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

CARACTERIZACION DEL COMPORTAMIENTO DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO TIPO 3D, 4D Y 5D, USANDO ENSAYO ASTM C1609.

ITALO SEBASTIÁN REYES GONZALEZ

Memoria para optar al título de

CONSTRUCTOR CIVIL

Profesor Guía:

SERGIO CARMONA MALATESTA

NOVIEMBRE 2016

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a todos aquellos participes tanto directa como indirectamente, con especial énfasis mis compañeros de proyecto, Carlos Meneses, Felipe Caamaño, Gabriela Sansana y Cristian Osandon.

Así también agradezco al profesor Guía Don Sergio Carmona por la cooperación, paciencia y disponibilidad durante todo el proceso.

Agradezco especialmente a mi novia Estefanía por estar siempre apoyándome durante esta fase y también las palabras de aliento y motivación de familiares, así como las manifestaciones de preocupación y animo de mis suegros.

Resumen

El uso de hormigón reforzado con fibras se ha masificado en las últimas décadas, en parte gracias a las herramientas tecnológicas que permiten investigar y cuantificar el efecto de las fibras en el desempeño estructural del hormigón. El principal beneficio del uso de fibras en el hormigón está en la resistencia en el régimen post agrietamiento del material, impidiendo fallas frágiles cuando el hormigón se agrieta. Una de las fibras más utilizadas son las fibras de acero Dramix©, que corresponden a fibras de relieve liso con dobleces en los extremos, para mejorar el anclaje. Este fabricante ha innovado con nuevos modelos, denominados 4D y 5D, que corresponden a fibras de un acero de mejores propiedades mecánicas y un mayor número de dobleces, con lo que esperan mejorar el comportamiento de las fibras, minimizando las cuantías de refuerzo requeridas para un mismo nivel de prestaciones.

El objetivo de la presente memoria es evaluar el comportamiento de los nuevos diseños de fibras de acero, dosificadas en distintas cuantías, a través de la respuesta de hormigones reforzados con fibras sometidos a flexión.

A través del ensayo normalizado ASTM-C1609 se obtendrán las curvas carga-desplazamiento para hormigones diseñados para shotcrete, reforzados con 15 kg/m^3, 20kg/m^3 y 25 kg/m^3 de fibras de acero Dramix tipo 3D, 4D y 5D. Los resultados obtenidos permitirán evaluar el efecto de las nuevas formas de fibra utilizadas y su distinta dosificación.

ABSTRACT

The use of fiber reinforced concrete has become massive in recent decades, partly due to technological tools to investigate and quantify the effect of the fibers in the structural performance of concrete. The main benefit of using fiber in the concrete is in resistance in the post material cracking regime, preventing brittle failure when the concrete cracks. One of the most commonly used fibers are steel fibers Dramix ©, corresponding to fibers relief with smooth bends at the ends, to enhance anchoring. This manufacturer has innovated with new models, called 4D and 5D, corresponding to fibers of a steel better mechanical properties and a greater number of folds, which they hope will improve the performance of the fibers, minimizing the amounts of reinforcement required for a same level of performance.

The aim herein is to evaluate the performance of new designs of steel fibers in different amounts dosed through the response of fiber reinforced concrete flexural.

Through the standard test ASTM-C1609 load-displacement curves for concrete designed to shotcrete, reinforced with 15 kg / m3, 20 kg / m3 and 25 kg / m3 of steel fiber Dramix 3D, 4D and 5D type will be obtained. The results obtained enable to evaluate the impact of new forms of fiber used and their different dosage.

Índice

INTRODUCCIÓN 1

MARCO TEÓRICO..... 4

2.1.- Hormigones Reforzados con Fibras (HRF). 5

2.2.- Clasificación de HRF. 7

2.3.- Ensayos a flexo tracción de HRF.....8

2.4.- Ensayo utilizado..... 11

INVESTIGACIÓN PROPUESTA 14

MATERIALES ESTUDIADOS..... 16

4.1.- Materiales constituyentes del hormigón..... 17

4.1.1.- Cemento..... 17

4.1.2.- Agregados pétreos..... 17

4.1.3.- Curvas Granulométricas. 18

4.2.- Fibras de acero utilizadas 20

4.3.- Aditivo Adva 200..... 21

PROGRAMA EXPERIMENTAL 23

5.1.- Dosificación..... 24

5.2.- Ensayo a flexión……..... 26

ANÁLISIS RESULTADOS 28

6.1.- Hormigón reforzado con fibras de acero 29

6.1.1.- Resistencia residual 31

6.1.2.- Tenacidad y Resistencia Equivalente Re_3..... 37

CONCLUSIONES..... 42

REFERENCIAS Y ANEXO..... 46

8.1.- Anexo Gráficos y Tablas…….....47

8.2.- Referencias y Bibliografía ……..55

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

Las características del hormigón como material de construcción son ampliamente conocidas. La facilidad que presenta su uso, su alta resistencia respecto a su costo, y la versatilidad del mismo lo colocan en la cima del mercado, al punto de que resulta difícil imaginar siquiera una edificación en nuestro país que carezca del mismo. Su principal característica es su gran resistencia a la compresión pero no presenta el mismo comportamiento frente a otros tipos de esfuerzo, como flexión o tracción. El hormigón, por ser un material frágil, tampoco es capaz de tolerar grandes deformaciones por sí mismo. En edificaciones esto no presenta un gran problema, ya que todos los elementos principales se encuentran reforzados por barras de acero, las cuales aportan resistencia a la tracción y ductilidad. Sin embargo en elementos de poco espesor y sin refuerzos, como pavimentos y muros de contención de hormigón proyectado, el problema se agrava. Es por eso que se ha implementado la incorporación de fibras al hormigón, para evitar que las pequeñas grietas se propaguen en lugares donde refuerzos metálicos resulta muy costoso.

El gran desarrollo que ha tenido la utilización del hormigón reforzado con fibra en la industria de la construcción; específicamente en obras de pavimentación y construcción de túneles; ha impulsado a realizar diversos estudios y trabajos experimentales con el fin de cuantificar sus características y propiedades. Para conocer el valor del aporte que realizan las fibras es que se deben realizar ensayos de tracción directa, pero debido a su complejidad de aplicación, es que tradicionalmente, se ensaya a tracción indirecta o flexo tracción siendo este último regido bajo la norma ASTM-C1609.

Lo ensayos estandarizados han permitido caracterizar el efecto de las fibras como material de refuerzo en el hormigón principalmente en 2 propiedades mecánicas:

- Resistencia residual, que corresponde a esfuerzos de tracción o flexión que es capaz de soportar el hormigón una vez agrietado.
- Aumento significativo de la tenacidad, que corresponde a la energía absorbida por el hormigón hasta el punto de rotura.

A medida que estas propiedades se han estudiado a través de los años, los fabricantes de fibras han podido innovar en sus diseños, tratando de optimizar al máximo el desempeño de las fibras en el hormigón. En el presente estudio se evaluó el comportamiento de los nuevos diseños de fibras de acero, dosificadas en distintas cuantías, a través de la respuesta de hormigones reforzados con fibras sometidos a flexión. Los resultados obtenidos han permitido evaluar el efecto de las nuevas formas de fibra utilizadas y aceros de mayor resistencia. Además, estos resultados se han podido contrastar con la respuesta de hormigones reforzados con fibras sintéticas.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

2.1.- Hormigones Reforzados con Fibras (HRF).

La incorporación de fibras a la mezcla de hormigón ha evolucionado positivamente en las últimas décadas, desarrollándose rápidamente al cambiar las características de estas fibras y con la incorporación de aditivos que disminuyeran la cantidad de agua en la mezcla.

El HRF se ha presentado como una excelente alternativa para mejorar el comportamiento de estructuras de hormigón donde se requiere un control de formación y propagación de fisuras o en aquellas que estén expuestas a acciones dinámicas (Marinho, 2002).

La fibra incorporada en la mezcla es considerada como un árido, sin embargo no aporta a la resistencia característica del hormigón, aunque, si dependiendo de la cantidad de fibra que se utilice puede aumentarla. Pero es en el estado post – fisuración donde se ve reflejado el aporte que éstas hacen; limitan la apertura de fisuras, mejoran la tenacidad y el control de proceso de fisuración y resistencia a flexo tracción.

Las fibras pueden presentarse en distintas formas, tamaños y materialidad. Estos parámetros, en conjunto con la cantidad de fibra utilizada y sus propias características mecánicas, determinan el comportamiento del HRF y su acción reforzante. Las más utilizadas son las de acero, su uso se destina principalmente para mejorar resistencia a la tracción, flexión, fatiga e impacto, capacidad de absorción de energía y control de fisuración; y las de plástico para hormigones sometidos a choques e impacto.

Las fibras de acero más comunes son las estiradas en frio las que pueden presentarse en formas como alambre, rectas, dobladas u onduladas, con extremos de forma de gancho, cono o aplastadas. Tienen diámetros que varían entre 0,25 y 1,1 mm y longitudes entre 10 y 75 mm, siendo la esbeltez (l/d) una propiedad influyente en su comportamiento mecánico,

La adherencia que se necesita también es fundamental pues este anclaje entre hormigón y fibra es el que permite la transmisión de esfuerzos. Esta adherencia se ve mejorada por los dobleces que estas presenten como se muestra en la figura 2.1.

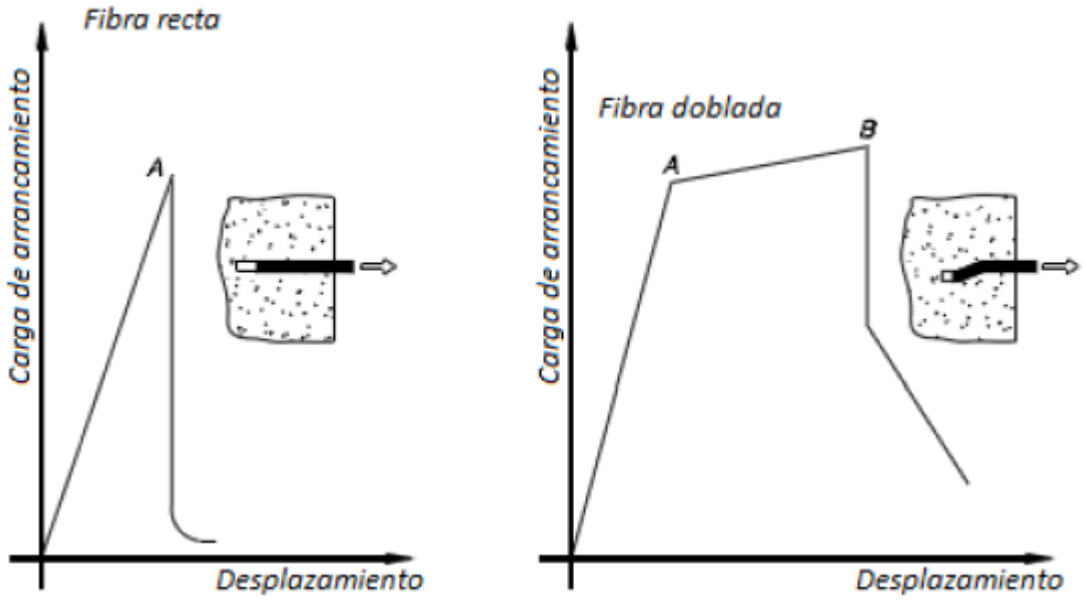


Figura 2.1: *Incremento de la adherencia fibra – hormigón según forma de la fibra (Fuente Memoria Gabriela Sansana).*

La orientación de las fibras en el hormigón es un aspecto que se debe tener muy en cuenta, pues la distribución aleatoria de estas no permite un control de la homogeneidad con la que se distribuyen dentro de la matriz cementicia.

2.2.- 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 existe otras clasificaciones más populares; las cuales separan las fibras según su función en:

Micro fibras: 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.

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.

2.3- Ensayo Flexo Tracción de HRF

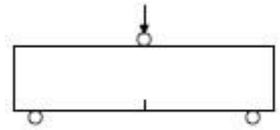
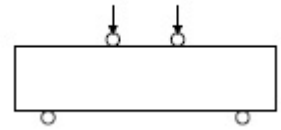
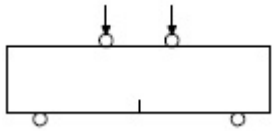
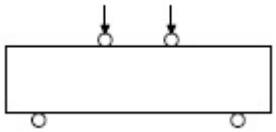
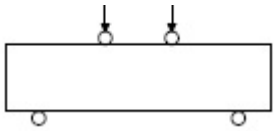
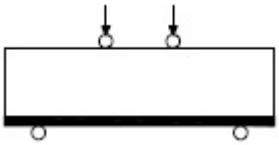
La tenacidad es la principal virtud que distingue a los hormigones reforzados con fibras definida como la capacidad de absorción de energía. En los ensayos de Flexo tracción se calcula midiendo el área bajo la curva carga-desplazamiento (P v/s δ) registrada al cargar una probeta prismática, y se utiliza el momento producido en el área central para calcular indirectamente tanto el esfuerzo de tracción al momento de la fisura, como la resistencia residual para un desplazamiento determinado. Existen estándares europeos como americanos que utilizan distintas configuraciones al momento de realizar los ensayos.

Los ensayos más utilizados son los siguientes:

- NBN B 15-238.
- UNI 11039-2.
- UNE-EN 14651:2007.
- JCI-SF4.
- ASTM C1609/C1609M-07.
- ASTM C1399/C1399M-10.

