flexión o corte el desempeño es pobre. Es por lo anterior que al momento de diseñar se deben considerar refuerzos para aquello donde el hormigón no es satisfactorio en su desempeño. Para esfuerzos de flexión se ocupan refuerzos longitudinales, y para esfuerzos de corte se utilizan refuerzos transversales.

Todo lo indicado respecto a los refuerzos que se deben añadir al hormigón son con el fin de no tener una falla frágil, que es característico de como falla el hormigón. Este tipo de fallas suele ser violenta y sin tener ningún tipo de aviso o indicativo que va a ocurrir, es por esto por lo que se busca que las fallas sean del tipo dúctil o gradual, para poder tener planes de acción o contingencia ante la presencia de deformaciones. Bajo la premisa que estamos revisando el uso de fibras esta se está implementando con el fin de poder tener una nueva posibilidad para el diseño de estructuras resistentes a esfuerzos de corte o como complemento a los refuerzos clásicos y en aquellos lugares o estructuras con formas poco comunes que pueden tener problemas para poder implementar soluciones clásicas de refuerzo de estructura.

Investigaciones previas han demostrado los beneficios otorgados por la incorporación de fibras en el hormigón, mejorando la capacidad estructural frente a esfuerzos de corte. La incorporación de fibras en el hormigón incrementan muchas de las propiedades de estos, debido a que constituyen una micro armadura que aporta una mayor eficacia para contrarrestar el fenómeno de la fisuración por retracción, además de conferir una mayor

ductilidad, la cual, termina aportando un aumento de la tenacidad, también se generan beneficios en la resistencia a la fractura, impacto y fatiga (Tesis Hormigones con fibra de acero, Características mecánicas, Patricia Mármol, UPM, Madrid, 2010).

Las propiedades mecánicas adquiridas del HRF están determinadas por el tipo de fibra, la cantidad de fibra incorporada, la distribución de estas, relación largo/diámetro de la fibra, tipos de agregados y la matriz cementicea.

3.1. Clasificación de HRF

La norma ASTM C1609 Define principalmente 3 tipos de hormigón reforzado con fibras:

- Tipo I: Hormigón o Shotcrete reforzado con fibras de acero.
- Tipo II: Hormigón o Shotcrete reforzado con fibras de vidrio.
- Tipo II: Hormigón o Shotcrete reforzado con fibras sintéticas.

Esta clasificación separa las fibras de acuerdo por su materialidad, si bien también, existen otras clasificaciones más populares como la siguiente clasificación que separa las fibras según su función:

Microfibras: Se denominan a las fibras de refuerzo que pretenden reducir el agrietamiento durante el fraguado, cuyo uso está abocado a pavimentos, donde la relación entre superficie y volumen de hormigones es bastante alta. También es utilizada para reducir el rebote en shotcrete y para disminuir el efecto de la figuración del hormigón en el fraguado.

Macro fibras: Se denominan a las fibras de refuerzo cuya principal función es mejorar las propiedades mecánicas del hormigón una vez se encuentre endurecido, proporcionando mejor resistencia a la flexión, ductilidad, entre otras. La geometría de las fibras es diversa,

debido a que se puede tener sección circular, cuadrada, rectangular, entre otras. En general las dimensiones de las fibras oscilan entre 0.25 y 0.80 [mm] de diámetro y entre 10 y 75 [mm] de longitud.

La ductilidad de las fibras es otro factor crucial, es de vital importancia que las fibras se mantengan firmemente adheridas al hormigón donde aparezca alguna fisura, si se tratase de un material mucho menos dúctil que el hormigón esto sería imposible, ya que a medida que las grietas se incrementen todos los esfuerzos recaerían en el anclaje, forzando así el desprendimiento en el punto en que la fibra está anclada, evitando además la posibilidad de un trabajo conjunto entre fibras.

3.2. Ensayo de compresión

La Norma NCh. 1037 of 2009 establece el método de ensayo a la rotura por compresión de probetas cilíndricas, siendo sus dimensiones diámetro y altura, 15 y 30 cm respectivamente. Las caras de cada cilindro a ensayar deben estar rectificadas, de tal forma que al someter a compresión a la probeta. Por medio del ensayo de compresión es posible obtener la carga máxima aplicada por la máquina de ensayo, y junto al dato de la sección de ensayo se obtiene la resistencia a compresión como la tensión de rotura.

3.3. Ensayos de corte

Uno de los ensayos más populares para la determinación de la resistencia al corte de los hormigones ha sido el ensayo de la probeta tipo “Z” (Barr, 1987), mostrada en la Figura 1. La probeta es básicamente un prisma cortado formando dos bloques tipo L, unidos a través de un plano sobre el que se producen las tensiones de corte debido a una carga de compresión externa. Sin embargo, estos ensayos son muy sensibles a excentricidad en la aplicación de la

carga de compresión, lo que se traduce en roturas por flexión y no por corte. Frente a este problema experimental, se han propuesto otras alternativas de ensayo, como las vigas o paneles en flexión sobre cuatro puntos con cargas excéntricas o vigas con carga central con entalla excéntrica, que se puede ver en la Figura 2 (Barr, 1987; Shah et al., 1995).

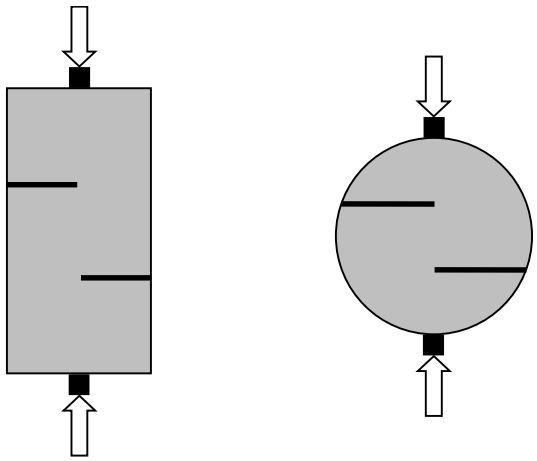


Figura 1: Probetas tipo Z para ensayos de corte (Barr, 1987)

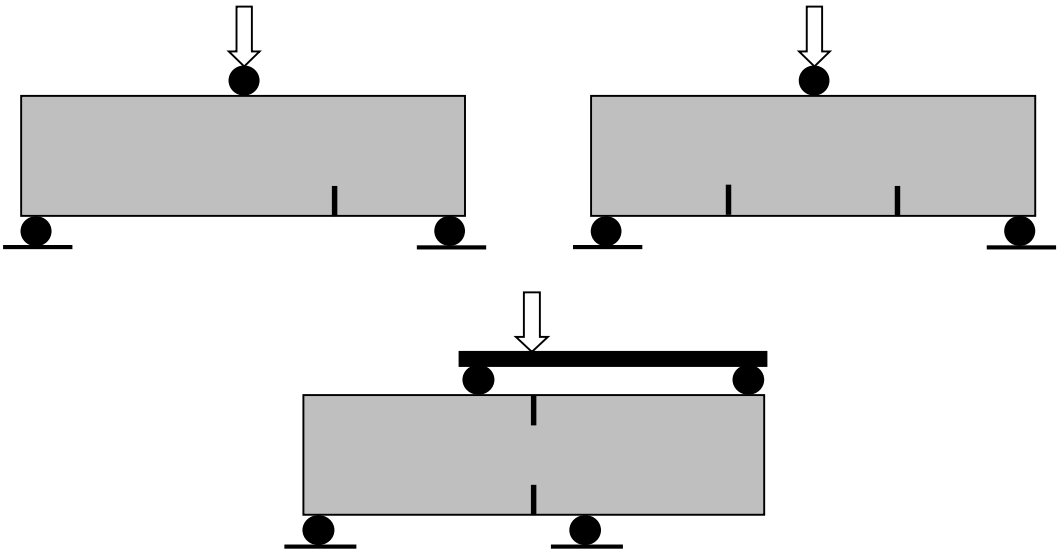


Figura 2: Otras probetas para realizar ensayo de corte (Shah, et al., 1995)

Debido a que las roturas por corte son consideradas frágiles y frente al incremento en la ductilidad del hormigón que producen las fibras (ACI 2008a), actualmente existe un gran interés en determinar la respuesta del hormigón reforzado con fibras frente a esas condiciones de carga. Por este motivo se han propuesto diferentes tipos de probetas y ensayos que tienen por objetivo producir esfuerzos de corte en un plano de falla predefinido (normalmente cortando entallas en las probetas), empleando barras y cargas de compresión (Barragán et al., 2006).

El ensayo de corte JSCE-SF6 es una recomendación hecha por la sociedad japonesa de ingenieros civiles en la que se establece el uso de la configuración mostrada en la Figura 3. Como se observa en ella, la carga de corte se aplica sobre una probeta prismática, de 150 mm de arista, en la cual al ser ensayada se debe medir el desplazamiento en el punto central del tercio central con respecto a los tercios exteriores, y además, se debe medir la carga aplicada de manera conjunta para poder correlacionar el desplazamiento y el esfuerzo aplicado. Durante el ensayo, la tensión de corte se produce por medio de una carga de compresión transmitida al prisma por un bloque de acero provisto de dos cuñas, cuyas caras exteriores coinciden con el borde interno de las entallas, distantes 150 mm entre sí. La probeta se apoya en otras dos cuñas fijas a otro bloque rígido, separadas a 155 mm. Entonces, es a través de una zona angosta, de 2,5 mm de ancho, donde se produce un campo de tensiones de corte concentradas (Mirsayah y Bantia, 2002).

Sin embargo, los primeros ensayos realizados por Mirsayah y Bantia demostraron que el plano de rotura frecuentemente no se producía en la zona angosta sometida al esfuerzo de corte, obteniendo resultados no válidos. Estos autores debieron introducir dos entallas en las

probetas, en la zona de concentración de los esfuerzos, con el fin de definir dos planos de rotura, permitiendo alcanzar resultados válidos y con poca variabilidad.

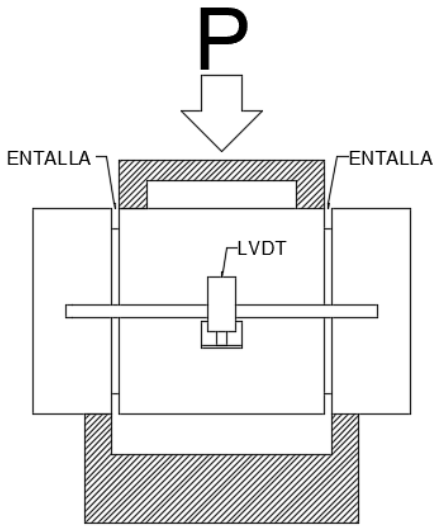


Figura 3: Configuración general ensayo JSCE-SF6 Modificado

3.4. Tenacidad y absorción de energía

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 y se determina como el área bajo la curva carga/deflexión para una probeta. Esta propiedad se puede ver afectada por el contenido y tipo de fibra.

Un parámetro que influye en la capacidad de absorción de los HRF son las características de la fibra, ya que la fibra es la encargada de resistir las fisuraciones, por lo que dependerá de las propiedades de la fibra el resistir los esfuerzos requeridos, ya sea su resistencia a la tracción, largo, aspecto, forma. Todos estos aspectos influyen en la capacidad que tiene la fibra en adherirse la matriz cementicea.

4. CAPITULO 4 - ELABORACION DE PROBETA

En este capítulo se presentan las características de los materiales utilizados para elaborar las probetas ensayadas.

4.1. MATERIALES UTILIZADOS

Para elaborar los hormigones ensayados se utilizaron los siguientes materiales:

- **Cemento**

  El cemento utilizado para el presente estudio corresponde a un cemento de Alta Resistencia Bio-Bio, el cual cumple con los requisitos de NCh148 Of 168.

  Este cemento presenta ventajas comparativas en las siguientes aplicaciones:

  - Hormigones en que se requiere resistencia a temprana edad.
  - Hormigones en tiempo frio.
  - Hormigones proyectados.
  - Prefabricados de hormigón.

- **Áridos**

  El árido utilizado en este experimento es de tipo industrial, esta tiene la finalidad de conformar el mortero o pasta de cemento ya que al mezclarse con cemento y agua son el aglomerante de la mezcla de hormigón.

- **Aditivos**

  El aditivo utilizado en la elaboración del hormigón es un aditivo plastificante seco, ayudando a mejorar su manejabilidad, es decir mejora la lubricación entre las

partículas obteniéndose una mayor docilidad con agua constante, menor cantidad de agua y mayor facilidad de colocación y compactación.

Se recomienda el uso de este tipo de aditivo en hormigones bombeados y premezclados, hormigonado de elementos estrechos o prefabricados y hormigones con alta resistencia.

- **Fibras**

  Para la fabricación de las probetas ensayadas se usaron 7 tipos de fibras diferentes las que de detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: Especificaciones de las fibras sintéticas utilizadas.

SIGLA	Fibra	F_{ST} [MPa]	E[GPa]	γ [gr/cm]	L[mm]
V1	BarChip 48	640	12	0,91	48
V2	Normet	540	10,4	0,91	-
V3	Barchip R50	640	12	0,91	50
V4	Fiber Mesh 650s	613	5,4	0,91	50
V5	Sika Fiber PP48s	550	7,5	0,92	48
V6	EPC Dúctil	-	-	0,91	-
V7	Bar Chip 54	640	12	0,91	54

En donde:

F_{ST} **[MPa]**: Resistencia a la tracción

E[GPa]: Modulo de Young.

γ [gr/cm]: Densidad de la fibra

L[mm]: Longitud de la fibra

4.2. FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS

Para elaborar los hormigones reforzados con fibras ensayados, se utilizó la dosificación que se da en la Tabla 2.

Tabla 2: Dosificación para Hormigones reforzados con fibra.

Material	Dosificación
Cemento (kg/m3)	420
Agua (lt/m3)	200
Arena (kg/m3)	1580
Aditivo Plastificante Seco (kg/m3)	4
Fibras (kg/m3)	5

La elaboración de las probetas se realizó en dependencia la compañía Xtreme Mining ubicada en la comuna de San Bernardo, Santiago. Se utilizó una betonera con una capacidad de aproximadamente 500 lts, la cual es limpiada para evitar que algún material externo a la mezcla a realizar la altere. Posteriormente se colocan el agua en la betonera y luego la mezcla de pre hormigón mientras la mezcladora se encuentra en movimiento.

Luego de obtener la mezcla, se extrae una porción pequeña para obtener el asentamiento del cono del hormigón sin la fibra aún. Ya obtenido el cono, se incorpora la fibra a la mezcla, dejando un par de minutos para lograr una mezcla lo más homogénea posible, para luego volver a medir el asentamiento del cono de HRF.

Luego de realizar la medición del asentamiento del cono con la fibra incorporada, se toma una muestra de la mezcla para calcular la temperatura y el porcentaje de aire en la mezcla obtenida.

Luego de realizar las mediciones mencionadas anteriormente, se coloca la mezcla en las probetas, para luego compactarlas mediante el método de vibración. Se debe verificar que las probetas a utilizar se encuentren con el desmoldante aplicado para evitar problemas al momento de desmoldar los elementos.

Luego de hormigonar las probetas se cubren con polietileno con la finalidad de que el hormigón no pierda humedad. Luego de desmoldarlo a las 48 horas, se realiza el proceso de curado.

Tras 48 horas, se procede a desmoldar las probetas y se inicia el proceso de curado. Para esto se almacena en posición horizontal en un lugar donde no reciben luz del sol ni están expuestas a altas temperaturas. Luego se cubren con nylon para evitar la pérdida de agua, hasta que se cumplas los 28 días para realizar los ensayos.

5. CAPÍTULO 5 – ENSAYOS Y RESULTADOS

El este capítulo se presentan los procedimientos de ensayos utilizados y los resultados obtenidos.

5.1. ENSAYOS DE COMPRESIÓN

De cada hormigón estudiado se moldearon 3 probetas cilíndricas normaliza de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, las que se ensayaron a los 28 días siguiendo el procedimiento establecido la Norma NCh 1037 of 2009, obteniéndose los resultados que se muestran en Tabla 3.

