



**Universidad Austral de Chile**

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Escuela de Construcción Civil.

**“COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL  
HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA DE  
VIDRIO.”**

Tesis para optar al Título de:  
Ingeniero Constructor.

Profesor Guía:  
Sr. José Arrey Díaz.  
Constructor Civil, especialidad hormigones  
Experto en Prevención de Riesgos Ocupacionales

**CAROLINA JOSELINE MUÑOZ ALVAREZ**  
**VALDIVIA - CHILE**  
2007

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como principal objetivo estudiar la influencia de la incorporación de fibra de vidrio en las propiedades mecánicas del hormigón.

Para llevar a cabo la investigación se realizaron ensayos comparativos entre un hormigón patrón y hormigones con distinto porcentaje de fibra adicionado.

Las propiedades que se estudiaron de cada mezcla, tanto la mezcla patrón como las que contenían distintos porcentajes de fibra de vidrio fueron la docilidad, la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexotracción.

Según los resultados obtenidos se deduce que las fibras de vidrio favorecen la resistencia mecánica de los hormigones sobre todo con el porcentaje mas alto de fibra que corresponde a 1.5%. .

## SUMMARY

The present work had as main objective to study the influence of the fiber glass incorporation in the mechanical properties of the concrete.

In order to carry out the investigation comparative tests between a concrete were made pattern and concretes with different percentage from added fiber.

The properties that studied of each mixture, as much the mixture pattern as those that they contained different percentage from fiber glass were the docilidad, the compressive strenght and the resistance to the flexotracción.

According to the obtained results it is deduced that the fiber glasses mainly favor the mechanical resistance of concretes with the percentage upper of fiber than it corresponds to 1,5%.

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>TEMA</b>	<b>Pág.</b>
<b>CAPITULO I: MATERIALES COMPUESTOS</b>	
1.1 Generalidades	1
1.2 Materiales Compuestos Reforzados con Partículas	3
1.3 Materiales Compuestos Estructurales	5
1.4 Materiales Compuestos Reforzados con Fibras	7
1.4.1    Conceptos Generales del Comportamiento Mecánico de Materiales Reforzados con Fibras	7
1.4.1.1    Influencia de la Longitud de la Fibra.	7
1.4.1.2    Influencia de la Orientación y de la Concentración de la Fibra	9
1.4.1.2.1    Materiales Compuestos con Fibras Discontinuas y Orientadas al Azar	10
1.4.1.3    Fase Fibrosa	12
1.4.1.4    Fase Matriz	13
<b>CAPITULO II: LA FIBRA DE VIDRIO COMO REFUERZO DEL HORMIGÓN</b>	
2.1 Fibra de Vidrio	15
2.1.1    Tipos de Vidrio	15
2.2 La Fibra de Vidrio A. R.	17
2.2.1    Historia	17
2.2.2    Fabricación	20
2.3 El Hormigón Reforzado con Fibras de Vidrio Resistentes a los Álcalis	26
2.3.1    las fibras de vidrio AR en el hormigón	27
2.3.2    ventajas de las fibras de vidrio tipo AR en el hormigón	28

### **CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN Y PROGRAMA DE ENSAYOS**

3.1	Generalidades	31
3.2	Variable a Estudiar en el Desarrollo Experimental	31
3.3	Programa de Ensayos	32
3.4	Descripción de los Ensayos	33
3.4.1	Docilidad	33
3.4.2	Compresión	33
3.4.3	Flexotracción	38

### **CAPITULO IV: DESARROLLO DE LA ETAPA EXPERIMENTAL**

4.1	Materiales	43
4.1.1	Áridos	43
4.1.2	Cemento	45
4.1.3	Fibras de Vidrio Álcali-Resistentes	45
4.1.4	Agua	46
4.2	Dosificación y Confección del Hormigón	47
4.2.1	Dosificación de los hormigones	47
4.3	Confección de mezclas de prueba	56

### **CAPITULO V: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

5.1	Resultados de la Medición de cono.	65
5.2.	Ensayos de compresión	67
5.2.1	Resultados	67
5.3	Ensayos de flexotracción	73

## **CAPITULO VI: CONCLUSIÓN**

6.1 Conclusiones

77

**Bibliografía**

80

## INDICE DE FIGURAS

<b>TEMA</b>	<b>Pág.</b>
<b>CAPITULO I: ANTECEDENTES TEÓRICOS</b>	
Figura N° 1- 1: fases de los materiales compuestos	2
Figura N° 1- 2: Apilamiento de capas reforzadas en sucesivas orientaciones Para construir un material laminar.	5
Figura N° 1- 3: Diagrama esquemático de la fabricación de un panel sándwich con un núcleo en panal.	6
Figura 1-4. Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra Sometida a un esfuerzo de tracción	8
Figura 1-5. Compuestos reforzados con fibras	9
Tabla 1-1. Propiedades del policarbonato sin refuerzo y reforzado con fibra de Vidrio orientada al azar	10
Tabla 1-2. Eficiencia del reforzamiento de compuestos reforzados con fibra orientado en varias direcciones y esfuerzos aplicados en varias direcciones.	11
Tabla 1-3. Características mecánicas de las diferentes categorías	13
<b>CAPITULO II: LA FIBRA DE VIDRIO COMO REFUERZO DEL HORMIGÓN</b>	
Tabla 2-1. Propiedades Mecánicas de los distintos tipos de Fibra de Vidrio	17
Figura 2-1. Resistencia al ataque alcalino de distintos tipos de fibra de vidrio	19
Tabla2-2. Componentes del vidrio álcali - resistente	19
Figura 2-2. Proceso de Fabricación de la Fibra de Vidrio, y productos Finales	26

### **CAPITULO III: ANTECEDENTES GENERALES DE LOS ENSAYOS**

Tabla 3-1, tipos de hormigones a ensayar.	32
Foto N° 1: Molde Cúbico 15*15*15 cm <sup>3</sup> .	35
Foto N° 2: Medida De Las Caras	36
Foto N° 3: Probeta en Máquina de compresión	37
Foto N° 4: Indicadores de resistencia a la compresión.	38
Figura 3-1: Ensayo de tracción por flexotracción con carga p/2	39
Foto N° 5: Trazado de la probeta.	40
Foto N° 6: Ensayo a la flexotracción	41
Foto N° 7: Fractura de la probeta en el tercio central de la luz de ensayo	42

### **CAPITULO IV: DESARROLLO DE LA ETAPA EXPERIMENTAL.**

Tabla 4-1, Propiedades de los Áridos	43
Tabla 4-2, Granulometría de la Arena	44
Tabla 4-3, Granulometría de la Gravilla	44
Tabla 4-4. Granulometría de la Grava	44
Tabla 4-5, Principales Propiedades Mecánicas y Físicas de la Fibra de Vidrio Cem-FIL Anti-Crack HD.	46
Foto N° 8: Fibra de vidrio	46
Tabla 4-6 datos según la banda de Especificación	47
Tabla 4-7 datos según los Áridos	48
Figura 4-1: triangulo de feret	48
Tabla 4-8. Ajuste de porcentajes de grava y arena a bandas granulométricas	49
Tabla 4-9. Dosificación para un m <sup>3</sup> de hormigón	54
Tabla 4-10. Dosificación para 75 litros	54
Foto N° 9: Betonera para confeccionar las mezclas	56



Tabla 4-11. Corrección por humedad para HP-25 (hormigón patrón H-25)	57
Tabla 4-12. Corrección por humedad para H25-01	57
Tabla 4-13. Corrección por humedad para H25-02	57
Tabla 4-14. Corrección por humedad para H25-03	58
Tabla 4-15. Corrección por humedad para H25-04	58
Tabla 4-16. Corrección por humedad para H30-P	58
Tabla 4-17. Corrección por humedad para H30-01	59
Tabla 4-18. Corrección por humedad para H30-02	59
Tabla 4-19. Corrección por humedad para H30-03	59
Tabla 4-20. Corrección por humedad para H30- 04	60
Figura 4-2: Asentamiento de cono	61
Foto N° 10: Probeta terminada e identificada	63
Foto N° 11: Desmolde de probetas	63
Foto N° 12: Piscina de curado	64

## **CAPITULO V: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

Tabla 5-1, Variación de cono H-25	65
Grafico N° 1, Variación docilidad hormigón H-25, según el porcentaje de fibra	65
Tabla 5-2, Variación de cono H-30	66
Grafico N° 2, Variación docilidad hormigón H-30, según el porcentaje de fibra	66
Tabla 5-3 densidades promedio H-25	67
Grafico N° 3 densidad promedio del H-25	67
Tabla 5-4 densidad promedio H-30	68
Grafico N° 4 densidad promedio H-30	68
Tabla 5-5 resultados ensayo a la compresión del hormigo H-25 a los 7 días	69
Tabla 5-6 resultados ensayo a la compresión del hormigo H-25 a los 14 días	69
Tabla 5-7 resultados ensayo a la compresión del hormigo H-25 a los 28 días	69

