



**Universidad  
de Valparaíso**  
CHILE

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**

**“Análisis comparativo de la resistencia al impacto de  
hormigones fabricados con diferentes tipos de fibras  
y efectos colaterales en docilidad y propiedades  
mecánicas”**

Por

**Ennith Abuyeres Gómez**

Trabajo de Tesis para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la Construcción y  
al Título de Ingeniero Constructor.

**Profesor guía: Sr. Juan Egaña Ramos**

**Valparaíso, 2016**

*Dedicado a ti.  
Que a pesar de tu corta edad supiste entender  
que esto es para ambas.*

*Te amo hija.*

## Agradecimientos

*Mis agradecimientos no son sólo para los que estuvieron conmigo en este trabajo, sino para aquellos que estuvieron en todo este camino que me llevó hasta aquí, para eso debo irme en el tiempo 13 años atrás, cuando todo esto comenzó...*

*Quiero agradecer a ti y a todos mis compañeros y amigos que estuvieron conmigo de mi generación y otras posteriores.*

*Agradecer la ayuda infinita de dos personas fundamentales dentro de la escuela, Emperatriz Villanueva y Fabiola Guzmán, no sé qué habría hecho sin ustedes...*

*Dar gracias a quienes me ayudaron en este último proceso de mucho trabajo en nuestro laboratorio: Don Enrique y Don Víctor, gracias por su buena disposición y colaboración.*

*Gracias por su apoyo, ayuda y colaboración, de verdad esto no lo habría logrado sin ustedes: Valeria y Daniela Santibañez.*

*No puedo dejar de agradecer a una persona que estuvo conmigo cuando quise retomar, creyó en mí cuando ni yo misma lo hacía, por su disposición y colaboración, gracias profesor Uriel Padilla.*

*Este camino recorrido no fue fácil, cuando ya creía terminarlo pasé por una amargura muy difícil de digerir, pero en la vida todo pasa por algo... esto me llevó a conocer a la persona más noble, mi querido profesor guía, Don Juan Egaña Ramos, infinitas gracias por confiar en mí sin siquiera conocerme, por confiar en mi trabajo, por su ayuda, colaboración, entrega, preocupación y sobre todo por compartir conmigo su sabiduría.*

*A mi familia... Quiero agradecer infinitamente, por estar ahí, siempre conmigo, creyendo en mí y en mis capacidades, dándome apoyo y también retos. A ti mamá. A ti papá, los amo.*

*A ti mi vida, ya que por ti me tomé este receso de cuatro años, para poder disfrutarte y no perderme nada de ti, pues para mí no hay nada más importante, fue por ti también que decidí retomar para entregarnos un mejor futuro. Te amo con mi vida Antonia Lía Gajardo Abuyeres.*

*Agradecida de Dios, por su amor, ayuda, compañía, bendición y apoyo incondicional,*

*Más bien, una cosa hago: olvidando lo que queda atrás  
y esforzándome por alcanzar lo que está delante.*

*Filipenses 3:13*

## Índice

Índice general.....	iv
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas.....	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
Introducción.....	1

### CAPITULO I: Generalidades

<b>1.1.- Planteamiento del problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.- Objetivos.....</b>	<b>4</b>
1.2.1.- General.....	4
1.2.3.- Particulares.....	4
<b>1.3.- Hipótesis.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.- Alcances.....</b>	<b>4</b>
1.4.1.- Materiales.....	4
1.4.2.- Dosificación.....	5
1.4.3.- Ensayos.....	5
<b>1.5.- Metodología de la investigación.....</b>	<b>5</b>
1.5.1.- Revisión bibliográfica.....	5
1.5.2.- Selección de materiales.....	5
1.5.3.- Diseño de probetas.....	5
1.5.4.- Diseño de hormigón.....	5
1.5.5.- Investigación experimental.....	6
1.5.6.- Ensayos.....	6
1.5.7.- Análisis de resultados.....	6
1.5.8.- Verificación o refutación de la hipótesis.....	6
1.5.9.- Conclusiones.....	6

### CAPITULO II: Marco teórico

<b>2.1.- El Hormigón.....</b>	<b>8</b>
2.1.1.- Introducción.....	8
2.1.2.- Componentes del hormigón.....	8
2.1.2.1.- Cemento.....	8
2.1.2.2.- Agua.....	10
2.1.2.3.- Áridos.....	10
2.1.2.4.- Aditivos.....	12

2.1.2.5.- Adiciones.....	12
2.1.3.- Ciertas propiedades del hormigón en estado fresco.....	12
2.1.3.1.- Docilidad.....	13
2.1.4.- Ciertas propiedades del hormigón en estado endurecido.....	13
2.1.4.1.- Resistencia a compresión.....	14
2.1.4.2.- Resistencia al impacto.....	15
2.1.4.3.- Resistencia a la tracción indirecta.....	15
<b>2.2.- Las fibras.....</b>	<b>17</b>
2.2.1.- Introducción.....	17
2.2.1.1.- Fibras de acero.....	17
2.2.1.2.- Fibras sintéticas (poliméricas).....	18
2.2.1.3.- Fibras de polipropileno.....	19
2.2.1.4.- Fibras de nylon.....	19
2.2.1.5.- Fibras de polipropileno y acero.....	20
2.2.1.6.- Fibras de polipropileno y polietileno.....	20

**CAPITULO III: Programa experimental**

<b>3.1.- Generalidades.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.- Diseño de hormigones.....</b>	<b>21</b>
3.3.1.- Materiales.....	21
3.2.2.- Dosificación.....	21
<b>3.3.- Ensayos.....</b>	<b>22</b>
3.3.1.- Ensayos del hormigón en estado fresco.....	22
3.3.1.1.- Docilidad.....	22
3.3.2.- Ensayos del hormigón en estado endurecido.....	24
3.3.2.1.- Compresión.....	24
3.3.2.2.- Resistencia al impacto.....	25
3.3.2.3.- Tracción indirecta (tracción por hendimiento).....	27
3.3.2.4.- Base experimental.....	30

**CAPITULO IV: Desarrollo experimental**

<b>4.1.- Caracterización de los materiales.....</b>	<b>32</b>
4.1.1.- Cemento.....	32
4.1.2.- Agua.....	32
4.1.3.- Adiciones.....	32
4.1.3.1.- Tipos de fibras.....	32
4.1.4.- Áridos.....	33
4.1.5.- Moldes.....	33

4.1.6.- Tamizado y determinación de la granulometría de los áridos.....	33
4.1.6.1.- Granulometría arena.....	33
4.1.6.2.- Granulometría grava.....	35
4.1.7.- Características físicas de los áridos.....	36
4.1.7.1.- Densidades de la arena.....	36
4.1.7.2.- Densidades de la grava.....	36
<b>4.2.- Dosificación del hormigón.....</b>	<b>37</b>
4.2.1.- Cálculo de dosificación del hormigón.....	37
4.2.2.- Dosis de fibras.....	39
4.2.3.- Fabricación del hormigón.....	39
4.2.4.- Preparación de probetas.....	40
4.2.4.1.- Probetas de ensayo a compresión.....	40
4.2.4.2.- Probetas de ensayo a tracción indirecta (hendumiento).....	40
4.2.4.3.- Probetas de ensayo a resistencia al impacto.....	41
<b>CAPITULO V: Presentación y análisis de resultados</b>	
<b>5.1.- Asentamiento de cono.....</b>	<b>42</b>
5.1.1.- Fibra de nylon.....	42
5.1.2.- Fibra de polipropileno reciclado.....	42
5.1.3.- Fibra de acero.....	43
5.1.4.- Fibra de polipropileno/polietileno.....	43
<b>5.2.- Análisis de resultados asentamiento de cono.....</b>	<b>47</b>
5.2.1.- Fibra de nylon.....	47
5.2.2.- Fibra de polipropileno reciclado.....	47
5.2.3.- Fibra de acero.....	47
5.2.4.- Fibra de polipropileno/polietileno.....	47
<b>5.3.- Resistencia a compresión.....</b>	<b>48</b>
5.3.1.- Hormigón patrón.....	48
5.3.2.- Fibra de nylon.....	48
5.3.3.- Fibra de polipropileno reciclado .....	48
5.3.4.- Fibra de acero.....	49
5.3.5.- Fibra de polipropileno/polietileno.....	49
<b>5.4.- Análisis de resultados resistencia a compresión.....</b>	<b>33</b>
5.4.1.- Fibra de nylon.....	52
5.4.2.- Fibra de polipropileno reciclado.....	52
5.4.3.- Fibra de acero.....	52
5.4.4.- Fibra de polipropileno/polietileno.....	52

<b>5.5.- Resistencia a tracción indirecta (hendimiento)</b> .....	<b>53</b>
5.5.1.- Hormigón patrón.....	53
5.5.2.- Fibra de nylon.....	53
5.5.3.- Fibra de polipropileno reciclado.....	53
5.5.4.- Fibra de acero.....	54
5.5.5.- Fibra de polipropileno/polietileno.....	54
<b>5.6.- Análisis de resultados resistencia a tracción indirecta</b> .....	<b>58</b>
5.6.1.- Fibra de nylon.....	58
5.6.2.- Fibra de polipropileno reciclado.....	58
5.6.3.- Fibra de acero.....	58
5.6.4.- Fibra de polipropileno/polietileno.....	58
<b>5.7.- Resistencia al impacto</b> .....	<b>59</b>
5.7.1.- Hormigón patrón.....	59
5.7.2.- Fibra de nylon.....	59
5.7.3.- Fibra de polipropileno reciclado.....	59
5.7.4.- Fibra de acero.....	60
5.7.5.- Fibra de polipropileno/polietileno.....	60
<b>5.8.- Análisis de resultados resistencia al impacto</b> .....	<b>64</b>
5.8.1.- Fibra de nylon.....	64
5.8.2.- Fibra de polipropileno reciclado.....	64
5.8.3.- Fibra de acero.....	64
5.8.4.- Fibra de polipropileno/polietileno.....	64
 <b>CAPITULO VI: Conclusiones</b> .....	 <b>65</b>
 <b>Referencias</b> .....	 <b>66</b>
<b>Páginas web</b> .....	<b>67</b>
<b>Anexo n°1</b> .....	<b>68</b>
<b>Anexo n° 2</b> .....	<b>76</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 2.1.-</b> Ensayo de asentamiento de cono de Abrams.....	13
<b>Figura 2.2.-</b> Ensayo de resistencia a la compresión del hormigón.....	14
<b>Figura 2.3.-</b> Ensayo de resistencia al impacto del hormigón (caída de la bola).....	15
<b>Figura 2.4.-</b> Ensayo de tracción indirecta del hormigón.....	16
<b>Figura 2.5.-</b> Principales tipos de fibras de acero.....	17
<b>Figura 2.6.-</b> Fibras sintéticas.....	18
<b>Figura 2.7.-</b> Fibras de polipropileno.....	19
<b>Figura 2.8.-</b> Fibras de nylon.....	20
<b>Figura 2.9.-</b> Fibras de polietileno.....	20
<b>Figura 3.1.-</b> Molde para determinar el asentamiento (a y b).....	23
<b>Figura 3.2.-</b> Sección de ensayo, probetas cúbicas y cilíndricas.....	24
<b>Figura 3.3.-</b> Altura de probeta, cúbica y cilíndrica.....	24
<b>Figura 3.4.-</b> Probeta de ensayo de resistencia al impacto.....	26
<b>Figura 3.5.-</b> Equipo de ensayo de resistencia al impacto.....	26
<b>Figura 3.6.-</b> Dispositivo de trazado ensayo de tracción por hendimiento.....	28
<b>Figura 3.7.-</b> Dispositivo de alineación ensayo de tracción por hendimiento.....	29
<b>Figura 4.1.-</b> Gráfico de la granulometría arena promedio.....	34
<b>Figura 4.2.-</b> Gráfico de la granulometría grava promedio.....	36
<b>Figura 5.1.-</b> Valores promedios de asentamiento de cono.....	44
<b>Figura 5.2.-</b> Valores relativos de los promedios de asentamiento de cono.....	45
<b>Figura 5.3.-</b> Fotografías de ensayo asentamiento de cono.....	46
<b>Figura 5.4.-</b> Valores promedios de resistencia a compresión.....	50
<b>Figura 5.5.-</b> Valores promedios relativos de resistencia a compresión.....	50
<b>Figura 5.6.-</b> Fotografías de ensayo de resistencia a compresión.....	51
<b>Figura 5.7.-</b> Valores promedios de resistencia a tracción indirecta.....	55
<b>Figura 5.8.-</b> Valores promedios relativos de resistencia a tracción indirecta.....	56
<b>Figura 5.9.-</b> Fotografías del ensayo de resistencia a tracción indirecta.....	56
<b>Figura 5.10.-</b> Valores promedios de resistencia al impacto.....	61
<b>Figura 5.11.-</b> Valores promedios relativos de resistencia al impacto.....	61
<b>Figura 5.12.-</b> Fotografías del ensayo de resistencia al impacto.....	62

## Índice de tablas

<b>Tabla 2.1.-</b> Clasificación de los cementos según su composición.....	9
<b>Tabla 2.2.-</b> Características especificadas para los cementos nacionales.....	9
<b>Tabla 3.1.-</b> Modelo registro de alturas, resistencia al impacto.....	27
<b>Tabla 3.2.-</b> Número de ensayos a realizar.....	30
<b>Tabla 3.3.-</b> Tabla resumen de ensayos.....	30
<b>Tabla 3.4.-</b> Volumen de hormigón por colada.....	31
<b>Tabla 4.1.-</b> Granulometría arena, muestra promedio.....	34
<b>Tabla 4.2.-</b> Granulometría grava, muestra promedio.....	35
<b>Tabla 4.3.-</b> Características físicas de la arena.....	36
<b>Tabla 4.4.-</b> Características físicas de la grava.....	37
<b>Tabla 4.5.-</b> Dosificación del hormigón.....	38
<b>Tabla 4.6.-</b> Dosis de fibra de nylon.....	39
<b>Tabla 4.7.-</b> Dosis de fibra de polipropileno reciclado.....	39
<b>Tabla 4.8.-</b> Dosis de fibra de acero.....	39
<b>Tabla 4.9.-</b> Dosis de fibra de polipropileno / polietileno.....	39
<b>Tabla 5.1.-</b> Asentamiento de cono, fibra de nylon.....	42
<b>Tabla 5.2.-</b> Asentamiento de cono, fibra de polipropileno reciclado.....	42
<b>Tabla 5.3.-</b> Asentamiento de cono, fibra de acero.....	43
<b>Tabla 5.4.-</b> Asentamiento de cono, fibra de polipropileno / polietileno.....	43
<b>Tabla 5.5.-</b> Resistencia a compresión de hormigón patrón.....	48
<b>Tabla 5.6.-</b> Resistencia a compresión, fibra de nylon.....	48
<b>Tabla 5.7.-</b> Resistencia a compresión, fibra de polipropileno reciclado.....	48
<b>Tabla 5.8.-</b> Resistencia a compresión, fibra de acero.....	49
<b>Tabla 5.9.-</b> Resistencia a compresión, fibra de polipropileno / polietileno.....	49
<b>Tabla 5.10.-</b> Resistencia a tracción indirecta, hormigón patrón.....	53
<b>Tabla 5.11.-</b> Resistencia a tracción indirecta, fibra de nylon.....	53
<b>Tabla 5.12.-</b> Resistencia a tracción indirecta, fibra de polipropileno reciclado.....	53
<b>Tabla 5.13.-</b> Resistencia a tracción indirecta, fibra de acero.....	54
<b>Tabla 5.14.-</b> Resistencia a tracción indirecta, fibra de polipropileno / polietileno.....	54
<b>Tabla 5.15.-</b> Resistencia al impacto, hormigón patrón.....	59
<b>Tabla 5.16.-</b> Resistencia al impacto, fibra de nylon.....	59
<b>Tabla 5.17.-</b> Resistencia al impacto, fibra de polipropileno reciclado.....	59
<b>Tabla 5.18.-</b> Resistencia al impacto, fibra de acero.....	60
<b>Tabla 5.19.-</b> Resistencia al impacto, fibra de polipropileno / polietileno.....	60

## Resumen

Resultados de investigaciones recientes muestran que el hormigón con fibras incorporadas (HRF) posee un comportamiento diferenciado con respecto al hormigón armado, en lo referente a la mejora de la ductilidad y resistencia al corte, lo cual genera un campo de aplicación en aquellos diseños que requieren este tipo de prestaciones, evitando colapsos frágiles y súbitos.

En el presente trabajo se pretende exponer las experiencias desarrolladas en el Laboratorio de Hormigones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Valparaíso, analizando y evaluando la influencia de la incorporación de distintas fibras en la resistencia al impacto del hormigón.

Se elaborarán probetas de hormigón con diferentes tipos y dosificaciones de fibras, para posteriormente ser sometidas principalmente a estudios de resistencia al impacto, considerando un hormigón patrón el cual no posee incorporación de fibras. También serán sometidas a ensayos para verificar efectos colaterales sobre sus resistencias mecánicas, tales como; compresión y tracción indirecta (Hendimiento), además de la docilidad.

Con el resto de las probetas se irá variando el tipo y la cantidad de fibra, partiendo por la cantidad recomendada por el fabricante, donde se utilizarán tres dosis de fibra diferente, sometiéndolas a los mismos estudios antes mencionados.

En general podemos decir que las fibras utilizadas influyen en los valores obtenidos con respecto a la resistencia al impacto, no así en sus propiedades mecánicas y en su docilidad donde los resultados no son mayormente relevantes.

## **Abstract**

Recent research results show that concrete with incorporated fibers (HRF) has a different behavior with respect to concrete, in terms of improved ductility and shear strength, which generates a field of application in those designs requiring this type of benefit, preventing brittle and sudden collapse.

In this paper we aim to expose the experiences developed in the Laboratory of concretes of the Faculty of Engineering of the University of Valparaiso, analyzing and evaluating the influence of incorporating different fibers in the impact resistance of concrete.

Concrete specimens shall be prepared with different types and dosages of fibers and then are subjected mainly to studies of impact resistance, considering a pattern which has no concrete incorporation of fibers. They will also be subjected to tests to check side effects on its mechanical resistance, such as; compression and indirect traction (Cleaving) plus docility.

With the rest of the test pieces will vary the type and amount of fiber, starting with the amount recommended by the manufacturer, where three different doses of fiber are used, subjecting the same aforementioned studies.

In general we can say that the fibers used influence the values obtained with respect to the impact resistance, but not in its mechanical properties and its docility where results are mostly not relevant.

## Introducción

El hormigón, tal y como se conoce hoy en día, es un material de construcción constituido básicamente por áridos de tamaño máximo limitado, que cumplen ciertas condiciones respecto a sus características mecánicas, químicas y granulométricas, unidas por una pasta formada por un conglomerante (cemento) y agua. A este material básico y en el momento de su amasado pueden añadirse otros productos o materiales para mejorar algunas características determinadas. El que al hormigón se le considere hoy como al rey universal de los materiales de construcción se debe a sus indiscutibles ventajas.

En primer lugar, es un material que permite conseguir piezas de cualquier forma, por complicada que esta sea, con la única limitación de la complejidad del molde y ello debido al carácter plástico que posee cuando se encuentra en estado fresco.

En segundo lugar, es un material con resistencias apreciables a la compresión y que aunque posea ciertas resistencias débiles a tracción, permite aumentarlas apreciablemente valiéndose del acero que se puede colocar en su interior en los lugares adecuados, dando lugar al hormigón armado y pretensado.

En tercer lugar, presenta la ventaja sobre otros materiales resistentes de proporcionar piezas de un gran monolitismo, incluso en los nudos, haciendo que pueda prescindirse de juntas o uniones que, a veces, son zonas débiles.

Los pavimentos industriales de hormigón, suelen estar sometidos a solicitaciones de impacto, que tienden a deteriorarlos disminuyendo su vida útil tal como ocurre en maestranzas, naves de fundiciones, plantas de refinación de metales, pisos de galerías subterráneas, tolvas de recepción de minerales, entre otros. En estos casos no sólo se requiere hormigones de resistencia elevada, sino que se persigue que esos hormigones sean también resistentes al impacto. En esa búsqueda se han desarrollado una serie de técnicas, tales como el endurecimiento de las superficies mediante técnicas de acabado especiales, el empleo de productos endurecedores superficiales y el empleo de microreforzamiento del hormigón mediante fibras.

Investigaciones y desarrollos experimentales de las dos últimas décadas llevados a cabo con Hormigón Reforzado con Fibras, HRF, muestran que la incorporación de fibras al hormigón, en dosis adecuadas, proporciona modificaciones en el comportamiento a nivel material y en la respuesta estructural. Al respecto, la incorporación de fibras al hormigón incrementa la capacidad de absorción de energía permitiendo un comportamiento más dúctil hasta la carga última. Esto resulta de interés para aquellas aplicaciones donde los aspectos de durabilidad y seguridad de las estructuras durante la vida útil de las estructuras requieren especial atención del diseñador quien, fundamentalmente, deberá atender el modo de falla de sus diseños en pos de evitar colapsos frágiles mediante un adecuado incremento de ductilidad, tenacidad y control de fisuración. Las fibras como componente del hormigón tienen por objeto el mejoramiento de algunas propiedades, tanto en estado fresco como endurecido. Los factores principales que controlan el desempeño del material compuesto son: propiedades físicas de las fibras y de la matriz; adherencia entre las fibras y la matriz. Además la dosis de adición óptima para el mejoramiento del comportamiento estructural depende de la calidad del hormigón. (Lujan N; Peralta M; s/a)

La evaluación del HRF en el nivel material ha demostrado que la trabajabilidad se ve afectada por la incorporación de las fibras lo cual limita su dosificación de acuerdo al tipo de hormigón que se diseñe. (Lujan N; Peralta M; s/a)

Desde el punto de vista estructural la presencia de fibras retarda y reduce la fisuración en un elemento de hormigón, lo que incrementa la ductilidad y tenacidad del material, de importancia en la evaluación del análisis al límite o modo de falla de los elementos. (Lujan N; Peralta M; s/a)

Por este motivo, en este trabajo se pretende determinar la influencia o el efecto que tiene la incorporación de diferentes dosis y tipos de fibras en el hormigón y así conocer las capacidades que poseen para aumentar la resistencia al impacto del hormigón o por el contrario reducirla.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1.- Planteamiento del problema

El hormigón es un material de construcción que presenta variabilidad debido a cambios en los procesos de confección y de muestreo propiamente tal.

Por resistencia mecánica se entiende la capacidad de un material de resistir tensiones ya sean de compresión, tracción, flexión o combinaciones de ellas. Sin duda que estas capacidades del material, definen su aptitud para ser utilizado en distintas aplicaciones estructurales. Otras características del hormigón son su impermeabilidad y densidad, éstas tienen relación directa con la resistencia mecánica, además de la durabilidad.

En general, y en el hormigón en particular, medir la capacidad o resistencia a la compresión es relativamente sencillo comparado con las mediciones de tracción o flexión. Por lo anterior, se utiliza la resistencia a compresión del hormigón como medida de su calidad general, en el sentido que, a mayor resistencia mayor densidad, mayor impermeabilidad y mayor durabilidad en general.

La resistencia es una de las propiedades más importantes del hormigón, principalmente cuando se le utiliza con fines estructurales. El hormigón, en su calidad de constituyente de un elemento estructural, queda sometido a las tensiones derivadas de las sollicitaciones que actúan sobre éste. Si sobrepasan su capacidad resistente se producirán fracturas, primero de origen local y posteriormente generalizadas, que podrán afectar la seguridad de la estructura.

Por este motivo, los elementos estructurales deben ser dimensionados de manera que las tensiones producidas no sobrepasen la capacidad resistente del material constituyente, lo cual muestra la importancia de conocer esta característica.