Tabla 3: Resultados de ensayos de compresión

FIBRA	CARGA (N)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (MPa)		CV (%)
		INDIVIDUAL	PROMEDIO	
BC 48	845.300	47,8	46,2	4,95
	834.400	47,2		
	770.500	43,6		
NORMET	692.700	39,2	38,8	2,27
	667.800	37,8		
	696.400	39,4		
BC R50	1.037.700	58,7	59,3	1,72
	1.038.900	58,8		
	1.069.400	60,5		
FIBERMESH	735.200	41,6	43,9	7,26
	751.000	42,5		
	839.700	47,5		
SIKA	851.100	48,2	55,6	11,54
	1.052.300	59,6		
	1.041.900	59,0		
DUCTIL	1.083.000	61,3	55,0	10,60
	950.600	53,8		
	880.400	49,8		
BC 54	785.000	44,4	40,8	12,67
	762.100	43,1		
	616.500	34,9		

5.2. ENSAYOS DE CORTE

Las vigas moldeadas fueron ensayadas a flexión de acuerdo con el procedimiento establecido en la norma europea EN 14651 y una de las mitades fu utilizada para realizar los ensayos de corte, objeto de la presente Memoria.

Todos los ensayos de corte se realizaron a los 90 días. Previo a cada ensayo, se cortaron entallas de 15 mm de profundidad (un décimo de la altura de la probeta), siguiendo el procedimiento utilizado por Carmona y Cabrera (2009).

Todos los ensayos de corte, 5 por cada tipo de hormigón estudiado, se realizaron con una prensa hidráulica marca Toni Technik 1142/0230 con una capacidad de carga de 3000 kN, la cual posee dos rangos de carga, uno de 600 kN y otro de 3000 kN, con una precisión de 0,1kN y 1kN, respectivamente.

En cada ensayo de corte se utilizó la configuración que se muestra en las Figura 4, registrándose en cada uno de ellos la carga aplicada (P) y el desplazamiento relativo del bloque central (δ) de la probeta. El desplazamiento se midió con un transductor de desplazamiento del tipo LVDT, de 20 mm de rango, ubicado en el centro de la probeta. La carga se midió directamente a la celda de carga de la prensa hidráulica. Ambas señales fueron registradas por un sistema de adquisición de datos marca Hewlett Packard modelo 7500-XVI, a razón de 3 datos por segundo, obteniéndose las curvas que se presentan en la Figura 5. Con el fin de evaluar el efecto de la fibras en la respuesta al corte directo, en esta Figura también se incluye la curva obtenida por Meneses (2015), ensayando un hormigón en masa de iguales características.

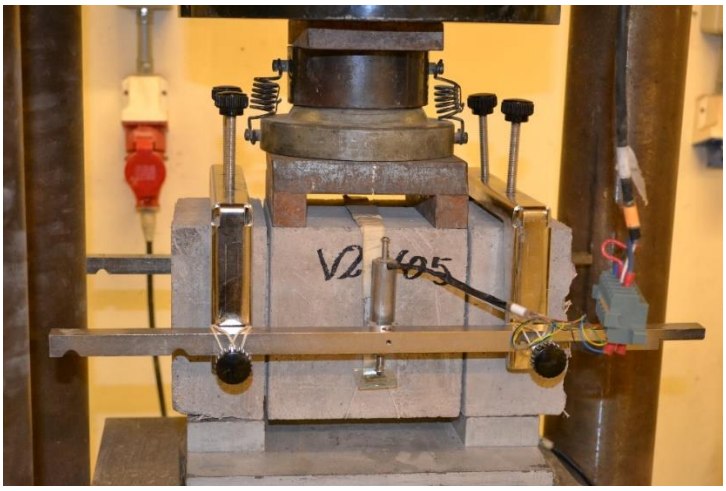


Figura 4: Disposición según norma JSCE-SF6 modificado.

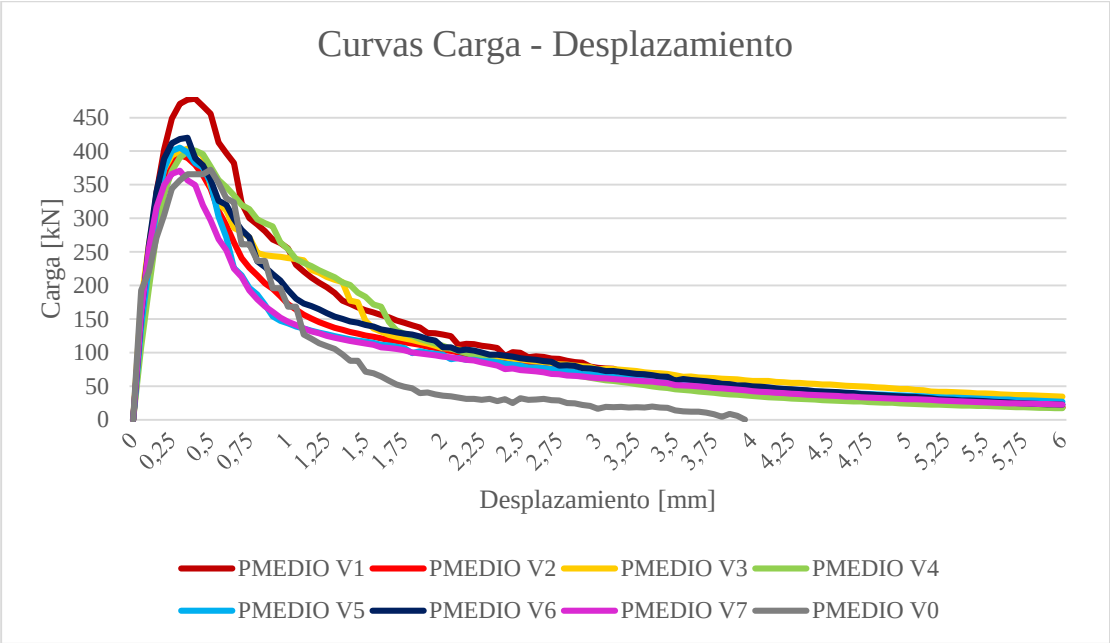


Figura 5: Grafica del desplazamiento vs carga para todas las muestras.

Usando la carga máxima alcanza por cada probeta durante el ensayo, se determinó la resistencia al corte usando la ecuación (1), obteniéndose los valores que se presentan en la Tabla 4.

$$\tau_{max} = \frac{P_{max}}{2 * b_{eff} * d_{eff}} \quad (1)$$

En donde τ_{max} es la resistencia máxima a esfuerzo de corte, P_{max} la carga máxima, b_{eff} el ancho efectivo en la zona de entalla y d_{eff} la profundidad efectiva en la zona de entalla.

Tabla 4: Resultados de ensayos de corte puro

FIBRA	CARGA (N)	RESISTENCIA CORTE (MPa)		CV (%)
		INDIVIDUAL	PROMEDIO	
BC 48	500.815	17,39	16,61	6,24
	467.344	16,23		
	519.683	18,05		
	456.915	15,87		
	450.847	15,65		
NORMET	382.864	13,29	13,69	5,20
	397.560	13,80		
	409.887	14,23		
	430.083	14,93		
	380.494	13,21		
BC R50	449.899	15,62	13,96	6,41
	378.883	13,16		
	407.896	14,16		
	402.491	13,98		
	401.637	13,95		
FIBERMESH	464.974	16,15	13,20	18,70
	307.202	10,67		
	321.140	11,15		
	437.857	15,20		
	416.714	14,47		
SIKA	416.335	14,46	14,07	4,19
	431.979	15,00		
	394.622	13,70		
	391.493	13,59		
	400.689	13,91		
DUCTIL	441.555	15,33	14,58	3,29
	407.231	14,14		
	419.937	14,58		
	424.773	14,75		
	437.572	15,19		
BC 54	386.752	13,43	12,89	3,45
	368.073	12,78		
	397.561	13,70		
	364.470	12,66		
	384.571	13,35		

5.3. COMPORTAMIENTO POST FISURACIÓN

Para evaluar el efecto de las fibras en el comportamiento post fisuración de los HRF estudiados, a continuación se determina la tenacidad y las resistencias residuales, en forma análoga a como se han definido en la norma ASTM C – 1609 para ensayos de flexión.

5.4. TENACIDAD

La tenacidad es una medida de la capacidad de disipación de energía durante el proceso de fractura de un hormigón reforzado con fibras y es ampliamente utilizada para cuantificar el efecto beneficioso de la incorporación de fibras en el hormigón.

Experimentalmente, la tenacidad se determina como el área bajo la curva carga – desplazamiento hasta un cierto nivel de deformación. Considerando que no existen definiciones normativas para esta propiedad determinada mediante el ensayo de corte directo, en esta Memoria se ha calcula el área hasta un desplazamiento central de 6 mm, usando la ecuación (2):

$$T_6 = \int_0^{6\,mm} P(\delta)d\delta \qquad (2)$$

Donde T_6 es la tenacidad a una deformación de 6 mm, $P(\delta)$ la carga aplicada en función de la deformación δ. Usando la ecuación (2) y los resultados de los ensayos, para cada hormigón estudiado, se determinaron las tenacidades que se presentan en la Tabla 5 y se grafican en la Figura 6.

Tabla 5: Tenacidad para cada tipo de fibra

FIBRA	T_6 [J]
S/F	417
BARCHIP 48	737
NORMET	596
BARCHIP R50	717
FIBERMESH 650s	663
SIKA FIBER PP48s	591
EPC DUCTIL	667
BARCHIP 54	557

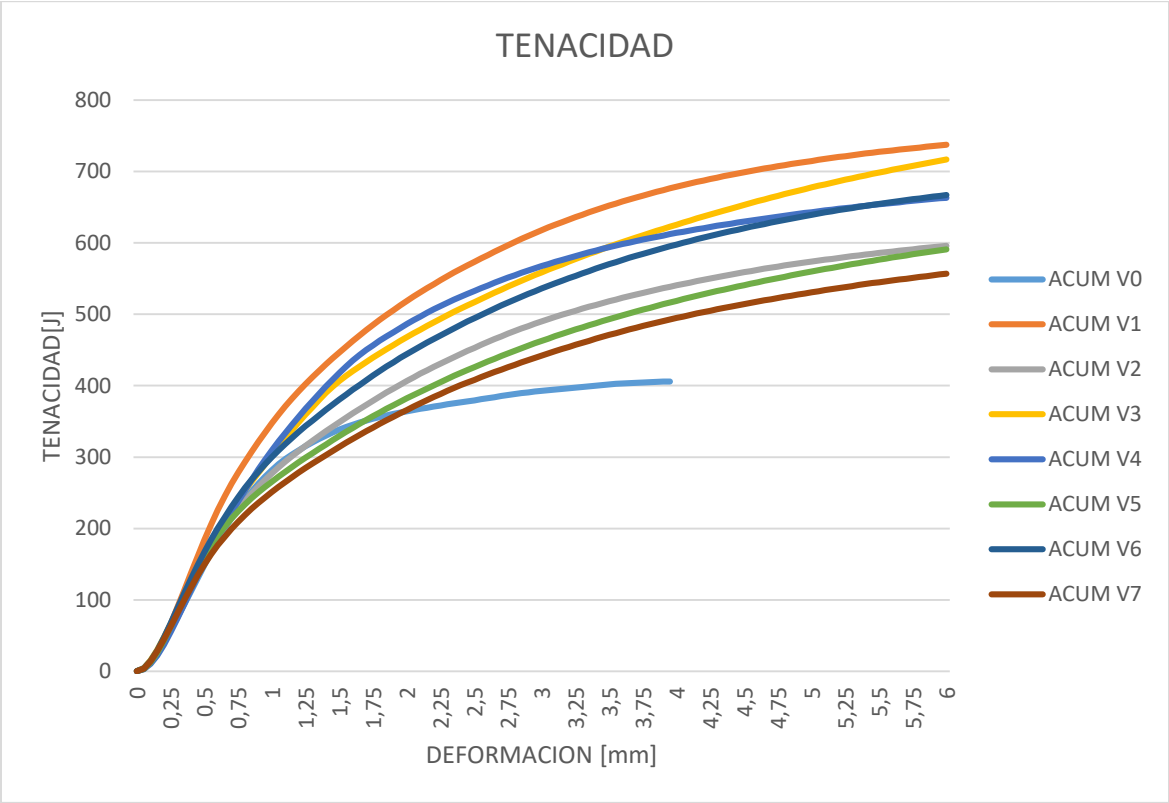


Figura 6: Tenacidad de todos los hormigones con y sin fibra

5.5. RESISTENCIA RESIDUAL

La resistencia residual es la capacidad de absorber energía una vez alcanzada la primera fisura, esta ocurre cuando tenemos el primer pico de resistencia a la mínima flexión. La resistencia residual se muestra de manera porcentual en la Figura 7 con el fin de obtener de manera visual cómo se comporta el HRF a medida que la deflexión aumenta.

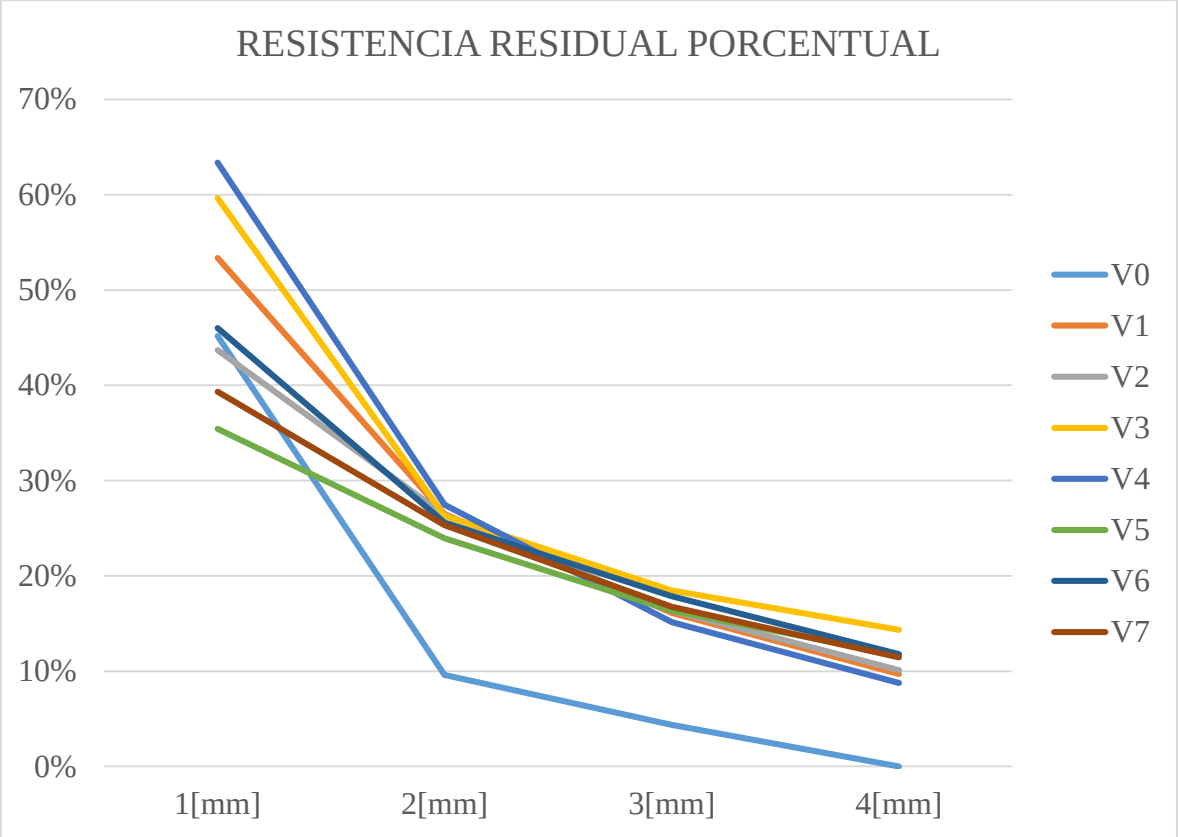


Figura 7: Resistencia residual porcentual por muestra

Tabla 6: Resistencia residual absoluta

RESISTENCIA RESIDUAL					
PROBETA	MAX[KN]	1[mm]	2[mm]	3[mm]	4[mm]
S/F	372	168	36	16	0
BARCHIP 48	478	255	127	77	46
NORMET	394	172	104	64	40
BARCHIP R50	404	241	106	75	58
FIBERMESH 650s	401	254	110	61	35
SIKA FIBER PP48s	405	144	97	66	47
EPC DUCTIL	420	193	108	75	50
BARCHIP 54	371	146	94	62	43

En los gráficos y tablas adjuntas se presenta la resistencia residual para cada tipo de probetas ensayadas. De esto se desprende que la fibra agrega resistencia residual a medida que el desplazamiento aumenta, pero se aprecia de manera notable entre 2 y 3 [mm] de desplazamiento en donde se tiene considerablemente más resistencia con fibra que sin ella. Así también una vez alcanzados los 4 [mm] de desplazamiento la muestra que no tiene fibras sintéticas agregadas falla totalmente mientras las muestras con fibras sintéticas aún tienen de un 10% a un 15% de su resistencia total inicial.