Estos ensayos utilizan distintos parámetros para caracterizar los HFR, en cuanto a la preparación de la probeta, método de carga, método de control y análisis de los resultados. Las principales diferencias se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.1*- Comparación de distintos parámetros para los principales ensayos a Flexo tracción.*

Ensayo	Esquema	Principales Parámetros
UNE-EN 14651		-150x150x 500 - 700 mm. -Luz = 500 mm. -Abertura de Fisura o Flecha. -Resistencia de primera fisura. -Resistencias Residuales.
NBN B 15-238		-150x150x 600 - 750 mm. -Luz = 450 mm. -Flecha. -Resistencia de primera fisura. -Resistencias Equivalentes. -Tenacidad.
UNI 11039-2		-150x150x 600 mm. -Luz = 450 mm. -Entalla. -Abertura de Fisura o Flecha. -Resistencia de primera fisura. -Resistencias Equivalentes. -Índices de ductilidad.
JCI-SF4		-100x100x 350 mm ($l_f \leq$ 40 mm). -Luz = 300 mm. -150x150x 500 mm ($l_f >$ 40 mm). -Luz = 450 mm. -Flecha. -Resistencia de primera fisura. -Resistencias Equivalentes. -Tenacidad.
ASTM C-1609		-100x100x 350 mm. -Luz = 300 mm. -150x150x 500 mm. -Luz = 450 mm. -Flecha. -Resistencia de primera fisura. -Resistencias Residuales. -Tenacidad.
ASTM C-1399		-100x100x 350 mm. -Luz =300 mm. -Flecha. -Precarga sobre placa acero. -Recarga sin Placa.

.

Los ensayos a flexo tracción distinguen dos fases las cuales se denotan en la figura 2.2.

Figura 2.2.- Régimen elástico hormigón convencional y post-agrietamiento en HRF. (Hormigón sin Fibra datos Proporcionados Por Memoria de Piero Morbiducci).

- *Régimen elástico:* corresponde a la resistencia hasta la primera fisura, dependiendo del tipo y cantidad de fibras utilizadas se puede o no observar un ligero incremento en la resistencia al compararse con hormigones convencionales.
- *Régimen post-agrietamiento:* inexistente en hormigones convencionales, es la fase posterior a los primeros agrietamientos en la probeta, conserva parte de su resistencia traduciéndose en un incremento de la tenacidad. La resistencia y ductilidad obtenidas dependen del tipo y cantidad de fibras utilizadas.

2.4- Ensayo Utilizado.

Ensayo ASTM-C1609 permite determinar la resistencia residual de los hormigones reforzados con fibras. Para esto se confecciona una probeta prismática de 150x150x500 mm y se carga en los tercios centrales utilizando 450 mm de luz, siendo este tipo el más utilizado a la hora de cargar las probetas sometidas a ensayos.

Imagen 2.1.- montaje utilizado para ensayo según Norma ASTM-C1609.

Se opera la maquinaria de carga en forma tal que la deflexión total en la flecha aumente a una velocidad constante de entre 0,06 y 0,12 mm por minuto, hasta llegar a la deflexión L/600, es decir 0,83 mm. Pasado este punto se permite duplicar la velocidad de carga hasta llegar a la deflexión deseada, que debe ser no menor a L/150, equivalente a 3 mm.

Habiendo registrado las cargas, se calcula el esfuerzo máximo mediante la

expresión utilizando el primer máximo de carga donde la pendiente de la curva carga v/s desplazamiento es de cero.

$$f_b = \frac{P*L}{b*d^2} \qquad (1)$$

Dónde:

f_b = Esfuerzo en Mpa.

b = Ancho de la probeta en mm.

d = Alto de la sección en mm.

L = Luz de la viga en mm.

P = Carga total en newton.

Esta expresión permite además determinar la resistencia residual para cualquier desplazamiento, utilizando la curva de carga v/s desplazamiento, cuya forma característica se muestra en la figura 2.3.

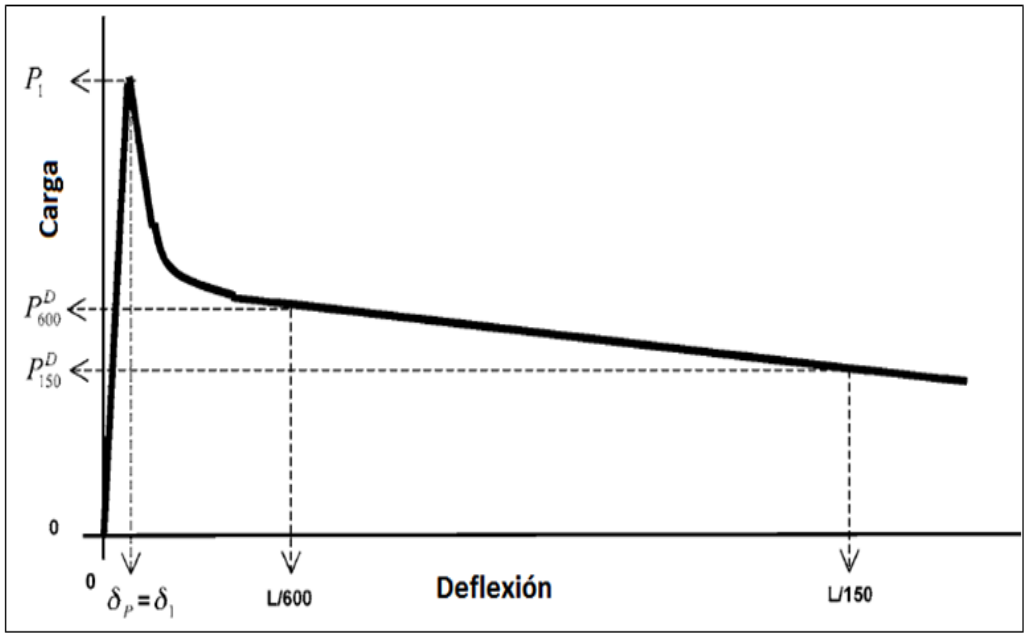


Figura 2.3.- Curva característica carga v/s desplazamiento (fuente ASTM-C1609).

En el caso de que el contenido de fibras en el hormigón sea elevado, y cuenten estas con la resistencia mecánica necesaria se puede llegar a observar un ligero repunte en la carga soportada por la probeta de hormigón a medida que se realiza el ensayo mostrando un comportamiento similar al de la figura 2.4.

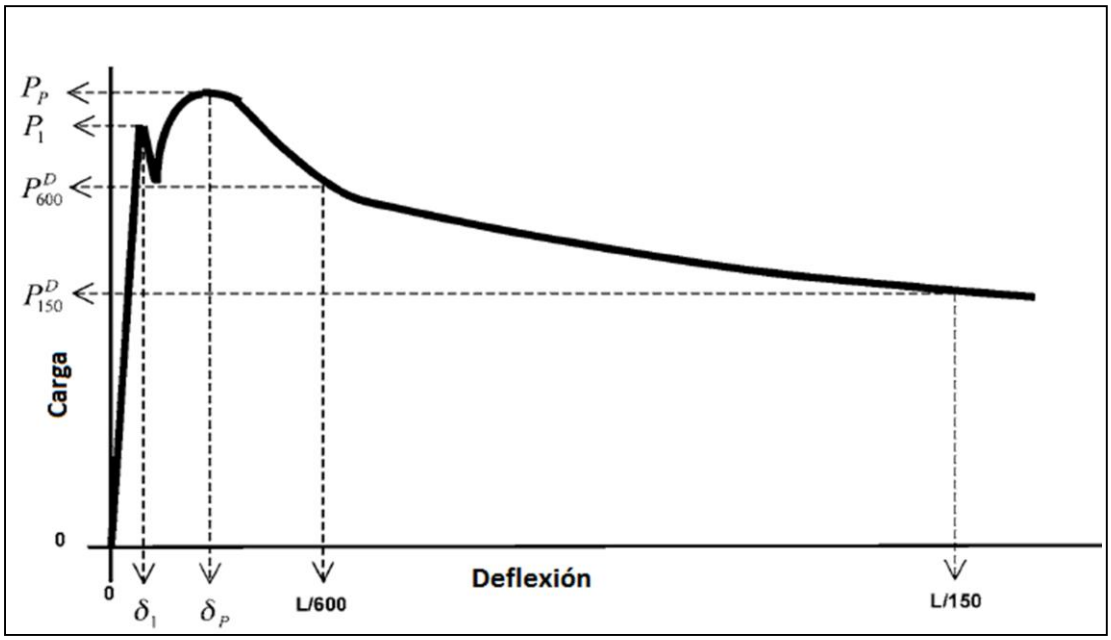


Figura 2.4.- *Curva característica carga v/s desplazamiento (fuente ASTM-C1609).*

Para los desplazamientos mostrados en la figura 2.3 de L/600 y L/150 se determina la resistencia residual utilizando la ecuación (1). Se mide también el área absoluta bajo la curva hasta esos desplazamientos y se calcula la tenacidad la probeta.

Capitulo III

INVESTIGACION PROPUESTA

El presente estudio pretende evaluar las características de los HRF, para lo cual se medirá la tenacidad y resistencia residual en el régimen post-agrietamiento para hormigones reforzados con fibras de acero Dramix 3D, 4D y 5D en distintas dosificaciones de fibras; 15 kg/m^3, 20 kg/m^3 y 25 kg/m^3. Cuyas nuevas dosificaciones podrían mejorar el desempeño de las probetas ensayadas, teniendo como finalidad encontrar la mejor dosificación para maximizar el desempeño.

Para esto se confeccionaron probetas prismáticas de 150x150x500 mm y se ensayara a flexo tracción según norma ASTM-C1609 con una luz de 450 mm.

Se fabricará lotes de 5 probetas sin fibra como grupo de control, además de 10 probetas para distintos tipos de fibras de acero con dosificación de fibra constante según sea el caso, abarcando las distintas dosificaciones propuestas. Se determinará la resistencia residual para tramos de L/600, 2 mm y L/150; además la variación de tenacidad; una vez obtenidos los gráficos Carga-Desplazamiento para probetas que estén iguales o superiores a L/150 de desplazamiento. Analizando y comparando entre las distintas dosificaciones estudiadas, obteniendo la mejor configuración de resistencias mecánicas para HRF.

Capitulo IV

MATERIALES ESTUDIADOS

4.1.- Materiales constituyentes del Hormigón.

4.1.1.- Cemento.

El cemento que se utilizó para la fabricación de los hormigones corresponde a Cemento Melón Especial, cemento del tipo Portland puzolánico de grado corriente que cumple Norma Chilena NCh 148 Of. 68.

Por sus características puede ser un símil de:

- Tipo II/B-P, grado 32,5 R de la norma de la Unión Europea de Cementos EN-197.
- Tipo P de la norma ASTM C-595.
- Tipo HS según ASTM C-1157.

4.1.2.- Agregados pétreos**.**

Estos áridos son los principales constituyentes del hormigón y entregan las características que definen el comportamiento del mismo. Para conocer las características de los áridos a utilizar, se realizaron ensayos de acuerdo a las siguientes Normas:

- Determinación de la Granulometría de las arenas y gravas, según NCh 165 Of. 77.
- Determinación de las densidades aparentes, según NCh 1116 Of. 77.
- Determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las gravas, según NCh 1117 Of. 77.
- Determinación de las densidades real y neta, y la absorción de agua de la arena, según NCh 1239 Of. 77.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 4.1.- *Densidades agregados pétreos.*

Propiedad	Unidad	Agregados Pétreos	
		Arena	Grava
Densidad Aparentemente Compactada	kg/ m^3	1693	1569,88
Densidad Aparentemente Suela	kg/ m^3	1505,69	1452,18
Densidad Real S.S.S.	kg/ m^3	2631,57	2680,14
Densidad Real Seca	kg/ m^3	2596,49	2650,73
Densidad Real Neta	kg/ m^3	2690,9	2731,06
Absorción	%	1,35	1,1

4.1.3.- Curvas Granulométricas.

A continuación se presentan las bandas granulométricas, obtenidas según el procedimiento descrito en la norma NCh 165 Of. 77. Se recurrirá a la norma NCh 163 en la cual se indican los requisitos generales que deben cumplir los áridos para morteros y hormigones, con el fin de obtener las bandas granulométricas de arenas y gravas.

Tabla 4.2.- *Granulometría Arenas.*

Tamiz [mm]	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Rango NCh 163
10	0	0	100	100
5	2	2	98	95-100
2,5	9	12	88	80-100
1,25	21	32	68	50-85
0,63	21	53	47	25-60
0,315	24	77	23	10-30
0,16	19	96	4	2-10

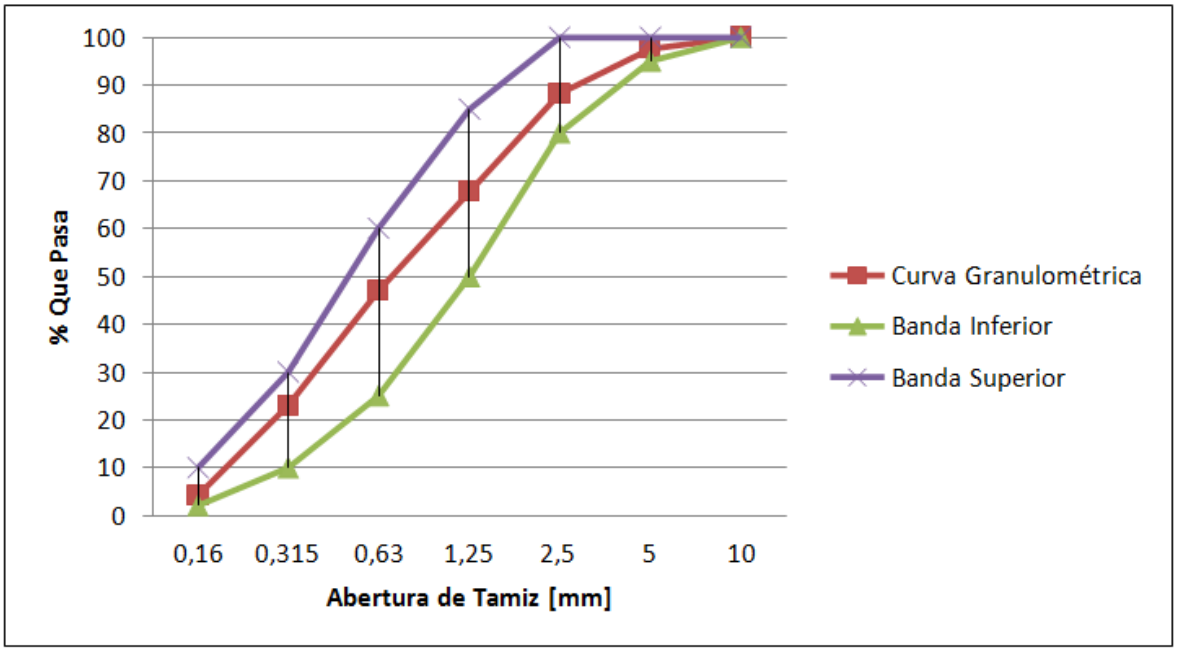


Figura 4.1.- *Curva granulométrica Arenas; Tamaño máximo Nominal = 5 mm.*

Tabla 4.3.- *Granulometrías Gravas.*

Tamiz [mm]	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Rango NCh 163
25	0	0	100	100
20	1	1	99	90-100
10	56	57	43	20-55
5	34	93	7	0-10
2,5	6	100	0	0-5
1,25	0	100	0	0