Si bien el empleo de fibras para reforzar el hormigón es una técnica conocida desde hace muchos años, los tipos y calidades de fibras han evolucionado significativamente y actualmente se cuenta con diversas variedades, de diferentes características: de acero, sintéticas de nilón, polipropileno, carbono y otros plásticos; varían en diámetros, longitud, formas, etc. Obviamente, diferentes fibras determinan diferentes comportamientos. Es por ello que se ha considerado interesante realizar una comparación experimental de algunos tipos de fibra seleccionados de entre los existentes en nuestro mercado nacional, empleándolos en un hormigón del mismo tipo, para evaluar sus comportamientos al ser ensayados al impacto, ya que gracias a su favorable proporción de dimensión (largo/diámetro), las fibras se disponen de manera eficaz en la mezcla, contribuyendo de modo esencial al aumento de la resistencia y la disminución de poros que se forman en el hormigón.

## 1.2.- Objetivos

### 1.2.1.- General

Analizar comparativamente el comportamiento de hormigones elaborados con diferentes tipos de fibras en cuanto a resistencia al impacto.

### 1.2.3.- Particulares

Determinar comparativamente el efecto de diferentes tipos de fibras incorporadas al hormigón sobre las siguientes propiedades:

- ◇ Docilidad (asentamiento) y eventual variación en la demanda de agua de amasado.
- ◇ Resistencia al impacto.
- ◇ Efecto colateral sobre las resistencias mecánicas de tracción y compresión.

## 1.3.- Hipótesis

Diferentes tipos de fibras y dosis incorporadas al hormigón, determinan diferentes resistencias al impacto, influyendo también en su docilidad y resistencias mecánicas.

## 1.4.- Alcances

La siguiente investigación tiene como finalidad continuar con el estudio de la Ingeniero Carolina Flores Mesías, que consiste en incorporar fibras al hormigón para el estudio posterior a la resistencia al impacto.

El desarrollo de esta investigación incluye una serie de ensayos, los cuales se realizarán en el laboratorio de la Universidad de Valparaíso.

### 1.4.1.- Materiales

Durante el desarrollo de esta investigación se mantendrán constantes los siguientes materiales:

- ◇ El Tipo de cemento será portland puzolánico grado corriente.
- ◇ La procedencia y granulometría de los áridos seleccionados.
- ◇ Grava Dn 20 mm.

Durante el desarrollo de esta investigación variarán los siguientes materiales:

- ◇ El tipo de fibra.
- ◇ La dosificación de las diferentes fibras.

### **1.4.2.- Dosificación**

- ◇ Hormigón base, dosis de cemento 340 kg/m<sup>3</sup>.
- ◇ Asentamiento base, cm  $8 \pm 2$ .
- ◇ Tres dosis diferentes para cada tipo de fibra (acero, polipropileno, nylon, polipropileno-polietileno), considerando la recomendación del fabricante.

### **1.4.3.- Ensayos**

- ◇ Resistencia al impacto a 28 días.
- ◇ Asentamiento.
- ◇ Resistencia a la tracción indirecta a 28 días.
- ◇ Resistencia a compresión a 28 días.

## **1.5.- Metodología de la investigación**

El esquema que se muestra a continuación señala la metodología que se empleará en el desarrollo de la investigación.

### **1.5.1.- Revisión bibliográfica**

Se realizará una revisión bibliográfica, con la finalidad de confeccionar un adecuado marco teórico, obteniendo la mayor cantidad de información en lo que respecta a la elaboración, dosificación y ensayos necesarios para la óptima realización de este estudio, además conocer estudios y conclusiones anteriores de otros autores frente a algún tema relacionado con el de este estudio. Por otro lado es importante describir e planteamiento del problema, ya que es lo que motivo este estudio. Las normas a utilizar para los ensayos, la confección de las probetas de hormigón y el hormigón a utilizar, también son parte fundamental de la investigación.

### **1.5.2.- Selección de materiales**

En este punto se realizará la selección de todo el material a utilizar, ya sea para la confección del hormigón patrón tales como, cemento, agua, áridos y adiciones, al igual que el material de las probetas con contenido de fibras y el tipo de fibras a utilizar.

### **1.5.3.- Diseño de probetas**

Se definirá el diseño de las diferentes probetas a utilizar, ya sean cúbicas, cilíndricas o según sea el requerimiento para los diferentes ensayos a realizar.

### **1.5.4.- Diseño de hormigón**

En esta etapa se definirá el diseño del hormigón, para posteriormente realizar el hormigón de estudio y el hormigón patrón.

### **1.5.5.- Investigación experimental**

Aquí se pretende dar comienzo al desarrollo experimental de la investigación, definiendo todo lo que se necesitará para la realización de los ensayos; tales como: granulometrías dosificaciones, amasadas, confección de probetas etc.

### **1.5.6.- Ensayos**

Esta etapa está definida para el desarrollo de los ensayos de todas las probetas realizadas. Los ensayos que se realizarán serán resistencia al impacto, asentamiento, resistencia a la tracción indirecta y resistencia a la compresión a los 28 días, el resto de los ensayos serán definidos en el proceso de la investigación, en el caso que fuese necesario o se estimara conveniente.

### **1.5.7.- Análisis de resultados**

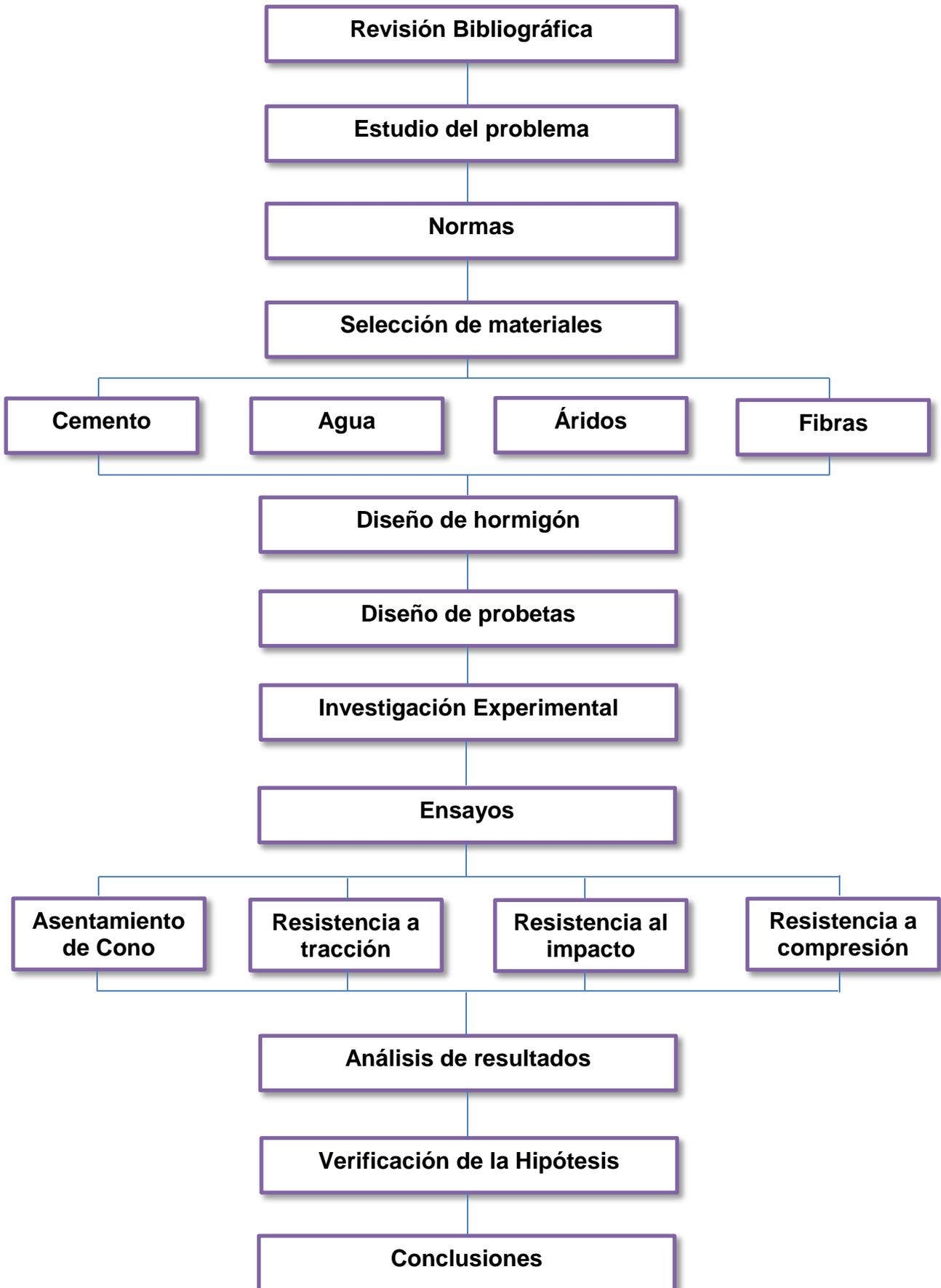
Etapa fundamental dentro de la investigación, ya que será en esta sección donde se confirmará si el estudio fue realizado correctamente, siendo ésta la etapa que da paso a la verificación o en caso contrario, a la refutación de la hipótesis planteada.

### **1.5.8.- Verificación o refutación de la hipótesis**

Teniendo ya todos los datos necesarios tomados, las experiencias realizadas, los ensayos requeridos ejecutados y hechos todos los análisis correspondientes, se logrará definir si la hipótesis planteada se cumple de esta forma, o de lo contrario, no da cumplimiento de la forma en que fue planteada.

### **1.5.9.- Conclusiones**

Esta etapa es donde se logra concluir la investigación, dando paso al resumen de todo lo conseguido, ya sea respecto a los ensayos realizados, resultados obtenidos, como a la propuesta para futuras investigaciones.



# CAPITULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1.- El Hormigón

#### 2.1.1.- Introducción

El Hormigón es un material de construcción que se constituye básicamente por rocas de tamaño máximo limitado las que cumplen ciertas condiciones respecto a sus características mecánicas, químicas y granulométricas, este material es unido por una pasta formada por un conglomerante (cemento) y agua. A este material básico, en el momento de su amasado se le pueden añadir otros productos con la finalidad de mejorar algunas de sus características. El Hormigón es uno de los materiales más utilizados en la construcción debido a sus indiscutibles ventajas. (Villarino, A; s/a)

Una de las ventajas de este material es que permite conseguir piezas de cualquier forma con la única limitación de la complejidad del molde debido al carácter plástico que posee cuando se encuentra en estado fresco, además, cuenta con resistencias apreciables a la compresión, y que a pesar de que presenta ciertas resistencias débiles a la flexión, permite aumentarlas valiéndose del acero que se puede colocar en su interior en lugares adecuados, dando lugar al hormigón amado y pretensado. Por otro lado, en comparación con otros materiales proporciona piezas de gran monolitismo, haciendo que pueda prescindirse de juntas que a veces son zonas débiles. (Villarino, A; s/a)

#### 2.1.2.- Componentes del hormigón

##### 2.1.2.1.- Cemento

El cemento se presenta en forma de un polvo finísimo, de color gris que, mezclado con agua, forma una pasta que endurece, tanto bajo agua como al aire (aglomerante hidráulico). Es obtenido mediante un proceso de fabricación que utiliza principalmente dos materias primas:

- ◇ Una caliza, con un alto contenido de cal en forma de óxidos de calcio
- ◇ Un componente rico en sílice, constituido normalmente por arcilla o eventualmente por una escoria de alto horno.

Estos componentes son mezclados en proporciones adecuadas y sometidos a un proceso de fusión incipiente en un horno rotatorio, del cual se obtiene un material granular denominado clínquer, constituido por 4 compuestos básicos:

- ◇ Silicato Tricálcico.
- ◇ Silicato bicálcico.
- ◇ Aluminato tricálcico.
- ◇ Ferroaluminato tetracálcico.

El clínquer es sometido a molienda mediante molinos de bolas hasta convertirlo en el polvo finísimo ya mencionado, adicionándose en esta etapa una proporción de yeso hasta un 5 % de su peso, destinado a regular el proceso de fraguado de la pasta de cemento, la que de otra manera endurecería en forma casi instantánea. El cemento así obtenido se denomina cemento Pórtland.

Durante la molienda se puede adicionar otros productos naturales o artificiales, constituyendo así los Cementos Pórtland con adiciones o Especiales, los que, junto con mantener las propiedades típicas del Pórtland puro (fraguado y resistencia), poseen además, otras cualidades especialmente relacionadas con la durabilidad, resistencia química y otras.

Entre las adiciones más conocidas y utilizadas están las puzolanas, las cenizas volantes y las escorias básicas granuladas de alto horno.

La Norma NCh 148 Of68 clasifica a los cementos nacionales según su composición y resistencia en la forma que se indica en las tablas siguientes:

**Tabla 2.1.-** Clasificación de los cementos según su composición.

Denominación	Proporción de los componentes		
	Clinquer	Puzolana	Escoria
<b>Pórtland</b>	<b>100%</b>	-	-
<b>Pórtland Puzolánico</b> <b>Pórtland Siderúrgico</b>	$\geq 70\%$ $\geq 70\%$	$\leq 30\%$ -	- $\leq 30\%$
<b>Puzolánico</b> <b>Siderúrgico</b>	<b>50 – 70%</b> <b>25 – 70%</b>	<b>30 – 50%</b>	- <b>30 – 75%</b>

Fuente: NCh 148 Of68.

**Tabla 2.2.-** Características especificadas para los cementos nacionales.

Grado	Tiempo de Fraguado		Resistencia Mínima			
			Compresión		Tracción	
	Inicial (mín)	Final (máx)	7 días Kg/cm <sup>2</sup>	28 días Kg/cm <sup>2</sup>	7 días Kg/cm <sup>2</sup>	28 días Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Corriente</b>	<b>60 mín</b>	<b>12 h</b>	<b>180</b>	<b>250</b>	<b>35</b>	<b>45</b>
<b>Alta Resistencia</b>	<b>45 mín</b>	<b>10 h</b>	<b>250</b>	<b>350</b>	<b>45</b>	<b>55</b>

Fuente: NCh Of68.

### 2.1.2.2.- Agua

El agua se emplea en el amasado del hormigón y en el curado. El agua de amasado participa en las reacciones de hidratación del cemento y además confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra.

El agua de amasado tiene diferentes misiones dentro del hormigón, una de ellas es hidratar los componentes activos del cemento, ya que participa en las reacciones de hidratación del cemento, además de actuar como lubricante, haciendo posible que la masa fresca sea trabajable, por lo que confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra pero teniendo cuidado con el exceso de ésta pues provoca más porosidad y disminuye la resistencia. Si el agua empleada en el amasado es la justa, tendremos hormigones poco trabajables.

El agua debe estar limpia y exenta de impurezas por encima de ciertos límites. Las aguas que son aptas para la bebida, excepto algunas minerales, son aptas para el amasado del hormigón, aunque hay algunas no potables que pueden usarse en el amasado.

El agua de curado aporta la humedad necesaria durante las primeras edades de endurecimiento para compensar las pérdidas de agua por evaporación y permitir que se siga produciendo la progresiva hidratación del cemento que van dando lugar al aumento de resistencias mecánicas.

La Norma NCh 1498 Of82 establece los requisitos que debe cumplir el agua que se utilice en el amasado de morteros y hormigones, además; el agua que cumpla con esta norma puede ser utilizado en otros ámbitos, tales como el curado de morteros y hormigones o para el lavado de los áridos.

### 2.1.2.3.- Áridos

Son productos granulares inertes, de la naturaleza orgánica procedentes de las rocas y que interviene como componente del hormigón. Los áridos deben ser inertes y no modificar las características del hormigón, para lo cual no deben reaccionar con el cemento.

Aunque no toman parte en el fraguado y endurecimiento del hormigón, los áridos desempeñan un papel muy importante en las características de este material, en efecto, aproximadamente el 80 % del volumen del hormigón está ocupado por áridos, siendo el resto la pasta de cemento que rellena los huecos existentes entre ellos creando un capa que envolviendo los granulos los mantiene unidos. Los áridos cumplen en el hormigón tres funciones fundamentales:

- ◇ Disminuye las retracciones propias de la pasta de cemento. En las primeras edades de endurecimiento el hormigón sufre una disminución de volumen (retracciones) tanto mayores, cuan mayor sea la cantidad de cemento empleado, pudiendo provocar, especialmente en elementos de gran volumen, grietas y fisuras que faciliten las vías de acceso para el ataque por corrosión de las armaduras y un debilitamiento mecánico del hormigón. Los áridos que intervienen en el hormigón evitan o disminuyen esta fisuración.
- ◇ Abaratar el costo del producto por unidad de volumen al ser un material muy barato, en comparación con el cemento. Al ser de menor costo que la pasta cemento, se desprende que cuanto mayor sea el peso de los mismos, más económico será el hormigón.

- ◇ Ejercen una influencia muy positiva en las resistencias mecánicas, fluencia, abrasión, e incluso durabilidad del hormigón.

Los áridos de origen silíceo dan magníficas propiedades al hormigón. Los calizos duros también son buenos (son casi siempre de machaqueo), pero son algo menos duros y más alterables que los silíceos. Los áridos de origen eruptivo no son recomendables por los feldespatos, que se caolinizan. De éstos los más usados son los granitos, sienitas y gabros, pero sanos.

La arena es el árido de mayor responsabilidad en los hormigones. Las arenas procedentes de machaqueo son siempre buenas mientras no tengan exceso de finos. En general, las variaciones de la granulometría de las gravillas y gravas influyen poco en la resistencia de los hormigones a igualdad de relación agua/cemento; sin embargo, no ocurre igual con las variaciones en la granulometría de las arenas, pues dependiendo de la composición de éstas, las propiedades del hormigón varían de forma notable. Un exceso de finos disminuye la calidad del hormigón en todos los aspectos.

El análisis granulométrico de un árido consiste en determinar la distribución por tamaños de las partículas que lo forman, o sea, en separar al árido en diferentes fracciones de partículas del mismo tamaño, y hallar el porcentaje que entra en el árido de cada uno de ellos. El estudio de la distribución por tamaños de un árido se hace cribándolo a través de una serie de tamices normalizados.

Al realizar el análisis granulométrico se inicia el cribado por el tamiz mayor de la serie; una fracción del mismo pasará por él y otra quedará retenida, la fracción que pasa se somete a cribado por el tamiz inmediatamente inferior y así sucesivamente. La relación entre el peso retenido en cada tamiz con respecto al peso total de la muestra nos da el porcentaje retenido parcial por ese tamiz.

Los análisis granulométricos permiten determinar en qué proporciones se han de mezclar los áridos para obtener una granulometría del árido resultante que se parezca lo más posible a una curva granulométrica ideal de compacidad máxima.

Una vez realizado el tamizado de la muestra, los resultados obtenidos se representan en un gráfico (curva granulométrica) en el que ordenadas se colocan en escala decimal los porcentajes que pasan acumulados por cada tamiz y, en abscisas y en escala logarítmica (a fin de que la separación entre los distintos tamices sea la misma dado que estos están en progresión geométrica de razón 2) la abertura de los tamices.

Las curvas granulométricas además de ser muy útiles para la composición de áridos distintos, tienen la ventaja de permitir identificar rápidamente si estos tienen exceso de fracciones gruesas o finas, o la presencia de discontinuidades en la distribución por tamaños.

La Norma NCh 163 Of79 establece los requisitos que deben cumplir los áridos para morteros y hormigones, la cual se aplica a los áridos de densidad entre 2000 y 3000 kg/m<sup>3</sup> que se emplean en la elaboración de morteros y hormigones.

#### 2.1.2.4.- Aditivos

Aditivos son aquellas sustancias o productos, que incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento. Cada vez son más utilizados, debido a:

- ◇ Se perfeccionan constantemente y se han obtenido productos de total garantía.
- ◇ Permiten modificar: docilidad, exudación, segregación, fraguado, resistencias mecánicas, resistencias a acciones químicas, etc.
- ◇ Pueden reducir el coste de obra al mejorar rendimientos, puesta en obra, etc.
- ◇ Permiten reducción de cantidades de cemento, aunque esto puede tener consecuencias negativas.

Los aditivos tienen como función:

a) Función principal: Cada aditivo se caracteriza y define por producir una modificación determinada y solamente una de alguna de las propiedades del hormigón, mortero o pasta, en estado fresco o endurecido.

b) Función secundaria: Pueden modificar alguna o algunas de las propiedades o características de hormigón, mortero o pasta, independientemente de la que proporciona la función principal.

c) Efecto secundario: El empleo de un aditivo puede producir modificaciones inevitables de ciertas propiedades o características de los hormigones, morteros o pastas, que no se requieren como función secundaria.

La fabricación de un hormigón con aditivos debe realizarse con un control adecuado de la cantidad de aditivo incorporado, ya que un exceso importante puede tener consecuencias negativas en el hormigón resultante.

#### 2.1.2.5.- Adiciones

Son materiales que se agregan al hormigón para mejorar propiedades. En este caso fibras de diferentes tipos. La adición de fibras como refuerzo de hormigones, morteros y pasta de cemento pueden incrementar muchas de las propiedades de éstos, destacando entre ellas, la resistencia a la flexión, tenacidad, fatiga, impacto, permeabilidad y resistencia a la abrasión. (Porrero, J; 1996)

#### 2.1.3.- Ciertas propiedades del hormigón en estado fresco.

En su proceso de formación, el hormigón pasa por diversas fases. Un estudio ordenado de las propiedades del hormigón se ve obligado a distinguir entre:

- ◇ Propiedades del hormigón recién preparado (sin fraguar).
- ◇ Propiedades del hormigón fraguado (Hormigón endurecido) (Hummel, A; s/a).

Se denomina Hormigón fresco al hormigón que por poseer plasticidad tiene la facultad de poder moldearse. El hormigón fresco tiene una vida que está comprendida entre el momento en que abandona la amasadora u hormigonera y aquel en que se inicia el fraguado del cemento, siendo esta vida variable en función del tipo de cemento empleado, de la dosificación del agua, de la temperatura, del empleo de aditivos, etc. Las propiedades más características del hormigón fresco son: La consistencia, la docilidad y la homogeneidad. (Villarino, A; s/a), también lo son la segregación, exudación, sedimentación y los cambios de volumen.

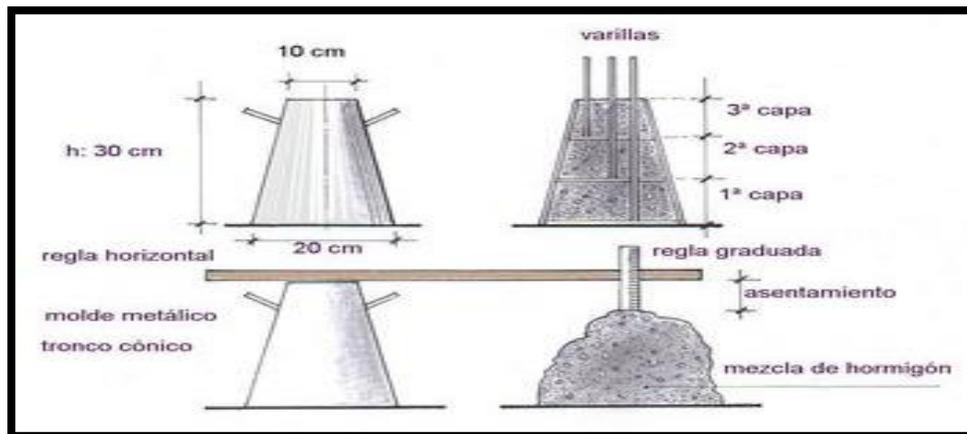
### 2.1.3.1.- Docilidad

Es la facilidad con que cantidades dadas de áridos, cemento y agua se transforman en hormigón y después de éste, es manejado, transportado, colocado en los moldes o encofrados con la mínima pérdida de homogeneidad, es decir, sin que se produzca segregación y exudación. La docilidad depende de (Villarino, A; s/a):

- ◇ Cantidad de agua de amasado (más agua, más docilidad).
- ◇ Granulometría (más arena, más docilidad).
- ◇ Tipo de árido (más redondeado, más docilidad)
- ◇ Contenido de cemento (más cemento y más fino, más docilidad)
- ◇ Plastificante (aumenta la docilidad)

La norma NCh1019 EOf74 establece el procedimiento para determinar la docilidad del hormigón fresco por el método del asentamiento del cono de Abrams, ya sea en laboratorio o en obra, el cual se describe en la figura 2.1.

