



FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE CONSTRUCCION CIVIL

EFFECTO DE LA INCORPORACION DE MEZCLA DE FIBRAS
POLIPROPILENO / POLIETILENO SOBRE LA EXUDACION Y LA
RESISTENCIA MECANICA DEL HORMIGON

POR

JAIME ANDRES ALBORNOZ RIQUELME

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA
CONSTRUCCION Y EL TITULO DE INGENIERO CONSTRUCTOR

PROF. GUIA: JUAN EGAÑA RAMOS

SEPTIEMBRE 2014

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos en primer lugar a mis padres, quienes siempre estuvieron presentes en este proceso. A ambos les agradezco por su constante preocupación y apoyo en este camino. Los quiero mucho.

Agradecimientos a mi Profesor guía Juan Egaña, por su enorme voluntad y orientación. Además de ser un excelente profesional y profesor, destaco más su humildad y la gran persona que es.

Agradecimientos a la gente de Laboratorio, Don Víctor y Aldo, cada uno fue una gran ayuda para conseguir mis objetivos de esta tesis, por su gran disposición en lo que necesitaba.

Agradecimientos a una mujer que me hizo sentir como en casa y que me dio confianza desde el primer minuto, además de ser una excelente secretaria, es una persona de grandes valores que destaco. Gracias Empecita.

Y por último agradecer a mis compañeros que muchos de ellos ya pasaron a ser mis amigos, viví grandes momentos con cada uno de ellos, las tallas fueron muchas, grandes recuerdos.

Los cito a cada uno de ellos:

David (el Tawa), Mazzini (mais cero respeto du mundo), Gonzalo (Chalo), Felipe M, Camilo (Perrini-perrini), Ronald (Chico), Lucho (Oyin), Daniel (Cruz Coke), Julio (fuckin nigga), Esteban (Changuitos), Felipe (el Pata), Nicolás (Peluo), Zamu (Perroco), Camilo (Mago), Jose (Fisicov), Wester (Rata), Ayala (Waldo Ponce), Pato (Suizo), Ondina, Caro M, Romina A, Dayana R, la Cata (el Coto), Guatón Roldan, Gonzalo (Maco), Rodrigo (Chasca), Parra (Guasón), Basso, Felipe P (el waton), Chalo Vega, Cassano, Italo (Arenito), Isaac, Espinoza, Yavar, y varios Q.E.P.D. Gracias por todos esos momentos que quedaran en mi memoria.

“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado...

... un esfuerzo total es una victoria ganada”

Mahatma Gandhi

Tesis dedicada a mi familia y a mí, un logro que comparto con ellos.

INDICE

CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.....	14
1.1. INTRODUCCIÓN	14
1.2. OBJETIVOS.....	15
1.2.1. <i>Objetivo General</i>	15
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	15
1.3. HIPÓTESIS.....	16
1.4. ALCANCES.....	16
CAPITULO 2: MARCO TEORICO.....	18
2.1. GENERALIDADES.....	18
2.2. HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS (HRF).....	19
2.3. MECANISMO DE REFUERZO	22
2.4. COMPONENTES DEL HORMIGÓN.....	23
2.4.1. <i>Cemento</i>	23
2.4.2. <i>Áridos</i>	24
2.4.3. <i>Adiciones</i>	24
2.5. MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS	28
2.6. INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LA FIBRA.....	28
2.7. FASE MATRIZ.....	29
2.8. TIPOS DE FIBRAS	30
2.8.1. <i>Fibra de Acero</i>	30
2.8.2. <i>Fibra de Vidrio</i>	33
2.8.3. <i>Fibra de Polipropileno</i>	34
2.8.3.1. Características y Especificaciones	34
2.8.3.2. Ventajas de la Fibra de Polipropileno	35
2.8.3.2.1. Control de Grietas por Retracción y Fluencia	35
2.8.3.2.2. Incrementa la Resistencia al Impacto.....	36
2.8.3.2.3. Reducción de la Permeabilidad	36
2.8.3.2.4. Incrementa la Resistencia a la Rotura	36
2.8.3.2.5. Máximo Índice de Tenacidad	37
2.8.3.2.6. Mejora la Hidratación	37
2.8.3.2.7. Puede ser Agregado en Planta o In Situ	37

2.8.3.3. Propiedades Mecánicas, Físicas y Químicas de las Fibras de Polipropileno	38
2.8.3.3.1. Propiedades Mecánicas	38
2.8.3.3.2. Propiedades Químicas	38
2.8.3.3.3. Propiedades Físicas	38
2.8.4. <i>Fibras Híbridas</i>	39
2.9. POLIETILENO.....	40
2.9.1. <i>Generalidades</i>	40
2.9.2. <i>Definición</i>	40
2.9.3. <i>Propiedades del Polietileno</i>	41
2.9.4. <i>Ventajas del Polietileno</i>	41
2.10. EXUDACIÓN	42
2.10.1. <i>Norma A.S.T.M. C 232 - 92</i>	43
2.10.2. <i>Cálculos</i>	45
2.10.3. <i>Efectos de la Exudación</i>	46
2.10.4. <i>Medidas para controlar la Exudación (Aspectos Teóricos)</i>	47
CAPITULO 3: CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR	49
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO A UTILIZAR	49
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA A UTILIZAR	49
3.3. CARACTERÍSTICAS DEL ÁRIDO A UTILIZAR	49
3.3.1. <i>Características de la Arena a utilizar</i>	50
3.3.1.1. La Granulometría para Arenas:	50
3.3.1.2. Densidades de la Arena	51
3.3.2. <i>Características de Grava a Utilizar</i>	53
3.3.2.1. Densidad Grava	54
3.3.3. <i>Árido combinado, la mezcla de Arena y Grava</i>	56
3.4. CARACTERÍSTICAS DEL ADITIVO A UTILIZAR	58
3.4.1. <i>Descripción del Aditivo</i>	58
3.4.2. <i>Información Técnica</i>	59
CAPITULO 4: DETALLE EXPERIMENTAL Y METODOLOGIA A APLICAR.....	61
4.1. GENERALIDADES.....	61
4.2. PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS A REALIZAR.....	63
4.2.1. <i>Etapas de los Ensayos</i>	63
4.3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE EXUDACIÓN.....	64
4.4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE ASENTAMIENTO.....	66
4.5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE COMPRESIÓN	68

4.6. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE FLEXOTRACCION.....	70
4.7. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE TRACCIÓN POR HENDIMIENTO	71
4.8. APARATOS Y EQUIPOS	73
4.8.1. <i>Docilidad</i>	73
4.8.2. <i>Exudación</i>	73
4.9. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	74
CAPITULO 5: DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	76
5.1. GENERALIDADES.....	76
5.2. GRANULOMETRÍA ÁRIDOS	77
5.2.1. <i>Áridos</i>	77
5.2.1.1. Granulometría Grava	78
5.2.1.2. Granulometría Arena	80
5.2.1.3. Árido Combinado (Mezcla de Arena y Grava)	82
5.2.2. <i>Densidades Aparentes Áridos</i>	83
5.2.2.1. Densidad Aparente de la Arena	84
5.2.2.2. Densidad Aparente de la Grava	85
5.2.3. <i>Densidad Real, Neta y Absorción de Agua en Áridos</i>	86
5.2.3.1. Densidad Real de la Arena	86
5.2.3.2. Densidad Real de la Grava	87
5.2.3.3. Densidad Neta de la Arena	87
5.2.3.4. Densidad Neta de la Grava	88
5.2.3.5. Absorción del Agua de la Arena	88
5.2.3.6. Absorción del Agua de la Grava	88
5.3. CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN	89
5.4. FABRICACIÓN DE HORMIGÓN.....	91
5.5. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	92
5.5.1. <i>Etapas en Compresión</i>	92
5.5.2. <i>Flexotracción</i>	93
5.5.3. <i>Tracción por Hendimiento</i>	94
5.5.4. <i>Exudación</i>	95
CAPITULO 6: RESULTADOS Y ANALISIS DEL ESTUDIO.....	97
6.1. GENERALIDADES.....	97
6.2. PRIMERA ETAPA: HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO.....	98
6.2.1. <i>Asentamiento de Cono</i>	98
6.2.1.1. Propiedades y Resultados	98
6.2.2. <i>Exudación</i>	101

6.2.2.1. Propiedades y Resultados	101
6.2.2.1.1. Resultados para Hormigón Patrón	102
6.2.2.1.2. Resultados para Hormigón Reforzado con Fibras 2,0 Kg/m ³	103
6.2.2.1.3. Resultados para Hormigón Reforzado con Fibras 4,0 Kg/m ³	104
6.2.2.1.4. Resultados para Hormigón Reforzado con Fibras 6,0 Kg/m ³	105
6.2.2.1.5. Resultados para Hormigón Reforzado con Fibras 8,0 Kg/m ³	106
6.2.2.1.6. Resultados para Hormigón Reforzado con Fibras 10,0 Kg/m ³	107
6.2.2.2. Resultados Exudación	109
6.2.3. <i>Análisis Estadístico de Exudación v/s Dosis de Fibra.</i>	111
6.3. SEGUNDA ETAPA: HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO	117
6.3.1. <i>Generalidades</i>	117
6.3.2. <i>Resistencia Compresión</i>	117
6.3.3. <i>Resistencia Flexotracción</i>	121
6.3.4. <i>Resistencia Tracción por Hendimiento</i>	124
CAPITULO 7: CONCLUSIONES	128
7.1. GENERALIDADES	128
7.2. RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA EXPERIENCIA	128
7.3. USOS DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA TUF STRAND SF	129
7.4. PROPUESTA FUTURAS INVESTIGACIONES	129
BIBLIOGRAFÍA	130
ANEXOS	132
<i>Anexo 1: Tablas.</i>	132
1. Compresión	132
2. Flexotracción	133
3. Tracción por Hendimiento	134
<i>Anexo 2: Imágenes de la Experiencia.</i>	135
1. Asentamiento Hormigón Patrón	135
2. Asentamiento HRF	135
3. Agua acumulada ensayo de Exudación.	136
4. Ensayo Flexotraccion HP	136
5. Ensayo Flexotracción HRF	136

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2.1. Comportamiento típico de un hormigón reforzado con fibras (HRF).....	20
Figura 2.2. Esquema de ensaye según norma ASTM C 1018, donde se aprecia la viga cargada en el tercio central de la luz de ensaye.	21
Figura 2.3. Esquema de ensaye según norma EN 14651, donde se aprecia la viga cargada al centro de la luz de ensaye directamente sobre el eje vertical de la entalla de 25 mm.	21
Figura 2.4. Incidencia de las fibras en el comportamiento a flexotracción del hormigón.	22
Figura 2.5. Algunos tipos de Fibras Fuente: ACI 544.5R-10, 2010.	27
Figura 2.6. Imagen representativa de Fibra de Acero.....	30
Figura 2.7. Ejemplo de fibra metálica doblada.....	30
Figura 2.8. Ejemplo de diferentes secciones de fibras de acero.	31
Figura 2.9. Ejemplo de fibras de diferentes formas.....	32
Figura 2.10. Imagen representativa Fibra de Vidrio.....	33
Figura 2.11. Fibras de polipropileno existentes en el mercado.	35
Figura 2.12. Una muestra de fibra de Polietileno..	40
Figura 3.1. Granulometría Árido Combinado. Fuente: NCh 163 Of. 79.	57
Figura 3.2. Muestra de Fibra Sintética TUF-STRAND SF.....	58
Figura 4.1. Asentamiento del cono de Abrams	67
Figura 5.1. Cuarteo de áridos, según NCh 164 Of 1976.	77
Figura 5.2. Granulometría Grava, Tamiz en mm.....	79
Figura 5.2. Granulometría Arena, Tamiz en mm.....	81
Figura 5.3. Recipientes para calcular Densidad Aparente de Grava y Arena respectivamente..	83
Figura 6.1. Grafico Asentamiento de Cono.....	99
Figura 6.2. Porcentaje de Variación del Asentamiento de Cono c/r a Hormigón Patrón.	100
Figura 6.3. Grafico cantidad de agua acumulada por intervalos de tiempo s/Fibras.....	102

Figura 6.4. Grafico cantidad de agua acumulada por intervalos de tiempo c / HRF 2,0	103
Figura 6.5. Grafico cantidad de agua acumulada por intervalos de tiempo c / HRF 4,0	104
Figura 6.6. Grafico cantidad de agua acumulada por intervalos de tiempo c / HRF 6,0	105
Figura 6.7. Grafico cantidad de agua acumulada por intervalos de tiempo c / HRF 8,0	106
Figura 6.8. Grafico cantidad de agua acumulada por intervalos de tiempo c / HRF 10,0	107
Figura 6.9. Grafico Representativo Agua Acumulada, en ml Vs. Adición de fibras, en Kg/m ³	109
Figura 6.10. Grafico Resumen de desarrollo de Exudación en el Tiempo	110
Figura 6.11. Grafico de dispersión Agua Acumulada (ml) vs Dosis Fibra (Kg/m ³)	112
Figura 6.12. Resistencia a Compresión Media Hormigón Tipo en Estudio.....	119
Figura 6.13. Resistencia Relativa a Compresión de Hormigón Tipo en Estudio.	120
Figura 6.14. Resistencia a Flexotracción Media de Hormigón Tipo en Estudio.....	122
Figura 6.15. Resistencia Relativa a Flexotracción de Hormigón Tipo en Estudio.....	123
Figura 6.16. Resistencia a Tracción por Hendimiento Media de Hormigón Tipo en Estudio.	125
Figura 6.17. Resistencia Relativa a la Tracción Por Hendimiento a Hormigón Tipo en Estudio	126

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipos de Fibras más comunes y sus propiedades.....	25
Tabla 2.2. Tolerancias sobre las dimensiones según la norma americana	32
Tabla 3.1. Requisitos Granulométricos de la Arena..	50
Tabla 3.2. Requisitos Granulométricos de la Grava.	53
Tabla 3.3. Árido combinado. Granulometrías recomendadas para dosificación (% acumulado que pasa).....	56
Tabla 4.1. Tabla de Registro según norma ASTM C 232	65
Tabla 4.2. Cantidad de probetas por Ensayo, Mezcla, Edades de Ensayos	72
Tabla 4.3. Estimación volumen por colada	72
Tabla 5.1. Granulometría Grava	78
Tabla 5.2. Granulometría Arena	80
Tabla 5.3. Árido Combinado..	82
Tabla 5.4. Densidad Aparente Suelta Arena.	84
Tabla 5.5. Densidad Aparente Compactada Arena.....	84
Tabla 5.6. Densidad Aparente Suelta Grava.	85
Tabla 5.7. Densidad Aparente Compactada Grava.....	85
Tabla 5.8. Densidad Real Arena Saturada Superficialmente Seca..	86
Tabla 5.9. Densidad Real de Arena Seca	86
Tabla 5.10. Densidad Real Grava Saturada Superficialmente Seca	87
Tabla 5.11. Densidad Real de Grava Seca	87
Tabla 5.12. Densidad Neta Arena.....	87
Tabla 5.13. Densidad Neta Grava.....	88
Tabla 5.14. Absorción de Agua de la Arena	88
Tabla 5.15. Absorción de Agua de la Grava	88

Tabla 5.16. Dosificación para H30 (90) 20 8	90
Tabla 5.17. Dosificación por cada 80 Lts. de colada	90
Tabla 6.1. Asentamiento de Cono de Abrams	98
Tabla 6.2. Cantidad de agua Exudada en Hormigón sin presencia de Fibras	102
Tabla 6.3. Cantidad de agua Exudada con HRF 2,0	103
Tabla 6.4. Cantidad de agua Exudada con HRF 4,0	104
Tabla 6.5. Cantidad de agua Exudada con HRF 6,0	105
Tabla 6.6. Cantidad de agua Exudada con HRF 8,0	106
Tabla 6.7. Cantidad de agua Exudada con HRF 10,0	107
Tabla 6.8. Tabla Resumen de Valores Absolutos de Exudación	109
Tabla 6.9. Dosis Fibra (Kg/m ³) vs Agua Acumulada (ml).....	111
Tabla 6.10. Tabla de Estadística de la Regresión	112
Tabla 6.11. Tabla de ANOVA	113
Tabla 6.12. Tabla de Coeficientes	114
Tabla 6.13. Tabla de los Residuos	115
Tabla 6.14. Resultados Resistencia a Compresión por cada Hormigón Tipo en Estudio	118
Tabla 6.15. Resultados Resistencia a Flexotracción por cada Hormigón Tipo en Estudio. ..	121
Tabla 6.16. Resultados Resistencia a Tracción por Hendimiento de Hormigón Tipo en Estudio	124

Resumen

La experiencia consiste en estudiar el efecto que produce la incorporación de fibras sobre el hormigón. Las propiedades que se van a evaluar:

1. Hormigón Fresco:

Asentamiento, según NCh 1019.

Exudación, según ASTM C 232, método A.

2. Hormigón Endurecido:

Compresión, según NCh 1037.

Flexotracción, según NCh 1038.

Hendimiento, según NCh 1170.

Con el orden ya definido y las etapas establecidas, se efectuaron tres ensayos comparativos por cada tipo de hormigón, es decir, para Hormigón Patrón y para cada hormigón tipo con incorporaciones de fibras que fluctuaban entre 2Kg/m^3 a 10Kg/m^3 , (atendiendo a las recomendaciones del fabricante $1,8\text{Kg/m}^3$ a 12Kg/m^3) variando la incorporación en 2Kg/m^3 hasta lograr 5 muestras de hormigón tipo, además del Hormigón Patrón.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que al emplear estas fibras se produce una disminución notable de la exudación en el hormigón desde la primera incorporación de fibras. Además se observó que a mayor cantidad de fibras incorporada menor es el asentamiento del hormigón, pero con ello se apreció un aumento en la cohesión, no afectando así su docilidad.

En cuanto a la resistencia mecánica mejoró, en el caso de resistencia a flexotracción tuvo un aumento respecto del hormigón patrón de un 21%, similares resultados se observaron al someter las probetas a tracción por hendimiento el cual aumentó su resistencia poco más de un 6%, no así con el ensayo a compresión el cual bajó un 6%. Todos estos valores fueron resultados de la adición de 10Kg/m^3 respecto de Hormigón Patrón.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES GENERALES

CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Introducción

Se han desarrollado numerosos estudios y se ha respaldado, con una base más científica, la utilización de las fibras en materiales fabricados a base de cemento. Cuando se incorporan fibras a este tipo de materiales se genera en su estructura un refuerzo adicional que ayuda a evitar la formación de micro - fisuras.

Las primeras fibras que se conocen eran de origen vegetal, evolucionando a fibras de origen metálico, luego de vidrio y a fibras con distintos tipos de plásticos. Pero la investigación no ha cesado y en uno de los desarrollos más recientes está constituido por fibras sintéticas estructurales híbridas, cuya función es mejorar significativamente algunas propiedades del hormigón, particularmente, a la resistencia a la tracción y compresión. Estas fibras que se someterán a exámenes experimentales, está compuesto por mezcla de polipropileno / polietileno, multifilamento, las cuales se auto fibrilan cuando se incorporan en la mezcla de concreto, utilizadas exitosamente para reemplazar la malla electro-soldada y las fibras metálicas en una amplia variedad de aplicaciones.

En este estudio, se mostrara el comportamiento en cuanto a resistencia mecánica del hormigón convencional reforzada con fibras híbridas en función de las sollicitaciones a compresión, tracción por hendimiento y flexotracción en estado endurecido, poniendo especial énfasis en el fenómeno de la exudación en estado fresco. Con el fin de respaldar esta investigación, se realizaran una serie de pruebas y ensayos en los laboratorios de la Universidad de Valparaíso.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar experimentalmente la influencia de fibras sintéticas híbridas sobre la exudación y sobre la resistencia mecánica del hormigón.

1.2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Verificar de forma experimental el efecto que provocaría la adición de fibras sintéticas híbridas sobre la exudación del hormigón.
- ✓ Evaluar experimentalmente el efecto que causaría la adición de fibras sintéticas híbridas sobre la resistencia mecánica del hormigón.

1.3. Hipótesis

"El agregado de fibras sintéticas híbridas al hormigón disminuye su exudación y aumenta su resistencia mecánica".

1.4. Alcances

En esta tesis se busca determinar la influencia de las fibras sintéticas híbridas (polipropileno / polietileno) en el fenómeno de la exudación y analizar su resistencia mecánica utilizando procedimientos estándares que indican las NCh u otras como la ASTM.

- ✓ Ensayos de exudación acordes a la norma ASTM C 232.
- ✓ El hormigón a utilizar será H30 siendo el más representativo en las construcciones de losas y pavimentos industriales.
- ✓ A lo largo de este estudio se mantendrán el tipo de cemento, agua, áridos y fibras sintéticas híbridas. Con un tamaño máximo de árido de 20 mm.
- ✓ Las variaciones de cantidad de fibras se hacen con respecto a cantidades mínimos y máximos estipulados por fabricante.

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

CAPITULO 2: MARCO TEORICO

2.1. Generalidades

En la actualidad el hormigón es el elemento constructivo más utilizado debido mayormente a su capacidad de carga, menor costo en comparación con el acero y su versatilidad. No obstante se debe considerar que se encuentra limitado en ciertas áreas de aplicación, debido en gran parte a su fragilidad, baja resistencia a la tracción (equivalente a aproximadamente el 10% de su resistencia a la compresión) y baja capacidad de absorber energía.

El hormigón endurecido, al ser sometido a carga, presenta progresivamente un comportamiento variable, inicialmente elástico lineal; luego pierde linealidad debido a las micro-fisuras generales y micro-fisuras localizadas; y por último, después del agrietamiento, al alcanzar la carga máxima, adquiere un comportamiento plástico producto de la propagación de la fisura.

Debido a esto se ha buscado darle solución de distintas formas y una de ellas es la que se está exponiendo en este estudio experimental, sobre las fibras sintéticas híbridas polipropileno / polietileno.

2.2. Hormigón Reforzado con Fibras (HRF)

En la búsqueda de mejorar las propiedades del hormigón a mediados del siglo XIX se incorporaron barras de refuerzo embutidos logrando aumentar la ductilidad y la tenacidad al controlar la fragilidad y propagación de fisuras. A principios del siglo XX comienzan las primeras incursiones en la incorporación de fibras de acero al insertar clavos y alambres en el hormigón. En la actualidad existen fibras de origen natural, de acero y sintéticas utilizadas como refuerzo secundario y en algunos casos, bajo ciertas condiciones de carga han llegado a reemplazar las barras de refuerzo principal de acero. Ejemplo de ello lo contribuye el uso de fibras en dovelas para sostenimiento de túneles, sistema de construcción ampliamente difundido en España.

Las fibras han sido adicionadas para mejorar independiente o conjuntamente las propiedades del hormigón fresco o endurecido, reconociéndose en la tenacidad o capacidad de absorber energía uno de los beneficios más importantes de la incorporación de fibras, mejorando el comportamiento ante la fractura, al impacto y la fatiga (Gopalaratnam y Gettu, 1995).

La transición de un material frágil a dúctil tiene directa relación con la cantidad y tipo de fibra incorporada, donde influyen tanto las propiedades de la fibra como las del hormigón, Es así como, con aspectos de fibra (relación largo - diámetro) menores a 100, la falla del elemento está dominada por el arrancamiento de la fibra, siendo este tipo de falla ventajoso respecto a fallas por tensión de la fibra, dado que las fallas por arranque se producen en forma gradual, en contraste con lo más rápidas y posiblemente catastróficas que resulten las fallas por tensión de la fibra. Además la orientación relativa de las fibras respecto a la dirección de los esfuerzos de tracción influye de manera importante en la resistencia y comportamiento post-fisuración del elemento (Carmona y Maripanguí, 2007).

La capacidad que tiene el hormigón de disipar energía durante la deformación plástica, posterior a la fisura a carga máxima (P_{max}), es llamada tenacidad, la cual se calcula como el área bajo la curva carga-deformación ABCD (Figura 2.1), el hormigón reforzado con fibra logra una mayor ductilidad, permitiendo resistir mayores deformaciones y carga con respecto a un hormigón sin fibras, y al mismo tiempo, implica una mayor tenacidad, lo cual corresponde a la curva AB. Este aumento de la tenacidad o energía disipada corresponde a la diferencia de área bajo la curva OA y OAB, que se representa como el área achurada.