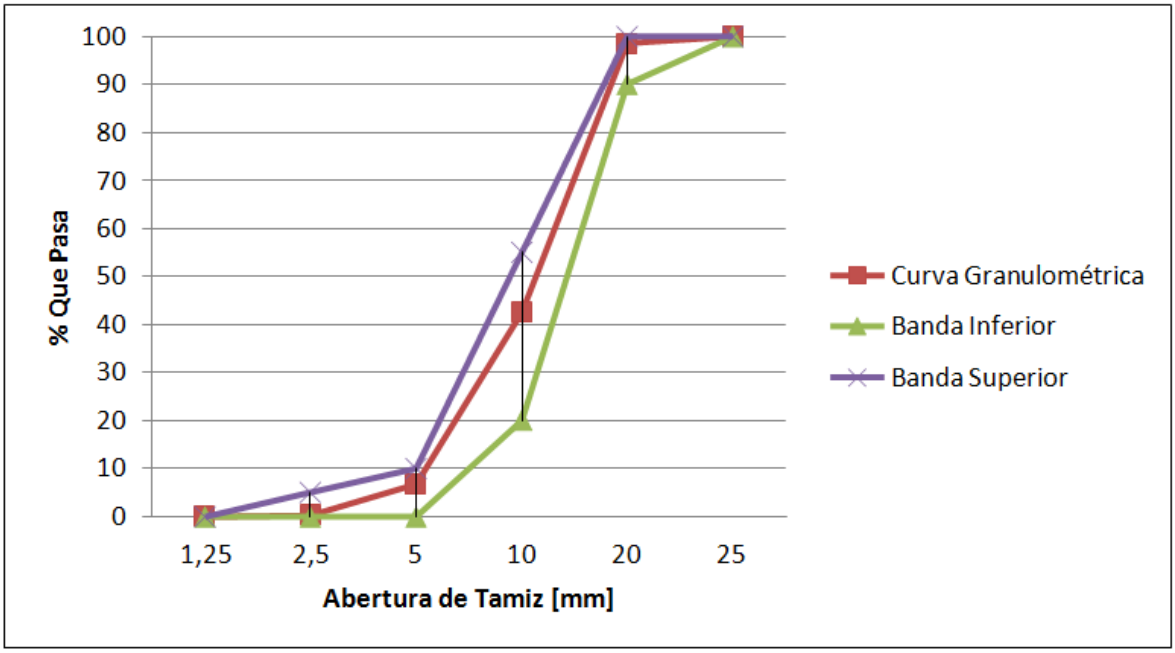


Figura 4.2.- *Curva granulométrica Grava; Tamaño Máximo Nominal = 20 mm.*

4.2.- Fibras de acero utilizadas.

El acero es el primer material a considerar para manufacturar fibras de refuerzo, ya que es el complemento natural del hormigón, por su alta resistencia y mayor ductilidad, ofrece la resistencia a la tracción que la mezcla necesita, si bien no existe hoy en día una normativa en Chile que rija el uso de fibras de acero como refuerzo estructural. El tipo de fibra a evaluar serán los pertenecientes a los modelos 3D, 4D y 5D de fibras Dramix©, cuyas propiedades generales son las siguientes:

Tabla 4.4.- *Propiedades y características de las fibras de acero utilizadas.*

PROPIEDADES DE FORMA	FIBRAS		
	3D	**4D**	**5D**
Largo (*l*) (mm)	60	60	60
Diámetro (*d*)(mm)	0.75	0,9	0,9
Aspecto (*l*/*d*)	80	65	65
Resistencia a la tracción (MPa)	1225	1500	2300

Los modelos 4D y 5D fueron desarrollados en los últimos años con el objeto de minimizar la cantidad de fibras necesarias para obtener resultados satisfactorios en cuanto a resistencia residual y tenacidad en el hormigón. Esta innovación además de buscar una mejora en las tecnologías existentes, surge de la necesidad de mantener la competitividad del uso de fibras de acero ante el creciente mercado de fibras sintéticas que logran resultados similares con precios competitivos.

4.3.- Aditivo Adva 200.

Este producto corresponde a un aditivo plástico líquido, para el uso en hormigones, libre de cloruros y que actúa como súper-plastificante reductor de agua de alto rango. Permite un aumento de la docilidad de la mezcla para una cantidad de agua constante o bien una reducción de la cantidad de agua de amasado para una docilidad dada, conduciendo a mayores resistencias mecánicas a edades iniciales y finales.

Algunas ventajas que presenta este producto son:

- Altamente eficaz, produce un hormigón de alto asentamiento, con dosis bajas, sin disminuir resistencia.
- Puede ser agregado a la mezcla de agua del hormigón para un amasado rápido.
- Provee una excelente combinación de largos periodos de asentamiento con el tiempo de fraguado casi neutral.
- Mínima exudación en comparación con los que no han sido

tratados con fluidificantes y presenta un alto asentamiento.

- Permite un buen acabado superficial. Aditivos, clasificación y requisitos.

Se recomienda una dosis que varía entre 110 cm^3 a 400 cm^3 por cada 100 kg de cemento.

Capítulo V

PROGRAMA EXPERIMENTAL

5.1.- Dosificación.

En esta investigación fueron preparados 9 tipos de hormigón diferentes, utilizando cemento de nombre comercial “Melón Especial” de la clasificación P de acuerdo la norma ASTM C 595, que cumple con la norma chilena NCh 148 en cuanto a fraguado y resistencia. Los agregados pétreos corresponden a grava y arena con diámetro máximo no minal de 20 y 5 mm respectivamente. La relación de agua/cemento utilizada fue de 0,45; Para aumentar la trabajabilidad de la mezcla se incorporó aditivo plastificante ADVA 200. Los detalles se muestran en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1.- *Dosificación para un m3 de hormigón utilizado.*

Mezcla	HRFA-3D	HRFA-4D	HRFA-5D
Cemento (kg)	400		
Grava	610		
Arena	1038		
Agua (kg)	180		
Aditivo (lts)	3.4		
Tipo de Fibra	3D	4D	5D
Contenido fibra (kg)	15	15	15
	20	20	20
	25	25	25

El hormigón fue confeccionado en una betonera tradicional de 100 lts de capacidad, y fue vertido en moldajes prismáticos de acero de 150x150x500 mm que permiten el ensayo con los 450 mm de luz que exige la norma ASTM C 1609. Las probetas fueron compactados con una sonda vibradora, y desmoldados a las 48 horas.

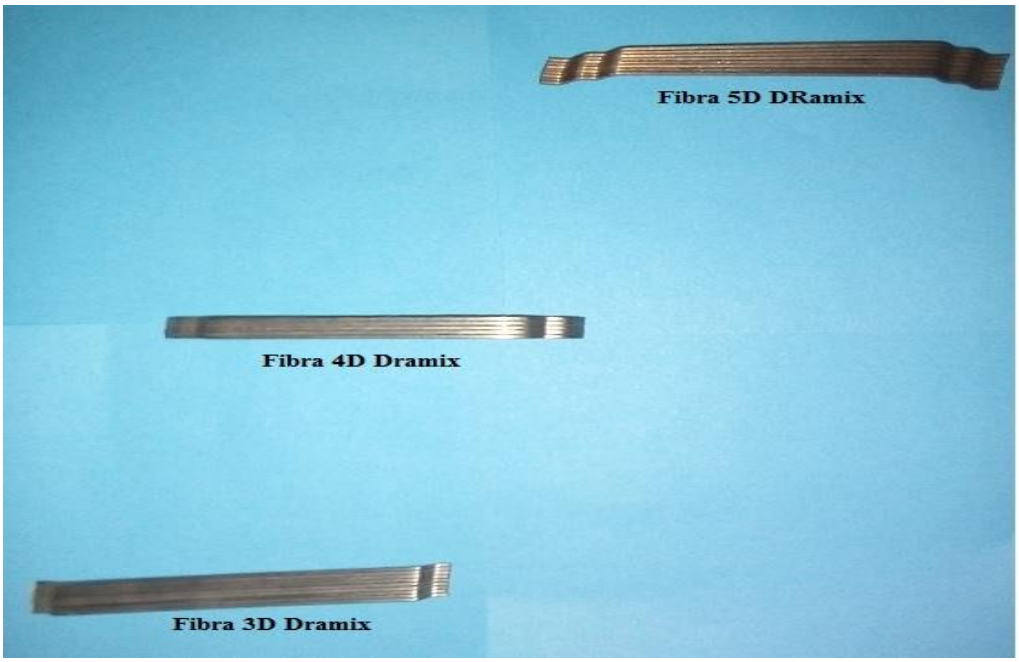


Imagen 5.1.- *Fibras Dramix de acero utilizada en las Probetas.*

Para cada amasada se tomaron además 2 probetas cilíndricas de 150x300 mm y fueron ensayadas a comprensión según la norma NCh 1037 Of .77. La máquina utilizada para estos ensayos fue una prensa hidráulica con una capacidad de carga máxima de 3000 kN. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.2.

Tabla 5.2.- *Resultados ensayo a compresión.*

Fibra utilizada	**Dosificación (Kg/m^3)**	**Resistencia promedio (Mpa)**
Grupo control	----------	28,1
Dramix 3D	15	39,99
	20	37,61
	25	35,85
Dramix 4D	15	33,64
	20	36,21
	25	24,2
Dramix 5D	15	33,29
	20	31,06
	25	23,69

.

5.2.- Ensayo a Flexión.

Los ensayos fueron realizados en la nueva máquina adquirida por el departamento de obras civiles, El sistema MMC8 se encuentra en el Laboratorio LEMCO (Laboratorio de Ensaye de Materiales y Control de Obras), específicamente en el sector de hormigón.

Imagen 5.2.- *Sistema MCC8 laboratorio LEMCO.*

El equipo de ensayo cuenta con el software Multitest que permite la ejecución automática de ensayos en control de carga, desplazamiento, y deformación necesarios para caracterizar mecánicamente los HRF, shotcrete y en general todos los hormigones de alto desempeño. Es posible también programar una secuencia de pasos con diferentes parámetros de control. La gran flexibilidad de la arquitectura del software permite poder utilizar el sistema tanto para estudios de investigación como para ensayos estándar de acuerdo a las normas internacionales (ASTM, EN).

El sistema MCC8 del recinto cuenta con:

- Rodillo superior e inferior con diámetro 30 x 300 [mm] de largo (de acuerdo a norma EN 14651).
- Bastidor completo de 100 [kN] de capacidad con célula de carga y accesorios para conexión a consola de comando.
- Transductor de desplazamiento de gran precisión, recorrido 10 [mm].
- Dispositivo eléctrico para tres transductores de desplazamiento.

Capítulo VI

ANALISIS Y RESULTADOS

6.1.- Hormigón Reforzado con Fibras de Acero.

Para cada tipo de hormigón reforzado con fibras de acero se ensayaron 10 probetas para cada proporción distinta de fibras según la dosificación, siendo en total de 90 probetas prismáticas. Las curvas características quedan de la siguiente forma. Para el análisis se utilizan los puntos propuestos en la Norma ASTM-C1609 para L/600, 2 milímetros y L/150.

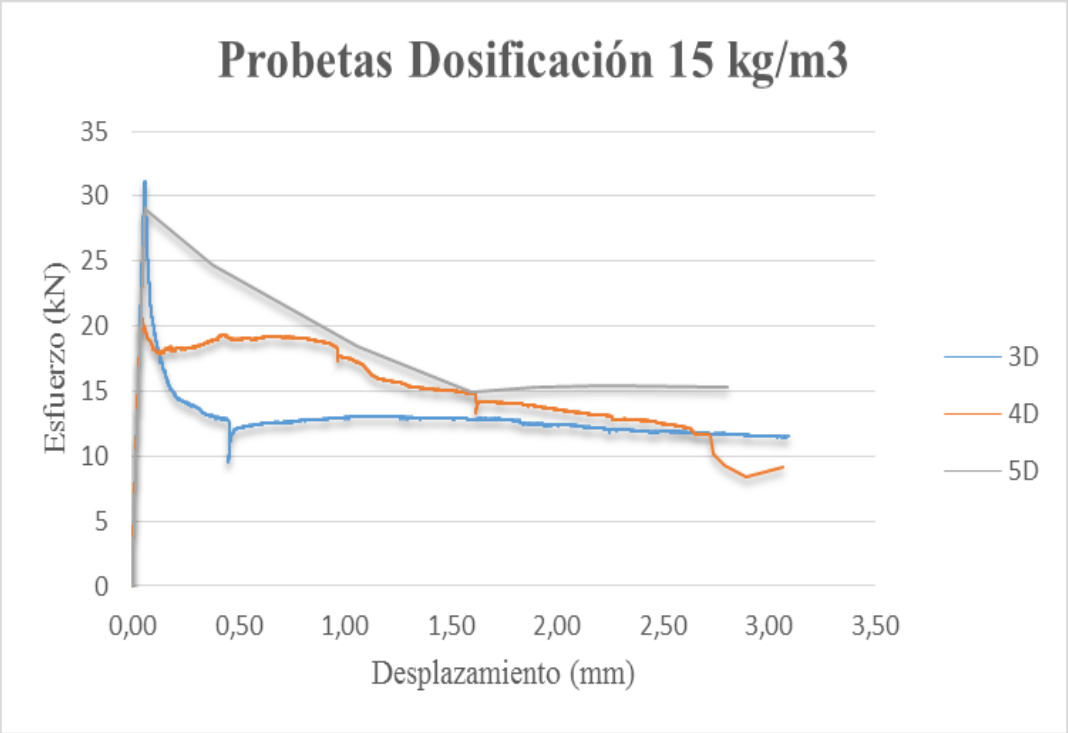


Figura 6.1.- *relación carga v/s desplazamiento para probetas con misma dosificación 15 kg/m^3, con distintos tipos de fibras de acero.*