**Figura 2.1.-** Ensayo de asentamiento de cono de Abrams.



Fuente: Internet, [www.construmatica.com](http://www.construmatica.com).

### 2.1.4.- Ciertas propiedades del hormigón en estado endurecido.

Las característica física o mecánica más frecuentemente medida en los hormigones es la resistencia a compresión, debido a que es muy fácil de determinar y a que muchas de sus otras propiedades están relacionadas con ella, por lo que es un índice de su comportamiento, además

de que, generalmente, el hormigón va a trabajar a compresión y, por tanto, el conocer su resistencia frente a esta sollicitación es de gran interés.

Otras características muy importantes son la densidad que va a dar una idea muy apreciable sobre su comportamiento tanto físico como químico y, la impermeabilidad que va a determinar en gran parte la resistencia que presenta frente a agresiones de tipo físico y químico, es decir, su durabilidad. (Villarino, A; s/a)

#### **2.1.4.1.- Resistencia a la compresión**

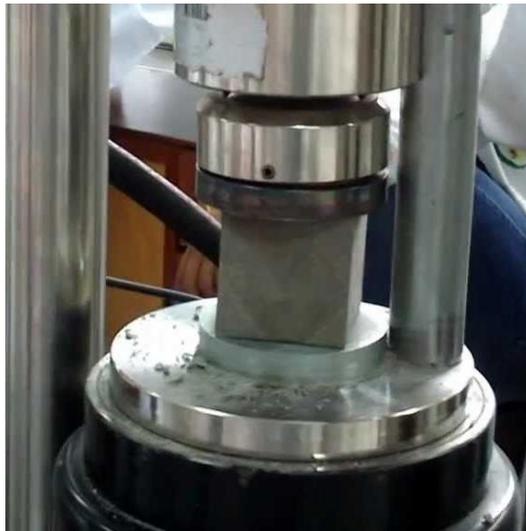
El hormigón es un material que resiste a las sollicitaciones de compresión, tracción y flexión. La resistencia que presenta frente a los esfuerzos de compresión es la más elevada de todas. La resistencia a la compresión del hormigón puede determinarse mediante ensayos destructivos o no destructivos, los más utilizados son los primeros, realizándose en probetas cúbicas o cilíndricas que se conservan en condiciones análogas a las de obra o laboratorio y se rompen a 7 (edad temprana) y 28 días.

En la resistencia influyen una serie de factores:

- ◇ Materiales empleados.
- ◇ Relación agua/cemento (es el factor que más influencia tiene en la resistencia de un hormigón).
- ◇ Tamaño máximo del árido.
- ◇ Forma y dimensiones de la probeta.
- ◇ Edad del hormigón (28 días es la edad que se toma para el cálculo estructural).

La norma NCh 1037 Of77 establece el método para efectuar el ensayo a la rotura por compresión de probetas cúbicas y cilíndricas de hormigón, la cual se aplica al ensayo de probetas obtenidas según NCh 1017 Of75 ó NCh 1171 Of2011

**Figura 2.2.-** Ensayo de resistencia a la compresión del hormigón.



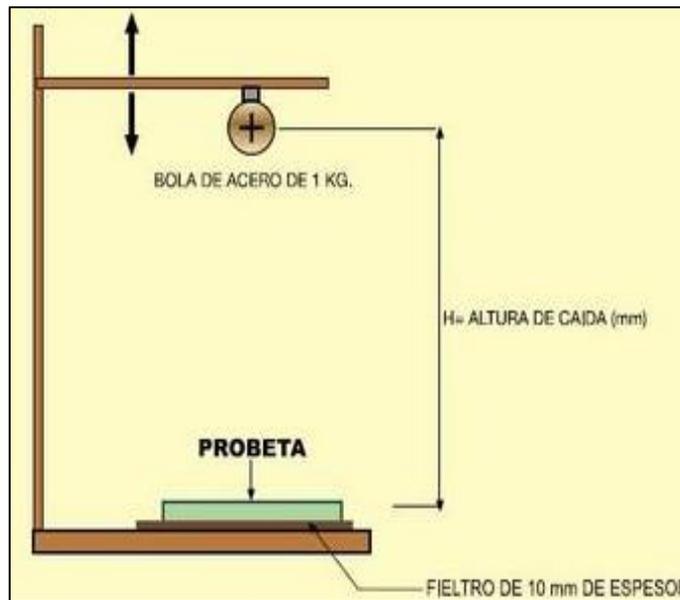
Fuente: Internet, [www.youtube.com](http://www.youtube.com).

### 2.1.4.2.- Resistencia al impacto

La resistencia al impacto describe la capacidad del material para absorber golpes y energía sin romperse. Los ensayos de impacto determinan, la fragilidad o capacidad de absorber cargas instantáneas, por el trabajo necesario para introducir la fractura de la probeta de un solo choque. (Flores, C; 2014)

La resistencia al impacto es la energía de rotura sobre una carga impulsiva. Normalmente se obtiene de un ensayo que incluye una tableta, simplemente apoyada en su perímetro, al centro de la cual se deja caer varias veces una esfera desde una altura estándar.

**Figura 2.3.-** Ensayo de resistencia al impacto del hormigón (caída de la bola).



Fuente: Internet, [www.construmatica.com](http://www.construmatica.com).

### 2.1.4.3.- Resistencia a la tracción indirecta

En determinadas situaciones, resulta necesario evaluar la resistencia a tracción del hormigón. Así sucede, por ejemplo, en ciertas secuencias constructivas tales como el descimbrado de estructuras de plantas sucesivas, en la comprobación de los efectos derivados de la retracción del hormigón, en la evaluación de la seguridad de las presas bóveda frente al sismo, en la comprobación de los estados límites de utilización, en pavimentos o pisos industriales, etc.

Frente a la necesidad de conocimientos apuntada, se plantean dos alternativas: a) disponer de relaciones fiables entre la resistencia a tracción y otro parámetro habitualmente más conocido, tal como la resistencia a compresión, o b) recurrir mediante ensayos a una determinación directa de la resistencia a tracción.

Es bien sabido que son numerosos los factores que afectan de manera diversa a las resistencias a tracción y compresión, por lo que, dado el nivel actual de conocimientos y los tipos de ensayo al uso, no parece que resulte posible determinar de forma precisa la resistencia a

tracción a partir de la de compresión, de donde se deduce la necesidad de desarrollar y aplicar ensayos fiables de tracción y compresión, cuyos resultados representen fielmente las correspondientes resistencias del hormigón de una estructura. Básicamente, los tipos de ensayo utilizados para determinar la resistencia a tracción del hormigón son tres: tracción directa, flexotracción y tracción indirecta por compresión diametral o ensayo brasileño.

Parece, pues, a la vista de lo hasta aquí expuesto, que sigue vigente la necesidad de desarrollar un método de ensayo distinto para la resistencia a tracción del hormigón, y en este sentido Wai F. Chen introdujo un nuevo ensayo de tracción indirecta, el de “doble punzonamiento”, en el que una probeta de 15 cm de diámetro y 15 cm de altura es comprimida axialmente a través de dos cilindros metálicos de 38,10 mm de diámetro y 25,4 mm de altura, dispuestos concéntricamente respecto de las caras superior e inferior de la probeta y alineados con el eje vertical de la misma.

La tracción por compresión o hendimiento, consiste en someter una probeta cilíndrica o cúbica a unas cargas lineales concentradas según dos generatrices (ejes longitudinales) opuestas. Al aumentar esas cargas, la rotura se produce por tracción según el plano formado por las generatrices (Silva C; 2014)

La norma NCh 1170 Of77 establece el procedimiento para efectuar el ensayo de tracción por hendimiento a la rotura de probetas cilíndricas del hormigón, la cual se puede aplicar a probetas cilíndricas confeccionadas en obra, laboratorio o extraídas del hormigón endurecido.

**Figura 2.4.-** Ensayo de tracción indirecta del hormigón.



**Fuente:** Internet, [www.scielo.cl](http://www.scielo.cl).



**Fuente:** Internet, [www.ichcapacitacion.cl](http://www.ichcapacitacion.cl).

## 2.2.- Las fibras

### 2.2.1.- Introducción

La historia registra que fue en 1874 cuando se patentó el primer hormigón reforzado con fibra, aunque es bien conocido que en épocas inmemoriales se usaron algunas de origen natural con el mismo fin.

Las fibras son los componentes resistentes en un material reforzado con ellas y definen la mayor parte de las características mecánicas del material, como la resistencia y la rigidez.

Las fibras como componente del hormigón tienen por objeto el mejoramiento de algunas propiedades, tanto en estado fresco como endurecido. Los factores principales que controlan el desempeño del material compuesto son: propiedades físicas de las fibras y de la matriz; adherencia entre las fibras y la matriz. Además la dosis de adición óptima para el mejoramiento del comportamiento estructural depende de la calidad del hormigón. (Altun, T. Haktanir, K. Ari; 2005).

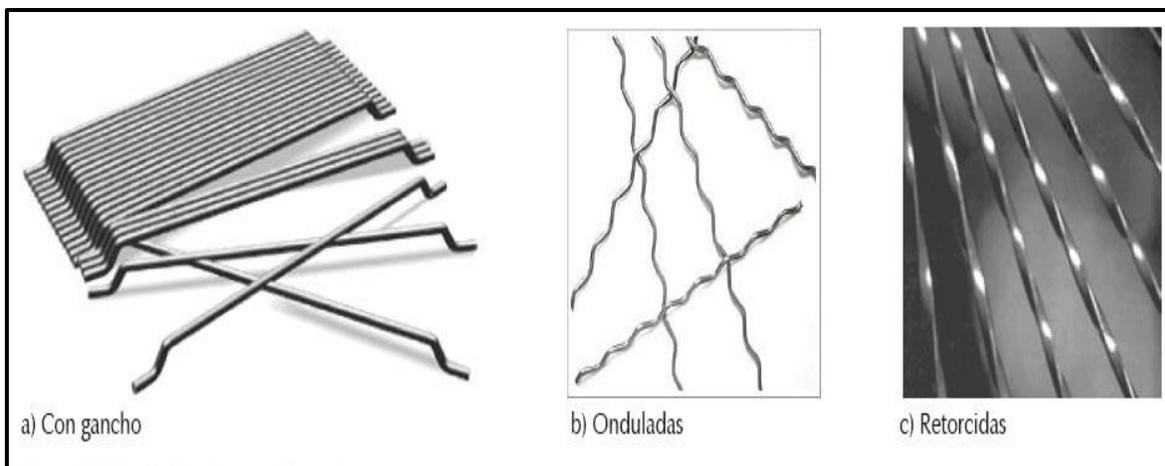
Desde el punto de vista estructural la presencia de fibras retarda y reduce la fisuración en un elemento de hormigón, lo que incrementa la ductilidad y tenacidad del material, de importancia en la evaluación del análisis al límite o modo de falla de los elementos. (Negrette Andres; s/a).

#### 2.2.1.1.- Fibras de acero

La forma de las fibras de acero es muy importante para mejorar la adherencia con el hormigón. Las fibras más delgadas permiten que la distancia entre las mismas se reduzca formando una red o trama densa que aumenta y mejora notablemente la resistencia.

Para su empleo es conveniente que tengan una longitud mínima dos veces mayor que el diámetro de mayor tamaño. Las longitudes más usadas son de 2,5 a 3 veces ese tamaño. También ha de considerarse que las fibras posean una longitud menor a  $2/3$  del diámetro del tubo de bombeo.

**Figura 2.5.-** Principales tipos de fibras de acero.



Fuente: Internet, [www.scielo.org.mx](http://www.scielo.org.mx).

### 2.2.1.2.- Fibras Sintéticas (Poliméricas)

Son aquellas obtenidas a partir de polímeros sintéticos derivados del petróleo. Las más comunes son:

- ◇ Poliéster (existen derivados retardantes de flama como el Avora y Trevira)
- ◇ Acrílico
- ◇ Polipropileno (olefínica)
- ◇ Nylon

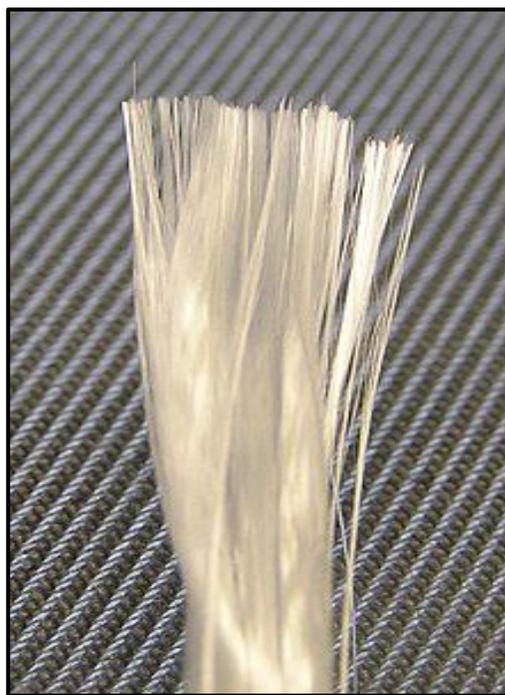
La fibra sintética es una fibra textil que se obtiene por síntesis orgánica de diversos productos derivados del petróleo. Las fibras artificiales no son sintéticas, pues proceden de materiales naturales, básicamente celulosa. Algunas veces la expresión «fibras químicas» se utiliza para referirse a las fibras artificiales y a las sintéticas en conjunto, en contraposición a fibras naturales.

Estas fibras sintéticas están formadas por diferentes materiales poliméricos extrusionados y luego cortados.

**Figura 2.6.-** Fibras Sintética.



**Fuente:** Internet, [guiamexico.com.mx](http://guiamexico.com.mx).

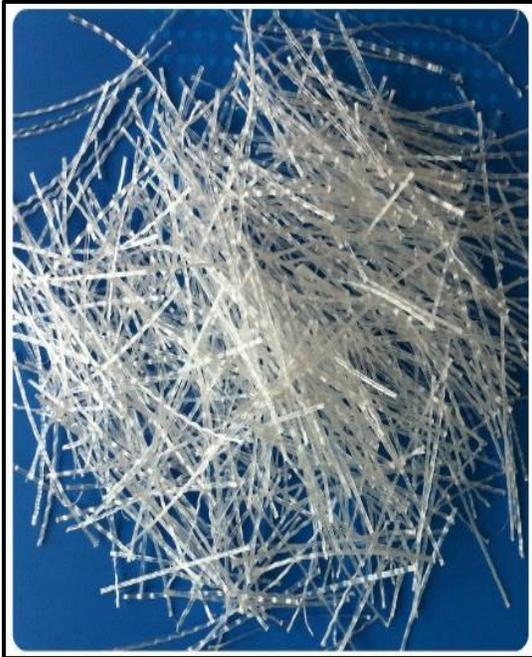


**Fuente:** Internet, [es.wikipedia.org](http://es.wikipedia.org).

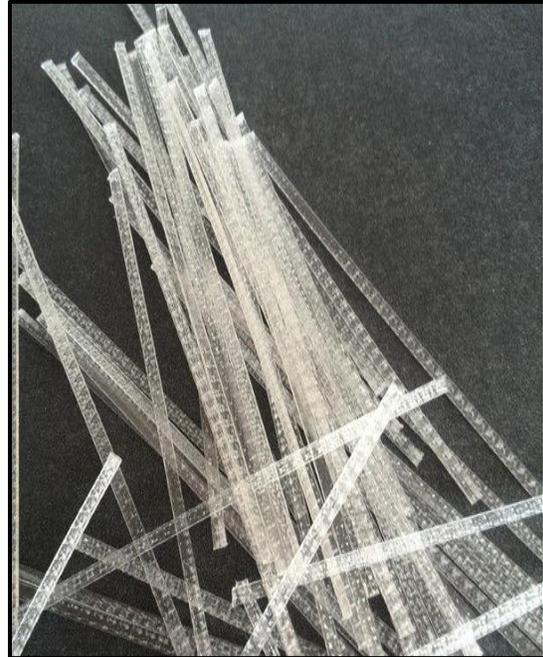
### 2.2.1.3.- Fibras de polipropileno

El Polipropileno es un termoplástico de dureza y rigidez elevada, que tiene una excelente resistencia al impacto y a los productos químicos corrosivos. Es poco resistente a las temperaturas bajas, pero muy adecuado para tuberías sometidas a altas temperaturas, como las utilizadas en calefacción. También se utiliza como material para mobiliario interior.

**Figura 2.7.-** Fibras de polipropileno.



**Fuente:** Internet, es.made-in-china.com.



**Fuente:** Internet, spanish.geotextile-fabric.com.

### 2.2.1.4.- Fibras de nylon

Es una fibra química textil sintética, obtenida a partir de derivados de productos petrolíferos y aceites, que generan un monofilamento continuo, resistente y ligero con el que se fabrican los tejidos.

Una poliamida es un tipo de polímero que contiene enlaces de tipo amida. Las poliamidas se pueden encontrar en la naturaleza, como la lana o la seda, y también ser sintéticas, como el Nylon o el Kevlar. Se designan con las siglas PA. La poliamida más conocida es el nylon, un sólido opaco, blanco, que puede presentarse de diferentes formas aunque los dos más conocidos son la rígida y la fibra. Es duro y resiste tanto al rozamiento y al desgaste como a los agentes químicos.

**Figura 2.8.-** Fibras de Nylon.



**Fuente:** Internet, [fibras-sinteticas-y-especiales.webnode.mx](http://fibras-sinteticas-y-especiales.webnode.mx).

#### **2.2.1.5.- Fibras de polipropileno y acero**

Es una fibra mixta de polipropileno y acero que reúne en un mismo producto las ventajas de la fibra de polipropileno respecto al control de la fisuración y el refuerzo estructural proporcionado por la fibra metálica en morteros y hormigones. Estas fibras están formadas por una combinación de fibras metálicas hechas de varillas de acero estiradas en frío y de fibras de polipropileno para ser adicionadas a los hormigones.

#### **2.2.1.6.- Fibras de polipropileno y polietileno**

Son fibras sintéticas estructurales mezcla de polipropileno y polietileno, monofilamento, las cuales se auto fibrilan cuando se incorporan en la mezcla de concreto

**Figura 2.9.-** Fibras de polietileno.



**Fuente:** Internet, [blogs.upm.es](http://blogs.upm.es).

## **CAPITULO III PROGRAMA EXPERIMENTAL**

### **3.1.- Generalidades**

El siguiente estudio contempla ampliar y continuar con la investigación realizada por la Ingeniero Carolina Flores Mesías, denominada “Evaluación del efecto de la incorporación de fibras híbridas, sobre la resistencia al impacto y sobre la permeabilidad del hormigón”, realizada el año 2014, en la Universidad de Valparaíso, Chile, la que consiste en adicionar diferentes tipos de fibras al hormigón y posteriormente medir la resistencia al impacto que poseen, entre otros ensayos que se estudiarán posteriormente.

Para la siguiente experiencia se considerará un hormigón patrón (sin adición de fibras), con el fin de realizar una comparación con el resto de los hormigones. Se trabajará con diversas dosificaciones de fibras, comenzando por el límite que nos impone el fabricante.

### **3.2.- Diseño de hormigones**

El hormigón a utilizar para el desarrollo de esta experiencia constará con las siguientes condiciones y materiales:

#### **3.2.1.- Materiales**

- ◇ Cemento portland puzolánico, grado corriente.
- ◇ Grava, tamaño máximo nominal Dn: 20 mm.
- ◇ Arena de río.
- ◇ Agua potable.
- ◇ Fibras de acero y sintéticas.

#### **3.2.2.- Dosificación**

- ◇ Hormigón base, dosis de cemento 340 kg/m<sup>3</sup>.
- ◇ Asentamiento base, cm 8 ± 2.
- ◇ Dosis de fibras según fabricante, 3 dosis por producto.
- ◇ Dosificación, método ldiem.

### 3.3.- Ensayos.

En el presente trabajo, se realizarán diferentes ensayos al hormigón, tanto en estado fresco como endurecido, los cuales se desarrollarán en el laboratorio de Hormigones de la Universidad de Valparaíso.

#### 3.3.1.- Ensayo del hormigón en estado fresco

##### 3.3.1.1.- Docilidad

El procedimiento del ensayo para determinar la docilidad del hormigón, se encuentra establecido en la NCh 1019 Of. 74 Hormigón – Determinación de la Docilidad – Método de asentamiento del cono de Abrams, método por el cual nos regiremos.

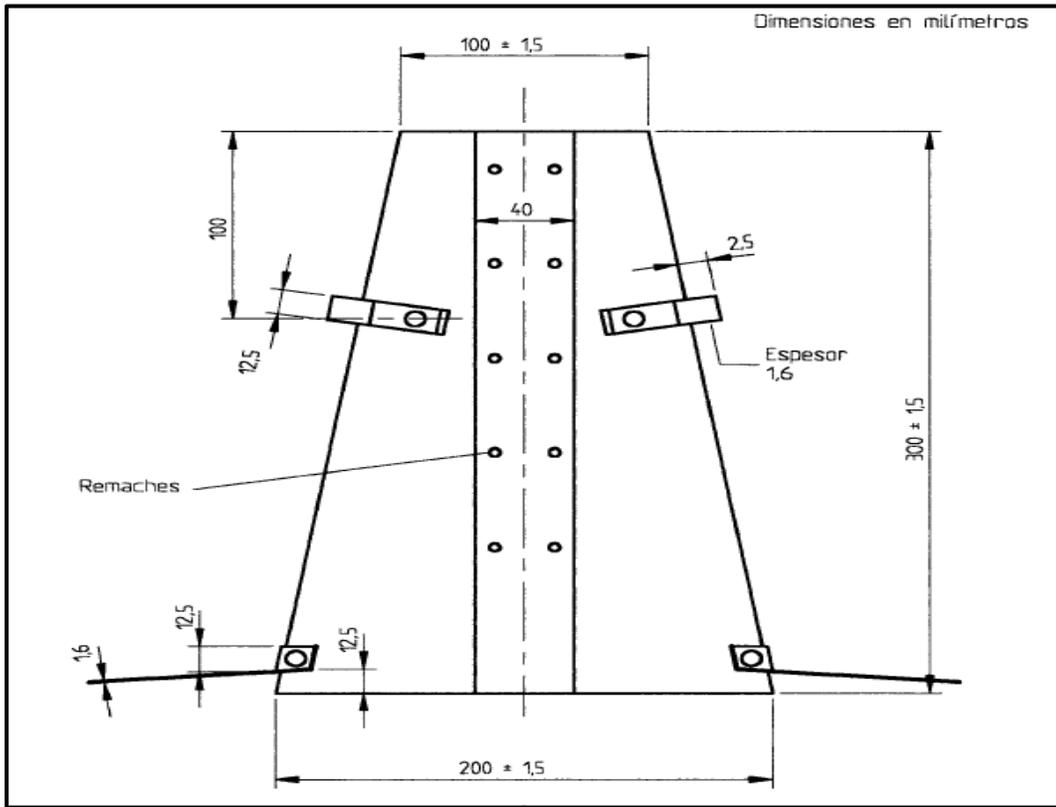
##### a) Molde

- ◇ Molde: Como lo describe la Figura 3.1
- ◇ Forma: Tronco de cono recto (Troncocónico), abierto por ambos extremos.
- ◇ Material: Metálico.
- ◇ Dimensiones: Base Superior de 100 mm de diámetro  $\pm 1,5$  mm  
Base inferior de 200 mm de diámetro  $\pm 1,5$  mm  
Altura de 300 mm  $\pm 1,5$  mm
- ◇ Pisaderas: Dos en el extremo inferior del molde.
- ◇ Asas: Dos en el tercio superior del molde.
- ◇ Varilla – Pisón: Barra cilíndrica de acero lisa de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud
- ◇ Plancha de apoyo: Rígida, no absorbente (por lo menos de 400 mm x 600 mm).
- ◇ Poruña de llenado: Metálica.
- ◇ Huincha de medir

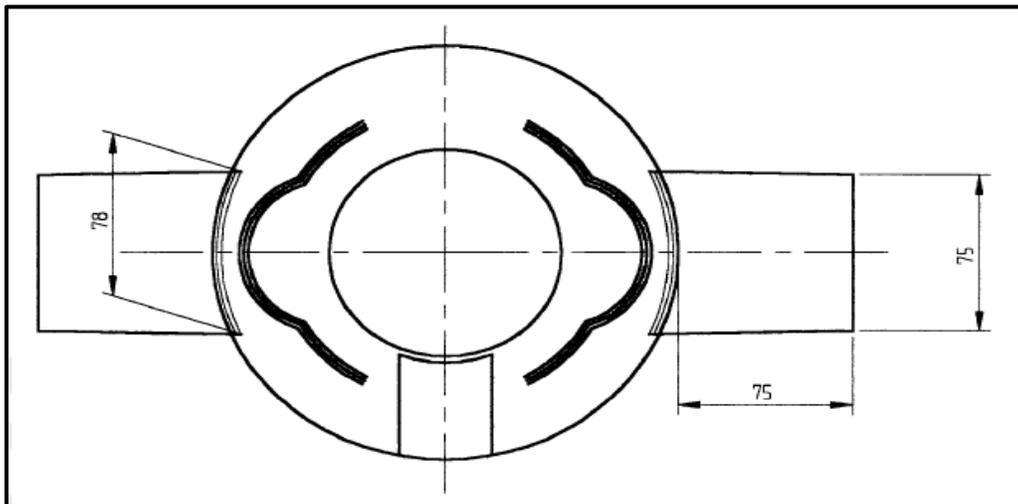
##### b) Llenado del molde

- ◇ Capas de llenado: Tres, de igual volumen.
- ◇ Apisonado: Cada capa con 25 golpes
- ◇ Enrase: Hacer rotar la varilla-pisón
- ◇ Limpieza: Limpiar el hormigón derramado.
- ◇ Levantamiento del molde: Después de llenado el molde, en un lapso de 5 a 10 s.
- ◇ Medición del asentamiento: Medir inmediatamente la disminución de altura en el eje central del molde en su posición primitiva.