Grafico Nº 5 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días del H-25	70
Tabla 5-8 Diferencias Calculadas en base a la resistencia del hormigón patrón	70
Tabla 5-9 resultados ensayo a la compresión del hormigo H-30 a los 7 días	71
Tabla 5-10 resultados ensayo a la compresión del hormigo H-30 a los 14 días	71
Tabla 5-11 resultados ensayo a la compresión del hormigo H-30 a los 28 días	71
Grafico Nº 6 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días del H-30	72
Tabla 5-12 Diferencias Calculadas en base a la resistencia del hormigón patrón	72
Tabla 5-13 resultados ensayo a la flexotracción del hormigo H-25 a los 7 días	73
Tabla 5-14 resultados ensayo a la flexotracción del hormigo H-25 a los 14 días	73
Tabla 5-15 resultados ensayo a la flexotracción del hormigo H-25 a los 28 días	73
Grafico Nº 7 Resistencia a la flexotracción a los 7, 14 y 28 días del H-25	74
Tabla 5-16 Diferencias Calculadas en base a la resistencia del hormigón patrón	74
Tabla 5 -17 resultados ensayo a la flexotracción del hormigo H-30 a los 7 días	74
Tabla 5-18 resultados ensayo a la flexotracción del hormigo H-30 a los 14 días	75
Tabla 5-19 resultados ensayo a la flexotracción del hormigo H-30 a los 28 días	75
Grafico Nº 8 Resistencia a la flexotracción. a los 7, 14 y 28 días del H-30	75
Tabla 5-20 Diferencias Calculadas en base a la resistencia del hormigón patrón	76

## INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios la industria de la construcción se ha visto en la obligación de explorar diversos materiales que concilien los mas variados aspectos tales como durabilidad, resistencia, costo, etc.; es así como en esta constante búsqueda los materiales aglomerantes, principalmente en la forma de hormigones o morteros, destacan para su uso como materiales de construcción, pues en ellos se combina de la mejor forma los referidos aspectos de bajo costo, su considerable durabilidad y su adecuada resistencia a la compresión para un uso estructural; en otro orden de ideas, en su estado inicial ellos son fácilmente moldeables a las formas más complejas que sean requeridas; sin embargo presentan algunos aspectos negativos como por ejemplo su baja resistencia a la tracción y a los impactos, y un deficiente desempeño en condiciones de cambios de humedad.

En pos de superar los problemas recién anotados se han hecho variados esfuerzos, entre los cuales destacan el reforzamiento del hormigón mediante fibras, con ello se busca incrementar la resistencia a la flexión, resistencia a la abrasión, tenacidad, fatiga, impacto y permeabilidad.

La utilización de las fibras para mejorar las características mecánicas de un material, no es una técnica nueva. Los adobes de barro, secados o cocidos al sol, armados con paja eran ya utilizados por antiguos egipcios. Los romanos usaban la crin de los caballos y pelos de cabra para hacer enlucidos y morteros. Más recientemente, en 1898, se introdujo el uso de las fibras de amianto que se han empleado de manera generalizada hasta nuestros días.

En el caso específico del refuerzo del hormigón con fibra de vidrio se han obtenido buenos resultados cuando se trata de morteros de áridos finos, utilizándose en distintas aplicaciones, tales como paneles antirruído y paneles de fachadas de edificaciones, dadas su fácil instalación y su poco peso. El material utilizado para la fabricación de dichos paneles es conocido como GRC (Glass Reinforced Concrete).

En otras aplicaciones esta técnica ha sido poco explorada pese a los buenos resultados obtenidos.

Pese a lo dicho, en nuestro país el conocimiento y utilización de la técnica de reforzamiento de hormigón mediante fibra de vidrio es casi inexistente, reflejo de lo cual es el hecho de que no existen fabricantes de la fibra **Cen Fil Anticrat HD** (único tipo de fibra de vidrio utilizable en hormigones) y tan solo existe un distribuidor.

Esperamos que este trabajo permita dar a conocer esta técnica y contribuya a expandir su utilización y para ello se analizará la influencia del porcentaje de fibra de vidrio en las propiedades mecánicas del hormigón.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Determinar como varían las propiedades mecánicas del hormigón al adicionarle distintos porcentajes de fibra de vidrio.

### Objetivos específicos

- a) Diseñar mezclas de prueba patrón y mezclas con distintos porcentajes de fibra de vidrio tipo AR, para hormigones grado H-25 y H -30.
- b) Confeccionar probetas cúbicas  $15 * 15 * 15 \text{ cm}^3$  y probetas prismáticas  $15 * 15 * 53 \text{ cm}^3$ .
- c) Ensayar probetas a los 7, 14, 28 días, tanto a la compresión como a la flexotracción.
- d) Determinar la variación de la docilidad de cada una de las mezclas.
- e) Determinar la densidad tanto del hormigón patrón como los hormigones con distintos porcentajes de fibras.

## CAPITULO I

### MATERIALES COMPUESTOS

#### 1.1 Generalidades.

Los materiales compuestos están formados por la combinación de dos o más materiales para obtener propiedades (físicas, químicas, etc.) tales que sean superiores a aquellas de sus constituyentes.

Uno de los materiales compuestos más antiguos, ampliamente utilizados son los ladrillos de adobe, compuesto de arcilla y paja. Las altas relaciones resistencia/peso o rigidez/peso de los materiales compuestos son bien conocidas en diversas disciplinas tales como; la construcción, industria química, industria naval etc.

Se considera material compuesto a una mezcla de dos o más constituyentes o fases distintas, prácticamente cualquier material utilizado por el hombre podría considerarse como un material compuesto, desde el momento que estuviera constituido por una asociación de diferentes "constituyentes". Así, cualquier pieza de metal, aunque sea puro es un compuesto (policristal) de muchos granos (monocristales). De la misma forma, un acero al carbono sería un material compuesto formado por un constituyente metálico (ferrita) y otro cerámico (carburo de hierro). Por este motivo, es necesario limitar el concepto de material compuesto atendiendo a diferentes aspectos relacionados con su estructura, fabricación y comportamiento, que los diferencia de otros materiales monolíticos o convencionales.

Basándose en estos conceptos, se han propuesto diferentes definiciones entre las que se pueden destacar la desarrollada por K.K. Chawla (Composite Materials: Science and Engineering. Springer-Verlag. New York. 1987) que

considera que un material compuesto es aquel que cumple las siguientes condiciones [1].

- Está fabricado de forma artificial (lo que excluye de la definición a materiales naturales como la madera).
- Está formado por dos o más fases o constituyentes física o/y químicamente diferentes, dispuestos de forma adecuada.
- Sus propiedades no pueden ser alcanzadas por ninguno de sus constituyentes de forma aislada.

La mayor parte de los materiales compuestos están formados por dos fases; una, llamada matriz, es continua y rodea a la otra fase, denominada fase dispersa [3]. Las propiedades de los compuestos son función de las propiedades de las fases constituyentes, de sus proporciones relativas y de la geometría de las fases dispersas.

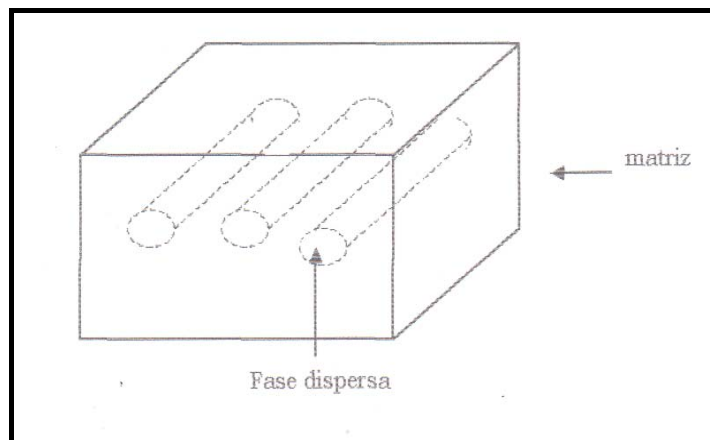


Figura N° 1- 1: fases de los materiales compuestos

Los materiales compuestos se clasifican en:

Materiales compuestos reforzados con partículas.

Partículas grandes.

Endurecidos por dispersión.

Materiales compuestos estructurales.

Laminares.

Paneles sándwich.

Materiales compuestos reforzados con fibras.

Fibras continuas (alineadas).

Fibras discontinuas (cortas).

## **1.2 Materiales Compuestos Reforzados con Partículas**

Los materiales compuestos reforzados con partículas se subdividen en reforzados con partículas grandes y consolidadas por dispersión. Esta distinción se fundamenta en el mecanismo de consolidación o de reforzamiento. El término " grande" se utiliza para indicar que las interacciones matriz-partícula no se pueden describir a nivel atómico o molecular, sino mediante la mecánica continua. En la mayoría de los materiales compuestos la fase dispersa es más dura y resistente que la matriz y las partículas de refuerzo tienden a restringir el movimiento de la matriz en las proximidades de cada partícula. En esencia, la matriz transfiere parte del esfuerzo aplicado a las partículas, las cuales soportan una parte de la carga. El grado de reforzamiento o de mejora del comportamiento mecánico depende de la fuerza de cohesión en la interfaz matriz-partícula.



Un material compuesto con partículas grandes es el hormigón, formado por cemento (matriz) y arena o grava (partículas).

El reforzamiento es tanto más efectivo cuanto más pequeñas sean las partículas y cuanto mejor distribuidas estén en la matriz. Además, la fracción de volumen de las dos fases influye en el comportamiento; las propiedades mecánicas aumentan al incrementarse el contenido de partículas. Se formulan dos expresiones matemáticas para relacionar el módulo elástico con la fracción de volumen de las fases constituyentes de un material compuesto de dos fases [2]. Las ecuaciones de la regla de las mezclas predice que el valor del módulo elástico estará comprendido entre el límite superior

$$E_c = E_m V_m + E_p V_p.$$

Y el límite inferior

$$E_c = \frac{E_m E_p}{E_p V_m + E_m V_p}.$$

En estas expresiones, E y V representan el módulo elástico y la fracción de volumen, respectivamente, mientras los subíndices c, m y p significan material compuesto, matriz y fase-partícula.