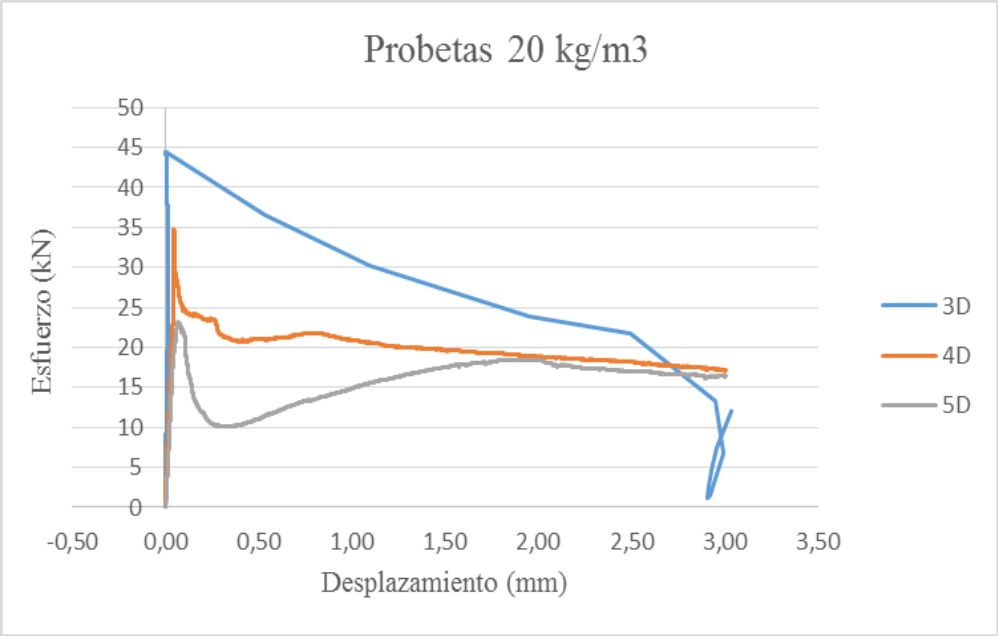


Figura 6.2.- *Relación Carga v/s Desplazamiento para probetas en misma dosificación 20 kg/m^3, con distintos tipos de fibras de acero.*

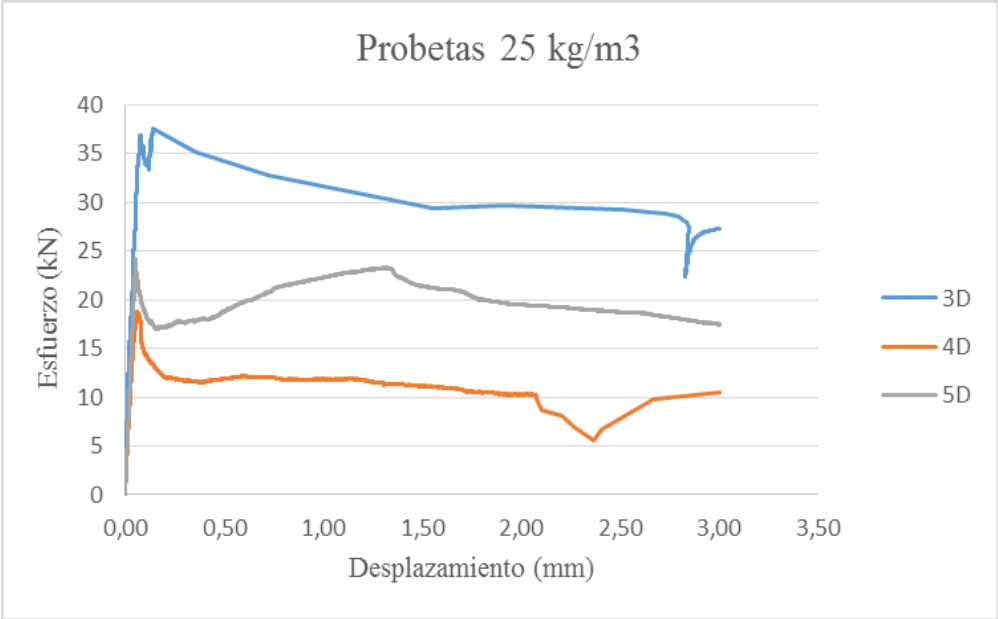


Figura 6.3.- *Relación Carga v/s Desplazamiento para probetas en misma dosificación 25 kg/m^3, con distintos tipos de fibras de acero.*

La caracterización entre el punto de rotura y el punto L/600 aproximadamente 1 mm, al ser analizado y ensayado con la nueva adquisición de LEMCO la maquina MCC8 estos puntos pueden ser bien caracterizados a continuación se muestra un zoom a dicho tramo.

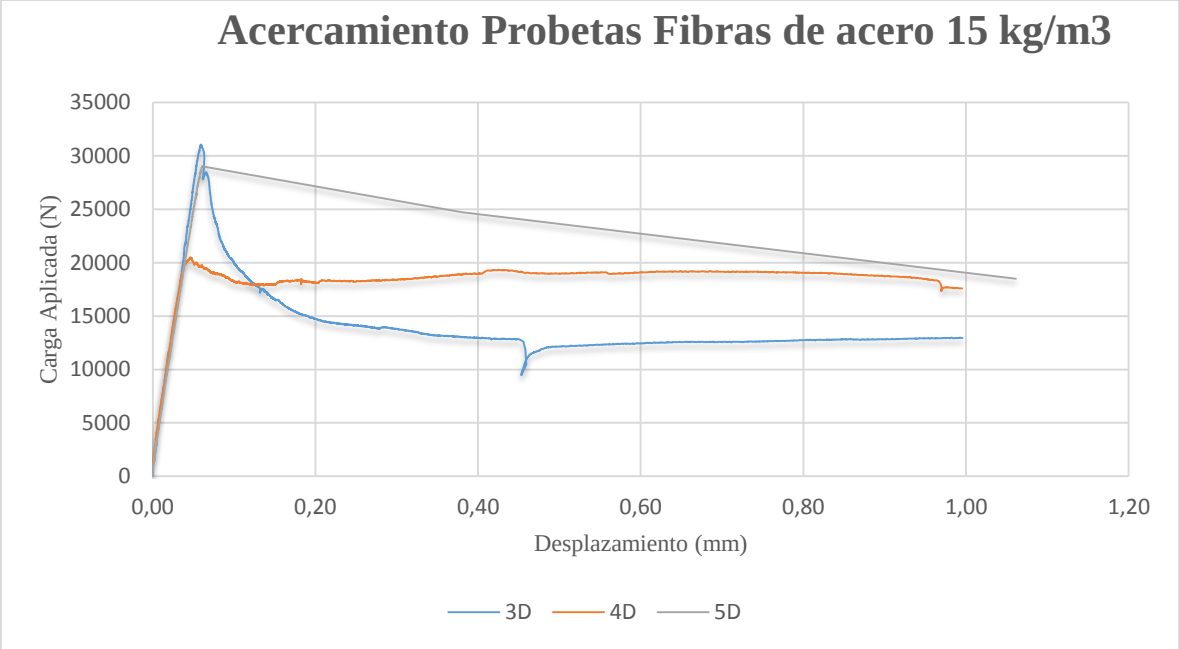


Figura 6.4.- *Acercamiento a gráfico en primera rotura.*

Dado que la caracterización es posible en cada tramo de la curva se tomara los puntos de máxima carga, L/600, 2 milímetros y L/150 para cada tipo de curva carga-desplazamiento, tanto al comparar las fibras entre sí como al comparar las dosificaciones con la misma fibra.

6.1.1.- Resistencia Residual.

De las cargas asociadas a los gráficos de Carga v/s Desplazamiento determinando la resistencia residual se ha utilizado la ecuación (1), las que se muestran en las siguientes tablas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6.

Tabla 6.1.- *Promedio Esfuerzos y Resistencias Residuales para distintos tipos de fibras en misma dosificación de 15 Kg/m^3.*

15 kg/m3		MPA				Desviación (f_b)
Promedios	**1° Máximo (mm)**	**Esfuerzo 1° Máximo (f_b)**	**Residual L/600**	**Residual 2 mm**	**Residual L/150**	
HRFA 3D	0,06	3,77	1,82	1,85	1,66	0,38
HRFA 4D	0,05	2,92	1,68	1,34	0,88	0,26
HRFA 5D	0,05	3,26	1,72	1,69	1,55	0,54

Tabla 6.2.- *Promedio Esfuerzos y Resistencias Residuales para distintas fibras en misma dosificación de 20 Kg/m^3.*

20 Kg/m3		MPA				Desviación (f_b)
Promedios	**1° Máximo (mm)**	**Esfuerzo 1° Máximo (f_b)**	**Residual L/600**	**Residual 2 mm**	**Residual L/150**	
HRFA 3D	0,13	5,05	2,32	2,55	1,93	0,76
HRFA 4D	0,07	4,32	2,37	2,45	2,02	0,33
HRFA 5D	0,24	3,08	2,15	1,76	1,65	0,42

Tabla 6.3.- *Promedio Esfuerzos y Resistencias Residuales para distintas fibras en misma dosificación de 25 Kg/m^3.*

25 Kg/m3		MPA				Desviación (f_b)
Promedios	**1° Máximo (mm)**	**Esfuerzo 1° Máximo (f_b)**	**Residual L/600**	**Residual 2 mm**	**Residual L/150**	
HRFA 3D	0,08	4,51	3,54	3,06	2,89	0,69
HRFA 4D	0,08	2,97	1,63	1,34	1,21	0,59
HRFA 5D	0,06	3,05	2,30	2,31	2,09	0,34

Tabla 6.4.- *Promedios Esfuerzos y Resistencias Residuales para fibra 3D en dosificación distinta.*

Fibras 3D		MPA				Desviación (f_b)
Promedios	**1° Máximo (mm)**	**Esfuerzo 1° Máximo (f_b)**	**Residual L/600**	**Residual 2 mm**	**Residual L/150**	
15 Kg/m3	0,06	3,40	2,38	1,34	1,10	0,38
20 Kg/m3	0,13	5,05	2,32	2,55	1,92	0,76
25 Kg/m3	0,08	4,51	3,54	3,06	2,89	0,69

Tabla 6.5.- *Promedios Esfuerzos y Resistencias Residuales para fibra 4D en dosificación distinta.*

Fibras 4D		MPA				Desviación (f_b)
Promedios	**1° Máximo (mm)**	**Esfuerzo 1° Máximo (f_b)**	**Residual L/600**	**Residual 2 mm**	**Residual L/150**	
15 Kg/m3	0,06	3,40	2,38	1,34	1,10	0,26
20 Kg/m3	0,07	4,32	2,37	2,45	2,02	0,33
25 Kg/m3	0,08	2,97	1,63	1,34	1,21	0,59

Tabla 6.6.- *Promedios Esfuerzos y Resistencias Residuales para fibra 5D en dosificación distinta.*

Fibras 5D		MPA				Desviación (f_b)
Promedios	**1° Máximo (mm)**	**Esfuerzo 1° máximo (f_b)**	**Residual L/600**	**Residual 2 mm**	**Residual L/150**	
15 Kg/m3	0,05	3,26	1,72	1,69	1,55	0,54
20 Kg/m3	0,24	3,08	2,15	1,76	1,65	0,42
25 Kg/m3	0,06	3,05	2,30	2,31	2,09	0,34

Se puede apreciar en las tablas que para desplazamientos incluso 40 veces mayor que el del primer agrietamiento, las probetas siguen con resistencia residual, esto se debe al adicionar las fibras de acero; entre estas también puede apreciarse que la variación de resistencia residual en Mpa no tiene una gran variación entre los puntos de L/600 y L/150, con aproximadamente un decaimiento en un 12 por ciento con respecto al primer punto.

Utilizando los valores de las tablas 6.1 a 6.6 se han elaborado gráficos que muestra porcentualmente la resistencia residual de los hormigones reforzados con fibras de acero relativa al primer máximo obtenido durante el ensayo (agrietamiento en el hormigón) para los distintos niveles de desplazamiento estudiados, los que se muestran a continuación:

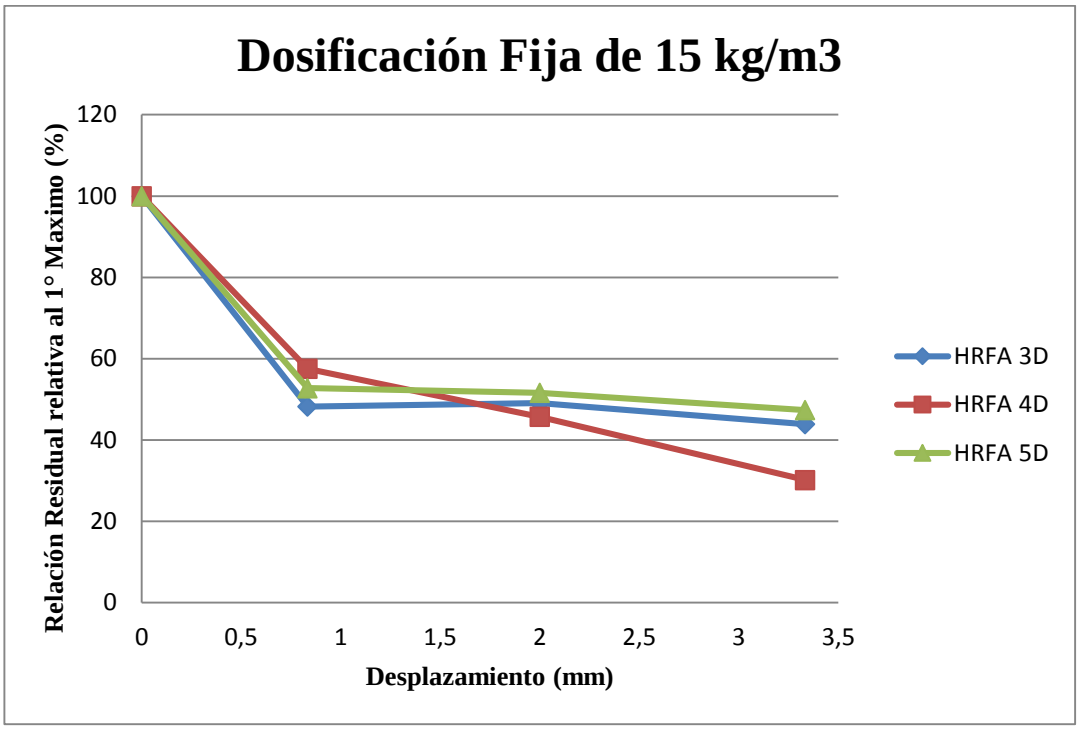


Figura 6.5.- *Relación porcentual de resistencia residual para fibras distintas en*