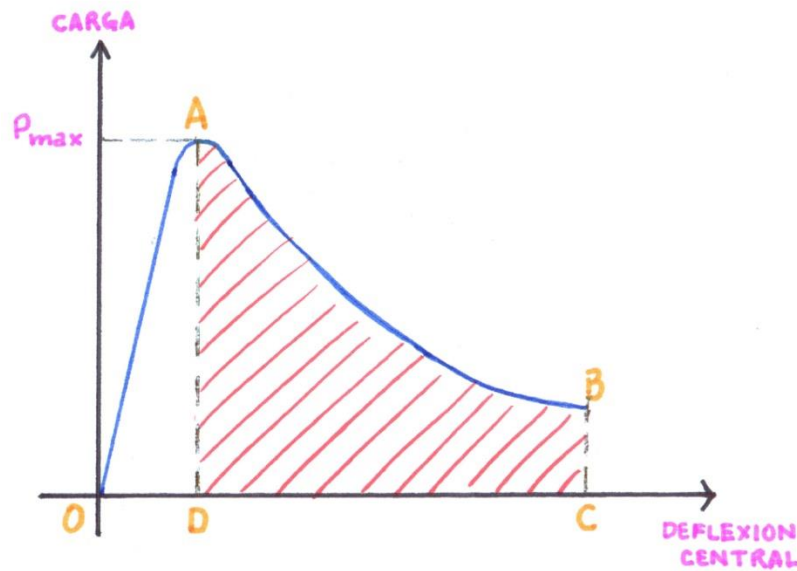


Figura 2.1. Comportamiento típico de un hormigón reforzado con fibras (HRF)
Fuente: Elaboración Propia

Idealmente, la tenacidad de los hormigones reforzados con fibras (HRF) ante esfuerzos de tracción se debería cuantificar a través del ensayo de tracción directa o tracción uniaxial. Sin embargo, la dificultad de ejecución de este ensayo impide su uso, y por consiguiente, se recomienda determinar la tenacidad de los HRF a través del ensayo de flexión, el que, además de ser simple, representa las condiciones de carga de muchas aplicaciones de los HRF (ACI, 2008).

Actualmente, existe un gran número de normas y recomendaciones que establecen las condiciones de ensayo y parámetros para evaluar y cuantificar el efecto de la incorporación de fibras en el hormigón. Una de ellas, la norma ASTM C 1018 (ASTM International, 2002), especifica el ensayo de flexión con carga a los tercios, sobre probetas sin entalla, ya la tenacidad es cuantificada a través de los índices de tenacidad y de resistencia a la primera fisura de los HRF. La norma Norte Americana ASTM C 1018 establece límites de desplazamientos correspondientes a la primera fisura (δ_c). Estos límites son: δ_c , $3\delta_c$, $5,5\delta_c$ y $10,5\delta_c$, los cuales establecen áreas y por defecto, tenacidades distintas. A partir de estas, se calculan límites adimensionales referidos a la tenacidad alcanzada en la primera fisura no representan el aporte realizado por las fibras, estos índices no son valores absolutos, sino solo de referencia.



Figura 2.2. Esquema de ensayo según norma ASTM C 1018, donde se aprecia la viga cargada en el tercio central de la luz de ensaye.

Otra recomendación ampliamente aceptada es el ensayo de flexión con carga central, sobre viguetas con entalla (Figura 2.2), recomendado por Rilem TC - 162 (Rilem, 2002), actualmente norma europea EN 14651 (CEN, 2005). La ventaja de este método es que es simple y se controla a través del desplazamiento de apertura de los bordes de la fisura (CMOD por el inglés Clark Mouth Opening Displacement), que asegura una propagación estable de la fisura, incluso para hormigón en masa. La curva carga - CMOD o bien carga - deflexión obtenidas a través de él pueden ser usadas para calcular las relaciones tensión - deformación o tensión - ancho de fisura y, de este modo, evaluar el efecto de la incorporación de las fibras. De este ensayo se obtiene el diagrama carga-abertura de fisura del hormigón (Figura 2.3) y a partir de los valores de carga correspondiente al límite de proporcionalidad (FL) y las aberturas de fisuras 0,5 mm y 2,5 mm (F1 y F3 respectivamente) se obtiene el valor de la resistencia a flexotracción (f_c, f_l) y los valores de resistencia residual a flexotracción correspondiente, $f_{R,1}$ y $f_{R,3}$.



Figura 2.3. Esquema de ensayo según norma EN 14651, donde se aprecia la viga cargada al centro de la luz de ensaye directamente sobre el eje vertical de la entalla de 25 mm.

2.3. Mecanismo de Refuerzo

Para entender cómo se realiza el refuerzo del hormigón por las fibras, hay que examinar la curva carga – deformación frente a la flexotracción comparando un hormigón en masa, un hormigón armado y de un hormigón reforzado con fibras. En la Figura 2.4 se puede apreciar de manera cualitativa el efecto de la presencia de las fibras en el hormigón. En un hormigón en masa o un hormigón sin fibras (HSF), una vez alcanzada la máxima carga, la curva cae rápidamente, ocurriendo la rotura. En un hormigón armado, la curva prácticamente continua resistiendo carga debido a la armadura de acero. Y en un hormigón reforzado con fibras en el momento en que se inicia la fisuración, en la zona posterior a la elástica, la curva decae, debido a que en el punto o sección más débil de la probeta se alcanza la resistencia a tracción del hormigón, pero luego, vuelve a aumentar la carga o se mantiene, debido a que en dicha sección comienzan a trabajar las fibras, y continúan haciéndolo hasta que se rompen por tracción o deslizan por pérdida de adherencia. Aunque las fibras están orientadas en todas direcciones, dentro de una masa del hormigón, siempre hay algunas que actúan de puentes entre las dos partes del hormigón que dividen las fisuras, creando un efecto de cocido, pudiendo transmitir los esfuerzos con ángulos muy variables de acuerdo con la orientación que posean con respecto al plano de la fisura. Cabe destacar, que la orientación de las fibras generalmente depende del flujo del hormigón al momento de la confección.

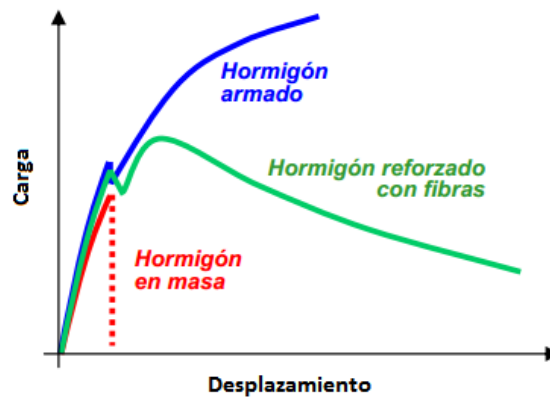


Figura 2.4. Incidencia de las fibras en el comportamiento a flexotracción del hormigón.

Todo este mecanismo lleva a la formación controlada de las fisuras, entregando al hormigón un comportamiento dúctil después de la fisuración inicial. Además, esta reducción de la fisuración va acompañada de la mejora en cierta medida de propiedades estructurales, como la resistencia a la tracción, flexión y corte, produciendo un aumento de la capacidad portante. También, proporciona una capacidad adicional de resistencia, debido a la redistribución del momento plástico en caso de solicitaciones localizadas, consiguiendo una resistencia al impacto para solicitaciones dinámicas. Y por último, existe un incremento de la resistencia a la abrasión.

2.4. Componentes del Hormigón

2.4.1. Cemento

Es un material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como en el aire.

Está formado principalmente del producto de la mezcla, molienda y cocción de caliza y arcilla, el que recibe el nombre de clinker y de un material utilizado como regulador de fraguado, el que generalmente es yeso dihidrato. El clinker, está formado por una mezcla de silicatos, aluminato y ferrito aluminato de cal, lo que obliga en la composición de las materias primas que van a formar el material que se cuece en horno existan proporciones muy bien definidas de los óxidos de sílice, aluminio y cal.

La pasta de cemento, es la encargada de unir las partículas del agregado, formando una masa dura con variadas resistencias de acuerdo a su dosificación, lo que depende principalmente de la cantidad de agua de amasado (relación agua / cemento), y de las propiedades de los áridos.

Al disminuir el agua en la mezcla del hormigón, se obtienen entre otras propiedades:

- Aumento en la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.
- Disminución de la permeabilidad.
- Mejor adherencia hormigón - fierro.
- Reducción de la retracción y de la fisuración.

Existen además aditivos y adiciones que tienen como fin principal mejorar las propiedades del hormigón.

2.4.2. Áridos

Componen de entre un 65% a un 75% del volumen total del hormigón. Según Neville, A. (1995), 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.

El agregado tiene un factor económico, ya que resulta más barato el árido que el cemento mismo, por ende, es más rentador colocar un máximo de áridos, y un mínimo de cemento. Aparte a eso el árido tiene propiedades que le confieren una mayor durabilidad, debido a que tienen un menor desgaste en el tiempo.

2.4.3. Adiciones

Las adiciones buscan mejorar las propiedades del hormigón en las cuales falla o carece por si solo.

La adición de fibras como refuerzo de hormigones, morteros y pasta de cemento puede aumentar muchas de las propiedades de estos, destacando entre ellas, la resistencia a la flexión, tenacidad, fatiga, impacto, permeabilidad y resistencia a la abrasión. (Perrero, J., et all 1996).

A lo largo del tiempo se ha incurrido en desarrollar numerosas experiencias con otras fibras de refuerzo, tales como, las de origen orgánico (aramidas, nylon, rayón, polipropileno, polietileno), inorgánicas (vidrio, boro, carbono) y metálicas (hierro, fundición dúctil, acero, Niquel, Ti, Al)







En relación a las propiedades mecánicas, se observa una mejora en la resistencia, sobre todo en la resistencia a la tracción se refiere. Este aumento en la resistencia a tracción está íntimamente relacionado con el efecto de cosido de fisuras que adición de estas fibras representa. Este efecto de cosido de la fisura, evidentemente mejora el comportamiento frente a la figuración del hormigón y otros aspectos relacionados con la misma, como puede ser la retracción (Medina, F. 2007).

En la tabla 2.1 que se mostrara a continuación, se enumeraran las distintas fibras utilizadas en la construcción con algunas de sus características:

Tipo de Fibra	Diámetro Equivalente (mm)	Densidad (Kg/m ³)	Resistencia Tracción (MPa)	Modulo de Young (GPa)	Alargamiento de Rotura (%)
Acrílico	0.02-0.35	1100	200-400	2	1.1
Asbesto	0.0015-0.02	3200	600-1000	83-138	1-2
Algodón	0.2-0.6	1500	400-700	4.8	3-10
Vidrio	0.005-0.15	2500	1000-2600	70-80	1.5-3.5
Grafito	0.008-0.009	1900	1000-2600	230-415	0.5-1
Aramida	0.01	1450	3500-3600	65-133	2.1-4
Nylon	0.02-4	1100	760-820	4.1	16-20
Poliéster	0.02-4	1400	720-860	8.3	11-13
Polipropileno	0.02-1	900-950	200-760	3.5-15	5-25
Polivinil Alcohol	0.027-0.060	1300	900-1600	23-40	7-8
Carbón	-	1400	4000	230-240	1.4-1.8
Rayón	0.02-0.38	1500	400-600	6.9	10-25
Basalto	0.0106	2593	990	7.6	2.56
Polietileno	0.025-1	960	200-300	5.0	3
Sisal	0.08-0.3	760-1100	228-800	11-27	2.1-4.2
Coco	0.11-0.53	680-1020	108-250	2.5-4.5	14-41
Yute	0.1-0.2	1030	250.350	26-32	1.5-1.9
Acero	0.15-1	7840	345-3000	200	4-10

Tabla 2.1 Tipos de Fibras más comunes y sus propiedades Fuente: ACI 544.5R-10, 2010.

Presentación de algunos tipos de fibras:

<p>MACRO FIBRAS DE ACERO ANCLADA SUELTA.</p> 	<p>MACRO FIBRAS DE ACERO ANCLADA PEGADAS.</p> 
<p>MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO.</p> 	<p>FIBRAS DE VIDRIO.</p> 
<p>FIBRAS DE CELULOSA.</p> 	<p>MACRO FIBRAS METÁLICAS FRESADAS.</p> 

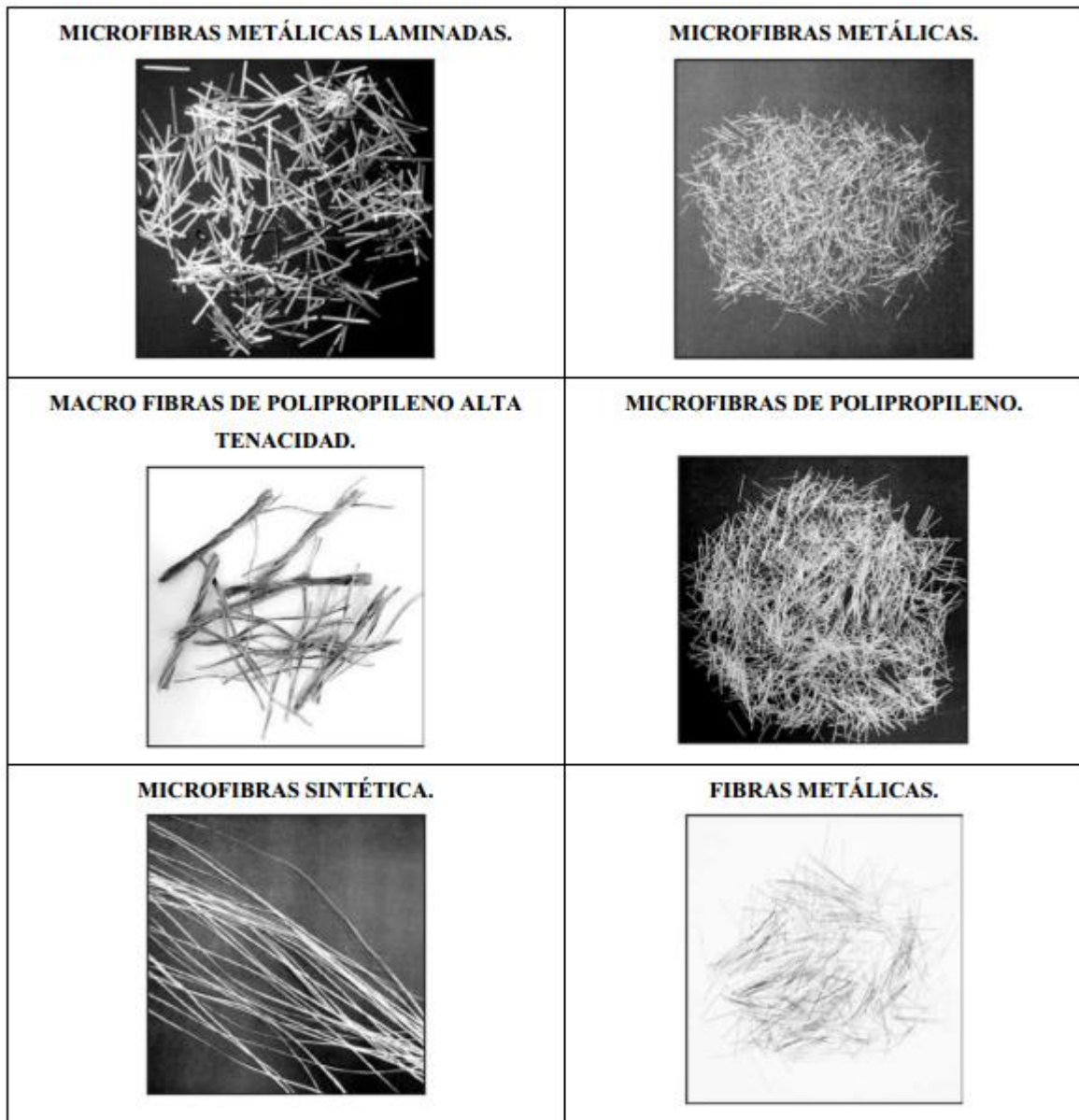


Figura 2.5. Algunos tipos de Fibras
Fuente: ACI 544.5R-10, 2010.

2.5. Materiales Compuestos Reforzados con Fibras

A menudo se diseñan materiales compuestos reforzados con fibras con la finalidad de conseguir elevada resistencia y rigidez a una baja densidad. Esto se expresa mediante los parámetros resistencia específica y módulo específico, que corresponden respectivamente a las relaciones entre la resistencia a la tracción y a el peso específico y entre el módulo de elasticidad y el peso específico. Utilizando materiales de baja densidad, tanto para la matriz como para las fibras, se fabrican compuestos reforzados con fibras que tienen resistencias y módulos específicos excepcionalmente elevados (Bravo, J. 2003).

2.6. Influencia de la Longitud de la Fibra

Las características mecánicas de los compuestos reforzados con fibras dependen no sólo de las propiedades de la fibra, sino también del grado en que una carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase matriz. En este proceso de transmisión de carga es muy importante la magnitud de la unión en la interfaz de las fases matriz y fibra. Al aplicar un esfuerzo de tracción, la unión fibra-matriz cesa en los extremos de la fibra y en la matriz se genera un patrón de deformación, en otras palabras, en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde la matriz.

2.7. Fase Matriz

La matriz del hormigón son las partículas más pequeñas que existen dentro del hormigón estas partículas tienden a ser de polvo de roca generalmente y son las encargadas de llenar hasta los espacios más pequeños que existan, la fase matriz de un material compuesto con fibras ejerce varias funciones. En primer lugar, une las fibras y actúa como un medio que distribuye y transmite a las fibras los esfuerzos externos aplicados; sólo una pequeña fracción del esfuerzo aplicado es resistida por la matriz. Además, la matriz debe ser dúctil y, por otra parte, el módulo elástico de la fibra debe ser mucho mayor que el de la matriz. En segundo lugar, la matriz protege las fibras del deterioro superficial que puede resultar de la abrasión mecánica o de reacciones químicas con el medio ambiente. Estas interacciones introducen defectos superficiales capaces de originar grietas, que podrían producir fallos con esfuerzos de tracción relativamente bajos. Finalmente, la matriz separa las fibras y, en virtud de su relativa blandura y plasticidad, impide la propagación de grietas de una fibra a otra, que originaría fallos catastróficos; en otras palabras, la matriz actúa como una barrera que evita la propagación de grietas. Aunque algunas fibras individuales se rompan, la rotura total del material compuesto no ocurrirá hasta que se hayan roto gran número de fibras adyacentes, que forman un agregado de tamaño crítico.

Es esencial que la adherencia de la unión entre fibra y matriz sea elevada para minimizar el arrancado de fibras. En efecto, la resistencia de la unión tiene gran importancia en el momento de seleccionar la combinación matriz-fibra. La resistencia a la tracción final del compuesto depende, en gran parte, de la magnitud de esta unión; una unión adecuada es esencial para optimizar la transmisión de esfuerzos desde la matriz a las fibras. Ya siendo aclarado un tema impórtate para la comprensión de cómo funciona el sistema de adherencia entre la fibra de polipropileno y el hormigón le damos paso a la información proveniente acerca de las características principales de la fibra y luego a una comparación efectuada entre el hormigón reforzado con fibra de polipropileno y un hormigón normal.

2.8. Tipos de Fibras

2.8.1. Fibra de Acero

La fibra de acero (Figura 2.6) se caracteriza por una dimensión predominante respecto a las demás, con superficie pareja o trabajada, empleando como refuerzo en el conglomerado del hormigón, de forma rectilínea o doblada, para poder ser dispersada de forma homogénea en la masa, manteniendo inalterada las características geométricas.



Figura 2.6. Imagen representativa de Fibra de Acero
Fuente: Elaboración Propia

La fibra está caracterizada geoméricamente por la longitud L , por la forma y por el diámetro equivalente D_e .

De la relación longitud L y el diámetro equivalente D_e se obtiene la relación de aspecto o esbeltez, $\lambda=L/D_e$.

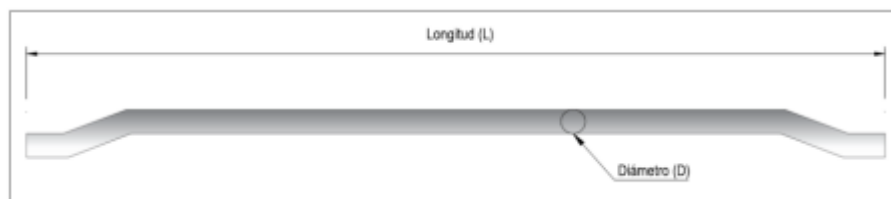


Figura 2.7. Ejemplo de fibra metálica doblada.
Fuente: Personalizado

Se pueden clasificar según:

a. Proceso de fabricación:

- Trefiladas (Tipo I).
- Cortadas en láminas (Tipo II).
- Extraídas por rascado en caliente (Tipo III).
- Otras: Fibras de acero fundidas (Tipo IV).

b. Forma:

- Rectas.
- Onduladas, corrugadas.
- Conformadas en extremos de distinta forma.

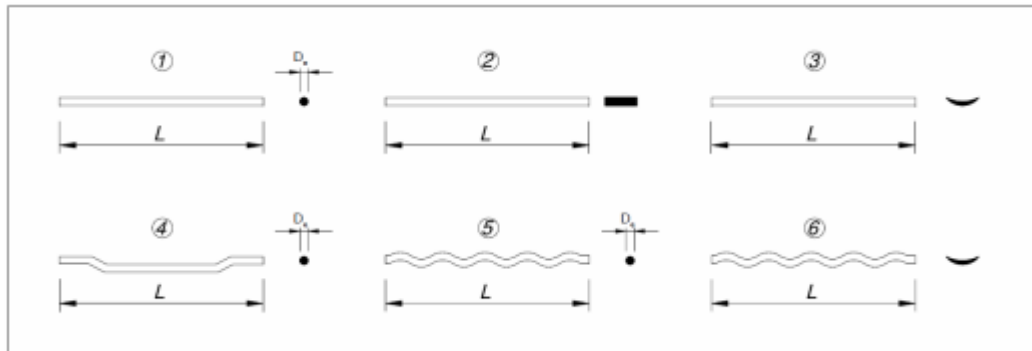


Figura 2.8. Ejemplo de diferentes secciones de fibras de acero.

Fuente: Personalizado

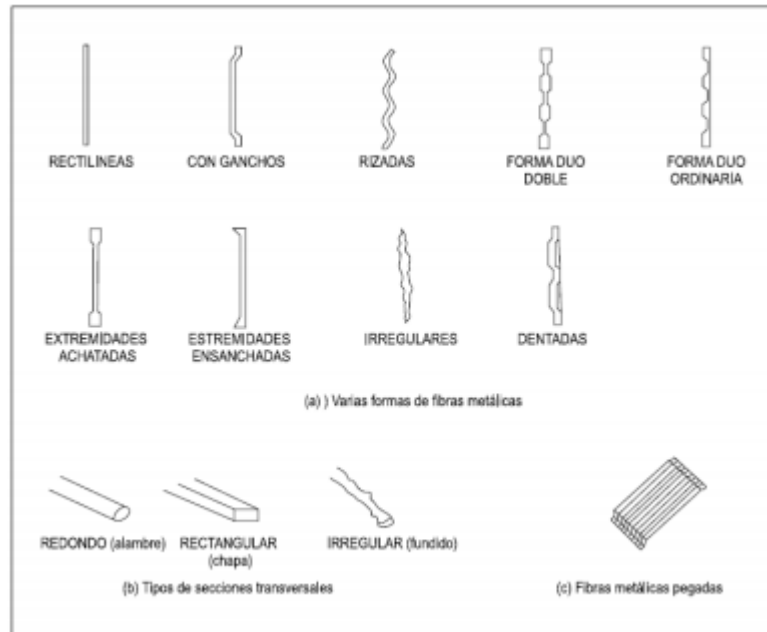


Figura 2.9. Ejemplo de fibras de diferentes formas
Fuente: Personalizado

➤ Tolerancias

Las Normas presentan varios criterios para las tolerancias (ASTM A820 - Tolerancias)

ASTM A820 - Tolerancias			
Propiedad	Símbolo	Desviación del valor individual en relación al valor declarado	Desviación del valor medio en relación al valor declarado
Longitud	L	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$
Diámetro equivalente	D_e	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$
Relación Longitud / Diámetro	$\lambda = L/D_e$	$\pm 15\%$	$\pm 15\%$

Tabla 2.2. Tolerancias sobre las dimensiones según la norma americana.

Fuente: ASTM A820 - Tolerancias.

2.8.2. Fibra de Vidrio

Estas fibras (Figura 2.10) podrán emplearse siempre que se garantice un comportamiento adecuado durante la vida útil del elemento estructural, como consecuencia de la alcalinidad del medio.



Figura 2.10. Imagen representativa Fibra de Vidrio.

Fuente: Elaboración Propia.

Se descubrió que las fibras de vidrio se usaron primero, eran reactivas a álcalis, y los productos en los que eran usados se deterioraban rápidamente. El vidrio resistente a los álcalis con un contenido de circonio fue formulado exitosamente entre 1960 y 1971. Otras fuentes de vidrio resistentes a álcalis fueron desarrolladas durante los años setentas y ochentas, con contenidos más altos de circonio.

La fibra de vidrio resistente a los álcalis se usa en la fabricación de productos de hormigón reforzado con vidrio (GRC: Glass Reinforced Concrete), los cuales tienen un amplio rango de aplicaciones, como ser: paneles de fachada y cerramientos en general, elementos de fachada de todo tipo, encofrados permanentes o reutilizables, sistemas modulares de viviendas, casetas de transformaciones y de vigilancia.

2.8.3. Fibra de Polipropileno

Estas fibras están diseñadas como refuerzo para el hormigón, tiene muy buenas características para poder controlar fisuras entre otras cualidades. (Figura 2.11)

2.8.3.1. Características y Especificaciones

Las fibras de polipropileno sean elaboradas mediante el proceso de extrusión utilizando reinas de polipropileno virgen, bajo un exhaustivo programa de control de calidad.

