



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA CONSTRUCCIÓN CIVIL

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS HIBRIDAS,  
SOBRE LA RESISTENCIA AL IMPACTO Y SOBRE LA PERMEABILIDAD DEL  
HORMIGÓN”**

**Por  
Carolina Flores Mesías**

Tesis para optar al grado de licenciado en ciencias de la construcción y/o al título  
de ingeniero constructor.

Prof. Guía: Juan Egaña Ramos

Mayo, 2014

*Dedicada a mí Querida y Amada Hija  
Catalina, que a pesar de su corta edad,  
comprendió el gran esfuerzo de su madre.*

## Agradecimientos

A mi Profesor Guía Juan Egaña Ramos, por su apoyo incondicional y siempre buena disposición para brindar la ayuda necesaria, para el desarrollo de este estudio.

A la gran familia que tengo mi madre Carolina, mi padre Juan Carlos y mi querida hermana Catalina, agradecer el gran apoyo que fueron durante estos largos años de estudios

Agradecer a mi hermosa hija Catalina, que a pesar de ser tan pequeña entendió la labor de su madre y me acompañó en este gran proceso. A mi pareja Mayron, por estar ahí siempre en todo momento para alentarme y ayudarme en el cuidado de mi hija mientras yo estudiaba.

A toda mi familia, incluyendo Abuelos, Tíos, Primos, Suegros y Cuñada. En especial a mi tía Carmen que muchas gracias a su gran apoyo incondicional en todo momento y en todo ámbito, a mi tía Juana que pude contar con ella en todo momento cuando lo necesitaba.

A mis amigos, en especial a mi amiga Carol, por estar en todo momento importante de mi vida y brindarme su apoyo. A mi amiga Daniela, por entregarme tan buenos momentos durante los años que fuimos compañeras.

A mi querida secretaria Emperatriz Villanueva, encontrar una persona tan alegre y con tan buena disposición en esta vida cuesta, pero usted es un fiel reflejo de ello. Gracias por aguantarme tantos años.

Finalmente agradecer a todas las personas que colaboraron en la elaboración de este estudio, a los funcionarios de los laboratorios, en especial al Aldo que me brindó su ayuda, a mis compañeros y amigos.

## Índice General

Resumen	
<b>Capítulo I: antecedentes Generales</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Introducción</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Planteamiento del Problema</b>	<b>10</b>
<b>1.3 Objetivos</b>	<b>12</b>
1.3.1 Principal	12
1.3.2 Secundarios	12
<b>1.4 Hipótesis</b>	<b>12</b>
<b>1.5 Alcances</b>	<b>13</b>
1.5.1 Generales	13
1.5.2 Particulares	13
1.5.2.1 Permeabilidad	13
1.5.2.2 Resistencia al Impacto	14
<b>1.6 Metodología de la Investigación</b>	<b>15</b>
<b>Capítulo II: Marco Teórico</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Hormigón</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Componentes del hormigón</b>	<b>16</b>
2.2.1 Cemento	16
2.2.2 Áridos	16
2.2.3 Agua	17
2.2.4 Aditivos	17
2.2.5 Adiciones	17
2.2.5.1 Fibras	17
<b>2.3 Propiedades del hormigón</b>	<b>18</b>
<b>2.3.1 Resistencia a la compresión</b>	<b>19</b>
<b>2.3.2 Permeabilidad</b>	<b>19</b>
2.3.2.1 Influencia de la relación agua – cemento	20
2.3.2.2 Influencia del curado	21
2.3.2.3 Influencia de los aditivos	22
2.3.3 Resistencia al Impacto	22
2.3.3.1 Ensayo a Soleras	22
2.3.3.2 Ensayo a baldosas	24
<b>Capítulo III: Programa Experimental</b>	<b>26</b>
3.1 Generalidades	26
3.2 Diseño de Hormigones	26
3.3 Ensayos	27
3.3.1 Compresión	27
3.3.2 Permeabilidad	28
3.3.3 Resistencia al Impacto	29

<b>Capítulo IV: Desarrollo Experimental.....</b>	<b>31</b>
4.1 Caracterización de los materiales.....	31
4.1.1 Cemento.....	31
4.1.2 Agua.....	31
4.1.3 Adiciones.....	31
4.1.4 Áridos.....	31
4.1.4.1 Granulometría Arena .....	31
4.1.4.2 Densidad Arena.....	36
4.1.4.3 Densidad Aparente.....	36
4.1.4.4 Densidad Real, Neta y absorción.....	37
4.1.4.5 Granulometría Gravilla.....	38
4.1.4.6 Densidad Gravilla.....	41
4.1.4.7 Densidad Aparente.....	41
4.1.4.8 Densidad Real, Neta y absorción.....	42
4.1.4.9 Árido combinado.....	43
4.2 Calculo dosificación.....	45
4.3 Dosificación H30 (90) 20.....	46
4.4 Fabricación de Hormigón.....	46
4.5 Preparación Probetas.....	47
4.5.1 Compresión.....	47
4.5.2 Permeabilidad.....	48
4.5.3 Resistencia al Impacto.....	49
<b>Capítulo V: Presentación y Análisis de Resultados.....</b>	<b>50</b>
5.1 Asentamiento de Cono.....	50
5.2 Resistencia a la Compresión.....	53
5.3 Permeabilidad.....	59
5.4 Resistencia al Impacto.....	65
5.4.1 Probetas.....	65
5.4.1.1 Hormigón Patrón.....	65
5.4.1.2 Hormigón + 1,5 (kg/m <sup>3</sup> ).....	66
5.4.1.3 Hormigón + 2,0 (kg/m <sup>3</sup> ).....	68
5.4.1.4 Hormigón + 2,5 (kg/m <sup>3</sup> ).....	69
5.4.1.5 Hormigón + 3,0 (kg/m <sup>3</sup> ).....	70
5.4.2 Alturas de Impacto Registradas.....	71
<b>Capítulo V: Presentación y Análisis de Resultados.....</b>	<b>78</b>
<b>6.1 Respecto a los Ensayos .....</b>	<b>78</b>
<b>6.2 Propuesta de Futuras investigaciones.....</b>	<b>79</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>80</b>

## Índice de Tablas

Tabla 2.1 Tiempo Requerido de curado para impermeabilizar la pasta de cemento.....	21
Tabla 2.2 Resistencia al impacto para piezas de uso interior.....	25
Tabla 2.3 Resistencia al impacto para piezas de uso exterior.....	25
Tabla 3.1 Modelo para el registro de alturas, resistencia al impacto.....	30
Tabla 4.1 Granulometría arena, Muestra 1 .....	32
Tabla 4.2 Granulometría arena, Muestra 2 .....	32
Tabla 4.3 Granulometría arena, Muestra 3.....	33
Tabla 4.4 Granulometría arena, Muestra promedio.....	33
Tabla 4.5 Granulometría arena corregida.....	34
Tabla 4.6 Densidad Aparente Suelta, arena .....	36
Tabla 4.7 Densidad Aparente Compactada, arena .....	37
Tabla 4.8 Densidades Real, Neta y absorción, arena.....	38
Tabla 4.9 Granulometría Gravilla, Muestra 1.....	38
Tabla 4.10 Granulometría Gravilla, Muestra 2.....	39
Tabla 4.11 Granulometría Gravilla, Muestra 3.....	39
Tabla 4.12 Granulometría Gravilla, Muestra promedio.....	40
Tabla 4.13 Densidad Aparente suelta, Gravilla.....	41
Tabla 4.14 Densidad Aparente Compactada, Gravilla.....	42
Tabla 4.15 Densidades Real, Neta y absorción, Gravilla.....	43
Tabla 4.16 Árido Combinado.....	43
Tabla 4.17 Dosificación Hormigón .....	46
Tabla 4.18 Dosificación Fibras.....	46
Tabla 5.1 Asentamiento de cono.....	50
Tabla 5.2 Variación del asentamiento de cono con respecto al patrón, porcentaje.....	52
Tabla 5.3 Datos de Resistencia a compresión.....	53
Tabla 5.4 Desviación estándar y coeficiente de variación, compresión.....	55
Tabla 5.5 Variación con respecto al patrón, Compresión .....	55
Tabla 5.6 Medición de Penetración de agua de hormigón estudio.....	59
Tabla 5.7 Desviación estándar y coeficiente de variación, permeabilidad.....	61
Tabla 5.8 Variación con respecto al patrón, permeabilidad .....	61
Tabla 5.9 Probetas Patrón, Resistencia al impacto.....	65
Tabla 5.10 Probetas Estudio + 1,5 (kg/m <sup>3</sup> ), Resistencia al impacto.....	66
Tabla 5.11 Probetas Estudio + 2,0 (kg/m <sup>3</sup> ), Resistencia al impacto .....	68
Tabla 5.12 Probetas Estudio + 2,5 (kg/m <sup>3</sup> ), Resistencia al impacto .....	69
Tabla 5.13 Probetas Estudio + 3,0 (kg/m <sup>3</sup> ), Resistencia al impacto.....	70
Tabla 5.14 Altura de Fisura Hormigón Patrón.....	71
Tabla 5.15 Altura de Fisura Hormigón 1,5 (kg/m <sup>3</sup> ) .....	71
Tabla 5.16 Altura de Fisura Hormigón 2,0 (kg/m <sup>3</sup> ) .....	71
Tabla 5.17 Altura de Fisura Hormigón 2,5 (kg/m <sup>3</sup> ) .....	72
Tabla 5.18 Altura de Fisura Hormigón 3,0 (kg/m <sup>3</sup> ) .....	72
Tabla 5.19 Desviación estándar y coeficiente de variación, Resistencia al impacto.....	74
Tabla 5.20 Variación con respecto al patrón, resistencia al impacto.....	75

## Índice de Figuras

Figura 2.1 Fibras sintéticas Híbridas RXF54.....	17
Figura 2.2 Gráfico de relación entre permeabilidad y Porosidad.....	20
Figura 2.3 Gráfico de la influencia de la razón agua/cemento en la permeabilidad.....	21
Figura 2.4 Esquema del ensayo de Resistencia al impacto.....	24
Figura 3.1 Probeta Cúbica de Compresión.....	27
Figura 3.2 Probeta Cilíndrica de compresión.....	27
Figura 3.3 Ensayo de Permeabilidad.....	28
Figura 3.4 Probetas de resistencia al impacto.....	29
Figura 4.1 Granulometría Arena.....	34
Figura 4.2 Granulometría Arena Corregida.....	35
Figura 4.3 Granulometría Gravilla.....	40
Figura 4.4 Granulometría Árido Combinado.....	44
Figura 5.1 Gráfico de Asentamiento de cono.....	50
Figura 5.2 Asentamiento de cono, hormigón patrón.....	51
Figura 5.3 Gráfico lineal del asentamiento de cono.....	51
Figura 5.4 Gráfico de variación del asentamiento de cono con respecto al patrón.....	52
Figura 5.5 Gráfico Resistencia a Compresión.....	54
Figura 5.6 Gráfico lineal Resistencia a compresión.....	55
Figura 5.7 Gráfico de variación con respecto al patrón, compresión.....	56
Figura 5.8 Ensayo de compresión.....	57
Figura 5.9 Probeta de Compresión, sin adición de fibras.....	57
Figura 5.10 Probeta de compresión con adición de fibras.....	58
Figura 5.11 Gráfico de Penetración de agua.....	58
Figura 5.12 Gráfico Lineal de Penetración de agua.....	61
Figura 5.13 Gráfico de variación con respecto al patrón, permeabilidad.....	62
Figura 5.14 Probeta lista para someter a ensayo.....	63
Figura 5.15 Ensayo de Permeabilidad.....	63
Figura 5.16 Rotura de la probeta.....	64
Figura 5.17 Medición de la penetración del agua.....	64
Figura 5.18 Probetas de hormigón patrón, resistencia al impacto.....	66
Figura 5.19 Probetas estudio 1,5(kg/m <sup>3</sup> ), Resistencia al impacto.....	67
Figura 5.20 Probetas estudio 2,0(kg/m <sup>3</sup> ), Resistencia al impacto.....	68
Figura 5.21 Probetas estudio 2,5(kg/m <sup>3</sup> ), Resistencia al impacto.....	69
Figura 5.22 Probetas estudio 3,0 (kg/m <sup>3</sup> ), Resistencia al impacto.....	70
Figura 5.23 Gráfico de Resistencia al Impacto.....	73
Figura 5.24 Gráfico lineal de Resistencia al impacto.....	74
Figura 5.25 Gráfico de variación con respecto al patrón, resistencia al impacto.....	75
Figura 5.26 Equipo de Resistencia al impacto.....	76
Figura 5.27 Bola para impacto.....	76
Figura 5.28 Impacto de la Masa.....	77

## Resumen

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la influencia de la incorporación de fibras sintéticas híbridas RXF54 en la compresión, permeabilidad y resistencia al impacto en hormigones. Ampliando el estudio que generó el Ingeniero Tomás Córdova Molina, que evaluó las propiedades mecánicas y retracción hidráulica en hormigones con dichas fibras.

Se elaboran hormigones con diversas dosificaciones de fibras para ser sometidos a estudios de permeabilidad y resistencia al impacto, se considera un hormigón patrón (sin la adición de fibras), se irá variando la cantidad de fibra adicionada, partiendo de la cantidad recomendada por el fabricante de la fibra, que consta de  $1,5 \text{ kg/m}^3$ , aumentando hasta llegar a una incorporación máxima de  $3,0 \text{ kg/m}^3$ .

Las probetas con la mayor adición de fibras sintéticas híbridas ( $3,0 \text{ kg/m}^3$ ), presentaron un aumento considerable de un 27% de la resistencia al impacto, con respecto al hormigón patrón que no posee adición de fibras. Las probetas con adiciones de fibras sintéticas híbridas, en sus distintas proporciones entregaron resultados satisfactorios en cuanto a la reducción de la permeabilidad en el hormigón, llegando a una disminución máxima del 40% con respecto al patrón

Se concluye que la adición de fibras sintéticas híbridas, en sus diversas dosificaciones desde  $1,5 \text{ kg/m}^3$  hasta  $3,0 \text{ kg/m}^3$ , producen una disminución de la permeabilidad en hormigones y genera un aumento de la resistencia al impacto.

Palabras claves: fibras sintéticas híbridas, resistencia al impacto, permeabilidad, resistencia compresión.

### **Abstract**

The present study aims to evaluate the influence of incorporating hybrid RXF54 synthetic fibers in compression, permeability and impact resistance in concrete. Expanding the study that generated the Engineer Tomás Córdova Molina, who evaluated the mechanical properties and drying shrinkage in concrete with such fibers.

Concretes are made with different dosages of fibers to be subjected to permeation studies and impact resistance is considered a standard concrete ( without the addition of fibers), it will vary the amount of added fiber , based on the amount recommended by the manufacturer fiber , consisting of 1.5 kg/m<sup>3</sup> , increasing up to a maximum incorporation of 3.0 kg/m<sup>3</sup>.

The specimens with the further addition of hybrid synthetic fibers (3.0 kg/m<sup>3</sup>), showed a significant increase of 27% of the impact strength with respect to the concrete pattern that has no addition of fibers. Specimens with additions of synthetic fibers hybrid, in their various proportions gave satisfactory results in terms of reduction of the permeability in the concrete, reaching a maximum decrease of 40 % from the standard.

We conclude that the addition of synthetic fibers hybrid, in its various doses from 1.5 kg/m<sup>3</sup> to 3.0 kg/m<sup>3</sup>, produces a decrease in permeability in concrete and leads to higher impact resistance.

Keywords: hybrid synthetic fibers, impact resistance, permeability, compression resistance.

# Capítulo 1: Antecedentes Generales

## 1.1 Introducción

Con el transcurso del tiempo se generan nuevas tecnologías sobre la elaboración del hormigón, con diversos aditivos, adiciones, procesos, etc; y a través de esto nace la necesidad de generar investigaciones sobre estos nuevos procesos.

El ingeniero Constructor, Tomás Córdova Molina, formado en esta Universidad, comenzó con el estudio sobre el empleo de fibras sintéticas híbridas en el hormigón. Se trata de un material novedoso incorporado recientemente en el mercado de nuestro país, de origen italiano. La investigación del Ingeniero Tomás Córdova, estuvo dedicado a conocer experimentalmente el efecto de este tipo de fibras sobre las resistencias mecánicas del hormigón: flexotracción, compresión, hendidamiento y sobre su retracción hidráulica.

A través de este estudio se persigue ampliar el conocimiento del efecto de incorporación de dichas fibras, sobre las propiedades del hormigón, estudiando sobre la permeabilidad y la resistencia al impacto.

## 1.2 Planteamiento del Problema

Las propiedades del hormigón fraguado, son las que preocupan a los proyectistas, para definir las calidades a alcanzar en cada elemento constructivo, entre ellas encontramos: Resistencias mecánicas, adherencia, durabilidad, compacidad, permeabilidad, etc. (Cassinello.F; 1996) Destacando ésta última, como una propiedad importante a la hora de construir, ya que tendrá relación con la durabilidad que tendrá el hormigón.

Un hormigón con una pasta de relación agua/cemento de 0,4 será siempre impermeable Cuando existe un exceso de agua en las pastas de hormigones, aquélla queda retenida en los espacios capilares, de tal modo que, por las determinaciones de la permeabilidad, se deduce si hay “continuidad en los poros capilares”. Esta se produce cuando la relación agua /cemento es próxima a 0,7 (Rixom, M; 1978). La relación agua – cemento (a/c) afecta no solamente la resistencia a la compresión del hormigón sino también su permeabilidad. Pequeños cambios en esa relación (a/c) pueden significar apreciables diferencias en la permeabilidad (ICPA). En cuanto a la capacidad de absorber golpes y energía en elementos formados por hormigón, son variables dependiendo de su composición, dosificación, dimensiones, etc.