Las partículas de los materiales compuestos consolidados por dispersión normalmente son mucho más pequeñas: los diámetros tienen de 10 a 100nm. Las interacciones matriz-partícula que conducen a la consolidación ocurren a nivel atómico o molecular. Mientras la matriz soporta la mayor parte de la carga aplicada, las pequeñas partículas dispersas dificultan o impiden el desplazamiento de dislocaciones. De este modo se restringe la deformación plástica de tal manera que aumenta el límite elástico, la resistencia a la tracción y la dureza.

### 1.3 Materiales Compuestos Estructurales [6]

Un material compuesto estructural está formado tanto por materiales compuestos como por materiales homogéneos y sus propiedades no solo dependen de los materiales constituyentes sino de la geometría del diseño de los elementos estructurales.

Los materiales compuestos estructurales se dividen en:

#### a) Materiales Compuestos Laminares

Un material compuesto laminar consta de láminas o paneles que tienen una dirección preferente con elevada resistencia, tal como ocurre en la madera y en los plásticos reforzados con fibras continuas y alineadas. Las capas se apilan y luego se pegan entre sí, de modo que la orientación de la dirección de elevada resistencia varía en cada una de las sucesivas capas. Por ejemplo, en la madera contrachapada, las direcciones de elevada resistencia de las sucesivas capas forman ángulos rectos entre sí.

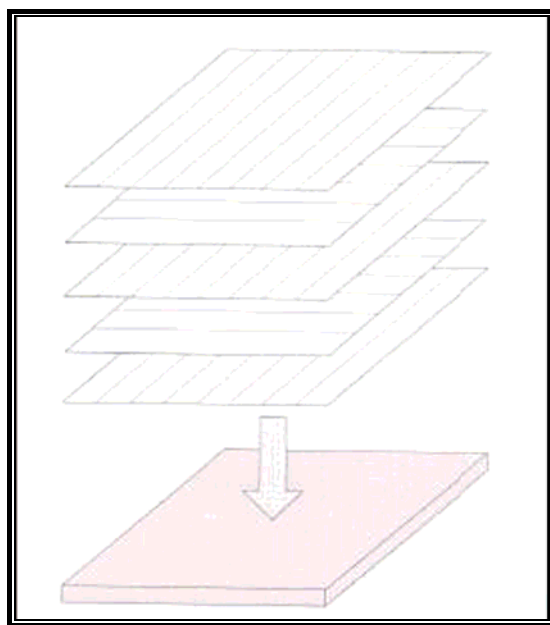


Figura Nº 1- 2: Apilamiento de capas reforzadas en sucesivas orientaciones para construir un material laminar [6].

## b) Paneles Sándwich

Se consideran un tipo de materiales compuestos estructurales y consisten en dos láminas externas fuertes, o caras, separadas por una capa de material menos denso, o núcleo, que tiene baja rigidez y baja resistencia. Las caras resisten la mayor parte de las cargas en el plano, y también cualquier esfuerzo de flexión transversal. Los materiales de las caras suelen ser aleaciones de aluminio, plásticos reforzados con fibras, titanio, acero y madera contrachapada.

Estructuralmente, el núcleo tiene dos funciones. Por un lado separa las caras y resiste la deformación perpendicular al plano de la cara. Por otro lado, aporta cierto grado de resistencia a la cizalladura a lo largo de planos perpendiculares a las caras. Como núcleo se utilizan varios tipos de materiales y estructuras como polímeros espumosos, cauchos sintéticos, cementos orgánicos y madera balsa. Otro material popular es una estructura “en panal”: delgadas láminas dispuestas en forma de celdillas hexagonales trabadas con sus ejes perpendiculares a los planos de las caras.

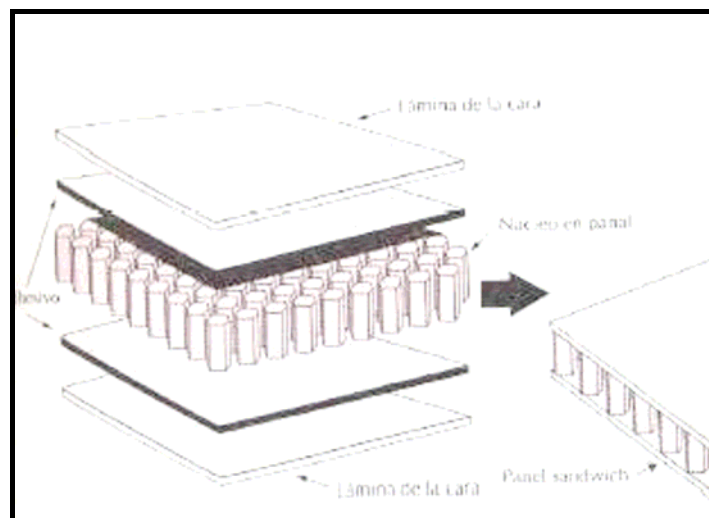


Figura N° 1- 3: Diagrama esquemático de la fabricación de un panel sándwich con un núcleo en panal [6].

## **1.4 Materiales Compuestos Reforzados con Fibras**

Tecnológicamente, los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son los más importantes. A menudo se diseñan materiales compuestos reforzados con fibras con la finalidad de conseguir elevada resistencia y rigidez a baja densidad. Estas características se expresan mediante los parámetros resistencia específica y módulo específico, que corresponden, respectivamente, a las relaciones entre la resistencia a la tracción y 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.

Los materiales compuestos reforzados con fibras se subclasifican por la longitud de la fibra. Una descripción detallada de este tipo de materiales se muestra a continuación en el apartado 1.4.1 de esta Memoria.

### **1.4.1 Conceptos Generales del Comportamiento Mecánico de Materiales Reforzados con Fibras**

#### **1.4.1.1 Influencia de la Longitud de la Fibra [3].**

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 como el que se

muestra en la Figura 1-4; en otras palabras, en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde la matriz.

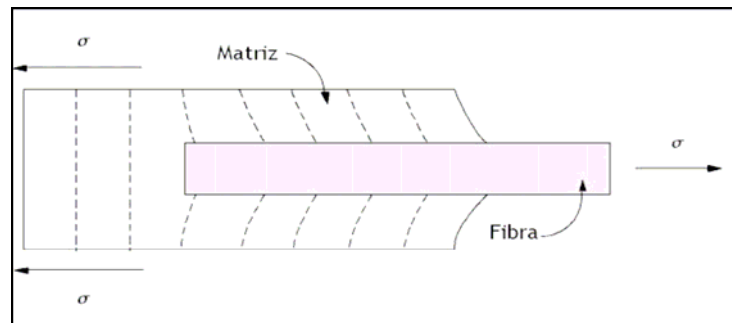


Figura 1-4. Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción [3].

Existe una longitud de fibra crítica para aumentar la resistencia y la rigidez del material compuesto. Esta longitud crítica  $l_c$  depende del diámetro  $d$  de la fibra, de la resistencia a la tracción  $\sigma_f$  y de la resistencia de la unión matriz-fibra (o resistencia al cizalle de la matriz),  $\tau_c$ , de acuerdo con

$$l_c = \frac{\sigma_f * d}{\tau_c}$$

La longitud crítica de algunas combinaciones de matriz-fibra de vidrio y de carbono es del orden de 1 mm, equivalente a unas 20 a 150 veces el diámetro de la fibra [2].

En la presente investigación, el diámetro de fibra que se utilizara corresponde a  $14 \mu\text{m}$  y su largo será de 12 mm [7], la resistencia a la tracción de la fibra de vidrio corresponde a 1,7 GPa y la resistencia al cizalle de la matriz corresponde a  $125 \text{ Kgf/cm}^2$  ( $1,25 \times 10^2 \text{ GPa}$ ) [7]. Utilizando la ecuación antes mencionada, se obtiene que la longitud crítica para esta investigación corresponde a  $l_c = 1,9 \text{ mm}$ .

Las fibras con  $l > l_c$  (normalmente  $l > 15 l_c$ ) se denominan continuas; y las fibras de menor longitud se denominan discontinuas o fibras cortas. En las fibras discontinuas

de longitud significativamente menor que  $l_c$ , la matriz se deforma alrededor de la fibra de modo que apenas existe transferencia del esfuerzo y el efecto del reforzamiento de la fibra es insignificante.

#### 1.4.1.2 Influencia de la Orientación y de la Concentración de la Fibra [3].

La disposición u orientación relativa de las fibras y su concentración y distribución influyen radicalmente en la resistencia y en otras propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras. Con respecto a la orientación existen dos situaciones extremas: alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras y alineación al azar. Las fibras continuas normalmente se alinean (Figura 1-5a), mientras que las fibras discontinuas se pueden alinear (Figura 1-5b) o bien se pueden orientar al azar (Figura 1-5c) o alinearse parcialmente.

En el caso de esta investigación, dado el largo de la fibra de vidrio  $l$ , equivalente a 12 mm, se tiene que  $l \approx 6 l_c$ , con  $l_c$  longitud crítica de la fibra. Es decir, se tiene una fibra discontinua o fibra corta. Además esta fibra estará orientada al azar [23].