La fibra de polipropileno permite que tenga una forma de red, similar al metal desplegado, que en conjunto con su largo y su sección, constituyen las conclusiones de la ingeniería desarrollada en su diseño. La idea de fibrilar el polipropileno es que se distribuya uniformemente dentro de la masa del concreto describiendo curvar, lo que incrementa su resistencia a ser extraídas y su adherencia al concreto.

Algunas características por las cuales se utiliza como material de refuerzo:

- Muy buena relación coste / beneficio.
- Es el material plástico de menor peso específico (0,9 g/cm³), lo que hace que se requiera menor cantidad para ver el producto terminado.
- Es compatible con la mayoría de las técnicas de procesamiento existente y usado en diferentes aplicaciones.
- Logra un buen balance rigidez / impacto.
- Presenta una excelente resistencia química a solventes comunes.
- Evita el traspaso de humedad.
- Buena estabilidad dimensional a altas temperaturas (150°C).



Figura 2.11. Fibras de polipropileno existentes en el mercado.
Fuente: Personalizado.

2.8.3.2. Ventajas de la Fibra de Polipropileno

Su uso es indicado a continuación donde se detalla las ventajas que tiene la fibra de polipropileno:

2.8.3.2.1. Control de Grietas por Retracción y Fluencia

A medida que el agua exuda, llega hasta la superficie del elemento y se evapora. El agua en su camino va dejando pequeños canales que dan lugar a grietas microscópicas en el hormigón.

Al agregar fibras de polipropileno fibriladas al concreto, pueden originarse pequeñas microgrietas, pero tan solo cuando ellas alcancen alguna fibra, esta les impide crecer, las cose de modo que la microgrieta conserva su pequeño tamaño inicial, impidiendo la integración de ellas y así evitar las microgrietas.

Se pueden eliminar hasta un 95% a un 99,9% de las grietas por contracción plástica, si se siguen buenas prácticas constructivas.

2.8.3.2.2. Incrementa la Resistencia al Impacto

Las fibras están diseñadas ingenierilmente con suficiente módulo de elasticidad para trabajar como diminutos muelles que absorben los repentinos golpes de impacto. Esta elasticidad de las fibras firmemente ancladas con el hormigón resulta en un incremento importante en la resistencia al impacto y absorción.

2.8.3.2.3. Reducción de la Permeabilidad

Con la dosificación estándar, la impermeabilización aumenta en un 44% y que con una dosificación de alrededor de 1.8 Kg/m³, la impermeabilización aumenta en un 73%.

Una aplicación evidente de esta virtud impermeabilizadora de las fibras de polipropileno es la construcción de tanques de hormigón, tanques sépticos y tanques de agua corrosiva.

Al reducir la permeabilidad permite mejorar la hidratación pues el agua del sangrado es mantenida en el concreto por más tiempo debido a que existe un menor asentamiento que empuje el agua fuera del concreto en estado plástico.

2.8.3.2.4. Incrementa la Resistencia a la Rotura

Se fundamenta con el hecho de que el diseño ingenieril de la fibra en cuanto a tamaño y forma, asegura una homogénea distribución en la masa de hormigón, después de 5 minutos de revoltura en la betonera quedando en la proporción de siete fibras por 3 cm³ en todas direcciones. Esto es lo que hace su trabajo de flexotracción y homogenización de la masa de hormigón, de tal forma que todas las capas son muy similares en cuanto al contenido de los agregados y el cemento.

2.8.3.2.5. Máximo Índice de Tenacidad

Se entiende por índice de tenacidad a la habilidad del hormigón para sostener la carga después de que se presenta la primera grieta, al ser polipropileno el cual está diseñado para un máximo anclaje en el hormigón, se maximiza este índice de tenacidad el cual está aprobado por las normas ASTM C 116 y C 1018, lo que demuestra que esta fibra mantiene las grietas juntas, una vez que estas se presentan, además reduce el encogimiento.

2.8.3.2.6. Mejora la Hidratación

El agua del sangrado es mantenida en el concreto por más tiempo, lo que mejora la hidratación del mismo, debido a que existe un menor asentamiento que empuje el agua fuera del hormigón en estado plástico.

2.8.3.2.7. Puede ser Agregado en Planta o In Situ

Adicionada antes, durante o después de la operación de carga en la planta o la mezcladora del camión en el sitio de trabajo, las fibras se distribuyen uniformemente a través del concreto después de ser mezcladas a la velocidad y tiempos nominales. El mezclado excesivo no altera su rendimiento.

2.8.3.3. Propiedades Mecánicas, Físicas y Químicas de las Fibras de Polipropileno

2.8.3.3.1. Propiedades Mecánicas

Al tratarse de moléculas altamente lineales, las moléculas de polipropileno tienden a tomar en estado sólido una estructura ordenada, semicristalina.

Las moléculas forman cadenas largas y estables, con altos pesos moleculares. Esta es la que confiere sus propiedades mecánicas excepcionales, en particular en lo que respecta a la dureza, la resistencia a la tracción y la rigidez.

2.8.3.3.2. Propiedades Químicas

Tiene naturaleza apolar, y por esto posee gran resistencia a agentes químicos. Presenta poca absorción de agua, por lo tanto no presenta mucha humedad.

Tiene gran resistencia a soluciones de detergentes comerciales.

El polipropileno como los polietilenos tiene buena resistencia química pero una débil resistencia a los rayos UV (salvo estabilización o protección previa).

2.8.3.3.3. Propiedades Físicas

La densidad del polipropileno, está comprendida entre 0.9 y 0.93 (gr/cm³). Por ser tan baja permite la fabricación de productos ligeros.

Es un material más rígido que la mayoría de los termoplásticos. Una carga de 25,5 (Kg/cm²), aplicada durante 24 hrs. no produce deformación apreciable a temperatura ambiente.

Posee una gran capacidad de recuperación elástica, una excelente compatibilidad con el medio y es un material fácil de reciclar.

2.8.4. Fibras Híbridas

Sin duda la relación entre el acero y el concreto siempre ha sido un desafío para la construcción moderna. El hormigón es un material resistente a las fuerzas de compresión pero débil a las de tensión y resulta ser un material bastante quebradizo en situaciones extremas. Para solucionar estas desventajas, se incorporan refuerzos de acero al hormigón para repartir las fuerzas de tensión que causan que el concreto se agriete y finalmente falle. Pero aun solucionando la mayoría de los problemas asociados con el concreto, siguen las dificultades con el uso del acero. Entre alguna de las características que juegan en contra es que se trata de un producto caro y que además requiere mucho tiempo para colocarlo correctamente. Pero el problema aún más grave es que el acero es corrosivo y puede causar daños internos en el hormigón, que muchas veces resulta en la demolición de la estructura.

Está claro que la solución a estos problemas esta en encontrar nuevas alternativas para los refuerzos de acero. Alguna de las soluciones que se optó antiguamente es el uso de las fibras vegetales en mezclas de arcilla para fabricar elementos estructurales en Babilonia y Egipto, pasando por el uso de pelo de caballo y paja, hasta la primera opción moderna de usar asbestos, siempre la idea ha sido usar agregados que disminuyan la tendencia a la fisuración y mejor en los esfuerzos de tensión. No obstante la necesidad de reemplazar las fibras de asbestos fue lo que realmente aumento la necesidad de desarrollar nuevos y más materiales para hacer del concreto un material de construcción ideal.

En un principio las fibras de acero parecían ser el remplazo más viable, pero resultaron tener similares problemas que el acero tradicional y además las cantidades requeridos (que requieren un cambio en la mezcla de concreto) y su difícil manejo hicieron que las nuevas investigaciones se concentraban más y más en las *Fibras Sintéticas*. La solución más interesante hasta hoy resulto ser micro y el macro fibras, compuestos de fibras de vidrio, polipropileno, polivinilos, polietilenos, acero, carbono, entre otros. Además de proteger el concreto de la fisuración en los estados tempranos de la mezcla, las fibras mejoran su impermeabilidad, resistencia al fuego, al impacto y son más fáciles de distribuir en el concreto y de manejar que las fibras de acero.

Micro fibras son monofilamentos de plástico, polipropileno, polietileno, nylon o vidrio que actúan como un refuerzo tridimensional en el concreto. Con ello ayudan a reducir la segregación de la mezcla de concreto y previenen la formación de fisuras durante las primeras horas de la colocación del concreto debido a la retracción plástica. Están diseñados principalmente para actuar como refuerzo por temperatura y no como refuerzo estructural, ser compatibles con el ambiente altamente alcalino del hormigón y no afectan en la interacción con otros aditivos químicos. El resultado es un producto que es particularmente exitoso en proteger el concreto contra el resquebrajamiento por fuego y temperaturas altas.

2.9. Polietileno

2.9.1. Generalidades

EL polietileno es uno de los materiales plásticos de mayor producción y uso en el mundo. Se designa con (PE), distinguiéndose varios tipos de él, usándose tanto en la industria como en la construcción. El uso del polietileno es tan variado que va desde simples bolsas de envases hasta prótesis y juguetes. Su uso en la construcción se ha intensificado en el último tiempo, empleándose en tubería para gas, agua potable, minería, drenajes y usos sanitarios, cables, pisos de relleno y cobertores de seguridad en edificios en construcción.

2.9.2. Definición

El polietileno es un polímero del etileno (C_2H_4). Se trata de una molécula orgánica que reacciona con otras iguales a ella, formando largas cadenas de moléculas de etileno unidas unas a otras. Es un material termoplástico que posee buenas propiedades mecánicas, gran inercia química, sin polaridad, no absorbe humedad, de excelente aislamiento eléctrica, es inodoro e inerte fisiológicamente. Cuanto más denso es el polietileno más rígido es el material. Es considerado un plástico de ingeniería, y tiene aplicación en toda el área industrial ya que se fabrican geomembranas / fibras (Figura 2.12), tuberías, piezas especiales, planchas, etc.



Figura 2.12. Una muestra de fibra de Polietileno.

Fuente: Personalizado.

2.9.3. Propiedades del Polietileno

Estas distintas variedades del polietileno presentan las siguientes características:

- Versátil (permite múltiples aplicaciones).
- Excelente aislante eléctrico.
- Transparente, opaco o colores atractivos.
- Resistente a las bajas temperaturas.
- Higiénicos y seguros.
- Inerte a los ataques de productos químicos.
- Excelente barrera a la humedad.
- Económico.
- 100 % valorizable.

2.9.4. Ventajas del Polietileno

- Material plástico más consumido en el mundo.
- En envases flexibles ofrece soldabilidad, impermeabilidad al vapor de agua, brillo y transparencia, menor peso comparativo con respecto a otros materiales.
- En envases rígidos, cañerías y recubrimiento para cables se aprovecha su impermeabilidad, resistencia al ataque químico, resistencia a la tracción y el peso, facilidad de procesamiento y elevada capacidad de aislación eléctrica.
- Atóxico, flexible, liviano, económico, resistente a las bajas temperaturas, inerte al contenido.

2.10. Exudación

Se podría definir la Exudación como: "La cantidad de agua de amasado que fluye a la superficie de una pasta de cemento, mortero u hormigón una vez colocado dentro del molde o encofrado".

La exudación es un tipo de segregación en el cual una parte del agua de la mezcla tiende a ascender a la superficie de un hormigón recién colocado. Por lo tanto se trata de un caso de sumersión de las partículas; asimismo Powers (1939) postula que la exudación se puede considerar como un caso especial de segregación.

Para determinar la exudación existen normas específicas que dependen del tipo de muestra a ensayar.

La exudación depende mucho del tipo de cemento utilizado, ya que el aumento de la finura del cemento disminuye la exudación, al igual que ocurre cuando se emplean cementos ricos en aluminato tricálcico o que contengan cenizas volantes. Los hormigones ricos en cemento exudan menos que los pobres, de igual forma con los que llevan aditivos incorporados de aire que disminuyen también la exudación como consecuencia de las burbujas de pequeño diámetro a que dan lugar y que actúan como finos.

2.10.1. Norma A.S.T.M. C 232 - 92

"Standard test methods for bleeding of concrete"

"Método estándar de prueba para exudación de concretos"

Esta Norma fue confeccionada para determinar la cantidad relativa del agua que exudara desde una muestra de hormigón fresco. Se presentan dos métodos de prueba, los que difieren entre sí principalmente en el grado de vibración.

No es lógico pensar que los dos métodos puedan entregar resultados iguales cuando muestras del mismo lote son ensayadas por cada método, por lo tanto para poder comparar los hormigones se torna obligatoria la elección de uno de los métodos de prueba.

Cabe señalar que los lotes son del mismo peso, las masas de muestreo no deben diferir en más de 0.9 Kg entre sí.

Método A

Desarrollado para una muestra compactada solamente por apisonamiento y probado sin perturbación adicional, simulando así condiciones en que el hormigón después de su colocación, no es sometido a vibración intermitente.

Método B

Diseñado para muestras compactadas por vibración y probado con periodos intermitentes adicionales de vibración, simulando así las condiciones en que el hormigón, después de ser colado es sometido a vibración intermitente.

Obtención de datos:

La obtención de los resultados de agua exudada se realiza a intervalos de tiempo definidos para entregarle validez al estudio.

Los tiempos definidos por la Norma son los siguientes:

- A intervalos de 10 minutos durante los primeros 40 minutos y a intervalos de 30 minutos de ahí en adelante hasta que deje de exudar.

Tabla N° 1

LECTURA	TIEMPO
Termino de preparación de la muestra	0 min
1° lectura	10 min
2° lectura	20 min
3° lectura	30 min
4° lectura	40 min
5° lectura	70 min
6° lectura	100 min
7° lectura	130 min
8° lectura	160 min

La cantidad de lecturas dependerá de las cantidades de fibras sintéticas colocadas en la mezcla, con rangos mínimos y máximos, recomendados por fabricante

2.10.2. Cálculos

Calcular el volumen de exudación del agua por unidad de área de la superficie:

$$V = V1 / A$$

Dónde:

- V1: Volumen de exudación de agua medida durante la relación de intervalos de tiempo.
- A: Área de expresión del hormigón (cm²)

La comparación porcentual de exudación puede ser determinada como un ensayo progresivo por comparación del volumen de agua exudada por cada intervalo de tiempo equivalente.

Calculo de la exudación acumulado expresado como un % del neto de amasada en el ensayo.

$$C = (w / W) \times S$$

$$\text{Exudación \%} = (D / C) \times 100$$

Dónde:

- C : peso del agua en la probeta del ensayo (gr)
- W: peso total de la pilada (conjunto muestreado) (Kg)
- w: agua neta de la mezcla (cantidad total de agua menos la cantidad de agua absorbida por los áridos) (kg)
- S: peso de la muestra (gr)
- D: cantidad total de agua extraída de la muestra de ensayo (gr)

2.10.3. Efectos de la Exudación

La exudación induce a una serie de efectos internos y externos en el hormigón:

- La película superficial del hormigón presenta un contenido de agua mayor que el resto de la masa, Debido a este proceso hay un aumento en la relación Agua / Cemento cerca de la superficie superior teniendo como resultado una capa superior débil y de baja durabilidad. Este efecto debe ser especialmente considerado en las obras de hormigón sometidas a desgaste superficial.
- El ascenso del agua da origen a conductos capilares, que constituyen posteriormente vías permeables, afectando en consecuencia la permeabilidad del hormigón. el agua ascendente tiende, además, a acumularse bajo las partículas de mayor tamaño, dejando bajo estas un espacio vacío, al evaporarse posteriormente.
- La exudación va acompañada por una sedimentación de los materiales sólidos, los que tienden a descender. Este descenso puede significar concentraciones de tensiones internas en los puntos donde la estructura presenta singularidades de forma, es decir, variaciones de espesor o de nivel.
- La aparición de grietas por retracción plástica ocurre cuando el agua se evapora de la superficie con mayor rapidez que con la que aparece en la superficie durante el proceso de exudación. Esto origina una rápida retracción por secado y el desarrollo de esfuerzos de tensión en la superficie que a menudo tienen como resultado grietas cortas e irregulares.

2.10.4. Medidas para controlar la Exudación (Aspectos Teóricos)

Dado que la exudación produce efectos desfavorables, debe ser combatida, para lo cual puede recurrirse a las siguientes medidas.

- Emplear la menor cantidad de agua de amasado posible, compatible con una docilidad adecuada
- Utilizar un contenido adecuado de granos muy finos en el hormigón, entendiéndose como tales los que tienen un tamaño menor a los 150 μ .
- Recurrir al empleo de aire incorporado en el hormigón, utilizando aditivos apropiados para este objetivo. El aire incorporado mejora la trabajabilidad y reduce la tendencia del hormigón fresco a segregarse y exudar
- Aumentar el tiempo de amasado del hormigón, con el objeto de facilitar el adecuado humedecimiento de los materiales sólidos por el agua y con ello su retención por parte de estos.
- Efectuar el hormigonado de las partes que presentan variaciones de espesor en distintas etapas constructivas, o, al menos dejar transcurrir un tiempo de espera para permitir el asentamiento de la zona de mayor espesor.

CAPITULO 3

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR

CAPITULO 3: CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR

Los materiales que se utilizaran en esta actividad experimental serán de origen nacional y se desarrollara en el laboratorio de hormigón de la Universidad de Valparaíso, tomando en cuenta la información de los proveedores en el caso de las fibras y el cemento a utilizar.

3.1.Características del Cemento a Utilizar

El cemento a utilizar corresponde a un cemento Portland Puzolanico grado corriente según la clasificación Nch 148 Of. 68.

Cemento: Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como en el aire.

Cemento Portland Puzolanico: Es el cemento en cuya composición entrara puzolana en una proporción no superior a30% en peso del producto terminado. Presenta un moderado calor de hidratación y velocidad de endurecimiento.

3.2.Características del Agua a Utilizar

Como el agua a utilizar es potable, se usara bajo las condiciones establecidas bajo la NCh 1498 Of. 82.

Nota: No se someterá a ningún tipo de ensayo para determinar sus características.

3.3.Características del Árido a Utilizar

Se denomina árido, al conjunto de granos inertes de origen pétreo, que por su forma y dureza estable se emplea en la construcción para la fabricación de mezclas destinadas a ser aglomeradas por un cemento.

3.3.1. Características de la Arena a utilizar

Sera de acuerdo a lo establecido por la NCh 165, Of. 77. En la tabla 3.1 que se mostrara a continuación se presenta la granulometría que se realizara a la arena.

En esta experiencia se optará por una granulometría bajo los 5 mm.

3.3.1.1. La Granulometría para Arenas:

Tamices, mm	% acumulado que pasa
10	100
5	95 - 100
2,5	80 - 100
1,25	50 - 85
0,630	25 - 60
0,315	10 - 30
0,160	2 - 10

Tabla 3.1. Requisitos Granulométricos de la Arena.
Fuente: NCh 165 of 77.

3.3.1.2. Densidades de la Arena

Según NCh 1239 Of. 1977, densidad real y neta, y para el cálculo de la densidad aparente según NCh 1116 Of. 1977.

a. Densidad real del árido saturado superficialmente seco:

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

b. Densidad real del árido seco:

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

c. Densidad neta:

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

d. Absorción:

$$\rho_N = \frac{m_{sss} - m_s}{m_s} \times 100 \text{ (\%)}$$

Dónde:

- M_s = Masa del matraz con agua, en gr.
- M_m = Masa del matraz con agua y arena, en gr.
- m_s = Masa seca, en gr.
- m_{sss} = Masa saturada superficialmente seca, en gr.

e. Densidad aparente suelta:

$$D_{as} = \frac{m_s \times 1000}{v} \quad (\text{Kg/m}^3)$$

Dónde:

- M_s = Masa del árido suelto en el recipiente, en Kg.
- V = Capacidad volumétrica del recipiente, en m^3 .

f. Densidad Aparente Compactada

$$D_{ac} = \frac{m_c \times 1000}{v} \quad (\text{Kg/m}^3)$$

Dónde:

- m_c = Masa compactada de la muestra de arena, en Kg.
- V = Volumen del recipiente o capacidad volumétrica de la medida, en m^3 .

3.3.2. Características de Grava a Utilizar

Para poder desarrollar la experiencia en el laboratorio de hormigón de la Universidad de Valparaíso se contara con un tamaño de 20mm (árido ¾" ASTM), como se especificó en los alcances de esta investigación.

Los requisitos establecidos para esta experiencia estarán normados por la NCh 165 Of. 77.

Las gravas se sub-clasifican según los tamaños límites de sus partículas en los grados que se establecen en la tabla:

Tami- ces, mm	% acumulado que pasa para los siguientes grados (definidos por tamaños límites en mm)								
	63-40	50-25	50-5	40-20	40-5	25-5	20-5	12,5-5	10-2,5
80	100	-	*)	-	*)	-	-	-	-
63	90-100	100	100	-	-	-	-	-	-
50	35-70	90-100	90-100	100	100	-	-	-	-
40	0 -15	33- 70	-	90-100	90-100	100	-	-	-
25	-	0 - 15	35- 70	20- 55	-	90-100	100	-	-
20	0 - 5	-	-	0- 15	35- 70	-	90-100	100	-
12,5	-	0- 5	10- 30	-	-	25- 60	-	90-100	100
10	-	-	-	0- 5	10- 30	-	20- 55	40- 70	90-100
5	-	-	0- 5	-	0- 5	0- 10	0- 10	0- 15	10- 30
2,5	-	-	-	-	-	0- 5	0- 5	0- 5	0- 10
1,25	-	-	-	-	-	-	-	-	0- 5

Tabla 3.2. Requisitos Granulométricos de la Grava.

Fuente: NCh 165 of 77

3.3.2.1. Densidad Grava

Según NCh 1117 Of. 1977, densidad real y neta, y para el cálculo de la densidad aparente según NCh 1116 Of. 1977.

a. Densidad real del árido saturado superficialmente seco:

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

b. Densidad real del árido seco:

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

c. Densidad neta:

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

d. Absorción:

$$a = \frac{B - C}{C} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

Dónde:

- A = Masa seca, en gr.
- B = Masa saturada superficialmente seca, en gr.
- C = Masa sumergida, en gr.

e. Densidad aparente suelta:

$$D_{as} = \frac{M_s}{V} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

Dónde:

- M_s = Masa del árido suelto que llena el recipiente, en gr.
- V = Capacidad volumétrica del recipiente, en m^3 .

g. Densidad Aparente Compactada

$$D_{ac} = \frac{m_c}{v} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

Dónde:

- m_c = Masa compactada de la muestra de grava, en Kg.
- V = Volumen del recipiente o capacidad volumétrica de la medida, en m^3 .

3.3.3. Árido combinado, la mezcla de Arena y Grava

La siguiente tabla nos muestra el árido combinado, con lo cual se determina la proporción de arena y grava, según los parámetros establecidos en la norma para la dosificación de los hormigones en estudio.

Da - Dn mm	80				40				20				10			
Tamiz mm \ Curva	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
80	100	100	100	100												
40	70	80	90	30	100	100	100	100								
20	45	65	80	30	60	80	90	30	100	100	100	100				
10	30	50	70	30	40	61	80	30	62	77	88	30	100	100	100	100
5	20	40	60	30	24	48	66	30	37	58	75	30	61	74	87	30
2,5	12	30	50	-	15	37	55	-	22	43	63	30	37	56	73	30
1,25	7	25	40	-	10	28	42	-	13	33	52	-	22	41	59	30
0,630	4	17	28	-	6	19	30	-	8	23	38	-	13	27	43	-
0,315	3	9	17	-	3	11	19	-	4	12	23	-	5	13	26	-
0,160	2	4	7	-	2	5	8	-	3	6	9	-	3	7	10	-

Tabla 3.3. Árido combinado. Granulometrías recomendadas para dosificación (% acumulado que pasa).

Fuente: NCh 163, Of. 79.

Para cumplir con las condiciones de compacidad, docilidad y otras del hormigón, pueden recomendarse las zonas que se muestran en la figura, cuyas curvas límites se indican en la tabla anterior.

Las zonas que se mostraran a continuación tienen el siguiente significado:

- Zona 1 : Aceptable para granulometrías discontinuas.
(Curvas límites: C y D)
- Zona 2 : Preferida
(Curvas límites: A y B)
- Zona 3 : Aceptable, con mayor necesidad de cemento y agua.
(Curvas límites: B y C)

La curva del árido combinado debe tener en lo posible una formación similar (paralela) a las curvas límites, y no debe cruzar de una zona a otra. Ver figura 3.1.