Para hormigones impermeables actualmente se utilizan una tecnología multifuncional, sobre la base de varios tipos de aditivos, los que se pueden combinar para producir el hormigón óptimo para cada proyecto (AFADI, 1999) Para la resistencia al impacto solo se desarrolla su ensayo, sin aplicar nuevos aditivos o adiciones

A pesar de los aditivos ya existentes, debemos innovar con elementos que nos propongan disminuir la permeabilidad del hormigón y enriquecer otras propiedades, tales como mayor resistencia a la tracción, contrarrestar la contracción, aumentar la resistencia al impacto, etc. 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 los poros que se forman en el hormigón. Ruredil X Fiber 54 es una fibra estructural sintética químicamente inerte que no está sujeta al normal degrado que caracteriza cualquier fibra metálica. Esto significa que no se deteriora bajo ningún tipo de condición de ambiente químico agresivo, que asegura al diseñador máxima garantía de duración de la obra.

A través de este estudio se propone utilizar fibras sintéticas híbridas, que se componen de una mezcla de: fibras de un copolímero poliolefínico y una fibra fibrilada de polipropileno, diseñadas para mejorar la durabilidad y las propiedades mecánicas del hormigón (Ruderil). Así conocer la capacidad que posee para reducir la permeabilidad en el hormigón o por el contrario aumentar. Y conocer si aumenta la resistencia al impacto o bien disminuye ésta. La permeabilidad del hormigón puede determinarse en el laboratorio mediante una prueba sencilla (Neville, 1995). Utilizando: Método de ensayo- Determinación de la impermeabilidad al agua- Método de la penetración de agua bajo presión Nch2262. 2009. Para los ensayos de resistencia al impacto se generarán, mediante un plan de ensayos diseñados por el investigador.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Principal**

- Evaluar la influencia de las fibras sintéticas híbridas en la permeabilidad al agua del hormigón.
- Evaluar el efecto que causa la incorporación de fibras sintéticas híbridas, sobre la resistencia al impacto del hormigón.

#### **1.3.2 Secundarios**

- Determinar diversas dosificaciones de la fibra, que puedan disminuir la permeabilidad del hormigón.
- Determinar una eventual relación entre la resistencia al impacto, con la resistencia a la compresión.

### **1.4 Hipótesis**

“La utilización de fibras sintéticas híbridas en el hormigón provocaría la disminución de la permeabilidad al agua y aumentaría la resistencia al impacto”

## **1.5 Alcances**

La siguiente investigación tiene como propósito ampliar el estudio otorgado por el Ingeniero Tomás Córdova Molina, consideración la adición de fibras sintéticas híbridas al hormigón, para estudiar la resistencia al impacto y la permeabilidad

Para determinar la permeabilidad al agua del hormigón se utiliza el procedimiento de NCh. 2262 Of.2009 “Método de la penetración de agua bajo presión”

Para la determinación de la Resistencia al Impacto, se utiliza el ensayo de impacto, modificado al diseño del investigador.

Se utilizara hormigones H-30, ya que es el más utilizado en el ámbito de la construcción.

Se trabaja con 4 dosis distintas de adiciones de fibras: 1,5 kg/m<sup>3</sup>, 2,0 kg/m<sup>3</sup>, 2,5 kg/m<sup>3</sup> y 3,0 kg/m<sup>3</sup>

### **1.5.1 Generales**

Durante el desarrollo de esta experiencia se mantendrá lo siguiente:

- Tipo de cemento.
- Tipo de fibra.
- Tipo de Agua.
- La procedencia y granulometría de los áridos

### **1.5.2 Particulares**

#### **1.5.2.1 Permeabilidad**

El ensayo será aplicado a probetas de dimensiones: 15x15x12 cms., que cumplan con NCh 2262 Of.2009

Utilización de fibras sintéticas híbridas, llamadas comercialmente Ruderil Fx54

La variación de la cantidad de fibras, se hace de acuerdo a las recomendaciones propuestas por el fabricante.

Tamaño máximo del árido 20 mm.

### **1.5.2.2 Resistencia al Impacto**

El ensayo será aplicado a probetas diseñadas por el investigador, rigiéndose por la metodología correspondiente.

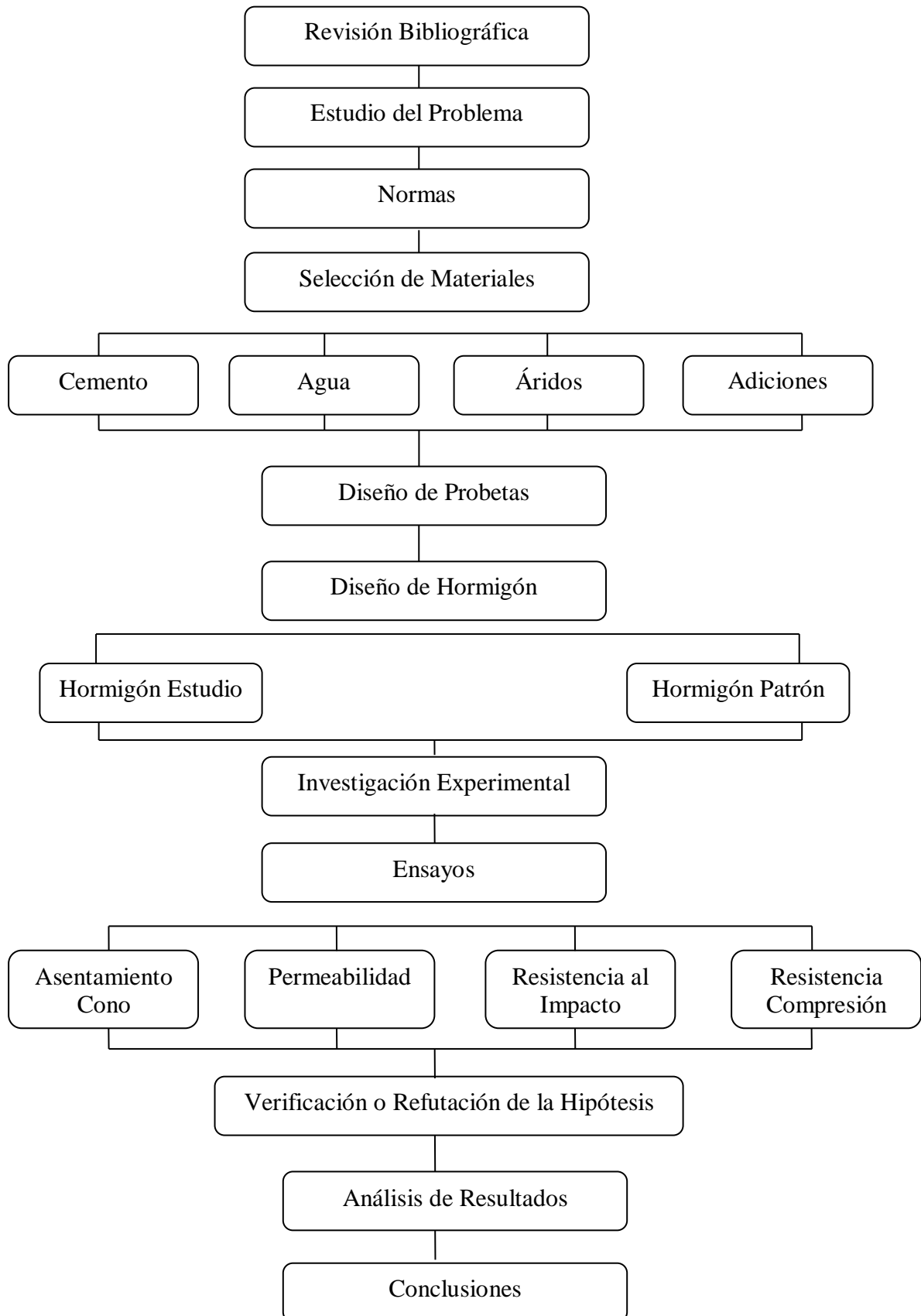
El equipo del ensayo será diseñado por el investigador, estableciendo sus propios parámetros de medición

Utilización de fibras sintéticas híbridas, llamadas comercialmente Ruredil Fx54

La variación de la cantidad de fibras, se hace de acuerdo a las recomendaciones propuestas por el fabricante.

Tamaño máximo del árido 20 mm.

## 1.6 Metodología de la Investigación



# Capítulo II: Marco Teórico

## 2.1 Hormigón

La sustancia químicamente activa de la mezcla es el cemento el cual se une física y químicamente con el agua y al endurecerse liga a los agregados, para formar una masa sólida semejante a una piedra. La dosificación condiciona las características en estado fresco y endurecido; en estado fresco se puede conformar por medios mecánicos (consistencia y docilidad); y en estado endurecido es rígido y presenta alta resistencia a la compresión y fractura frágil. El curado facilita la hidratación del cemento y produce resistencias mecánicas. Se utiliza principalmente en elementos estructurales.

## 2.2 Componentes del Hormigón

### 2.2.1 Cemento

El cemento está compuesto principalmente por materiales calcáreos, tales como caliza, alúmina, sílice y óxido de hierro.

Todos los tipos de cemento son conglomerantes hidráulicos, esto es, que amasados con agua endurecen tanto al aire como bajo agua. La pasta de cemento endurecida que se forma en el proceso de endurecimiento es un material pétreo resistente al agua (Kohlhaas, Labahn, 1985)

La calidad del cemento mejora la resistencia del hormigón, un cemento de grado alta resistencia produce a 28 días un aumento del 20 a 30 % en el valor de la resistencia en relación al cemento de grado corriente.

### 2.2.2 Áridos

De un 65 a un 75% del volumen total del hormigón está compuesto por los áridos, denominado esqueleto, el agregado limita la resistencia del hormigón, ya que un agregado débil no puede producir concreto resistente y, además, afecta mucho la durabilidad y el comportamiento estructural del hormigón. (Neville, A; 1995),

Resulta económico generar una mezcla con un máximo de árido y un mínimo de cemento, ya que su diferencia de valor es considerable.

### 2.2.3 Agua

El agua utilizada en la fabricación del hormigón debe estar limpia y exenta de cantidades nocivas de aceites, ácidos, materias orgánicas u otras sustancias perjudiciales, en este caso agua potable. Esta se utiliza en diversas dosificaciones, dependiendo de los requerimientos que se deseen lograr.

### 2.2.4 Aditivos

Se trata de materiales activos que se agregan al hormigón en pequeñas cantidades. Con el efecto de modificar algunas de sus propiedades. Actúan sobre las partículas de cemento o sobre la pasta

### 2.2.5 Adiciones

Son materiales que se agregan al hormigón para mejorar propiedades. En este caso fibras sintéticas híbridas. 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)

#### 2.2.5.1 Fibras



**Figura 2.1: Fibras Sintéticas Híbridas RXF 54**

Material	: Mezcla de fibras de un copolímero poliolefinico y una fibra fibrilada de polipropileno.
Peso Específico	: 0.91 kg/dm <sup>3</sup>
Largo	: 54 mm
Diámetro equivalente	: 0,342mm
Relación largo/diámetro	: 158
Resistencia a tracción	: 620-758 MPa

Resistencia a los ácidos, las bases y las sales total conformidad ASTM C-1116

Ruredil X Fiber 54 es una fibra sintética estructural, diseñada para mejorar la durabilidad y las propiedades mecánicas del hormigón.

Es una fibra híbrida, compuesta por un monofilamento no fibrilado a base de una mezcla especial de polímeros poliolefinicos y una fibra fibrilada de polipropileno capaz de reducir y, en algunos casos, hasta eliminar totalmente la contracción plástica.

RXF 54 aumenta la resistencia a la flexión, la ductilidad, la resistencia a la fatiga y la durabilidad del hormigón

### **2.3 Propiedades del Hormigón**

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 hace un análisis del hormigón fraguado, bajo los parámetros establecidos en esta investigación.

### 2.3.1 Resistencia a Compresión

La resistencia a la compresión se ha considerado, desde hace mucho tiempo, el parámetro más importante de la calidad del hormigón. Es una propiedad fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseños de puentes, edificios y otras estructuras.

La resistencia a compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de hormigón a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg/cm}^2$ ) a una edad de 28 días. La resistencia a la compresión aumenta, si la relación agua/cemento disminuye, ya que se encuentra en función de ésta. Esto también influye en la resistencia a la flexión, resistencia a la tracción y adherencia.

Teóricamente la resistencia a la compresión es unas diez veces mayor que la resistencia a la tracción, pero no existe una relación lineal.

### 2.3.2 Permeabilidad

La permeabilidad es la propiedad de los materiales de permitir el paso de fluidos, sin alterar su propia estructura. La rapidez con la que un fluido atraviesa un cuerpo sólido depende del tipo de sustancia que constituye el cuerpo, de la presión del fluido y de la temperatura, entre otras. Para ser permeable, un material tiene que ser poroso, es decir, tiene que disponer de espacios vacíos, los poros, capaces de absorber líquido. Los poros, además, tienen que estar conectados por una red de intersticios que permita que el fluido atraviese la sustancia sólida. Para ser impermeable, al contrario, un material tiene que disponer de una estructura densa y compacta, sin intersticios comunicantes entre ellos. (Tecno B, 2010).

Cuanto más permeable sea el hormigón menor será su durabilidad. Un hormigón permeable es propenso a su desintegración porque el agua que penetra en sus poros se expande por congelación sometándolo a tensiones que no puede soportar. Igualmente la fácil penetración de sulfatos, ácidos y otros productos químicos agresivos aceleran el proceso de destrucción del hormigón, así como de las barras de acero en los hormigones armados.

El hormigón es un material poroso. El volumen, tamaño y distribución de los poros y sus características regulan la rapidez con que el hormigón absorbe agua y otros líquidos o gases, y su permanencia en los mismos. Tiene un sistema de poros internos y vacíos comunicados entre sí; su tamaño, número y continuidad hacen al hormigón más o menos permeable a gases, líquidos y sales disueltas. Estos poros pueden presentarse en la pasta de cemento, en los agregados y en la zona de contacto de ambos.

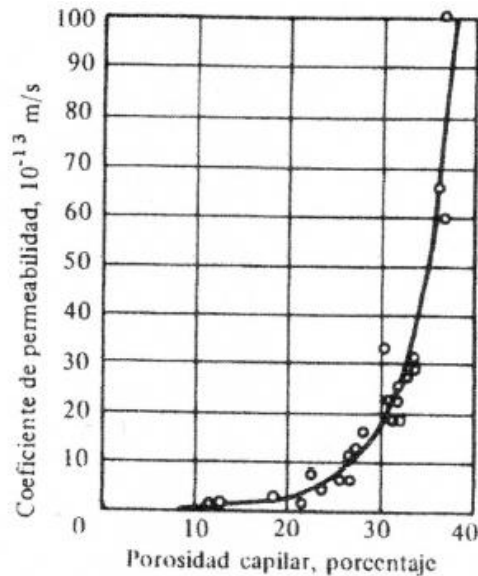
Puede decirse que todas las etapas de la construcción del hormigón, desde la selección de los materiales hasta las prácticas constructivas, influyen de algún modo sobre la permeabilidad del hormigón. No obstante puede afirmarse que sobre la misma influyen fundamentalmente, la relación agua – cemento, el proceso de curado y el uso de aditivos químicos y minerales.

### 2.3.2.1 Influencia de la relación agua – cemento

La relación agua – cemento (a/c) afecta no solamente la resistencia a la compresión del hormigón sino también su permeabilidad. Pequeños cambios en esa relación (a/c) pueden significar apreciables diferencias en la permeabilidad.

La relación agua – cemento (a/c) se define como el peso del agua presente por unidad de peso de cemento. Una relación de 0,5 significa que la pasta de cemento está compuesta por 50 kg de agua por cada 100 kg de cemento. A menor relación a/c, mayor es la concentración de la pasta. A mayor relación a/c, mayor es la dilución de la pasta. Si bien con una relación a/c de 0,5 puede parecer que existiera el doble de cemento con respecto al agua, esto no es cierto porque los volúmenes del agua y del cemento son diferentes. Cincuenta kilogramos de agua tienen un volumen de 50 dm<sup>3</sup>, mientras que cien kilogramos de cemento tienen un volumen aparente de 60 dm<sup>3</sup>, pero un volumen absoluto (volumen de las partículas sólidas de cemento) de apenas 30 dm<sup>3</sup>. El volumen total de la pasta resultante es 80 dm<sup>3</sup> (50 dm<sup>3</sup> + 30 dm<sup>3</sup>), por lo tanto sólo el 38% del volumen de la pasta es cemento. La pasta de cemento con una relación a/c de 0,5 tiene solamente cerca de un 40% de contenido de sólidos.