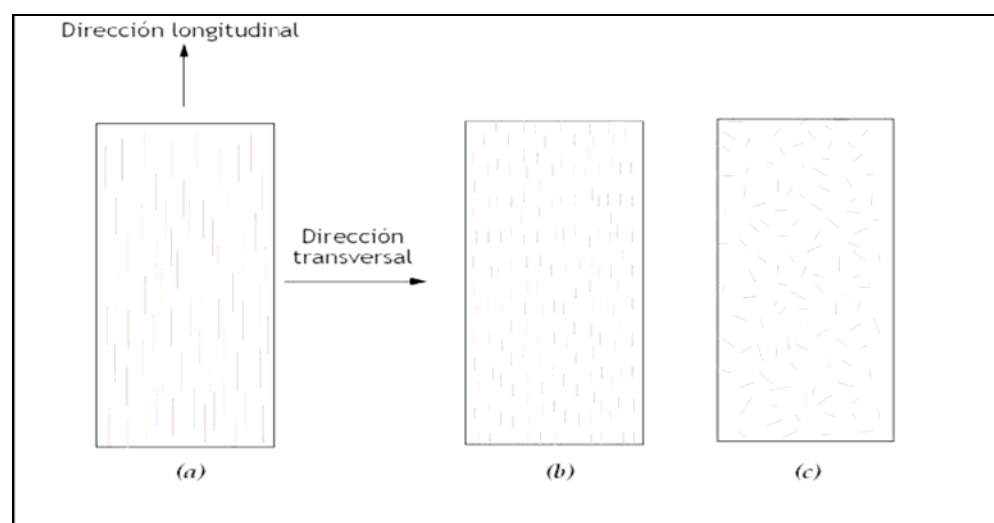


Figura 1-5. Compuestos reforzados con fibras (a) fibras continuas y alineadas, (b) fibras discontinuas y alineadas y (c) fibras discontinuas y orientadas al azar [3].

### 1.4.1.2 .1 Materiales Compuestos con Fibras Discontinuas y Orientadas al Azar

Normalmente, cuando los materiales compuestos tienen fibras orientadas al azar, éstas suelen ser discontinuas y cortas; un reforzamiento de este tipo está representado en la Figura 1-5c. En estas circunstancias, el módulo elástico se expresa mediante una regla de las mezclas:

$$E_c = (K \cdot E_f \cdot V_f) + (E_m \cdot V_m)$$

Donde:

K = Parámetro de eficiencia de la fibra (típicamente comprendido entre 0,1 y 0,6).

E = Módulo elástico (f se refiere a la fibra y m a la matriz).

V = Fracción de volumen.

El módulo elástico de los materiales reforzados, tanto si las fibras están alineadas como si están orientadas al azar, aumenta al incrementarse la fracción de volumen de la fibra. En la Tabla 1-1 se indican algunas propiedades mecánicas de los policarbonatos no reforzado y reforzado con fibras de vidrio discontinuas y orientadas al azar. Esta tabla da una idea de las magnitudes que se pueden obtener mediante reforzamiento.

Propiedades	No reforzado	Reforzados con fibras		
		20	30	40
Gravedad específica	1.19 - 1.22	1.35	1.43	1.52
Resistencia a la tracción	59 - 62	110	131	159
Módulo de elasticidad	2240 - 2345	5930	8620	11590

Tabla 1-1. Propiedades del policarbonato sin refuerzo y reforzado con fibra de vidrio orientada al azar [5].

En la Tabla 1-2 se indican las eficiencias del reforzamiento con fibras en varias situaciones; la eficiencia se toma arbitrariamente como la unidad en la dirección paralela a la alineación y cero en la dirección perpendicular.

Orientación de la fibra	Dirección del esfuerzo	Eficiencia del reforzamiento
Todas las fibras paralelas	Paralela a las fibras	1
	Perpendicular a las fibras	0
Fibras orientadas al azar y Uniformemente distribuidas	Cualquier dirección	3/8
En un plano específico	En el plano de las fibras	
Fibras orientadas al azar y Uniformemente distribuidas	Cualquier dirección	1/5
El espacio de tres		

Tabla 1-2. Eficiencia del reforzamiento de compuestos reforzados con fibra orientado en varias direcciones y esfuerzos aplicados en varias direcciones.

En las aplicaciones en las que las fibras están sometidas a esfuerzos totalmente multidireccionales normalmente se utilizan fibras discontinuas orientadas al azar en la matriz. La Tabla 1-2 muestra que la eficiencia del reforzamiento de estos compuestos es sólo la quinta parte de la eficacia correspondiente a los compuestos cuyas fibras están alineadas en la dirección longitudinal; sin embargo, las propiedades mecánicas son isotrópicas.

Las consideraciones sobre la orientación y la longitud de las fibras de un compuesto particular dependen del nivel y de la naturaleza del esfuerzo aplicado y del costo de fabricación. Las velocidades de producción de compuestos con fibras cortas (alineadas y orientadas al azar) son rápidas y se pueden conformar piezas de formas intrincadas que no son posibles con refuerzos de fibras continuas. Además, los costos de fabricación son mucho más bajos que en el caso de compuestos reforzados con fibras continuas y alineadas.



### 1.4.1.3 Fase Fibrosa

Una importante característica de muchos materiales, especialmente los frágiles, es que las fibras con diámetros pequeños son mucho más resistentes que el material macizo. Como es sabido, la probabilidad de la presencia de una imperfección superficial crítica que conduzca a la rotura disminuye cuando aumenta el volumen específico [2]. Este fenómeno se utiliza con ventaja en los compuestos reforzados con fibras. El material utilizado como fibra de refuerzo debe tener alta resistencia a la tracción.

En función de sus diámetros y características, las fibras se agrupan en tres categorías diferentes: whiskers, fibras y alambres. Los whiskers son monocristales muy delgados que tienen una relación longitud-diámetro muy grande. Como consecuencia de su pequeño diámetro, tienen alto grado de perfección cristalina y están prácticamente libres de defectos, y por ello tienen resistencias excepcionalmente elevadas. Los monocristales pueden ser de grafito, carburo de silicio, nitruro de silicio y óxido de aluminio. En la Tabla 1-3 se dan algunas características mecánicas de estos materiales.

Los alambres tienen diámetros relativamente grandes; los materiales típicos son el acero, el molibdeno y el tungsteno. Los alambres se utilizan como refuerzos radiales de acero en los neumáticos de automóvil, filamentos internos de los recubrimientos de cohetes espaciales y paredes de mangueras de alta presión.

<b>Material</b>	<b>Peso Especifico (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia a la tracción (Gpa)</b>	<b>Modulo elástico</b>
		<b>Whiskers</b>	
Grafito	2.2	20	690
Carburo de silicio	3.2	20	480
Nitruro de silicio	3.2	14	380
Oxido de aluminio	3.9	14 - 28	415 - 550
		<b>fibras</b>	
Aramida (kevlar 49)	1.4	3.5	124
Vidrio E	2.5	3.5	72
Carbono	1.8	1.5 – 5.5	150 – 500
Oxido de aluminio	3.2	2.1	170
Carburo de silicio	3.0	3.9	425
	<b>Alambres</b>	<b>Metálicos</b>	
Acero alto en	7.8	4.1	210
Molibdeno	10.2	1.4	360
Tungsteno	19.3	4.3	400

Tabla 1-3. Características mecánicas de las diferentes categorías [2].

#### 1.4.1.4 Fase Matriz

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 resistido 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.

## CAPITULO II

### LA FIBRA DE VIDRIO COMO REFUERZO DEL HORMIGÓN

#### 2.1 Fibra de Vidrio

La fibra de vidrio es un material compuesto consistente en fibras continuas o discontinuas de vidrio embebidas en una matriz plástica [2]; este compuesto se produce en gran cantidad. El vidrio se utiliza como material de refuerzo debido a las siguientes razones:

- a) Es fácilmente hilable en fibras de alta resistencia.
- b) Es fácilmente disponible y se puede aplicar económicamente para producir plástico reforzado con vidrio utilizando una gran variedad de técnicas de fabricación de materiales compuestos.
- c) Cuando está embebida en una matriz plástica produce un compuesto con muy alta resistencia específica.
- d) Cuando está unido a varios plásticos se obtienen materiales compuestos químicamente inertes muy útiles en una gran variedad de ambientes corrosivos.

##### 2.1.1 Tipos de Vidrio [21]

###### ❖ Vidrio E:

Un pionero Desde 1930, la fibra de vidrio ha sido considerada uno de los materiales del futuro debido a sus cualidades dieléctricas: el aislamiento de conductores eléctricos sometidos a temperaturas altas era ofrecido por los filamentos de vidrio E. Usado solo o en asociación con barniz o resinas sintéticas, fue su primera aplicación

industrial en gran escala. La fibra de vidrio E es el tipo más comúnmente usado, tanto en la industria textil, como en compuestos donde responde por el 90% de los refuerzos usados.

❖ **Vidrio R (alto desempeño mecánico):**

Este tipo de filamento fue creado a pedido de sectores como aviación, espacio y armamentos. Satisface las exigencias de ellos en términos de comportamiento de materiales en relación a fatiga, temperatura y humedad. Debido a su alto desempeño técnico puede ser utilizado para reforzar láminas de rotor de helicópteros, pisos de aviones, tanques de combustible de aviones, proyectiles y lanzadores de proyectiles. Desarrollado principalmente para estas aplicaciones, también encontró otras salidas, por ejemplo, en la industria de deportes y recreación, transporte y blindaje balístico.

❖ **Vidrio D (características dieléctricas muy buenas):**

Compuestos a partir de vidrio D tiene muy bajas pérdidas eléctricas y son entonces usados como un material que es permeable a ondas electromagnéticas, con beneficios muy importantes en términos de características eléctricas. La fibra de vidrio D es usada en la fabricación de ventanas electromagnéticas, y superficies de circuitos impresos de alto desempeño.