CAPITULO 6 – CONCLUSIONES

A través de los ensayos realizados en esta investigación aplicando el método de la norma JSCE-SF6 para la determinación de la resistencia al corte de las probetas de hormigón se ha podido determinar que la incorporación de fibra sintética como aditivo al hormigón influye positivamente en las propiedades mecánicas de este, aumentando la energía disipada una vez aparecida la primera grieta en comparación con un hormigón sin adición de fibra.

También se puede observar la baja variabilidad del ensayo JSCE-SF6 para la determinación de la resistencia del hormigón sometido a esfuerzos de corte. Y con esto se deduce que el ensayo indicado es un buen ensayo para la determinación del corte puro para hormigones en general, y especialmente para la determinación de la influencia de los diferentes aditivos que existen para el hormigón.

De la primera parte del ensayo, en el cual se determina cual es la resistencia máxima, se puede apreciar con los gráficos indicados, que la incorporación de fibras en el hormigón produce que estos puedan seguir resistiendo carga una vez superado los 3 [mm] de desplazamiento, y esto es únicamente por la acción de la fibra, ya que este mismo desplazamiento replicado en una probeta sin fibra añadida resulta como la separación de los tercios exteriores al tercio central, el cual se separa dado que entre los agregados que tiene no hay ninguno que cumpla la función de la fibra.

También, dado los gráficos obtenidos y en el mismo instante en que fueron realizados los ensayos se observó la suavidad con que este fue desarrollado, esto es, que la fibra no falló drásticamente, lo que se puede inducir de esto es que la fibra falló por desprendimiento de la fibra de la matriz cementico y no por rompimiento de la fibra en sí. Esto puede ser beneficioso

en el sentido de que la falla es suave y permite un desplazamiento notable antes de que la falla sea insostenible, y también puede verse desde el punto de que la falla por desprendimiento es por mala adherencia de la fibra a la matriz cementico. Esto da para poder tener una mejor perspectiva a la hora de diseñar estructuras con adición de fibra.

De las fibras estudiadas se desprende que la fibra BARCHIP 48 tiene la mayor carga máxima obtenida, y esto concuerda con la tenacidad máxima obtenida, que también fue obtenida por esta fibra.

Analizando los datos obtenidos también se desprende que en estado pre-fisuración el comportamiento del hormigón reforzado con fibras es bastante similar al hormigón sin adicción de fibras sintéticas. Esto se observa en la resistencia que obtuvo en ensayo de compresión y en el cálculo del esfuerzo de corte máximo, en el cual se obtuvo un resultado bastante consistente entre todos los hormigones estudiados.

CAPITULO VI - REFERENCIAS

Revista Ingeniería de Construcción Vol.24 N°1, Abril de 2009. "Comportamiento al corte de hormigones reforzado con fibras de acero" (S. Carmona M. y M. Cabrera C.).

JSCE. 1990. Method of test for shear strength of steel fiber reinforced concrete (SFRC). Standard JSCE-SF6, Japan Society of Civil engineers (JSCE)

Requisitos Generales, según NCh 163.

Instituto Nacional De Normalización. NCh 170 of. 1985. Hormigón – Requisitos Generales NCh 1018 of. 1977

Extracción y preparación de las muestras según NCh 164.

Tesis para grado de Máster, Universidad Politécnica de Madrid 2010: “Hormigones con Fibras de Acero, características mecánicas”

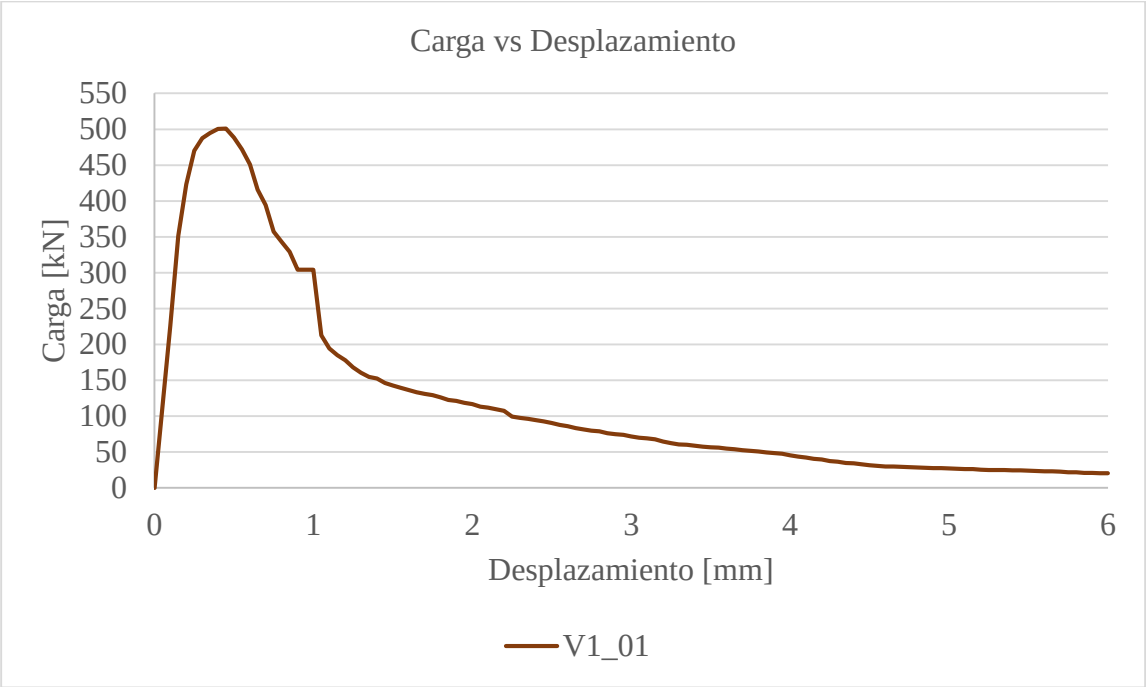
Mirsayah, A. y Banthia, N. (2002), Shear Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete. ACI Material Journal, Vol. 99, pp 473 – 479.

Barragán, B., Gettu, R., Agullo, L. y Zerbino, R. (2006) Shear Failure of Steel Fiber-Reinforced Concrete Based on Push-Off Tests. ACI Materials Journal Vol. 103, pp 251 – 257.

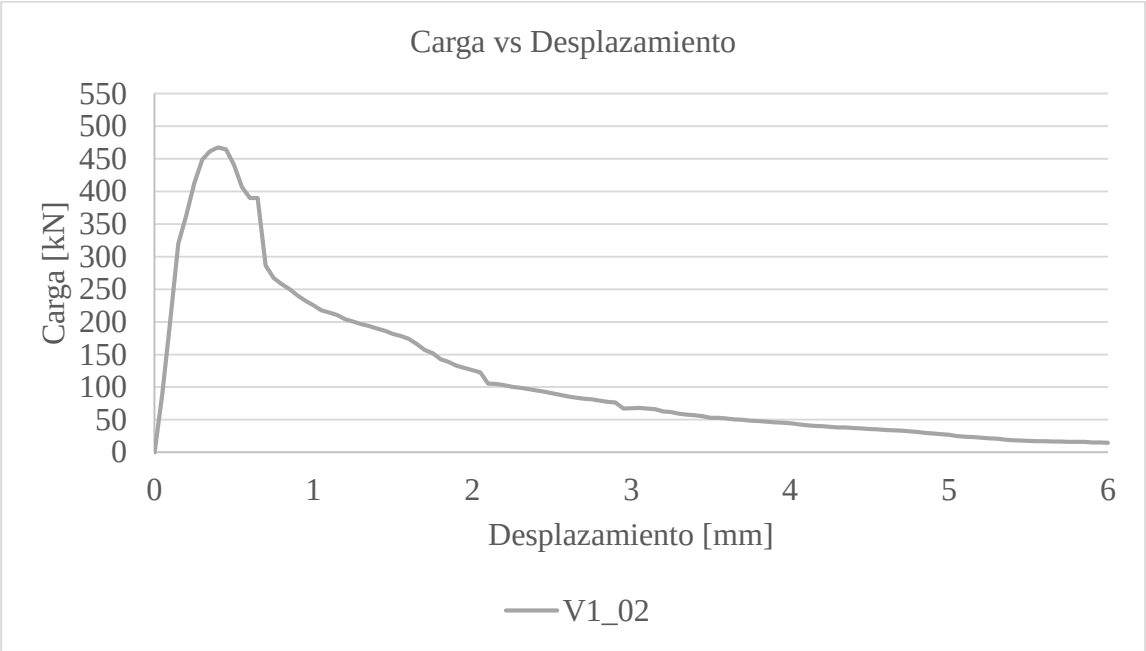
Carmona, S. y Maripangui, F. (2007), Comportamiento del Hormigón Reforzado con Fibras Sometido a Esfuerzo de Corte. Anales de las XVI Jornadas Chilenas del Hormigón. Talca, Chile. 10 pp.

INN – Instituto Nacional de Normalización (1968), NCh 148 Of. 68. Cemento – Terminología, Clasificación y Especificaciones Generales, 8 pp.

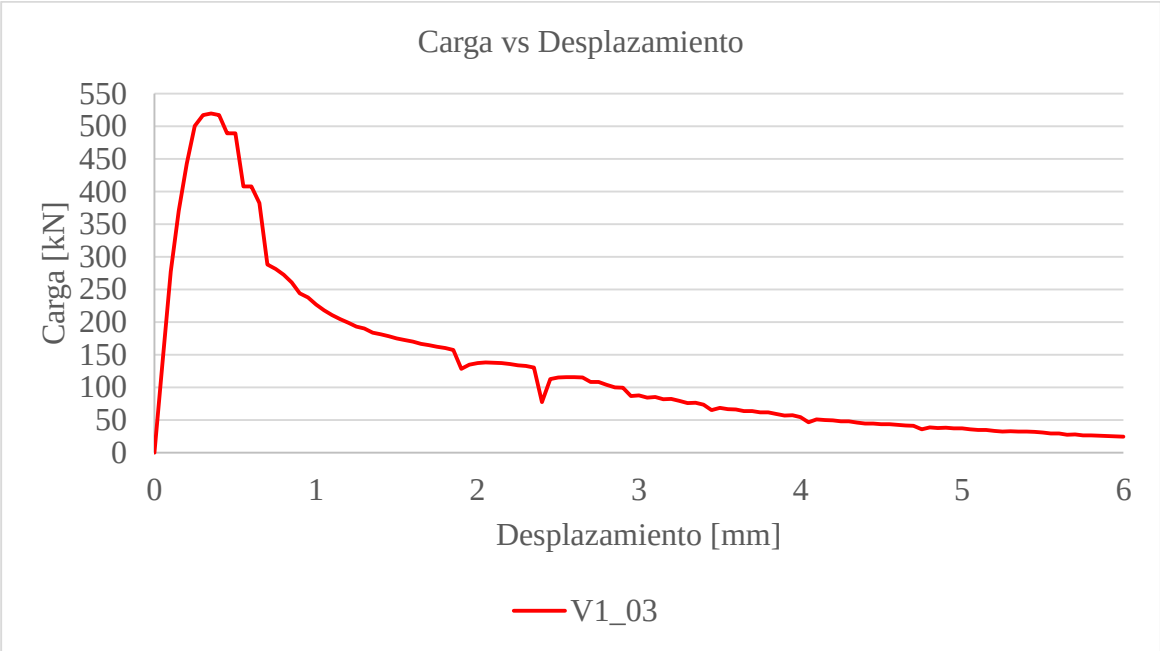
CAPITULO 7 - ANEXOS



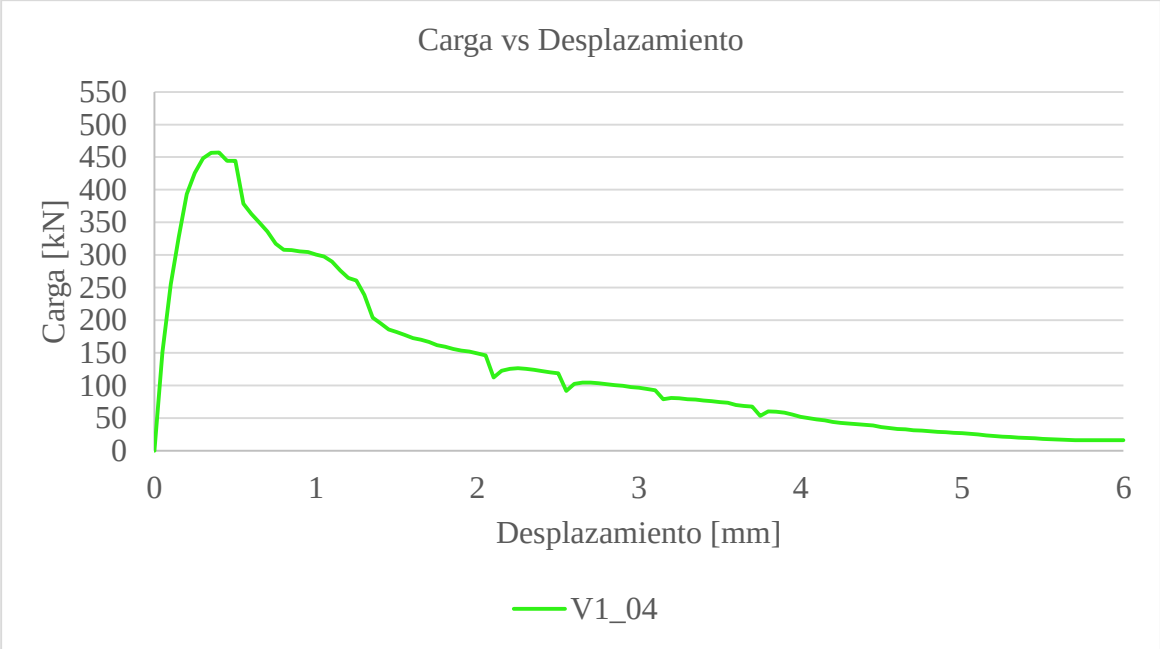
Anexo 1: Curva carga desplazamiento Barchip 48 – probeta 01



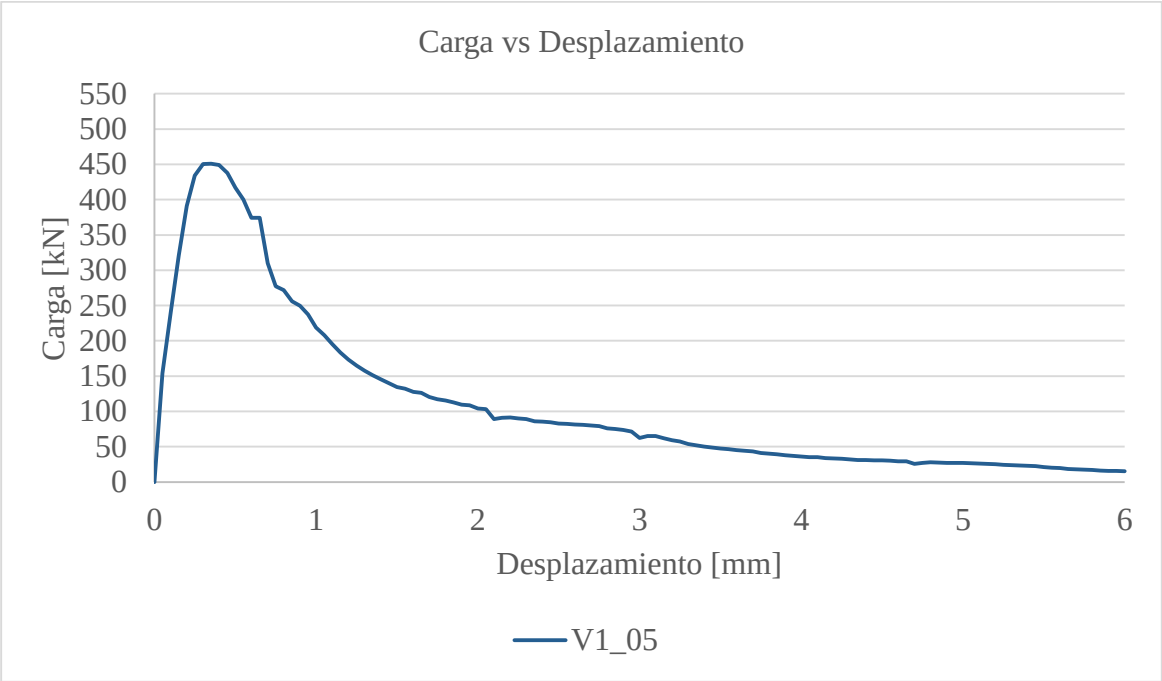
Anexo 2: Curva carga desplazamiento Barchip 48 – probeta 02