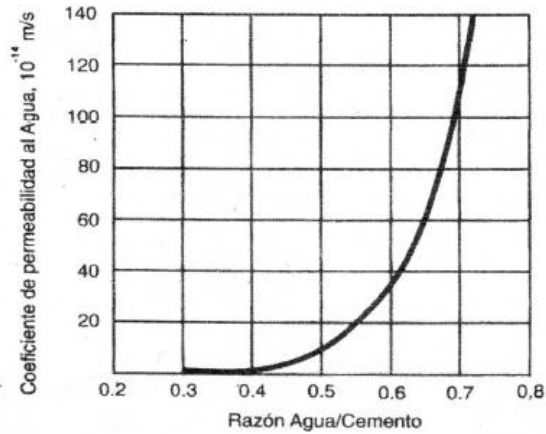
Con menores relaciones a/c, la concentración creciente de granos de cemento en la pasta deja menos espacio entre ellos para ser ocupados por el agua, al estar más unidos unos con otros. En resumen, hay mayor espacio entre los granos de cemento de la pasta a medida que aumenta la relación agua – cemento (ICPA)



• Relación entre permeabilidad y porosidad capilar en pasta de cemento

**Figura 2.2: Gráfico Relación entre Permeabilidad y Porosidad**

**Fuente: ICPA**



- Influencia de la razón agua/cemento en la permeabilidad

**Figura 2.3: Influencia de la razón agua/cemento en la permeabilidad**

**Fuente: ICPA**

### 2.3.2.2 Influencia del curado

Con el fin de obtener un eficiente bloqueo de los poros capilares, los granos de cemento deben hidratarse. Para esto es indispensable proceder al curado del hormigón, que permite controlar su humedad y temperatura, después de su colocación y operaciones de terminación. El tiempo de curado para obtener una pasta de cemento impermeable es función de la relación agua – cemento. Cuanto menor es la relación a/c, menor es el tiempo requerido de hidratación para cerrar los vacíos existentes entre los granos de cemento lo suficiente para cerrar los vacíos existentes entre ellos

**Tabla 2.1: Tiempo requerido de curado para impermeabilizar la pasta de Cemento**

Relación agua - cemento inicial	Duración del curado húmedo
0,40	3 días
0,45	7 días
0,50	14 días
0,60	6 días
0,70	12 días
> 0,70	imposible

Fuente: ICPA

### 2.3.2.3 Influencia de los aditivos

Los aditivos reductores de agua de rango normal a alto se pueden usar para reducir la relación a/c entre un 5 y un 20%. Este incrementa la concentración de granos de cemento y baja la permeabilidad del hormigón.

Las cenizas volantes y el microsílíce (polvo de sílice) reducen la permeabilidad. Esta es una razón importante para especificar el uso de aditivos minerales. Una combinación de los mecanismos químicos y físicos de las cenizas volantes y el microsílíce produce el bloqueo de los poros capilares del hormigón. Ellos no sólo contribuyen a la hidratación de una manera similar a la del cemento, sino que por su tamaño tan pequeño bloquean aún más el espacio entre los granos de cemento. El hormigón para calzadas de puentes y playas de estacionamiento incluyen generalmente estos aditivos para impedir que las sales anticongelantes alcancen el acero de refuerzo. (ICPA)

### 2.3.3 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.

A continuación de detallarán ensayos de resistencia al impacto que se aplican a soleras y baldosas, para guiarnos con la elaboración de nuestro ensayo.

#### 2.3.3.1 Ensayo a Soleras

##### Soleras Tipo A

Se tomarán una muestra por cada 600 unidades de soleras hechas en fábrica como máximo y, cada muestra estará compuesta por tres soleras, para cada ensayo. Para las soleras tipo "A", los ensayos se efectuarán en la siguiente forma:

- **Ensayo de flexión:** Se aplicará una carga central de 1.000 Kg. sobre la solera colocada de modo que su cara posterior descansa sobre los apoyos paralelos ubicados en una distancia libre de 50 cm. entre sí. Esta carga se irá aumentando sucesivamente hasta alcanzar la ruptura.
- **Ensayo de impacto:** Colocando la solera en la misma posición que en el ensayo de flexión, se dejará caer en su centro un peso de 3.200 gramos. Se empleará una altura de caída de 5 cms., la que se irá aumentando sucesivamente de 5 en 5 cms. hasta los 40 cms. Desde esta altura, el aumento sucesivo será de un centímetro cada vez, hasta alcanzar la ruptura.

Los valores mínimos aceptables que se obtengan de estos ensayos serán los siguientes:

**Resistencia a la flexión:**

Valor promedio: 2.000 Kg.

Mínimo individual: 1.800 Kg.

**Resistencia al impacto:**

Valor promedio: 80 cm.

Mínimo individual: 70 cm.

Luego de obtenerse los valores individuales y promedios de las resistencias, se procederá en la siguiente forma:

a) Se comprobará si estos valores están de acuerdo con los mínimos individuales señalados anteriormente; en tal caso se aceptará la partida.

b) Si en uno o más de los ensayos se hubiese obtenido valores insuficientes, ya sea individuales o promedios, se repetirá dicho(s) ensayo(s), tomando el doble número de muestras.

c) Se comprobará nuevamente los valores obtenidos en los ensayos.

d) Si estos valores cumplen con lo indicado en a), se aceptará la partida; en caso contrario se rechazará.

**Soleras Tipo C**

Se tomarán una muestra por cada 600 unidades de soleras hechas en fábrica como máximo y, cada muestra estará compuesta por tres soleras para cada ensayo. Para las soleras tipo "C", los ensayos se efectuarán en la siguiente forma:

- **Ensayo Flexión:** Se aplicará una carga central de 1000 kg. Sobre la solera colocada de modo que su cara posterior descansa sobre los apoyos paralelos ubicados a una distancia libre de 30 cm. entre sí. Esta carga se irá aumentando sucesivamente hasta alcanzar la ruptura.
- **Ensayo de Impacto:** Colocando la solera en la misma posición que en el ensayo de flexión, con una distancia, libre entre apoyos de 30 cm. que se dejará caer en su centro un peso de 3.300 gramos. Se empleará una altura de caída de 5 cm. Y se irá aumentando sucesivamente de 5 en 5 cms. hasta alcanzar la ruptura. Los valores mínimos aceptables que se obtengan de estos ensayos serán los siguientes.

**Resistencia a la flexión:**

Valor promedio: 1.100 Kg.

Mínimo individual: 1.000 Kg.

**Resistencia al impacto:**

Valor promedio: 45 cm.

Mínimo individual: 40 cm.

Luego de obtenerse los valores individuales y promedios de las resistencias, se procederá en la siguiente forma:

a) Se comprobará si estos valores están de acuerdo con los mínimos individuales señalados anteriormente; en tal caso se aceptará la partida.

b) Si en uno o más de los ensayos se hubiese obtenido valores insuficientes, ya sea individuales o promedios, se repetirá dicho(s) ensayo(s), tomando el doble número de muestras.

c) Se comprobará nuevamente los valores obtenidos en los ensayos.

d) Si estos valores cumplen con lo indicado en a), se aceptará la partida; en caso contrario se rechazará.

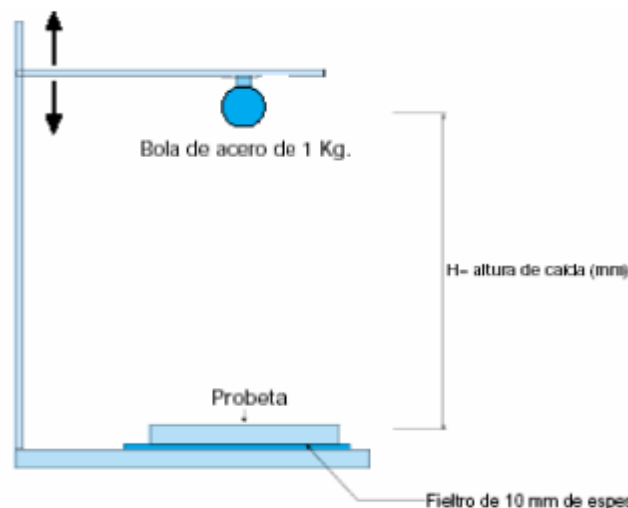
**2.3.3.2 Ensayos a Baldosas**

El método consiste en dejar caer una bola de acero de 1kg de peso sobre una baldosa a alturas crecientes hasta que se produzca la rotura o la primera fisura.

El equipo está compuesto por una bancada cuadrada de hormigón de 700x700x100 mm<sup>3</sup>, con dos guías paralelas para sujetar la baldosa. Barra móvil en altura. Sistema de fijación y caída de bola. Sobre la bancada se coloca la baldosa a ensayar.

Se coloca la baldosa a ensayar sobre la capa de fieltro, de forma que la cara vista quede en la parte superior y sujeta con las guías. A continuación se deja caer la bola de acero desde una altura inicial establecida según las tablas 1 y 2 y, si no se produce la rotura se aumenta la altura gradualmente en 100 mm. Hasta que la baldosa rompa o aparezca la primera fisura. Cada impacto debe producirse a una distancia superior a 50 mm del impacto anterior y a más de 50 mm. del borde de la baldosa. Como resultado del ensayo se da la altura a la que se produce la primera fisura en cada una de las baldosas ensayadas. (Blanco, F; 2009)

Esquema del ensayo.



**Figura 2.4: Esquema del Ensayo, resistencia al impacto**

**Tabla 2.2: Resistencia al impacto para piezas de uso interior.**

<b>REQUISITOS</b>	<b>TERRAZO USO INTERIOR UNE 127020</b>	
	<b>RESISTENCIA AL IMPACTO</b>	<b>CLASIFICACION</b>
<b>USO NORMAL</b>		<b>400</b>
<b>USO INTENSIVO</b>		<b>500</b>
<b>USO INDUSTRIAL</b>		<b>600</b>

**Tabla 2.3: Resistencia al impacto para piezas de uso exterior.**

<b>REQUISITOS</b>	<b>TERRAZO USO EXTERIOR UNE 127021</b>	<b>BALDOSA DE HORMIGON, LOSA Y LOSETA UNE 127022</b>
<b>RESISTENCIA AL IMPACTO</b>	<b>VALOR INDIVIDUAL &gt; 600 mm*</b>	<b>LA NORMA NO ESTABLECE ESTE REQUISITO</b>

\* Altura minima para la aparición de la primera fisura.

## Capítulo III: Programa Experimental

### 3.1 Generalidades

El siguiente estudio contempla ampliar y continuar con la investigación proporcionada por el Ingeniero Tomás Córdova Molina, utilizando la adición de fibras híbridas en el hormigón, para así poder medir la permeabilidad de dicho hormigón y su resistencia al impacto.

Se considerará un hormigón patrón (sin adición) para generar comparación con los hormigones que se incorporarán las fibras. Se trabajarán diversas dosificaciones de fibras, partiendo desde el límite que nos impone el fabricante que trata de  $1,5 \text{ kg/m}^3$ , se irá variando la adición de fibras de  $1,5$  a  $3 \text{ kg/m}^3$  cada 500 gramos, y así generar resultados representativos de la adición de la fibra en el hormigón. Se establece un tamaño máximo nominal del árido de 20 mm, lo cual no afecta con el tamaño de la fibra que consta de 54 mm.

### 3.2 Diseño de Hormigones

- Hormigón Base, Grado H30 ( $300 \text{ Kg/cm}^2$ )
- Cemento Grado Corriente, Portland Puzolánico.
- Nivel de Confianza 90%
- Condiciones de ejecución, Muy Buenas
- Tamaño máximo nominal del árido  $D_n = 20 \text{ mm}$
- Dosificación método Idiem

### 3.3 Ensayos

#### 3.3.1 Compresión

La resistencia del hormigón a compresión es el factor que se emplea frecuentemente para definir su calidad.

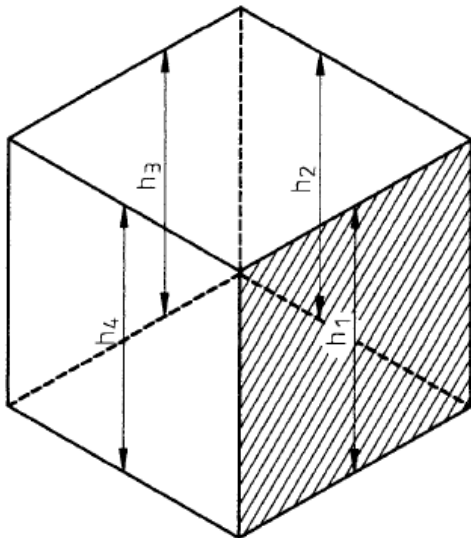
El procedimiento de ensayo para determinar la resistencia a la compresión, se encuentra establecido en la NCh 1037, Of. 77 Hormigón – Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas.

Probetas

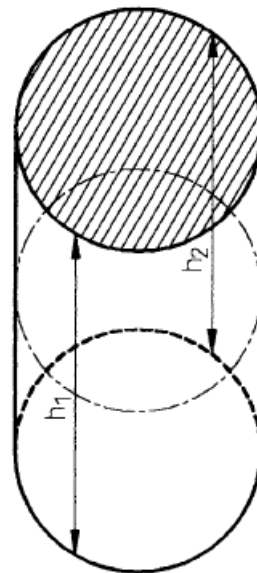
- Probetas cúbicas
- Probetas cilíndricas

Ensayo

- Preparar las probetas a ensayar
- Aplicar la carga en forma continua. Con una velocidad uniforme.
- Registrar la carga máxima.



**Figura 3.1: Probeta Cúbica, Compresión**



**Figura3.2: Probeta Cilíndrica, Compresión**

### 3.3.2 Permeabilidad

La permeabilidad del hormigón es uno de los principales factores que influyen en su durabilidad, ya que determina la posibilidad de acceso al interior de la masa de hormigón de agentes agresivos disueltos que puedan ocasionar daño.

El procedimiento de ensayo para la determinación de la permeabilidad del hormigón está establecido en la norma chilena NCh 2262, Of.2009 Hormigón y Mortero – Determinación de la permeabilidad al agua – Método de la penetración de agua bajo presión.

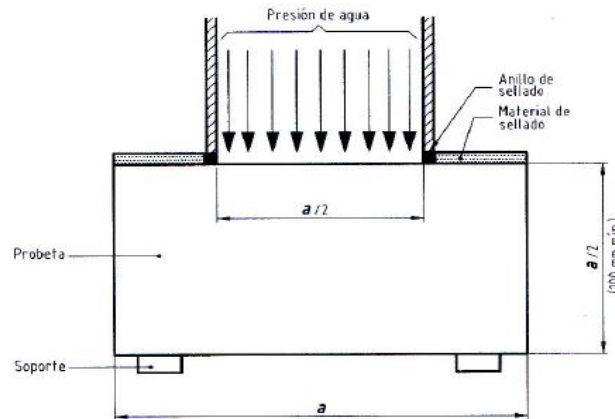
Este procedimiento se aplica a morteros y hormigones confeccionados con áridos de densidad real seca  $> 2000 \text{ kg/m}^3$  y  $D_n \leq 40 \text{ mm}$ . Este método es aplicable a probetas moldeadas en laboratorio o en obra, también a testigos.

#### Probetas

- Se confeccionan tres probetas como mínimo.
- Dimensiones: 15cm x15cm x12cm.
- Conservación de probetas: Saturadas en agua con cal hasta la edad de ensayo.
- Preparar las probetas a los  $10 \pm 3$  días de edad, raspando la cara que va a ser sometida a ensayo.

#### Ensayo

- Inicio de ensayo: 28 días de edad.
- Preparar la superficie para que no se produzcan pérdidas de agua.
- Aplicar y mantener la presión de agua de  $0,5 \text{ MPa} \pm 0,05$ , durante  $72 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$ .
- Finalizando el ensayo, someter las probetas a rotura en un plano perpendicular al plano de la presión de agua.
- Medir la penetración del agua en cada una de las probetas y registrar los resultados.



**Figura 3.3: Ensayo de Permeabilidad**

### 3.3.3 Resistencia al Impacto

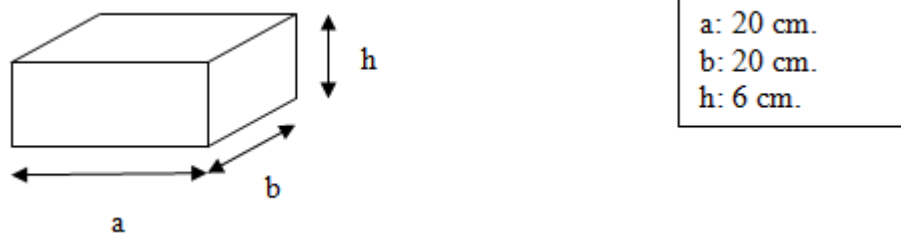
La resistencia al impacto describe la capacidad del material para absorber golpes y energía sin romperse.

Se establece procedimiento de ensayo, en laboratorio, para la determinación de la resistencia al impacto en hormigones con adiciones de fibra, éste será establecido por la metodología establecida por el autor.

Equipo:

El equipo consta de diversas partes que se detallarán a continuación:

- Base de apoyo para probetas:
  - Materialidad: Madera
  - Dimensiones: 30cm x 30 cm x 5 cm
  - Amortiguador: Relleno de arena, preferencia tipo duna.
  
- Estructura soportante:
  - Materialidad: Madera
  - Dimensiones: 1.0 m de alto.
  - Huincha metálica para el registro de alturas de caídas.
  - Martinete: Soporta la esfera metálica, peso 3000 gr.
  - Cuerda soportante: Piola plástica.
  - Roldana
  
- Probetas:
  - Dimensiones: 20cm x 20cm x 6cm.
  - Edad de ensayo: 28 días
  - Curado: 10 días
  - Cantidad de probetas a ensayar: 6
  - Probetas: Patrón HP; Fibra 1,5 kg/m<sup>3</sup> HF 1,5; Fibra 2,0 kg/m<sup>3</sup> HF 2,0; Fibra 2,5 kg/m<sup>3</sup> HF 2,5; Fibra 3,0 kg/m<sup>3</sup> HF 3,0.



**Figura 3.4: Probetas de Resistencia al impacto**

Metodología de ensayo:

Posicionar la probeta a ensayar, seca, limpia y marcada; bien apoyada en la base (de 5cm de espesor, rellena con arena tipo duna) Rellenar perimetralmente con arena para afianzar la probeta. Ubicar la probeta bajo el martinete, de tal forma que la esfera metálica quede al centro de la probeta. La esfera estará colgando de una cuerda soportante (piola plástica) que debe deslizarse libremente a través de la roldana ubicada en el soporte. Iniciar el ensayo desde una altura de 5 cm, incrementándola de 5 en 5 cm hasta los 30 cm, a partir de esta altura el aumento sucesivo de la altura será de 1cm cada vez hasta que se produzca la rotura. Se considerará finalizado el ensayo cuando se produzca la primera fisura, registrándose la altura alcanzada. Observar y registrar el aspecto de la superficie impactada. Registrar todas las mediciones para luego generar una tabla donde se pueda establecer promedio con todas las probetas ensayadas.