❖ **Vidrio C:**

El vidrio C es usado para la producción de mats de vidrio para las cuales son requeridas propiedades de resistencia a la corrosión (como capa externa anticorrosivo de tubos y para superficies de tubos compuestos).

Una comparación entre las propiedades mecánicas de los distintos tipos de vidrio puede ser apreciada en la Tabla 2- 1, que se muestra a continuación.

<b>Propiedades</b>	<b>Vidrio E</b>	<b>Vidrio D</b>	<b>Vidrio R</b>	<b>Vidrio AR</b>
Densidad	2.60	2.14	2.53	2.68
Resistencia a la tensión	3400	2500	4400	3000
Modulo elástico (Gpa)	72	55	86	72
Resistencia a la ruptura (%)	4.5	4.5	5.2	4.3

Tabla 2-1. Propiedades Mecánicas de los distintos tipos de Fibra de Vidrio [7]

#### ❖ **Vidrio AR (resistente a álcali):**

El vidrio AR fue desarrollado especialmente para reforzar cemento. Su alto contenido de óxido de zirconio ofrece resistencia excelente para los compuestos alcalinos durante el secado. El refuerzo de cemento con filamentos de vidrio AR da módulos mejorados de ruptura con buena durabilidad. Esto significa que el modelado hecho en cemento con refuerzo de vidrio puede ser mucho más leve. Aplicaciones principales son: sustitución de asbesto en tejados y coberturas, paneles de revestimiento y componentes de construcción.

## **2.2 La Fibra de Vidrio A. R.**

### **2.2.1 Historia**

Las fibras de vidrio AR (álcali-resistentes) presentan altas prestaciones para el refuerzo de morteros de cemento, hormigones y, en general, piezas que puedan verse sometidas al ataque de tipo alcalino.

La llegada de los aglomerantes hidráulicos marca el comienzo de una era de altas prestaciones en las piezas para la construcción [4], siendo los cementos el material más importante de esta categoría. Dichos cementos permiten el surgimiento de los hormigones.

El hormigón presenta muy buenas características ante la compresión, pero ofrece muy escasa resistencia a la tracción, por lo que resulta inadecuado para piezas que tengan que trabajar a flexión o tracción. Esta característica ha conducido a numerosas investigaciones y desarrollos para mejorar las resistencias ante estos sometimientos, intentando lograr dentro del mundo de los materiales compuestos la solución a esta carencia. El desarrollo más conocido es el refuerzo del hormigón con barras de acero en las zonas de tracción, dando un material compuesto llamado Hormigón Armado. Su inconveniente es conducir a mayores dimensiones y pesos, así como a una menor rapidez de construcción y puesta en obra, lo que, de forma directa, conduce a un encarecimiento de las piezas por la utilización de abundante mano de obra y manipulación de las mismas. Ante esta desventaja numerosos trabajos e investigaciones se pusieron en marcha y fruto de ellas fueron los intentos de aligeramiento y reducción de espesores mediante la adición de fibras de refuerzo.

Los primeros desarrollos se lograron con la utilización de fibras de asbesto. El material resultante, llamado "asbestocemento", presentaba grandes ventajas de costo y trabajabilidad.

En búsqueda de un refuerzo que permitiera la consecución de un material compuesto, con excelentes prestaciones, se han desarrollado numerosas experiencias con otras fibras de refuerzo, tales como, las de origen orgánico (aramidas, nylon, rayon, polipropileno), inorgánico (vidrio, boro, carbono) y metálicas (hierro, fundición dúctil, acero, Ni, Ti, Al). De entre todas ellas la mejor relación costo-propiedades mecánicas la ostentan las fibras de vidrio. Los primeros ensayos y experiencias para el refuerzo de los cementos y sus morteros se realizaron con fibras de vidrio tipo "E", dada la alta resistencia inherente de las mismas. Sin embargo, dichas tentativas fracasaron debido a que, este tipo de fibra de vidrio, al ser incorporada al mortero, estaba sujeto al ataque químico de los cristales alcalinos (álcalis) producidos en el proceso de hidratación del cemento, lo cual producía un deterioro de la fibra (ver figura 1-5), afectando las

propiedades mecánicas del mortero reforzado, sin poderse remediar este problema [23].

En 1967 el Dr. A.J. Majundar, del Building Research Establishment (BRE) del Reino Unido, empezó a investigar los vidrios que contenían circonio, logrando convertir en fibra alguno de ellos y demostrando la resistencia que presentaban estas fibras ante el ataque alcalino en un medio agresivo como el que suponía el refuerzo de los cementos Pórtland. Tras 4 años de continuas investigaciones, el refuerzo para los cementos se logró y la patente de esta investigación fue solicitada por el National Research Development Corporation (NRDC).

Para la producción a escala comercial, el NRDC y BRE contactaron con la empresa inglesa Pilkington Brothers (PCL), quien con su Compañía subsidiaria Fibreglass Limited desarrolló la explotación, industrial y comercial del producto al que llamaron Fibras Cem-FIL. En 1989 la actividad de la fibra de vidrio Álcali-Resistente Cem-FIL fue adquirida por el grupo Saint Gobain por medio de su Delegación en España, Cristalería Española S.A., y fabricada y comercializada por la empresa Vetrotex España S.A. que forma parte de este Grupo.

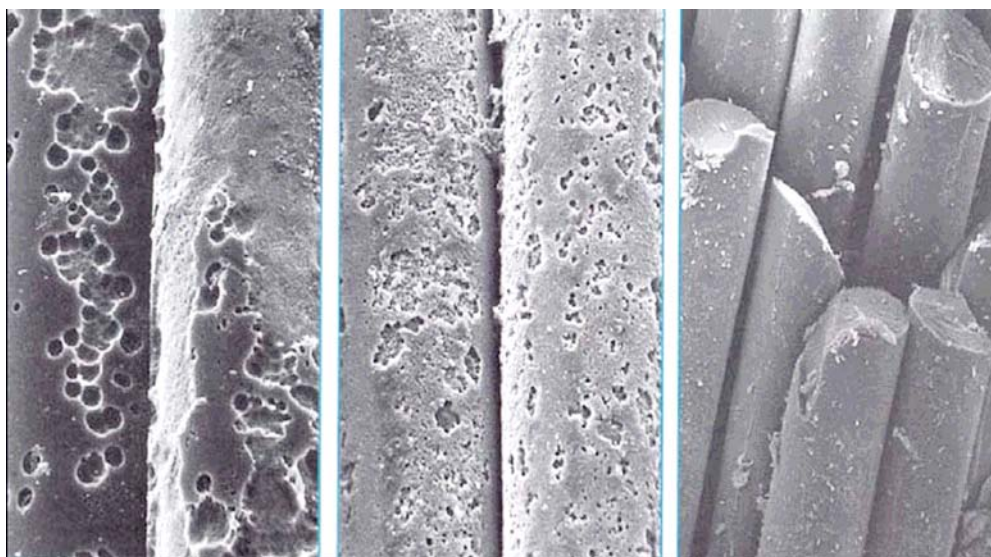


Figura 2 -1. Resistencia al ataque alcalino de distintos tipos de fibra de vidrio en cemento Pórtland. A la izquierda Vidrio E, luego de 8 días a 50°C (2.2 años naturales), al centro, Vidrio E + polímero acrílico tras 8 días a 50°C, y a la derecha, Cem-FIL luego de 3 meses a 50°C (25 años naturales) [4].



### 2.2.2. Fabricación

Para el hormigón con fibras se emplean las fibras de vidrio Álcali-Resistente, mediante las cuales el hormigón logra las características que se van a detallar en este estudio. Los principales componentes de este vidrio AR, se muestran en la Tabla 1-5.

Componente	Formula química	porcentaje
Silice	Si O <sub>2</sub>	71
Oxido de circonio	Zr O <sub>2</sub>	16
Oxido de sodio	Na <sub>2</sub> O	11
Alumina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1
Oxido de litio	Li <sub>2</sub> O	1

Tabla 2-2. Componentes del vidrio álcali - resistente [4].

En el vidrio Álcali-Resistente el componente “estrella” que otorga a la fibra su poder de Álcali-Resistencia es el Zirconio (Zr).

El proceso de fabricación de la fibra de vidrio AR-Cem-FIL sigue las siguientes etapas:

#### ❖ **Composición - Fusión:**

Las materias primas, finamente molidas, se dosifican con precisión y se mezclan de forma homogénea.

A continuación la mezcla, llamada vitrificable, es introducida en un horno de fusión directa y calentada a una temperatura determinada. Las temperaturas de fusión rondan los 1550° C y éstas dependerán de los elementos constituyentes del vidrio (fundentes, formadores de red, etc.).

### ❖ **Fibrado:**

El vidrio en estado fundido, al salir del horno, es conducido por unos canales (Feeders) alimentando las hileras de fabricación de fibras. Estas hileras son elementos fabricados con aleaciones de platino, de forma prismática y con la base trabajada con un número determinado de agujeros de dimensiones controladas.

El vidrio fundido se mantiene en la hilera a unos 1250 °C, temperatura que permite su colada por gravedad, dando origen a barras de vidrio de algunas décimas de milímetro de diámetro.

A la salida de la hilera, el vidrio se estira a gran velocidad, entre 10 y 60 m/s según el micraje de fibra a fabricar (diámetro a obtener).