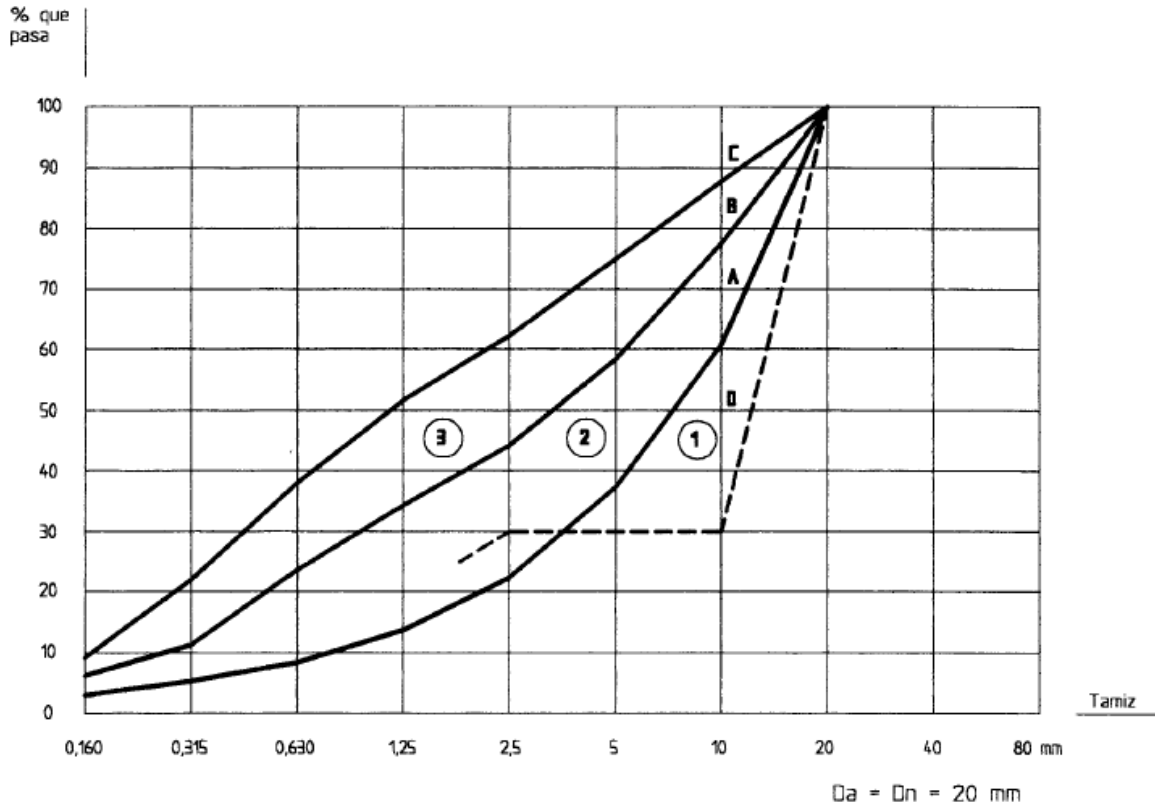


Figura 3.1. Granulometría Árido Combinado.
Fuente: NCh 163 Of. 79.

3.4. Características del Aditivo a Utilizar

Nombre: TUF-STRAND SF, Fibras Sintéticas Estructurales.

Origen: Norteamericano (Estados Unidos)



Figura 3.2. Muestra de Fibra Sintética TUF-STRAND SF
Fuente: Personalizado

3.4.1. Descripción del Aditivo

TUF - STRAND SF son fibras sintéticas estructurales mezcla de polipropileno / polietileno, multifilamento, las cuales se auto fibrilan cuando se incorporan en la mezcla de concreto, utilizadas exitosamente para reemplazar la malla electro-soldada y las fibras metálicas en una amplia variedad de aplicaciones.

Las fibras TUF – STRAND SF cumplen con la norma ASTM C-1116 Especificación para concreto y concreto lanzado reforzado con fibra, y están diseñadas específicamente para proveer una resistencia a la tensión equivalente a la de los refuerzos convencionales.

Es un material que consta de una mezcla de Polipropileno / polietileno.

3.4.2. Información Técnica

Gravedad Específica	0.92
Resistencia a Tensión	600 - 650 MPa (87 - 94 Ksi)
Módulo de elasticidad	9.5 GPa (1,388 Ksi)
Punto de llama (ASTM D-1929)	330°C (625°F)
Longitud de fibra	50 mm (2")
Aspect Ratio	74
Color	Blanco
Absorción de agua	Despreciable
Resistencia a álcalis	Excelente
Resistencia a ácidos	Excelente
Resistencia a moho – hongos	Excelente

Fuente: Ficha Técnica Fibra TUFSTRAND SF.

CAPITULO 4

***DETALLE EXPERIMENTAL Y
METODOLOGIA A APLICAR***

CAPITULO 4: DETALLE EXPERIMENTAL Y METODOLOGIA A APLICAR

4.1. Generalidades

En este capítulo se hará una descripción de las experiencias que se realizarán en laboratorio sobre el hormigón fresco y endurecido. Se estudiará el comportamiento mecánico de los hormigones reforzados con Fibras TUF-STRAND SF, caracterizando su resistencia a la compresión, tracción por hendimiento y flexotracción, en función de las cantidades añadidas de fibras.

La variación de las dosis que se incorporarán en el hormigón será partiendo de la base que recomienda el fabricante, estos que indican 1,8 - 12 (kg/m³), por lo tanto, como se tiene esa referencia se comenzará en esta experiencia con 2(kg/m³) llegando a los 10(kg/m³), cada 2Kg. para encontrar proyecciones del efecto de la incorporación. Serán cinco probetas con las dosis mencionadas con anterioridad.

Diseño de los Hormigones

- Hormigón será de grado H30
- Cemento grado corriente (Portland Puzolanico)
- Nivel de confianza 90%
- Árido tendrá un tamaño máximo nominal de 20 mm
- Asentamiento base 8 cm (tolerancia ± 2 cm)
- Dosificación Método Idiem.

Base de ensayos

- Se iniciara con la caracterización de los áridos, enfocados a la obtención de granulometría, densidad real, aparente y neta, y absorción, basados en la normativa existente.

Para hacer un análisis comparativo de los ensayos, se requerirá hacer un "hormigón patrón" (sin fibras) y otros con las dosis explicadas con anterioridad, con el fin de entender los cambios o beneficios que surgen de la adición de las fibras. La fibra usada será TUF-STRAND SF, que tiene un largo de 50 mm (2"), es una medida estándar de esta fibra.

Con las dosis incorporadas en los ensayos de hormigón, explicadas con anterioridad, se tendrán 5 medidas a ensayar variando 2000 gramos de fibras entre cada una.

La base de ensayos se comenzara con la caracterización de los áridos, con un mayor hincapié en la obtención de la granulometría, con los parámetros establecidos por norma.

4.2. Procedimiento de Ensayos a Realizar

4.2.1. Etapas de los Ensayos

Primera Etapa:

Ensayos Hormigón Fresco:

- Asentamiento NCh 1019
- Exudación ASTM C232

Segunda Etapa:

Ensayos Hormigón Endurecido:

- Resistencia a la Compresión NCh 1037
- Resistencia a la Flexotracción NCh 1038
- Resistencia a la Tracción por Hendimiento NCh 1170

4.3. Procedimiento de Ensayo de Exudación

El proceder de este ensayo para este estudio nace de la necesidad del hormigón de obtener una disminución en el ascenso del agua, ya que esta provoca una serie de efectos internos y externos en el hormigón.

Con este ensayo determinaremos la cantidad relativa de agua de amasado que exuda de una muestra de hormigón fresco en un hormigón patrón y otro con la incorporación de las fibras híbridas

Extracto de la norma ASTM C 232.

Este método de ensayo se refiere a la determinación de la cantidad de agua de amasado que exuda desde una muestra de hormigón recién mezclado. La norma considera dos métodos para realizar el ensayo; en este extracto solo se incluirá uno; el método A, que considera compactación de la muestra mediante apisonado.

El método entrega los procedimientos que han de emplearse para determinar el efecto de variables tales como la composición, tratamiento, ambiente u otros factores de influencia sobre la exudación de hormigón. También puede emplearse para determinar el desempeño de algún producto o tratamiento con relación a su efecto sobre la exudación del hormigón.

Método A: Para una muestra compactada por apisonado.

- a. Poner el recipiente sobre una superficie horizontal, libre de vibraciones perceptibles, a una temperatura ambiente de entre unos 18 a 24°C.
- b. Inmediatamente después de nivelada la superficie, limpiar el exterior del molde, registrar la hora y determinar la masa del recipiente y sus contenidos.
- c. Colocar el recipiente con hormigón sobre una superficie horizontal, firme, libre de vibraciones y cubrir el recipiente para prevenir la evaporación del agua exudada.
- d. La cubierta deberá mantenerse colocada a lo largo de todo el ensayo, excepto cuando se haga la extracción del agua.
- e. Extraer con la jeringa el agua que se ha depositado en la superficie, a intervalos de 10 minutos durante los primeros 40 minutos del ensayo y, posteriormente, a intervalos de 30 minutos hasta que cese la exudación.

- f. Para facilitar la colección del agua, inclinar cuidadosamente y lentamente el recipiente, colocando un apoyo de unos 50 mm de espesor debajo de un lado del recipiente en posición horizontal, sin agitarlo.
- g. Después de cada extracción, transferir el agua a la probeta graduada de 100 ml.
- h. Finalmente registrar la cantidad de agua acumulada después de cada transferencia.

LECTURA	TIEMPO
Tiempo de preparación de la muestra	0 min
1° Lectura	10 min
2° Lectura	20 min
3° Lectura	30 min
4° Lectura	40 min
5° Lectura	70 min
6° Lectura	100 min
7° Lectura	130 min
8° Lectura	160 min

Tabla 4.1. Tabla de Registro según norma ASTM C 232.
Fuente: Norma ASTM C 232.

4.4. Procedimiento de Ensayo de Asentamiento

Cuando se esté hormigonando el concreto se mantiene en estado fresco y con ello se debe otorgarle una docilidad adecuada, para el uso que se desea darle. Debido a que las fibras reducen la trabajabilidad del hormigón en estado fresco, por tanto se hace necesario saber en qué proporción lo hacen.

Es por ello que para cuantificar su trabajabilidad es necesario medir el asentamiento del hormigón mediante:

Asentamiento del Cono de Abrams NCh 1019

Este ensaye permite medir la docilidad del hormigón fresco por la disminución de altura que experimenta, no siendo válido para asentamientos inferiores a 2 cm. o mayores a 18 cm.

- Colocar el molde sobre la plancha de apoyo horizontal, ambos limpios y humedecidos con agua
- Pararse sobre las pisaderas del cono evitando el movimiento del molde durante el llenado
- Llenar el molde en tres capas de aproximadamente igual volumen, apisonada cada una de ellas con 25 golpes de la varilla-pisón de la siguiente manera:
- Apisonar la capa inferior en toda su profundidad

- La mitad de los golpes se darán alrededor del perímetro con la varilla-pisón ligeramente inclinada
- Seguir con el resto de los golpes con la varilla-pisón en posición horizontal, las capas intermedia y superior deben apisonarse penetrando hasta la capa subyacente
- Durante el apisonado de la última capa mantener permanentemente en exceso de hormigón sobre el borde superior del molde
- Finalizada la compactación de la capa superior enrasar la superficie haciendo girar la varilla-pisón
- Limpiar el hormigón derramado en la zona adyacente al molde
- Cargar las asas con las manos y dejar libres las pisaderas
- Levantar el molde suavemente en dirección vertical sin perturbar el hormigón
- Colocar el molde al lado del hormigón moldeado y tomar la lectura en el eje central, con una aproximación de 0,5 cm, como se aprecia en la Figura 7

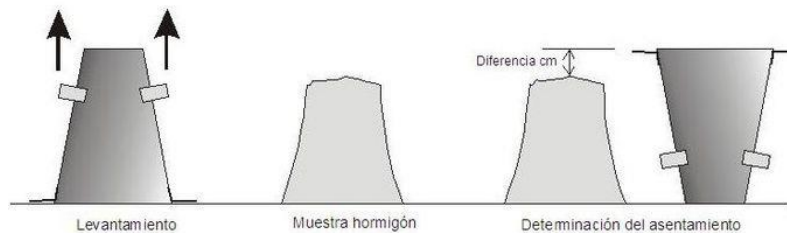


Figura 4.1. Asentamiento del cono de Abrams.

Fuente: Personalizada.

4.5. Procedimiento de Ensayo de Compresión

La resistencia a la compresión es una de las propiedades mas destacadas del hormigón propiamente tal, siendo este un factor importante para definir su calidad.

En la NCh 1037 Of. 77 está definido el procedimiento para efectuar el ensayo de resistencia a la compresión del hormigón.

Hay muchas condiciones que afectan el valor del ensayo, entre las de mayor influencia se analizan a continuación:

a. Forma y dimensiones de la probeta:

- Las probetas empleadas normalmente para determinar la resistencia a la compresión son de forma cubica o cilíndrica. De las primeras, se emplean de preferencia las de 15 y 20 cm de arista, y para las segundas las de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

b. Condiciones de ejecución del ensayo:

- Velocidad de aplicación de la carga de ensayo.
- Estado de las superficies de aplicación de la carga.
- Centrado de la carga de ensayo.

c. Características del hormigón:

- Tipo de cemento.
- Relación agua / cemento.
- Edad del hormigón.

d. Condiciones ambientales:

- Temperatura.
- Humedad.

El procedimiento de ensayo, estipulado por la NCh 1037, se describe a continuación en forma resumida:

a. Medición de las Probetas

- Probetas Cilíndricas: Se miden dos diámetros perpendiculares entre sí aproximadamente a media altura, y la altura de la probeta en dos generatrices opuestas antes de refrentar, aproximado a 1 mm. Se determina la masa del cilindro antes de refrentar, aproximando a 50 gr.
- Probetas Cubicas: Se coloca el cubo con la cara de llenado verticalmente. Se miden los anchos de las 4 caras laterales del cubo aproximadamente a media altura, y las alturas de las caras laterales, aproximando a 1 mm. Se determina la masa del cubo, aproximando a 50 gr.

b. Ensayo

- Se deben limpiar las superficies de contacto de las placas de carga y de la probeta, colocando está en la máquina de ensayo alineada y centrada. Las probetas cubicas se colocan con la cara de llenado verticalmente y las cilíndricas asentadas en una de sus caras planas refrentadas. Al acercar la placa superior de la máquina de ensayo se la debe asentar sobre la probeta de manera de obtener un apoyo lo más uniforme posible. La carga debe aplicarse en forma continua y sin choques a velocidad uniforme, de forma tal que la rotura se alcance en un tiempo igual o superior a 100 segundos y que la velocidad de aplicación de carga no sea superior a 3,5 (Kgf/cm²/seg). Finalmente se registra la carga máxima expresada en Kgf.

c. Resultados

- Se calcula la resistencia a la compresión del hormigón mediante la siguiente fórmula:

$$R_c = P / S$$

Dónde:

- R_c = Resistencia a compresión, en Kgf/cm².
- S = Sección transversal de la probeta, en cm².
- P = Carga máxima, en Kgf.

4.6. Procedimiento de Ensayo de Flexotracción

Se ha planteado proceder con este ensayo para este estudio ya que una de las falencias del hormigón sometido a esfuerzos que denotan flexotracción, estos no poseen grandes prestaciones para ese tipo de sometimiento. Es por ello que sería adecuado realizar este ensayo, ya que uno de los posibles usos que se le puede dar al hormigón reforzado con fibras híbridas planteadas en el tema, es a pisos industriales, entonces si se logra un aumento en la resistencia sería bastante positivo para aumentar su resistencia a flexotracción.

El procedimiento de ensayo se basa en la NCh 1038 y consiste en someter a una vigueta de hormigón simplemente apoyada, a una sollicitación de flexión mediante la acción de dos cargas concentradas en los límites del tercio central de la luz de ensayo.

Si la fractura de la probeta se produce en el tercio central de la luz de ensayo, se calcula la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$R = P L / b h^2$$

Dónde:

- R = Resistencia a flexotracción, en Kgf/cm².
- P = Carga máxima aplicada, en Kgf.
- L = Luz de ensayo de la probeta, en cm.
- b = Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura, en cm.
- h = Altura promedio de la probeta en la sección de rotura, en cm.

Ahora si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz de la probeta, en la zona comprendida entre la línea de aplicación de carga y una distancia de 0,05 L de esa línea, se calcula la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de rotura, según la siguiente fórmula:

$$R = 3 P a / b h^2$$

Dónde:

- a = Distancia entre la sección de rotura y el apoyo más próximo, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la probeta, en cm.

4.7. Procedimiento de Ensayo de Tracción por Hendimiento

Se presenta probar un factor que altera el buen funcionamiento de pavimentos, como lo es la resistencia al hendimiento, se busca probar que con la adición de las fibras se logre mejorar o neutralizar ese efecto.

Este ensayo se basa por la NCh 1170 Of. 77, que consiste en someter una probeta cilíndrica a una carga continua y sin choques a una velocidad uniforme de $0,05 \pm 0,02$ (N/mm²/s) hasta lograr la fractura.

Con la siguiente formula se calcula la resistencia a tracción por hendimiento, como la tensión de rotura;

$$T = 2P / \pi l d$$

Dónde:

- T = Resistencia a tracción por hendimiento, en Kgf/cm².
- P = Carga máxima aplicada por la máquina de ensayo, en Kgf.
- l = Longitud de la probeta, en cm.
- d = Diámetro de la probeta, en cm.

A continuación se observa una tabla en la que se indica cantidad de probetas, por ensayo y por mezcla, como también las edades estimadas de cada ensayo.

Ensayo	Dimensión	Tiempo
Compresión	3 cubos de 15 cm de aristas	Ensayo solo a 28 días
Flexotracción	3 vigas de 15 x 15 x 55 cm	Ensayo a 28 días
Tracc. Hendimiento	3 cilindros de 15 x 30 cm	Ensayo solo a 28 días
Exudación	3 moldes cilíndricos* (Equipo según ASTM C 232)	± 160 min Hormigón fresco

Tabla 4.2. Cantidad de probetas por Ensayo, Mezcla, Edades de Ensayos.

Fuente: Elaboración Propia.

* Cilindro según Norma advierte dimensiones en las cuales la altura del molde es dos veces el diámetro del cilindro. Tomando en cuenta aquello, se determinó utilizar el mismo rulo empleado en el ensayo de Tracción por hendimiento, cuyas dimensiones son 150 mm de diámetro por 300 mm de altura.

Por otra parte la tabla que se muestra en prosecución señala la estimación de volumen por colada.

Ensayo	Cantidad de probetas	Volumen (Lt)	Total (Lt)
Compresión	3	3,4	11
Flexotracción	3	12,4	37
Tracc. Hendimiento	3	5,3	16
Exudación	1	5,3	5,3
Docilidad	1	5,3	5,3

Tabla 4.3. Estimación volumen por colada.

Fuente: Elaboración Propia.

Volumen estimado 74,6 Litros, sumando un excedente de un 10% aproximado obtenemos un Total de Volumen por colada de 80 Litros, para cada una de las 6 coladas estimadas en este estudio.

4.8. Aparatos y Equipos

4.8.1. Docilidad

Según Método de Abrams, Nch 1019 E Of. 74

- Molde metálico tronco-cónico.
- Barra pisón
- Base metálica firme
- Poruña para llevar el molde
- Huincha de medir

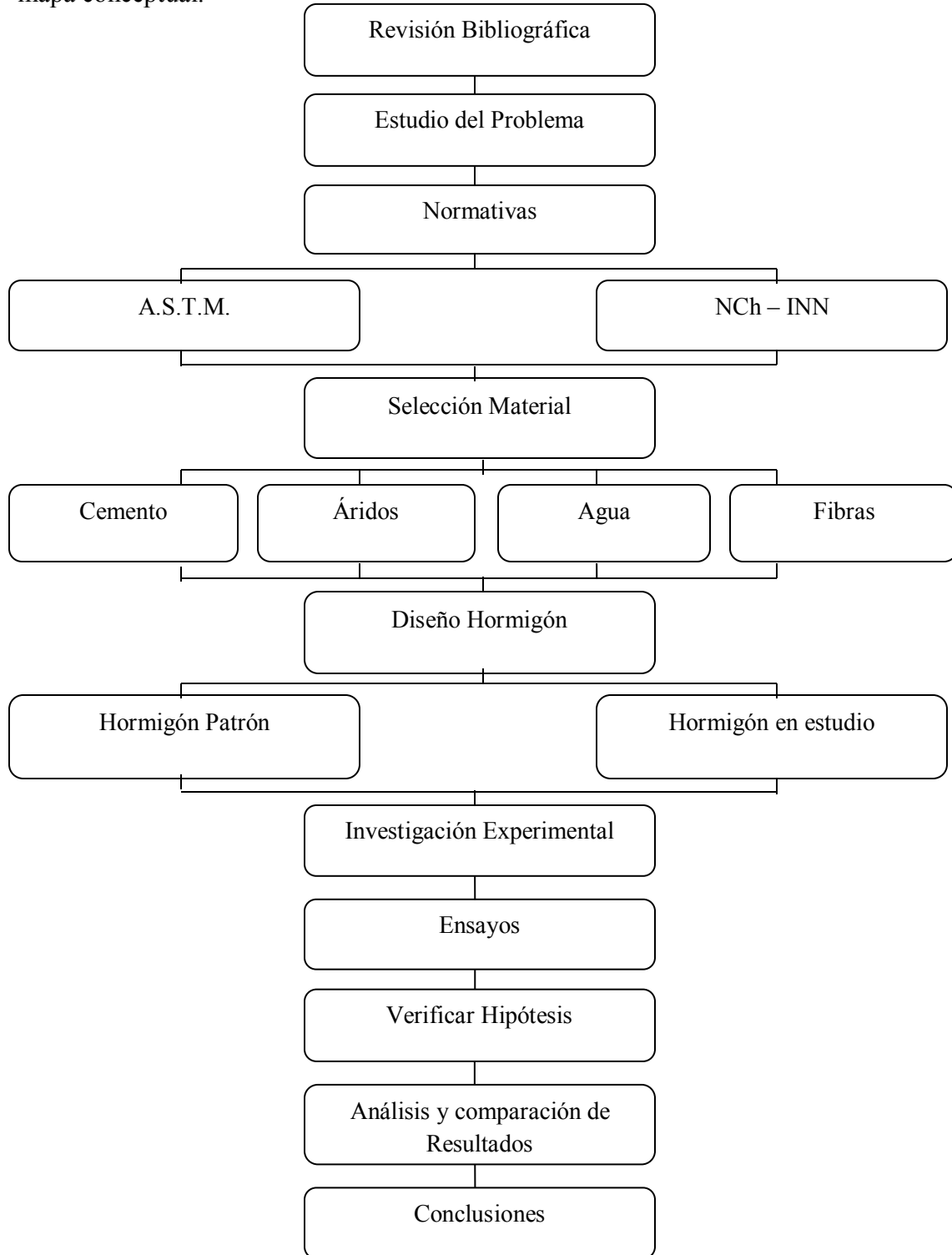
4.8.2. Exudación

Según norma ASTM C 232

- Recipiente: Cilíndrico, de un espesor tal que no permita deformaciones, con un interior liso y libre de corrosión.
- Balanza: De capacidad suficiente para determinar la masa con una exactitud del 5%. Se utiliza con precisión de 0.001 Kg.
- Probeta: De 100 cc de capacidad para recolectar y medir las cantidades de agua exudada, con una precisión de 0.1 cc.
- Barra Pisón: Varilla de acero de 16 mm de diámetro, aproximadamente de 600 mm de longitud, con los extremos redondeados.
- Cronometro: De preferencia con alarma para definir con mas exactitud los intervalos de lectura de la exudación
- Tapa: Para cubrir la superficie del cilindro y evitar pérdidas de agua por efecto de la temperatura ambiente.

4.9. Metodología de Investigación

El plan metodológico para realizar esta experiencia será resumida con el siguiente mapa conceptual:



CAPITULO 5

DESARROLLO EXPERIMENTAL

CAPITULO 5: DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1. Generalidades

En el presente capítulo ya se presentara la experiencia no tanto teóricamente sino más bien experimentalmente, en donde se detallara los procedimientos paso a paso para la obtención de resultados esperados para la tesis generada.

Todos los resultados que se obtengan tendrán relación directa con los capítulos anteriores, en donde se formularon los conceptos, materiales y estructuración a realizar. Se detallara cada uno de los procesos que tienen vínculo con los ensayos que se dispondrán a ejecutar, dándole especial énfasis a la resistencia mecánica (compresión, tracción por hendimiento y flexotracción) y al fenómeno de exudación enmarcado en el estudio propuesto.

5.2. Granulometría Áridos

5.2.1. Áridos

En lo que respecta a los áridos a utilizar (arena y grava) estarán enmarcados con lo establecido por NCh 165 O. 1977, en donde se instauro el tamizado y la determinación de la granulometría

Cabe señalar que se acondiciono muestras de áridos, homogeneizándola en el laboratorio en estado húmedo y se redujo por cuarteo manual según NCh 164 Of 1976. (Fig. 5.1)

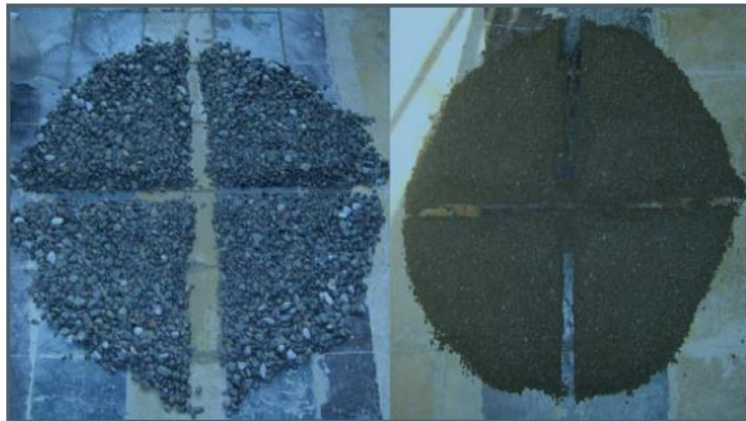


Figura 5.1. Cuarteo de áridos, según NCh 164 Of 1976.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.1. Granulometría Grava

Este procedimiento fue ejecutado de acuerdo a lo establecido por la NCh 165 Of 1977, Tamizado y obtención de la Granulometría, el cual se realizó en el Laboratorio de Hormigón de la Universidad de Valparaíso, conforme a los estándares antes mencionados.