**Tabla 3.1: Modelo para el registro de Alturas, Resistencia al Impacto**

<b>Probetas HP</b>	<b>Altura Ruptura (cm)</b>
HP1	
HP2	
HP3	
HP4	
HP5	
HP6	
<b>Promedio</b>	0

Fuente: Elaboración Propia.

## **Capítulo IV: Desarrollo Experimental**

### **4.1 Caracterización de los Materiales**

#### **4.1.1 Cemento**

Para esta experiencia se utilizará cemento portland puzolánico especial grado corriente, nuestra normativa la NCh 148 Of. 1968 Cemento – Terminología, Clasificación y Especificaciones, clasifica los tipos de cementos por la proporción de sus componentes.

#### **4.1.2 Agua**

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

#### **4.1.3 Adiciones**

Para el desarrollo de esta experiencia, se utilizará una fibra llamada comercialmente, Ruredil X Fiber 54, de procedencia italiana.

Se trata de una fibra sintética híbrida, diseñada para mejorar la durabilidad y las propiedades mecánicas del hormigón.

#### **4.1.4 Áridos**

Se utilizan áridos provenientes de la planta Maggi, ubicada en Tabolango.

Los requisitos para los áridos a utilizar en esta experiencia, se encuentran establecidos en la NCh 163, Of. 79 Áridos para morteros y Hormigones- Requisitos.

##### **4.1.4.1 Granulometría Arena**

La granulometría de la arena se obtuvo mediante el procedimiento indicado en la NCh 165, Of. 1977. Los resultados se muestran a continuación:

Muestra N°1

Tamaño de la muestra: 1000 gramos.

Temperatura de secado de la muestra:  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

**Tabla 4.1: Granulometría Arena Muestra 1**

<b>Muestra N° 1</b>					
<i>Tamiz</i>		<i>Peso retenido</i>	<i>% Retenido parcial</i>	<i>% Que pasa</i>	<i>Recomendación Nch 163 Of 79. % pasa</i>
10 mm	3/8"	4	0,4	100	100
5 mm.	N° 4	20	2,0	98	95-100
2,5 mm.	N° 8	102	10,3	87	80-100
1,25 mm.	N° 16	71	7,2	80	50-85
0,630 mm.	N° 30	88	8,9	71	25-60
0,315 mm.	N° 50	297	30,1	41	10--30
0,160 mm.	N° 100	335	33,9	7	2--10
B N° 100		71	7,2	0	
TOTAL		988,0	100,0		

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra N°2

Tamaño de la muestra: 1000 gramos.

Temperatura de secado de la muestra:  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

**Tabla 4.2: Granulometría Arena Muestra 2**

<b>Muestra N° 2</b>					
<i>Tamiz</i>		<i>Peso retenido</i>	<i>% Retenido parcial</i>	<i>% Que pasa</i>	<i>Recomendación Nch 163 Of 79. %</i>
10 mm	3/8"	0	0,0	100	100
5 mm.	N° 4	29	2,9	97	95-100
2,5 mm.	N° 8	103	10,3	87	80-100
1,25 mm.	N° 16	72	7,2	80	50-85
0,630	N° 30	98	9,8	70	25-60
0,315	N° 50	334	33,5	36	10--30
0,160	N° 100	301	30,2	6	2--10
B N° 100		59	5,9	0	
TOTAL		996	100,000		

Fuente: Elaboración Propia

Muestra N°3

Tamaño de la muestra: 1000 gramos.

Temperatura de secado de la muestra:  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

**Tabla 4.3: Granulometría Arena Muestra 3**

<b>Muestra N° 3</b>					
<i>Tamiz</i>		<i>Peso retenido</i>	<i>% Retenido parcial</i>	<i>% Que pasa</i>	<i>Recomendación Nch 163 Of 79. %</i>
10 mm	3/8"	5	0,5	100	100
5 mm.	N° 4	28	2,8	97	95-100
2,5 mm.	N° 8	111	11,1	86	80-100
1,25 mm.	N° 16	88	8,8	77	50-85
0,630	N° 30	115	11,5	65	25-60
0,315	N° 50	351	35,1	30	10--30
0,160	N° 100	257	25,7	4	2--10
B N° 100		45	4,5	0	
TOTAL		1000	100,0		

Fuente: Elaboración Propia.

- **Muestra Promedio**

**Tabla 4. 4: Granulometría Arena Muestra Promedio**

<b>Muestra Promedio</b>					
<i>Tamiz</i>		<i>Peso retenido</i>	<i>% Retenido parcial</i>	<i>% Que pasa</i>	<i>Recomendación Nch 163 Of 79. %</i>
10 mm	3/8"	3	0,3	100	100
5 mm.	N° 4	26	2,6	97	95-100
2,5 mm.	N° 8	105	10,6	87	80-100
1,25 mm.	N° 16	77	7,7	79	50-85
0,630	N° 30	100	10,1	69	25-60
0,315	N° 50	327	32,9	36	10--30
0,160	N° 100	298	29,9	6	2--10
B N° 100		58	5,9	0	
TOTAL		995	100,0		

Fuente: Elaboración Propia

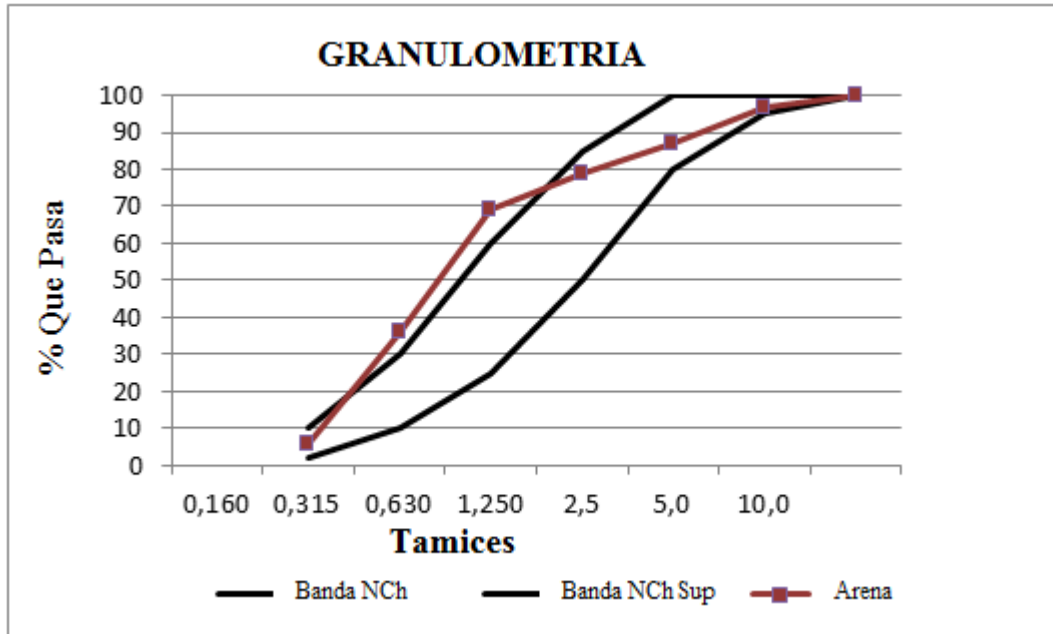
- **Arena Corregida:**

**Tabla 4.5: Arena Corregida**

Tamiz		% Que Pasa Efectiva	% Que Pasa Corregida	Recomendación Nch 163 Of 79.
10 mm	3/8"	100		100
5 mm.	N° 4	97	100	95-100
2,5 mm.	N° 8	87	89	80-100
1,25 mm.	N° 16	79	81	50-85
0,630 mm.	N° 30	69	71	25-60
0,315 mm.	N° 50	36	37	10--30
0,160 mm.	N° 100	6	6	2--10
B N° 100		0	0	

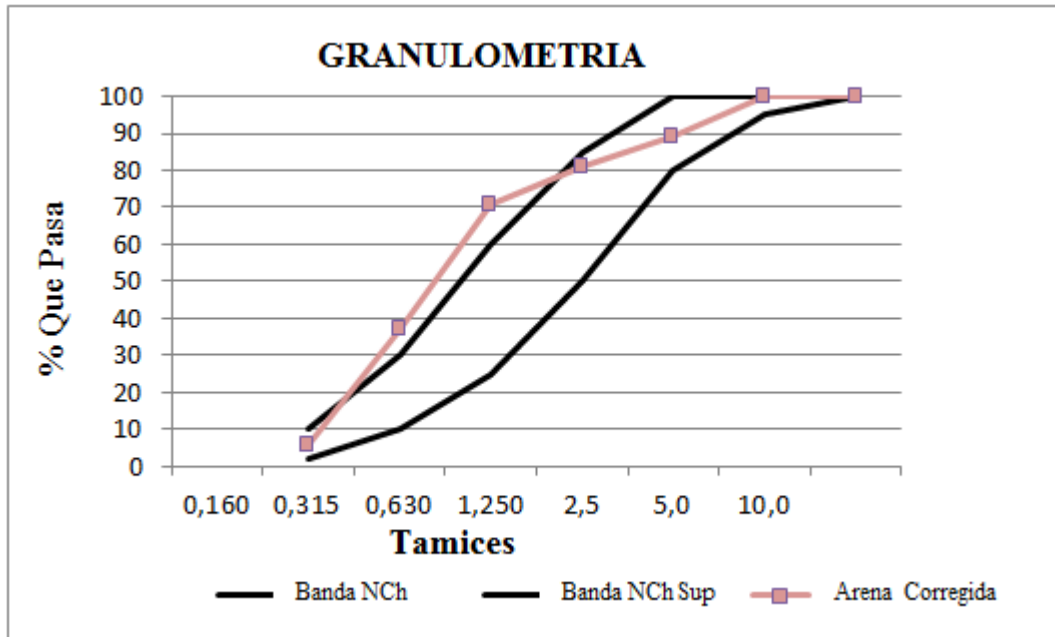
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.1, se presenta la granulometría y banda granulométrica recomendada por la norma para áridos:



**Figura 4.1: Granulometría Arena Fuente Propia**

En la figura 4.2 se presenta el gráfico de la granulometría de la arena corregida:



**Figura 4.2: Granulometría Arena Corregida**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

#### 4.1.4.2 Densidades de la Arena

Para la densidad aparente, se recurrió a la NCh 1116, Of. 1977 Áridos para Morteros y Hormigones- “Determinación de la densidad aparente”

Para densidad real y neta se aplicó el procedimiento establecido por la NCh. 1239, Of. 1977 Áridos para Morteros y Hormigones- Determinación de las Densidades Real y Neta de la Absorción de Agua de las Arenas.

#### 4.1.4.3 Densidad Aparente

- Densidad Aparente Suelta

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

ms : Masa del árido suelto en el recipiente, kg.

V : Capacidad volumétrica del recipiente, m<sup>3</sup>

En la siguiente tabla se expresan los resultados, obtenidos en laboratorio.

**Tabla 4.6: Densidad Aparente Suelta, Arena**

<b>Densidad Aparente Suelta (kg/m3)</b>					
<i>MUESTRA</i>	<i>Peso del recipiente</i>	<i>Volumen del recipiente</i>	<i>Peso muestra + peso recipiente</i>	<i>Peso muestra</i>	<i>Dens. Ap suelta</i>
	kg	m3	kg	kg	kg/m3
Muestra 1	1,316	0,001040	2,822	1,506	1448
Muestra 2	1,316	0,001040	2,825	1,509	1451
Muestra 3	1,316	0,001040	2,828	1,512	1454
<b>PROMEDIO</b>					<b>1451</b>

Fuente: Elaboración Propia

- Densidad Aparente Compactada

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

mc : Masa del árido compactado en el recipiente, kg.

v : Capacidad volumétrica del recipiente, m<sup>3</sup>

**Tabla 4.7: Densidad Aparente Compactada, Arena**

<b>Densidad Aparente Compactada (kg/m<sup>3</sup>)</b>					
<i>MUESTRA</i>	<i>Peso del recipiente</i>	<i>Volumen del recipiente</i>	<i>Peso muestra + peso recipiente</i>	<i>Peso muestra</i>	<i>Dens. Ap compactada</i>
	kg	m <sup>3</sup>	kg	kg	kg/m <sup>3</sup>
Muestra 1	1,316	0,001040	2,983	1,667	1603
Muestra 2	1,316	0,001040	2,998	1,682	1617
Muestra 3	1,316	0,001040	2,990	1,674	1610
<b>PROMEDIO</b>					<b>1610</b>

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.4.4 Densidades Reales, Netas y Absorción

- Densidad real del árido saturado superficialmente seco ( $\rho_{R_{SSS}}$ )

$$\rho_{R_{SSS}} = \frac{m_{SSS}}{M_a + m_{SSS} - M_m} \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

- Densidad real del árido seco ( $\rho_{R_s}$ )

$$\rho_{R_s} = \frac{m_s}{M_a + m_{SSS} - M_m} \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

- Densidad Neta ( $\rho_N$ )

$$\rho_N = \frac{m_s}{M_a + m_s - M_m} \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

- Absorción de Agua ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{m_{SSS} - m_s}{m_s} \times 100\%$$

- Ms : Masa del matraz con agua, gr.  
 Mm : Masa del matraz con agua y arena, gr.  
 ms : Masa de arena seca, gr  
 m<sub>SSS</sub> : Masa de arena saturada superficialmente seca, gr.

**Tabla 4.8: Densidad Real, Neta y Absorción, Arena**

<b>Densidad Real, Neta y Absorción</b>								
<i>MUESTRA</i>	<i>Peso matraz con agua</i>	<i>Peso matraz + muestra</i>	<i>Peso muestra SSS</i>	<i>Peso muestra seca</i>	<i>Densidad real SSS</i>	<i>Densidad real seca</i>	<i>Densidad neta</i>	<i>Absorción</i>
	grs	grs	grs	grs	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%
Muestra 1	664,1	726,6	100,0	98,5	2667	2626,7	2736,1	1,5
Muestra 2	664,1	726,9	100,0	98,3	2688	2642,5	2769,0	1,7
Muestra 3	664,1	726,5	100,0	98,5	2660	2619,7	2728,5	1,5
				<b>PROMEDIO</b>	<b>2671</b>	<b>2630</b>	<b>2745</b>	<b>1,59</b>

Fuente: Elaboración Propia.

**4.1.4.5 Granulometría Gravilla**

Para la realización de este procedimiento se consideró lo que establece la normativa NCh 165, Of. 77 Áridos para Morteros y hormigones – Tamizado y Determinación de la Granulometría.

Muestra N°1

Tamaño de la muestra: 4000 gramos.

Temperatura de secado de la muestra:  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ **Tabla 4.9: Granulometría Gravilla, Muestra 1**

<b>Muestra N° 1</b>					
<i>Tamiz</i>		<i>Peso retenido</i>	<i>% Retenido parcial</i>	<i>% Que pasa</i>	<i>Recomendación Nch 163 Of 79.</i>
20 mm.	3/4"	10	0,3	100	90-100
10 mm.	3/8"	2494	62,4	37	20-55
5 mm.	N° 4	1407	35,2	2	0-10
Residuo		88	2,2	0	
<b>TOTAL</b>		<b>3999</b>	<b>100,0</b>		

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra N°2

Tamaño de la muestra: 4000 gramos.

Temperatura de secado de la muestra:  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

**Tabla 4.10: Granulometría Gravilla, Muestra 2**

<b>Muestra N° 2</b>					
<i>Tamiz</i>		<i>Peso retenido</i>	<i>% Retenido parcial</i>	<i>% Que pasa</i>	<i>Recomendación Nch 163 Of 79.</i>
20 mm.	3/4"	23	0,6	99	90-100
10 mm.	3/8"	2457	61,4	38	20-55
5 mm.	N° 4	1426	35,7	2	0-10
Residuo		94	2,4	0	
TOTAL		4000	100,0		

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra N°3

Tamaño de la muestra: 4000 gramos.

Temperatura de secado de la muestra:  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

**Tabla 4.11: Granulometría Gravilla, Muestra 3**

<b>Muestra N° 3</b>					
<i>Tamiz</i>		<i>Peso retenido</i>	<i>% Retenido parcial</i>	<i>% Que pasa</i>	<i>Recomendación Nch 163 Of 79.</i>
20 mm.	3/4"	9	0,2	100	90-100
10 mm.	3/8"	2356	58,9	41	20-55
5 mm.	N° 4	1447	36,2	5	0-10
Residuo		188	4,7	0	
TOTAL		4000	100,0		

Fuente: Elaboración Propia.