Para la obtención del vidrio como tal y tras el estado fundido, tal y como se encuentra en las hileras, se procede a un rápido enfriamiento del vidrio fibrado. El enfriamiento se realiza en una primera fase por radiación y en una segunda por pulverización de agua fría. De esta forma se logra la no orientación de las partículas en el espacio y por tanto la formación de ese sólido amorfo que es el vidrio, en este caso Álcali-Resistente.

El vidrio obtenido tras este proceso tiene forma de filamento de varias micras de diámetro. Para el vidrio AR los diámetros normales de filamentos oscilan entre las 14 y las 20 $\mu$  (micras) según el producto y la aplicación a la que se dirija.

### ❖ **Ensimado:**

El conjunto de filamentos desnudos, tal y como salen de la hilera, son inutilizables directamente, ya que no hay cohesión entre ellos, no resisten la abrasión, carecen de flexibilidad y trabajabilidad.

Para corregir estos defectos y dar nuevas propiedades a la fibra en función de su aplicación, así como para poder transformarla y trabajarla en su fabricación y

presentación comercial, es necesario revestir los filamentos con una fina película (ensimaje) que está constituida en general por una dispersión acuosa de diversos compuestos químicos que presentan una función bien definida.

El ensimaje se deposita sobre los filamentos a la salida de la hilera cuando la temperatura del vidrio está todavía comprendida entre los 60 y 120 °C, según las condiciones de fibrado.

La cantidad de ensimaje que se deposita sobre el vidrio es relativamente baja (entre el 0.5 y el 5%).

Inmediatamente después del ensimaje se procede a la unión de los filamentos para formar los hilos o conjunto de filamentos dispuestos en formato comercial. La unión de los filamentos se realiza mediante unos "peines" con gargantas especiales en los cuales se produce la unión facilitada por el ensimaje.

Es este proceso el que otorgará al filamento y al hilo las características especiales que:

- Le hará apto ante una aplicación específica.
- Dará cohesión entre filamentos.
- Dará resistencia frente a la abrasión que el filamento pueda sufrir consigo mismo, con otros filamentos o con otras superficies.
- Elimina cargas electrostáticas en los filamentos o unión de los mismos.
- Facilita la trabajabilidad del filamento y su transformación.
- Rigidiza en mayor o menor medida la unión de los filamentos ó hilos.

En la actualidad existe una familia de ensimajes que unidos a la fibra de vidrio Alkali-Resistente Cem-FIL, le confieren características específicas para la aplicación

determinada a la que vaya destinada. De esta forma existen ensimajes especiales para:

- Resistir la abrasión que supone el amasado de la fibra en un medio extremadamente agresivo como es el de la mezcla con arena, cemento, agua y aditivos químicos.
- Facilitar su corte y proyección en una pistola especialmente diseñada para estos procesos de transformación de la fibra.
- Facilitar la dispersión de los filamentos, esto es, facilitar la desunión entre filamentos. Este ensimaje fue expresamente desarrollado para la sustitución del amianto.

#### ❖ **Bobinado:**

Los hilos obtenidos de la unión de los filamentos son bobinados para dar lugar a productos finales (roving directo) o productos intermedios (ovillos), que se bobinan según diferentes formas y geometrías.

Será en el proceso de bobinado donde se controlará la velocidad de rotación de la bobinadora y por tanto la velocidad de estirado de la fibra de vidrio.

#### ❖ **Secado:**

Los productos procedentes del bobinado se pasan por diferentes dispositivos de secado con objeto de eliminar el exceso de agua en el que había disuelto el ensimaje y otorgar al ensimaje un tratamiento térmico necesario para consolidar sus propiedades frente a las aplicaciones a las que será sometido.

### ❖ **Transformación final:**

En la transformación final se realizarán las operaciones necesarias para conferir al hilo el formato adecuado para la correcta utilización por parte de los Fabricantes de hormigón o morteros. Destacan entre las presentaciones comerciales actuales del vidrio Alkali-Resistente Cem -FIL el roving ensamblado y los hilos cortados, que serán los que se utilizarán en esta investigación:

#### **Roving Ensamblado:**

El roving ensamblado se obtiene de la unión de un número determinado de hilos, procedentes de ovillos, formando una "mecha". Esta mecha es bobinada en forma de Roving o gran carrete de dimensiones, peso y densidad controladas.

La medida física de un hilo, y por extensión de una mecha, viene reflejada por el llamado "Título" con unidades denominadas TEX. Así  $TEX = gr/km$  que presenta un hilo o una mecha.

El título de una mecha dependerá pues del número de hilos que la compongan y a su vez el título de un hilo dependerá del número y del diámetro de los filamentos que lo componen. Para los Roving Ensamblados Cem-FIL la unidad TEX habitual de la mecha es de 2450 TEX, estando formada, en algunos productos, y a modo de ejemplo, por 32 hilos de 76,5 TEX/hilo o por 64 hilos de 38 TEX/hilo. Pueden realizarse otras configuraciones que dependerán de las prestaciones exigidas a las fibras en el material compuesto.

Los diferentes rovings tendrán todos en común el mismo vidrio Alkali-Resistente Cem-FIL y como elemento diferenciador, entre uno y otro, el ensimaje.

Los rovings van destinados a aplicaciones de proyección simultánea (ya sea manual o automatizada) y a procesos de refuerzo con hilos continuos y/o cortados.

**Hilos Cortados:**

Los hilos procedentes de los ovillos son, en este caso, cortados en longitudes determinadas, según lo exija la aplicación a la que vayan destinados. La medida física del hilo es el TEX.

Los hilos cortados van destinados a los procesos de amasado y aplicación por medio del colado-vibrado tradicional o por el de proyección de la mezcla realizada.

Dentro de la gama de los hilos cortados tenemos dos grandes e importantes familias:

**a) Los Hilos Cortados Íntegros:**

Hilos que son capaces de aguantar grandes abrasiones durante el amasado con aglomerantes hidráulicos, arenas, gravas, agua y aditivos químicos, manteniéndose en forma íntegra (con todos los filamentos unidos) durante y tras el amasado realizado.

**b) Los Hilos Cortados Dispersables en Agua:**

Hilos que son capaces de dispersarse o, lo que es lo mismo, dividirse en los filamentos individuales que lo forman, durante el proceso de amasado o en contacto con agua o disolución acuosa.

Un esquema del proceso de fabricación de la fibra de vidrio junto a sus productos finales puede ser apreciado en la figura 1-6.

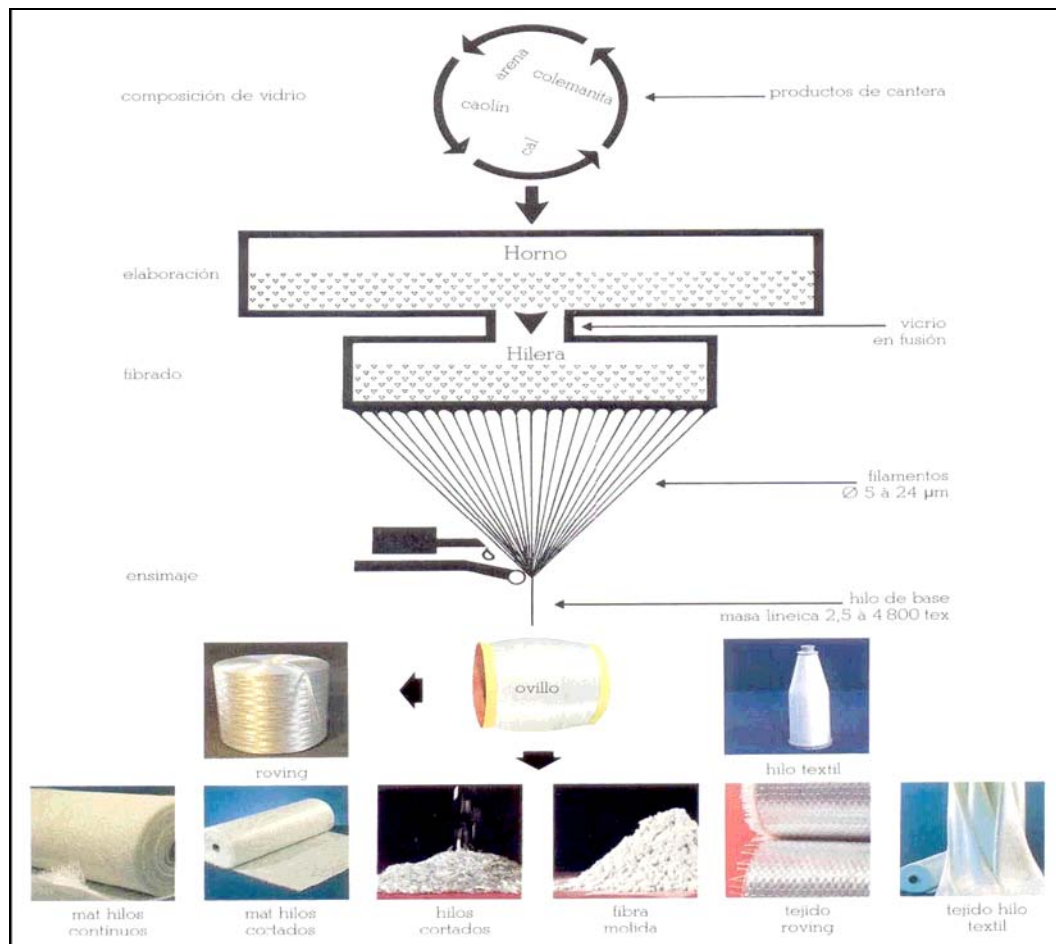


Figura2-2. Proceso de Fabricación de la Fibra de Vidrio, y sus productos Finales [21].