Recordemos que según el parámetro que se hizo en el Capítulo 1 de esta experiencia, el Diámetro nominal de la grava utilizada es de 19.5 cm según NCh, o bien, 3/4" según ASTM.

La siguiente Tabla 5.1 muestra el promedio de 3 ensayos realizados para determinar la granulometría de la grava

Tamiz		% que pasa, en peso	
NCh (mm)	ASTM	Promedio	Requisito NCh 163
25	1"	100	100
20	3/4"	99	90 - 100
10	3/8"	40	20 - 55
5	Nº 4	5	0 - 10

Tabla 5.1. Granulometría Grava.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 5.2 muestra la banda granulométrica recomendada para la grava y el resultado del árido ensayado.

Curva Granulométrica Grava Dn 20 mm (3/4")

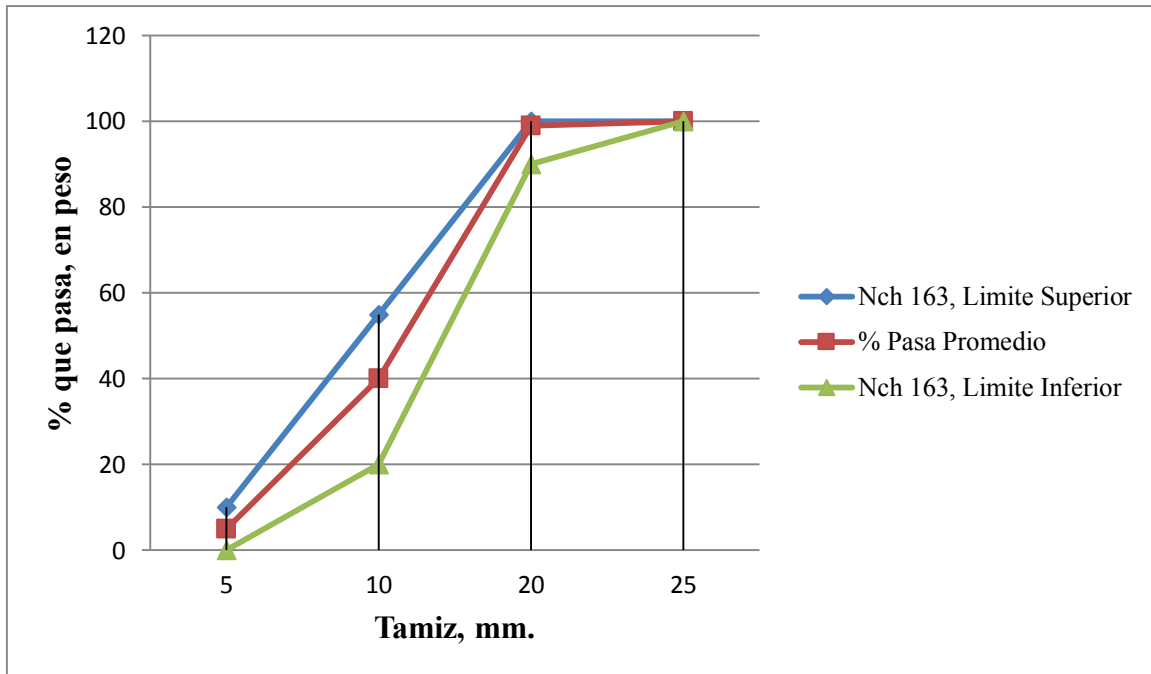


Figura 5.2. Granulometría Grava, Tamiz en mm.
Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.2. Granulometría Arena

Este procedimiento fue ejecutado de acuerdo a lo estipulado en la NCh 165 Of 1977. La siguiente tabla 5.2 presenta la granulometría realizada al promedio de 3 ensayos en la arena.

Tamiz		% que pasa, en peso		
NCh (mm)	ASTM	Efectivo	Corregido	Requisito NCh 163
10	3/8"	100		100
5	Nº 4	95	100	95 - 100
2,5	8	81	85	85 - 100
1,25	16	69	73	50 - 85
0,63	30	60	63	25 - 60
0,315	50	25	26	10 - 30
0.160	100	8	8	2 - 10

Tabla 5.2. Granulometría Arena.

Fuente: Elaboración propia.

Módulo de Finura Efectivo	2,62
Módulo de Finura Corregido	2,45

Fuente: Elaboración propia.

La figura 5.2 presenta la granulometría y la banda granulométrica recomendada por la norma para la arena.

Granulometría;

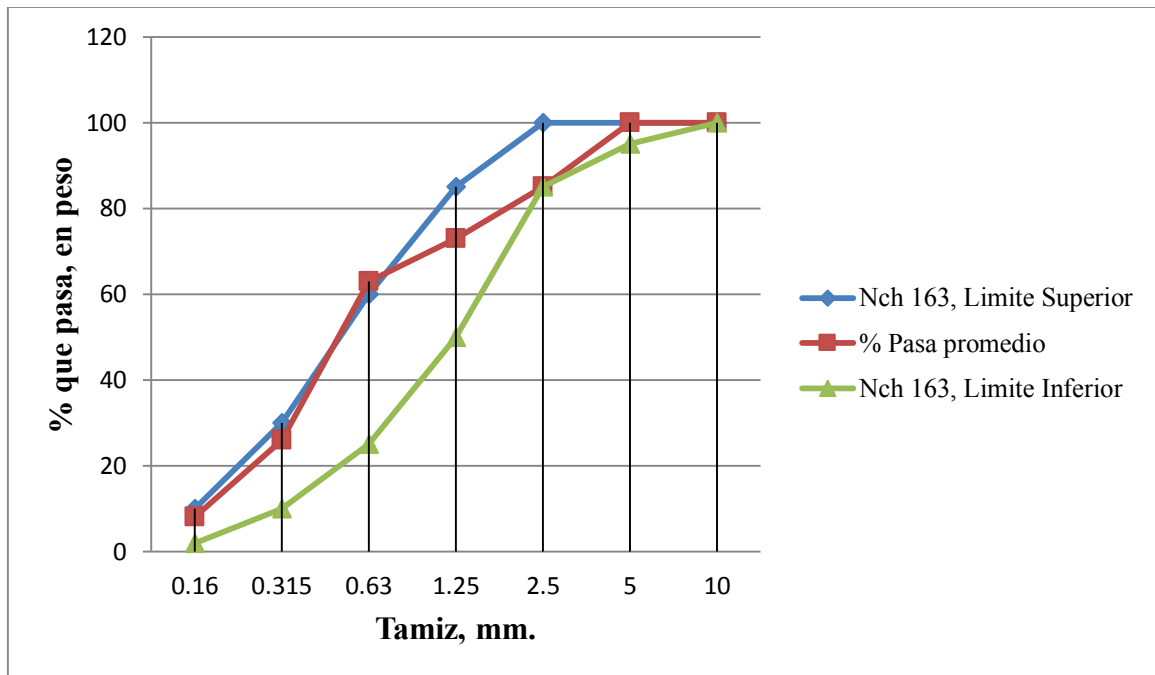


Figura 5.2. Granulometría Arena, Tamiz en mm.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.3. Árido Combinado (Mezcla de Arena y Grava)

Con los valores de los porcentajes que pasan de la grava y la arena, se determina las proporciones de áridos mezclados, conforme al siguiente cálculo:

$$5G + 95A = 42(G+A) \quad ; \quad \text{con } G+A = 1$$

$$37G - 53A = 0$$

$$\frac{G = 53x A}{37 + 53}$$

Por lo tanto tenemos $A = 0,41$; $G = 0,59$

Dónde:

G : Grava (Árido Grueso)

A : Arena (Árido Fino)

La siguiente tabla nos brinda el árido combinado, con el cual se determinara las proporciones de arena y grava a utilizar para la dosificación de los hormigones en estudio.

Tamiz		% que pasa, en peso				
NCh (mm)	ASTM	Grava	Arena	0,59 G + 0,41 A	Mezcla	NCh 163
25	1"	100		59 + 41	100	100
20	3/4"	99		58 + 41	99	100
10	3/8"	40	100	24 + 41	65	62 - 77
5	Nº 4	5	95	3 + 39	42	37 - 58
2,5	8		81	33	33	22 - 43
1,25	16		69	28	28	13 - 33
0,63	30		60	25	25	8 - 23
0,315	50		25	10	10	4 - 12
0.160	100		8	3	3	3 - 6

Tabla 5.3. Árido Combinado.
Fuente: Elaboración Propia.

5.2.2. Densidades Aparentes Áridos

Se define Densidad Aparente como la densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de un árido, más el volumen de los poros y de los huecos. Este volumen corresponde a la capacidad de la medida que contiene.

Los ensayos efectuados a los áridos para poder obtener las densidades aparentes tanto de la arena como de la grava, se realizaron según la NCh 1116 Of 1977. Con este ensayo (Fig. 5.3) se podrán determinar los siguientes tipos de densidades:

- Densidad Aparente Suelta
- Densidad Aparente Compactada



Figura 5.3. Recipientes para calcular Densidad Aparente de Grava y Arena respectivamente.

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.2.1. Densidad Aparente de la Arena

Las siguientes tablas que se presentan, nos delatan los resultados obtenidos en laboratorio frente a las densidades aparentes de la arena, en función de los cálculos representados en el capítulo 3.

Densidad Aparente Suelta de la Arena (Kg/m³)			
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
1533	1562	1571	1555

Tabla 5.4. Densidad Aparente Suelta Arena.

Fuente: Elaboración propia.

Densidad Aparente Compactada por Apisonado de la Arena (Kg/m³)			
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
1666	1660	1672	1666

Tabla 5.5. Densidad Aparente Compactada Arena.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2. Densidad Aparente de la Grava

Para cada densidad se tomaron tres muestras representativas que se representan en las tablas siguientes, obteniendo los resultados con los cálculos explicados en capítulo 3 del presente estudio.

Densidad Aparente Suelta de la Grava (Kg/m³)			
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
1536	1564	1522	1541

Tabla 5.6. Densidad Aparente Suelta Grava.

Fuente: Elaboración propia.

Densidad Aparente Compactada por Apisonado de la Grava (Kg/m³)			
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
1679	1713	1706	1699

Tabla 5.7. Densidad Aparente Compactada Grava.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. Densidad Real, Neta y Absorción de Agua en Áridos

Definiendo cada uno de los conceptos expresados en el título, se procederá a presentar los resultados para cada tipo de ensayo propuesto por Norma especificada.

Densidad Real: Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de un árido, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.

Densidad Neta: Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas mas el volumen de los poros inaccesibles.

Absorción de Agua: Masa de agua necesaria para llevar un árido de estado seco a estado superficialmente seco, se expresa en porcentaje.

5.2.3.1. Densidad Real de la Arena

Según procedimiento explicado en NCh 1239 Of 1977.

Densidad Real de la Arena Saturada Superficialmente Seca (Kg/m³)			
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
2632	2632	2632	2632

Tabla 5.8. Densidad Real Arena Saturada Superficialmente Seca.

Fuente: Elaboración propia.

Densidad Real de la Arena Seca (Kg/m³)			
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
2587	2587	2587	2587

Tabla 5.9. Densidad Real de Arena Seca.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.2. Densidad Real de la Grava

Según procedimiento especificado en NCh 1117 Of 1977.

Densidad Real de la Grava Saturada Superficialmente Seca (Kg/m³)			
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
2672	2663	2677	2671

Tabla 5.10. Densidad Real Grava Saturada Superficialmente Seca.

Fuente: Elaboración propia.

Densidad Real de la Grava Seca (Kg/m³)			
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
2636	2624	2640	2633

Tabla 5.11. Densidad Real de Grava Seca.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.3. Densidad Neta de la Arena

Según procedimiento explicado en NCh 1239 Of 1977.

Densidad Neta de la Arena (Kg/m³)			
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
2708	2708	2708	2708

Tabla 5.12. Densidad Neta Arena.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.4. Densidad Neta de la Grava

Según procedimiento explicado en la NCh 1117 Of 1077.

Densidad Neta de la Grava (Kg/m³)			
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
2735	2732	2743	2737

Tabla 5.13. Densidad Neta Grava.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.5. Absorción del Agua de la Arena

Según procedimiento explicado en la NCh 1239 Of 1977.

Absorción de Agua de la Arena (%)			
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
1,7	1,7	1,7	1,7

Tabla 5.14. Absorción de Agua de la Arena.

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.6. Absorción del Agua de la Grava

Según procedimiento especificado en NCh 1117 Of 1977.

Absorción de Agua de la Grava (%)			
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
1,4	1,5	1,4	1,4

Tabla 5.15. Absorción de Agua de la Grava.

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Cálculo de Dosificación

Hormigón propuesto en estudio: H 30 (90) 20 8

- Resistencia específica hormigón 300 Kg/cm² (30 MPa)
- Nivel de confianza 90 %
- Tamaño máximo nominal árido 20 mm.
- Asentamiento cono de Abrams 8 cm.
- Hormigón premezclado

Con esos datos obtenemos:

- Nivel de confianza 90 % => $t = 1,282$
- Se estimara una dispersión $S = 3,5 \text{ Mpa} = 35 \text{ Kg/cm}^2$

Entonces mediante la fórmula de Resistencia Media Requerida (f_r)

- $f_r = f_c + t \times S \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$

Resulta;

- $f_r = 300 + 1,282 \times 35 = 345 \text{ Kg/cm}^2$

Con lo cual nos da la dosis de cemento estimada en función de f_r

- 410 Kg/m³ de cemento grado corriente.

Cabe señalar que la cantidad de agua de amasado se determina en función del asentamiento estipulado, es decir, que a la mezcla se añadirán dosis de agua hasta lograr el asentamiento planeado.

De manera experimental se determinó el agua de amasado que permita obtener un asentamiento entre 6 y 10 cm, y lograr una relación A/C = 0,46 quedando la dosificación resumida en la siguiente tabla:

Materiales	Dosificación para 1 m ³	Dosificación por colada de 80 Lts
Cemento	410 (Kg)	32,8 (Kg)
Arena	754 (Kg)	60,32 (Kg)
Grava	1086 (Kg)	86,88 (Kg)
Agua	190 (Lt)	15,2 (Lt)
Relacion A/C	0,46	0,46

Tabla 5.16. Dosificación para H30 (90) 20 8.

Fuente: Elaboración Propia.

Ya teniendo resuelta la dosificación que se empleara como Hormigón Patrón (HP) se tiene la base para empezar a añadir las cantidades de fibras que en el capítulo anterior se menciona, teniendo especial cuidado en dar con las cantidades exactas propuestas para el proceder de este estudio.

En la siguiente tabla se aprecia la las distintas dosificaciones en kilogramos por coladas, teniendo como factor la adición de fibras en cada una de ellas, exceptuando la del HP.

Materiales	HP (Kg)	HRF 2,0 (Kg)	HRF 4,0 (Kg)	HRF 6,0 (Kg)	HRF 8,0 (Kg)	HRF 10,0 (Kg)
Cemento	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8
Arena	60,32	60,32	60,32	60,32	60,32	60,32
Grava	86,88	86,88	86,88	86,88	86,88	86,88
Agua	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2
Fibra	0	0,16	0,32	0,48	0,64	0,8

Tabla 5.17. Dosificación por cada 80 Lts. de colada.

Fuente: Elaboración Propia.

5.4. Fabricación de Hormigón

Para la fabricación de los hormigones propias del estudio fue necesario contar con los implementos necesarios, con los que contaba en el Laboratorio de Hormigón de la Universidad de Valparaíso. Para su mezclado homogéneo fue necesario utilizar una betonera con gran capacidad volumétrica, puesto que las coladas para el estudio cada una era de 80 Lts. Para ello se empleó una betonera de eje vertical marca Zyclos, la cual admite como máximo 90 Lts. Según su especificación.

Cada colada fue de máximo 80 Litros, teniendo especial cuidado en las zonas mas alejadas de las paletas verticales, ya que en todos los casos fue necesario detenerla y mezclarse manualmente para que su mezcla sea homogénea y no alterase sus propiedades.

Su ejecución fue igualitaria para todas las coladas, teniendo presente que las adiciones de fibras fueran distintas desde la segunda colada en adelante.

En esta etapa hubieron varios factores con los cuales se podría haber generado algún tipo de cambio en las propiedades y resistencia del hormigón, uno de ellos es la absorción de humedad de los áridos, por lo cual se presentó especial caución en ese término, solucionándose con sacar muestras representativas y dejarlas secar por 24 hrs en horno a 110°C, luego se determina el porcentaje de humedad presente en los áridos para no alterar la dosificación convenida.

Una vez pesados los materiales que integrar la mezcla se procede a verterlos en la betonera en el mismo orden, primero árido grueso, segundo árido fino, tercero cemento, cuarto agua pero esta se incluye una vez empezada la acción de mezclado de la betonera, de forma gradual durante 3 a 4 minutos. Con la adición de las fibras el mismo proceso pero esta se incluye una vez homogeneizada la mezcla incorporándola paulatinamente.

Por cada una de las coladas mencionadas se realiza el ensayo de asentamiento de cono para determinar su docilidad. Eventualmente se empleara un aditivo plastificante/reductor de agua en dosis que serán estimadas en cada caso.

Terminado el proceso se colocan los moldes en posición, previa limpieza y aplicación de desmoldante de forma uniforme por todas sus aéreas internas, para luego finalizar con la colocación del hormigón en las matrices.

Finalizando los procesos con vibrado por cada uno de los moldes en cuestión.

5.5. Preparación de las Probetas

En esta etapa no difiere una de otra en cuanto a colocación y preparación de cada matriz, los procesos son idénticos en cada una de las operaciones, a diferencia de las aristas y dimensiones de cada molde, de todas maneras se hará un detalle de cada preparación de las probetas.

5.5.1. Etapas en Compresión

a. Colocar

Su colocación es en matrices cubicas de aristas 15 x 15 x 15 cm. Se llenaran 3 por cada colada.

b. Compactar

La compactación se realiza una vez depositado el hormigón tipo en el molde especificado hasta sobrepasar la rasante, para así introducir el vibrador en el centro y en los costados manteniendo una constante en su movimiento dentro de la mezcla hasta que la lechada aflore. Luego con un platacho se procede a retirar el excedente terminando con un enrazado con llana.

c. Desmoldar

Concluido un tiempo de 24 horas se procede al desmolde de las probetas, procurando que estas no se golpeen para evitar imperfecciones en sus dimensiones.

d. Curado

Una vez concluida la etapa de desmoldar las probetas, estas se sumergen en agua saturada con cal en un periodo de 7 días corridos. Ya acabado ese tiempo se retiran y se colocan en un lugar fresco, no exponiéndolos a ningún tipo de ambientes que puedan alterar su normal proceso de curado. Terminado los 28 días se disponen a ensayar.

5.5.2. Flexotracción

a. Colocar

Se utiliza un molde con aristas 15 x 15 x 55 cm. Se llenan 3 por cada tipo de hormigón.

b. Compactar

El proceso es idéntico que al de compresión, con la diferencia que el vibrado es más prolongado por las dimensiones que este posee. Se realiza por partes, pero siempre en el centro. Para finalizar se enrasa la superficie del molde.

c. Desmoldar

Concluidas las 24 horas se realiza el desmolde de las probetas, procurando que esta no colisione con nada para evitar deformaciones que puedan alterar sus resultados una vez ensayados.

d. Curado

Ya desmoldadas las probetas se hunden en agua saturada con cal durante 7 días, retirándolas después de ese periodo y depositarlas en lugar libres de agentes tóxicos o la luz directa del sol. Completados los 28 días se proceden a ensayar.

5.5.3. Tracción por Hendimiento

a. Colocar

El molde en este caso es cilíndrico con un diámetro de 15 cm y una altura de 30 cm. Se atestan 3 probetas por cada tipo de hormigón resultante de cada colada.

b. Compactar

La compactación para este tipo de molde insta a separar el llenado en dos capas similares, cada una vibrada de manera uniforme por el centro hasta que aflore la lechada. Luego se enraza la matriz con previa pasada de platacho y finalizado con llana para un acabado al ras de la superficie.

c. Desmoldar

Acabado el tiempo estimado de 24 horas, se continúa a desmoldar la probeta cilíndrica del molde. Se tendrá especial cuidado en que estas no se aticen con ninguna superficie que altere su esquema.

d. Curado

Ya realizado el desmolde estas probetas son depositadas en agua saturada con cal con un tiempo de 7 días, una vez terminada esa etapa se ubicara en un lugar fresco con temperatura ambiente libre de agentes externos que puedan perjudicar su curado. Al cabo de 28 días se preparan a ensayar.

5.5.4. Exudación

a. Preparar

Se cerciora de que la superficie del molde de dimensión cilíndrica 15 cm de diámetro y 30 cm de alto este limpia, seca y libre de corrosión.

b. Llenar

El llenado del recipiente es por etapas, se llenan tres capas de igual volumen compactándolas cada una con 8 golpes empleando una barra pisón.

c. Enrasar y registrar

La superficie del coronamiento del cilindro debe quedar perfectamente enrazada utilizando una barra pisón. Luego limpiar la superficie externa en su totalidad y registrar la masa del recipiente y la hora.

d. Extracción de agua

Colocar el recipiente en una superficie plana y libre de vibraciones, a una temperatura ambiente que puede oscilar entre 18 a 24°C. Finalizando con la extracción del agua de amasado utilizando una jeringa a intervalos de 10 minutos y luego cada 30 minutos, hasta que la exudación cese.

CAPITULO 6

RESULTADOS Y ANALISIS DEL ESTUDIO

CAPITULO 6: RESULTADOS Y ANALISIS DEL ESTUDIO

6.1. Generalidades

En este capítulo se presentara el análisis de los resultados obtenidos experimentalmente en el laboratorio de la Universidad de Valparaíso. Cumplido previamente con lo estipulado en capítulos 3, 4 y 5.

Se conocerá el proceder del análisis desde la fabricación del hormigón hasta el desarrollo del mismo, donde se perseguirá obtener la medición de las probetas desde ensayos en su estado fresco como en su estado endurecido, siendo estas ensayadas a los 28 días. Elaborado con cada colada como se indicó con anterioridad.

6.2. Primera Etapa: Hormigón en Estado Fresco

6.2.1. Asentamiento de Cono

6.2.1.1. Propiedades y Resultados

Procediendo con el orden que plantea el estudio, se muestra en la siguiente tabla 6.1 valores obtenidos en cuanto al asentamiento del hormigón en estado fresco, detallando las cantidades de fibras incorporadas por cada 80 litros de colada.

Tipo de Hormigón	Asentamiento	
	cm	%
HP	8,5	100
HRF 2	8	94
HRF 4	8	94
HRF 6	7	82
HRF 8	6	71
HRF 10	4	47

Tabla 6.1. Asentamiento de Cono de Abrams.

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla anterior el asentamiento del hormigón fue disminuyendo con cada adición de fibras por coladas. Lo cual nos hace ver que está dentro del rango $5 \leq A \leq 12$ que nos indica un hormigón de características plásticas, a diferencia de HRF 10 cuyo asentamiento quedo particularmente en condición plástica-seca, no afectando con esto su docilidad ya que las fibras empleadas tienen la particularidad de ser muy flexibles, con ello no se afecta la trabajabilidad del hormigón.

En la figura que se muestra a continuación se dará a conocer gráficamente los distintos asentamientos logrados por cada tipo de hormigón.