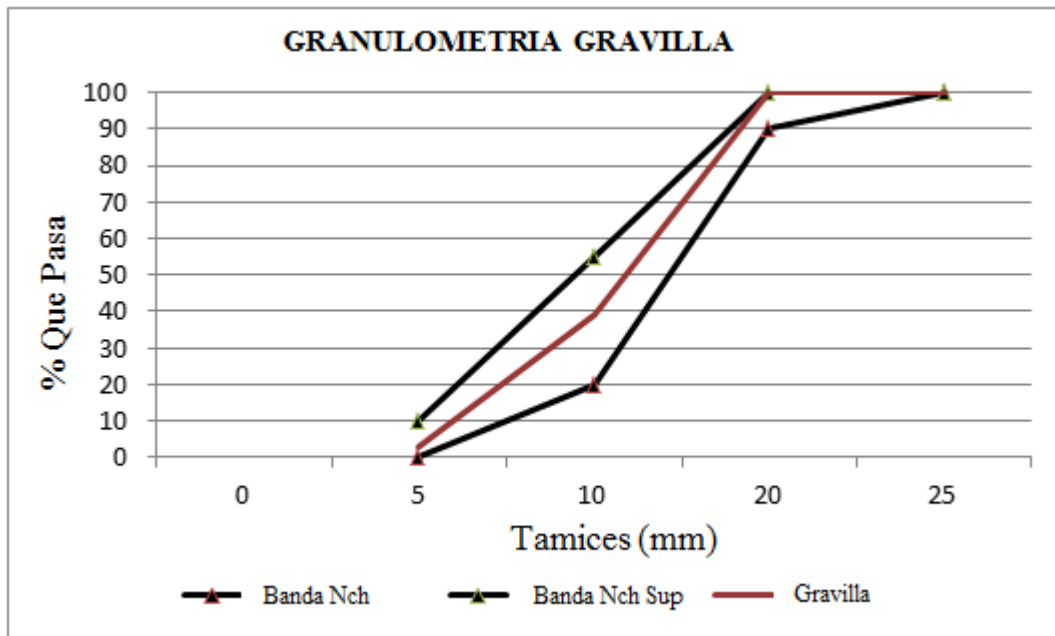
- **Muestra Promedio**

**Tabla 4.12: Granulometría Gravilla, Muestra Promedio**

<b>Muestra Promedio</b>					
<i>Tamiz</i>		<i>Peso retenido</i>	<i>% Retenido parcial</i>	<i>% Que pasa</i>	<i>Recomendación Nch 163 Of 79.</i>
20 mm.	3/4"	14	0,4	100	90-100
10 mm.	3/8"	2436	60,9	39	20-55
5 mm.	N° 4	1427	35,7	3	0-10
Residuo		123	3,1	0	
<b>TOTAL</b>		<b>4000</b>	<b>100,0</b>		

Fuente: Elaboración Propia.

La figura 4.3, presenta la granulometría y la banda granulometrica recomendada para la grava de 20 (mm):



**Figura 4.3: Granulometría Gravilla**

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.4.6 Densidad de la Gravilla

#### 4.1.4.7 Densidad Aparente

- Densidad aparente suelta

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

ms : Masa del árido suelto en el recipiente, kg.  
v : Capacidad volumétrica del recipiente, m<sup>3</sup>

**Tabla 4.13: Densidad Aparente Suelta, Gravilla**

<b>Densidad Aparente Suelta (kg/m3)</b>					
<i>MUESTRA</i>	<i>Peso del recipiente</i>	<i>Volumen del recipiente</i>	<i>Peso muestra + peso recipiente</i>	<i>Peso muestra</i>	<i>Dens. Ap suelta</i>
	kg	m3	kg	kg	kg/m3
Muestra 1	3,676	0,005033	11,187	7,511	1492
Muestra 2	3,676	0,005033	11,282	7,606	1511
Muestra 3	3,676	0,005033	11,268	7,592	1508
<b>PROMEDIO</b>					<b>1504</b>

Fuente: Elaboración Propia

- Densidad aparente compactada

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

mc : Masa del árido compactado en el recipiente, kg.  
v : Capacidad volumétrica del recipiente, m<sup>3</sup>

Tabla 4.14: Densidad Aparente Compactada, Gravilla

Densidad Aparente Compactada (kg/m <sup>3</sup> )					
MUESTRA	Peso del recipiente	Volumen del recipiente	Peso muestra + peso recipiente	Peso muestra	Dens. Ap compactada
	kg	m <sup>3</sup>	kg	kg	kg/m <sup>3</sup>
Muestra 1	3,676	0,005033	11,713	8,037	1597
Muestra 2	3,676	0,005033	11,884	8,208	1631
Muestra 3	3,676	0,005033	11,871	8,195	1628
<b>PROMEDIO</b>					<b>1619</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.4.8 Densidades Reales, Netas y Absorción

- Densidad real del árido saturado superficialmente seco ( $\rho_{RT}$ )

$$\rho_{RT} = \frac{B}{B - A} \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

- Densidad real del árido seco ( $\rho_{RS}$ )

$$\rho_{RS} = \frac{C}{B - A} \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

- Densidad neta ( $\rho_N$ )

$$\rho_N = \frac{C}{C - A} \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

- Absorción de agua ( $\alpha$ )

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

- A : Masa de gravilla seca, gr.  
 B : Masa de gravilla superficialmente seca, gr.  
 C : Masa de gravilla sumergida, gr.

**Tabla 4.15: Densidad Real, Neta y Absorción, Gravilla**

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
	grs	grs	grs	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%
Muestra 1	378	606	598	2659	2624	2718	1,32
Muestra 2	428	686	675	2659	2616	2733	1,63
Muestra 3	378	605	597	2659	2624	2720	1,34
			<b>PROMEDIO</b>	<b>2659</b>	<b>2621</b>	<b>2724</b>	<b>1,43</b>

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.4.9 Árido combinado, Mezcla de Arena y Gravilla

Con los valores obtenidos en la granulometría, según el porcentaje que pasa de la arena y de la gravilla, se determina la proporción del árido combinado.

$$3G + 97 A = 38(G + A)$$

$$59A - 35G = 0$$

$$G = \frac{59}{35 + 59} \times F$$

$$G = 0,63; F = 0,37$$

G : Árido grueso, gravilla.  
A : Árido fino, arena.

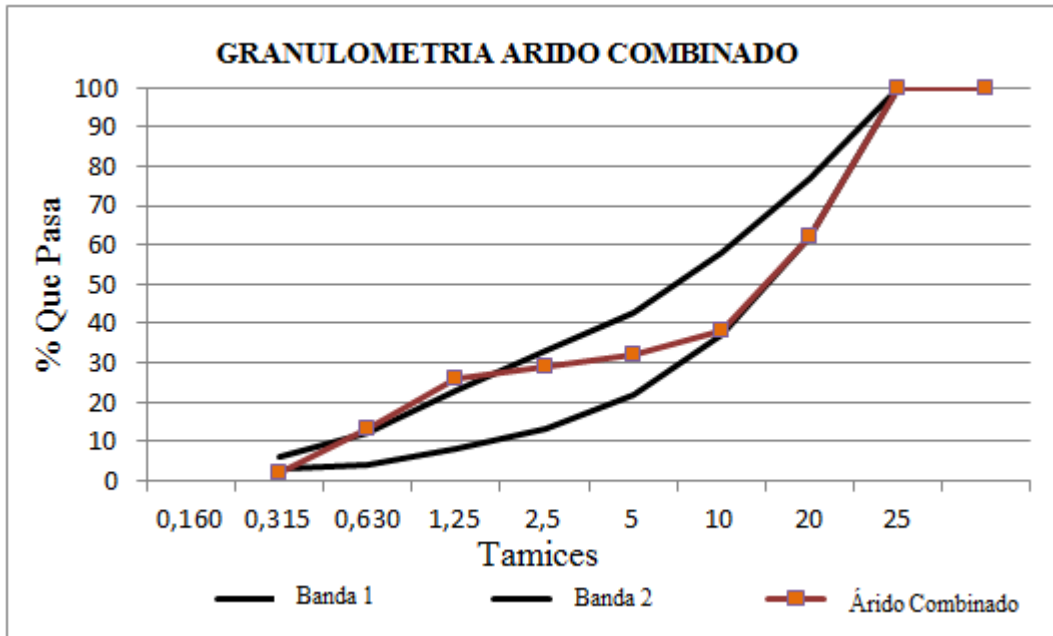
En conclusión se debe utilizar una proporción de 63% de gravilla y 37% de arena. En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos con los porcentajes, especificados anteriormente, de arena y gravilla para utilizar en la dosificación del hormigón que se desea estudiar.

**Tabla 4.16: Árido Combinado**

Tamiz		% QUE PASA		63%	37%	ARIDO COMB G + A	BANDA Nch ARIDO COMB
		GRAVILLA	ARENA				
25 mm.	1"	100		63	37	100	100
20 mm.	3/4"	100		63	37	100	100
10 mm	3/8"	39	100	25	37	62	62-77
5 mm.	Nº 4	3	97	2	36	38	37-58
2,5 mm.	Nº 8		87		32	32	22-43
1,25 mm.	Nº 16		79		29	29	13-33
0,630 mm.	Nº 30		69		26	26	8--23
0,315 mm.	Nº 50		36		13	13	4--12
0,160 mm.	Nº 100		6		2	2	3--6

Fuente: Elaboración Propia

La figura 4.4, nos muestra la granulometría y bandas granulométricas del árido combinado (grava + arena):



**Figura 4.4: Granulometría Árido Combinado**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

## 4.2 Calculo Dosificación

- H-30 (90) 20
- Método Idiem.

$$f_r = f_c + t \times s \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

- Nivel de confianza = 90%
- Condiciones de Ejecución = Muy Buenas  
kg/cm<sup>2</sup>

$$t = 1,282$$

$$s = 3,5 \text{ MPa, } s = 35$$

Por consecuente:

$$f_r = 300 \text{ kg/cm}^2 + 1,282 \times 35 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = 344 \text{ kg/cm}^2 \approx 340 \text{ kg/cm}^2$$

Con la obtención de este valor, determinamos la dosis de cemento estimada en función de la resistencia

$$\square \text{ Dosis de cemento} = 405 \text{ kg/m}^3 \text{ grado corriente}$$

Para la relación agua/cemento, se utiliza la siguiente formula:

$$R_{ccc} = 210 ( (c/a) - 0,72)$$

$$a/c = 0,43$$

Para cemento = 405 kg

Agua = 174 kg

$$\square \text{ Densidad del Hormigón}$$

$$2460 - (174 + 405) = \text{Peso de los áridos}$$

$$\text{Peso de los áridos} = 1881 \text{ kg}$$

$$\square \text{ Porcentaje de Arena } 37\%$$

$$1812 \text{ kg} \times 0,37 = 696 \text{ kg}$$

$$\square \text{ Porcentaje de Gravilla } 63\%$$

$$1812 \text{ kg} \times 0,63 = 1185 \text{ kg}$$

### 4.3 Dosificación H30 (90) 20

De acuerdo a la cantidad de probetas requeridas para realizar los ensayos de permeabilidad, resistencia al impacto y compresión, se dosificará para una cantidad correspondiente a 40 litros, cuyos valores serán expresados en la siguiente tabla:

**Tabla 4.17: Dosificación Hormigón**

<b>Materiales</b>	<b>Dosificación m3</b>	<b>Dosificación 40 lts</b>
Cemento (kg)	405	16,2
Grava (kg)	1185	47,4
Arena (kg)	696	27,84
Agua (kg)	174	6,9

Fuente: Elaboración Propia

Dosis de fibra, para una colada de 40 litros.

**Tabla 4.18: Dosificación Fibras**

<b>Dosis 40 lt</b>	<b>H Patrón</b>	<b>HF 1,5</b>	<b>HF 2,0</b>	<b>HF 2,5</b>	<b>HF 3,0</b>
<b>Fibras</b>	0	0,06	0,08	0,1	0,12

Fuente: Elaboración Propia

### 4.4 Fabricación de Hormigones

Para esta investigación se consideran cinco dosificaciones, de las cuales se han concretado en su totalidad, la fabricación de dichos hormigones se realizó en las dependencias del laboratorio de la Universidad de Valparaíso, mediante la utilización de una betonera. Fabricando una colada de 40 litros.

En el momento de fabricar el hormigón se tomó en cuenta la corrección de la absorción y la humedad del árido, para todas las coladas se presentó una constante, la cual se trataba de una diferencia muy pequeña, por lo cual no se consideró.

Los materiales fueron pesados debidamente, cada una con su peso requerido para obtener la colada deseada, se cargaron en la betonera desde el más grueso al más fino (gravilla, arena y cemento), luego se procedió a mezclar alrededor de dos minutos para producir una mezcla homogénea, después se revolvió de forma manual, para lograr la integridad de todos los materiales. El agua es incluida y revuelta durante tres minutos, y se vuelve a mezclar de forma manual hasta producir una pasta homogénea. Y por último se vuelve a revolver durante 5 minutos.

Para el caso del hormigón con adición de fibras, estas son incorporadas a medida que se va mezclando el hormigón. Finalizando la fabricación se procede a realizar la el cono de Abrams, y posteriormente se procede a colocar el hormigón en los distintos moldes.

## 4.5 Preparación de Probetas

### 4.5.1 Compresión

Colocación:

Se coloca el hormigón en los moldes cúbicos de 15 cm. Que con anterioridad fueron aceitados. Se realizan 3 probetas por colada de hormigón.

Compactación:

Se realiza la compactación mediante un vibrador de inmersión, debido al asentamiento de cono. Se compacta hasta que aflore la lechada. Se finaliza con un enrazado de las probetas.

Desmolde:

Se procede a desmoldar al cabo de 24 horas, se les designa una letra para marcar las probetas, que corresponde al tipo de dosificación del hormigón. Se tiene un cuidado especial para no producir imperfecciones en la geometría de la probeta.

Curado:

Luego de realizado el desmolde de las probetas, se sumergen en agua saturada con cal durante 7 días, luego se dejan en un lugar fresco libre de luz directa del sol. Se conservan hasta su edad de ensayo (28 días)

#### 4.5.2 Permeabilidad

Colocación:

Se coloca el hormigón en los molde de dimensiones de 15x15x12 cm. Que con anterioridad fueron aceitados. Se realizan 3 probetas por colada de hormigón.

Compactación:

Se realiza la compactación mediante un vibrador de inmersión, debido al asentamiento de cono. Se compacta hasta que aflore la lechada. Se finaliza con un enrazado de las probetas.

Desmolde:

Se procede a desmoldar al cabo de 24 horas, se les designa una letra para marcar las probetas, que corresponde al tipo de dosificación del hormigón. Se tiene un cuidado especial para no producir imperfecciones en la geometría de la probeta.

Curado:

Luego de realizado el desmolde de las probetas, se sumergen en agua saturada con cal. A los  $10 \pm 3$  días las probetas se raspan y se coloca un anillo de goma en la cara que va a estar sometida a la presión del agua. En el área de dichas caras que no van a estar sometidas al ensayo, se aplicó un material de sellado, una pasta de cemento de razón  $A/C = 0,35$ . Luego se vuelven a introducir las probetas al agua hasta la fecha de ensayo (28 días)

### 4.5.3 Resistencia al Impacto

Colocación:

Se coloca el hormigón en los molde de dimensiones de 20x20x6 cm. Que con anterioridad fueron aceitados. Se realizan 6 probetas por colada de hormigón.

Compactación:

Se realiza la compactación mediante un vibrador de inmersión, debido al asentamiento de cono. Se compacta hasta que aflore la lechada. Se finaliza con un enrazado de las probetas.

Desmolde:

Se procede a desmoldar al cabo de 24 horas, se les designa una letra para marcar las probetas, que corresponde al tipo de dosificación del hormigón. Se tiene un cuidado especial para no producir imperfecciones en la geometría de la probeta.

Curado:

Luego de realizado el desmolde de las probetas, se sumergen en agua saturada con cal durante 10 días, luego se dejan en un lugar fresco libre de luz directa del sol. Se conservan hasta su edad de ensayo (28 días)

## Capítulo 5: Presentación y Análisis de Resultados

### 5.1 Asentamiento de Cono

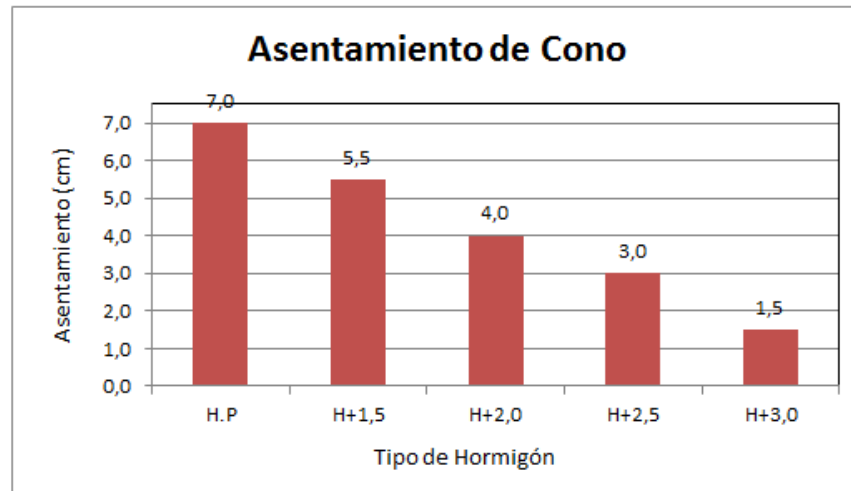
La siguiente tabla muestra las mediciones efectuadas al asentamiento de cono, de todas las coladas de 40 litros, considerando la influencia de las fibras.

**Tabla 5.1: Asentamiento de cono.**

Hormigón	Asentamiento de Cono (cm)
H. Patrón A	7,0
H. 1,5 B	5,5
H. 2,0 C	4,0
H. 2,5 D	3,0
H. 3,0 E	1,5

Fuente: Elaboración Propia.

Se detecta que a medida que aumenta la cantidad de incorporación de fibra a la mezcla de hormigón el asentamiento del cono disminuye. Presentando el mayor asentamiento en el hormigón patrón de 7,0 cm. y el menor asentamiento de 1,5 cm. se produjo con la mayor cantidad de fibra incorporada de 3,0 kg/m<sup>3</sup>. Generando una proporción inversa entre la cantidad de fibra v/s el asentamiento de cono.