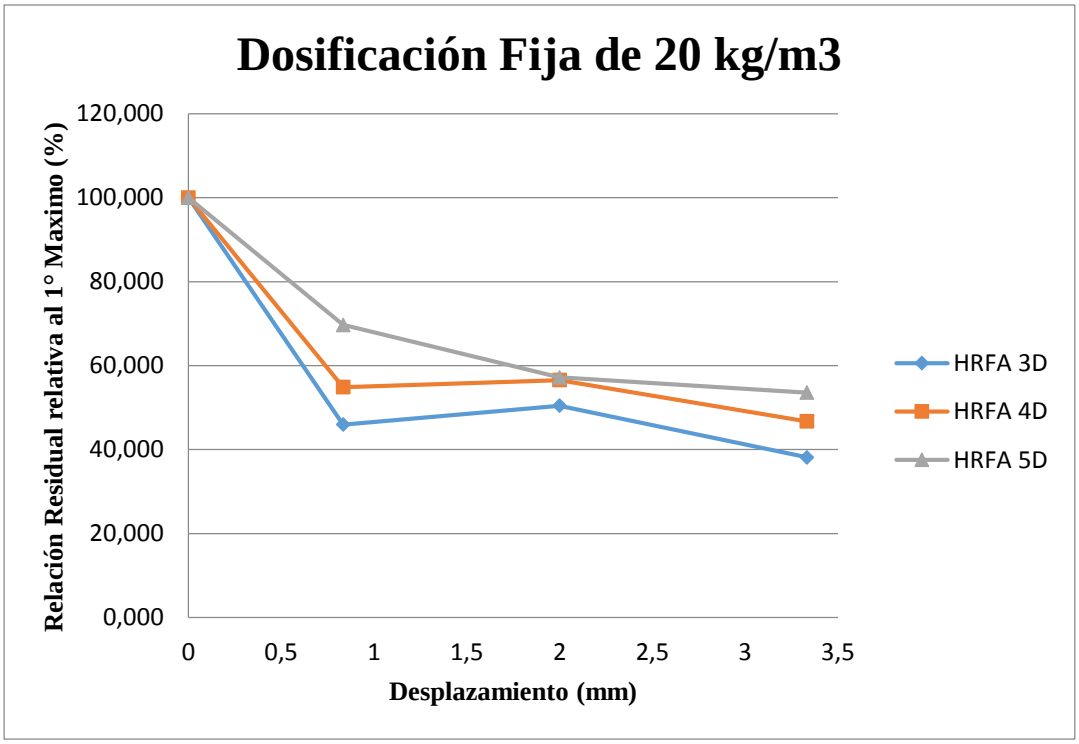


Figura 6.6.- *Relación porcentual de resistencia residual para fibras distintas en misma dosificación 20 kg/m^3.*

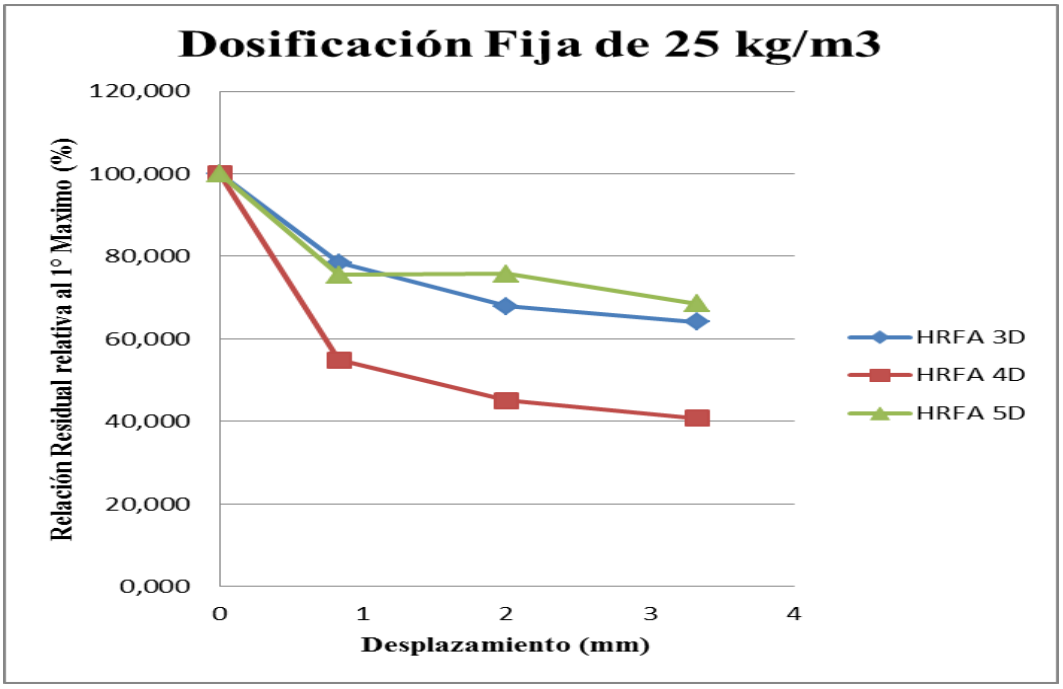


Figura 6.7.- *Relación porcentual de resistencia residual para fibras distintas en misma dosificación 25 kg/m^3.*

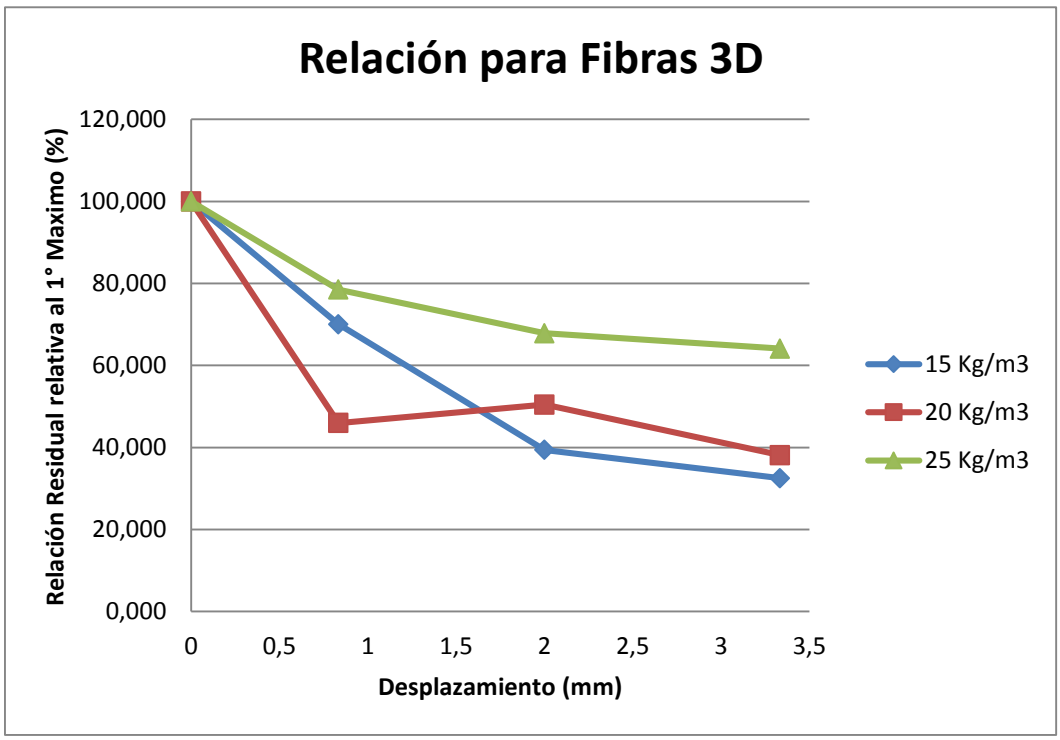


Figura 6.8.- *Relación porcentual de resistencia residual para mismas fibra en distinta dosifica.*

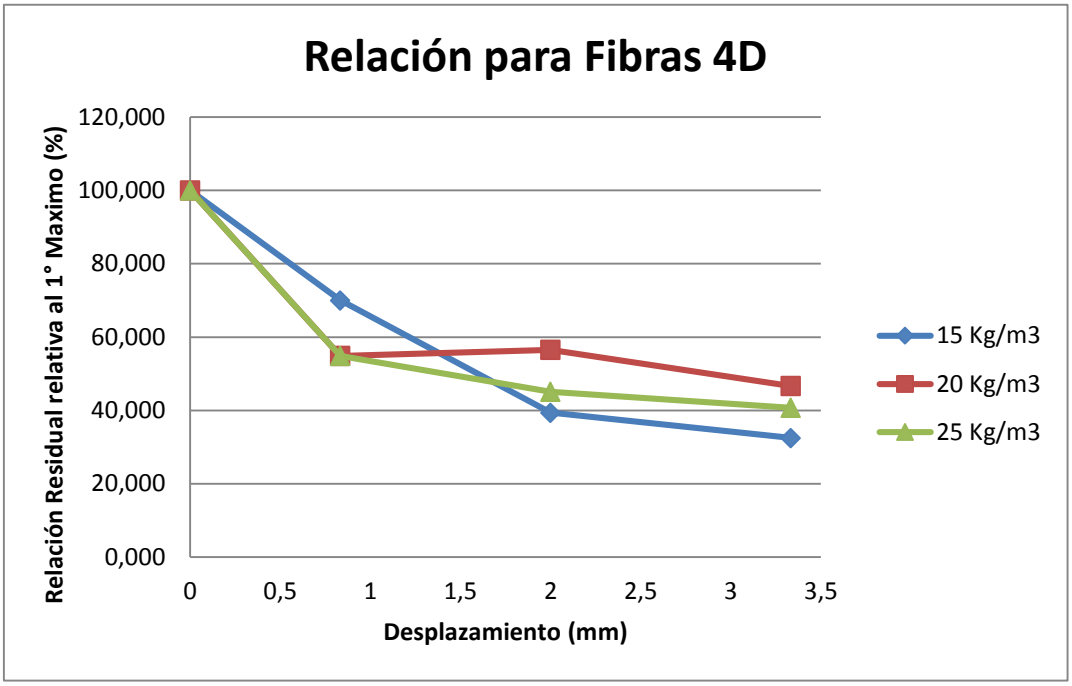


Figura 6.9.- *Relación porcentual de resistencia residual para mismas fibra en distinta dosificación.*

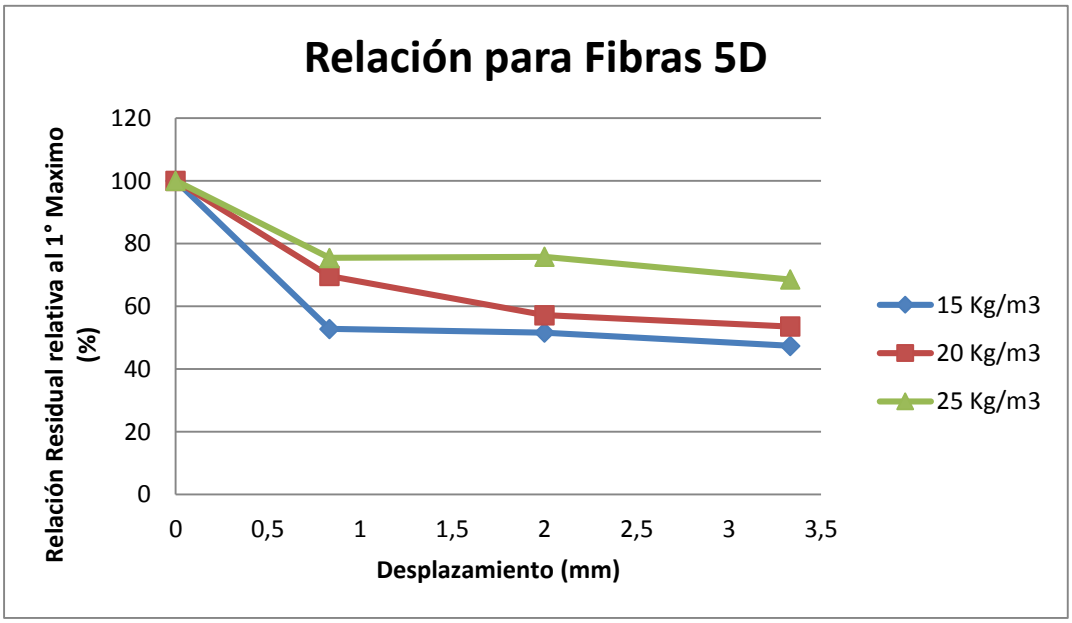


Figura 6.10.- *Relación porcentual de resistencia residual para mismas fibra en distinta dosificación.*

Para las dosificaciones iguales y distintos tipos de fibras de acero en todos los casos los porcentajes están sobre el 40 % y como máximo 80% para el primer punto L/600 manteniéndose constantes para el resto de los puntos estudiados.

Para distintas dosificaciones pero manteniendo el tipo de fibra de acero los porcentajes para el primer punto se mantiene entre un 50% y un 80% siendo para la mayor dosificación de 25 kg/m^3 la que muestra un mayor porcentaje residual.

6.1.2.- Tenacidad y Resistencia equivalente Re_3.