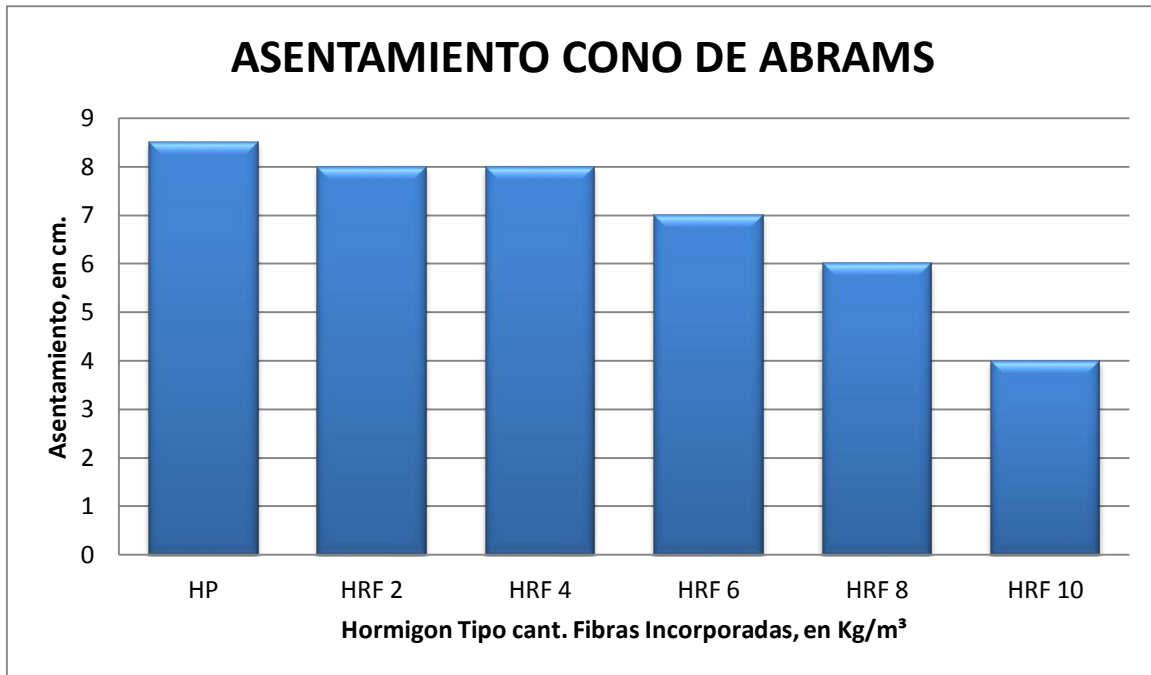


Figura 6.1. Gráfico Asentamiento de Cono.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6.1 se trasluce que a medida que se incorpora más fibras a la mezcla menor es el asentamiento que se logra.

En relación al hormigón patrón 8,5 cm frente a un 4,0 cm de asentamiento de HRF 10 kg/m³, se aprecia prácticamente una disminución casi a la mitad.

La figura que continúa muestra los asentamientos en un grafico que determina los porcentajes con respecto al hormigón patrón de cada una de las dosis empleadas de fibras por hormigón tipo.

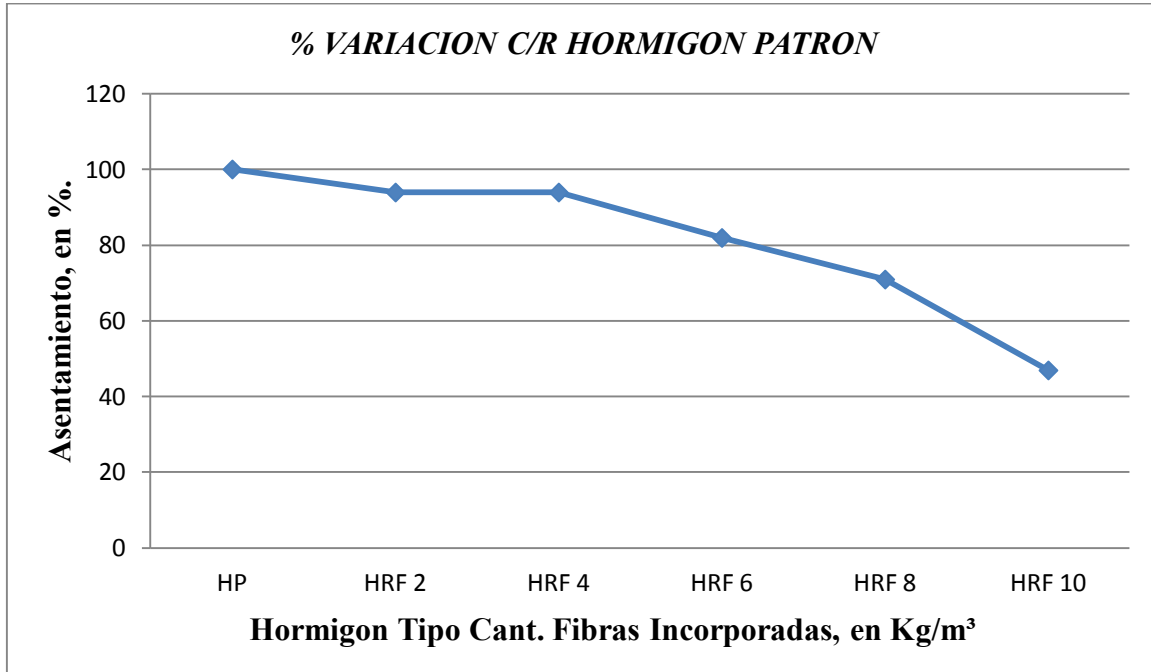


Figura 6.2. Porcentaje de Variación del Asentamiento de Cono c/r a Hormigón Patrón.
Fuente: Elaboración Propia.

Se distingue de este grafico las variaciones de cada cono con respecto al hormigón patrón, este obteniendo el 100% con un 8,5 cm, enseguida le sigue el hormigón al que se le adiciona 2,0 Kg/m³ obteniendo un 94%, luego 94% (4,0 Kg/m³), después 82% (6,0 Kg/m³), mas atrás 71% (8,0 Kg/m³) y finalmente 47% (10,0 Kg/m³).

6.2.2. Exudación

6.2.2.1. Propiedades y Resultados

En esta etapa del estudio se presentara un detalle de los valores obtenidos en virtud de la experiencia.

Definidos los parámetros establecidos para encontrar las dosis de fibras híbridas por colada tanto así como el Hormigón Patrón, se procede a realizar las pruebas enmarcadas por la Norma ASTM C 232, Método A. Ya definida la base se procede a ejecutar los ensayos para concluir resultados.

Las cantidades determinadas por la dosificación, en cuanto a cemento, agua y áridos, se mantuvieron fijas, teniendo como variable la cantidad de fibra incorporada por colada de 80 Lts, exceptuando la del Hormigón Patrón (sin fibras).

6.2.2.1.1. Resultados para Hormigón Patrón

Sin Adicion de Fibras				
Tiempo (min)	Agua Extraida (ml)	Agua Acumulada (ml)	Vel. Exudacion (ml/min)	Asentamiento (cm)
10	16	16	1,6	8,5
20	7,5	23,5	0,75	
30	5,5	29	0,55	
40	2,5	31,5	0,25	
70	1	32,5	0,033	
100	0,2	32,6	0,007	
130	0	32,6	0	

Tabla 6.2. Cantidad de agua Exudada en Hormigón sin presencia de Fibras.
Fuente: Elaboración Propia.

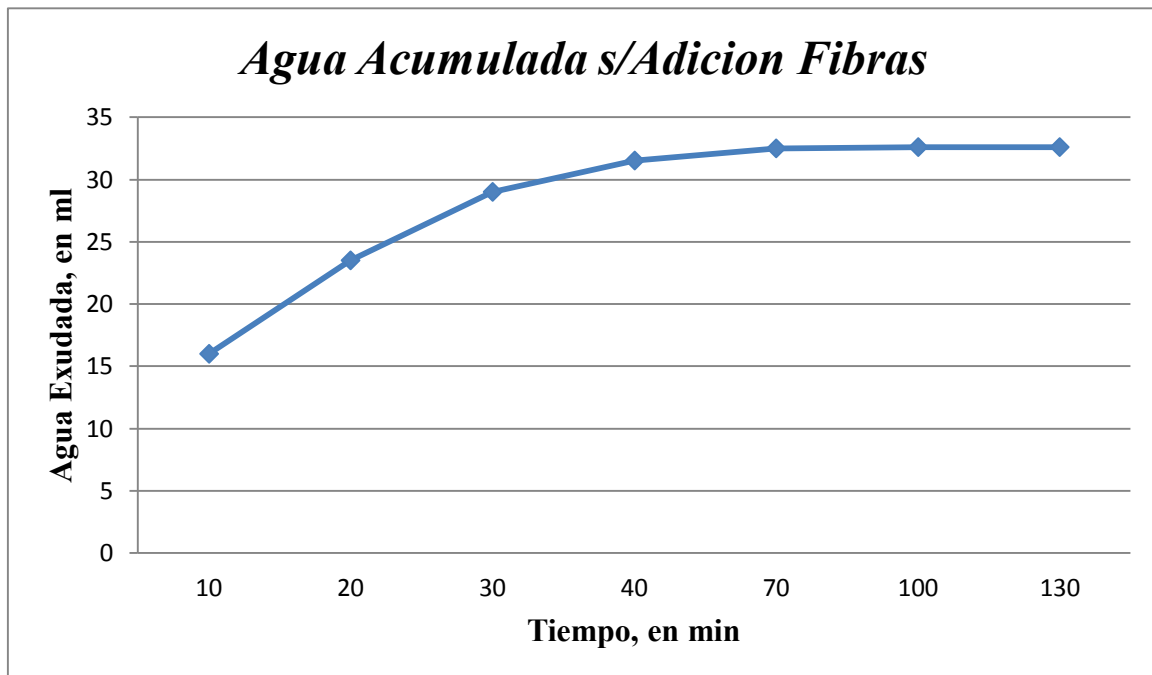


Figura 6.3. Grafico cantidad de agua acumulada por intervalos de tiempo s/Fibras.
Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2.1.2. Resultados para Hormigón Reforzado con Fibras 2,0 Kg/m³

HRF 2,0				
Tiempo (min)	Agua Extraída (ml)	Agua Acumulada (ml)	Vel. Exudación (ml/min)	Asentamiento (cm)
10	11	11	1,1	8
20	4,6	15,6	0,46	
30	3,8	19,4	0,38	
40	2	21,4	0,2	
70	0,5	21,9	0,017	
100	0	21,9	0	
130	0	21,9	0	

Tabla 6.3. Cantidad de agua Exudada con HRF 2,0.
Fuente: Elaboración Propia.

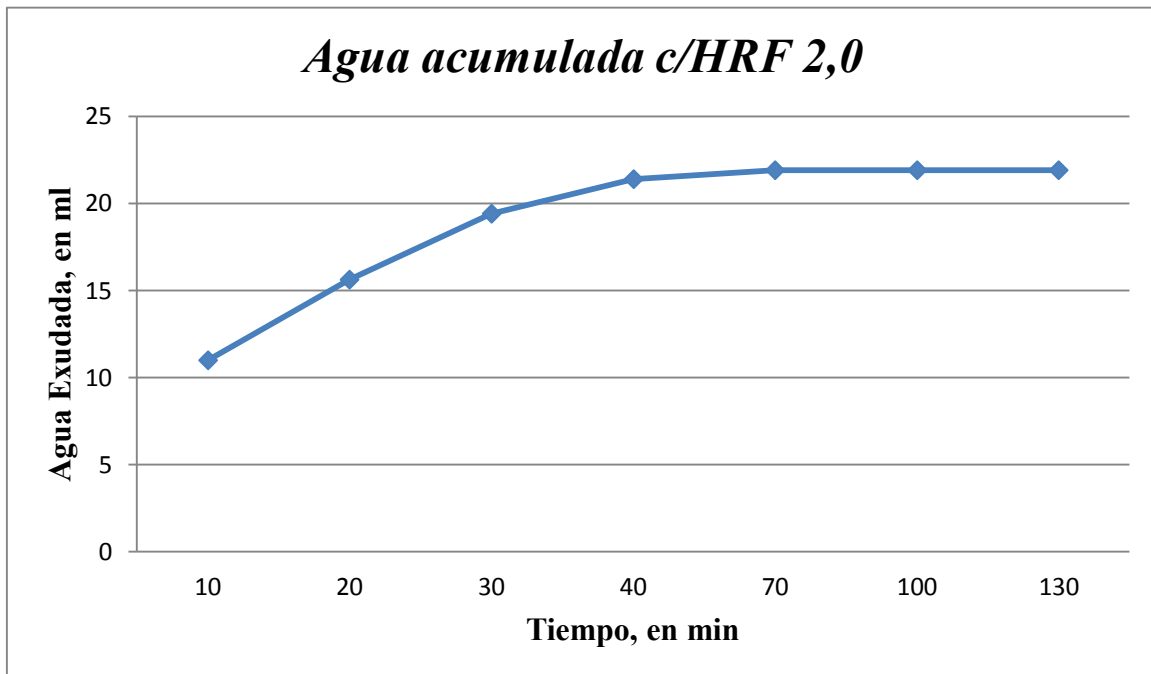


Figura 6.4. Grafico cantidad de agua acumulada por intervalos de tiempo c / HRF 2,0.
Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2.1.3. Resultados para Hormigón Reforzado con Fibras 4,0 Kg/m³

HRF 4,0				
Tiempo (min)	Agua Extraída (ml)	Agua Acumulada (ml)	Vel. Exudación (ml/min)	Asentamiento (cm)
10	8	8	0,8	8
20	3,5	11,5	0,35	
30	2,5	14	0,25	
40	1,5	15,5	0,15	
70	0,2	15,8	0,007	
100	0	15,8	0	
130	0	15,8	0	

Tabla 6.4. Cantidad de agua Exudada con HRF 4,0.
Fuente: Elaboración Propia.

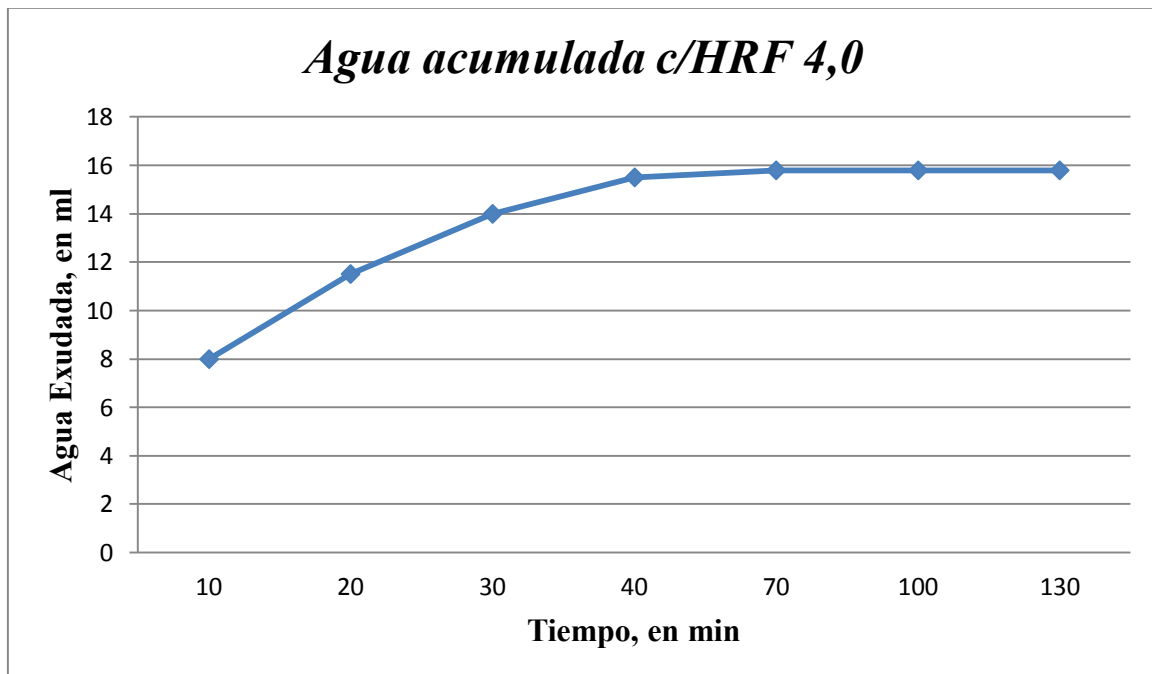


Figura 6.5. Grafico cantidad de agua acumulada por intervalos de tiempo c / HRF 4,0.
Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2.1.4. Resultados para Hormigón Reforzado con Fibras 6,0 Kg/m³

HRF 6,0				
Tiempo (min)	Agua Extraída (ml)	Agua Acumulada (ml)	Vel. Exudación (ml/min)	Asentamiento (cm)
10	5	5	0,5	7
20	1,5	6,5	0,15	
30	1	7,5	0,1	
40	0,5	7,9	0,05	
70	0	7,9	0	
100	0	7,9	0	
130	0	7,9	0	

Tabla 6.5. Cantidad de agua Exudada con HRF 6,0.
Fuente: Elaboración Propia.

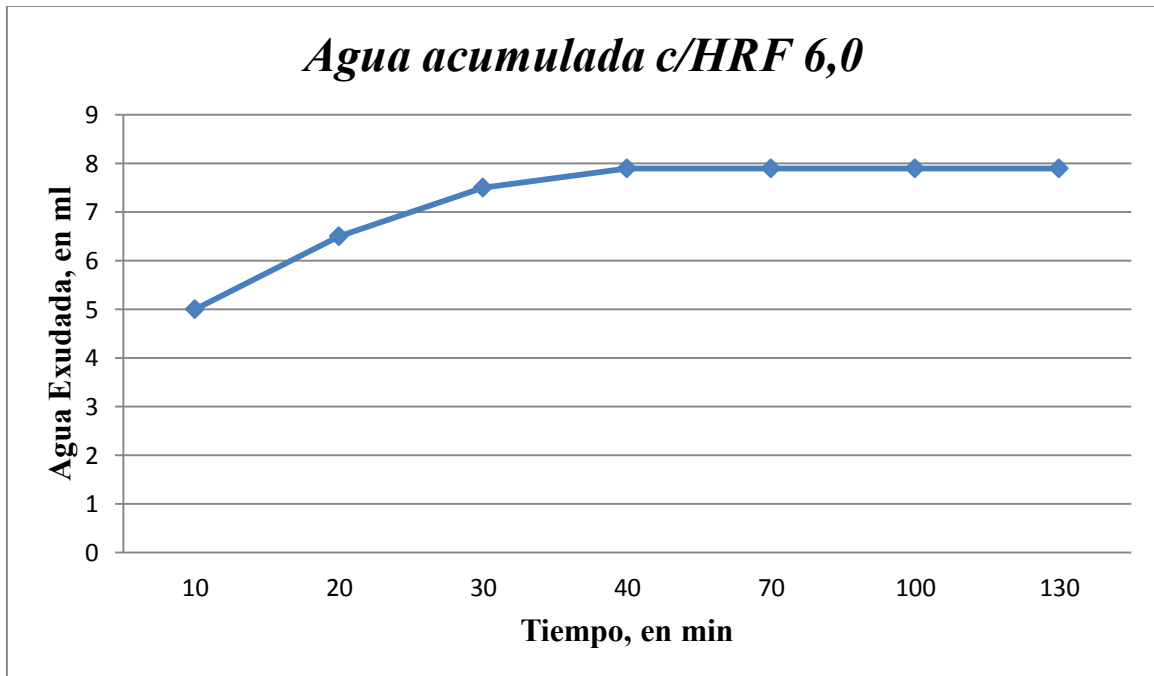


Figura 6.6. Grafico cantidad de agua acumulada por intervalos de tiempo c / HRF 6,0.
Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2.1.5. Resultados para Hormigón Reforzado con Fibras 8,0 Kg/m³

HRF 8,0				
Tiempo (min)	Agua Extraída (ml)	Agua Acumulada (ml)	Vel. Exudación (ml/min)	Asentamiento (cm)
10	1	1	0,1	6
20	0,3	1,3	0,03	
30	0,2	1,5	0,02	
40	0	1,5	0	
70	0	1,5	0	
100	0	1,5	0	
130	0	1,5	0	

Tabla 6.6. Cantidad de agua Exudada con HRF 8,0.
Fuente: Elaboración Propia.

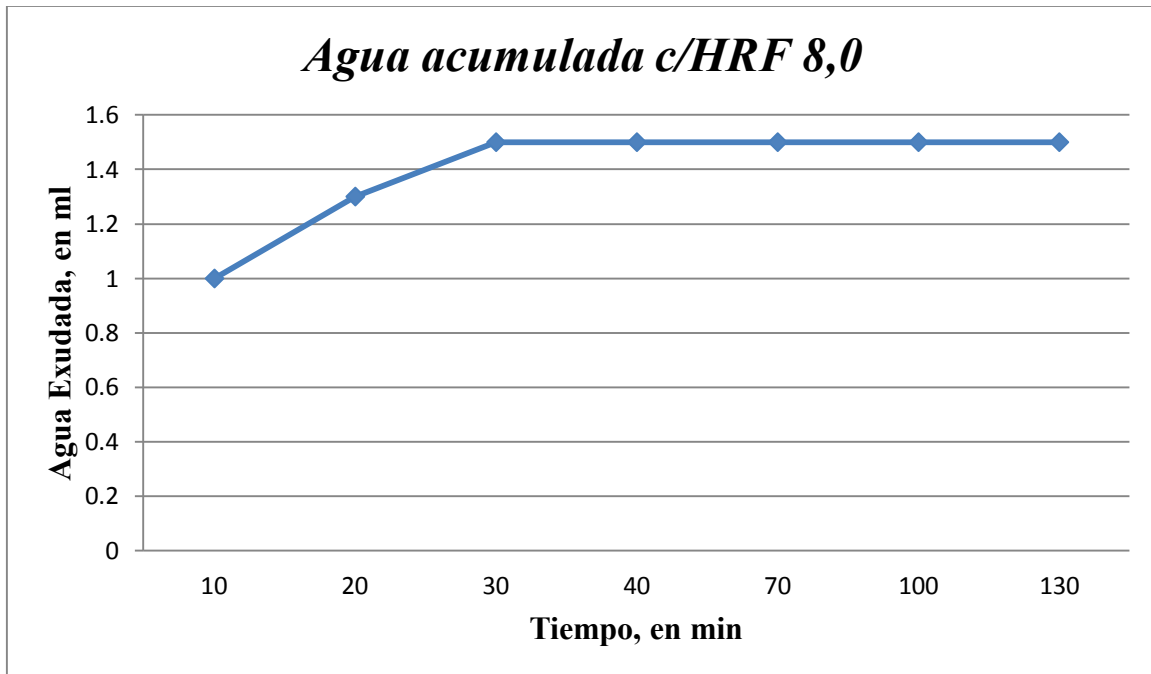


Figura 6.7. Grafico cantidad de agua acumulada por intervalos de tiempo c / HRF 8,0.
Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2.1.6. Resultados para Hormigón Reforzado con Fibras 10,0 Kg/m³

HRF 10,0				
Tiempo (min)	Agua Extraída (ml)	Agua Acumulada (ml)	Vel. Exudación (ml/min)	Asentamiento (cm)
10	0,2	0,2	0,02	4
20	0	0,2	0	
30	0	0,2	0	
40	0	0,2	0	
70	0	0,2	0	
100	0	0,2	0	
130	0	0,2	0	

Tabla 6.7. Cantidad de agua Exudada con HRF 10,0.
Fuente: Elaboración Propia.

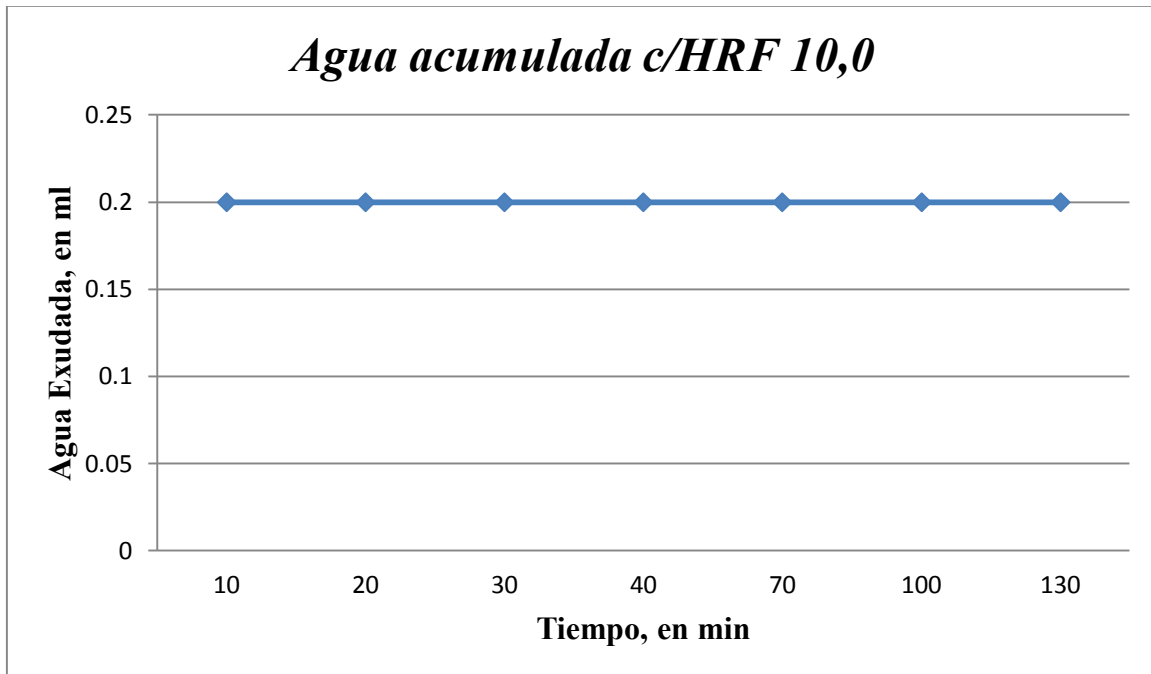


Figura 6.8. Gráfico cantidad de agua acumulada por intervalos de tiempo c / HRF 10,0.
Fuente: Elaboración Propia.