### 2.3 El Hormigón Reforzado con Fibras de Vidrio Resistentes a los Álcalis

Mientras que las aplicaciones de las fibras AR en el GRC convencional se desarrollan con paso firme y seguro en el mundo del cerramiento (paneles de fachada, paneles ondulados y planos de cubierta, cornisas etc.), ingeniería civil paneles antirruído de altas prestaciones, canalización de aguas y líquidos etc.), mobiliario urbano y agrícola, elementos arquitectónicos, renovación de edificios etc. Presentando productos mucho más ligeros, de grandes prestaciones, resistentes y con elevados coeficientes de seguridad; es en el refuerzo del hormigón donde las fibras de vidrio álcali resistente (AR) presentan un extenso campo de posibilidades, algunas de las cuales están todavía sin estudiar o en proceso de estudio por parte de las

universidades y laboratorios en todo el mundo, dada la necesidad actual de materiales alternativos a los tradicionales y ante la gran familia de productos de fibra de vidrio.

### **2.3.1 Las fibras de vidrio AR en el hormigón**

El empleo de las fibras de vidrio resistente a los álcalis en morteros de cemento ha aumentado firmemente y progresivamente desde hace ya más de 30 años pero, por el contrario se ha prestado relativamente poca atención a su uso en mezclas de hormigones convencionales y a los grandes beneficios que pueden aportar a estas.

Las fibras de vidrio presentan un módulo elástico muy superior al de la mayoría de las fibras orgánicas, como las de polipropileno, pero menor que las de acero. Aunque, en general, todas estas fibras han sido estudiadas con profundidad, las publicaciones relativas a la fibra de vidrio han sido muy escasas lo que ha conllevado a un menor conocimiento de su empleo, e incluso de su existencia, entre los proyectistas, especificadores y fabricantes tanto de hormigón preparado como de hormigón para piezas prefabricadas en general.

Dada la extensa gama de productos de fibra de vidrio utilizados en el refuerzo del hormigón y ante el objetivo de informar en este artículo de las propiedades de algunas de ellos, en este estudio se ha elegido un tipo de fibra específico para este refuerzo:

- Fibras de Vidrio dispersables en agua Anti-Crack HD
  - Fibras de vidrio en forma de hilos cortados dispersables en agua.
  - Filamentos de 14 micras de diámetro
  - longitud 12mm.



Este tipo de fibra se presenta comercialmente en forma de hilo cortado. Estos hilos están compuestos por un número determinado de filamentos unidos entre sí por un ligante, que conforma un haz llamado comercialmente hilo cortado. Tanto el número de filamentos de los que se compone cada hilo, así como el diámetro de los mismos y el ligante utilizado van a otorgar diferentes propiedades al producto y, por tanto, al hormigón que sean incorporadas. Además de estas características propias o intrínsecas de las fibras de vidrio, otros parámetros como son la dosificación y la longitud de los hilos cortados van a intervenir de forma notable en el refuerzo del hormigón y en las prestaciones del mismo.

### **2.3.2 Ventajas de la adición de las fibras en porcentajes bajos**

La adición de porcentajes relativamente bajos de fibras de vidrio Anti-Crack (AC) al hormigón es más que suficiente para mejorar sustancialmente las propiedades de este. Entre dichas ventajas pueden destacarse las siguientes:

- Las fibras de vidrio AC suponen el refuerzo real del hormigón cuando éste tiene muy poca o ninguna resistencia (primeros días de vida del hormigón).
- Las fibras de vidrio AC distribuyen a toda la masa del hormigón las sollicitaciones locales que pudieran producirse.
- La presencia física de las fibras de vidrio AC inhibe el movimiento de la humedad en el hormigón, obteniendo un hormigón más homogéneo y, en consecuencia, con una mayor resistencia media global.
- Las fibras de vidrio AC mejoran la resistencia a los daños, particularmente durante la manipulación de componentes "jóvenes".
- Mejora de la resistencia a la tracción/flexión, consiguiendo eliminar los refuerzos de acero en algunos elementos no estructurales.

- Las fibras de vidrio AC disminuyen el agrietamiento del hormigón por retracciones plásticas.

Los resultados de los ensayos realizados muestran que las fibras de vidrio dispersables en agua HD, consiguen suprimir las grietas y fisuras por retracción plásticas. Es lógico que las fibras de vidrio que tienen un módulo elástico aproximadamente 10 veces superior al polipropileno, sean más efectivas durante un mayor periodo de tiempo.

Las grietas por retracción plástica se presentan generalmente en superficies horizontales de soleras, debido a la evaporación excesivamente rápida del agua de la superficie del hormigón. También pueden crearse grietas bajo la superficie del agua exudada antes de que se consiga el secado. Las grietas pueden formarse durante las primeras horas después del hormigonado, cuando la resistencia a la tracción del hormigón es superada por las fuerzas de la retracción. Dado que la resistencia a tracción del hormigón es casi nula inmediatamente después de su colocación, la adición de cantidades incluso muy pequeñas de fibras de vidrio AC hace que el hormigón pueda resistir las fuerzas del agrietamiento, consiguiendo al mismo tiempo una ligazón adecuada. Los ensayos realizados empleando el método de Kraai para determinar el agrietamiento por retracción plástica, en el que unas soleras de hormigón recién son secadas con aire forzado, muestran que las fibras de vidrio, en la versión de hilo dispersables en agua (anti-crak HD) son efectivas para eliminar la formación de grietas, habiéndose observado un mejor Comportamiento de fibras de 12 mm frente a las de 6 mm. Esto indica que la fibra actúa introduciendo un cierto refuerzo en el hormigón, al mismo tiempo que reduce los valores de la retracción plástica al disminuir los posibles efectos de exudación.

Evidentemente, la incorporación de cantidades muy pequeñas de fibras al hormigón no produce un refuerzo eficaz de éste en estado endurecido, aunque

algunos ensayos han puesto de manifiesto una cierta mejora en las resistencias tanto a la flexión como a la comprensión a los 28 días. Este efecto puede ser atribuido, fundamentalmente, a una mejora en la homogeneidad del hormigón y al efecto beneficioso de las fibras a primeras edades que le permiten al hormigón adaptarse a las tensiones de retracción producidas durante el secado sin que resulten mermadas sus propiedades a largo plazo.

Los ensayos realizados con el uso de la fibra anti-craqueo HD de 14 micras dispersables en agua demuestran claramente que la fibra es efectiva incluso con reducidos porcentajes de adición del orden de 0.03% al 2% del peso del hormigón. La superficie de las grietas, medida por el ensayo de Kraai, se reduce de forma muy notable.

### **Aumento de la resistencia al impacto**

Aunque la dureza a la fractura se está haciendo cada vez más frecuente como medida de la resistencia al impacto, los procedimientos de ensayo empleados varían y hacen difícil la realización de verdaderas comparaciones, excepto para resultados pertenecientes a la misma serie de ensayos. Todos los ensayos de impacto son comparativos y no está del todo claro cómo pueden utilizarse los valores obtenidos en las pruebas dentro del diseño de un producto. El estudio realizado con fibras de vidrio AC en hormigón se ha realizado con procedimientos simples de caída de bola. En éstos se observa que la adición de fibra aumenta la resistencia al impacto de un hormigón curado de 28 días.

Otros ensayos comparativos que utilizan polipropileno demuestran que las fibras de vidrio son mucho más eficaces para proporcionar resistencia al impacto.

## CAPÍTULO III

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN Y PROGRAMA DE ENSAYOS

#### 3.1 Generalidades

En los últimos tiempos, uno de los materiales más utilizados en el mundo de la construcción es el hormigón, dado su bajo costo, su durabilidad y su adecuada resistencia a la compresión para uso estructural. Adicionalmente, en el estado fresco ellos son fácilmente moldeables a las formas más complejas que sean requeridas. Su defecto radica en sus características de baja resistencia a la tracción, a los impactos, y a su susceptibilidad a los cambios de humedad. Un reforzamiento mediante fibras puede ofrecer un conveniente, práctico y económico método para superar estas deficiencias.

En esta memoria se estudia el comportamiento mecánico de los hormigones reforzados con fibra de vidrio, caracterizando su resistencia a la compresión y a la flexotracción como función del porcentaje de fibra de vidrio álcali-resistente adicionado. Además se estudian los cambios en la trabajabilidad en el hormigón dada la incorporación de la fibra de vidrio.

Utilizando un árido de tamaño máximo de 40mm se establece un plan de ensayos a realizar en el laboratorio (LEMCO).

#### 3.2 Variable a Estudiar en el Desarrollo Experimental

En esta memoria se estudiara el comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibras de vidrio tipo AR, para esto se fabricaran probetas con distintos porcentajes de fibra de vidrio y se analizara la incidencia de ellas en la docilidad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexotracción.

### 3.3 Programa de Ensayos

Para cuantificar el efecto de la incorporación de fibras de vidrio AR al hormigón, se efectuarán ensayos comparativos entre un “hormigón patrón” (sin fibras) y hormigones con distinto porcentaje de fibra adicionado. La fibra usada será Cem-FIL Anti-Crack Hd fabricada con vidrio tipo AR, especialmente diseñada para hormigones, estas fibras tiene un largo estándar de 12mm.