La tenacidad representa físicamente la cantidad de energía absorbida por un material al ser llevado hasta el punto de rotura por cargas externas. En los ensayos realizados, por tratarse de elementos sometidos a flexión, la tenacidad se puede determinar calculando el área bajo la curva de carga v/s desplazamiento obtenida durante el ensayo. En el caso de realizar ensayos con hormigón reforzado con fibras, es contraproducente llevar las probetas a una falla absoluta, donde la resistencia residual ha caído considerablemente después de unos milímetros de deflexión, por lo cual se cuantifica el área bajo la curva para ciertos rangos de desplazamiento. Al utilizar el nuevo sistema MCC8 podemos determinar los puntos entre δ_1 y el resto del gráfico, con ello la tenacidad se calcula entre los tramos de δ_1 hasta 2 mm y desde 2 mm hasta L/150 aproximadamente 3 mm según la figura 6.11.

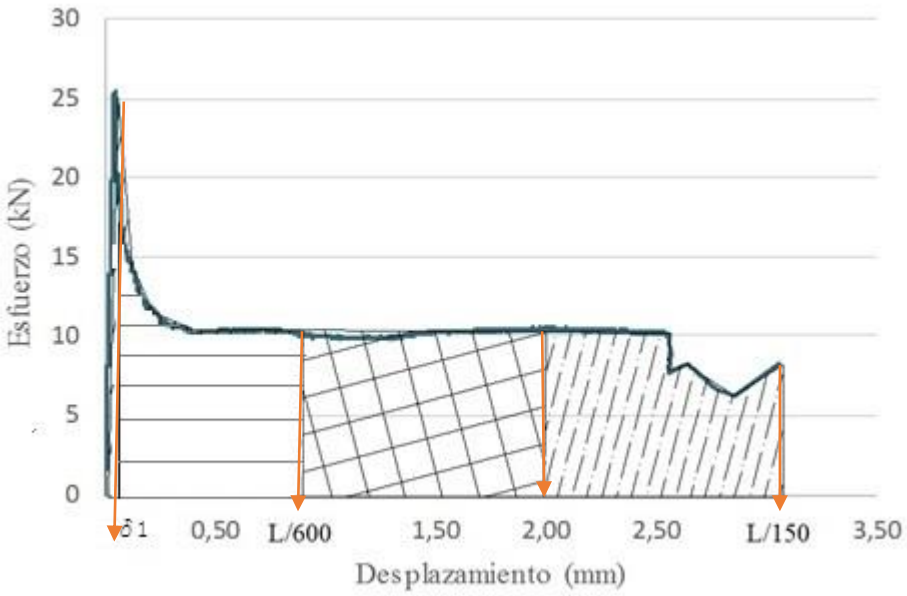


Figura 6.11.- *Tramo de energía absorbida en probetas ensayadas para cálculo de tenacidad.*

A continuación se presentan los gráficos obtenidos del cálculo de tenacidad en joule para cada tipo de fibra de acero estudiada y sus dosificaciones.

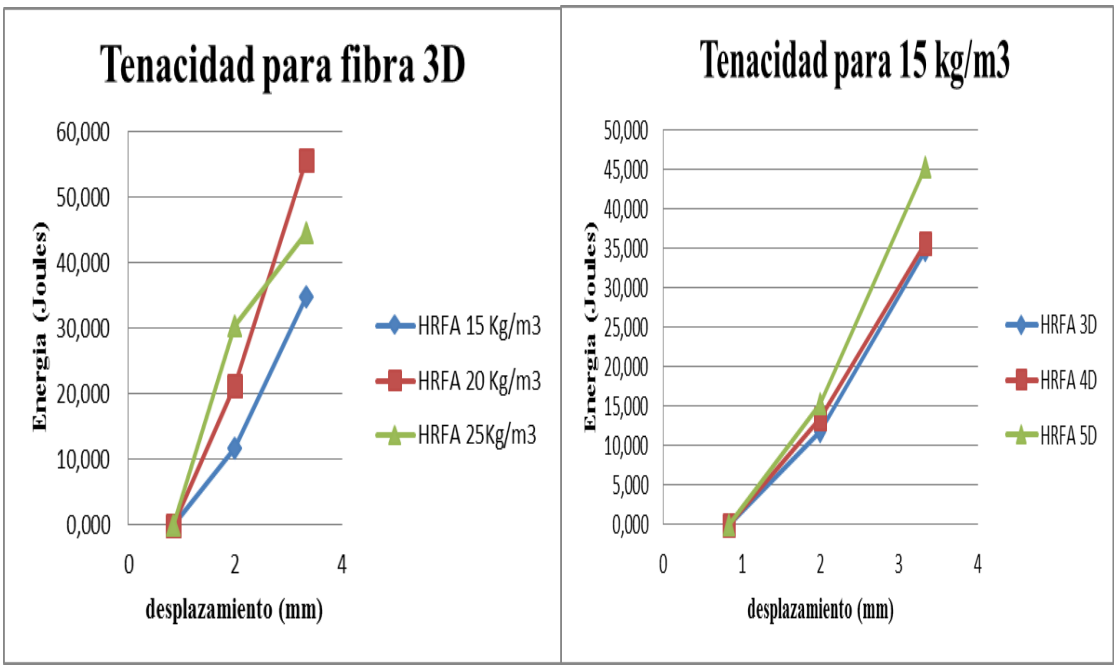


Figura 6.12.- *Grafico de Tenacidad para fibras 3D y para contenido de fibra en 15 kg/m3.*

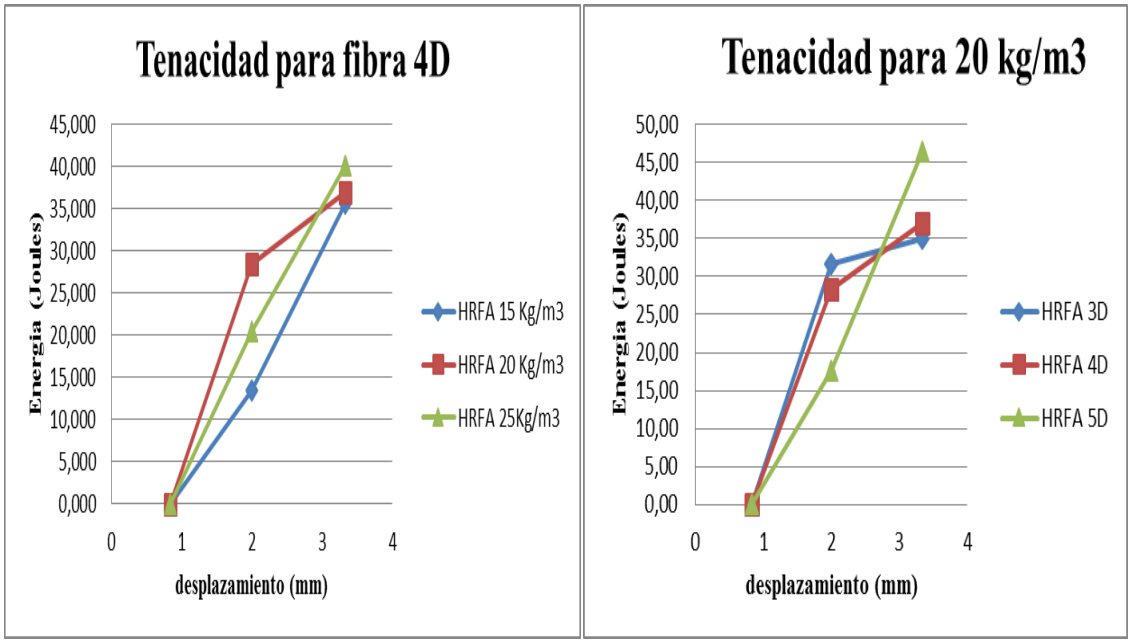


Figura 6.13.- *Grafico de Tenacidad para fibras4D y para contenido de fibra en 20 kg/m^3.*

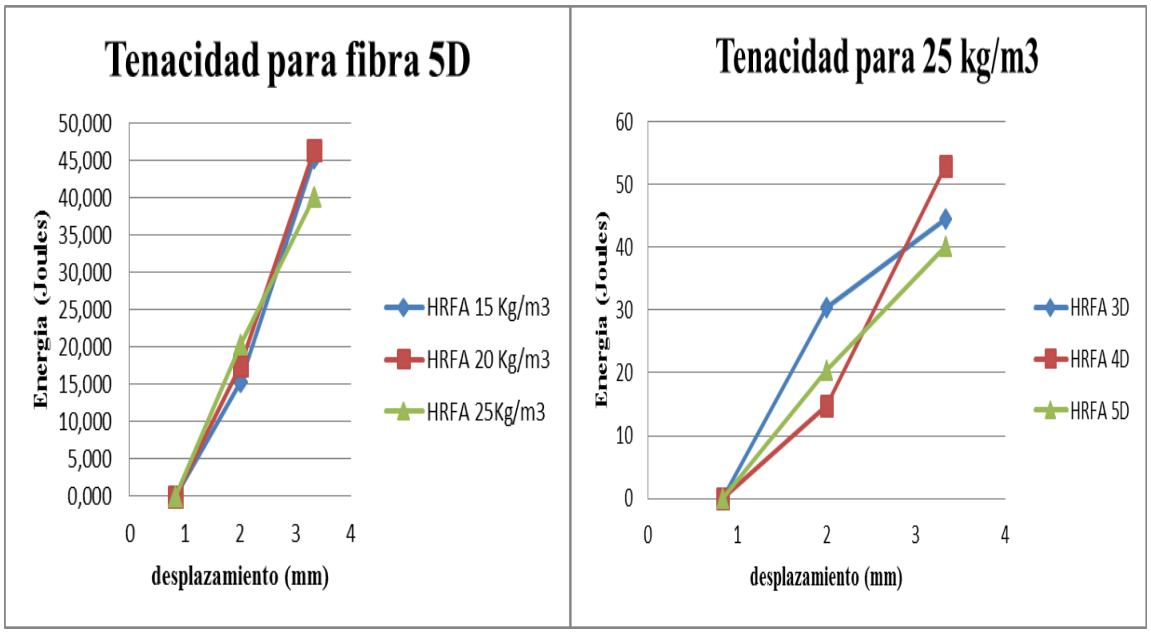


Figura 6.14.- *Grafico de Tenacidad para fibras 5D y para contenido de fibra de 25 kg/m^3.*

Tabla 6.7.- *Tenacidad de probetas Ensayadas y correlación Re_3.*

Muestra	Contenido de Fibra Kg/m3	Tenacidad (J) Tramos		Promedio Tenacidad (τ_3)	Resistencia Equivalente Re3 (%)
		δ_1 - 2	2 - L/150		
HRFA 3D	15	12	35	47	44
HRFA 4D	15	13	36	49	35
HRFA 5D	15	15	45	61	51
HRFA 3D	20	32	35	67	84
HRFA 4D	20	28	37	65	71
HRFA 5D	20	18	46	64	49
HRFA 3D	25	30	45	75	84
HRFA 4D	25	15	53	68	50
HRFA 5D	25	20	40	61	46

Las tenacidades aumentan en promedio 24 % más, desde el primer tramo al tramo final, para el mismo tipo de fibra y misma dosificación.

Al comparar las tenacidades entre fibras con la misma proporción de estas en la mezcla, la fibra 3D presenta una mayor cantidad de absorción de energía al primer tramo en la dosificación 25 kg/m^3, correspondiente a la mayor cantidad de fibra de ésta para dicha proporción.

Los mejores desempeños en el tramo inicial son para la fibra 3D en las dosificaciones más altas, dado que existen un mayor número de fibras de estas por kilogramo con respecto a las demás tipos de fibras; entonces realizan un mayor aporte a la resistencia en el primer tramo de agrietamiento.

Como es de esperar al comparar las fibras con distinta proporción las que obtienen una mayor cantidad de absorción de energía son las proporciones altas, corroborándose al tener mayor cantidad de fibras en la mezcla.

Las tenacidades obtenidas difieren con respecto a las resistencias residuales. Como ejemplo esta la dosificación de 20 kg/m^3 para las fibra 5D, tiene mayor resistencia residual que la fibra 3D en los 2 mm, no así en la tenacidad, la fibra con mayor absorción en ese tramo es 3D, esto se explica por la figura de la curva carga desplazamiento, al existir en algunos casos curvas con altos grados de resistencia al primer agrietamiento pero con abruptos bajos desde los 2 mm de desplazamiento.

La Resistencia Equivalente (Re_3) se utiliza para establecer cuál es el aporte de las fibras en la tenacidad de acuerdo a la norma japonesa JCI- SF4, el cálculo de resistencia equivalente se realiza mediante la relación de tenacidad con ∂_l en mm.

$$Re_3 = [(\frac{\tau_3}{\delta} \times \frac{L}{b \times h^2}) \div f_b] \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

Re_3 = Resistencia equivalente de Tenacidad.

τ_3= Tenacidad de la muestra, área bajo la curva carga v/s desplazamiento.

δ = Deformación en mm para los tramos L/600, 2 y 3 mm.

L = Largo de la probeta ensayada.

b = Ancho de la probeta ensayada.

h = Altura o peralte de la probeta ensayada.

f_b = Esfuerzo, ecuación (1).

Capitulo VII

CONCLUSIONES

Como mostraron los ensayos, el hormigón reforzado con fibras de acero es capaz de tolerar deformaciones muy superiores al hormigón convencional sin incorporación de fibras.

El desempeño de las fibras es controlada principalmente por la dosificación de estas. La preparación de la matriz cementicia debe realizarse tomando en cuenta la compactación de esta para evitar la segregación de las fibras, aspecto que influirá en la resistencia de la probeta.

A través del ensayo a flexión siguiendo la norma ASTM C1690 se pudo apreciar lo siguiente:

- Al analizar los resultados de promedios de esfuerzos residuales para las distintas dosificaciones contemplados en las tablas 6.1 a 6.3, las fibras 3D poseen en sus distintas dosificaciones los mayores valores de resistencia, siendo la dosificación de 25 kg/m^3 la que obtiene mayores resistencias individuales para las distintas deformaciones de control estudiadas (L/150, 2 mm y L/600).
- Los valores de las relaciones residuales relativas al 1° Máximo mostradas en las figuras 6.5 a 6.10, nos indican que para concentraciones de fibras de 25 kg/m^3 la variación porcentual después del primer agrietamiento es menor en comparación para las otras dosificaciones, entendiéndose que esto ocurre al existir mayor cantidad de fibras; y además la fibra 5D es la que obtiene una menor variación con respecto al esfuerzo máximo.
- Para la fibra Dramix 5D se constata que mientras más alta la

dosificación lo será la resistencia, siendo hasta un 20% mayor que para dosificaciones de 15 kg/m^3 según figura 6.10.