**Figura 3.1.-** Molde para determinar el asentamiento (a y b).



**a.-** Vista de frente.



**b.-** Vista desde arriba.

**Fuente:** Nch 1019. EOf74.

### 3.3.2.- Ensayos del hormigón en estado endurecido

#### 3.3.2.1.- Compresión

El procedimiento del ensayo para determinar la compresión del hormigón, se encuentra establecido en la NCh 1037, Of. 77 Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas, por el cual nos regiremos.

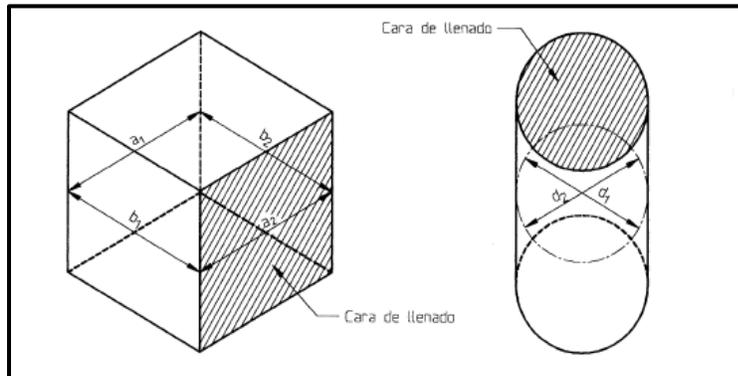
◇ Probetas

- a) Probetas cúbicas.
- b) Probetas cilíndricas.

◇ Ensayo

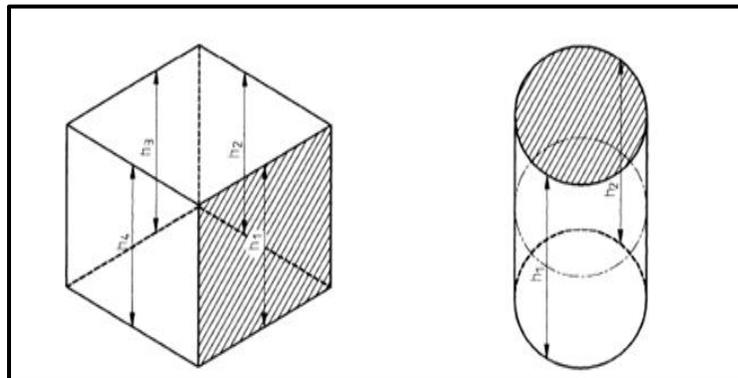
- a) Preparar las probetas a ensayar.
- b) Aplicar las cargas en forma continua, con una velocidad uniforme.
- c) Registrar la carga máxima.

**Figura 3.2.-** Sección de ensayo, probetas cúbicas y cilíndricas.



Fuente: Nch 1037 Of77.

**Figura 3.3.-** Altura de probeta, cúbica y cilíndrica



Fuente: Nch 1037 OF77.

### 3.3.2.2.- Resistencia al impacto

La resistencia al impacto describe la capacidad del material de absorber golpes y energía sin romperse.

La determinación de la resistencia al impacto del hormigón se establece en el ensayo realizado en el Laboratorio de Hormigones de la Universidad de Valparaíso. Este ensayo será establecido por la metodología establecida y empleada por el autor.

#### ◇ Equipo

El equipo a utilizar en este ensayo, consta de diversas partes que lo conforman, la descripción se detalla a continuación:

##### a) Base de apoyo para las probetas:

- Materialidad: Madera.
- Dimensiones: 30 cm x 30 cm x 5 cm.
- Amortiguador: Relleno de arena, de Preferencia del tipo duna.

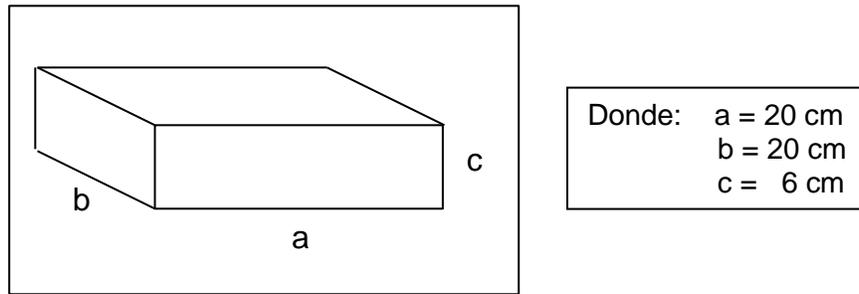
##### b) Estructura del equipo:

- Materialidad: Madera.
- Dimensiones: 1.0 m de alto.
- Medición altura de caída: Huincha metálica.
- Martinete: Soporta la esfera metálica.
- Peso de la esfera metálica: 3000 gr.
- Cuerda soportante: Piola plástica.
- Roldana.

##### c) Probetas:

- Dimensiones: 20 cm x 20 cm x 6 cm.
- Edad de ensayo: 28 días.
- Curado: 7 días (bajo agua).
- Número de probetas: 39 unidades (3 por dosis de fibra y 3 del patrón)

**Figura 3.4.-** Probeta de ensayo de resistencia al impacto.



**Figura 3.5.-** Equipo de ensayo de resistencia al impacto.



**Fuente:** Elaboración propia.

◇ Metodología de ensayo

Para realizar este ensayo, es necesario posicionar la probeta a ensayar, seca, limpia de impurezas y marcada; correctamente apoyada en la base del equipo de ensayo (de 5 cm de espesor, la cual es rellena con arena de duna), posteriormente, rellenar perimetralmente con arena para afianzar la probeta de ensayo. Luego, ubicar la probeta bajo el martinete, de tal forma que la esfera metálica quede al centro de la probeta. La esfera se encontrará colgando desde una cuerda que la soporta (piola plástica) que debe deslizarse libremente a través de la roldana ubicada en el soporte. Iniciar el ensayo desde una altura de 5 cm, incrementando de 5 cm en 5 cm, hasta llegar a los 30 cm de altura, a partir de este punto el incremento sucesivo será de 1 cm cada vez, hasta que se produzca la rotura. La ejecución del ensayo se considerará terminada luego de la aparición de la primera rotura en la probeta de ensayo, registrándose la altura alcanzada. Es importante observar y registrar el aspecto de la superficie impactada.

Registrar todas las mediciones para luego generar una tabla de datos donde se pueda establecer promedio con todas las probetas ensayadas.

**Tabla 3.1.-** Modelo registro de alturas, Resistencia al Impacto.

<b>Probetas HP</b>	<b>Altura Ruptura (cm)</b>
HP	
HP1	
HP2	
HP3	
HP4	
<b>Promedio</b>	

**Fuente:** Elaboración Carolina Flores (Flores, C; 2014)

### 3.3.2.3.- Tracción indirecta (tracción por hendimiento)

Debido a la dificultad que existe en la ejecución del ensayo de tracción directa para caracterizar la resistencia a tracción del hormigón, se utilizan métodos que permiten determinar dicha propiedad en forma indirecta. Uno de estos métodos es el ensayo de tracción por hendimiento, se usa ampliamente por su facilidad de ejecución, por la posibilidad de determinarse sobre probetas cúbicas o cilíndricas moldeadas con hormigón fresco y porque también se pueden ensayar testigos de hormigón endurecido.

La norma NCh 1170. Of 77 Hormigón – Ensayo de tracción por hendimiento, establece el procedimiento para efectuar el ensayo de tracción por hendimiento de probetas cilíndricas de hormigón confeccionadas en obra o laboratorio. Por el cual nos regiremos

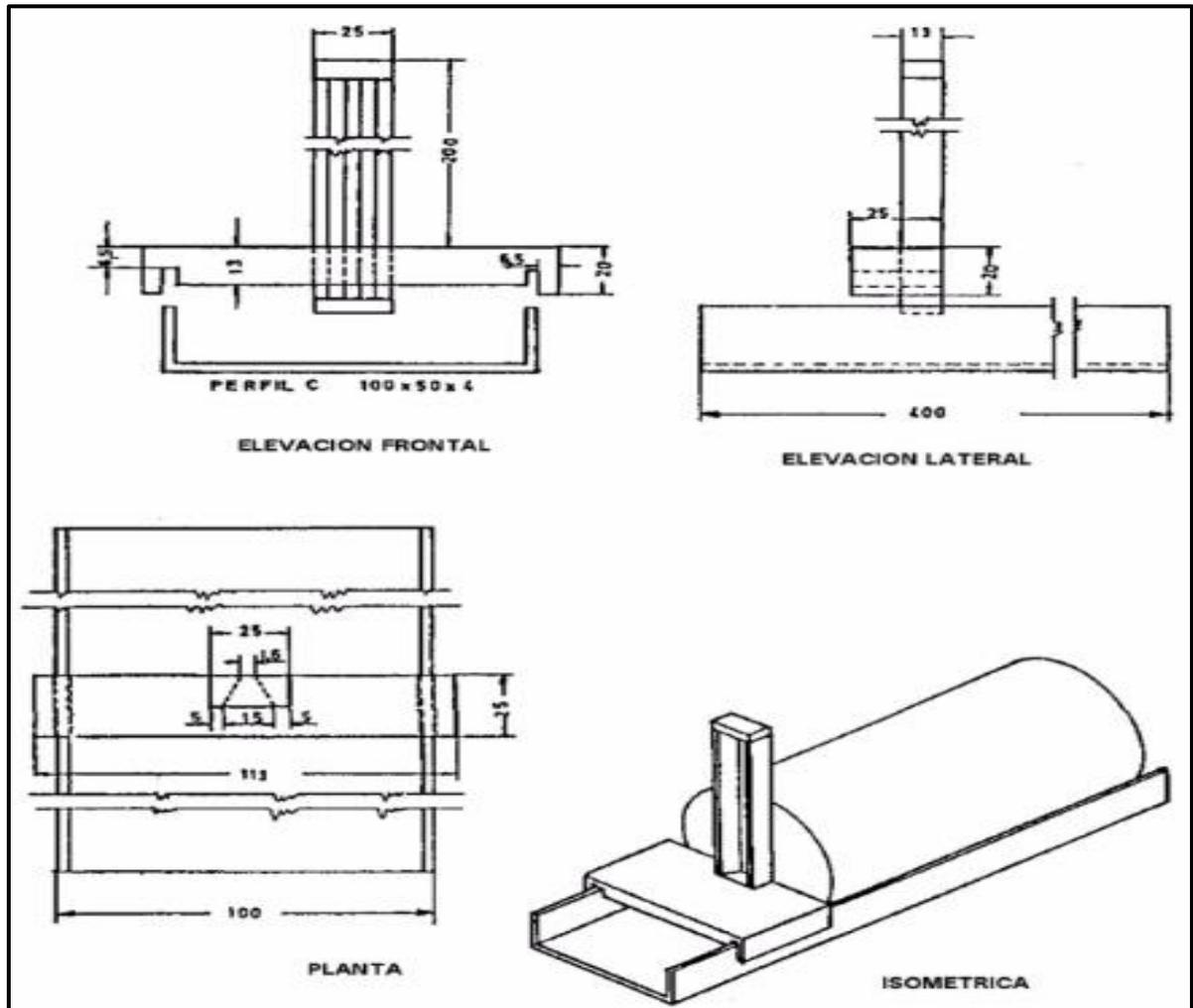
◇ Aparato

- a) Prensa de ensayo
- b) Placa suplementaria
- c) Tablillas de apoyo
- d) Regla graduada
- e) Balanza

◇ Procedimiento

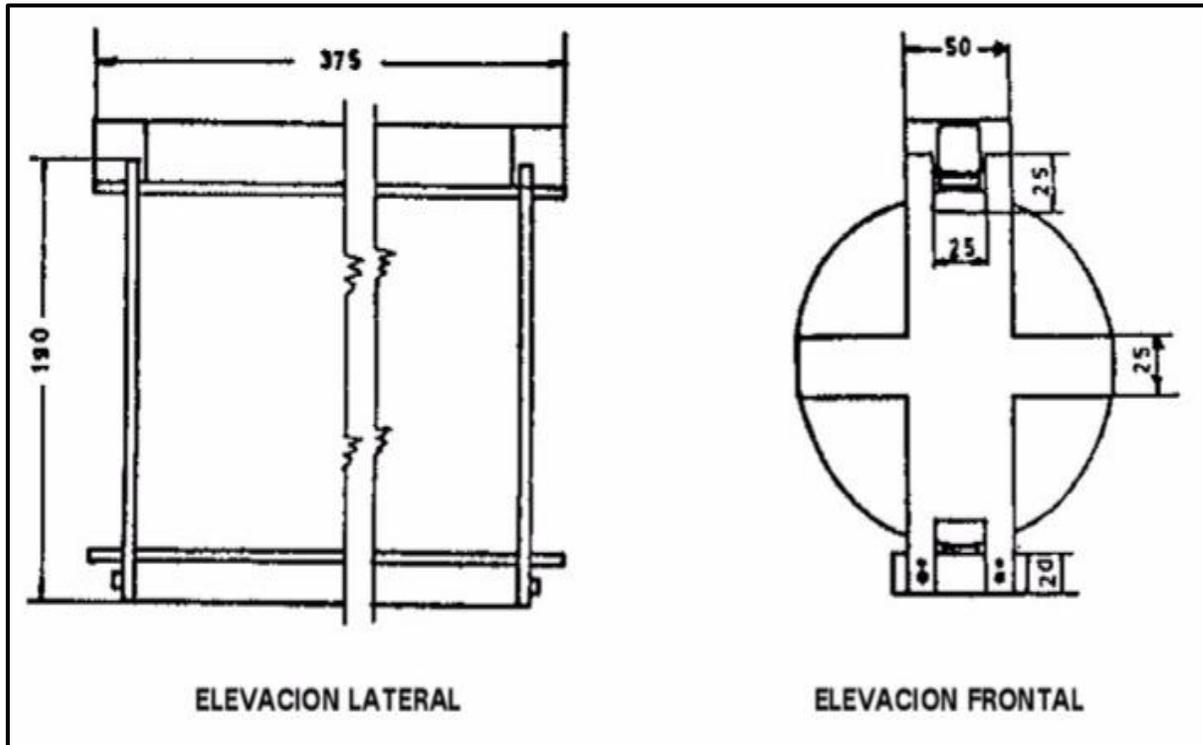
- a) Curado de las probetas
- b) Trazado de las probetas
- c) Medición de las probetas
- d) Ensayo
- e) Expresión de resultados

**Figura 3.6.-** Dispositivo de trazado, ensayo de tracción por hendimiento.



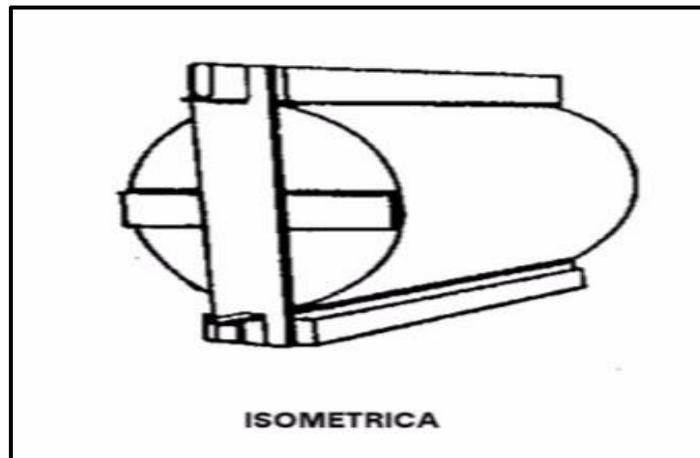
Fuente: Nch 1170 Of77.

Figura 3.7.- Dispositivo de alineación, ensayo de tracción por hendimiento.



ELEVACION LATERAL

ELEVACION FRONTAL



ISOMETRICA

Fuente: Nch 1170 Of77.

### 3.3.2.4.- Base experimental

A continuación se muestra una tabla con el número de probetas a realizarse para los distintos ensayos, considerando patrón y las cuatro fibras con las tres dosis de cada una.

Dónde:

F1 (Nylon),  
F2 (Polipropileno reciclado),  
F3 (Acero),  
F4 (Polipropileno/polietileno)

} = Corresponden a las distintas fibras.

FP1, FP2, FP3 = Corresponde a las diferentes dosis de cada fibra

**Tabla 3.2.-** Número de ensayos a realizar.

	Ensayos	Patrón	FP1	FP2	FP3
F1	Compresion	3	3	3	3
	Tracción	3	3	3	3
	Impacto	3	3	3	3
F2	Compresion	0	3	3	3
	Tracción	0	3	3	3
	Impacto	0	3	3	3
F3	Compresion	0	3	3	3
	Tracción	0	3	3	3
	Impacto	0	3	3	3
F4	Compresion	0	3	3	3
	Tracción	0	3	3	3
	Impacto	0	3	3	3
	<b>Total</b>	9	36	36	36

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla siguiente, se muestra un resumen del total de probetas a confeccionar para cada ensayo, considerando el número total de probetas y el número de amasadas:

**Tabla 3.3.-** Tabla resumen de ensayos.

N° Total de probetas	117
N° Total de amasadas	13
Probetas Compresión	39
Probetas Tracción	39
Probetas Impacto	39
Docilidad	13

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3.4 se muestra el total del volumen de hormigón por cada colada que se realizará, considerando los diferentes tipos de probetas de acuerdo con cada ensayo.

**Tabla 3.4.-** Volumen de hormigón por colada.

Probeta	Volumen probeta (lt)	Cantidad por colada	Volumen
Cúbica	3,4	3	10,2
Cilíndrica	5,4	3	16,2
Cuadrada	2,4	3	7,2
Cono Abrams	5,3	1	5,3
Volumen total	38,9 lt		

**Fuente:** Elaboración propia

En el resultado obtenido, se considerará un aumento de 16,1 lt. en el volumen total de amasada, ello debido a la pérdida que se considera al realizar la experiencia, obteniendo como total de colada un volumen de 55 litros, el cual será utilizado finalmente para el desarrollo de la experiencia.

## **CAPITULO IV DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **4.1.- Caracterización de los materiales**

#### **4.1.1.- Cemento**

Para esta experiencia se utilizará cemento portland puzolánico grado corriente el cual cumple con la normativa según NCh 148 Of68 Cemento – Terminología, Clasificación y Especificaciones.

#### **4.1.2.- Agua**

Para la confección del hormigón se utilizará agua potable, la que debe cumplir con todos los requerimientos establecidos por la norma NCh 1498 Of.82 Hormigón – Agua de amasado - Requisitos.

#### **4.1.3.- Adiciones**

Para el desarrollo de esta experiencia, se utilizarán como adiciones cuatro tipos diferentes de fibras, en distintas dosis cada una, lo que se muestra a continuación:

##### **4.1.3.1.- Tipos de fibras:**

- ◇ Fibra de nylon

Nombre comercial: cave fibras.

Descripción: Fibra monofilares, 100% de Caprolan RC (producto derivado del nylon industrial).

Dimensiones: 12 mm de largo.

Dosis según fabricante: 600 gr/m<sup>3</sup>.

- ◇ Fibra de polipropileno

Nombre comercial: Barchip R50.

Descripción: fibra sintética de polipropileno con material reciclado.

Dimensiones: 48 mm de largo.

Dosis según fabricante: 4.000 gr/m<sup>3</sup> a 6.000 gr/m<sup>3</sup>.

◇ Fibra de acero

Nombre comercial: Baxi-Fiber BHKF 80/60.

Descripción: fibras de acero fabricadas con alambre de alta resistencia, trefilado en frío de bajo contenido de carbono.

Dimensiones: 60 mm de largo.

Dosis según fabricante: 10.000 gr/m<sup>3</sup> a 20.000 gr/m<sup>3</sup>.

◇ Fibra de polipropileno con polietileno

Nombre comercial: Tuf strand SF.

Descripción: fibras sintéticas, mezcla de polipropileno / polietileno, monofilamento.

Dimensiones: 50 mm de largo.

Dosis según fabricante: 2270 gr/m<sup>3</sup>.

#### **4.1.4.- Áridos**

Se utilizarán áridos provenientes de la planta de áridos Conovia, ubicada en Tabolango, procedentes del río Aconcagua; los cuales deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma Nch 163 Of.79 Áridos para morteros y hormigones – Requisitos. Se empleará una Grava de tamaño máximo nominal de 20 mm.

#### **4.1.5.- Moldes**

Los moldes que se utilizarán en el desarrollo de la experiencia será, probetas cúbicas de 15 x 15 x 15 cm, probetas cilíndricas de 15 x 30 cm y probetas de 20 x 20 x 6 cm, según corresponda para cada ensayo.

#### **4.1.6.- Tamizado y determinación de la granulometría de los áridos**

La granulometría de los áridos se obtuvo mediante el procedimiento indicado en la norma – NCh 165 Of. 77 Áridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de la granulometría, esta experiencia fue desarrollada en los Laboratorios de Hormigón de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Valparaíso.

##### **4.1.6.1.- Granulometría arena**

Se tomaron tres muestras diferentes de arena, a las cuales se les realizó la granulometría como lo indica el procedimiento de la norma indicada en el punto 4.1.6, de éstas tres muestras se obtuvo un promedio el cual se muestra a continuación, el desarrollo de la granulometría realizada a cada muestra se encuentra descrita en el anexo N°1.