**Figura 5.1: Gráfico de Asentamiento de Cono**

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 5.2: Asentamiento de Cono Hormigón Patrón**

Los datos arrojados del asentamiento de cono fueron graficados de forma lineal y se presentan el siguiente modelo:

$$Y = mx + b$$

Y = Asentamiento de cono en (cm)

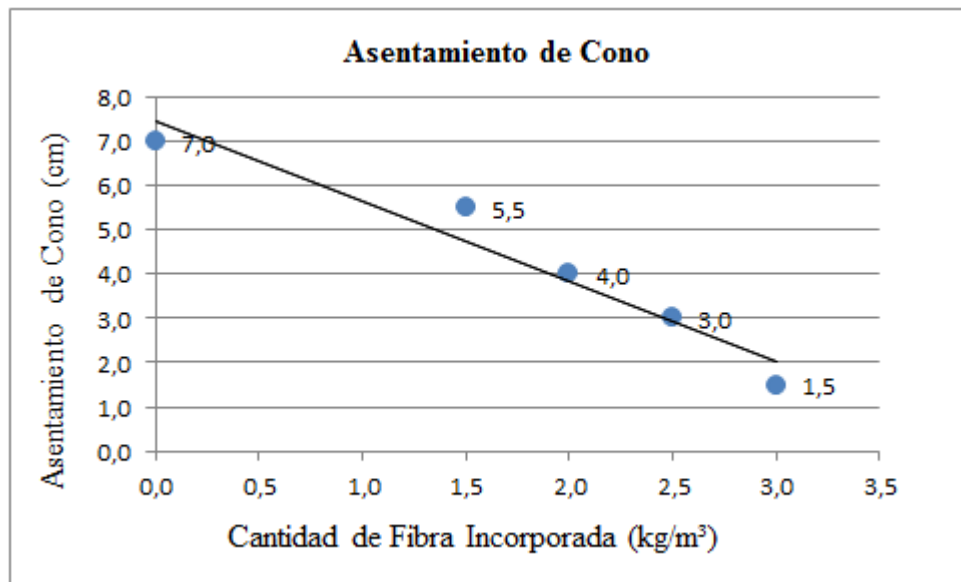
X = Cantidad de fibra incorporada en la mezcla del hormigón ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

m = Pendiente de la recta

b = Intercepto

r = correlación

Quedando el modelo matemático  $Y = -1,8X + 7,4$ ; con un coeficiente de correlación de  $r = -0,96$ . Con esto podemos decir que el asentamiento predice con una exactitud de 96%.



**Figura 5.3: Gráfico Lineal de Asentamiento de Cono**

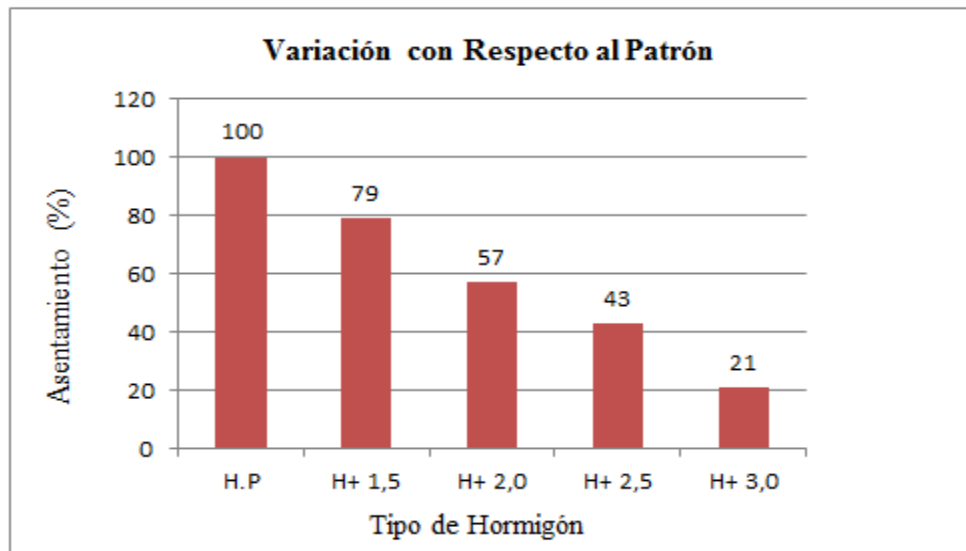
En la siguiente tabla 5.2 se muestra el efecto de la incorporación de fibras sobre el asentamiento del cono, con respecto al alcanzado por el hormigón patrón:

**Tabla 5.2: Variación del asentamiento de cono con respecto al patrón, en porcentaje.**

Tipo de Hormigón	Medición (cm)	%
H. Patrón A	7,0	100
H. 1,5 B	5,5	79
H. 2,0 C	4,0	57
H. 2,5 D	3,0	43
H. 3,0 E	1,5	21

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra la gráfica obtenida a través de la variación del asentamiento de cono, con respecto al obtenido en el hormigón patrón, en porcentaje:



**Figura 5.4: Gráfico Asentamiento de cono en Porcentaje**

Fuente: Elaboración Propia.

A través de los datos obtenidos podemos apreciar que con la adición de fibras de 1,5 ( $\text{kg/m}^3$ ) se obtiene una disminución de un 21% con respecto al patrón. Con la incorporación de 2,0 ( $\text{kg/m}^3$ ) se obtiene una variación de 43% con respecto al patrón. En el caso de la adición de 2,5 ( $\text{kg/m}^3$ ) se produce una disminución de 57%, y en el último caso con una adición de 3,0 ( $\text{kg/m}^3$ ) se obtiene una disminución de un 79%, con lo cual podemos concluir que la adición de las fibras sintéticas es un factor muy influyente en el asentamiento de cono. Se puede establecer un patrón de disminución de un 20% entre la medición de un cono y otro.

A pesar del bajo asentamiento de cono obtenido con la última incorporación de fibra, cabe señalar que no se perdió la trabajabilidad del hormigón.

## 5.2 Resistencia a Compresión

**Tabla 5.3: Datos de Resistencia a la Compresión**

PROBETAS	PESO (KG)	a1	a2	b1	b2	h1	h2	h3	h4	AREA	CARGA	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
A1	7,967	14,9	14,9	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	223,5	79.000	336
A2	8,014	14,9	14,9	15,0	15,0	15,0	15,0	14,9	15,0	223,5	78.000	332
A3	8,076	14,9	15,0	15,0	15,0	15,1	15,0	15,0	15,0	224,3	80.000	339
B1	7,849	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	225,0	78.000	329
B2	7,852	15,0	15,0	14,9	15,0	15,0	14,9	15,0	15,0	224,3	80.000	339
B3	7,847	15,0	15,1	15,1	15,1	15,0	14,9	15,0	15,0	227,3	82.000	343
C1	7,864	15,0	15,1	15,0	14,9	15,0	15,1	15,0	15,0	225,0	72.000	304
C2	7,857	15,0	15,1	15,0	15,2	15,0	15,2	15,0	15,0	227,3	76.000	318
C3	7,922	15,0	15,0	15,0	15,2	15,0	15,1	15,0	15,1	226,5	69.000	289
D1	7,912	15,0	15,0	14,9	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	224,3	78.000	330
D2	7,918	15,0	15,0	15,0	14,9	15,0	15,1	15,0	15,0	224,3	85.000	360
D3	7,873	15,0	15,0	14,9	15,0	14,9	15,0	15,0	14,9	224,3	83.000	352
E1	7,918	15,0	15,0	14,9	14,9	15,0	15,1	15,0	15,0	223,5	85.000	361
E2	7,939	15,0	15,0	15,0	14,9	15,0	15,0	15,0	15,0	224,3	85.000	360
E3	7,885	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	225,0	81.000	342

Fuente: Elaboración Propia

Dónde:

A: Hormigón Patrón, Probetas ensayadas a los 28 días.

B: Hormigón + 1,5 kg/m<sup>3</sup> Fibra, Probetas ensayadas a los 28 días.

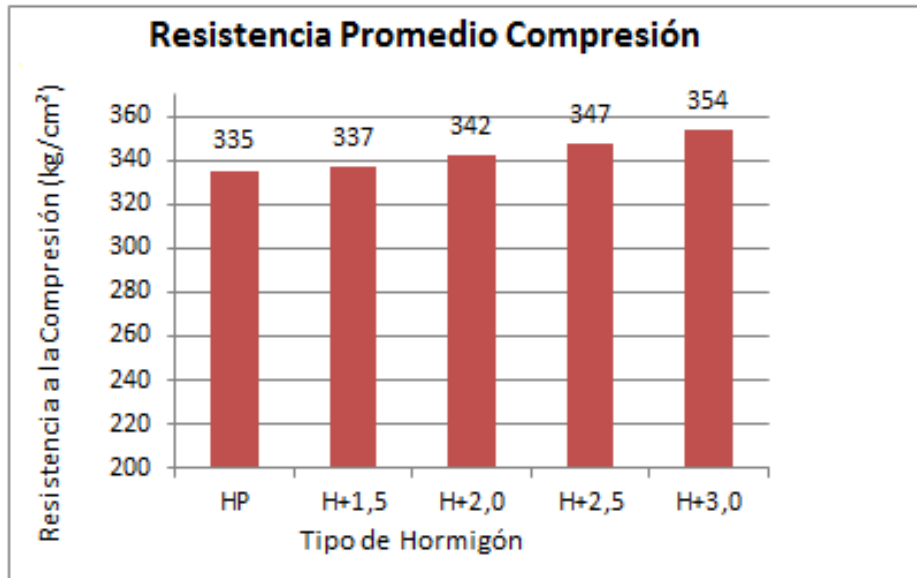
C: Hormigón + 2,0 kg/m<sup>3</sup> Fibra, Probetas ensayadas a los 28 días.

D: Hormigón + 2,5 kg/m<sup>3</sup> Fibra, Probetas ensayadas a los 28 días.

E: Hormigón + 3,0 kg/m<sup>3</sup> Fibra, Probetas ensayadas a los 28 días.

Las probetas se transformaron a probetas cúbicas de dimensiones básicas de 20,0 cm. Para esto se aplicó el factor 0,95.

En la figura 5.5, se presenta el grafico de la resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)



**Figura 5.5: Gráfico Resistencia a Compresión**  
Fuente: Elaboración Propia

Los datos arrojados de la resistencia a la compresión fueron graficados de forma lineal y se presentan el siguiente modelo:

$$Y = mx + b$$

Y = Resistencia a la Compresión (cm)

X = Cantidad de fibra incorporada en la mezcla del hormigón (kg/m<sup>3</sup>)

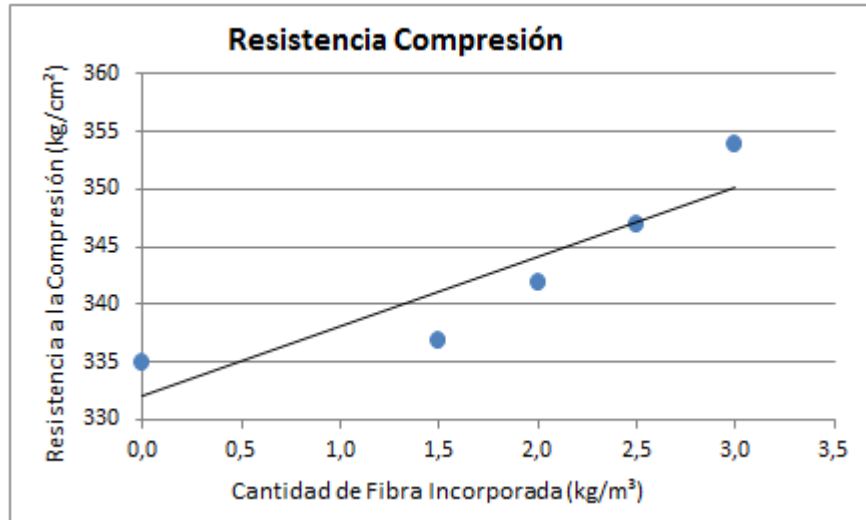
m = Pendiente de la recta

b = Intercepto

r = correlación

Quedando el modelo matemático  $Y = 6,0 X + 332$  con un coeficiente de correlación de  $r = 0,90$ . Con esto podemos decir que la resistencia a compresión predice con una exactitud de 90%.

En la figura 5.6, se presenta la gráfica lineal de compresión, obtenida a través del modelo anteriormente mencionado:



**Figura 5.6: Gráfico Lineal Resistencia a Compresión**  
Fuente: Elaboración Propia

Se presenta el análisis estadístico, con las medidas de dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación), realizado a los datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión:

**Tabla 5.4: Desviación Estándar y Coeficiente de Variación, Compresión**

Tipo de Hormigón	H.P	H + 1,5	H + 2,0	H + 2,5	H + 3,0
Promedio (kg/cm²)	335	337	342	347	354
Desviación (s)	3,5	7,2	4,0	15,5	10,7
Coef. Variación	1,04	2,14	1,17	4,47	3,02

Fuente: Elaboración Propia.

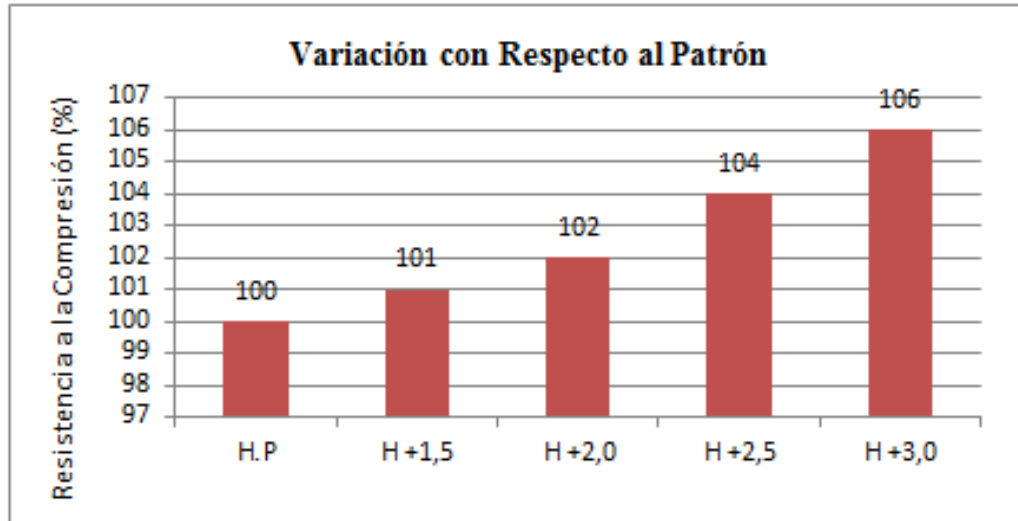
En la siguiente tabla 5.5, se muestra el efecto de la incorporación de fibras sobre la resistencia a la compresión, con respecto al alcanzado por el hormigón patrón:

**Tabla 5.5: Variación con Respecto al Patrón, Compresión**

Tipo de Hormigón	Medición (kg/cm²)	%
H.Patrón A	335	100
H + 1,5 B	337	101
H + 2,0 C	342	102
H + 2,5 D	347	104
H + 3,0 E	354	106

Fuente: Elaboración Propia.

La figura 5.7, nos muestra la gráfica obtenida a través de la variación de la resistencia a la compresión con respecto al obtenido en el hormigón patrón, en porcentaje:



**Figura 5.7: Gráfico de Variación con Respecto al Patrón, Compresión**  
Fuente: Elaboración Propia.

De la figura 5.7, se puede concluir que la incorporación de las fibras híbridas provoca un leve aumento de la resistencia a compresión en el hormigón, con la menor adición de fibras 1,5 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), se logró un aumento del 1% con respecto al patrón. La segunda adición 2,0 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) tiene una variación del 2%, con la adición de 2,5 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) se produce un aumento del 4% y con la última adición de fibra 3,0 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) se produce un aumento del 6% con respecto al patrón, demostrando que a mayor cantidad de fibra incorporada aumenta en pequeño porcentaje la resistencia a la compresión.

Con los análisis de los datos entregados en los ensayos de resistencia a compresión se puede concluir que a medida que se aumenta la incorporación de fibras híbridas en las mezclas, aumenta la resistencia a la compresión de dichos hormigones. Todos los datos obtenidos son efectivos, ya que todos sobrepasan el requerimiento de un hormigón H-30.

La figura 5.8, nos muestra las probetas que se sometieron a ensayo de resistencia a la compresión:



**Figura 5.8: Ensayo de Compresión**

La figura 5.9, presenta la probeta de hormigón patrón (sin adición de fibras), después de aplicar el ensayo a compresión:



**Figura 5.9: Probeta de Compresión  
Sin Adición de Fibras**

La figura 5.10, presenta la probeta de hormigón con adición de fibras, después de aplicar el ensayo a compresión:



**Figura 5.10: Probeta de Compresión  
Con Adición de Fibras**

### 5.3 Permeabilidad

El presente ítem muestra los resultados obtenidos luego de ensayar las probetas de dimensiones 15x15x12 cm. Que fueron sometidas bajo presión de agua por 72 y luego se rompieron para medir su penetración.