- Al analizar las distintas fibras para la misma dosificación de estas se aprecia que la fibra Dramix 5D obtiene menor variación entre el primer máximo obtenido y los puntos de control de L/150, 2 mm y L/600 mm. Sin embargo no es la que obtiene mayores valores absolutos en el esfuerzo, siendo la fibra 3D, con mejor desempeño.
- Las tenacidades para la fibra 3D son mayores en las dosificaciones de 20 kg/m^3 y 25 kg/^{3} que para los otros tipos de fibra 4D y 5D. Fluctuando entre 67 y 75 Joule según tabla 6.7, ya que al ser mayor la dosificación existe una mayor cantidad de fibra 3D, respecto a 4D y 5D, aproximadamente un 30 % más de fibras que el resto; lo que permite una mejor distribución en el amasado.
- Para dosificación de 15 kg/m^3 la fibra 5D alcanza mayor absorción de energía, debiéndose a su geometría.
- Las tenacidades suben en el segundo tramo (2 mm a L/150) en promedio 24%, esto muestra que las curvas carga-desplazamiento, suben bruscamente al primer tramo y su bajada es paulatina, manteniéndose una curva estable, lo cual hace que las fibras aporten gran resistencia al periodo post agrietamiento.
- Al analizar los valores de Re_3 sin importar la dosificación de la que se trate, la fibra que posee mayor ductilidad y tenacidad es 3D, siendo esta la que obtiene mayores valores para el mismo lote en dosificación igual

con distinta fibra, después vienen las 4D y por ultimo las 5D.

- La fibra 3D no tiene una gran alza entre 20 y 25 kg/m^3 siendo prácticamente iguales sus valores, así también para el resto de las otras fibras que no experimentan una gran alza a excepción de la fibra 4D que posee mejor desempeño en la dosificación de 20 kg/m^3 según se aprecia en la tabla 6.7.
- Por consiguiente como nos interesa el periodo de post agrietamiento, la dosificación que mejor se comporta en tenacidad y promedio de alcance de esfuerzo al primer máximo es la dosificación de 25 kg/m^3, no arrojaron grandes variaciones las nuevas fibras 4D y 5D, con lo que respecta a tenacidad; además es en esta dosificación de 25 kg/m^3 donde existe una menor variación porcentual, de resistencia residual entre las fibras.
- En conclusión no existen grandes variaciones entre los nuevos tipos de fibras con los distintos tipos de dosificaciones, teniendo en cuenta que la fibra 3D a pesar de no poseer dobleces que aseguren su agarre, y al existir más fibras por metro cubico que el resto, se asegura una homogeneidad en el amasado, obteniéndose como resultado mayor absorción de energía post agrietamiento, para la dosificación óptima de 25 kg/m^3 siendo un valor intermedio entre el mínimo expuesto por los fabricantes de 15 kg/m^3 y el máximo propuesto por las investigaciones de 40 kg/m^3. En consecuencia los dobleces de los nuevos tipos de fibras no realizan un gran aporte a la resistencia.

Capitulo VIII

REFERENCIAS Y ANEXO

8.1.- Anexo Gráficos y Tablas.

A continuación de desglosan los gráficos obtenidos de los ensayos a flexión de las probetas.

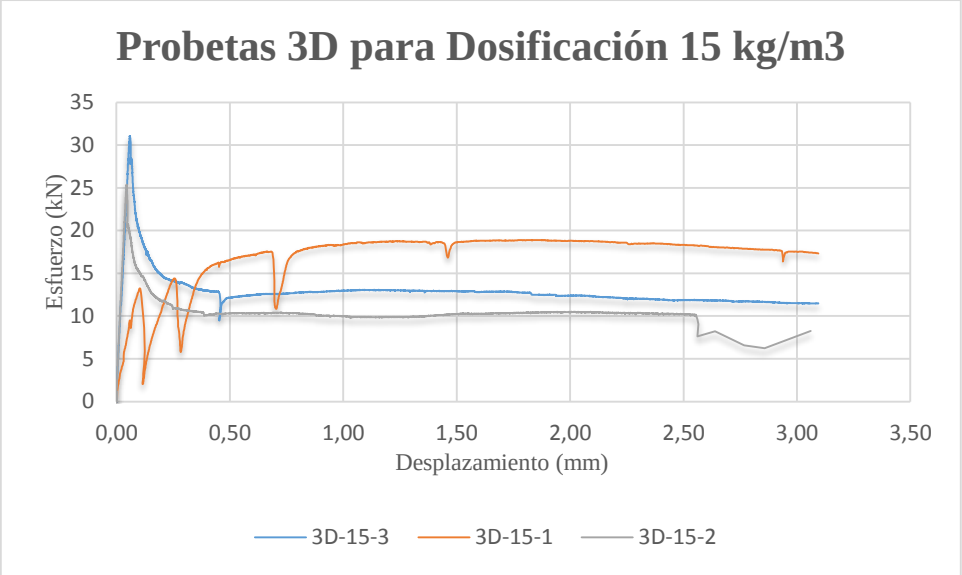


Figura 8.1.- *Grafico especímenes ensayados con dosificación 15 kg/m^3 solo para fibra 3D.*

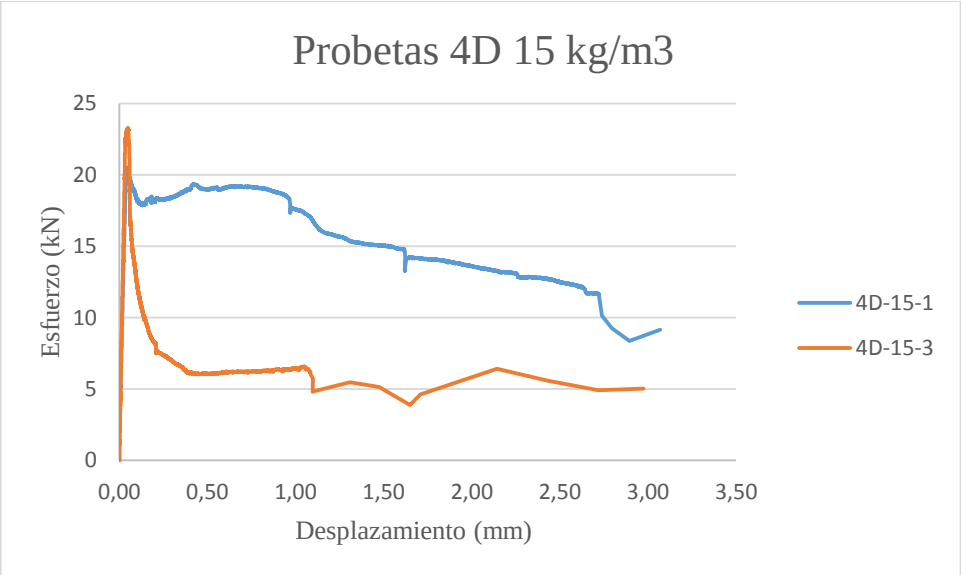


Figura 8.2.- *Grafico especímenes ensayados con dosificación 15 kg/m^3 solo para fibra 4D.*

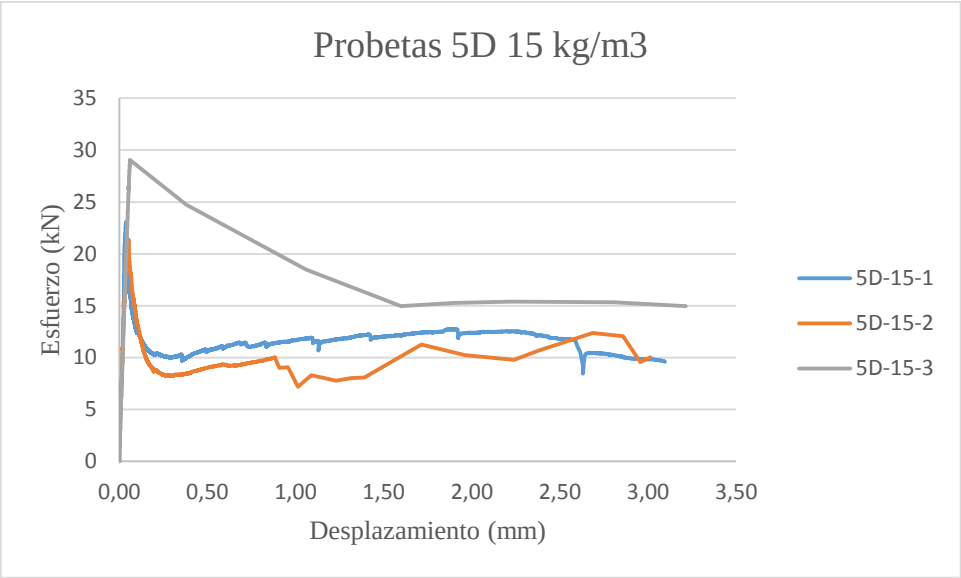


Figura 8.3.- *Grafico especímenes ensayados con dosificación 15 kg/m^3 solo para fibra 5D.*

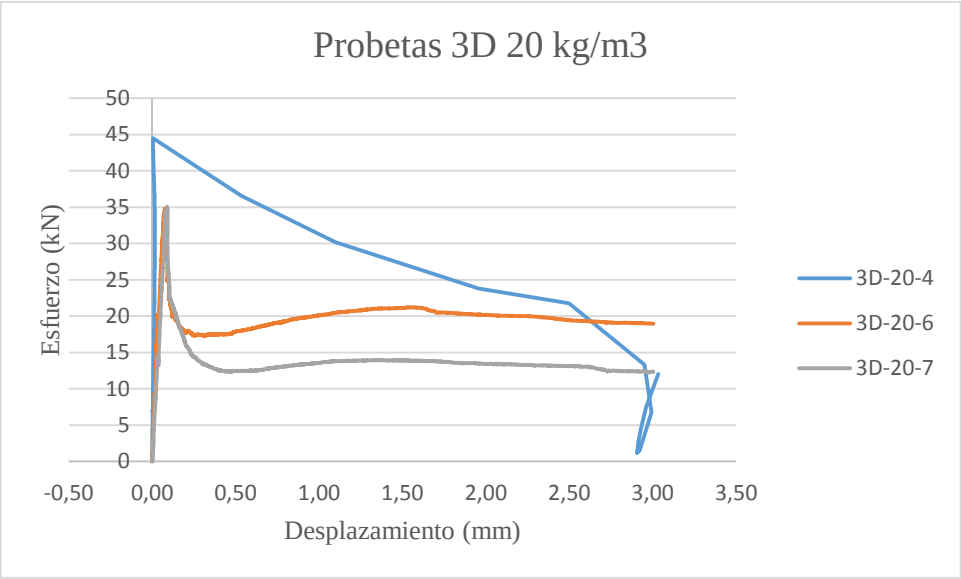


Figura 8.4.- *Grafico especímenes ensayados con dosificación 20 kg/m^3 solo para fibra 3D.*

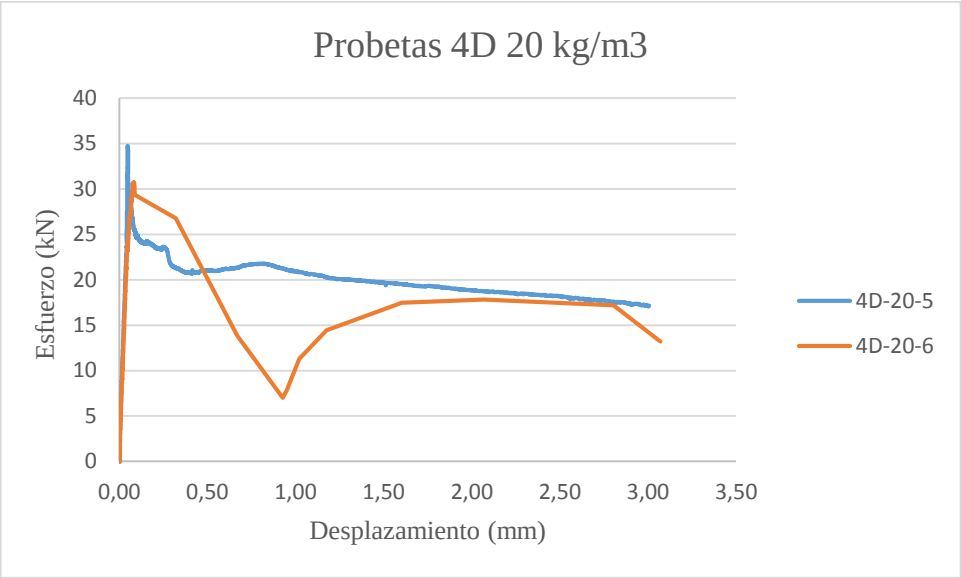


Figura 8.5.- *Grafico especímenes ensayados con dosificación 20 kg/m^3 solo para fibra 4D.*

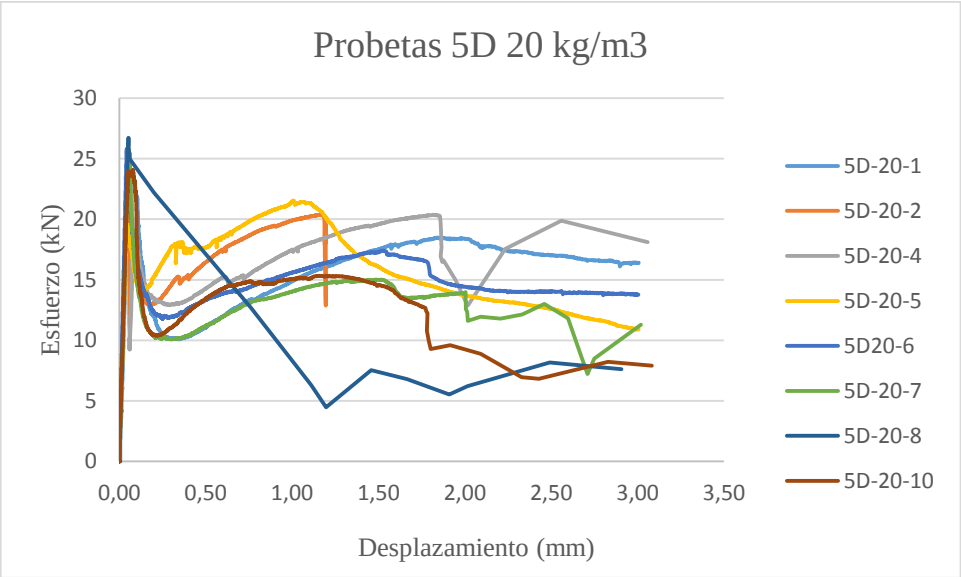


Figura 8.6.- *Grafico especímenes ensayados con dosificación 20 kg/m^3 solo para fibra 5D.*