Tabla 4.1.- Granulometría arena muestra promedio

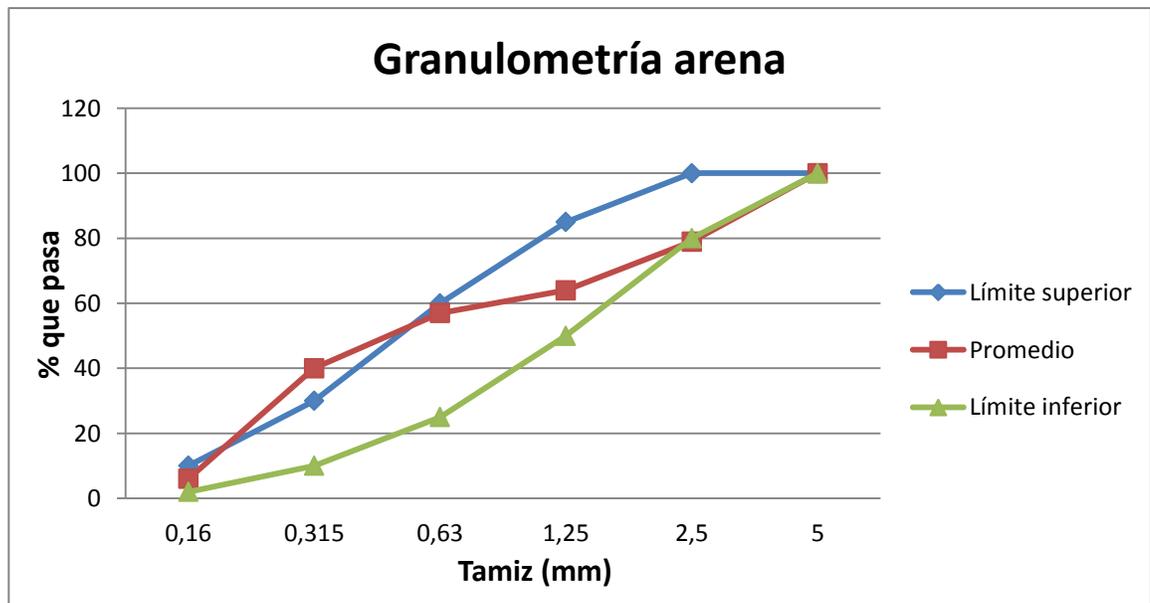
Muestra promedio							
Tamiz		M1 % Que pasa	M2 % Que pasa	M3 % Que pasa	Promedio % Que pasa	Nch 163 Of. 79 % Que pasa	Ajuste
10 mm	3/8"	100	100	100	100	100	
5 mm	N° 4	85	84	84	84	95 -- 100	100
2,5 mm	N° 8	66	65	66	66	80 -- 100	79
1,25 mm	N° 16	55	53	55	54	50 -- 85	64
0,630 mm	N° 30	48	47	48	48	25 --60	57
0,315 mm	N° 50	35	33	33	34	10 -- 30	40
0,160 mm	N° 100	4	5	6	5	2 --10	6

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.1 se muestra el promedio de las granulometrías tomadas a las diferentes muestras, a esta granulometría promedio, se le realizó un ajuste (corrección) suponiendo que el 100% de las partículas de la arena pasan por el tamiz de 5 mm (N°4), sólo con el fin de poder comparar su granulometría con el requisito normal, estos datos se traspasan a un gráfico donde se incluye la granulometría y la banda granulométrica recomendada para los áridos.

A continuación en la figura 4.1, se presenta los datos obtenidos de la granulometría y banda granulométrica recomendada.

Figura 4.1.- Gráfico de la granulometría arena promedio.



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.6.2.- Granulometría grava

Se tomaron tres muestras diferentes de Grava, a las cuales se les realizó la granulometría como lo indica el procedimiento de la norma indicada en el punto 4.1.6, de éstas tres muestras se obtuvo un promedio el cual se muestra a continuación, el desarrollo de la granulometría realizada a cada muestra se encuentra descrita en el anexo N°1.

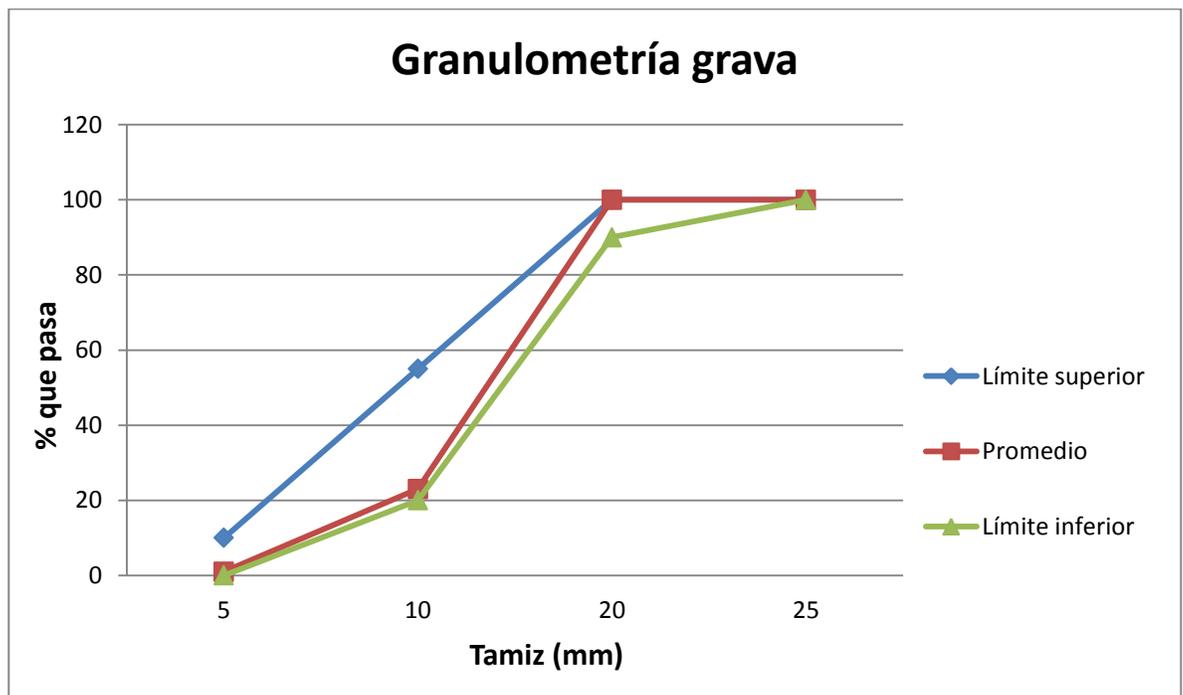
**Tabla 4.2.- Granulometría grava muestra promedio**

Muestra promedio						
Tamiz		M1 % Que pasa	M2 % Que pasa	M3 % Que pasa	Promedio % Que pasa	Nch 163 Of. 79 % Que pasa
25mm	1	100	100	100	100	100
20 mm	3/4"	100	99	100	100	90 -- 100
10 mm	3/8"	26	20	22	23	20 -- 55
5 mm	4	2	1	1	1	0 -- 10

Fuente: Elaboración propia

A continuación en la figura 4.2, se presenta los datos obtenidos de la granulometría y banda granulométrica recomendada

**Figura 4.2.- Gráfico de la granulometría grava promedio.**



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.7.- Características físicas de los áridos

Para la determinación de sus características físicas los áridos se ensayaron según lo establecido en las respectivas normas que se describen a continuación, (el desarrollo de estas experiencias se encuentran descritas en el anexo N°1):

##### 4.1.7.1.- Densidades de la Arena

Para la densidad aparente de la arena, se realizó lo descrito en la norma NCh 1116 Of. 77 Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente.

Para las densidades real y neta de la arena se aplicó el procedimiento establecido en la norma NCh 1239 Of.77 Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidades real y neta y la absorción de agua de las arenas.

**Tabla 4.3.-** Características físicas de la arena

Determinación	Unidad	Promedio
Densidad aparente suelta	Kg/m <sup>3</sup>	1661
Densidad aparente compactada	Kg/m <sup>3</sup>	1774
Densidad real árido saturado superficialmente seco	Kg/m <sup>3</sup>	2644
Densidad real árido seco	Kg/m <sup>3</sup>	2608
Densidad neta	Kg/m <sup>3</sup>	2703
Absorción	%	1,3

Fuente: Elaboración propia

##### 4.1.7.2.- Densidades de la Grava

Para la densidad aparente de la grava, se realizó lo descrito en la norma NCh 1116 Of. 77 Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente.

Para las densidades real y neta de la grava se aplicó el procedimiento establecido en la norma NCh 1117 Of.77 Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidades real y neta y la absorción de agua de las gravas.

**Tabla 4.4.-** Características Físicas de la grava.

Determinación	Unidad	Promedio
Densidad aparente suelta	Kg/m <sup>3</sup>	1549
Densidad aparente compactada	Kg/m <sup>3</sup>	1609
Densidad real árido saturado superficialmente seco	Kg/m <sup>3</sup>	2604
Densidad real árido seco	Kg/m <sup>3</sup>	2575
Densidad neta	Kg/m <sup>3</sup>	2653
Absorción	%	1,1

Fuente: Elaboración propia

## 4.2.- Dosificación del hormigón

### 4.2.1.- Cálculo de dosificación del hormigón.

Con los valores obtenidos en el promedio de ambas granulometrías, según el porcentaje que pasa en el tamiz #4 de la arena y la grava, se determina la proporción del árido combinado, para ello, se determinará emplear una proporción de 42% de arena.

$$1G + 84 A = 42 (G + A)$$

$$42 A - 41 G = 0$$

$$G = 51\%; A = 49\%$$

En conclusión, según el cálculo anteriormente descrito, se debe utilizar una proporción de un 51% de grava y un 49% de arena.

Para el desarrollo de esta experiencia se determinó dosificar el hormigón en base a la dosis de cemento, la cual se muestra a continuación:

$$\diamond \text{ Dosis de cemento} = 340 \text{ kg/m}^3$$

Con este valor obtenemos la cantidad de agua que necesitamos, según el método para dosificar hormigones que utilizaremos, en este caso corresponde a lo siguiente:

$$\diamond \text{ Dosis de agua} = 190 \text{ Kg/m}^3$$

El peso estimado del hormigón para un hormigón armado en general utilizando una grava e tamaño máximo nominal de 20 mm es la siguiente:

$$\diamond \text{ Peso estimado del hormigón} = 2.430 \text{ kg/m}^3$$

Por consiguiente:

$$\begin{aligned} \text{Agua + Cemento} &= 340 \text{ kg/m}^3 + 190 \text{ kg/m}^3 \\ &= 530 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

Para obtener el peso del árido se realiza la siguiente operación:

$$\begin{aligned} \text{Peso del árido} &= \text{Peso del hormigón} - \text{Agua} - \text{Cemento} \\ &= 2.430 \text{ kg/m}^3 - 530 \text{ Kg/m}^3 \\ &= 1900 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \diamond \text{ Peso de la arena} &= 1900 \text{ Kg/m}^3 * 0,49 \\ &= 931 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \diamond \text{ Peso de la grava} &= 1900 \text{ Kg/m}^3 * 0,51 \\ &= 969 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

De acuerdo con la cantidad de probetas requeridas para realizar los ensayos de resistencia a compresión, tracción indirecta (hendidamiento) y resistencia al impacto, se dosificará para una cantidad correspondiente a 55 litros de hormigón, cuyos valores se expresan a continuación:

**Tabla 4.5.-** Dosificación del hormigón.

Materiales Kg	Dosificación por m3	Dosificación para 55 lt
Cemento	340	18,7
Grava	969	53,295
Arena	931	51,205
Agua	190	12,45

**Fuente:** Elaboración propia.

En el caso del agua, y sólo en su caso, la cantidad expresada en la tabla anterior (12,45 lt) incluye los 10,45 lt calculados según dosificación, más 2 lt de agua que se le sumó, esto debido a la búsqueda de una mayor trabajabilidad en el hormigón patrón, esto se repitió para todas y cada una de las probetas realizadas, es decir, que para todas las probetas la dosificación que finalmente se utilizó fue de 12,45 lt de agua.

#### 4.2.2.- Dosis de fibras

A continuación se muestran las dosis empleadas de las diferentes fibras a utilizar para una colada de 55 litros de hormigón:

**Tabla 4.6.-** Dosis de fibra de nylon

Fibra 1	Dosis para 55 litros de hormigón (gr/m3)			
Tipo de fibra	H patrón	F1P1	F1P2	F1P3
Fibra de nylon	0	400	600	800

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.7.-** Dosis de fibra de polipropileno reciclado

Fibra 2	Dosis para 55 litros de hormigón (gr/m3)			
Tipo de fibra	H patrón	F2P1	F2P2	F2P3
Fibra de polipropileno reciclado	0	4000	6000	8000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.8.-** Dosis de fibra de acero

Fibra 3	Dosis para 55 litros de hormigón (gr/m3)			
Tipo de fibra	H patrón	F3P1	F3P2	F3P3
Fibra de acero	0	5000	10000	20000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.9.-** Dosis de fibra de polipropileno/ polietileno

Fibra 4	Dosis para 55 litros de hormigón (gr/m3)			
Tipo de fibra	H patrón	F4P1	F4P2	F4P3
Fibra de polipropileno/polietileno	0	1135	2270	4540

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3.- Fabricación del hormigón.

Para el desarrollo de la investigación, se realizaron un total de 13 amasadas, la fabricación de dichos hormigones se realizó en las dependencias del laboratorio de hormigones de la Universidad de Valparaíso.

En el momento de fabricar el hormigón, el cual se realizó en una betonera, se tomó en cuenta la corrección de la absorción y humedad de los áridos, para todas las coladas realizadas se

presentó una constante en este punto, donde la diferencia era muy pequeña, por lo cual no se consideró relevante.

Luego de la corrección, se comenzó a pesar debidamente el material necesario, cada cual con su peso requerido, posterior a esto, se fueron colocando dentro de la betonera en dos partes iguales, ya que la cantidad de mezcla lo ameritaba, colocando en primer lugar el agua y posteriormente el resto de materiales desde el más grueso al más fino (grava, arena, cemento) donde por último se incorporó la fibra, mezclando todos los materiales por alrededor de 5 minutos.

Teniendo lista la mezcla y verificando que los materiales se encuentren homogenizados, se procede a realizar el ensayo del cono de Abrams, para posteriormente colocar la mezcla en los diferentes moldes, vibrando y platachado de la mezcla .

#### **4.2.4.- Preparación de probetas**

##### **4.2.4.1.- Probetas de ensayo a compresión**

- ◇ Colocación: Se coloca la masa de hormigón en los moldes cúbicos de 15 x 15 x 15 cm, los cuales han sido previamente cubiertos con desmoldantes. Se realizan 3 ejemplares por colada de hormigón.
- ◇ Compactación: Se realiza la compactación a través de un vibrador de inmersión, compactando hasta que aflore la lechada. Se finaliza con un platachado de las probetas en su cara de llenado quitando el exceso que se produce.
- ◇ Desmolde: Se procede a desmoldar las probetas transcurridas 24 horas, posterior a esto son marcadas con el nombre del investigador, la abreviatura asignada (P, F1P1, F1P2, etc.) y la fecha en que fue realizada la mezcla.
- ◇ Curado: Luego de realizado el desmolde y la marcación de cada probeta, éstas son sumergidas en agua con cal, cubriéndolas completamente con la finalidad de saturarlas, esto durante 7 días, transcurridos los 7 días se procede a quitarlas del agua para posteriormente dejarlas en un lugar fresco y libre de luz directa del sol, donde se conservan hasta cumplir con su edad de ensayo (28 días).

##### **4.2.4.2.- Probetas de ensayo a tracción indirecta (hendimiento)**

- ◇ Colocación: Se coloca la masa de hormigón en los moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto, los cuales han sido previamente cubiertos con desmoldantes, en éste caso, dada la altura del cilindro, el llenado y vibrado se efectúa en dos partes iguales. Se realizan 3 ejemplares por colada de hormigón.

- ◇ Compactación: Se realiza la compactación a través de un vibrador de inmersión, compactando hasta que aflore la lechada. Se finaliza con un platachado de las probetas en su cara de llenado quitando el exceso que se produce.
- ◇ Desmolde: Se procede a desmoldar las probetas transcurridas 24 horas, posterior a esto son marcadas con el nombre del investigador, la abreviatura asignada (P, F1P1, F1P2, etc.) y la fecha en que fue realizada la mezcla.
- ◇ Curado: Luego de realizado el desmolde y la marcación de cada probeta, éstas son sumergidas en agua con cal, cubriéndolas completamente con la finalidad de saturarlas, esto durante 7 días, transcurridos los 7 días se procede a quitarlas del agua para posteriormente dejarlas en un lugar fresco y libre de luz directa del sol, donde se conservan hasta cumplir con su edad de ensayo (28 días).

#### **4.2.4.3.- Probetas de ensayo a resistencia al impacto**

- ◇ Colocación: Se coloca la masa de hormigón en los moldes rectangulares de 20 x 20 x 6 cm, los cuales han sido previamente cubiertos con desmoldantes. Se realizan 3 ejemplares por colada de hormigón.
- ◇ Compactación: Se realiza la compactación a través de un vibrador de inmersión, compactando hasta que aflore la lechada. Se finaliza con un platachado de las probetas en su cara de llenado quitando el exceso que se produce.
- ◇ Desmolde: Se procede a desmoldar las probetas transcurridas 24 horas, posterior a esto son marcadas con el nombre del investigador, la abreviatura asignada (P, F1P1, F1P2, etc.) y la fecha en que fue realizada la mezcla.
- ◇ Curado: Luego de realizado el desmolde y la marcación de cada probeta, éstas son sumergidas en agua con cal, cubriéndolas completamente con la finalidad de saturarlas, esto durante 7 días, transcurridos los 7 días se procede a quitarlas del agua para posteriormente dejarlas en un lugar fresco y libre de luz directa del sol, donde se conservan hasta cumplir con su edad de ensayo (28 días).

## CAPITULO V

# PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1.- Asentamiento de cono

A continuación se dan a conocer los resultados obtenidos de la realización del ensayo del cono de Abrams, para cada colada y tipo de fibra utilizada. Para el hormigón patrón, se obtuvo como resultado promedio, un asentamiento de cono de 8 cm, este valor será utilizado en comparación con los datos obtenidos del resto de hormigones con fibra.

#### 5.1.1.- Fibra de nylon

**Tabla 5.1.-** Asentamiento de cono, fibra de nylon

Fibra de nylon		
Hormigón	Dosis (gr/m3)	Asentamiento de cono (cm)
Patrón	0	8
F1P1	400	9,5
F1P2	600	10
F1P3	800	9,5

**Fuente:** Elaboración propia

#### 5.1.2.- Fibra de polipropileno reciclado

**Tabla 5.2.-** Asentamiento de cono, fibra de polipropileno reciclado

Fibra de polipropileno reciclado		
Hormigón	Dosis (gr/m3)	Asentamiento de cono (cm)
Patrón	0	8
F2P1	4000	9,5
F2P2	6000	3
F2P3	8000	2

**Fuente:** Elaboración propia

### 5.1.3.- Fibra de acero

**Tabla 5.3.-** Asentamiento de cono, fibra de acero

Fibra de acero		
Hormigón	Dosis (gr/m3)	Asentamiento de cono (cm)
Patrón	0	8
F3P1	5000	10
F3P2	10000	7
F3P3	20000	5

**Fuente:** Elaboración propia

### 5.1.4.- Fibra de polipropileno/polietileno

**Tabla 5.4.-** Asentamiento de cono, fibra de polipropileno/polietileno

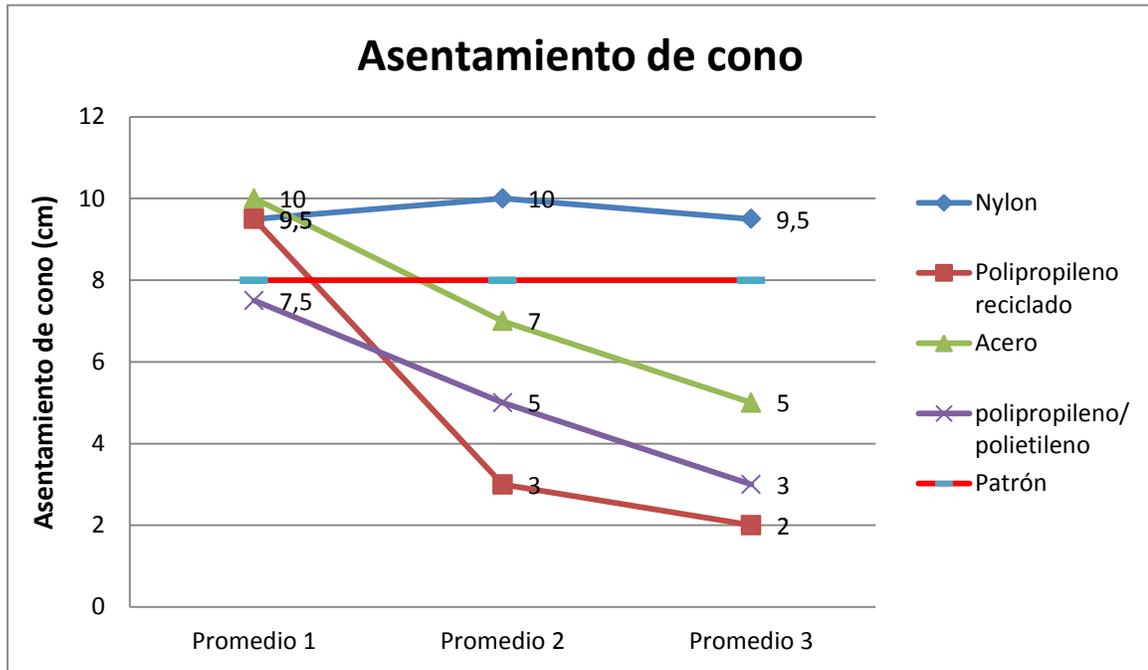
Fibra de polipropileno/polietileno		
Hormigón	Dosis (gr/m3)	Asentamiento de cono (cm)
Patrón	0	8
F4P1	1135	7,5
F4P2	2270	5
F4P3	4540	3

**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación se muestran graficados los valores promedios obtenidos de los ensayos realizados de asentamiento de cono de cada fibra, además del valor promedio patrón.

En el gráfico se logra apreciar que existen cinco valores que superan el valor promedio, esto en comparación con la cantidad de datos tomados corresponde a un 41,7%. Por otra parte, en la dosificación se estimó un valor para el asentamiento de cono de  $8 \pm 2$  cm, por lo cual se deja ver en el gráfico que son cinco los valores que están por debajo del valor estimado, lo que corresponde también a un 41,7%.

**Figura 5.1.-** Valores promedios de asentamiento de cono.



Fuente: Elaboración propia.

La fibra de nylon no muestra una tendencia al aumento o disminución de sus valores, con respecto al ir incrementando la dosis de fibra, pero sí muestra que independientemente de la cantidad de fibra aplicada, mantiene valores semejantes en su asentamiento, manteniendo todos sus datos por sobre el valor patrón.

La fibra de polipropileno reciclado muestra valores particulares, ya que un dato se encuentra por sobre el patrón pero dos de ellos por debajo de éste, pero sí muestra una tendencia a disminuir sus valores a medida que se incrementa la dosis de fibra.

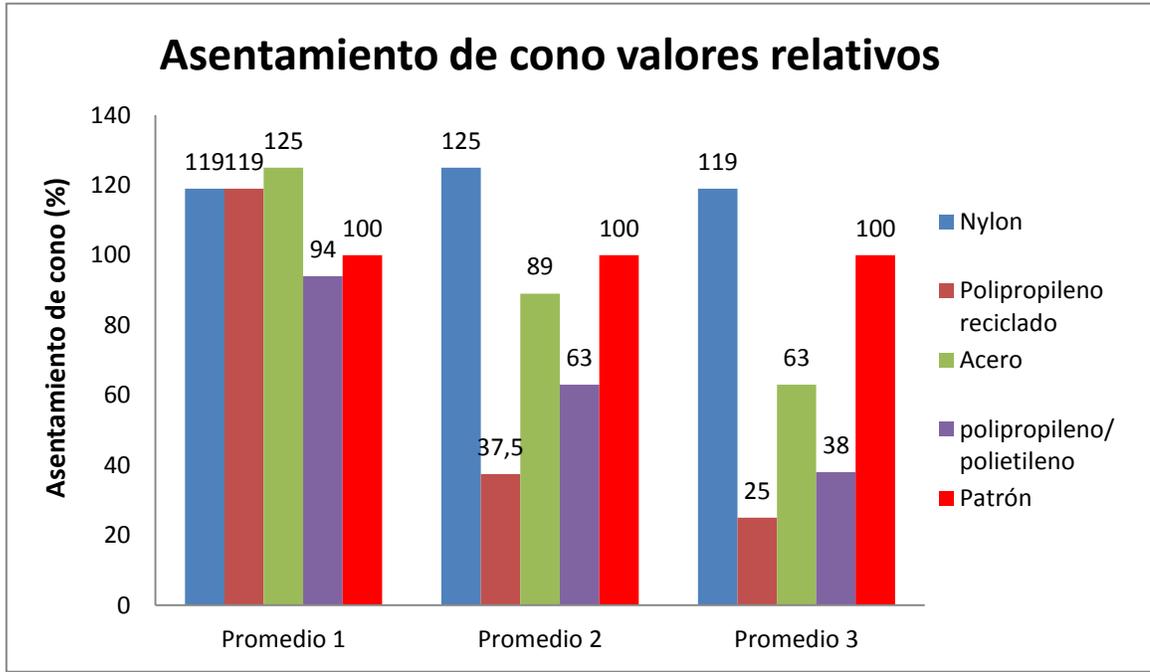
La fibra de acero muestra una clara tendencia a disminuir sus valores a medida que se incrementa la dosis de fibra, en este caso existe sólo un valor por sobre el patrón.