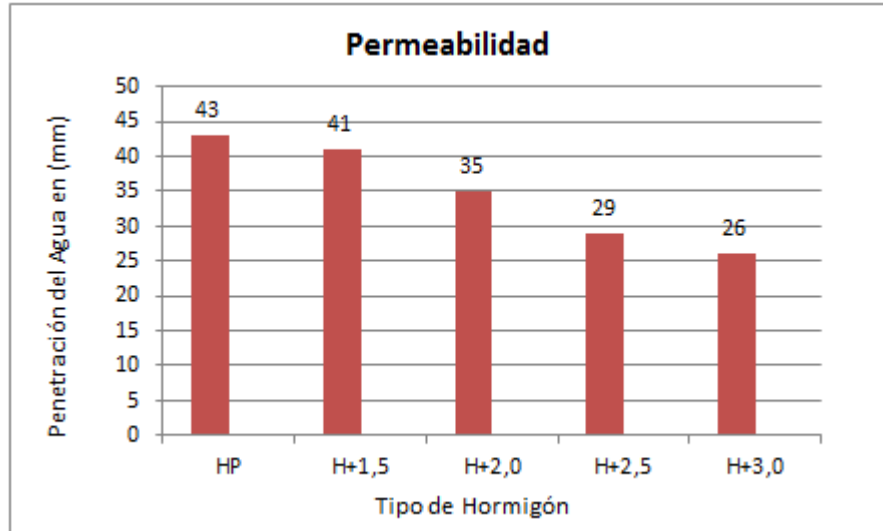
**Tabla 5.6: Medición de penetración de agua (mm) del Hormigón Estudio**

PROBETAS PERMEABILIDAD	MEDICIÓN 1 (mm)	MEDICIÓN 2 (mm)	PROMEDIO (mm)
A1	42	45	44
A2	41	40	41
A3	43	45	44
		PROMEDIO	43
PROBETAS PERMEABILIDAD	MEDICIÓN 1 (mm)	MEDICIÓN 2 (mm)	PROMEDIO (mm)
B1	45	46	46
B2	40	43	42
B3	39	35	37
		PROMEDIO	41
PROBETAS PERMEABILIDAD	MEDICIÓN 1 (mm)	MEDICIÓN 2 (mm)	PROMEDIO (mm)
C1	35	32	34
C2	39	37	38
C3	35	30	33
		PROMEDIO	35
PROBETAS PERMEABILIDAD	MEDICIÓN 1 (mm)	MEDICIÓN 2 (mm)	PROMEDIO (mm)
D1	28	30	29
D2	27	26	27
D3	31	33	32
		PROMEDIO	29
PROBETAS PERMEABILIDAD	MEDICIÓN 1 (mm)	MEDICIÓN 2 (mm)	PROMEDIO (mm)
E1	24	27	26
E2	26	28	27
E3	26	25	26
		PROMEDIO	26

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos se puede observar que a medida que se incorpora la fibra sintética en la mezcla de hormigón la permeabilidad disminuye, con respecto a la mezcla de hormigón patrón.

A continuación se gráfica la penetración del agua, de acuerdo al tipo de hormigón relacionado con la cantidad de fibras adicionadas.



**Figura 5.11: Gráfico de Penetración de Agua en (mm)**

Los datos arrojados del ensayo de permeabilidad al agua, fueron graficados de forma lineal y se presentan el siguiente modelo:

$$Y = mx + b$$

Y = Penetración del agua en (mm)

X = Cantidad de fibra incorporada en la mezcla del hormigón ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

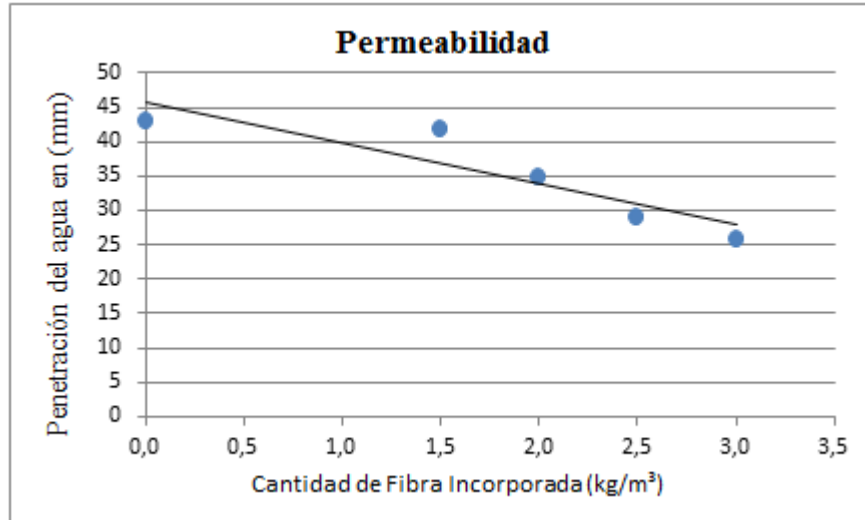
m = Pendiente de la recta

b = Intercepto

r = correlación

Quedando el modelo matemático  $Y = -5,94X + 45,7$ ; con un coeficiente de correlación de  $r = -0,90$ . Con esto podemos decir que la permeabilidad predice con una exactitud de 90%.

La figura 5.12, nos muestra la gráfica lineal de permeabilidad, obtenida con el modelo anteriormente mencionado:



**Figura 5.12: Gráfico Lineal de Penetración de Agua**

Se presenta el análisis estadístico, con las medidas de dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación), realizado a los datos obtenidos en el ensayo de permeabilidad al agua.

**Tabla 5.7: Desviación Estándar y Coeficiente de Variación, Permeabilidad**

Tipo de Hormigón	H.P	H + 1,5	H + 2,0	H + 2,5	H + 3,0
Promedio (mm)	43	41	35	29	26
Desviación (s)	1,7	4,5	2,7	2,5	0,6
Coef Variación (%)	4,0	11,0	7,6	8,6	2,2

Fuente: Elaboración Propia

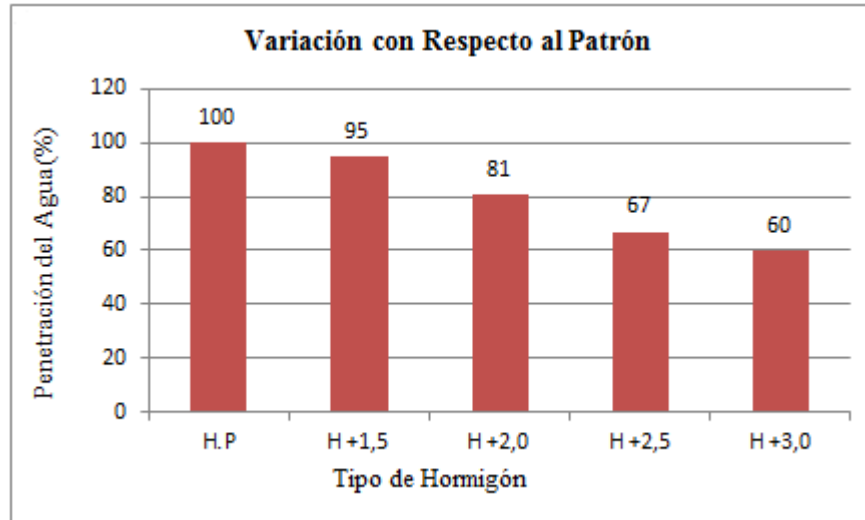
Efecto del contenido de fibras sintéticas sobre la permeabilidad al agua en hormigones, con respecto a la mezcla patrón:

**Tabla 5.8: Variación con Respecto al Patrón, Permeabilidad**

Tipo de Hormigón	Medición (mm)	%
H.Patrón A	43	100
H + 1,5 B	41	95
H + 2,0 C	35	81
H + 2,5 D	29	67
H + 3,0 E	26	60

Fuente: Elaboración Propia

El siguiente gráfico muestra el efecto de la incorporación de fibras híbridas en la mezcla del hormigón, mostrando su variación con respecto al hormigón patrón:



**Figura 5.13: Gráfico de variación con respecto al patrón, permeabilidad**  
Fuente Elaboración: Propia

De la figura 5.13, se puede concluir que la incorporación de las fibras híbridas cumplen un rol importante en la disminución de la permeabilidad en el hormigón, con la menor adición de fibras 1,5 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), se logró una disminución del 5% con respecto al patrón. La segunda adición 2,0 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) tiene una variación del 19%, con la adición de 2,5 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) se produce una disminución del 33% y con la última adición de fibra 3,0 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) se produce una importante disminución de un 40% con respecto al patrón, demostrando que la mayor cantidad de fibra incorporada es muy incidente en la permeabilidad del hormigón.

Con la obtención y análisis de los datos entregados en los ensayos de permeabilidad del agua bajo presión, se puede concluir que a medida que se aumenta la incorporación de fibras híbridas en las mezclas, disminuye la permeabilidad de dichos hormigones. Con los resultados de las incorporaciones de 2,5 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) y 3,0 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) podemos optar a la construcción en medioambientes agresivos químicamente, debido a que nos encontramos dentro del rango de la profundidad máxima de penetración de 30mm, establecido por la norma NCh 2262

La figura 5.14, muestra la probeta lista para ser ensayada a permeabilidad bajo presión de agua:



**Figura 5.14: Probeta Lista Para Someter al Ensayo**

La figura 5.15, muestra las probetas sometidas al ensayo de permeabilidad, durante las 72 horas requeridas por la norma:



**Figura 5.15: Ensayo de Permeabilidad**

La figura 5.16, presenta el proceso de rotura, para posteriormente medir la penetración del agua en la probeta de hormigón:



**Figura 5.16: Rotura de la Probeta**

La figura 5.17, muestra la medición de la penetración del agua en las probetas de hormigón:



**Figura 5.17: Medición de la Penetración de Agua**

## 5.4 Resistencia al Impacto

A continuación se detallan los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia al impacto, en probetas de dimensiones 20x20x6 cm.

### 5.4.1 Probetas Resistencia al Impacto

#### 5.4.1.1 Hormigón Patrón

**Tabla 5.9: Probetas Patrón Resistencia al impacto**

PROBETAS	Peso (Kg)	a1	a2	b1	b2	h1	h2	h3	h4
A1	6,026	20,1	20,2	20,2	20,1	6,0	6,1	6,1	6,2
A2	6,146	20,5	20,5	20,3	20,2	6,0	6,1	6,0	6,2
A3	6,000	20,4	20,6	20,2	20,3	6,3	6,1	6,3	6,1
A4	6,419	21,0	20,9	20,5	20,4	6,3	6,1	6,2	6,3
A5	5,829	20,4	20,6	20,0	20,3	6,0	6,0	6,1	6,2
A6	5,874	20,1	20,0	20,2	20,1	6,2	6,1	6,3	6,3

Fuente: Elaboración Propia

De todas las probetas ensayadas ninguna presento alguna alteración antes de los 35 cm.

Todas las fisuras se presentaron en la cara inferior a la impactada.

#### Detalles de cada probeta:

**A1:** Al registrar la caída de una altura de 37cm, se manifestaron las fisuras en el costado de la probeta, al revisar la probeta en su cara de apoyo pude apreciar que la primera fisura se manifestó en dicha cara, y así pude verificar en las siguientes probetas que todas se fisuraron en su cara de apoyo.

A los 38 cm se fisura la cara de ensayo, cabe recordar que esta no es la cara de llenado de la probeta.

A los 39 cm se produjo la rotura total de la probeta

**A2:** A partir de esta probeta, cada vez que se registraba una caída de la masa, se revisaba la cara de apoyo, para llegar a precisar la altura en que realmente se fisuraba la probeta. Y se pudo concluir que a los 35 cm se fisuro la cara de apoyo.

A los 36cm, se manifestaron las fisuras laterales.

A los 37 se produce la ruptura de la probeta.

**A3:** Se presentan fisuras en la cara de apoyo (cara de llenado) a los 37cm. Las fisuras laterales se manifiestan a los 38 cm.

A los 39 cm, se fisura la cara de impacto

La ruptura se produjo a los 40 cm.

**A4:** Fisura en área de apoyo a los 40 cm. Fisuras laterales 42 cm.

Se produjo la ruptura de la probeta a los 43 cm.

**A5:** Fisura cara inferior a los 37 cm. A los 41cm fisura en la cara de impacto.  
Ruptura de la probeta a los 42 cm

**A6:** A los 37cm. Fisura en cara inferior, fisuras laterales a los 38 cm.  
Ruptura de la probeta a los 39 cm.



**Figura 5.18: Probetas, Hormigón Patrón.  
Resistencia al Impacto**

#### 5.4.1.2 Hormigón + 1,5 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 5.10: Probetas Estudio + 1,5 kg/m<sup>3</sup>, Resistencia al Impacto**

PROBETAS	Peso (Kg)	a1	a2	b1	b2	h1	h2	h3	h4
B1	6,156	20,5	20,6	20,4	20,2	6,3	6,2	6,4	6,2
B2	6,352	20,9	20,7	20,5	20,5	6,3	6,2	6,2	6,2
B3	5,938	20,2	20,3	20,0	20,2	6,2	6,4	6,0	6,1
B4	5,967	20,1	20,0	20,2	20,2	6,2	6,0	6,0	6,0
B5	6,311	20,9	20,8	20,6	20,6	6,1	6,4	6,4	6,2
B6	5,882	20,4	20,2	20,5	20,4	6,0	6,0	6,1	6,1

Fuente: Elaboración Propia

Todas las fisuras se presentaron en la cara de apoyo de la probeta.  
Todas las Probetas fueron ensayadas hasta los 60cm.

#### **Detalles de cada probeta:**

**B1:** Fisura cara inferior (cara de llenado) a los 41 cm. Fisura lateral se produce a los 42 cm. A los 50 cm se produce la fisura a la cara de impacto.

**B2:** A los 42 cm, se produce la fisura en cara de apoyo, a los 43 se presenta la fisura lateral. La fisura en la cara de impacto se produce a los 50 cm.

**B3:** A los 39 cm se fisura la cara de apoyo, a los 42 cm la fisura se produce en la cara de impacto. Esta probeta se ensayó hasta los 70 cm, para ver cómo se comportaba la fibra. Entre los 45 cm hasta los 65 cm la fibra impide la separación del hormigón (aunque éste ya se encuentra agrietado totalmente) y de los 66 cm hasta los 70 cm la fibra trabaja en su totalidad, llegando a la ruptura de éstas.

**B4:** Fisura en la cara de apoyo se produce a los 46 cm. A los 49 cm, se produce la fisura en cara de impacto.

**B5:** A los 40 cm, se produce la fisura en la cara de apoyo (cara de llenado), a los 42 cm, la fisura llega a la cara de impacto.

**B6:** Fisura en la cara de apoyo a los 44 cm, a los 45 cm la fisura es lateral, en la cara de impacto la fisura se presenta a los 47 cm.



**Figura 5,19: Probetas Estudio 1,5 kg/m<sup>3</sup>  
Resistencia al impacto**

### 5.4.1.3 Hormigón + 2,0 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 5.11: Probetas Estudio + 2,0 kg/m<sup>3</sup>, resistencia impacto**

PROBETAS	Peso (Kg)	a1	a2	b1	b2	h1	h2	h3	h4
C1	6,006	20,2	20,2	20,2	20,2	6,2	6,2	6,5	6,3
C2	6,298	20,8	20,9	20,6	20,7	6,0	6,3	6,0	6,2
C3	5,878	20,4	20,4	20,2	20,2	6,0	6,0	6,1	6,0
C4	5,997	20,0	20,2	20,0	20,3	6,1	6,2	6,0	6,0
C5	6,059	20,8	20,9	20,2	20,2	6,1	6,2	6,3	6,3
C6	6,399	20,3	20,5	20,5	20,5	6,1	6,3	6,2	6,3

Fuente: Elaboración Propia.

Todas las fisuras se presentaron en la cara de apoyo de la probeta.

Todas las Probetas fueron ensayadas hasta los 60cm.

#### Detalle de cada probeta:

**C1:** A los 48 cm se produce la fisura en la cara de apoyo, a los 51 cm la fisura llega a la cara de impacto.

**C2:** La fisura en la cara de apoyo se produce a los 39 cm. A los 46 cm se produce la fisura en la cara de impacto.

**C3:** A los 38 cm se produce la fisura en la cara de apoyo (cara de llenado), a los 49 cm se produce la fisura en cara de impacto.

**C4:** En la cara de apoyo la fisura se produce a los 43 cm, la fisura llega a la cara de impacto a los 47 cm.

**C5:** La fisura en la cara de apoyo se produce a los 44 cm, a la cara de impacto la fisura llega a los 49 cm.

**C6:** A los 45 cm se fisura la cara de apoyo, a los 51 cm llega la fisura a la cara de impacto.



**Figura 5.20: Probetas Estudio 2,0 kg/m<sup>3</sup>  
Resistencia al impacto**

#### 5.4.1.4 Hormigón + 2,5 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 5.12: Probetas Estudio + 2,5 kg/m<sup>3</sup>, resistencia al impacto**

PROBETAS	Peso (Kg)	a1	a2	b1	b2	h1	h2	h3	h4
D1	6,365	20,8	20,8	20,4	20,5	6,4	6,2	6,4	6,3
D2	6,023	20,0	20,0	20,1	20,0	6,0	6,2	6,3	6,2
D3	6,050	20,3	20,2	20,5	20,3	6,2	6,1	6,0	6,2
D4	6,354	20,9	20,5	20,5	20,5	6,1	6,2	6,0	6,1
D5	6,133	20,0	20,2	20,5	20,5	6,1	6,4	6,3	6,3
D6	5,956	20,0	20,3	20,2	20,0	6,1	6,1	6,2	6,2

Fuente: Elaboración Propia

Todas las fisuras se presentaron en la cara de apoyo de la probeta.

Todas las Probetas fueron ensayadas hasta los 60cm.

#### Detalle de las probetas:

**D1:** A los 56 cm se presenta la fisura en la cara de apoyo, a los 57 cm fisura lateral. A los 60 cm la fisura llega a la cara de impacto.

**D2:** La fisura en la cara de apoyo se manifiesta a los 48 cm. A los 54 cm la fisura llega a la cara de impacto.

**D3:** A los 42 cm la fisura se presenta en la cara de apoyo. La fisura llega a la cara de impacto a los 52cm.

**D4:** A los 40 cm se produce la fisura en la cara de apoyo, a los 50 cm la fisura llega a la cara de impacto.

**D5:** La fisura en cara de apoyo se presenta a los 44 cm, a los 52 cm llega a la cara de impacto.

**D6:** A los 48 cm se presenta la fisura en la cara de apoyo (cara de llenado), a los 52 cm la fisura llega a la cara de impacto.