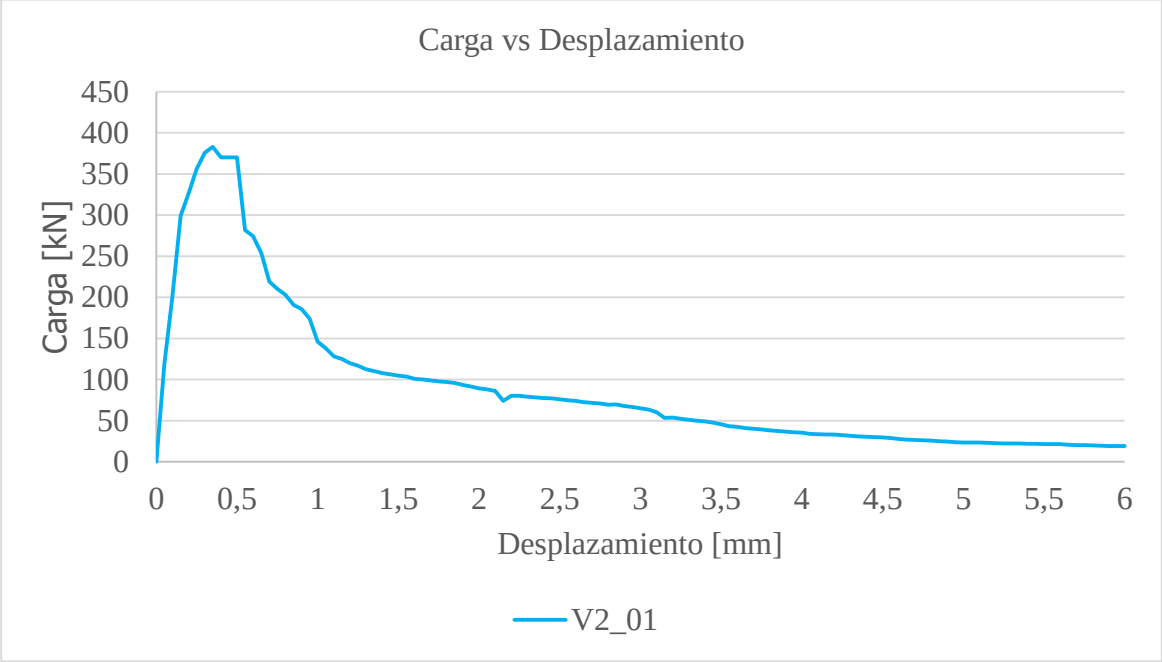
Anexo 3:: Curva carga desplazamiento Barchip 48 – probeta 03



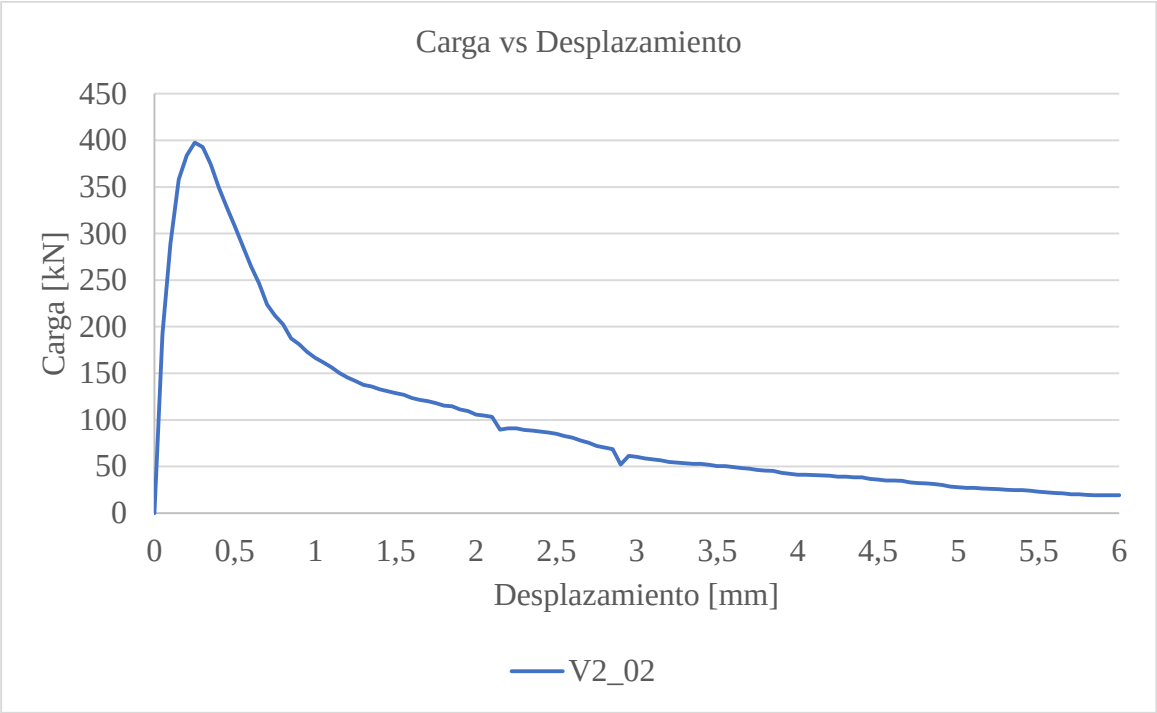
Anexo 4: Curva carga desplazamiento Barchip 48 – probeta 04



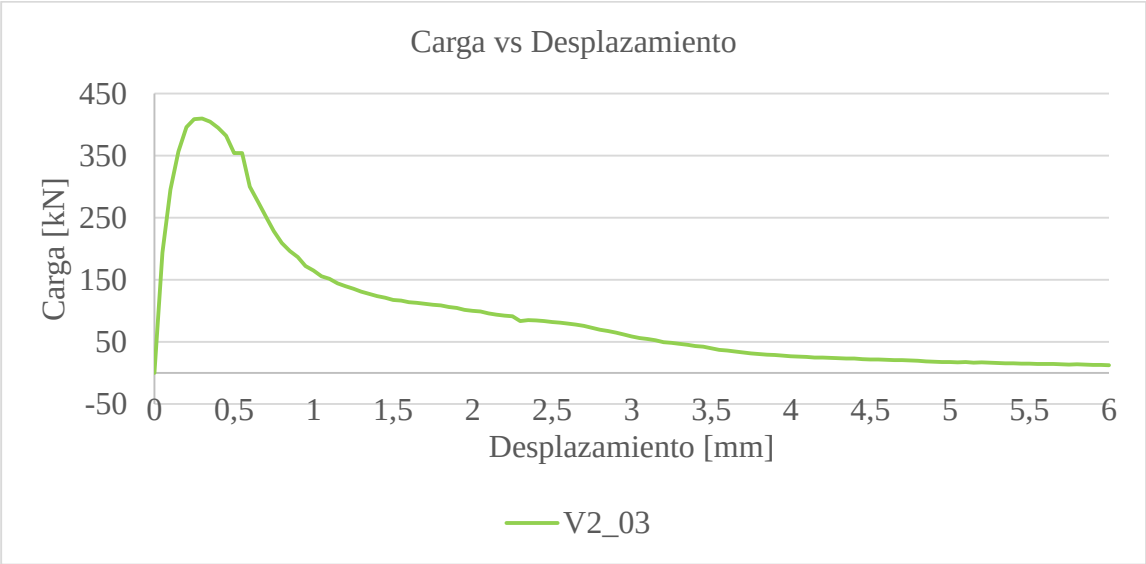
Anexo 5: Curva carga desplazamiento Barchip 48 – probeta 05



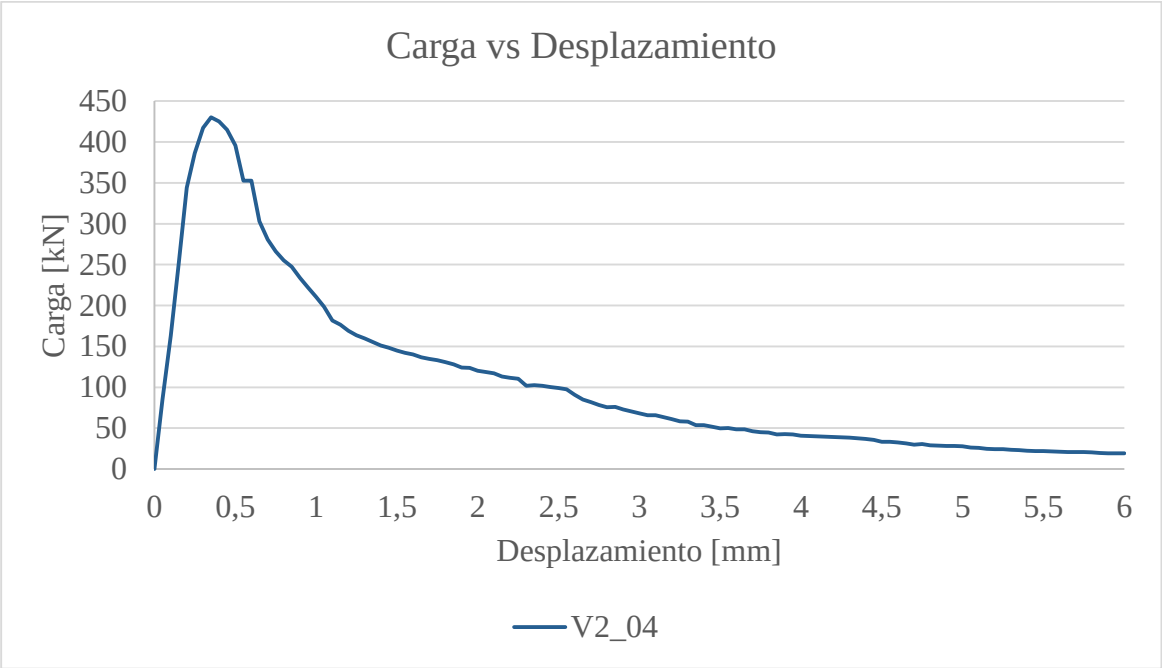
Anexo 6: Curva carga desplazamiento Normet – probeta 01



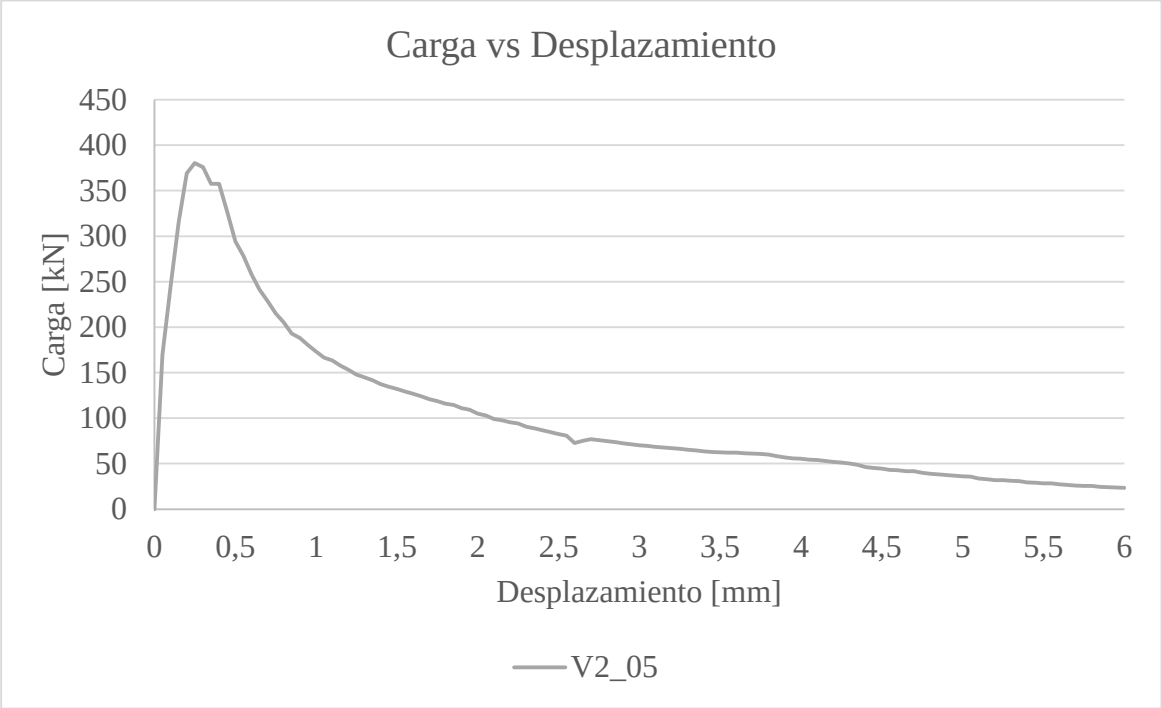
Anexo 7: Curva carga desplazamiento Normet – probeta 02



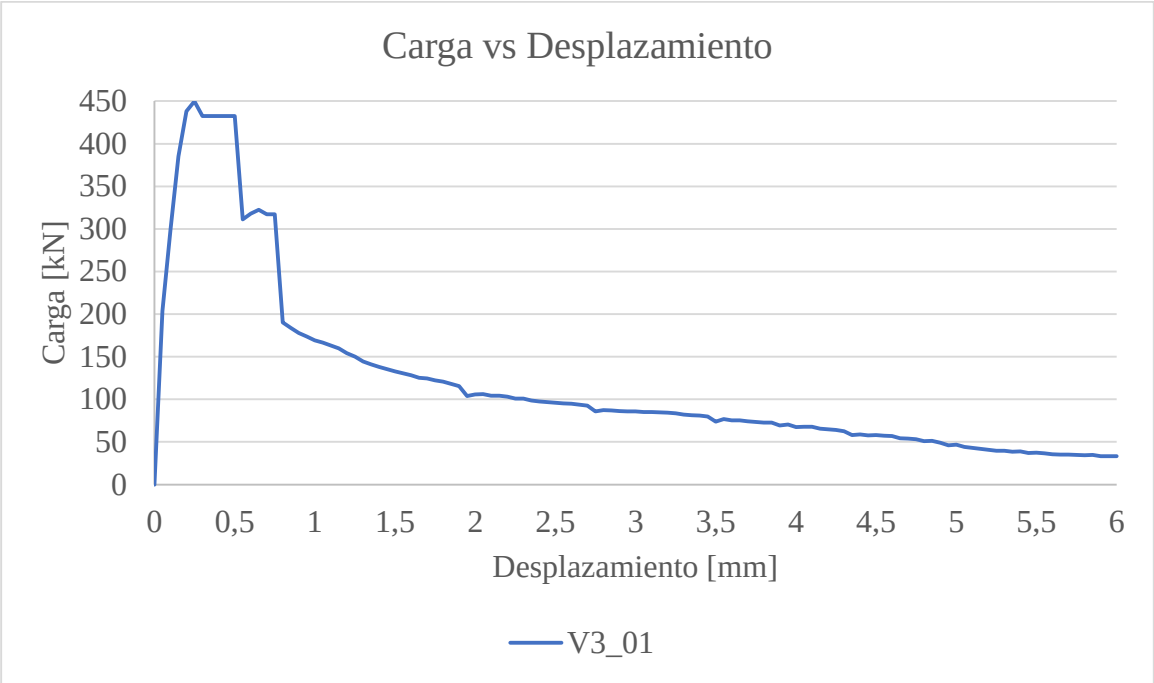
Anexo 8: Curva carga desplazamiento Normet – probeta 03