La fibra de polipropileno con polietileno muestra, al igual que la fibra de polipropileno, una clara tendencia a disminuir sus valores al ir incrementando la cantidad de esta fibra, pero en este caso todos los valores se encuentran por debajo del patrón.

En general, a pesar de los valores obtenidos, ya sean por debajo o sobre el valor patrón, todos los hormigones se mostraron trabajables, independientemente del tipo de fibra empleada. Para todos los hormigones se utilizó la misma dosificación, no fue necesario hacer modificaciones, de agua, por ejemplo, para conseguir una mejor trabajabilidad.

En la figura 5.2 se muestran todos estos valores de forma relativa, con respecto al hormigón patrón, esto con el fin de obtener un mejor análisis de los datos obtenidos.

**Figura 5.2.-** Valores relativos de los promedios de asentamiento de cono.



Fuente: Elaboración propia.

En el promedio 1, que corresponde a las cuatro fibras empleadas con las menores dosis de fibra, puede apreciarse que los valores se mantienen por sobre el patrón y similares entre sí alrededor de un 21% en promedio, independientemente del tipo de fibra empleada.

El promedio 2 que corresponde a una dosis intermedia de cada fibra, se muestra variedad en sus valores, donde se deduce que sí influyó el tipo de fibra o la cantidad empleada, lo mismo sucede en el promedio 3 donde se utilizó la mayor cantidad de fibra.

**Figura 5.3.-** Fotografías de ensayo asentamiento de cono.



a)



b)

a) Llenado de cono de Abrams con la mezcla de hormigón.

b) Limpieza de excedente de material antes de quitar el cono.



c)



d)

c) Quitado de cono y postura inversa de este para proceder a medir asentamiento.

d) Postura de huincha de medir para conocer asentamiento.

**Fuente:** Figuras a, b, c y d, elaboración propia.

## **5.2.- Análisis de resultados asentamiento de cono**

### **5.2.1.- Fibra de nylon**

En este caso, el asentamiento de cono aumenta ligeramente, independientemente de la cantidad de fibra utilizada.

### **5.2.2.- Fibra de polipropileno reciclado**

El asentamiento de cono aumenta ligeramente con la menor dosis empleada y disminuye bruscamente con las dosis media y máxima, a pesar de los resultados, el hormigón se muestra trabajable, de un aspecto más bien plástico.

### **5.2.3.- Fibra de acero**

Con la fibra de acero el asentamiento aumenta ligeramente con la dosis mínima, disminuyendo gradualmente con las dosis media y máxima, en este caso y en su dosis máxima se presentó levemente menos trabajable que el resto, pero aun así trabajable en general.

### **5.2.4.- Fibra de polipropileno/polietileno**

Se mantiene al utilizar la dosis menor y disminuye en sus dosis media y máxima, al igual que el caso anterior, en su dosis máxima se presenta levemente menos trabajable, aunque sin presentar mayores problemas para manejarlo.

### 5.3.- Resistencia a compresión

A continuación se muestran los resultados obtenidos del ensayo de compresión, realizado a las probetas cúbicas de 15 x 15 x15 cm, tanto al hormigón patrón como a las de diferentes fibras con sus respectivas dosis.

#### 5.3.1.- Hormigón patrón

**Tabla 5.5.-** Resistencia a compresión de hormigón patrón.

Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
Patrón	15	15	15	15	15,1	15,1	15,2	15,2	45693,37	203,1
	15	15	15	15	15,1	15,1	15	15,1	43952	195,3
	15	15	15	15	15	15	15,1	15,1	46388,51	206,2
Promedio									45344,6	201,5

Fuente: Elaboración propia

#### 5.3.2.- Fibra de nylon

**Tabla 5.6.-** Resistencia a compresión, fibra de nylon.

Fibra	Tipo	Dosis (gr/m <sup>3</sup> )	Resistencia promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	% respecto H. patrón
	Patrón	0	201,5	100
Nylon	F1P1	400	166,3	83
	F1P2	600	172,0	85
	F1P3	800	174,7	87

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.3.3.- Fibra de polipropileno reciclado

**Tabla 5.7.-** Resistencia a compresión, fibra de polipropileno reciclado.

Fibra	Tipo	Dosis (gr/m <sup>3</sup> )	Resistencia promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	% respecto H. patrón
	Patrón	0	201,5	100
polipropileno reciclado	F2P1	4000	169,8	84
	F2P2	6000	204,1	101
	F2P3	8000	169,9	84

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.4.- Fibra de acero

**Tabla 5.8.-** Resistencia a compresión, fibra de acero.

Fibra	Tipo	Dosis (gr/m3)	Resistencia promedio (Kg/cm2)	% respecto H. patrón
	Patrón	0	201,5	100
Acero	F3P1	5000	161,4	80
	F3P2	10000	192	95
	F3P3	20000	199,7	99

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.5.- Fibra de polipropileno / polietileno

**Tabla 5.9.-** Resistencia a compresión, fibra de polipropileno/polietileno.

Fibra	Tipo	Dosis (gr/m3)	Resistencia promedio (Kg/cm2)	% respecto H. patrón
	Patrón	0	201,5	100
polipropileno con polietileno	F4P1	1135	186,4	93
	F4P2	2270	191,9	95
	F4P3	4540	194,2	96

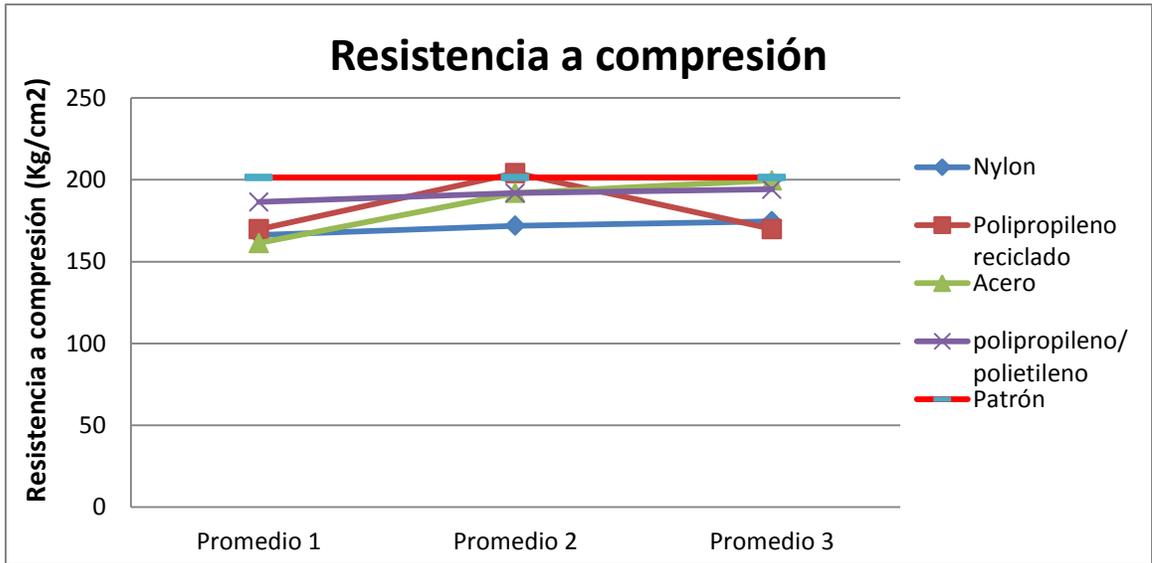
Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta un gráfico (figura 5.3) donde se disponen los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión.

En esta figura podemos observar que la mayoría de los valores se presentan por debajo de la línea de promedio descrita, existe sólo un punto que sobrepasa este valor promedio, el que corresponde a la fibra de polipropileno con la aplicación de dosis media.

Se puede deducir de lo antes descrito que, a pesar de incorporar diferentes tipos de fibras, en diversas dosis para cada una, aun así el hormigón patrón representa una mayor resistencia a la compresión sin haber recibido ningún tipo de adición, lo cual refleja que en este caso las fibras en sí, o la cantidad de ellas empleadas no influyen en la resistencia a la compresión del hormigón, aunque cabe mencionar que en tres de los cuatro casos se observa un aumento paulatino de su resistencia a medida que se le incorpora mayor cantidad de fibra, lo que puede llevar a pensar que tal vez con una cantidad mayor de ésta se logre sobrepasar este valor patrón. Estos son los casos de la fibra de nylon, acero y polipropileno con polietileno.

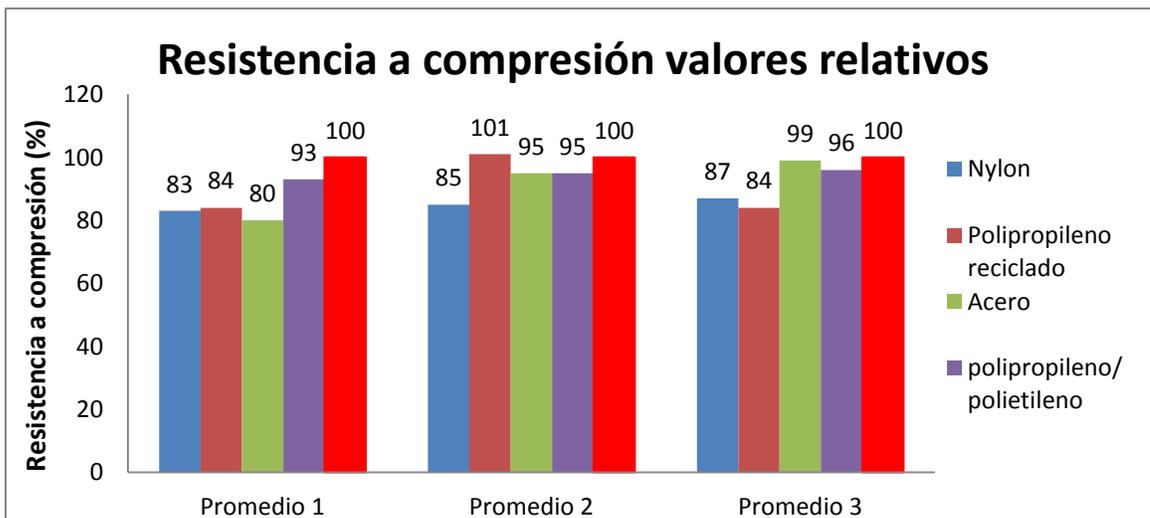
**Figura 5.4.-** Valores promedios resistencia a compresión.



Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico que se muestra a continuación podemos deducir a simple vista que los valores se mantienen similares en los tres promedios presentados, manteniéndose siempre bajo el promedio, de lo que se deduce que independiente del tipo de fibra y de la cantidad empleada los valores obtenidos son semejantes, en este caso se mantuvieron bajo el patrón en un promedio del 15% en el promedio 1, de un 8,3% en el promedio 2 presentándose en este caso un valor sobre el patrón en solo un 1%, en el promedio 3 se muestra un promedio de un 8,5%.

**Figura 5.5.-** Valores promedios relativos de resistencia a compresión.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 5.6.-** Fotografías del ensayo de resistencia a compresión.



a)

a) Medición realizada a las probetas al cumplir su edad de fraguado y antes de ser sometidas a ensayo de compresión.

b) Fotografía correspondiente a la realización del ensayo de resistencia a compresión.



b)



c)

c) Fotografía correspondiente al resultado visual, posterior a la realización del ensayo de resistencia a compresión.

**Fuente:** Figura a, b y c, elaboración propia.

## **5.4.- Análisis de resultados resistencia a compresión**

### **5.4.1.- Fibra de nylon**

En este caso la resistencia fue incrementando paulatinamente a medida que se incorpora una mayor dosis de fibra, pero siempre manteniéndose bajo el patrón, el aumento fue progresivo correspondiente a un 2%

Se registra un 17%, 15% y 13% respectivamente a las dosis de menor a mayor cantidad, bajo el resultado obtenido con nuestro hormigón patrón.

### **5.4.2.- Fibra de polipropileno reciclado**

Se mantiene un 16% bajo el patrón en su dosis menor, en su dosis media logra aumentar respecto a la dosis menor un 17%, registrándose muy levemente sobre el patrón un 1%, en su dosis máxima se vuelve a presentar una disminución correspondiente al 17% con respecto a la dosis media y un 16% bajo el patrón.

### **5.4.3.- Fibra de acero**

La fibra de acero presenta un aumento progresivo correspondiente al 20% en su dosis media bajo el patrón, un 5% en su dosis media bajo el patrón y un 1% en su dosis máxima bajo el patrón.

A pesar de su incremento progresivo, todos los valores se mantuvieron bajo el valor obtenido con nuestro patrón, pero a pesar de esto, se muestra un aumento, con esto puede que al agregar una mayor dosis que la máxima empleada sobrepase dicho valor.

### **5.4.4.- Fibra de polipropileno/polietileno**

Se presenta un leve incremento a medida que se incorpora mayor dosis de fibra, aunque manteniéndose bajo el patrón, en su dosis menor se encuentra un 7% bajo el patrón, un 5% en su dosis media y un 4% en su dosis máxima. Esto puede significar que sobrepase este valor patrón al utilizar mayor cantidad de fibra que la máxima empleada.

## 5.5.- Resistencia a tracción indirecta (hendimiento)

A continuación se muestran los resultados obtenidos del ensayo de tracción indirecta, método de hendimiento, realizado a las probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro x 30 cm de alto, tanto al hormigón patrón como a las de diferentes fibras con sus respectivas dosis.

### 5.5.1.- Hormigón patrón

**Tabla 5.10.-** Resistencia a tracción indirecta, hormigón patrón.

Patrón	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
Probeta 1	12500	17,7
Probeta 2	14000	19,8
Probeta 3	13500	19,1
Promedio	13333,3	18,9

Fuente: Elaboración propia.

### 5.5.2.- Fibra de nylon

**Tabla 5.11.-** Resistencia a tracción indirecta, fibra de nylon.

Fibra	Tipo	Dosis (gr/m <sup>3</sup> )	Resistencia promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	% respecto H. patrón
	Patrón	0	18,9	100
Nylon	F1P1	400	18,2	96,3
	F1P2	600	19,3	102,1
	F1P3	800	20,8	110,1

Fuente: Elaboración propia.

### 5.5.3.- Fibra de polipropileno reciclado

**Tabla 5.12.-** Resistencia a tracción indirecta, fibra de polipropileno reciclado.

Fibra	Tipo	Dosis (gr/m <sup>3</sup> )	Resistencia promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	% respecto H. patrón
	Patrón	0	18,9	100
polipropileno reciclado	F2P1	4000	17,9	94,7
	F2P2	6000	20,8	110,1
	F2P3	8000	19,3	102,1

Fuente: Elaboración propia.

### 5.5.4.- Fibra de acero

**Tabla 5.13.-** Resistencia a tracción indirecta, fibra de acero.

Fibra	Tipo	Dosis (gr/m <sup>3</sup> )	Resistencia promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	% respecto H. patrón
	Patrón	0	18,9	100
Acero	F3P1	5000	17,1	90,5
	F3P2	10000	18,8	99,5
	F3P3	20000	20,4	108

Fuente: Elaboración propia.

### 5.5.5.- Fibra de polipropileno / polietileno

**Tabla 5.14.-** Resistencia a tracción indirecta, fibra de polipropileno/polietileno.

Fibra	Tipo	Dosis (gr/m <sup>3</sup> )	Resistencia promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	% respecto H. patrón
	Patrón	0	18,9	100
polipropileno con polietileno	F4P1	1135	19,5	103,2
	F4P2	2270	14,8	78,3
	F4P3	4540	16	85

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se grafican los datos obtenidos del ensayo de tracción indirecta, donde se obtuvo como valor promedio 18,9 (kg/cm<sup>2</sup>) correspondiente a nuestro hormigón patrón.

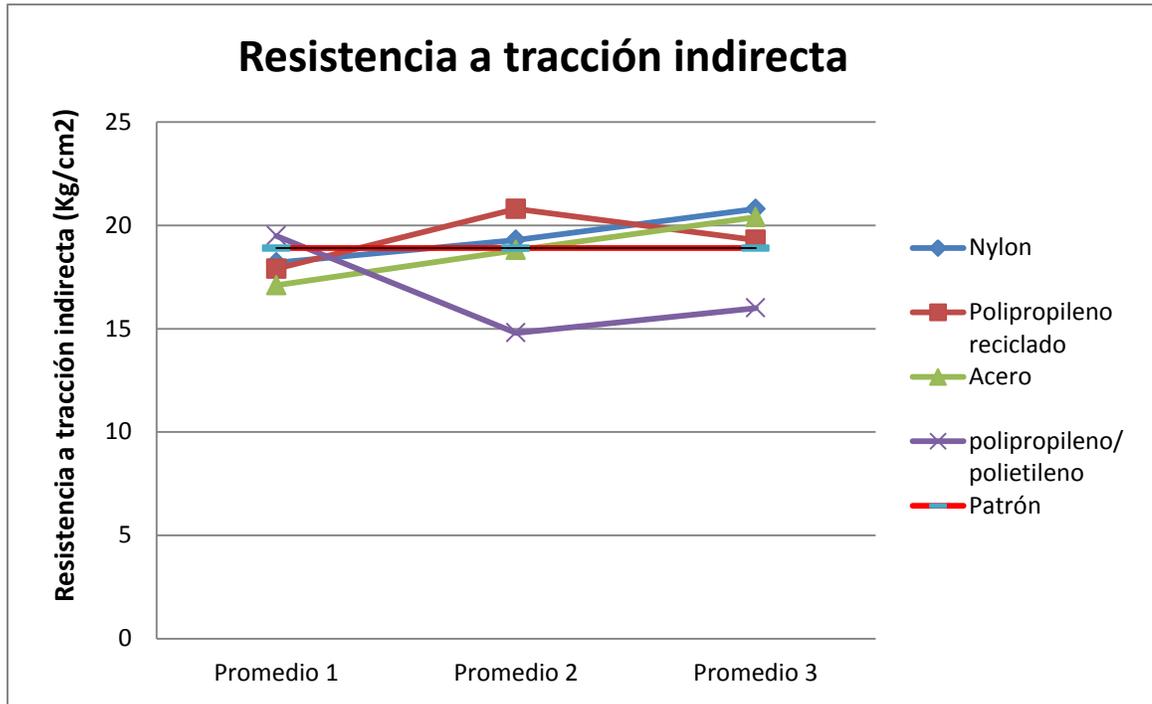
En este caso podemos observar que existe un número de datos por sobre el patrón igual al número de datos por debajo de este valor, es decir, de un total de 12 datos obtenidos, el 50% corresponden a valores por sobre el promedio patrón y el otro 50% se encuentra por debajo de nuestro patrón.

En la fibra de nylon se ve una tendencia a aumentar su valor a medida que incrementa su dosis de fibra partiendo de un valor similar al patrón y sobrepasándolo a medida que aumenta su dosis, sucede algo muy similar en el caso de la fibra de acero.

En las dos fibras restantes se presenta una situación similar entre ambas ya que no se ve una tendencia clara.

Por lo que se puede deducir que en el caso de la fibra de nylon y la de acero aumenta su resistencia de tracción indirecta a medida que aumenta su dosis de fibra, partiendo por valores similares al patrón o sobrepasándolo.

**Figura 5.7.-** Valores promedios de resistencia a tracción indirecta.



**Fuente:** Elaboración propia.

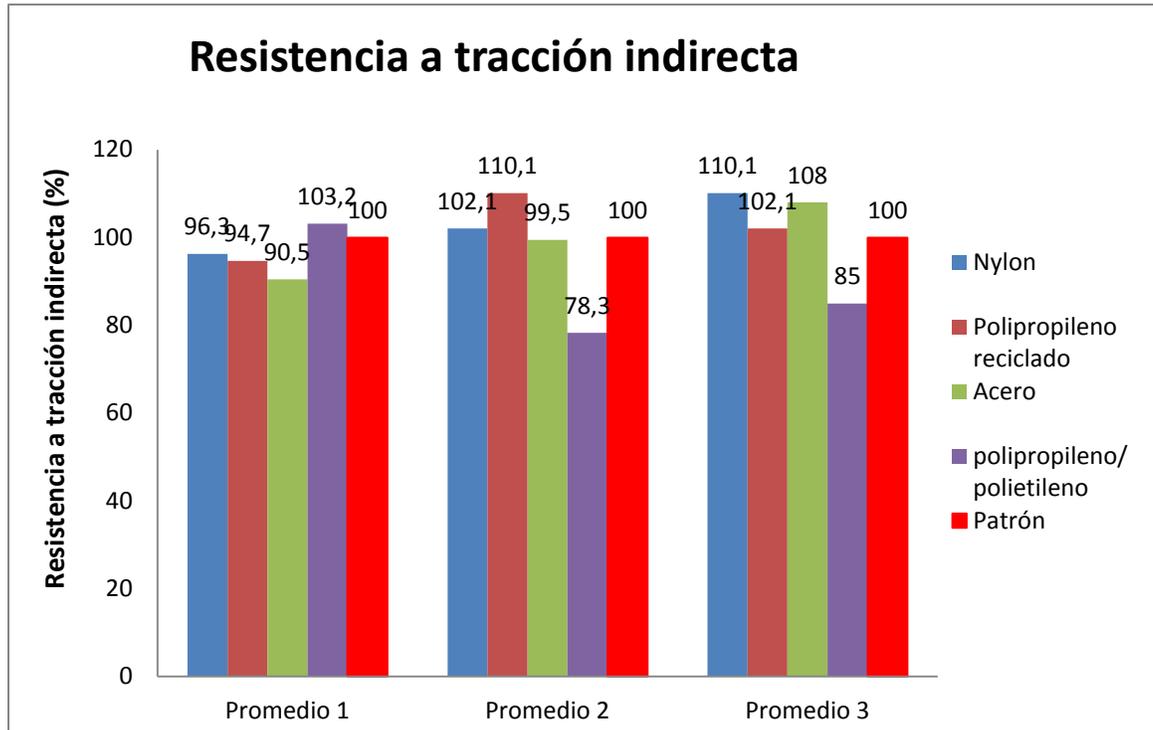
En el gráfico que se muestra a continuación se muestran valores relativos de la resistencia a tracción indirecta. En él se puede apreciar que en el promedio 1, aumentó la resistencia en un promedio del 3,2%, y disminuyó en promedio un 6,2% con respecto al valor del hormigón patrón, lo que muestra que el aumento fue menos significativo que la disminución de su resistencia.

Por otro lado, en el promedio 2, el aumento de la resistencia con respecto al patrón fue en promedio de un 6,1% y disminuyó en promedio un 11,1% con respecto a nuestro hormigón patrón, en este caso se presenta una situación similar a la anterior, es decir, que la resistencia fue más significativa que su aumento.

En el promedio 3, el aumento presentó un promedio de un 6,7% y disminuyó en promedio un 15%.