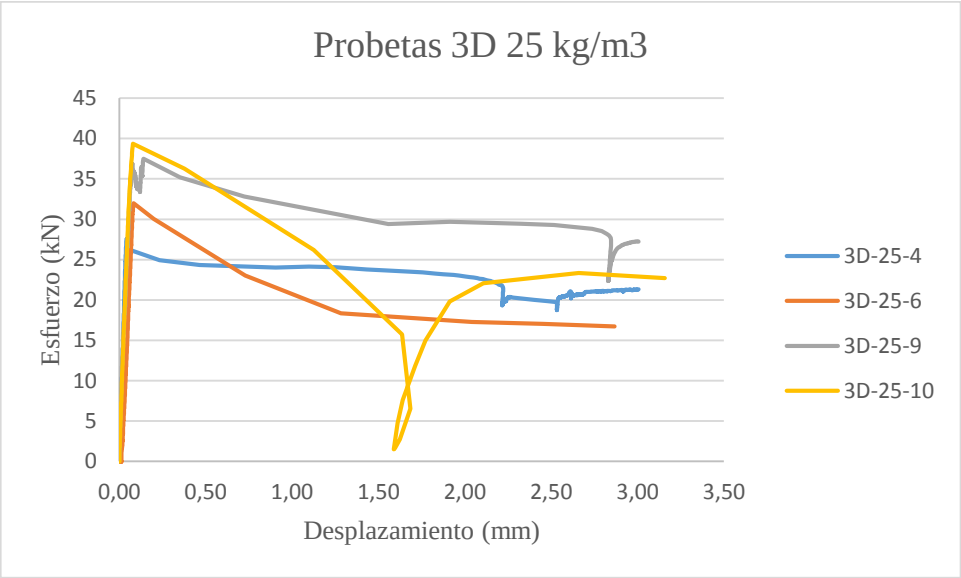


Figura 8.7.- *Grafico especímenes ensayados con dosificación 25 kg/m^3 solo para fibra 3D.*

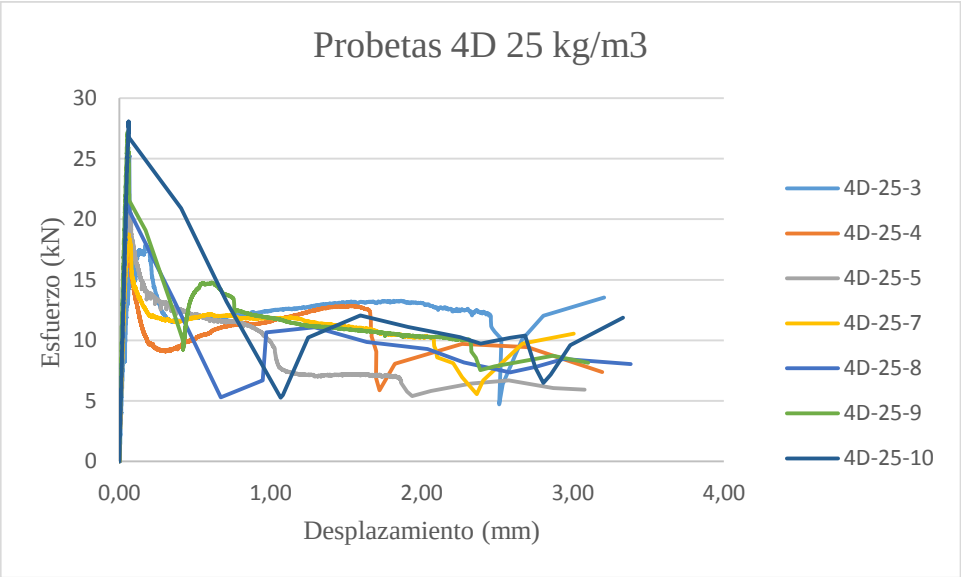


Figura 8.8.- *Grafico especímenes ensayados con dosificación 25 kg/m^3 solo para fibra 4D*

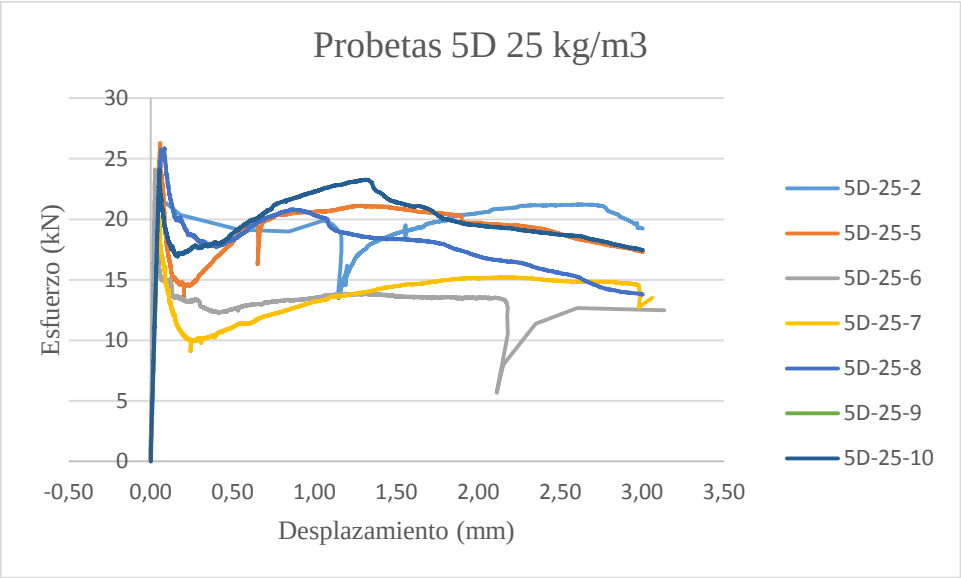


Figura 8.9.- *Grafico especímenes ensayados con dosificación 25 kg/m^3 solo para fibra 5D.*

Tabla 8.1.- *Tabla datos iniciales para especímenes ensayados misma dosificación 15 kg/m3, en fibras 3D, 4D y 5D.*

Viga	Fuerza Máxima (N)	Promedio de Fuerza (N)	Tiempo ensayo (Seg)	Desplazamiento Máximo (µm)	Desplazamiento al esfuerzo máximo (mm)	Mpa máximo	Esfuerzo 1° máximo (Mpa)
3D-15-1	28397	17941	587,8	4499,3	0,0612		3,79
3D-15-2	25377	11503,6224	1999,1	4194	0,0447	3,38	3,38
3D-15-3	31071	13294,0451	3146,1	4355,9	0,0595	4,14	4,14
PROMEDIO 3D	**28282**				**0,0551**		**3,77**
4D-15-1	20511	16161	2078,4	3284,5	0,0436	2,73	2,73
4D-15-3	23295	10662	1113,9	4425,1	0,0487	3,11	3,11
PROMEDIO 4D	**21903**				**0,0462**		**2,92**
5D-15-1	23035	11997,56	1562,3	3164,1	0,0385	3,07	3,07
5D-15-2	21347	11799	904,6	3277	0,0522	2,85	2,85
5D-15-3	29062	15379	249,9	8014,4	0,0610	1,29	3,87
PROMEDIO 5D	**24481**				**0,0506**		**3,26**

Tabla 8.2.- *Tabla datos iniciales para especímenes ensayados misma dosificación 20 kg/m3, en fibras 3D, 4D y 5D.*

Viga	Fuerza Máxima (N)	Promedio de Fuerza (N)	Tiempo ensayo (Seg)	Desplazamiento Máximo (µm)	Desplazamiento al esfuerzo máximo (mm)	Mpa máximo	Esfuerzo 1° máximo (Mpa)
3D-20-4	44498	11433,85	157	4026,5	0,0048	28,48	5,933
3D-20-6	34760	19606,83	1634,8	6578,4	0,3028	22,25	4,635
3D-20-7	34448	16231,66	1393,5	6898,6	0,0809	22,05	4,593
Promedio 3D	**37902**				**0,1295**		**5,054**
4D-20-5	34164	20920,26	1215,2	6848,2	0,0466	4,56	4,555
4D-20-6	30698	20077,099	346,2	5636,8	0,0834	1,36	4,093
Promedio 4D	**32431**				**0,065**		**4,324**
5D-20-01	23114	16328,062	1058,6	6047,1	0,0688	1,03	3,082
5D-20-02*	23535	17082,936	1073,8	8064,5	0,0517	1,05	3,138
5D-20-04	25080	15832	774,6	7773,1	0,0571	1,11	3,344
5D-20-05*	19540	14261,161	1371,5	6550,3	0,0552	0,96	2,605
5D-20-06	17410	15094,395	1274,5	7496,1	1,5299	0,77	2,321
5D-20-07	25466	14593,159	676,7	4526,3	0,0301	1,13	3,395
5D-20-08	26724	14513,799	222,4	4528,2	0,0529	1,19	3,563
5D-20-10	24058	16009,355	806,5	5984,2	0,0777	1,07	3,208
Promedio 5D	**23116**				**0,240425**		**3,082**

Tabla 8.3.- *Tabla datos iniciales para especímenes ensayados misma dosificación 25 kg/m3, en fibras 3D, 4D y 5D.*

Viga	Fuerza Máxima (N)	Promedio de Fuerza (N)	Tiempo ensayo (Seg)	Desplazamiento Máximo (µm)	Desplazamiento al esfuerzo máximo (mm)	Mpa máximo	Esfuerzo 1° máximo (Mpa)
3D-25-4	27575	19600,00	907,0	5013,60	0,0439	0,95	3,68
3D-25-6	32002	16744,00	338,0	4545,00	0,0829	1,42	4,27
3D-25-9	36461	26262,00	777,3	5000,30	0,1282	23,34	4,86
3D-25-10	39348	10810,00	45,8	5363,80	0,0793	25,18	5,25
PROMEDIO 3D	**33847**				**0,0836**		**4,51**
4D-25-3	17915	13239,00	956,4	7274,00	0,1752	0,80	2,39
4D-25-4	18160	11303,00	1790	6799,40	0,0594	0,81	2,42
4D-25-5	20794	12591,00	1846,4	6945,80	0,0695	0,92	2,77
4D-25-7	18751	12516,00	1069,9	5989,80	0,0616	0,83	2,50
4D-25-8	25249	12178,00	330,5	7999,90	0,0662	1,12	3,37
4D-25-9	27209	13414,00	847,8	6546,40	0,0545	1,21	3,63
4D-25-10	28016	15443,00	256,8	6690,20	0,0606	1,25	3,74
PROMEDIO 4D	**22299**				**0,0781**		**2,97**
5D-25-2	21766	16476,00	1634,6	6063,70	0,0519	2,90	2,90
5D-25-5	26316	17403,00	1745,8	7609,10	0,0581	3,51	3,51
5D-25-6	21116	14010,00	1223,5	6586,50	0,0318	2,82	2,82
5D-25-7	20096	12978,00	1703,8	6743,00	0,0521	2,68	2,68
5D-25-8	25844	18338,00	1477,5	7837,50	0,0841	16,54	3,45
5D-25-9	20752	13296,00	1935,7	6272,30	0,0631	13,28	2,77
5D-25-10	24125	18508,00	1754,4	4695,20	0,0539	15,44	3,22
PROMEDIO 5D	**22859**				**0,0564**		**3,048**

8.2. - Referencias y Bibliografía.

8.2.1. - *Bibliografía.*

- International Journal of Recent Development in Engineering and Technology (Volume 2, Issue 5, May 2014).
- CIP 16 of National Ready Mixed Concrete Association.
- Concrete.- Hormigón reforzado con fibras SIKA.
- M.C. Nataraja "Fiber Reinforced Concrete- Behavior Properties and application" http://elearning.vtu.ac.in/12/enotes/Adv_Conc_Stru/Unit6-MCN.pdf
- EHE: 2008 Introducción al hormigón estructural.
- DBV: 2001 Guide to good practice Steel fiber concrete.
- ACI (1996). State of art Report on Fiber Reinforced Concrete, ACI 544.IR-96. ACI Fannington Hilis, MI.
- ASTM International (2010), C 1609 Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading).
- ASTM C-1116: Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete.
- ASTM A820 / A820M – 11 Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete.
- ASTM C1609M-12 Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)

- CORDOVA CLAUDIA Y CUELLAR LISETH Y GUIZADO MAYRA FLEXION FIBRAS ACERO WIRAND, Tesis para optar al título Ing. Civil PUC Perú.
- Sansana Gabriela. CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO TIPO 3D, 4D Y 5D USANDO EL ENSAYO BARCELONA GENERALIZADO. Memoria para optar al título de constructor civil. Valparaíso Noviembre 2014.

- Catálogo de productos Bekaert, Fibras de acero Dramix para refuerzos de hormigón.
- JSCE (1984) , SF – 4, Method of Test for Flexural Strenght and flexural Toughness of Fiber Reinforced Concret, JCI Standard SF – 4, Japan Society of Civil Engineers, Tokyo, Japón, pp45 – 51.

8.2.2.- *Normas utilizadas para Áridos, Morteros y Hormigones.*

- Determinación de la Granulometría de las arenas y las gravas, según NCh 165 Of. 77.
- Determinación de las densidades aparentes, según NCh 1116 Of. 77.
- Determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las gravas, según NCh 1117 Of. 77.
- Determinación de las densidades real y neta, y la absorción de agua de la arena, según NCh 1239 Of. 77.
- Instituto Nacional De Normalización. NCh 170 of. 1985. Hormigón – Requisitos Generales NCh 1018 of. 1977.
- Hormigón – Preparación de mezclas de prueba en laboratorio.