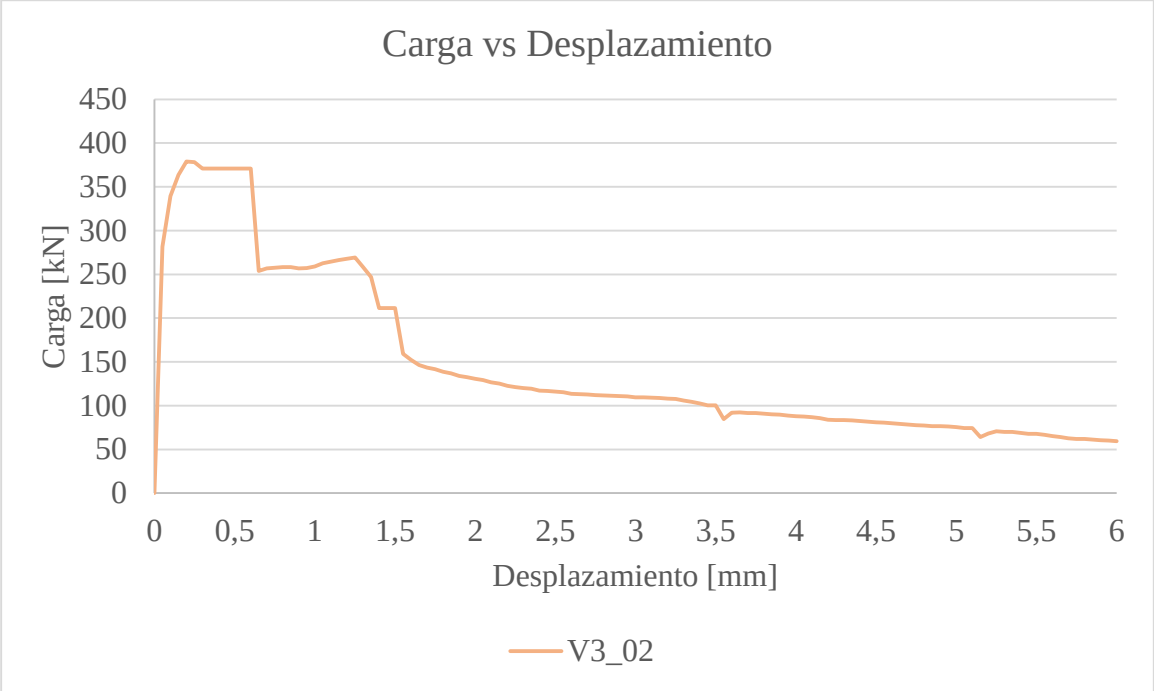
Anexo 9: Curva carga desplazamiento Normet – probeta 04



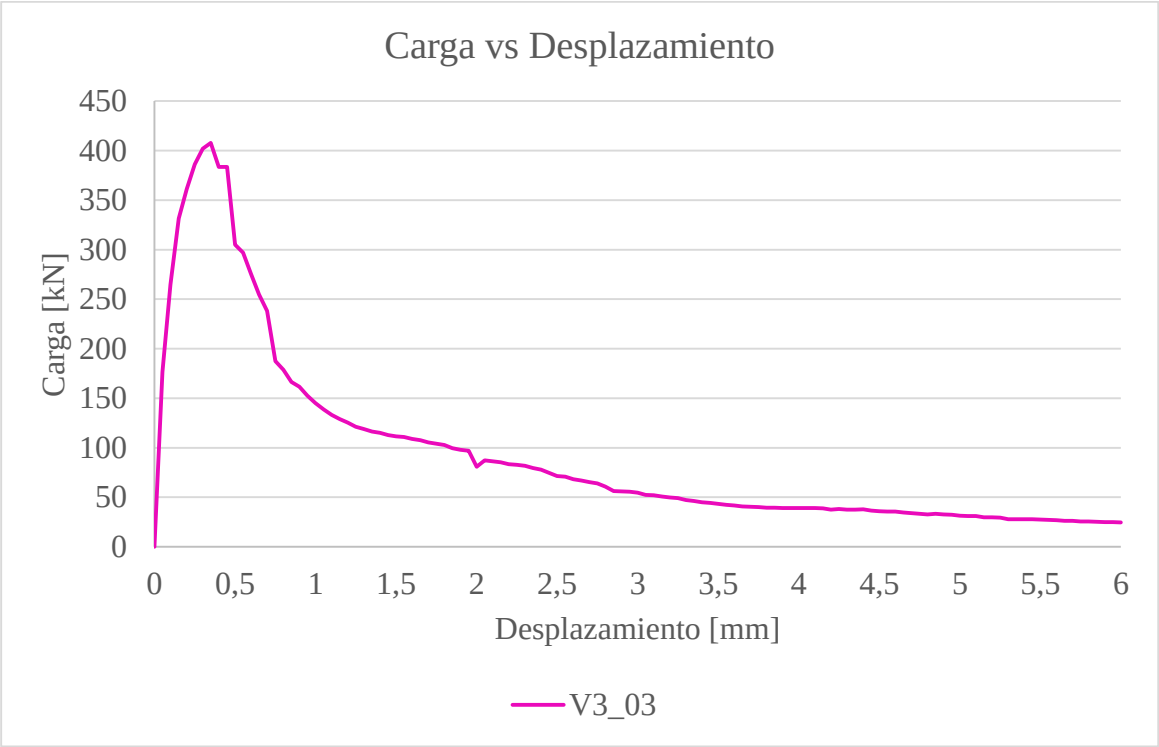
Anexo 10: Curva carga desplazamiento Normet – probeta 05



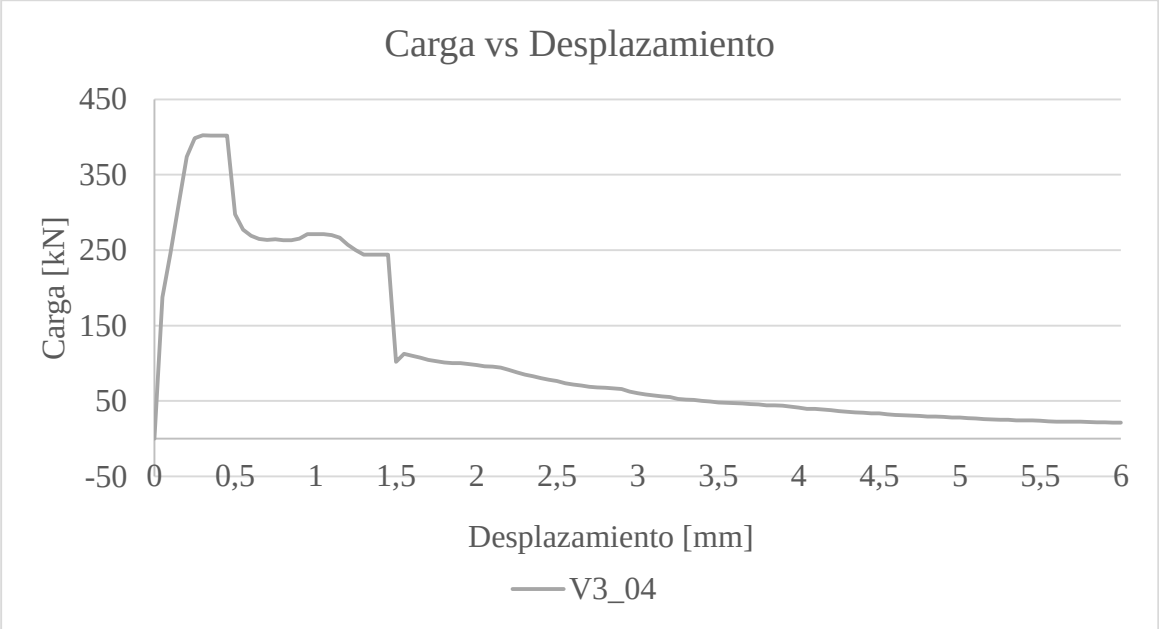
Anexo 11: Curva carga desplazamiento Barchip R50 – probeta 01



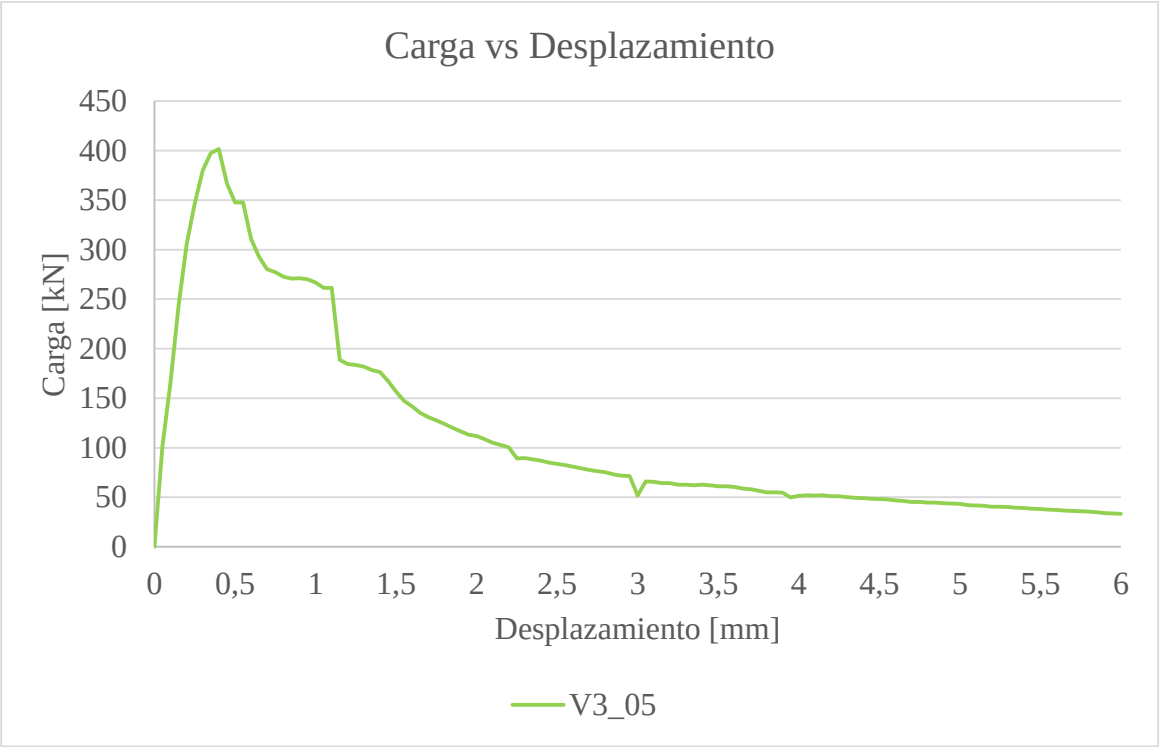
Anexo 12: Curva carga desplazamiento Barchip R50 – probeta 02



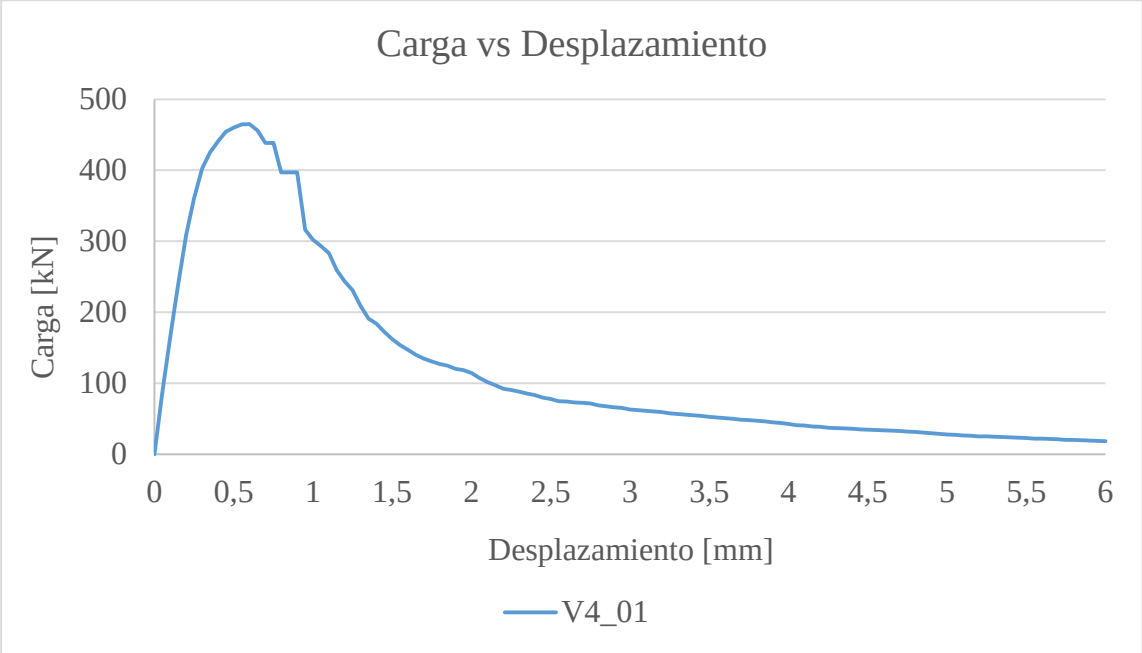
Anexo 13: Curva carga desplazamiento Barchip R50 – probeta 03



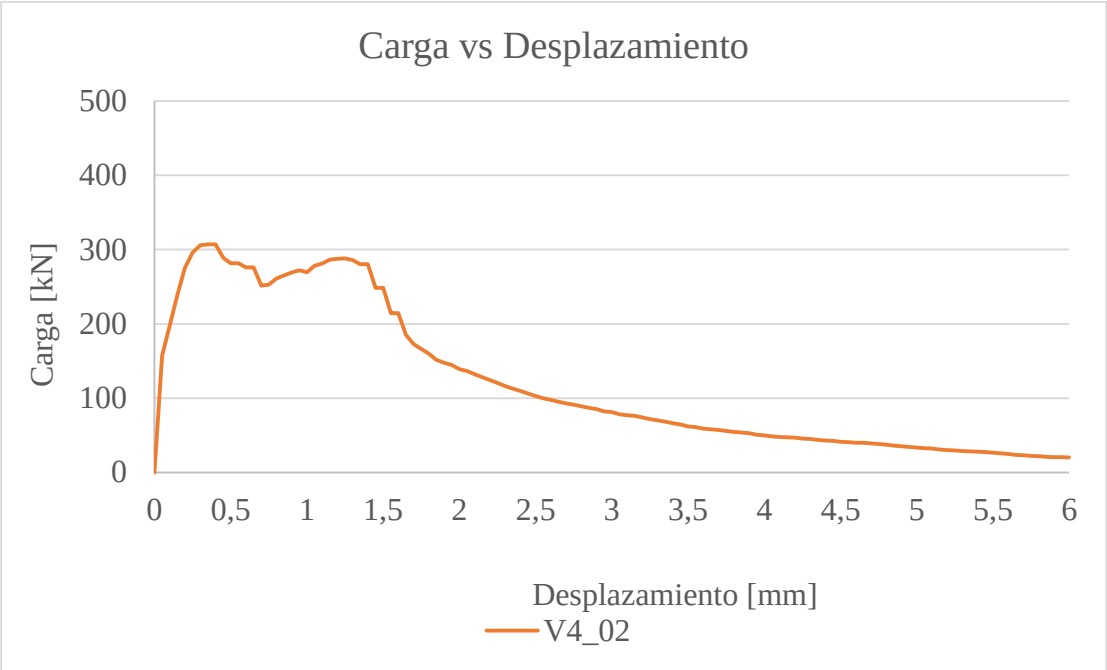
Anexo 14: Curva carga desplazamiento Barchip R50 – probeta 04