Dado lo antes mencionado se puede apreciar que, en los tres casos (tres dosis de fibra), la disminución fue más significativa en promedio que el aumento de la resistencia al incorporar fibra, lo que no significa que en cada caso en particular se demuestre lo contrario, dado que en lo anterior se habla de promedios y no de casos en particular.

**Figura 5.8.-** Valores promedios relativos de resistencia a tracción indirecta.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5.9.-** Fotografías del ensayo de resistencia a tracción indirecta (Hendimiento)



a)

a) Marcación de la probeta en la mitad de ella para la posterior ubicación en el equipo de ensayo en su centro, para posteriormente proceder a la realización de dicho ensayo.



b)

b) Colocación de la probeta en el equipo y comienzo del ensayo de hendimiento.

c) Resultado visual de la realización del ensayo antes de llegar a la resistencia máxima del ensayo.



c)



d)

d) Resultado visual del ensayo de hendimiento luego de quitarlo del equipo y obtener su máxima resistencia.

**Fuente:** Figura a, b, c y d, elaboración propia.

## **5.6.- Análisis de resultados resistencia a tracción indirecta**

### **5.6.1.- Fibra de nylon**

En su dosis mínima presenta un 3,7% bajo el patrón, siendo que en su dosis media y máxima se incrementa un 2,1% y un 10,1% respectivamente.

### **5.6.2.- Fibra de polipropileno reciclado**

Al igual que con la fibra anterior, en su dosis mínima presenta una disminución respecto al patrón correspondiente a un 5.3%, en sus dosis media y máxima se incrementa un 10,1% y un 2,1% respectivamente.

### **5.6.3.- Fibra de acero**

Con esta fibra la resistencia incrementa paulatinamente a medida que aumenta la dosis de fibra, en su dosis mínima se mantiene un 9,5% bajo el patrón, en su dosis media un 0,5% y en su dosis máxima lo sobrepasa en un 8%.

### **5.6.4.- Fibra de polipropileno/polietileno**

En este caso la dosis menor presenta el mayor incremento con respecto al patrón, el que corresponde a un 3,2%, su dosis media presenta una disminución que corresponde a un 21,7% respecto al patrón y en su máxima dosis otra disminución correspondiente a un 15%.

## 5.7.- Resistencia al impacto

A continuación se muestran los resultados obtenidos del ensayo de resistencia al impacto, realizado a las probetas rectangulares de 20 x 20 x 6 cm de alto, tanto al hormigón patrón como a las de diferentes fibras con sus respectivas dosis.

### 5.7.1.- Hormigón patrón

**Tabla 5.15.-** Resistencia al impacto, hormigón patrón.

Patrón	Altura (cm)	N° de golpes
Probeta 1	35	11
Probeta 2	33	9
Probeta 3	35	11
Promedio	34,3	

Fuente: Elaboración propia.

### 5.7.2.- Fibra de nylon

**Tabla 5.16.-** Resistencia al impacto, fibra de nylon.

Fibra	Tipo	Dosis (gr/m <sup>3</sup> )	Altura de caída promedio (cm)	% respecto H. patrón
	Patrón	0	34,3	100
Nylon	F1P1	400	33,7	98,3
	F1P2	600	36,3	105,8
	F1P3	800	35,7	104,1

Fuente: Elaboración propia.

### 5.7.3.- Fibra de polipropileno reciclado

**Tabla 5.17.-** Resistencia al impacto, fibra de polipropileno reciclado.

Fibra	Tipo	Dosis (gr/m <sup>3</sup> )	Altura de caída promedio (cm)	% respecto H. patrón
	Patrón	0	34,3	100
polipropileno reciclado	F2P1	4000	36,3	105,8
	F2P2	6000	35,3	103,0
	F2P3	8000	35,0	102,0

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.7.4.- Fibra de acero

**Tabla 5.18.-** Resistencia al impacto, fibra de acero.

Fibra	Tipo	Dosis (gr/m3)	Altura de caída promedio (cm)	% respecto H. patrón
	Patrón	0	34,3	100
Acero	F3P1	5000	35,3	103,0
	F3P2	10000	34,3	100
	F3P3	20000	35,7	104,1

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.7.5.- Fibra de polipropileno / polietileno

**Tabla 5.19.-** Resistencia al impacto, fibra de polipropileno/polietileno.

Fibra	Tipo	Dosis (gr/m3)	Altura de caída promedio (cm)	% respecto H. patrón
	Patrón	0	34,3	100
polipropileno con polietileno	F4P1	1135	33,7	98,3
	F4P2	2270	36,0	105,0
	F4P3	4540	37,3	109,0

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5.10 muestra que la mayoría de sus valores sobrepasa el valor obtenido con nuestro hormigón patrón.

En el caso de la fibra de polipropileno reciclado y polipropileno con polietileno se muestra una tendencia a disminuir y aumentar su resistencia respectivamente, para las fibras restantes (nylon y acero) no se muestra una tendencia representativa, pero sí puede verse que los resultados se encuentran mayormente por sobre nuestro patrón.

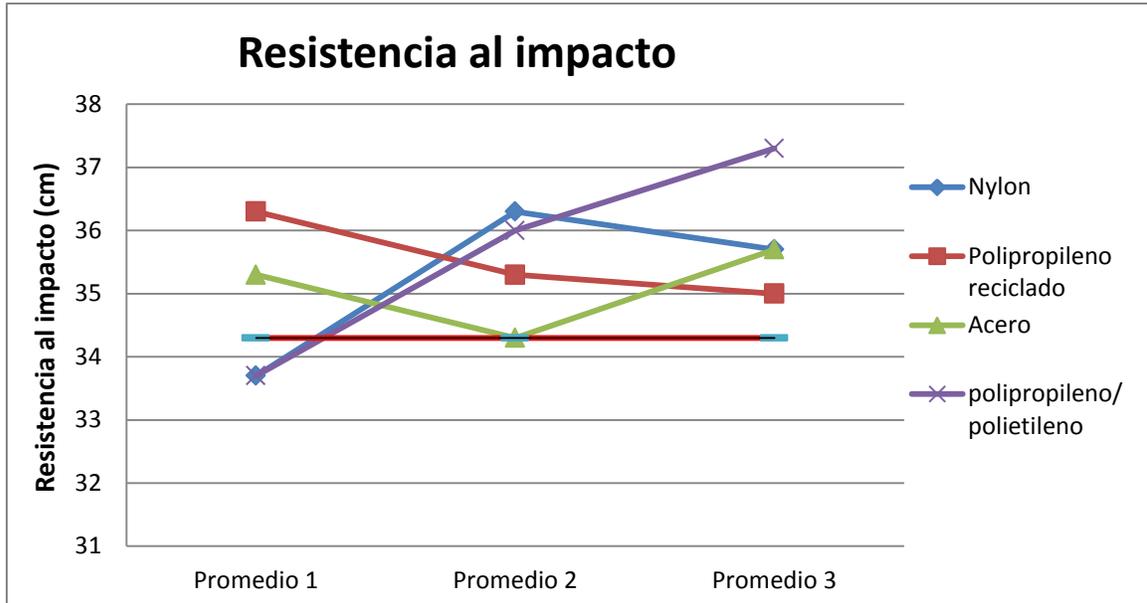
Lo anterior puede representarse de una mejor manera en el gráfico 5.11, ya que contiene valores relativos, donde se puede deducir que en el promedio 1 la disminución de la resistencia tuvo un promedio de un 1,7%, correspondiente a las fibras de nylon y polipropileno con polietileno que coincidentemente tuvieron igual resultado bajo el valor patrón. En este caso, el aumento de la resistencia correspondió a un promedio del 4,4%.

Para el promedio 2, se obtuvo sólo aumento en la resistencia al, este aumento corresponde a un valor promedio del 4,6% con respecto a nuestro patrón, cabe mencionar que particularmente en este tramo se presentó una valor que igualó al de nuestro patrón.

Del promedio 3 puede deducirse algo similar al promedio 2, ya que en este tramo solo se registraron aumentos de resistencia llegando a un valor promedio correspondiente a un 4,8%.

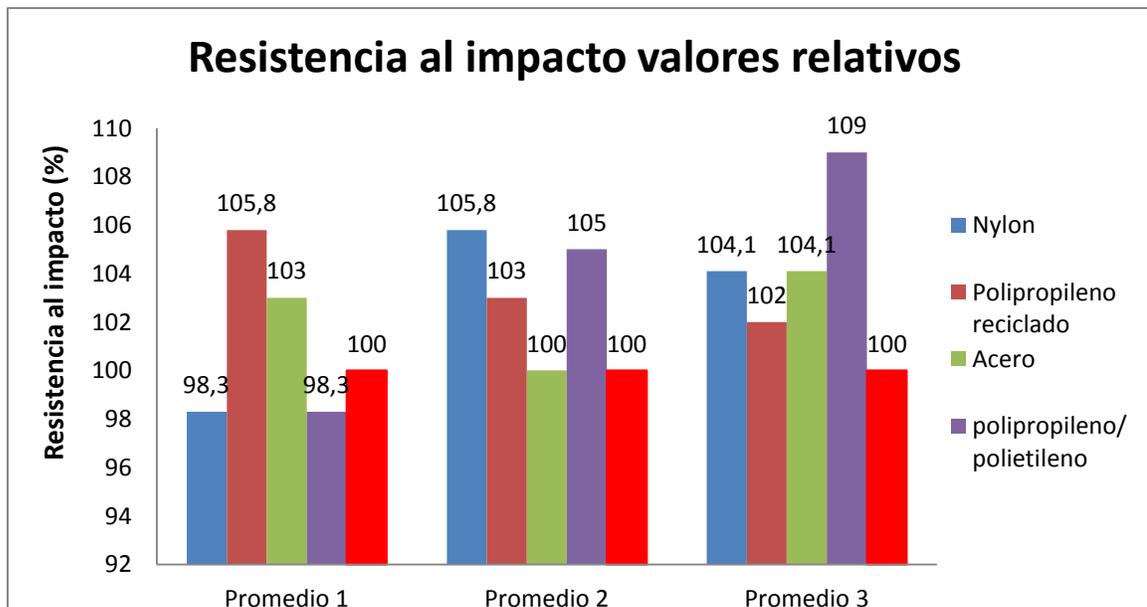
En lo general, cabe señalar que en los tres tramos la resistencia fue incrementando en un 0,2% a medida que se incorporaba mayor cantidad de fibra, lo que no representa el caso particular de cada fibra ya que se habla de promedios.

Figura 5.10.- Valores promedios de resistencia al impacto.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.11.- Valores promedios relativos de resistencia al impacto.



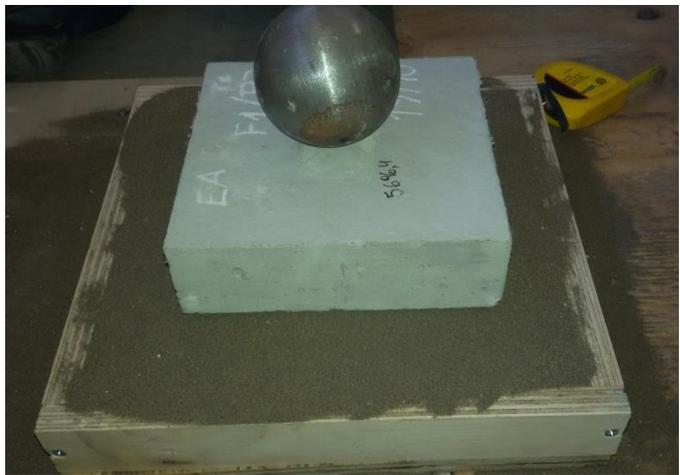
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5.12.-** Fotografías del ensayo de resistencia al impacto.



a)

b) Ubicación de la probeta en el centro del cajón con arena y posteriormente ubicación de la bola en el centro de la probeta para dar comienzo al lanzamiento de la bola.



b)



c)

c) Desarrollo del ensayo de impacto dejando caer la bola a diferentes alturas determinadas impactando en el centro de la probeta Hasta que se pronuncien las primeras fisuras.



d)

d) En la figura se muestran las primeras fisuras (circulo destacado en color rojo), lo que da paso al fin del ensayo llegando a su resistencia máxima.

e) Resultado visual del ensayo de resistencia al impacto, lo que se muestra en la figura corresponde al lado posterior de la probeta en donde finalmente falla.



e)



f)

f) La figura muestra el resultado visual de las probetas ensayadas, lo que demuestra es que todas las probetas fallaron de la misma forma, es decir en su parte posterior.

**Fuente:** Figura a, b, c, d, e y f, elaboración propia.

## **5.8.- Análisis de resultados resistencia al impacto**

### **5.8.1.- Fibra de nylon**

En la dosis mínima se presenta una leve disminución con respecto al patrón de un 1,7%, en la dosis media y máxima se observa un aumento de la resistencia de un 5,8% y un 4,1% respectivamente.

### **5.8.2.- Fibra de polipropileno reciclado**

En este caso se presentó un aumento de la resistencia en todas sus dosis en relación al patrón, la mínima fue de un 5,8%, la media de un 3% y la máxima de un 4,1%.

### **5.8.3.- Fibra de acero**

En su dosis mínima aumento la resistencia en un 3%, en la dosis media se presentó una particularidad ya que se alcanzó un valor igual al obtenido con nuestro patrón por lo que se mantuvo neutral, en su dosis máxima se incrementó en un 4,1%.

### **5.8.4.- Fibra de polipropileno/polietileno**

En este caso la resistencia fue en aumento, llegando a un 9% en su dosis máxima, se obtuvo un incremento de un 5% en su dosis media y una disminución de un 1,7% en su dosis mínima.

## CAPITULO VI CONCLUSIONES

- ◇ Con respecto a nuestro objetivo principal: Asignando un 100% al valor del hormigón patrón, al emplear la dosis media de fibra (exceptuando las fibras de acero que presento el mismo valor patrón), las tres fibras restantes permiten un aumento de la resistencia al impacto. Con las dosis mínimas, superan al patrón las fibras de polipropileno reciclado y la fibra de acero, las restantes presentan menor resistencia al impacto. Con las dosis máximas, todas las fibras presentan mayor resistencia al impacto que la obtenida en el hormigón patrón. En general, los mejores comportamientos en cuanto a la resistencia al impacto del hormigón se consiguen con las fibras de polipropileno/polietileno y con las fibras de nylon.
- ◇ Respecto a la docilidad, en general existe variedad en sus valores, lo que deduce que sí influyó el tipo de fibra o la cantidad empleada, en particular en el caso donde se utilizó la menor dosis de fibra se mantuvieron los valores sobre el patrón y similares entre sí.
- ◇ En la resistencia a compresión, en general los valores obtenidos se encuentran por debajo del hormigón patrón, por lo que se concluye que las diferentes fibras y las diferentes dosis no aumentan la resistencia a compresión.
- ◇ La tracción indirecta (hendidamiento), en general los valores superan al patrón en su dosis máxima de fibra, en su dosis media y mínima, en la mayoría de sus valores están por debajo del patrón.
- ◇ Con respecto a nuestra hipótesis, podemos decir que se cumple no en su totalidad, ya que los diferentes tipos de fibras y dosis influyen sólo en la resistencia al impacto, no así en sus propiedades mecánicas y docilidad.

## Referencias

- ◇ (Altun, T. Haktanir, K. Ari; 2005), "Effects of Steel Fiber Addition on Mechanical Properties of Concrete and RC Beams", Construction and Building Materials, article in press, available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), accepted December 2005
- ◇ (Barbera E., Balash S., Curras A., Galván V., Moscardó J., Perepérez B.; 1985) Investigación "La resistencia a tracción indirecta del hormigón por doble punzonamiento. Influencia del tamaño máximo del árido y la excentricidad."; Consejo Superior de Investigaciones Científicas Licencia Creative Commons, Universidad Politécnica de Valencia, España. Informes de la Construcción, Vol. 37 N° 374, Octubre 1985, Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>
- ◇ (Flores, C.; 2014), Evaluación del efecto de la incorporación de fibras híbridas sobre la resistencia al impacto y sobre la permeabilidad del hormigón, Universidad de Valparaíso, Chile.
- ◇ (Hummel, A.; s/a), Prontuario del hormigón (12° Edición) Editorial Técnicos asociados s.a. Barcelona, España.
- ◇ (Lujan Ercoli N., Peralta M.; s/a) "Influencia de la incorporación de fibras de acero en la respuesta a corte de vigas de hormigón armado"; Docentes investigadores área de estructuras, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- ◇ NCh 148 Of68, Cemento – Terminología, clasificación y especificaciones generales, Norma Chilena Oficial.
- ◇ NCh 163 Of79, Áridos para morteros y Hormigones – Requisitos generales, Norma Chilena Oficial.
- ◇ NCh 165 Of77, Áridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de la granulometría, Norma chilena oficial.
- ◇ NCh 170 Of85, Hormigón – Requisitos generales, Norma Chilena Oficial
- ◇ NCh 1019 Of74, Construcción – Hormigón – Determinación de la docilidad – Método del asentamiento del cono Abrams, Norma Chilena Oficial.
- ◇ NCh 1037 Of77, Hormigón – Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas, Norma chilena Oficial.
- ◇ NCh 1170 Of77, Hormigón – Ensayo de tracción por hendimiento, Norma chilena oficial.
- ◇ NCh 1498 Of82, Hormigón – Agua de amasado – Requisitos, Norma chilena oficial.
- ◇ (Negrette A.; s/a), "Influencia de la incorporación de fibras de acero en la respuesta a corte de vigas de hormigón armado"; Area de estructuras, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- ◇ (Silva C.; 2014), Estudio experimental para determinar una correlación entre resistencias del hormigón empleando probetas cilíndricas y cúbicas, Universidad de Valparaíso, Chile.
- ◇ (Villarino, A.; s/a), Asignatura Ciencia y Tecnología de los materiales, Capítulo: Hormigón, Profesor Alberto Villarino Otero, Ingeniero de caminos, Canales y Puentes, Escuela Politécnica Superior de Ávila, España.

## Páginas Web

- ◇ <http://www.bekaert.com/es-MX/productos/construccion/refuerzo-de-hormigon> (09-06-2015)
- ◇ <http://www.imcyc.com/revistact06/mar07/BEKAERT.pdf> (09-06-2015)
- ◇ [file:///C:/Users/Ennith%20Abuyeres/Downloads/Brochure\\_Dramix\\_5D4D3D\\_SP.pdf](file:///C:/Users/Ennith%20Abuyeres/Downloads/Brochure_Dramix_5D4D3D_SP.pdf) (09-06-2015)
- ◇ <http://www.prodalam.cl/construccion/refuerzos-de-hormigon/dramix.html> (09-06-2015)
- ◇ [http://www.construmatica.com/construpedia/Fibras\\_para\\_Hormig%C3%B3n](http://www.construmatica.com/construpedia/Fibras_para_Hormig%C3%B3n) (09-06-2015)
- ◇ <http://www.solostocks.cl/venta-productos/otros-construccion/fibras-de-nylon-para-reforzar-hormigones-morteros-y-estucos-cave-fibras-1036706> (09-06-2015)
- ◇ [http://chl.sika.com/es/solutions\\_products/02/02a001/02a001sa34.html](http://chl.sika.com/es/solutions_products/02/02a001/02a001sa34.html) (09-06-2015)
- ◇ [http://chl.sika.com/es/solutions\\_products/02/02a001/02a001sa34.html#sthash.Q7qXU24T.dpuf](http://chl.sika.com/es/solutions_products/02/02a001/02a001sa34.html#sthash.Q7qXU24T.dpuf) (09-06-2015)
- ◇ <http://masqueingenieria.com/2014/12/26/ensayos-a-traccion-indirecta-del-hormigon/> (06-07-2015)
- ◇ [http://www.concretonline.com/pdf/SERVICIOS/05\\_laboratorio/art\\_tec/CarmPed\\_SergCarm.pdf](http://www.concretonline.com/pdf/SERVICIOS/05_laboratorio/art_tec/CarmPed_SergCarm.pdf) (20-07-2015)
- ◇ <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/1809/2008> (20-07-2015)
- ◇ <http://proveedorestecnicos.minvu.cl/6460-2/> (21-07-2015)
- ◇ <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/hendT7.htm> (21-07-2015)

## ANEXO N°1

### 1.- Granulometría Arena

Se tomaron tres muestras diferentes de arena, a las cuales se le realizó la granulometría como lo indica la norma NCh165 Of.77, el detalle de los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Muestra N°1

Tamaño de la muestra: 847,4 gr.

Temperatura de secado de la muestra:  $110 \pm 5$  °C

**Tabla 1.1.-** Granulometría arena muestra N°1.

Muestra N° 1					
Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido parcial	% Que pasa	NCh 163 Of. 79 % Que pasa
10 mm	3/8"	0	0	100	100
5 mm	N° 4	129	15	85	95 -- 100
2,5 mm	N° 8	160,3	19	66	80 -- 100
1,25 mm	N° 16	93,6	11	55	50 -- 85
0,630 mm	N° 30	58,2	7	48	25 --60
0,315 mm	N° 50	111,7	13	35	10 -- 30
0,160 mm	N° 100	258,3	31	4	2 --10
B N° 100		33	4	0	
Total		844,1	100		

Fuente: Elaboración propia

Muestra N°2

Tamaño de la muestra: 943,4 gr.

Temperatura de secado de la muestra:  $110 \pm 5$  °C

**Tabla 1.2.-** Granulometría arena muestra N°2.

Muestra N° 2					
Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido parcial	% Que pasa	NCh 163 Of. 79 % Que pasa
10 mm	3/8"	0	0	100	100
5 mm	N° 4	147,6	16	84	95 -- 100
2,5 mm	N° 8	178,5	19	65	80 -- 100
1,25 mm	N° 16	108,3	12	53	50 -- 85
0,630 mm	N° 30	63,4	6	47	25 --60
0,315 mm	N° 50	121,6	13	33	10 -- 30
0,160 mm	N° 100	269,5	29	5	2 --10
B N° 100		50,1	5	0	
Total		939	100		

Fuente: Elaboración propia

Muestra N°3

Tamaño de la muestra: 666 gr.

Temperatura de secado de la muestra:  $110 \pm 5$  °C

**Tabla 1.3.- Granulometría arena muestra N° 3.**

Muestra N° 3					
Tamiz		Peso Retenido(gr)	% Retenido parcial	% Que pasa	NCh 163 Of. 79 % Que pasa
10 mm	3/8"	0	0	100	100
5 mm	N° 4	106	16	84	95 -- 100
2,5 mm	N° 8	116,1	18	66	80 -- 100
1,25 mm	N° 16	73,8	11	55	50 -- 85
0,630 mm	N° 30	46,3	7	48	25 --60
0,315 mm	N° 50	97,5	15	33	10 -- 30
0,160 mm	N° 100	182,2	27	6	2 --10
B N° 100		40,7	6	0	
Total		662,6	100		

Fuente: Elaboración propia

## 2.- Granulometría Grava

Se tomaron tres muestras diferentes de grava, a las cuales se le realizó la granulometría como lo indica la norma NCh165 Of.77, el detalle de los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Muestra N°1

Tamaño de la muestra: 8.467 gr.

Temperatura de secado de la muestra:  $110 \pm 5$  °C

**Tabla 2.1.- Granulometría grava muestra N°1.**

Muestra N° 1					
Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido parcial	% Que pasa	NCh 163 Of. 79 % Que pasa
25 mm	1	0	0	100	100
20 mm	3/4"	10,1	0,12	100	90 -- 100
10 mm	3/8"	6228,4	73,69	26	20 -- 55
5 mm	4	2078,8	24,6	2	0 -- 10
Residuo		134,5	1,59	0	
Total		8451,8	100		

Fuente: Elaboración propia

Muestra N°2

Tamaño de la muestra: 8.520,9 gr.

Temperatura de secado de la muestra:  $110 \pm 5$  °C

**Tabla 2.2.-** Granulometría grava muestra N°2.

Muestra N° 2					
Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido parcial	% Que pasa	NCh 163 Of. 79 % Que pasa
25 mm	1	0	0	100	100
20 mm	3/4"	53,2	0,63	99	90 -- 100
10 mm	3/8"	6768,4	79,55	20	20 -- 55
5 mm	4	1647,1	19,36	1	0 -- 10
Residuo		39,5	0,46	0	
Total		8508,2	100		

Fuente: Elaboración propia

Muestra N°3

Tamaño de la muestra: 8.811,2gr.