**Figura 5.21: Probetas estudio 2,5 kg/m<sup>3</sup>  
Resistencia al impacto**

### 5.4.1.5 Hormigón + 3,0 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 5.13: Probetas Estudio+ 3,0 kg/m<sup>3</sup> Resistencia al Impacto**

PROBETAS	Peso (Kg)	a1	a2	b1	b2	h1	h2	h3	h4
E1	6,243	20,1	20,2	20,4	20,4	6,1	6,2	6,2	6,1
E2	5,997	20,0	20,0	20,1	20,1	6,2	6,2	6,1	6,1
E3	6,354	20,4	20,3	20,5	20,5	6,1	6,1	6,0	6,0
E4	6,043	20,3	20,2	20,4	20,4	6,2	6,0	6,1	6,0
E5	6,110	20,3	20,2	20,0	20,1	6,3	6,1	6,3	6,3
E6	6,523	20,5	20,5	20,6	20,6	6,3	6,3	6,4	6,4

Fuente: Elaboración Propia

Todas las fisuras se presentaron en la cara de apoyo de la probeta.  
Todas las Probetas fueron ensayadas hasta los 60cm.

#### Detalle de cada probeta:

**E1:** A los 53 cm se fisura la cara de apoyo (cara de llenado), a los 54 la fisura es lateral, en la cara de impacto la fisura llega a los 57 cm.

**E2:** La cara de apoyo se fisura a los 45 cm, la fisura llega a los 48 cm a la cara de impacto.

**E3:** A los 48 cm la fisura se presenta en la cara de apoyo, a los 55 cm la fisura llega a la cara de impacto.

**E4:** A los 40 cm se fisura la cara de apoyo, a los 42 la fisura es lateral, a los 50 cm la fisura se presenta en la cara de impacto.

**E5:** La fisura en la cara de apoyo se presenta a los 44 cm, a la cara de impacto la fisura llega a los 52 cm.

**E6:** A los 53 cm se fisura la cara de apoyo, a los 58 cm la fisura llega a la cara de impacto.



**Figura 5.22: Probeta Estudio 3,0 kg/m<sup>3</sup>**

### 5.4.2 Alturas Registradas

**Tabla 5.14: Altura de Fisura Hormigón Patrón**

Probetas HP	Altura Fisura (cm)
HP1	37
HP2	35
HP3	37
HP4	40
HP5	37
HP6	37
<b>Promedio</b>	<b>37</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 5.15: Altura de Fisura Hormigón 1,5 kg/m<sup>3</sup>**

Probetas H1,5	Altura Fisura (cm)
H1	41
H2	42
H3	39
H4	46
H5	40
H6	44
<b>Promedio</b>	<b>42</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 5.16: Altura de Fisura Hormigón 2,0 kg/ m<sup>3</sup>**

Probetas H2,0	Altura Fisura (cm)
H1	48
H2	39
H3	38
H4	43
H5	44
H6	45
<b>Promedio</b>	<b>43</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 5.17: Altura de Fisura Hormigón 2,5 kg/m<sup>3</sup>**

<b>Probetas H2,5</b>	<b>Altura Fisura (cm)</b>
H1	56
H2	48
H3	42
H4	40
H5	44
H6	48
<b>Promedio</b>	<b>46</b>

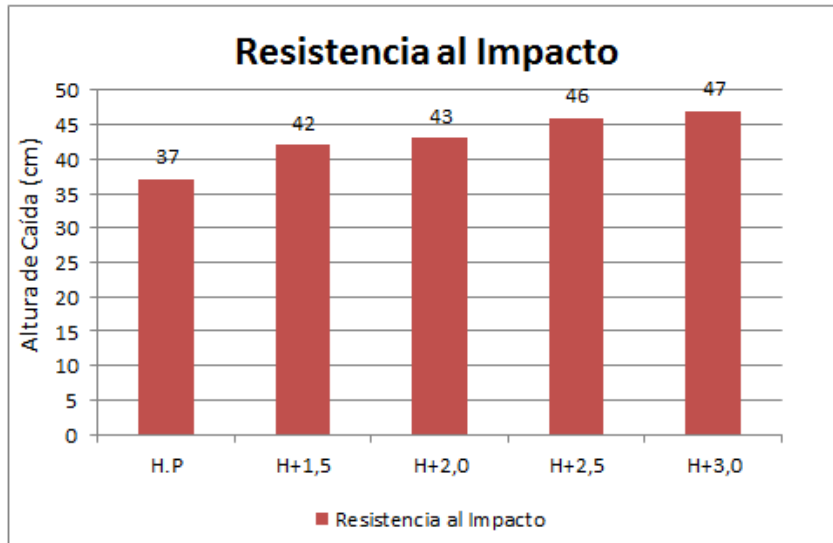
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 5.18: Altura de Fisura Hormigón 3,0 kg/m<sup>3</sup>**

<b>Probetas H3,0</b>	<b>Altura Fisura (cm)</b>
H1	53
H2	45
H3	48
H4	40
H5	44
H6	53
<b>Promedio</b>	<b>47</b>

Fuente: Elaboración Propia

La figura 5.23, nos presenta la gráfica de las alturas obtenidas en el ensayo de resistencia al impacto:



**Figura 5.23: Gráfico Resistencia al impacto**  
Fuente: Elaboración Propia

Los datos arrojados del ensayo de permeabilidad al agua, fueron graficados de forma lineal y se presentan el siguiente modelo:

$$Y = mx + b$$

Y = Resistencia al impacto en (cm)

X = Cantidad de fibra incorporada en la mezcla del hormigón ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

m = Pendiente de la recta

b = Intercepto

r = correlación

Quedando el modelo matemático  $Y = 3,4X + 36,9$ ; con un coeficiente de correlación de  $r = 0,99$ . Con esto podemos decir que la resistencia al impacto predice con una exactitud de 99%.

La figura 5.24, nos muestra la gráfica lineal de resistencia al impacto, obtenida con el modelo anteriormente mencionado:

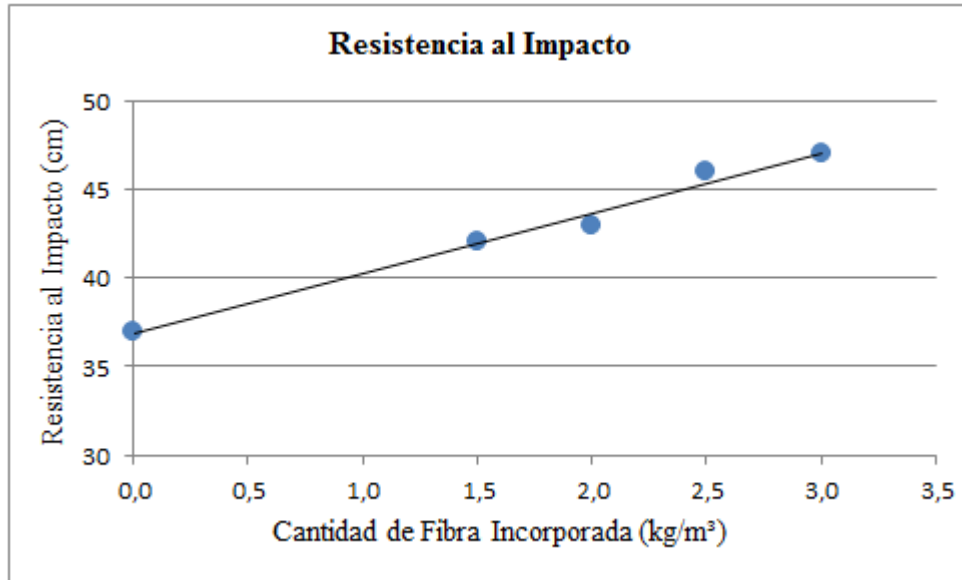


Figura 5.24: Gráfico Lineal de Resistencia al impacto  
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos de acuerdo a la correlación  $r = 0,99$  podemos concluir que existe un grado de relación de las dos variables muy alto, aun así no llegamos a una relación directa, es decir, cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hacen en proporción constante.

Se presenta el análisis estadístico, con las medidas de dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación), realizado a los datos obtenidos en el ensayo de resistencia al impacto.

**Tabla 5.19: Desviación Estándar y Coeficiente de Variación, Resistencia al impacto**

Tipo de Hormigón	H.P	H +1,5	H +2,0	H +2,5	H +3,0
Promedio	37	42	43	46	47
Desviación (s)	1,60	2,61	3,76	5,72	5,19
Coef. Variación	4,3	6,2	8,7	12,4	11,0

Fuente: Elaboración Propia.

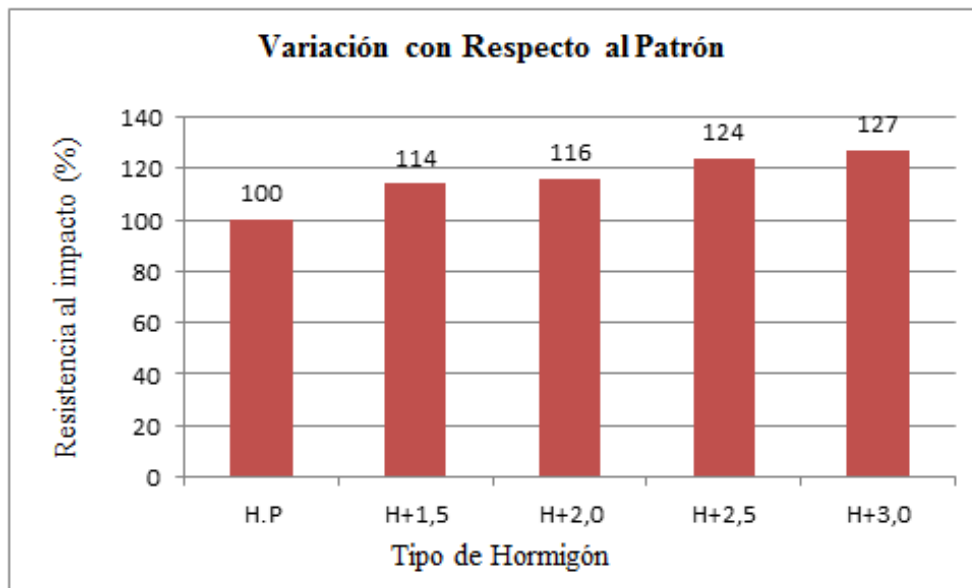
Efecto del contenido de fibras híbridas sobre la resistencia al impacto en hormigones, con respecto a la mezcla patrón:

**Tabla 5.20: Variación con Respecto al Patrón, Resistencia al Impacto**

Tipo de Hormigón	Medición (cm)	%
H.Patrón A	37	100
H +1,5 B	42	114
H +2,0 C	43	116
H +2,5 D	46	124
H +3,0 E	47	127

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra la gráfica obtenida a través de la variación del asentamiento de cono, con respecto al obtenido en el hormigón patrón, en porcentaje:



**Figura 5.25: Gráfico de Variación con Respecto al Patrón, Resistencia al impacto**  
Fuente: Elaboración Propia

Podemos apreciar que debido al aumento de la cantidad de fibra incorporada, aumenta la resistencia al impacto, con la mínima adición de fibras de  $1,5 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  se obtiene un incremento del 14% con respecto al hormigón patrón, en la segunda adición de  $2,0 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  tiene una variación de 16%, la tercera adición de  $2,5 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  se produce un incremento del 24%, y la última adición de  $3,0 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  se presenta un incremento del 27% en relación al hormigón patrón, así podemos concluir que las fibras tiene incidencia en el aumento de la resistencia al impacto.

La figura 5.26, muestra el equipo fabricado por el investigador para la realización del ensayo de resistencia al impacto:



**Figura 5.26: Equipo Resistencia al impacto**

La figura 5.27, presenta la bola de impacto que se emplea en el ensayo:



**Figura 5.27: Bola Para Impacto**

La figura 5.28, muestra el impacto que genera la bola de acero en las probetas de hormigón:



**Figura 5.28: Impacto de la Masa**

## Capítulo VI: Conclusiones

### 6.1 Respecto a los Ensayos

- La adición de fibras sintéticas híbridas, genera una proporción inversa entre la cantidad de fibra v/s el asentamiento, con la mayor adición de fibras se obtiene el menor asentamiento, sin embargo, el hormigón mantiene la trabajabilidad.
- La influencia de las fibras híbridas sobre la resistencia a compresión en el hormigón, producen un leve incremento progresivo con respecto al patrón, el hormigón estudio con una adición de 1,5 (kg/m<sup>3</sup>) logra un aumento de un 1% con respecto al patrón, con el máximo de adición de 3,0 (kg/m<sup>3</sup>) se logra un incremento del 6% con respecto al patrón.
- La inclusión de fibras sintéticas híbridas al hormigones, determina una disminución considerable de la permeabilidad, se obtiene con la mínima dosificación de fibras 1,5 (kg/m<sup>3</sup>) una disminución del 5% con respecto al hormigón patrón y con la máxima dosificación que se consideró para el estudio 3,0 (kg/m<sup>3</sup>), se produce una importante disminución de un 40% con respecto al patrón, demostrando que la mayor cantidad de fibra incorporada es muy incidente en la permeabilidad del hormigón.
- Al aumentar la cantidad de fibra incorporada, aumenta la resistencia al impacto, con la mínima adición de fibras 1,5 (kg/m<sup>3</sup>), se obtiene un incremento del 14% con respecto al patrón y con la máxima adición de 3,0 (kg/m<sup>3</sup>) se genera un incremento considerable del 27% en relación al patrón.

El conjunto de resultados obtenidos en el estudio, nos permite comprobar la hipótesis planteada, sobre el incremento de la resistencia al impacto y la disminución de la permeabilidad, logrando un hormigón óptimo del tipo H+3,0(kg/m<sup>3</sup>) dentro lo evaluado.

## 6.2 Propuesta de Investigaciones Futuras

- Generar un estudio Técnico-económico de la utilización de las fibras sintéticas híbridas hormigones.
- Para el ensayo de resistencia al impacto, realizar un estudio comparativo con la utilización de fibras sintéticas híbridas v/s otras fibras adicionadas al hormigón.
- Realizar una comparación económica de la utilización de fibras sintéticas híbridas v/s mallas metálicas, en pisos industriales.

## Bibliografía

- AFADI, (1999), Hormigón Impermeable, Santiago, Chile.
- Blanco, F (2009) Propiedades Mecánicas. Ensayos, Universidad de Oviedo, España  
Disponible en  
<<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/TEMAIL.2.8.MECANICAS.Ensayos.pdf>>
- Casinnello, F. (1996) Construcción: Hormigonería. Editorial Rueda. Madrid, España.
- Construmática, (2013) Resistencia al impacto en baldosas de terrazo. Disponible en:  
<[http://www.construmatica.com/construpedia/Resistencia\\_al\\_Impacto\\_de\\_Baldosas\\_de\\_Terrazo](http://www.construmatica.com/construpedia/Resistencia_al_Impacto_de_Baldosas_de_Terrazo)>
- Crespo, S. (2010) Materiales de construcción para edificación y obra civil. Editorial Club Universitario. San Vicente, España.
- Gómez, (2008). Identificación y Cuantificación de algunos factores en la Permeabilidad de Concretos y Morteros. Disponible en  
<[http://www2.unalmed.edu.co/minas/index2.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=1056&Itemid=57](http://www2.unalmed.edu.co/minas/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=1056&Itemid=57)>
- Hummel, A. (s/a) Prontuario del Hormigón (12º edición) Editorial Técnicos asociados s.a. Barcelona, España.
- ICPA, (1990) Importancia de la permeabilidad den los hormigones. Boletín IPCA N°137. Disponible en <<http://www.icpa.org.ar/publico/files/per,bo1%20137.pdf>>
- Instituto Nacional Normalización INN Chile. “Hormigón y mortero Métodos de ensayo – Determinación de la permeabilidad al agua - Método de la penetración de agua bajo presión”. NCh 2262, 2009.
- Instituto Nacional Normalización INN Chile. Áridos para morteros y hormigones - Requisitos generales. NCh163 Of 1979.
- Instituto Nacional Normalización INN Chile. Hormigón – Ensayo de Compresión de probetas cúbicas y cilíndricas. NCh1037 Of 1977.
- Kohlhaas y Labahn, (1985) Prontuario del cemento. Editorial Técnicos asociados s.a. Barcelona. España

- Neville, A. (1995) Tecnología del Concreto (4° edición) Editorial Pitman Publishing. Londres, Inglaterra.
- Porrero, J, et all. (1996) “Manual del Concreto. Concreto con Fibras”, (1° Edición) Editor SIDETUR. Caracas, Venezuela.
- Rixom, M (1978) Aditivos para los hormigones: Composición, propiedades y empleo (1° Edición) Editorial Técnicos asociados s.a. Barcelona, España.
- Ruredil, Disponible en <<http://www.ruredil.cl/PDF/RuredilXFiber54.pdf>>
- Simba, (2007). La Impermeabilización en construcciones nuevas y existentes. Disponible en <<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1310/1/CD-0562.pdf>>.
- Tecno B, (2010) Método para fabricar hormigones de elevada impermeabilidad. Disponible en <[http://www.betonsafe.it/documentazioni/depliant\\_betonsafe\\_ES.pdf](http://www.betonsafe.it/documentazioni/depliant_betonsafe_ES.pdf)>
- Universidad Católica del Norte () Materiales de Construcción, Soleras Disponible en: <<http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/solerasm2.htm>>