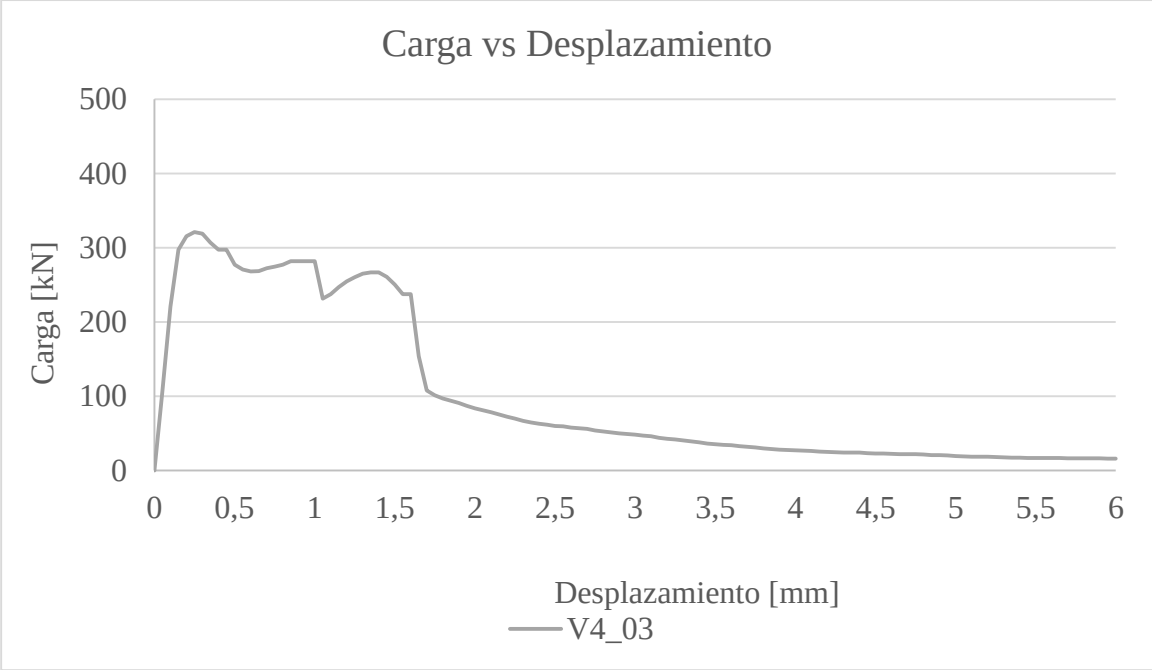
Anexo 15: Curva carga desplazamiento Barchip R50 – probeta 05



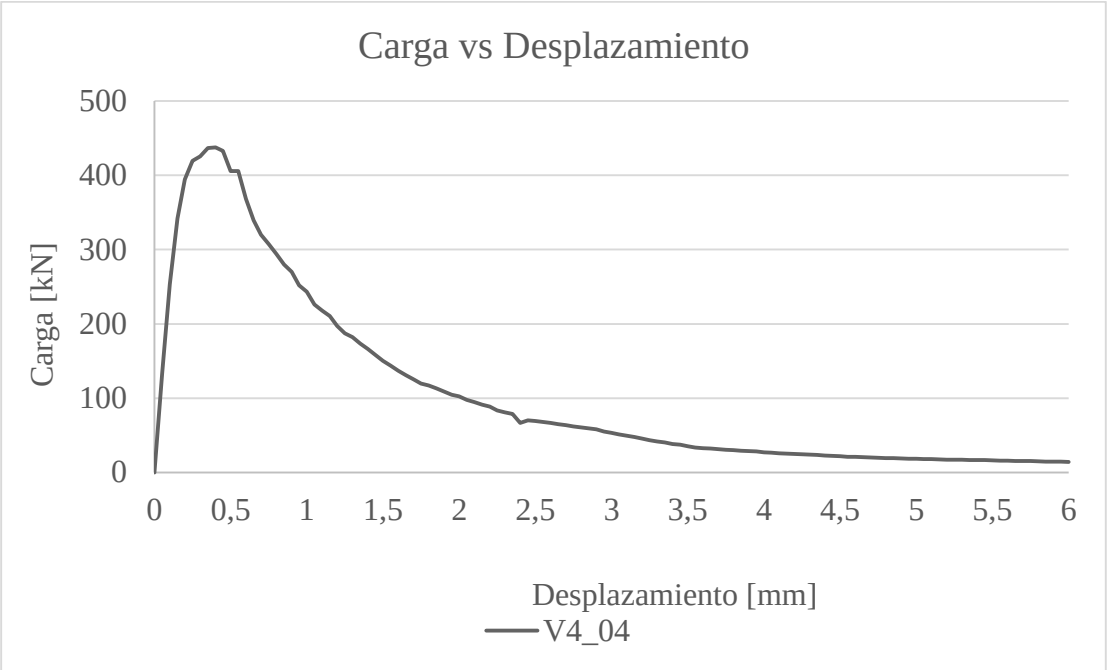
Anexo 16: Curva carga desplazamiento Fibermesh 650s – probeta 01



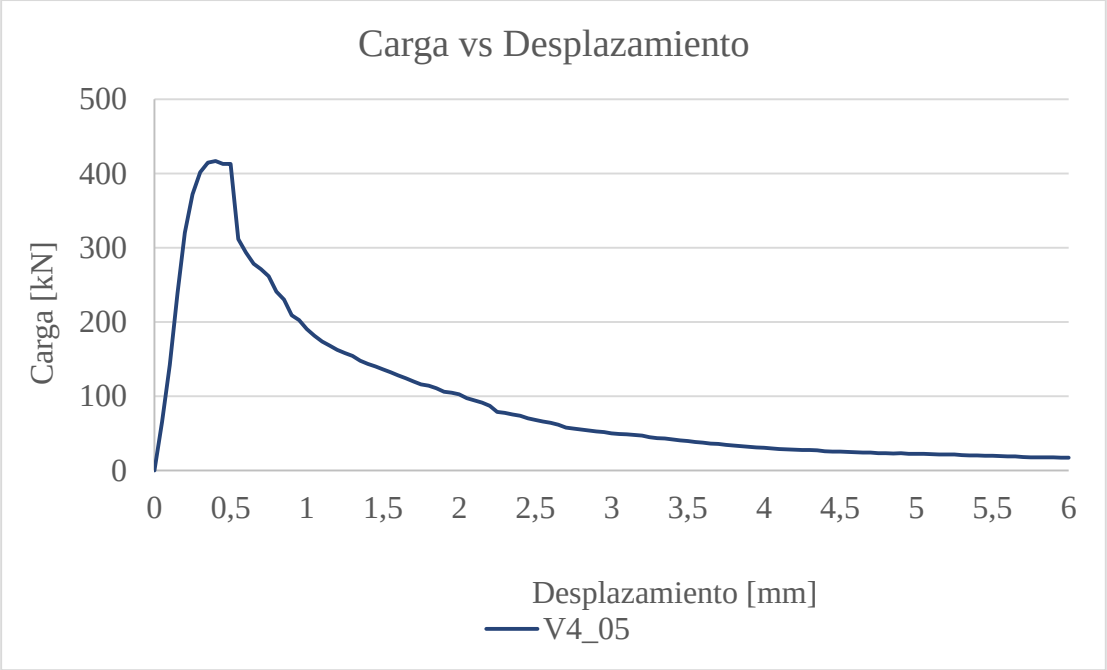
Anexo 17: Curva carga desplazamiento Fibermesh 650s – probeta 02



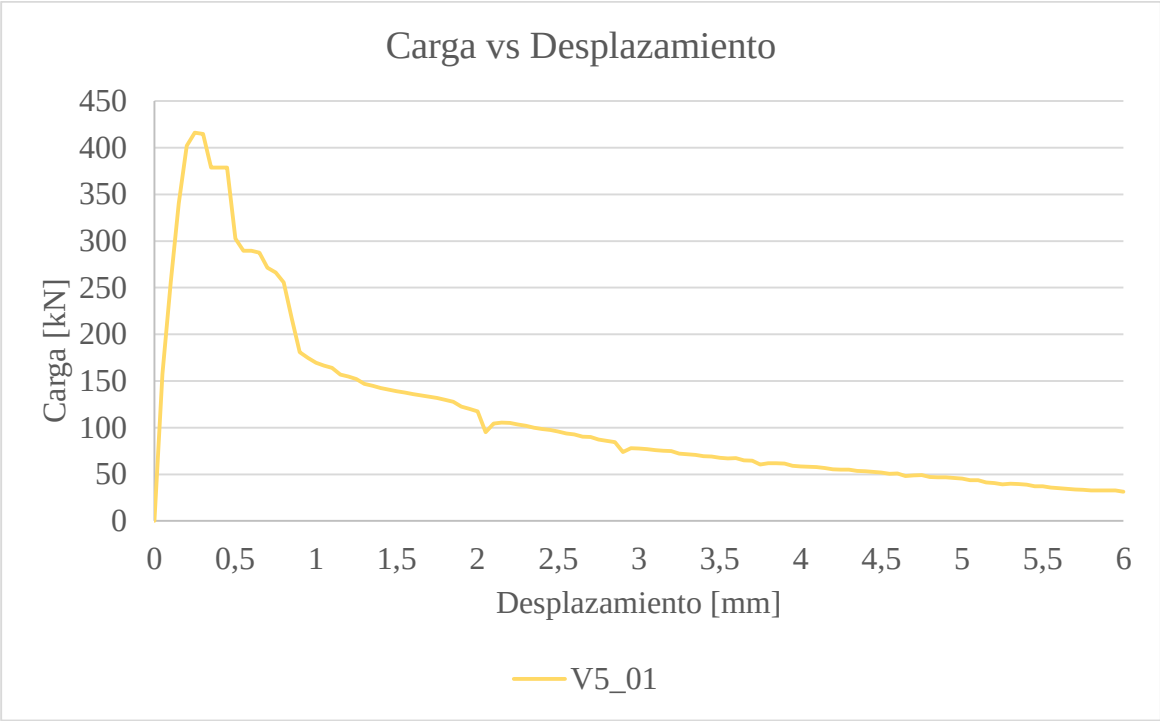
Anexo 18: Curva carga desplazamiento Fibermesh 650s – probeta 03



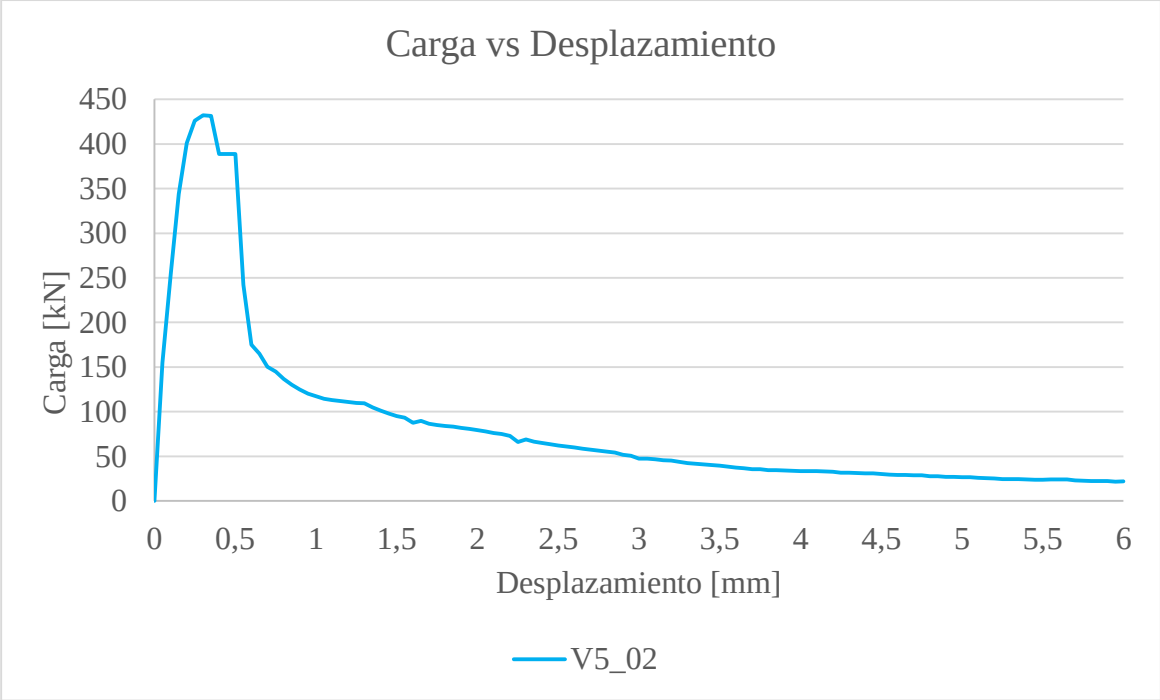
Anexo 19: Curva carga desplazamiento Fibermesh 650s – probeta 04



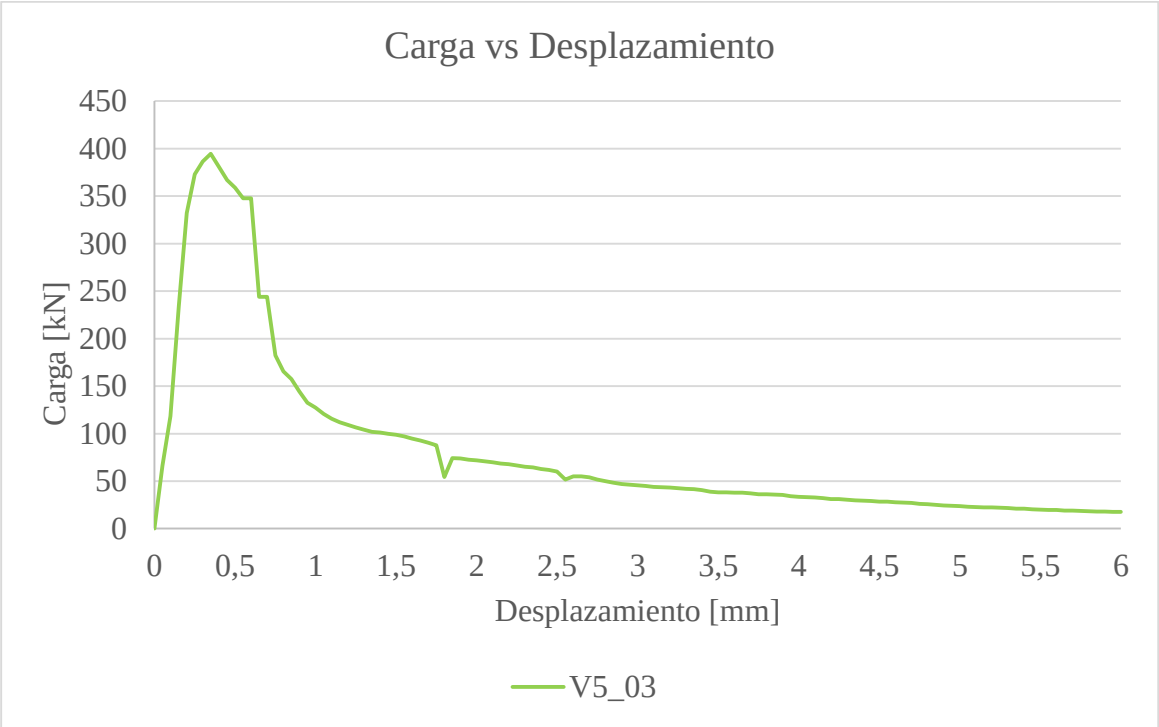
Anexo 20: Curva carga desplazamiento Fibermesh 650s – probeta 05