Temperatura de secado de la muestra:  $110 \pm 5$  °C

**Tabla 2.3.-** Granulometría grava muestra N°3.

Muestra N° 3					
Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido parcial	% Que pasa	NCh 163 Of. 79 % Que pasa
25 mm	1	0	0	100	100
20 mm	3/4"	25,3	0,29	100	90 -- 100
10 mm	3/8"	6841,8	77,68	22	20 -- 55
5 mm	4	1897,1	21,54	1	0 -- 10
Residuo		42,8	0,49	0	
Total		8807	100		

Fuente: Elaboración propia

### 3.- Densidades de la Arena

Para la densidad aparente de la arena, se realizó lo descrito en la norma NCh 1116 Of. 77 Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente

#### 3.1.- Densidad Aparente

##### 3.1.1.- Densidad Aparente suelta

$$\rho_{as} = \left(\frac{ms}{v}\right) \text{ kg/ m}^3$$

Dónde:

$ms$ = masa del árido suelto que llena la medida.

$mc$ = masa del árido compactado que llena la medida.

$v$ = capacidad volumétrica de la medida.

**Tabla 3.1.-** Densidad aparente suelta de la arena.

<b>Densidad Aparente Suelta (kg/m3)</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Volumen recipiente</b>	<b>Peso muestra</b>	<b>Densidad aparente suelta</b>
	<b>m3</b>	<b>kg</b>	<b>Kg/m3</b>
Muestra 1	0,00104	1,736	1669
Muestra 2	0,00104	1,719	1653
Muestra 3	0,00104	1,728	1662
		<b>Promedio</b>	1661

Fuente: Elaboración propia

##### 3.1.2.- Densidad Aparente compactada

$$\rho_{ac} = \left(\frac{mc}{v}\right) \text{ kg/m}^3$$

Dónde:

$ms$  = masa del árido suelto que llena la medida.

$mc$ = masa del árido compactado que llena la medida.

$v$ = capacidad volumétrica de la medida.

**Tabla 3.2.-** Densidad aparente compactada de la arena.

<b>Densidad Aparente Compactada (kg/m3)</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Volumen recipiente</b>	<b>Peso muestra</b>	<b>Densidad aparente suelta</b>
	<b>m3</b>	<b>kg</b>	<b>Kg/m3</b>
Muestra 1	0,00104	1,834	1763
Muestra 2	0,00104	1,844	1773
Muestra 3	0,00104	1,858	1787
		<b>Promedio</b>	1774

Fuente: Elaboración propia

**3.2.- Densidades real, Neta y Absorción de la arena**

Para las densidades real y neta de la arena se aplicó el procedimiento establecido en la norma NCh 1239 Of.77 Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidades real y neta de la absorción de agua de las arenas.

**3.2.1.- Densidad real del árido saturado superficialmente seco**

$$\rho R s s s = \left( \frac{m s s s}{M a + m s s s - M m} \right) * 1000 \text{ kg/m}^3$$

**3.2.2.- Densidad real del árido seco**

$$\rho R s = \left( \frac{m s}{M a + m s s s - M m} \right) * 1000 \text{ kg/ m}^3$$

**3.2.3.- Densidad neta**

$$\rho N = \left( \frac{m s}{M a + m s - M m} \right) * 1000 \text{ kg/ m}^3$$

**3.2.4.- Absorción de agua**

$$\alpha = \left( \frac{m s s s - m s}{m s} \right) * 100\%$$

Dónde:

ρ = densidad.

ms = masa de la muestra seca.

m s s s = masa de la muestra saturada superficialmente seca.

Ma = masa del matraz con agua hasta la marca de calibración.

Mm = masa del matraz con la muestra más agua.

**Tabla 3.3.-** Promedio de densidades real, neta y absorción de la arena.

Densidad Real, Neta y Absorción								
Muestra	Peso matraz con agua	Peso matraz + muestra	Peso muestra sss	Peso muestra seca	Densidad real sss	Densidad real seca	Densidad neta	Absorción
	gr	gr	gr	gr	Kg/m3	kg/m3	Kg/m3	%
Muestra 1	658,4	720,4	100	98,4	2632	2589	2703	1,6
Muestra 2	658,4	729,9	100	98,7	2667	2632	2727	1,3
Muestra 3	658,6	720,6	100	98,9	2632	2603	2680	1,1
<b>Promedio</b>					2644	2608	2703	1,3

Fuente: Elaboración propia

#### 4.- Densidades de la Grava

Para la densidad aparente de la Grava, se realizó lo descrito en la norma NCh 1116 Of. 77 Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente

##### 4.1.- Densidad Aparente

##### 4.1.1.- Densidad Aparente suelta

$$\rho_{as} = \left(\frac{ms}{v}\right) \text{kg/ m}^3$$

Dónde:

*ms*= masa del árido suelto que llena la medida.

*mc*= masa del árido compactado que llena la medida.

*v*= capacidad volumétrica de la medida.

**Tabla 4.1.-** Densidad aparente suelta de la grava.

Densidad Aparente Suelta (kg/m3)					
Muestra	Peso del recipiente	Volumen recipiente	Peso muestra + peso recipiente	Peso muestra	Densidad aparente suelta
	Kg	m3	kg	kg	Kg/m3
Muestra 1	3,692	0,005173	11,651	7,959	1539
Muestra 2	3,692	0,005173	11,758	8,066	1559
Muestra 3	3,692	0,005173	11,699	8,007	1548
<b>Promedio</b>					1549

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.- Densidad Aparente compactada

$$\rho_{ac} = \left(\frac{mc}{v}\right) \text{kg/m}^3$$

Dónde:

$m_s$  = masa del árido suelto que llena la medida.

$m_c$  = masa del árido compactado que llena la medida.

$v$  = capacidad volumétrica de la medida.

**Tabla 4.2.-** Densidad aparente compactada de la grava.

Densidad Aparente Compactada (kg/m3)					
Muestra	Peso del recipiente	Volumen recipiente	Peso muestra + peso recipiente	Peso muestra	Densidad aparente suelta
	kg	m3	Kg	kg	Kg/m3
Muestra 1	3,692	0,005173	12,026	8,334	1611
Muestra 2	3,692	0,005173	11,984	8,292	1603
Muestra 3	3,692	0,005173	12,029	8,337	1612
<b>Promedio</b>					1609

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.- Densidades real, Neta y Absorción de la Grava

Para las densidades real y neta de la arena se aplicó el procedimiento establecido en la norma NCh 1117 Of.77 Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidades real y neta de la absorción de agua de las gravas.

##### 4.2.1.- Densidad real del árido saturado superficialmente seco

$$\rho_{RT} = \frac{B}{B-A} * 1.000 \text{ Kg/m}^3$$

##### 4.2.2.- Densidad real del árido seco

$$\rho_{RT} = \frac{B}{B-A} * 1.000 \text{ Kg/m}^3$$

#### 4.2.3.- Densidad neta

$$\rho N = \frac{C}{C - A} * 1.000 \text{ Kg/m}^3$$

#### 4.2.4.- Absorción de agua

$$\alpha = \frac{B - C}{C} * 100\%$$

Dónde:

$\rho$  = densidad.

A = masa de la muestra sumergida.

B = masa de la muestra saturada superficialmente seca

C = masa de la muestra seca.

**Tabla 4.3.-** Promedio de densidades real, neta y absorción de la grava.

Densidad Real, Neta y Absorción							
Muestra	Peso muestra sumergida (A)	Peso muestra sss (B)	Peso muestra seca (C)	Densidad real sss	Densidad real seca	Densidad neta	Absorción
	gr	gr	gr	Kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	%
Muestra 1	1587	2540	2510	2665	2634	2719	1,18
Muestra 2	1513	2521	2499	2501	2479	2535	0,9
Muestra 3	1571	2526	2493	2645	2611	2704	1,32
			<b>Promedio</b>	2604	2575	2653	1,1

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO N°2

### 1.- Resistencia a compresión

A continuación se muestran los resultados obtenidos del ensayo de compresión, realizado a las probetas cúbicas de 15 x 15 x15 cm, tanto al hormigón patrón como a las de diferentes fibras con sus respectivas dosis.

#### 1.1.- Hormigón patrón

**Tabla 1.1.- Resistencia a compresión de hormigón patrón.**

Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
Patrón	15	15	15	15	15,1	15,1	15,2	15,2	45693,37	203,1
	15	15	15	15	15,1	15,1	15	15,1	43952	195,3
	15	15	15	15	15	15	15,1	15,1	46388,51	206,2
Promedio									45344,6	201,5

Fuente: Elaboración propia

#### 1.2.- Fibra de nylon

A continuación se expresan los resultados obtenidos de los ensayos a compresión de las probetas con fibra de nylon en sus tres dosis distintas, siendo F1P1 la dosis más baja, F1P2 la dosis intermedia y F1P3 la dosis con más cantidad de fibra.

En la siguiente tabla, se muestran los valores obtenidos de cada dosis de fibras para sus tres ejemplares, además del promedio de éstas.

**Tabla 1.2.- Resistencia a compresión, fibra de nylon.**

Fibra de nylon										
Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
F1P1	15	15	15	15	15,1	15,1	15	15	37447,34	166,4
	15	15	15	15	15,1	15,1	15	15,2	35566,88	158,1
	15	15	15	15	15	15,1	15,1	15,1	39232,66	174,4
Promedio									37415,6	166,3
Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
F1P2	15	15	15	15	15	15,1	15,1	15	39239,9	173,2
	15	15	15	15	15,1	15,3	15,2	15,2	38771,64	170
	15	15	15	15	15,1	15,2	15,1	15	39393,57	172,7
Promedio									39135,0	172,0
Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
F1P3	15	15	15	15	15,2	15,1	15,1	15,2	38947,34	171,9
	15	15	15	15	15	15	15,1	15,1	39210,63	174,3
	15	15	15	15	15,1	15,1	15,2	15,1	40052,1	178
Promedio									39403,4	174,7

Fuente: Elaboración propia.

**1.3.- Fibra de polipropileno reciclado**

A continuación se expresan los resultados obtenidos de los ensayos a compresión de las probetas con fibra de polipropileno reciclado en sus tres dosis distintas, siendo F2P1 la dosis más baja, F2P2 la dosis intermedia y F2P3 la dosis con más cantidad de fibra.

En la siguiente tabla, se muestran los valores obtenidos de cada dosis de fibras para sus tres ejemplares, además del promedio de éstas.

**Tabla 1.3.- Resistencia a compresión, fibra de polipropileno reciclado.**

Fibra de polipropileno reciclado										
Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
F2P1	15	15	15	15	15	15	15	15,1	38596,15	171,5
	15	15	15	15	15,1	15	15	15	38969,26	173,2
	15	15	15	15	15	15,2	15	15,1	37023,03	164,6
Promedio									38196,1	169,8
Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
F2P2	15	15	15	15	15,1	15	15,1	15,1	46088,41	204,8
	15	15	15	15	15,2	15	15,1	15,1	43745,82	194,7
	15	15	15	15	15,1	15,1	15,1	15	47903,1	212,9
Promedio									45912,4	204,1
Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
F2P3	15	15	15	15	15,1	15	15	15	38252,2	170
	15	15	15	15	15	15	15	15,1	38903,49	172,9
	15	15	15	15	15,2	15,1	15,1	15,1	37564,4	166,9
Promedio									38240,0	169,9

Fuente: Elaboración propia.

**1.4.- Fibra de acero**

A continuación se expresan los resultados obtenidos de los ensayos a compresión de las probetas con fibra de acero en sus tres dosis distintas, siendo F3P1 la dosis más baja, F3P2 la dosis intermedia y F3P3 la dosis con más cantidad de fibra.

En la siguiente tabla, se muestran los valores obtenidos de cada dosis de fibras para sus tres ejemplares, además del promedio de éstas.

**Tabla 1.4.- Resistencia a compresión, fibra de acero.**

Fibra de acero										
Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
F3P1	15	15	15	15	15	15	15,1	15,1	34915,79	155,18
	15	15	15	15	15,1	15	15,1	15	36737,61	163,28
	15	15	15	15	15,1	15	15,1	15	37286,43	165,71
Promedio									36313,3	161,4
Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
F3P2	15	15	15	15	15,1	15	15	15,1	43739,8	194,4
	15	15	15	15	15,1	15,1	15,2	15	40952,1	182,01
	15	15	15	15	15	15	15	15,1	44925,12	199,7
Promedio									43205,7	192,0
Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
F3P3	15	15	15	15	15,1	15,1	15,2	15,1	46988,41	208,84
	15	15	15	15	15,2	15,2	15,1	15,1	43166,59	191,9
	15	15	15	15	15	15,1	15,1	15,2	44617,77	198,3
Promedio									45077,5	199,7

Fuente: Elaboración propia.

**1.5.- Fibra de polipropileno/polietileno**

A continuación se expresan los resultados obtenidos de los ensayos a compresión de las probetas con fibra de polipropileno/polietileno en sus tres dosis distintas, siendo F4P1 la dosis más baja, F4P2 la dosis intermedia y F4P3 la dosis con más cantidad de fibra.

En la siguiente tabla, se muestran los valores obtenidos de cada dosis de fibras para sus tres ejemplares, además del promedio de éstas.

**Tabla 1.5.-** Resistencia a compresión, fibra de polipropileno/polietileno.

Fibra de polipropileno / polietileno										
Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
F4P2	15	15	15	15	15,1	15,2	15,2	15,2	43461,72	193,16
	15	15	15	15	15,1	15,1	15,1	15,1	42042,28	186,9
	15	15	15	15	15,1	15,2	15,2	15,2	43995,85	195,54
Promedio									43166,6	191,9
Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
F4P1	15	15	15	15	15,1	15,1	15,1	15	41135,04	182,82
	15	15	15	15	15	15,1	15,1	15,1	42093,47	187,1
	15	15	15	15	15,2	15,1	15,1	15,1	42554,48	189,13
Promedio									41927,7	186,4
Probetas	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h4 (cm)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
F4P3	15	15	15	15	15,1	15	15,1	15	45349,52	201,56
	15	15	15	15	15,1	15,1	15,1	15,1	43095,95	191,53
	15	15	15	15	15	15,1	15	15	42620,56	189,42
Promedio									43688,7	194,2

Fuente: Elaboración propia.

## 2.- Resistencia a tracción indirecta

A continuación se muestran los resultados obtenidos del ensayo de tracción indirecta (Hendimiento), realizado a las probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro x 30 cm de alto, tanto al hormigón patrón como a las de diferentes fibras con sus respectivas dosis.

### 2.1.- Hormigón patrón

**Tabla 2.1.-** Resistencia a tracción indirecta de hormigón patrón.

Patrón	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
Probeta 1	12500	17,7
Probeta 2	14000	19,8
Probeta 3	13500	19,1
Promedio	13333,3	18,9

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.- Fibra de nylon

A continuación se expresan los resultados obtenidos de los ensayos a tracción indirecta de las probetas con fibra de nylon en sus tres dosis distintas, siendo F1P1 la dosis más baja, F1P2 la dosis intermedia y F1P3 la dosis con más cantidad de fibra.

En la siguiente tabla, se muestran los valores obtenidos de cada dosis de fibras para sus tres ejemplares, además del promedio de éstas.

**Tabla 2.2.-** Resistencia a tracción indirecta, fibra de nylon.

Fibra de nylon			Fibra de nylon			Fibra de nylon		
F1P1	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	F1P2	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	F1P3	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
Probeta 1	13000	18,4	Probeta 1	13000	18,4	Probeta 1	15000	21,2
Probeta 2	13000	18,4	Probeta 2	13500	19,1	Probeta 2	14000	19,8
Probeta 3	12500	17,7	Probeta 3	14500	20,5	Probeta 3	15000	21,2
Promedio	12833,3	18,2	Promedio	13666,7	19,3	Promedio	14666,7	20,8

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.- Fibra de polipropileno reciclado

A continuación se expresan los resultados obtenidos de los ensayos a tracción indirecta (hendimiento) de las probetas con fibra de polipropileno reciclado en sus tres dosis distintas, siendo F2P1 la dosis más baja, F2P2 la dosis intermedia y F2P3 la dosis con más cantidad de fibra.

En la siguiente tabla, se muestran los valores obtenidos de cada dosis de fibras para sus tres ejemplares, además del promedio de éstas.

**Tabla 2.3.-** Resistencia a tracción indirecta, fibra de polipropileno reciclado.

Fibra de polipropileno			Fibra de polipropileno			Fibra de polipropileno		
F2P1	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	F2P2	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	F2P3	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
Probeta 1	13000	18,4	Probeta 1	15000	21,2	Probeta 1	14000	19,8
Probeta 2	12800	18,1	Probeta 2	14000	19,8	Probeta 2	14000	19,8
probeta 3	12200	17,3	Probeta 3	15000	21,2	Probeta 3	13000	18,4
Promedio	12666,7	17,9	Promedio	14666,7	20,8	Promedio	13666,7	19,3

Fuente: Elaboración propia.

### 2.4.- Fibra de acero

A continuación se expresan los resultados obtenidos de los ensayos a tracción indirecta (hendimiento) de las probetas con fibra de acero en sus tres dosis distintas, siendo F3P1 la dosis más baja, F3P2 la dosis intermedia y F3P3 la dosis con más cantidad de fibra.

En la siguiente tabla, se muestran los valores obtenidos de cada dosis de fibras para sus tres ejemplares, además del promedio de éstas.

**Tabla 2.4.-** Resistencia a tracción indirecta, fibra de acero.

Fibra de acero			Fibra de acero			Fibra de acero		
F3P1	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	F3P2	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	F3P3	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
Probeta 1	12000	17,0	Probeta 1	13200	18,7	Probeta 1	13500	19,1
Probeta 2	12000	17,0	Probeta 2	12000	17,0	Probeta 2	14800	20,9
Probeta 3	12200	17,3	Probeta 3	14600	20,7	Probeta 3	15000	21,2
Promedio	12066,7	17,1	Promedio	13266,7	18,8	Promedio	14433,3	20,4

Fuente: Elaboración propia.

## 2.5.- Fibra de polipropileno/polietileno

A continuación se expresan los resultados obtenidos de los ensayos a tracción indirecta (hendimiento) de las probetas con fibra de polipropileno/polietileno en sus tres dosis distintas, siendo F4P1 la dosis más baja, F4P2 la dosis intermedia y F4P3 la dosis con más cantidad de fibra.

En la siguiente tabla, se muestran los valores obtenidos de cada dosis de fibras para sus tres ejemplares, además del promedio de éstas.

**Tabla 2.5.- Resistencia a tracción indirecta, fibra de polipropileno/polietileno.**

Fibra de polipropileno con polietileno			Fibra de polipropileno con polietileno			Fibra de polipropileno con polietileno		
F4P1	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	F4P2	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	F4P3	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
Probeta 1	13500	19,1	Probeta 1	11000	15,57	Probeta 1	14800	15,9
Probeta 2	13800	19,5	Probeta 2	9800	13,87	Probeta 2	15000	16,1
Probeta 3	14000	19,8	Probeta 3	10500	14,86	Probeta 3	15000	16,1
Promedio	13766,7	19,5	Promedio	10433,3	14,8	Promedio	14933,3	16,0

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.- Resistencia al impacto

A continuación se muestran los resultados obtenidos del ensayo de resistencia al impacto, realizado a las probetas rectangulares de 20 cm x 20 cm x 6 cm de alto, tanto al hormigón patrón como a las de diferentes fibras con sus respectivas dosis.

#### 3.1.- Hormigón patrón

**Tabla 3.1.-** Resistencia al impacto de hormigón patrón.

Patrón	Altura (cm)	N° de golpes
Probeta 1	35	11
Probeta 2	33	9
Probeta 3	35	11
Promedio	34,3	

Fuente: Elaboración propia

#### 3.2.- Fibra de nylon

A continuación se expresan los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia al impacto de las probetas con fibra de nylon en sus tres dosis distintas, siendo F1P1 la dosis más baja, F1P2 la dosis intermedia y F1P3 la dosis con más cantidad de fibra.

En la siguiente tabla, se muestran los valores obtenidos de cada dosis de fibras para sus tres ejemplares, además del promedio de éstas.

**Tabla 3.2.-** Resistencia al impacto, fibra de nylon.

Fibra de nylon			Fibra de nylon			Fibra de nylon		
F1P1	Altura (cm)	N° de golpes	F1P2	Altura (cm)	N° de golpes	F1P3	Altura (cm)	N° de golpes
Probeta 1	32	8	Probeta 1	35	11	Probeta 1	35	11
Probeta 2	36	12	Probeta 2	38	14	Probeta 2	35	11
Probeta 3	33	9	Probeta 3	36	12	Probeta 3	37	13
Promedio	33,7		Promedio	36,3		Promedio	35,7	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.- Fibra de polipropileno reciclado

A continuación se expresan los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia al impacto de las probetas con fibra de polipropileno reciclado en sus tres dosis distintas, siendo F2P1 la dosis más baja, F2P2 la dosis intermedia y F2P3 la dosis con más cantidad de fibra.

En la siguiente tabla, se muestran los valores obtenidos de cada dosis de fibras para sus tres ejemplares, además del promedio de éstas.

**Tabla 3.3.-** Resistencia al impacto, fibra de polipropileno reciclado.

Fibra de polipropileno reciclado			Fibra de polipropileno reciclado			Fibra de polipropileno reciclado		
F2P1	Altura (cm)	N° de golpes	F2P2	Altura (cm)	N° de golpes	F2P3	Altura (cm)	N° de golpes
Probeta 1	37	13	probeta 1	35	11	Probeta 1	35	11
Probeta 2	35	11	Probeta 2	35	11	Probeta 2	34	10
Probeta 3	37	13	Probeta 3	36	12	Probeta 3	36	12
Promedio	36,3		Promedio	35,3		Promedio	35,0	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.- Fibra de acero

A continuación se expresan los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia al impacto de las probetas con fibra de acero en sus tres dosis distintas, siendo F3P1 la dosis más baja, F3P2 la dosis intermedia y F3P3 la dosis con más cantidad de fibra.

En la siguiente tabla, se muestran los valores obtenidos de cada dosis de fibras para sus tres ejemplares, además del promedio de éstas.

**Tabla 3.4.-** Resistencia al impacto, fibra de acero.

Fibra de acero			Fibra de acero			Fibra de acero		
F3P1	Altura (cm)	N° de golpes	F3P2	Altura (cm)	N° de golpes	F3P3	Altura (cm)	N° de golpes
Probeta 1	35	11	Probeta 1	36	12	Probeta 1	35	11
Probeta 2	34	10	Probeta 2	35	11	Probeta 2	36	12
Probeta 3	37	13	Probeta 3	32	8	Probeta 3	36	12
Promedio	35,3		Promedio	34,3		Promedio	35,7	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.- Fibra de polipropileno/polietileno

A continuación se expresan los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia al impacto de las probetas con fibra de polipropileno/polietileno en sus tres dosis distintas, siendo F4P1 la dosis más baja, F4P2 la dosis intermedia y F4P3 la dosis con más cantidad de fibra.

En la siguiente tabla, se muestran los valores obtenidos de cada dosis de fibras para sus tres ejemplares, además del promedio de éstas.

**Tabla 3.5.-** Resistencia al impacto, fibra de polipropileno/polietileno.

Fibra de polipropileno/polietileno			Fibra de polipropileno/polietileno			Fibra de polipropileno/polietileno		
F4P1	Altura (cm)	N° de golpes	F4P2	Altura (cm)	N° de golpes	F4P3	Altura (cm)	N° de golpes
Probeta 1	35	11	probeta 1	37	13	Probeta 1	36	12
Probeta 2	34	10	Probeta 2	36	12	Probeta 2	39	15
Probeta 3	32	8	Probeta 3	35	11	Probeta 3	37	13
Promedio	33,7		Promedio	36,0		Promedio	37,3	

**Fuente:** Elaboración propia.