*Estimación basada en el brillo superficial.

Si observamos la Tabla 6.6 ya se deja entrever que la adición de estas fibras ya da indicios de su capacidad para superar este fenómeno, a lo que respecta el ensayo propiamente tal. Observando ya desde la Tabla 6.3 - Figura 6.4 un cambio en cuanto a el agua que emerge a la superficie es menor en comparación con el de hormigón patrón.

No obstante si observamos lo que ocurre en la Figura 6.3 que exhibe una clara acumulación de agua de amasado en su extensión quedando demostrado con los números que acompañan a ese ensayo en particular, logrando una acumulación de 32,6 ml de agua exudada.

Se desprende de las comparaciones expuestas por cada dosis empleada de fibras que la incorporación de estas, es determinante a la hora de expeler la exudación. Quedando demostrado en la Figura 6.8 donde se aprecia un indicativo importante de anulación de este fenómeno quedando prácticamente en cero el afloramiento de agua de amasado a la superficie del ensayo.

6.2.2.2. Resultados Exudación

Analizando el compendio punto por punto y según los datos obtenidos en este estudio, se puede relacionar una tabla resumen que da a conocer los resultados absolutos y porcentajes adquiridos en función del experimento, con ello se puede dar una mayor claridad al cuadro estudiado, resumiendo los detalles de esta tesis con respecto a la Exudación.

Adición de Fibras Kg/m ³	Exudación	
	Absoluto (ml)	Relativa (%)
0,0	32,6	100
2,0	21,9	67,2
4,0	15,8	48,5
6,0	7,9	24,2
8,0	1,5	4,6
10,0	0,2	< 1

Tabla 6.8. Tabla Resumen de Valores Absolutos de Exudación.

Fuente: Elaboración Propia.

De la tabla anterior se trasluce el siguiente gráfico:

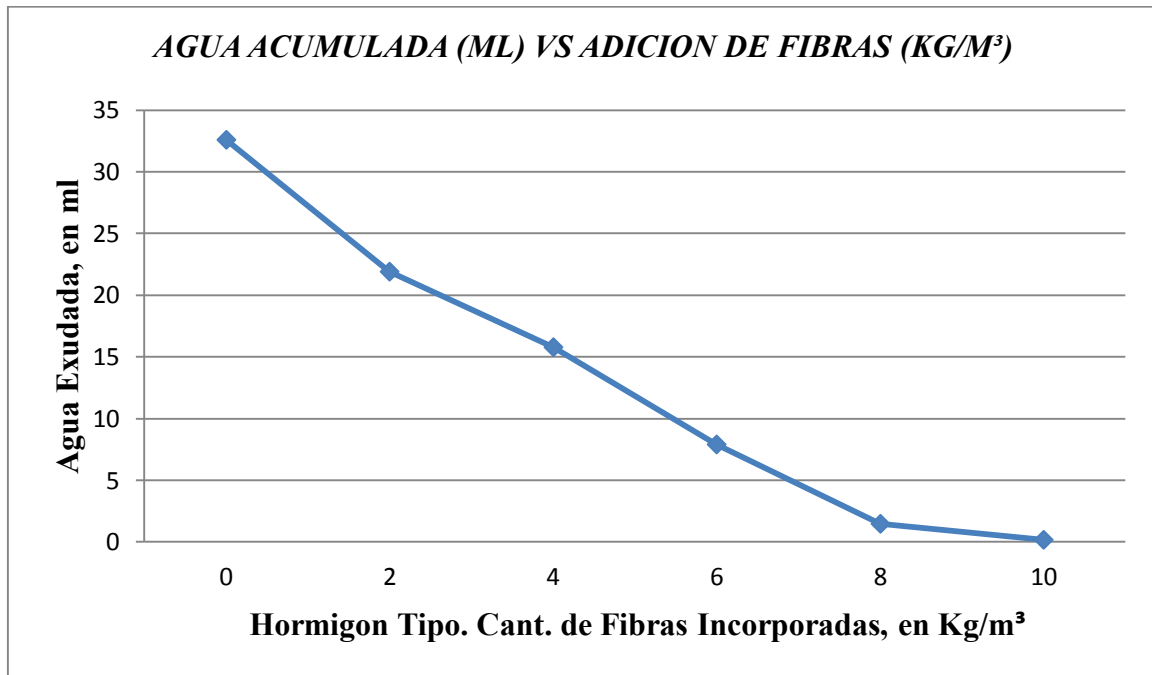


Figura 6.9. Grafico Representativo Agua Acumulada, en ml Vs. Adición de fibras, en Kg/m³.

Fuente: Elaboración Propia.

Desarrollo Exudación en el tiempo, Grafico resumen:

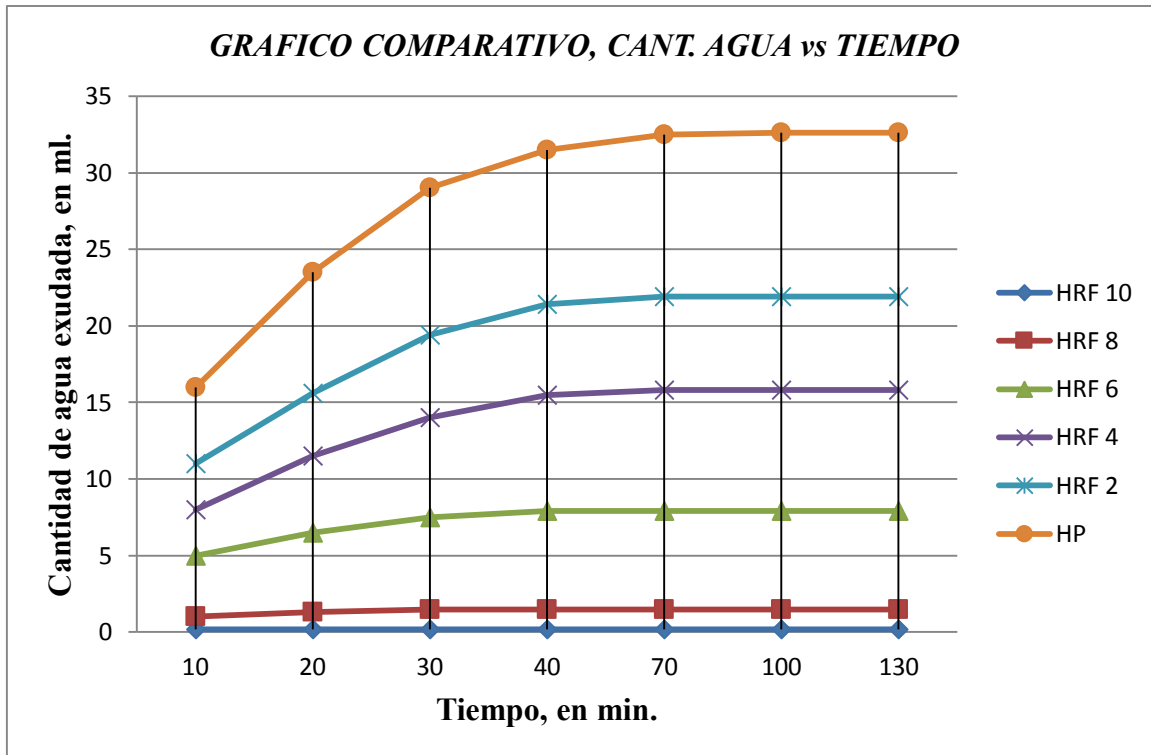


Figura 6.10. Grafico Resumen de desarrollo de Exudación en el Tiempo.
Fuente: Elaboración Propia.

6.2.3. Análisis Estadístico de Exudación v/s Dosis de Fibra.

Se hará un análisis estadístico a los datos de exudación y dosis de fibra para ver el tipo de relación que existe entre ellas. Para ello se graficarán ambas variables y ver si tienen un comportamiento lineal, de ser así se ajustarán los datos a una regresión lineal la que nos dará como resultado una recta que incluirá los parámetros que acompañan a la variable independiente, luego se obtendrá el coeficiente de correlación de Pearson y el coeficiente de Determinación, datos importantes que nos sirven para medir el tipo de relación y si el ajuste de la regresión lineal a los datos es la mejor, también obtendremos el error típico de estimación y la covarianza.

Los datos a analizar son obtenidos en el laboratorio de la Universidad de Valparaíso de la Escuela de Ingeniería en Construcción son los siguientes:

Dosis Fibra	Agua Acumulada
x	y
0	32,6
2	21,9
4	15,8
6	7,9
8	1,5
10	0,2

Tabla 6.9. Dosis Fibra (Kg/m³) vs Agua Acumulada (ml).

Fuente: Elaboración Propia.

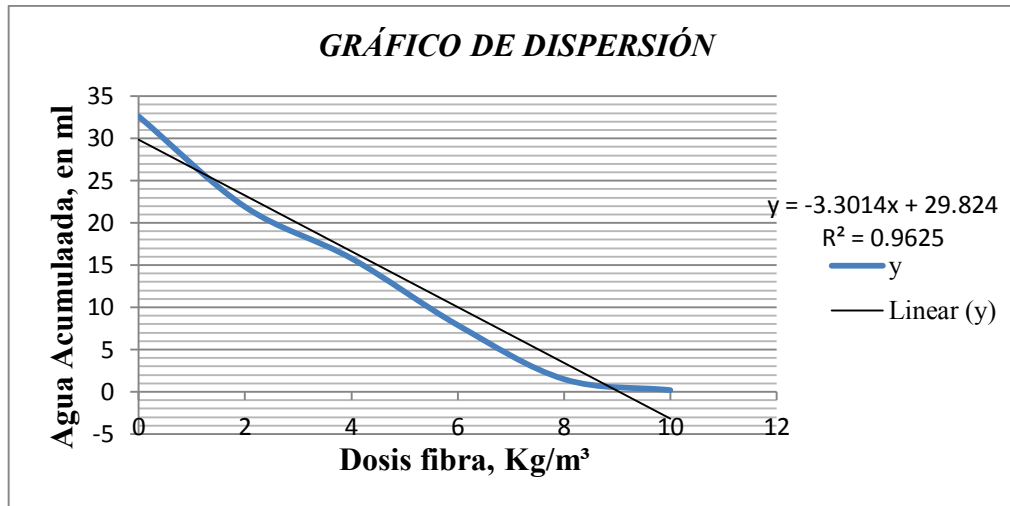


Figura 6.11. Grafico de dispersión Agua Acumulaada (ml) vs Dosis Fibra (Kg/m³).
Fuente: Elaboración Propia.

En la gráfica se aprecia una tendencia lineal con pendiente negativa y la recta ajustada a los valores. A partir de este gráfico se concluye que se puede plantear un modelo de regresión lineal simple.

El modelo planteado es el siguiente, siendo exudación la variable dependiente y fibra la variable independiente:

$$Exudación_i = \beta_0 + \beta_1 Fibra_i + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

Siendo ε el error

Utilizando Excel para el análisis estadístico de la Regresión se obtienen las siguientes tablas:

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente correlación de Pearson	-0,981056938
Coeficiente de determinación R ²	0,962472716
R ² ajustado	0,953090895
Error típico de la estimación	2,727095088
Observaciones	6

Tabla 6.10. Tabla de Estadística de la Regresión.
Fuente: Elaboración Propia.

Esta tabla nos entrega el valor del coeficiente de **correlación de Pearson** = **-0,981**, es negativo porque la curva tiene pendiente negativa, lo que indica que existe una relación lineal de un 98,1% entre los valores de Fibra y Exudación.

El coeficiente de **Determinación** $R^2 = 0,962472716$; indica que el 96,4% de los datos son ajustados por la regresión lineal y el **R^2 ajustado** = **0.953090895** indica un 95,5%, lo que significa, también, que la variabilidad está explicada por el modelo ajustado.

Error típico de la estimación **Se** = **2,727** (este valor también se encuentra en la tabla ANOVA y es la raíz cuadrada de los promedios de los cuadrados de los residuos) al compararlo con $\bar{Y} = 13,31$ de la muestra se aprecia claramente que la diferencia entre ellos es bastante grande, por lo tanto, esto indica que el modelo escogido es el que mejor ajusta a los datos.

Covarianza entre X e Y dio como resultado **Sxy** = **-38,51**; lo que significa que hay una dependencia inversa o negativa, es decir, a grandes valores de X corresponden pequeños valores de Y.

$$S_{xy} = \sum_{k=0}^n (X_i Y_i) / n - \bar{y} \bar{x}$$

Tabla ANOVA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	762,960143	762,960143	102,58912	0,00053486
Residuos	4	29,7481905	7,43704762		
Total	5	792,708333			

Tabla 6.11. Tabla de ANOVA.

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla ANOVA nos muestra el análisis de regresión lineal, lo que nos indica que al plantearse la hipótesis nula.

H₀: no linealidad entre X e Y, y la hipótesis alternativa.

H₁: linealidad entre X e Y.

En esta tabla al comparar el valor de $F = 102.589116$ con el **valor crítico de $F = 0.00053486$** observamos que el primero es mucho mayor que el segundo lo que lleva a rechazar la hipótesis nula, es decir, existe una relación lineal significativa entre X (fibra) e Y (exudación).

Tabla de Coeficientes

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
β_0	29,82381	1,9737265	15,110406	0,0001118	24,343866	35,303753
β_1	-3,301429	0,3259502	-10,12863	0,0005349	-4,206411	-2,396446

Tabla 6.12. Tabla de Coeficientes.

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla de los coeficientes las estimaciones de los parámetros del modelo de regresión lineal simple da como resultado que la ordenada en el origen $\beta_0 = 29,8238095$ y la pendiente $\beta_1 = -3,30142857$.

Por lo tanto la ecuación de la recta ajustada es:

$$y = 29,8238095 - 3,30142857 x$$

Así mismo en esta tabla se presentan los resultados de los valores de significancia para cada uno de los parámetros. Al plantearse las hipótesis se tiene:

$H_0 :$	$\beta_0 = 0$	$H_0 :$	$\beta_1 = 0$
$H_1 :$	$\beta_0 \neq 0$	$H_1 :$	$\beta_1 \neq 0$

En el primer contraste, intercepto con la ordenada, aparece en la columna el **estadístico $t = 15,1104$** tiene una probabilidad asociada de **0,00011181**, mucho menor que t lo que conduce al rechazo de la hipótesis nula y podemos decir que $\beta_0 \neq 0$.

En el segundo contraste, pendiente de la recta, aparece el **estadístico $t = 10,128629$** (en valor absoluto), con una probabilidad asociada de **0,00053486** mucho menor que t lo que conduce al rechazo de la hipótesis nula y podemos afirmar que existe una relación lineal significativa entre Y y X.

En la última columna de la tabla se muestran los intervalos de confianza para β_0 y β_1 al 95%. El intervalo para β_0 es (24,3438 ; 35,3037) y para β_1 es (-4,2064 ; -2,3964), puesto que el cero no pertenece a ninguno de los dos intervalos, hay evidencia empírica para concluir que X influye en Y y por tanto al nivel de confianza del 95% los parámetros β_0 y β_1 no podrían considerarse iguales a cero.

Tabla de los Residuales

Observacion	Pronostico para exudacion (Y)	Residuos
1	29,82380952	2,776190476
2	23,22095238	-1,320952381
3	16,61809524	-0,818095238
4	10,0152381	-2,115238095
5	3,412380952	-1,912380952
6	-3,19047619	3,39047619

Tabla 6.13. Tabla de los Residuos.

Fuente: Elaboración Propia.

Esta tabla nos entrega los valores pronosticados de la exudación, aplicando para ello la ecuación de la recta ajustada por medio de la regresión lineal. En la siguiente columna tenemos los residuos los cuales deben cumplir los supuestos del modelo de regresión lineal.

Al momento de aplicar la regresión lineal simple se debe tener en cuenta ciertos supuestos que se deben cumplir, que son los siguientes:

- Normalidad.
- Homocedasticidad.
- Linealidad.
- Independencia.

Este análisis permite comprobar y verificar los supuestos del modelo de regresión lineal, estos supuestos resultan necesarios para validar la inferencia respecto a los parámetros. Utilizaremos el análisis de los residuos para realizar los contrastes a posteriori de dichas hipótesis del modelo. Los residuos se definen como la diferencia entre el valor observado y el valor predicho por el modelo.

Normalidad: Para verificar el supuesto de normalidad de los residuos se utilizaron los gráficos de histograma y de probabilidad normal, además del estadístico de Kolmogorov-Smirnov quienes arrojaron como resultado la normalidad de los datos.

Homocedasticidad: Para verificar el supuesto de homocedasticidad de los residuos, igualdad de varianzas, se utilizó el gráfico de dispersión del valor pronosticado de Exudación y los residuos tipificados, gráfico que nos indica que dicho supuesto se cumple.

Independencia: Para verificar el supuesto de independencia de los residuos se usa el estadístico Durbin-Watson = 1,576, como es un valor cercano a 2 indica la independencia de ellos.

Linealidad: Para verificar el supuesto de linealidad se utiliza el $R^2 = 0,962$ lo que muestra que el ajuste lineal es satisfactorio.

Por lo tanto, habiéndose comprobado todos los supuestos, nos permiten afirmar que el modelo de regresión lineal aplicado a los datos es el correcto.

Para realizar el análisis estadístico se hizo utilizando Programa Estadístico SPSS versión 19 y Excel.

6.3. Segunda Etapa: Hormigón en Estado Endurecido

6.3.1. Generalidades

En esta etapa, ya entrando en la etapa de evaluar los hormigones tipo pero en estado endurecido se sugieren tres tipos de ensayos para evaluar su Resistencia Mecánica, hablamos de ensayo a Compresión, Tracción por Hendimiento y Flexotracción. Cada uno de ellos exhibe diferentes formas a las cuales se pueden estimar resultados que den aristas de cómo se comporta el hormigón a diferentes situaciones de esfuerzo.

Los resultados que se obtendrán de esta etapa, vendrán proporcionados por el laboratorio de hormigón, que cuenta con la maquinaria necesaria para poder desarrollar esta experiencia.

6.3.2. Resistencia Compresión

Se presentaran los resultados que se obtuvieron por el ensayo a compresión, que como se mencionaba en capítulos anteriores serán tres probetas cubicas de aristas 150 x 150 x 150 mm, las cuales terminado el periodo de curado de 28 días se procederá a ensayar dentro del marco normativo que nos indica la NCh 1037 Of. 1977.

Para acercarnos a un resultado más característico es necesario una muestra promedio como se indica en la tabla 6.9, las cuales corresponden a las tres probetas mencionadas para cada tipo de ensayo, en este caso de compresión.

COMPRESION						
H° Tipo	Resistencia Compresion (Kg/cm ²)	Rc Promedio (Kg/cm ²)		Resistencia Relativa (%)	Desviacion Estandar (Kg/cm ²)	Coeficiente de Variacion (%)
		Molde 150 (mm)	Molde 200 (mm)			
HP	300,0	301,5	286,4	100,0	1,3	0,4
	302,2					
	302,2					
HRF 2,0 (Kg/m ³)	296,9	291,0	276,5	96,5	5,3	1,8
	286,7					
	289,3					
HRF 4,0 (Kg/m ³)	298,2	293,6	278,9	97,4	4,9	1,7
	288,0					
	294,2					
HRF 6,0 (Kg/m ³)	289,8	287,9	273,5	95,5	2,6	0,9
	284,9					
	288,9					
HRF 8,0 (Kg/m ³)	282,2	285,0	270,7	94,5	3,2	1,1
	288,4					
	284,4					
HRF 10,0 (Kg/m ³)	283,6	283,0	268,8	93,9	1,9	0,7
	280,9					
	284,4					

Tabla 6.14. Resultados Resistencia a Compresión por cada Hormigón Tipo en Estudio.

Fuente: Elaboración Propia.

Según NCh 170 Anexo 3 indica que para el cambio de resistencias a compresión según medidas de moldes, existe un factor con el cual se modifica el valor, no existiendo así una diferencia que juegue en contra del estudio. Dicho factor es 0.95, con el cual se convierte de probetas cubicas de aristas 150 mm a 200 mm.

El siguiente grafico representa los valores obtenidos de las resistencias medias a compresión a los 28 días de edad.

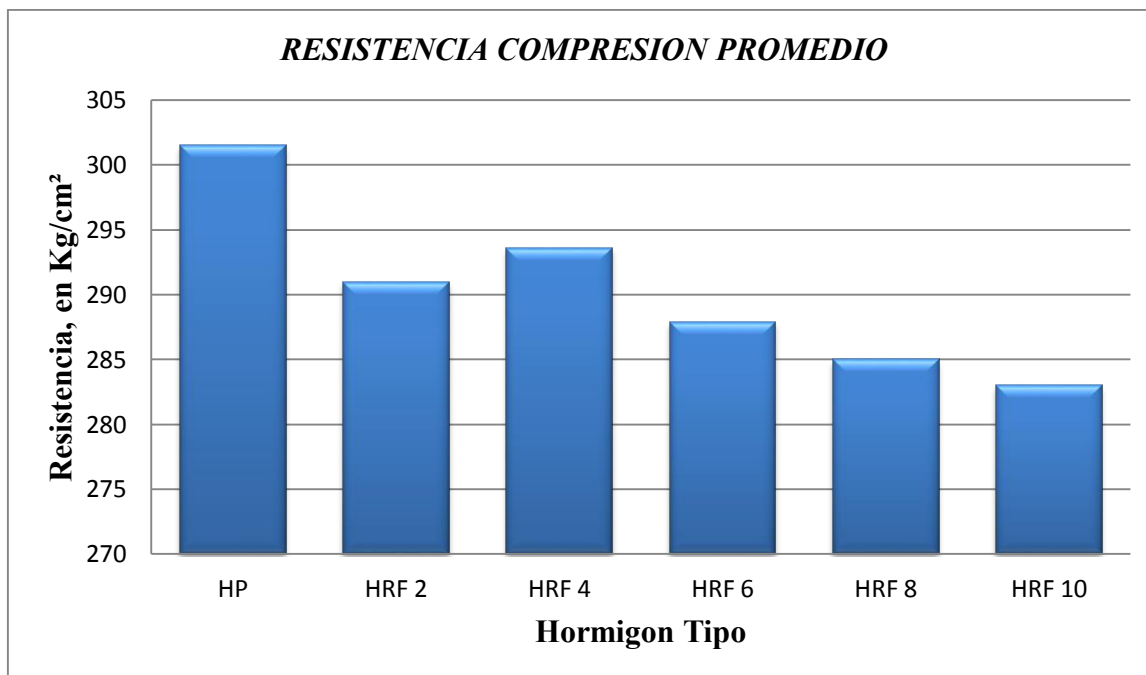


Figura 6.12. Resistencia a Compresión Media Hormigón Tipo en Estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

Se desglosa de la figura 6.11, que según los valores experimentales llevados a cabo en laboratorio, no se aprecia un beneficio en cuanto a este tipo de esfuerzo, con ello podemos concluir una disminución en su resistencia a compresión. Si bien se visualiza según los resultados obtenidos un leve aumento en su resistencia con la dosis de 4 Kg/m³ de prácticamente un 1% en relación con la dosis anterior de 2 Kg/m³, esta aun así no es suficiente para definir su capacidad de generar un incremento en este tipo de sometimiento.

A continuación se observan los porcentajes definidos por la Resistencia relativa a compresión, todos los valores en relación porcentual con el Hormigón Patrón.

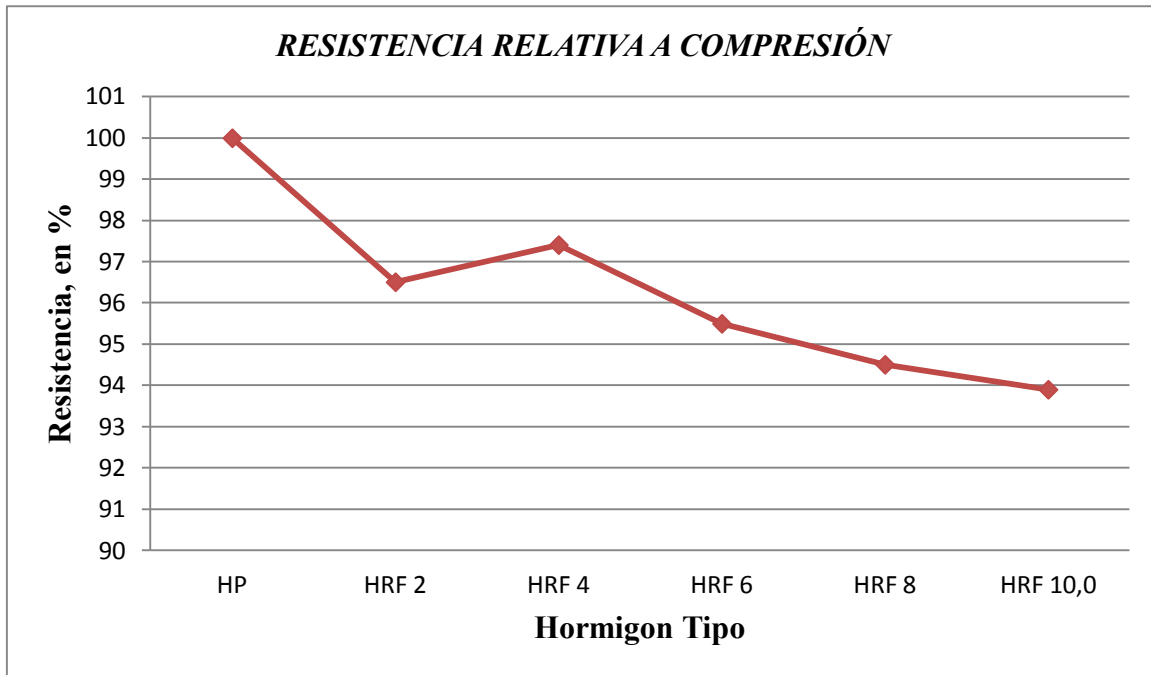


Figura 6.13. Resistencia Relativa a Compresión de Hormigón Tipo en Estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

De la figura 6.12 podemos distinguir un gráfico que demuestra que de ninguna forma se logra superar ni al menos igualar la resistencia a compresión del Hormigón Patrón, pero si se trasluce un pequeño indicio de tender a solidarizar con el hormigón en la dosis de fibras 4 Kg/cm³, pero en general el aporte de las fibras en este tipo de sollicitación es irrelevante como nos indica el grafico aludido.