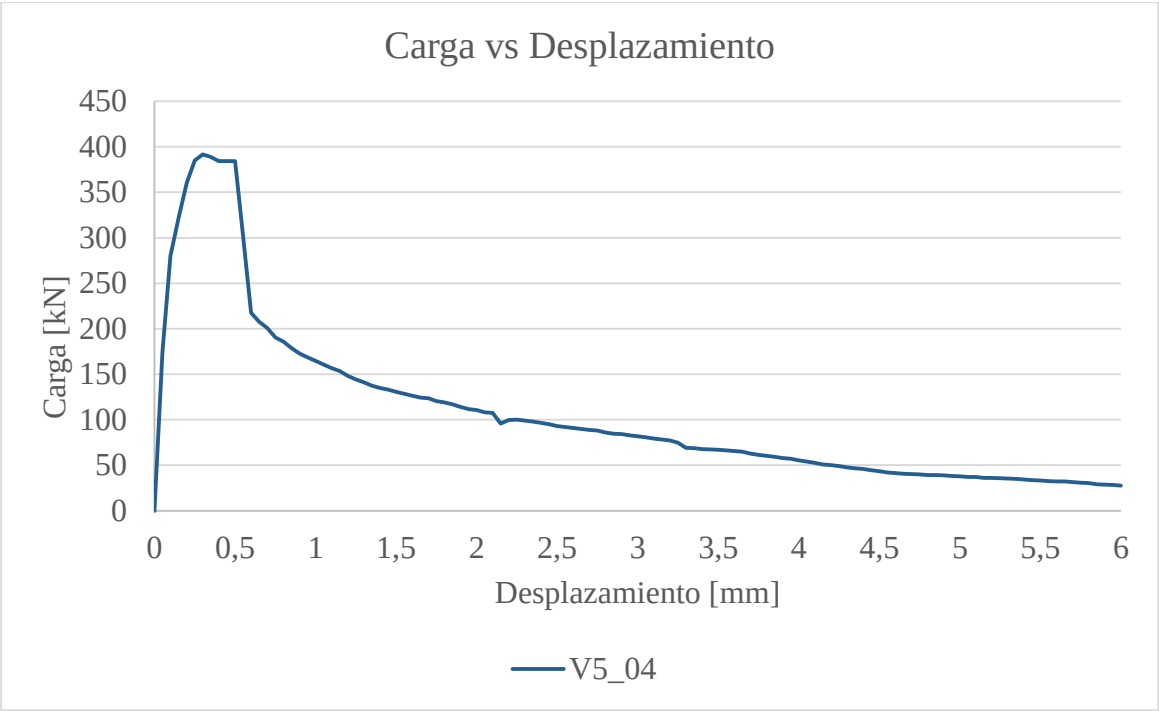
Anexo 21: Curva carga desplazamiento Sika Fiber PP48s – probeta 01



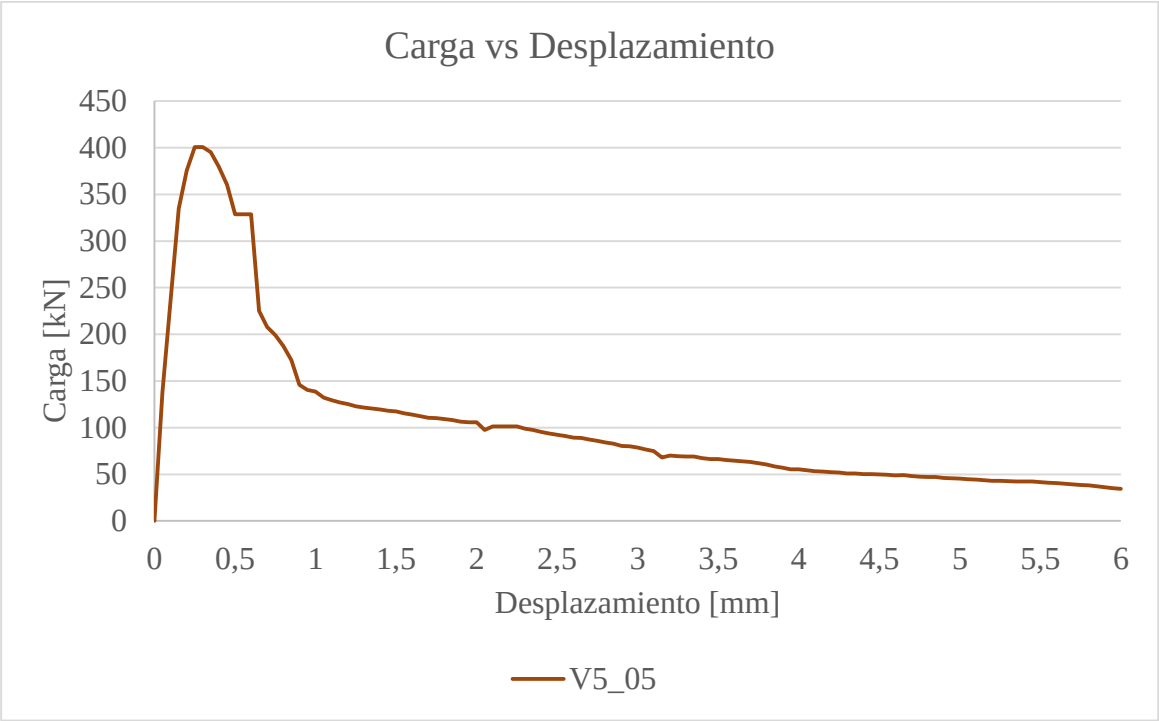
Anexo 22: Curva carga desplazamiento Sika Fiber PP48s – probeta 02



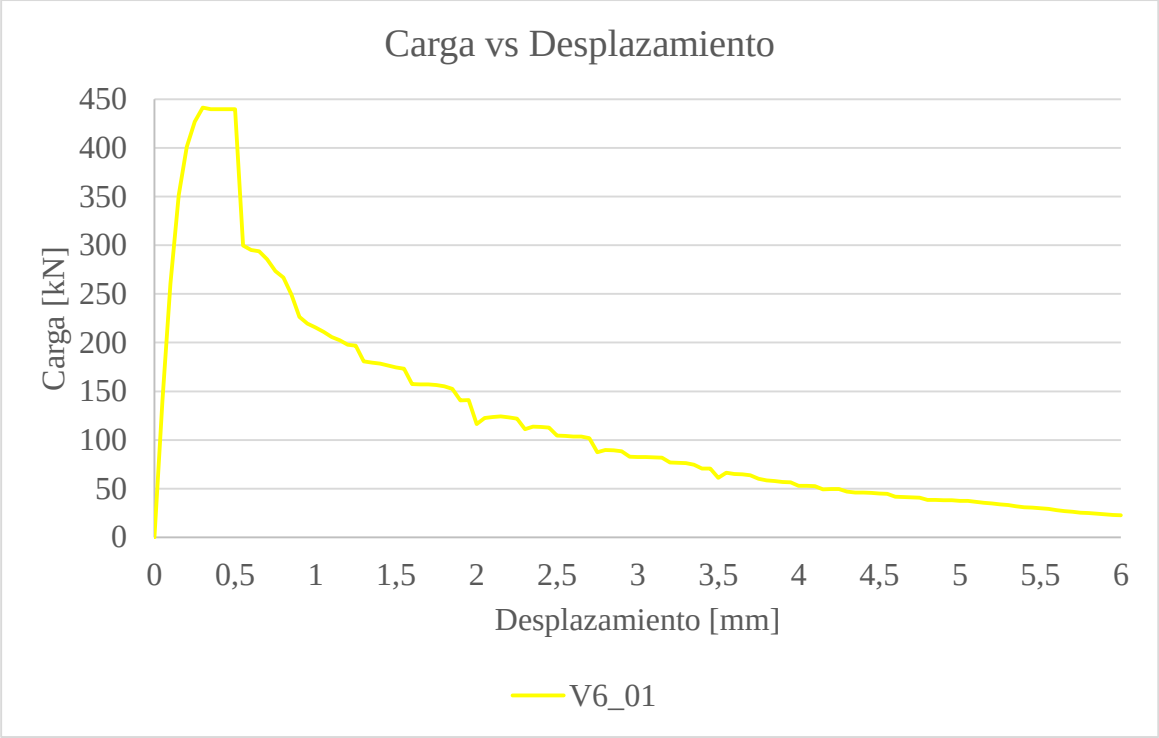
Anexo 23: Curva carga desplazamiento Sika Fiber PP48s – probeta 03



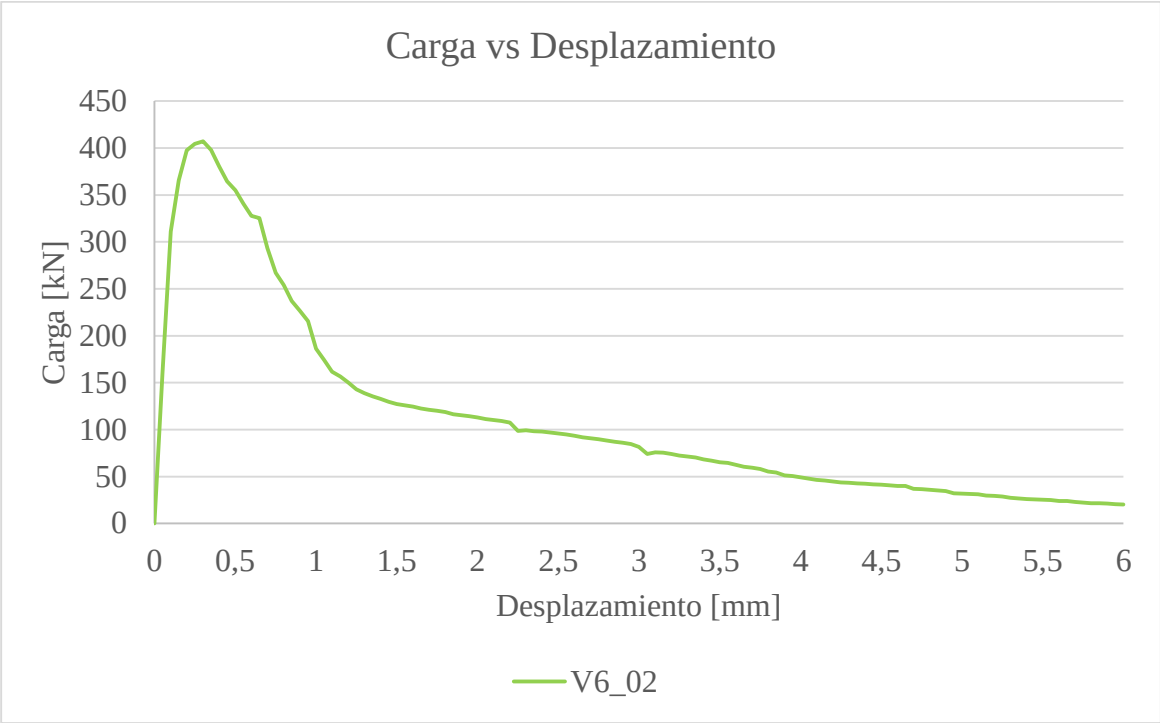
Anexo 24: Curva carga desplazamiento Sika Fiber PP48s – probeta 04



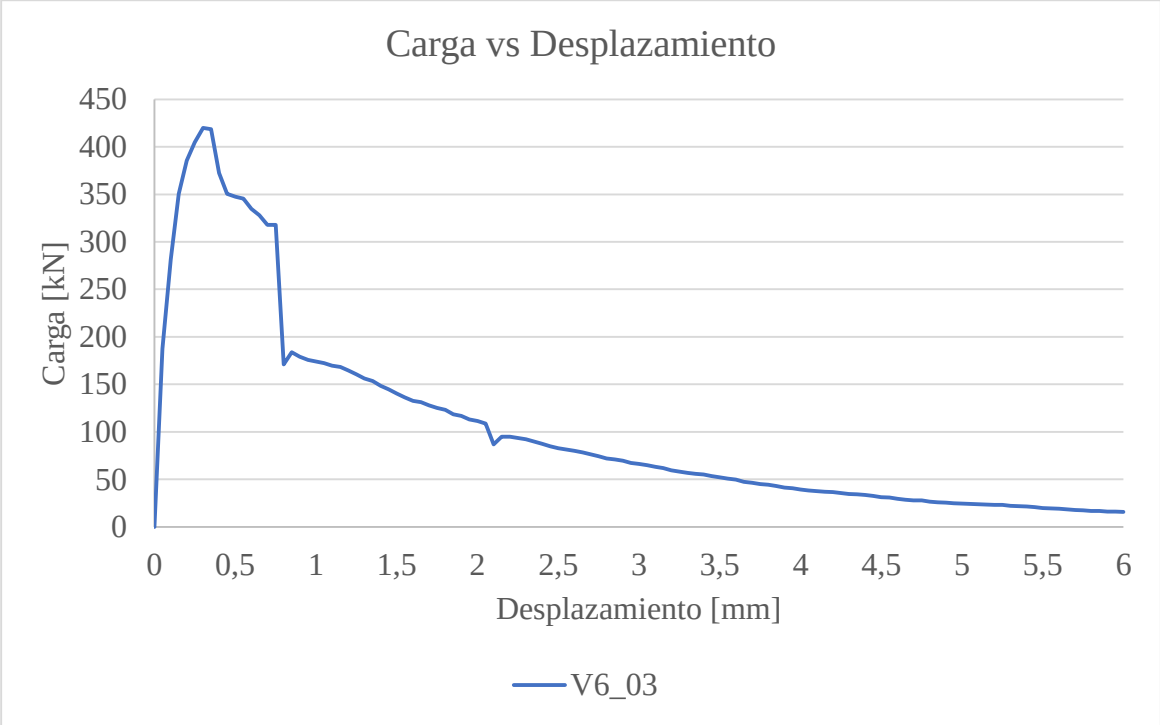
Anexo 25: Curva carga desplazamiento Sika Fiber PP48s – probeta 05



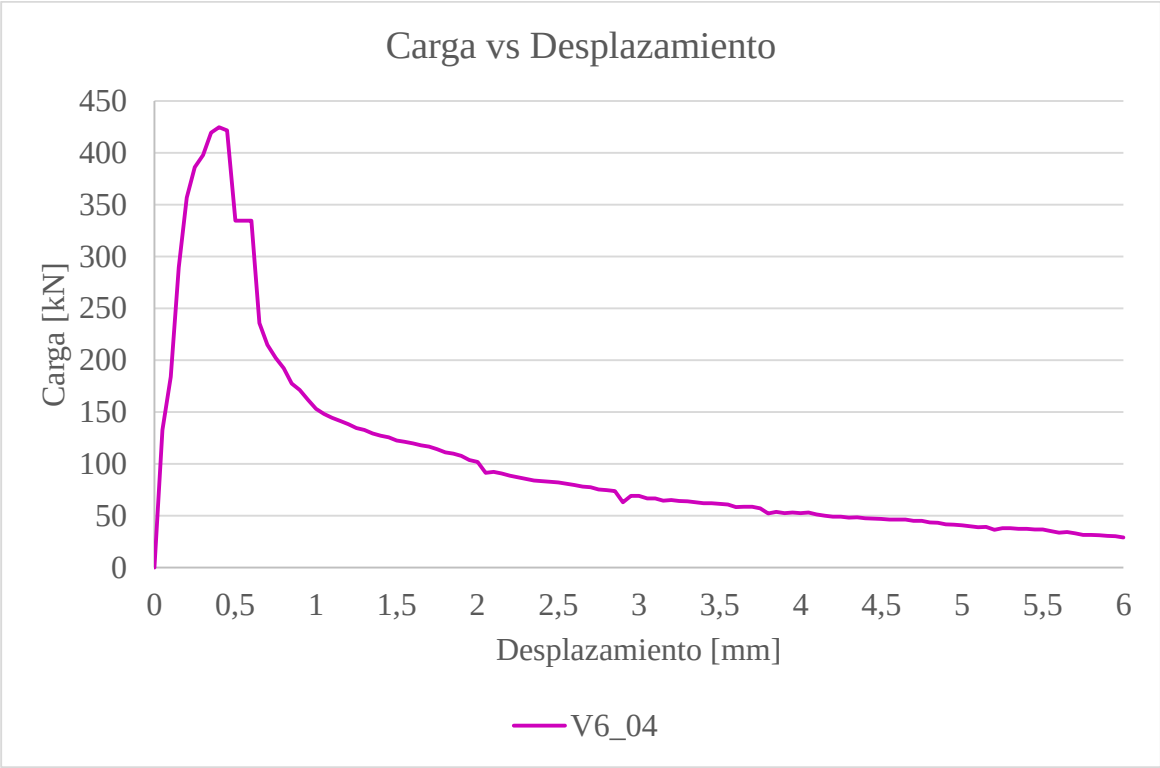
Anexo 26: Curva carga desplazamiento EPC Ductil – probeta 01