6.3.3. Resistencia Flexotracción

Los valores obtenidos de estas 3 probetas prismáticas por cada hormigón tipo, de aristas 150 x 150 x 550 mm. con la luz especificada por norma de 450 mm ensayadas a los 28 días de edad, se exponen en la siguiente tabla.

FLEXOTRACCION					
H° Tipo	Resistencia Flexotraccion (Kg/cm ²)	Rf Promedio (Kg/cm ²)	Resistencia Relativa (%)	Desviacion Estandar (Kg/cm ²)	Coefficiente de Variacion (%)
HP	35,8	33,3	100,0	3,6	10,9
	29,1				
	35,1				
HRF 2,0 (Kg/m ³)	37,1	35,6	106,8	1,7	4,7
	35,9				
	33,8				
HRF 4,0 (Kg/m ³)	37,7	36,7	110,1	1,0	2,7
	36,6				
	35,8				
HRF 6,0 (Kg/m ³)	37,1	37,5	112,5	1,4	3,8
	39,1				
	36,3				
HRF 8,0 (Kg/m ³)	39,7	39,3	117,9	0,8	1,9
	38,4				
	39,7				
HRF 10,0 (Kg/m ³)	40,4	40,4	121,2	0,7	1,6
	41,1				
	39,7				

Tabla 6.15. Resultados Resistencia a Flexotracción por cada Hormigón Tipo en Estudio.

Fuente: Elaboración Propia.

Se desprende de la tabla 6.10 una clara ventaja en la incorporación de fibras sintéticas híbridas, ya que se muestra un progresivo y sólido resultado en cuanto a este tipo de esfuerzo, quedando demostrado en la columna donde se presenta la Resistencia Relativa con un claro 20% más de resistencia a este tipo de sollicitación. Una clara señal de que la incorporación de fibras frente a este sometimiento logra aumentar su resistencia considerablemente.

La figura que se muestra a continuación, nos indica el promedio de la Resistencia a Flexotracción de cada hormigón tipo.

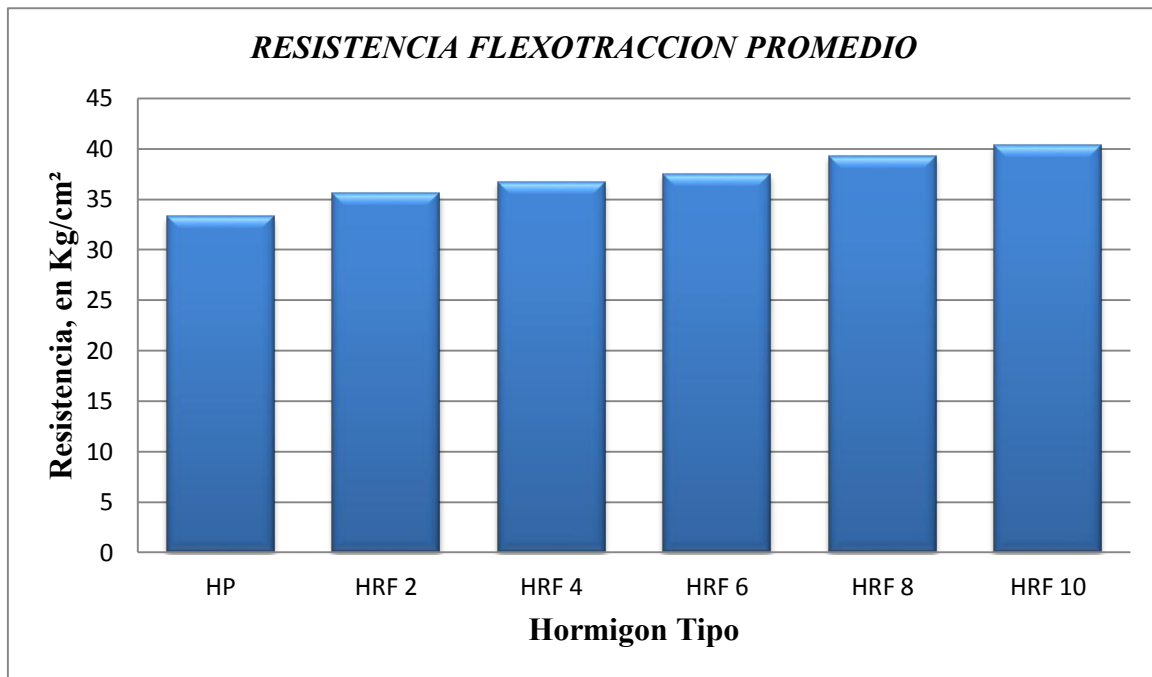


Figura 6.14. Resistencia a Flexotracción Media de Hormigón Tipo en Estudio.

Fuente: Elaboración Propia.

De la figura anterior se deja entrever los resultados por cada adición de fibras, con un progresivo resultado con beneficios a la vista en cuanto a este esfuerzo.

A continuación se presenta a escala porcentual los valores obtenidos en función de la fibra incorporada.

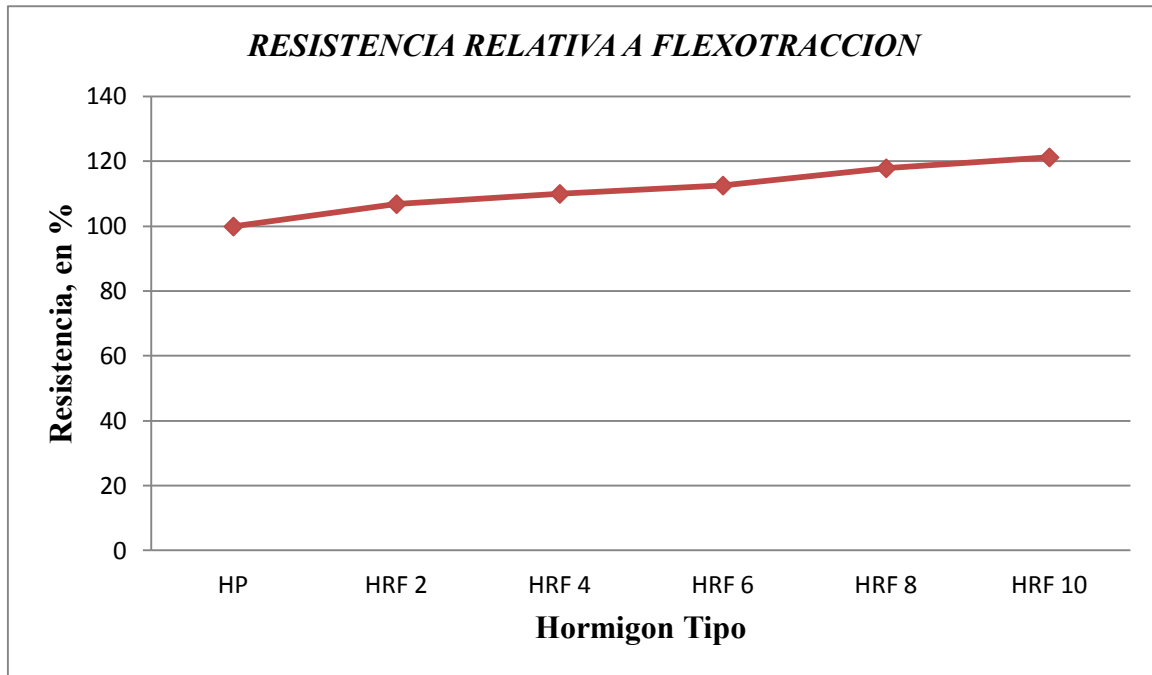


Figura 6.15. Resistencia Relativa a Flexotracción de Hormigón Tipo en Estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

Con ello se demuestra el potencial de este tipo de fibras frente a este esfuerzo, con claros signos de incremento en su resistencia dejándolo en claro desde la primera incorporación de fibras con casi un 7% de aumento con referencia al hormigón patrón.

Ya llegando a la adición de 10 Kg/m³ se aprecia un contundente 21,2% de acrecentamiento en reforzamiento a las 3 vigas ensayadas del último tramo de fibras incorporadas.

Este grafico obedece a un crecimiento prolongado pero ordenado como se aprecia ya que con cada integración el incremento de su resistencia a flexotracción es de $\pm 3\%$ por cada anexo de fibras sintéticas, exceptuando la diferencia del HP con respecto a la primera adición de 2 Kg/m³, que llega a un 6.8%.

6.3.4. Resistencia Tracción por Hendimiento

A través de la tabla siguiente se observara con detalle valores que dan con la resistencia a la tracción por hendimiento del hormigón, tanto con incorporación, como sin incorporación de fibras sintéticas. Estos resultados radican de una plataforma de ensayo, donde se cuenta con un molde cilíndrico de diámetro 150 mm y altura 300 mm, con tres muestras que posteriormente se ensayaran en laboratorio y lograr una consecuencia al estudio.

TRACCION POR HENDIMIENTO					
Hº Tipo	Resistencia Tracc.Hendimiento (Kg/cm ²)	R _{TH} Promedio (Kg/cm ²)	Resistencia Relativa (%)	Desviacion Estandar (Kg/cm ²)	Coefficiente de Variacion (%)
HP	28,3	28,1	100,0	0,4	1,5
	28,3				
	27,6				
HRF 2,0 (Kg/m ³)	28,0	28,6	102,0	0,9	3,3
	29,7				
	28,2				
HRF 4,0 (Kg/m ³)	28,3	28,9	103,0	0,6	2,0
	29,0				
	29,4				
HRF 6,0 (Kg/m ³)	29,3	29,3	104,3	0,5	1,6
	29,7				
	28,8				
HRF 8,0 (Kg/m ³)	29,1	29,6	105,5	0,5	1,7
	29,6				
	30,1				
HRF 10,0 (Kg/m ³)	30,4	29,9	106,4	1,4	4,6
	28,3				
	30,8				

Tabla 6.16. Resultados Resistencia a Tracción por Hendimiento de Hormigón Tipo en Estudio

Fuente: Elaboración Propia.

La figura posterior nos manifiesta gráficamente los resultados obtenidos en laboratorio frente al ensayo de tracción por hendimiento en los hormigones tipo de esta experiencia.

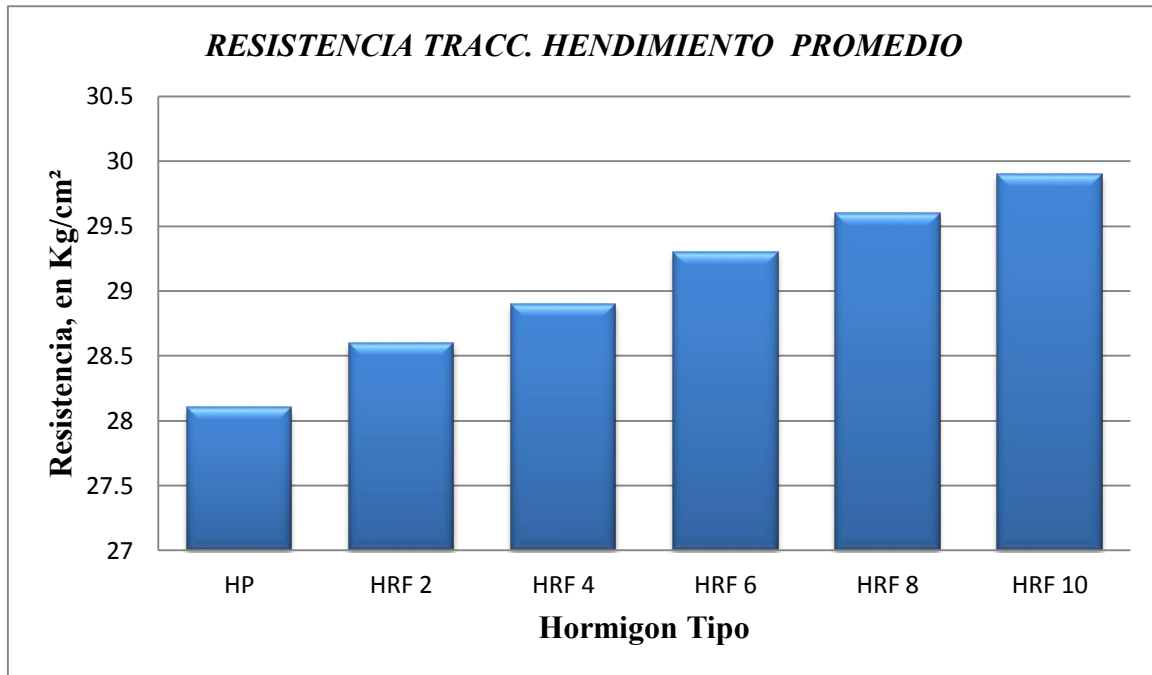


Figura 6.16. Resistencia a Tracción por Hendimiento Media de Hormigón Tipo en Estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

Acompañando al gráfico anterior se visualiza la resistencia relativa a hendimiento, en la figura 6.16. Porcentualmente hablando deja una mirada más clara de cómo actúan las fibras en el hormigón y como resultan las prestaciones que ofrecen en esta etapa.

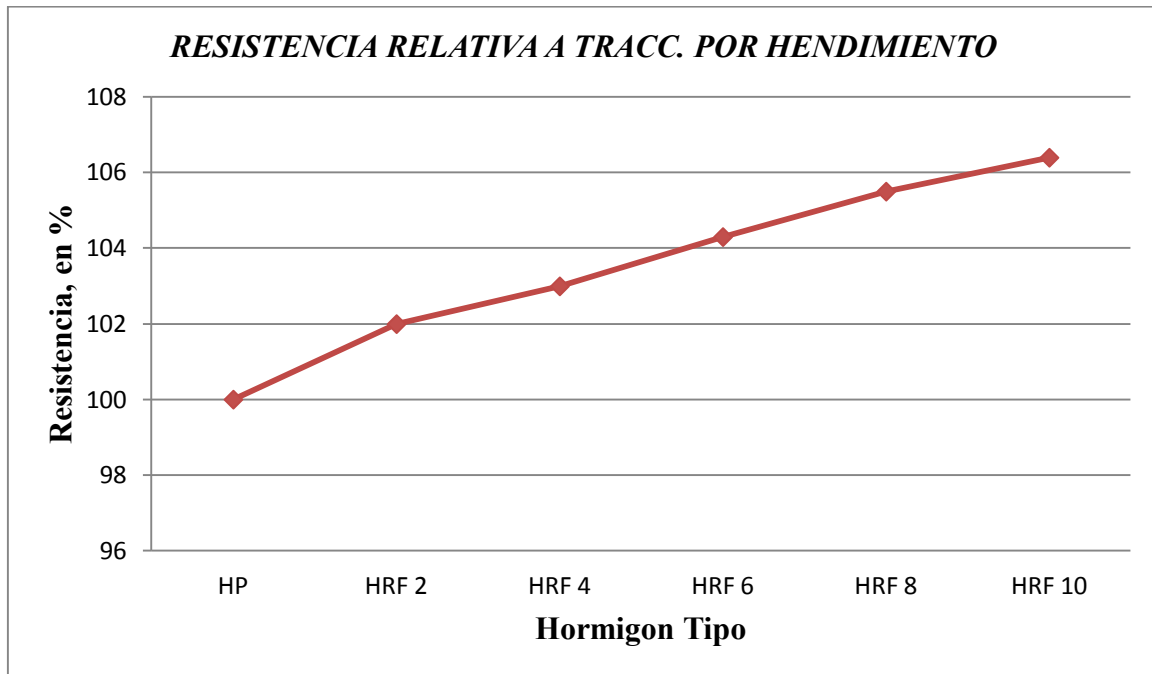


Figura 6.17. Resistencia Relativa a la Tracción Por Hendimiento a Hormigón Tipo en Estudio
Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO 7
CONCLUSIONES

CAPITULO 7: CONCLUSIONES

7.1. Generalidades

En este capítulo se da por concluida la experiencia, en donde se dan respuestas a los objetivos planteados y a la hipótesis que dio origen a esta tesis, basándose en los resultados obtenidos en la experiencia realizada.

7.2. Resultados y Conclusiones de la Experiencia

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta experiencia se pueden inferir las siguientes conclusiones:

1. La incorporación de fibras determina una disminución del asentamiento del hormigón, que es proporcional a la cantidad de fibras incorporadas; sin embargo se observó que la mezcla se mantiene trabajable.
2. El efecto del tipo de fibras empleadas sobre la exudación del hormigón es considerable ya que permite fuertes reducciones del agua exudada que son proporcionales a las dosis agregadas: Con dosis de 4 Kg/m³, la exudación se reduce prácticamente en un 50% y, con la dosis de 10 Kg/m³ la exudación es nula.
3. En general, la incorporación de fibras al hormigón determina una ligera disminución de resistencia a compresión, que puede considerarse irrelevante, ya que en el peor de los casos, llega solo a 6%.
4. En los hormigones con incorporación de fibras se verifica un aumento de su resistencia a flexotracción, que es proporcional a las dosis de fibra, llegando al 21% con adición de 10 Kg/m³ de fibra. Sin embargo, su influencia sobre la resistencia al hendimiento es pequeña, alcanzando incrementos de solo 6% con la dosis de 10 Kg/m³ de fibras.

7.3. Usos del Hormigón Reforzado con fibra TUF Strand SF

Los principales usos a los que se les puede adjudicar a este tipo de fibras son múltiples, dentro de los cuales figuran:

- Elementos prefabricados en concreto.
- Concreto lanzado (recubrimiento de túneles, construcción de piscinas, estabilización de taludes).
- Pavimentos.
- Pisos de concreto en centros de distribución
- Pisos industriales
- Pisos de bodegas
- Entre otros.

7.4. Propuesta Futuras Investigaciones

- Indagar en otro tipo de fibra sintética híbrida, que genere discusión en la parte técnica y mecánica.
- Medir la permeabilidad del hormigón con adición de fibras con similares características.
- Realizar un estudio para medir la resistencia al impacto en función de la cantidad de fibras incorporadas al hormigón.
- Variar la granulometría de la grava, demostrando si sus funciones cambian con otro diámetro nominal.

Bibliografía

- i. ACI 2008. "Measurement of properties of fiber reinforced concrete". Chap. 6 in *ACI Manual of concrete practice*.
- ii. Bertero, A. "Efectos de la cal y el aire incorporado sobre la exudación y sobre la adherencia del mortero". Universidad de Valparaíso. Valparaíso, Chile.
- iii. Bravo, J. 2003. "Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio: Influencia del porcentaje de la fibra adicionado". Tesis de pregrado, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- iv. Carmona, S. and F. Maripangui 2007. "Comportamiento del hormigón reforzado con fibras sometido a esfuerzos de corte". Anales de las XVI jornadas chilenas del hormigón. Talca, Chile.
- v. Carmona, S, y Cabrera M. 2009. "Comportamiento al corte de hormigones reforzados con fibras de acero". Revista Ingeniería en Construcción Vol. 24 N° 1, www.ing.puc.cl/ric.
- vi. Gopalaratnam, V., and R. Gettu. 1995 "On the characterization of flexural toughness in fiber reinforced concrete." *Int. journal cement and concrete composites* 17.
- vii. Córdova, T. 2013. "Verificación del efecto de las adiciones de fibras sintéticas híbridas sobre la resistencia mecánica y sobre la retracción hidráulica del hormigón". Universidad de Valparaíso. Valparaíso, Chile.
- viii. Gómez, G. 1997. "Influencia de los Aditivos Plastificantes y Fluidificantes sobre la Exudación y sobre la Retracción del Hormigón". Universidad de Valparaíso. Valparaíso, Chile.
- ix. Medina, F. y Cifuentes, H. 2007. "Hormigón reforzado con fibras de polipropileno. Influencia de la ductilidad de la fibra sobre la fragilidad y el efecto tamaño" Anales de Mecánica de Fractura", Vol. 1.
- x. Neville, A. 1995. Tecnología del concreto (4° Edición) Editorial Pitman Publishing. Londres, Inglaterra.
- xi. Nuñez, L. Tesis 1994, "Estudio del hormigón con fibras de polipropileno". Universidad de Valparaíso.
- xii. Ocampo, G. "Efecto de la incorporación de aire sobre la retracción hidráulica en el hormigón" Universidad de Valparaíso. Valparaíso, Chile.

- xiii. Perrero, J., et all. 1996. "Manual del concreto, Cap XII.2 Concreto con fibras", 1° Edicion. Caracas, Venezuela.
- xiv. Powers, T.C. 1939. The bleeding of portland cement paste, mortar and concrete. Portl. Cem. AssocBul N° 2.
- xv. Rilem 2002. TC-162 TDF Test and design methods for steel fibre reinforced concrete: Bending test. Materials and Structures. Vol. 35.
- xvi. Valderrama, A. 2004. "Estudio y control de la exudación en hormigones fluidos". Universidad de Valparaíso. Valparaíso, Chile.

ANEXOS

Anexo 1: Tablas.

1. Compresión

Hº	COMPRESION			Asentamiento
	PESO (Kg)	CARGA (Kgf)	RESIST (Kg/cm ²)	Cono (cm)
P1	7,87	67500	300,0	
P2	7,89	68000	302,2	8,5
P3	7,88	68000	302,2	
F2 Kg/m3	7,95	66800	296,9	
F2	7,91	64500	286,7	8
F2	7,84	65100	289,3	
F4 Kg/m3	7,83	67100	298,2	
F4	7,83	64900	288,4	8
F4	7,77	66200	294,2	
F6 Kg/m3	7,78	65200	289,8	
F6	7,74	64100	284,9	7
F6	7,75	65000	288,9	
F8 Kg/m3	7,72	63500	282,2	
F8	7,7	64900	288,4	6
F8	7,77	64000	284,4	
F10 Kg/m3	7,75	63800	283,6	
F10	7,7	63200	280,9	4
F10	7,73	64000	284,4	

2. Flexotracción

Hº	HENDIMIENTO			Asentamiento
	PESO (Kg)	CARGA (Kgf)	RESIST (Kg/cm ²)	Cono (cm)
P1	12,77	20000	28,3	8,5
P2	12,24	20000	28,3	
P3	12,36	19500	27,6	
F2 Kg/m3	12,13	19800	28,0	8
F2	12,17	21000	29,7	
F2	12,15	19900	28,2	
F4 Kg/m3	12,08	20000	28,3	8
F4	12,2	20500	29,0	
F4	12,1	20800	29,4	
F6 Kg/m3	12,01	20700	29,3	7
F6	11,97	21000	29,7	
F6	12,05	20350	28,8	
F8 Kg/m3	12,1	20600	29,1	6
F8	12,1	20900	29,6	
F8	11,8	21300	30,1	
F10 Kg/m3	12,03	21500	30,4	4
F10	11,93	20000	28,3	
F10	11,95	21800	30,8	

3. Tracción por Hendimiento

Hº	FLEXOTRACCION			Asentamiento
	PESO (Kg)	CARGA(Kgf)	RESIST (Kg/cm ²)	Cono (cm)
P1	28,26	2700	35,8	8,5
P2	26,37	2200	29,1	
P3	28,34	2650	35,1	
F2 Kg/m3	28,7	2800	37,1	8
F2	27,87	2710	35,9	
F2	28,44	2550	33,8	
F4 Kg/m3	27,91	2850	37,7	8
F4	27,84	2760	36,6	
F4	27,86	2700	35,8	
F6 Kg/m3	26,89	2800	37,1	7
F6	27,47	2950	39,1	
F6	27,24	2740	36,3	
F8 Kg/m3	27,36	3000	39,7	6
F8	27,42	2900	38,4	
F8	27,63	3000	39,7	
F10 Kg/m3	27,75	3050	40,4	4
F10	27,56	3100	41,1	
F10	27,57	3000	39,7	

Anexo 2: Imágenes de la Experiencia.

1. Asentamiento Hormigón Patrón



2. Asentamiento HRF



3. Agua acumulada ensayo de Exudación.



4. Ensayo Flexotracción HP



5. Ensayo Flexotracción HRF