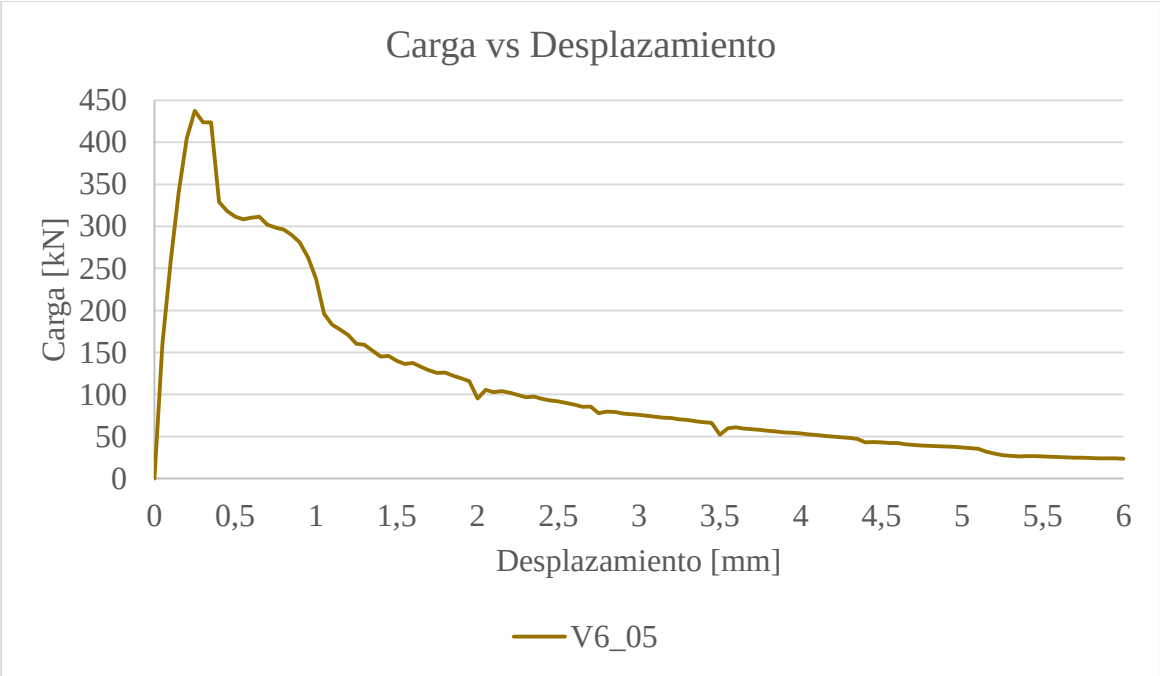
Anexo 27: Curva carga desplazamiento EPC Ductil – probeta 02



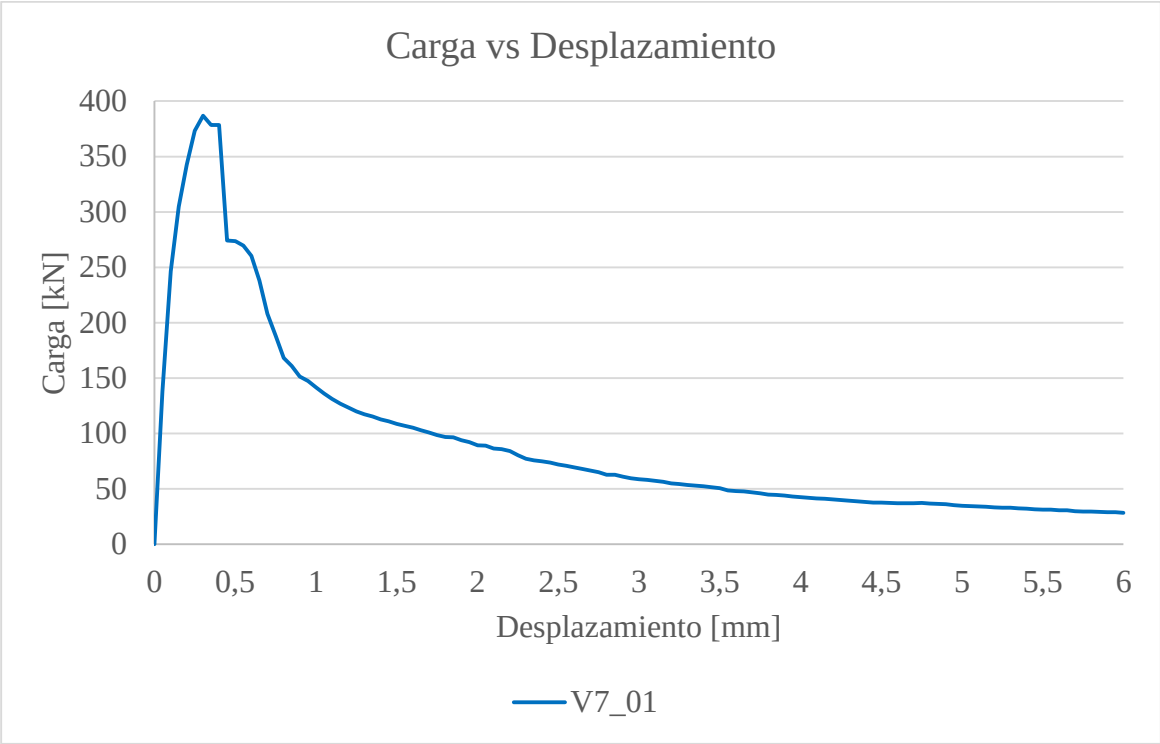
Anexo 28: Curva carga desplazamiento EPC Ductil – probeta 03



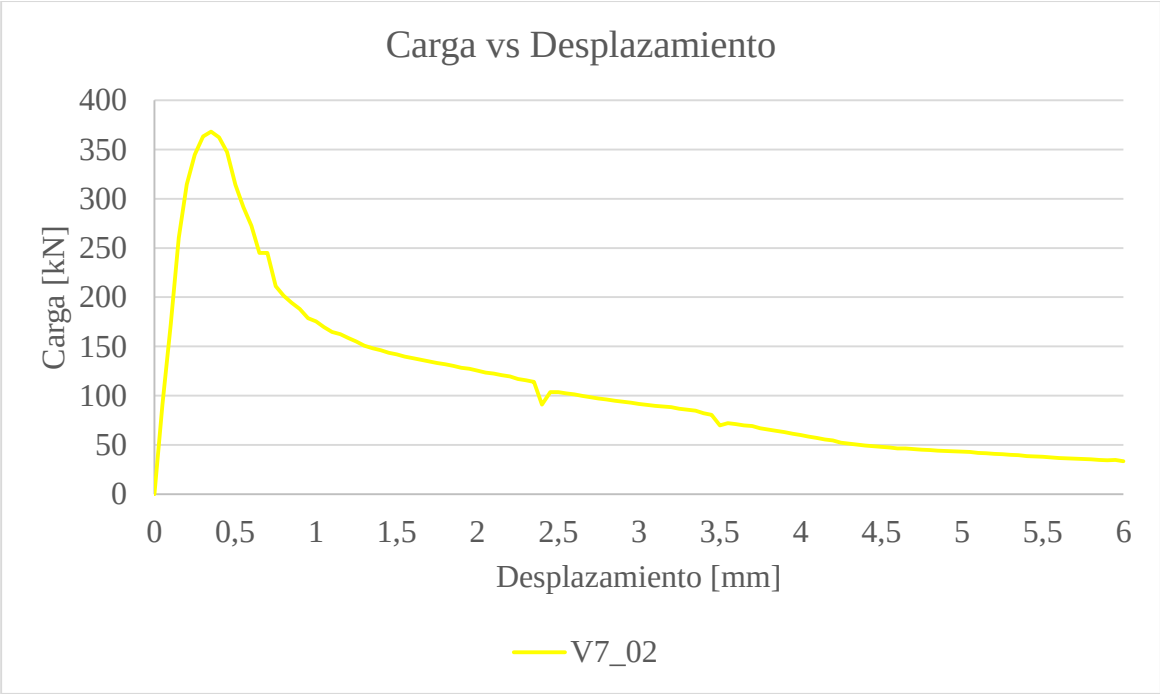
Anexo 29: Curva carga desplazamiento EPC Ductil – probeta 04



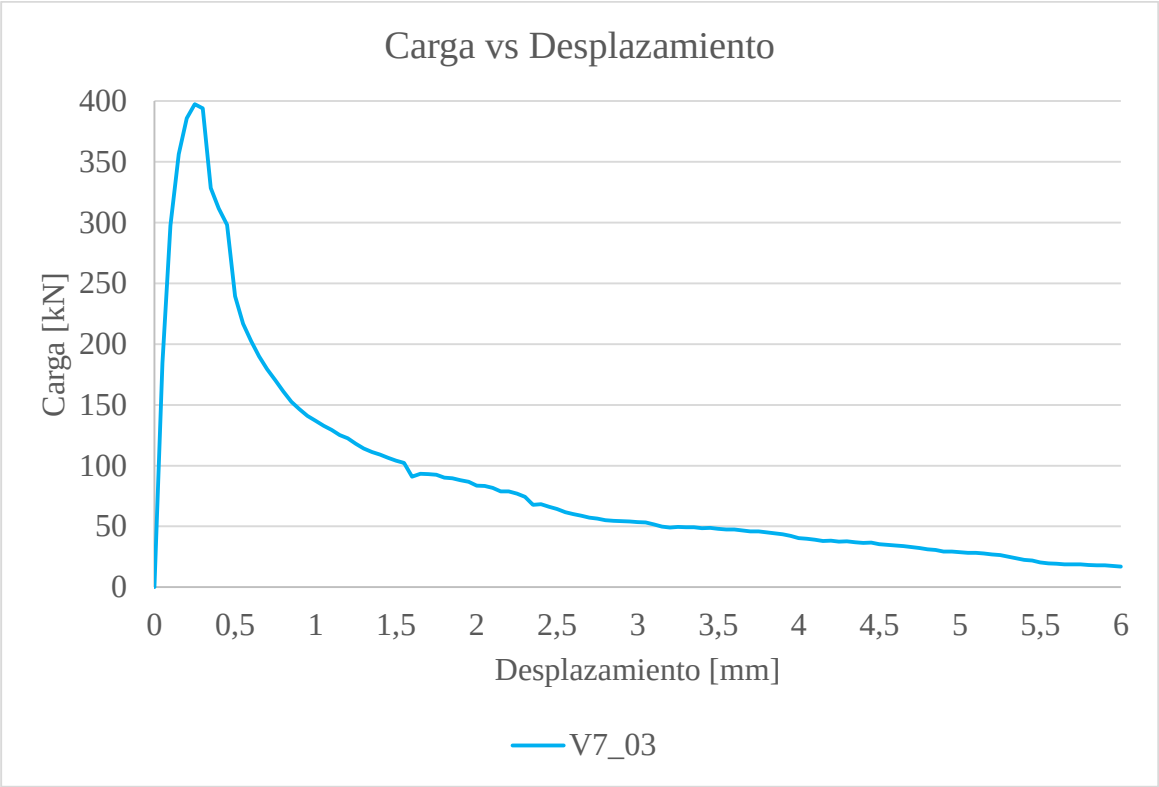
Anexo 30: Curva carga desplazamiento EPC Ductil – probeta 05



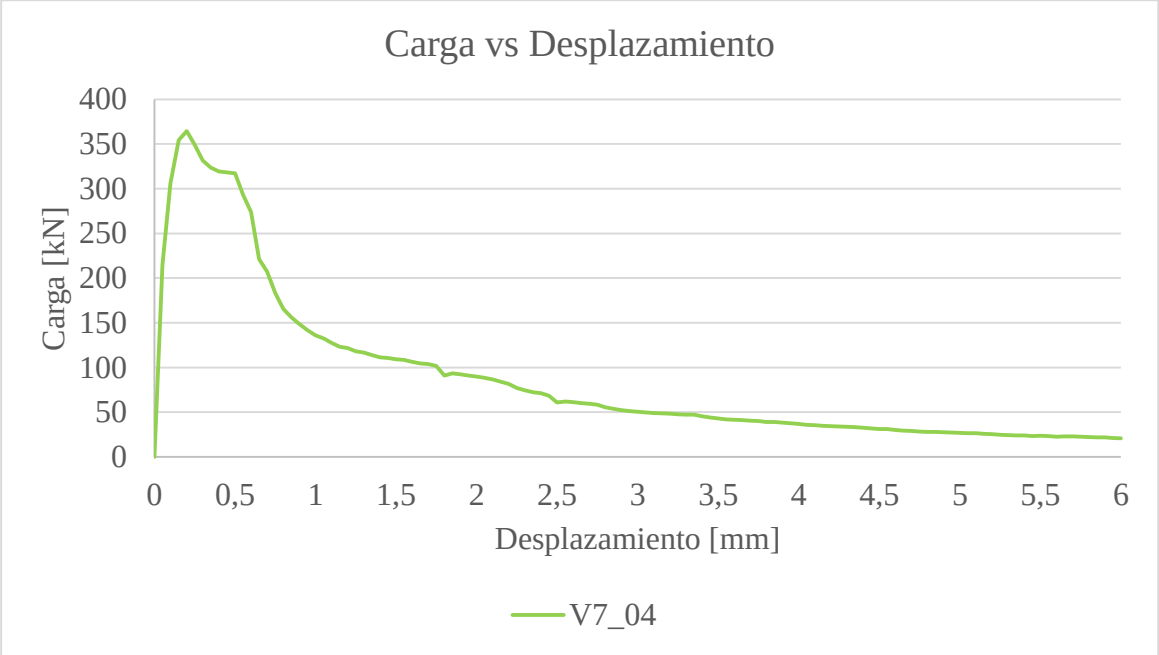
Anexo 31: Curva carga desplazamiento Barchip54 – probeta 01



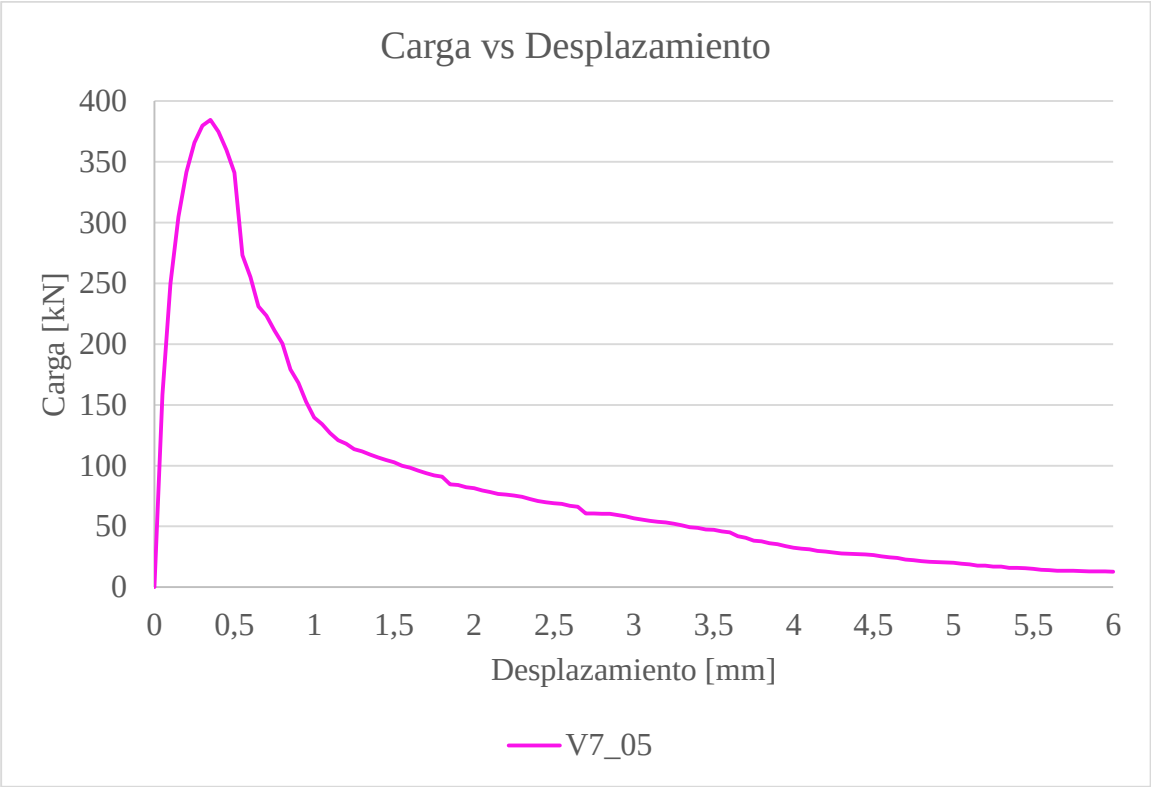
Anexo 32: Curva carga desplazamiento Barchip54 – probeta 02



Anexo 33: Curva carga desplazamiento Barchip54 – probeta 03



Anexo 34: Curva carga desplazamiento Barchip54 – probeta 04



Anexo 35: Curva carga desplazamiento Barchip54 – probeta 05