Se confeccionarán dos grados de hormigón H-25 y H - 30 con el objetivo de analizar la influencia de la fibra de vidrio en la mezcla. Se ha considerado este tipo de hormigón ya que se piensa que aplicaciones del hormigón reforzado con fibra de vidrio pueden ser utilizadas en losas, radieres o algún otro tipo de construcción que no requiera de grandes resistencias.

Los porcentajes adicionados de fibra de vidrio estarán comprendidos entre el 0.03 % y el 1.5% en peso del hormigón los cuales son porcentajes Recomendada por el fabricante para dosificaciones sin aditivos.

<b>Identificación</b>	<b>% de fibra de vidrio adicionada</b>
HP -25	0.0
H25-01	0.03
H25-02	0.5
H25-03	1
H25-04	1.5
HP-30	0.0
H30-01	0.03
H30-02	0.5
H30-03	1
H30-04	1.5

Tabla 3-1 tipos de hormigones a ensayar.

Los ensayos a realizar son los de trabajabilidad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexotracción. Las resistencias a la compresión y flexotracción se determinarán a las edades de 7, 14 y 28 días de edad.

### **3.4 Descripción de los Ensayos**

#### **3.4.1 Docilidad [16].**

Durante la etapa en que el hormigón se mantiene en estado fresco es de gran importancia poder otorgarle una docilidad adecuada, para el uso que se desea darle. Debido a que las fibras reducen la trabajabilidad del hormigón fresco, se hace necesario determinar en qué proporción lo hacen.

Para cuantificar la Docilidad del hormigón se medirá el asentamiento de cono. Este ensayo fue ideado por el investigador norteamericano Abrams. Su ejecución está regulada por la NCh 1019 y consiste básicamente en rellenar un molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas, en tres capas apisonadas con 25 golpes de varilla-pisón y, luego de retirar el molde, medir el asentamiento que experimenta la masa de hormigón colocada en su interior.

#### **3.4.2 Compresión**

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del hormigón, siendo también el factor que se emplea frecuentemente para definir su calidad.

El procedimiento de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión del hormigón está establecido en la norma chilena NCh 1037 [17].

El valor de la resistencia obtenido en el ensayo no es absoluto, puesto que depende de las condiciones en que ha sido realizado. Entre estas condiciones, las de mayor influencia son analizadas a continuación:

a) Forma y dimensiones de la probeta:

- Probetas Cúbica: preferentemente de 15 y 20 cm de arista.
- Probetas Cilíndrica: 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, descrito en la norma chilena NCh 1037, se resume a continuación:

### **Procedimiento**

Por cada colada realizada en la betonera del laboratorio, se llenaron 4 cubos de 15 \* 15cm, siguiendo el orden y la dosificación de fibras de vidrio expuesta anteriormente. Las probetas fueron ensayadas a las edades de 7, 14, y 28 días.



Molde Cúbico 15\*15\*15 cm<sup>3</sup>.

FOTO N° 1.

Las probetas se retiran de la piscina de curado inmediatamente antes del ensayo y se protegen con arpilleras mojadas hasta el momento en que se colocan en la máquina de ensayo.

Se debe tener cuidado, especialmente con las probetas ensayadas a los 7 días, con las aristas de estas al momento de sacarlas de la piscina de curado, ya que aún su resistencia no es la de diseño y por lo tanto podemos afectar el área de aplicación de la carga.



## 1- Medición de la probeta

La medición de las probetas se llevara a cabo siguiendo el protocolo que a continuación se detalla.

- Se coloca el cubo con la cara de llenado en un plano vertical frente al realizador del ensayo.
- Se miden los anchos de las cuatro caras laterales del cubo ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  y  $b_2$ ) aproximadamente en el eje horizontal de cada cara.
- Se mide las alturas de las cuatro caras laterales ( $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  y  $h_4$ ) aproximadamente en el eje vertical de cada cara.
- Estas medias se expresan con aproximación a mm.



Medida De Las Caras

FOTO N° 2

- Se determina la masa de la probeta aproximando a 50 grs. en balanza Electrónica.

## 2- Ensayo

Previo al ensayo, se debe observar que las placas de carga y caras de ensayo se encuentren absolutamente limpias, y que la probeta se encuentre correctamente centrada entre las placas de carga.

### a) Posición de las probetas

Se coloca la probeta cúbica con su cara de llenado en un plano perpendicular a la placa inferior de la prensa.



Probeta en Máquina de compresión.

FOTO N° 3:

### b) Aplicación de la carga

La carga se deberá aplicar en forma continua y sin choques, de tal manera que la rotura de la probeta se alcance en tiempo igual o superior a 100 segundos, sin sobrepasar una velocidad de 0.35 Mpa/s (3.5 Kgf/cm<sup>2</sup>/s).

Luego se registra la carga máxima P, expresada en Mpas.



Indicadores de cargas.

FOTO N° 4:

### 3- Expresión de resultados

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

$$R_c = \frac{P}{S} * k$$

Donde:

S = Superficie de carga

P = Carga Máxima

K= factor de transformación de Rc<sub>15</sub> a Rc<sub>20</sub>.

#### 3.4.3 Flexotracción

Se ha considerado de interés el caracterizar los hormigones del presente estudio en cuanto a su resistencia a la flexotracción, ello principalmente, debido a que una posible aplicación de estos hormigones sería la de pavimentos industriales, y en ese caso un aumento de la resistencia a flexotracción por efecto de las fibras sería muy beneficioso.

El ensayo se basa en la norma chilena NCh 1038 [18] 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.

### Procedimiento

Las probetas se retiran de la piscina de curado según NCh1017 o NCh1171 inmediatamente antes de ensayar, protegiéndolas con arpilleras húmedas hasta el momento en que se coloquen en la máquina de ensayo, para evitar el secamiento especialmente en la cara apoyada, la cual recibirá la máxima tracción.

La luz de ensayo cumplirá con las siguientes condiciones, según la forma de aplicación de la carga:

Cargas  $P/2$  aplicadas en los límites del tercio central

$$L > 3 h$$

En que:

$L$  = luz de ensayo;

$h$  = altura de la probeta.

La distancia  $x$  entre cada línea de apoyo y el extremo más cercano de la probeta será igual o mayor a 2,5cm.

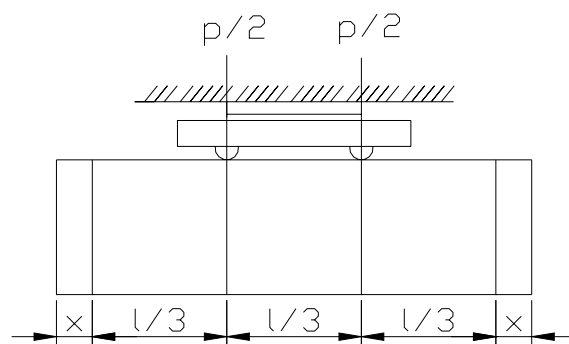


Figura 3-1: Ensayo de tracción por flexotracción con carga  $p/2$ .

### 1- Medición de la probeta

- Trazar rectas finas sobre las cuatro caras mayores que marquen las secciones de apoyo y de carga en forma indeleble y que no alteren el tamaño, forma o características estructurales de las probetas.
- Al realizar el trazado se recomienda verificar la rectitud de los contactos con la regla rectificadora. No debe pasar luz entre la cara de la probeta y la regla.
- Verificar y registrar la luz de ensayo, expresándola en milímetros con aproximación a 1mm, medida en la cara inferior de la probeta en su posición de ensayo.



Trazado de la probeta.

FOTO Nº 5.

- Limpiar la superficie de las piezas de apoyo y de carga y las zonas de contacto de la probeta.
- Se determina la masa de la probeta aproximando a 50 grs. en balanza Electrónica.

## 2- Ensayo

- Colocar la probeta en la prensa de ensayo, dejando la cara de llenado en un plano vertical, y haciendo coincidir las líneas de trazado con las piezas de apoyo y de carga correspondientes.
- El contacto entre la probeta y cada pieza de apoyo o de carga deberá ser total, con las tolerancias y condiciones siguientes:
- Se aceptará una separación igual o menor a 0,05 mm.



Ensayo a la flexotracción.

FOTO N° 6

### 3- Expresión de resultados

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:

$$R = \frac{(P * L)}{(b * h^2)}$$

Donde:

R = Tensión de rotura, (Kgf/Cm<sup>2</sup>)

P = Carga máxima aplicada, (kgf);

L = Luz de ensayo de la probeta, (cm)

b = Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura, (cm);

h = Altura promedio de la probeta en la sección de rotura, (cm).



Fractura de la probeta en el tercio central de la luz de ensayo

FOTO N° 7:

## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO DE LA ETAPA EXPERIMENTAL.

#### 4.1 Materiales

##### 4.1.1 Áridos

Los áridos empleados tienen un tamaño máximo 40mm, y corresponden a una arena, grava y gravilla cuya procedencia es la planta de áridos Valdicor Ita. Las propiedades de los áridos se muestran en la Tabla 4-1.

Para determinar las propiedades de los áridos, tales como densidad aparente compactada, densidad neta y absorción, tanto de la arena como de la gravilla, se siguieron los procedimientos establecidos por las normas chilenas NCh 1116, NCh 1117 y NCh 1239.

<b>Propiedades</b>	<b>Unidad</b>	<b>Arena</b>	<b>Gravilla</b>	<b>Grava</b>
Densidad Aparente	Kg./ dm <sup>3</sup>	1.59	1.60	1.52
Densidad Real	Kg./ dm <sup>3</sup>	2.59	2.64	2.69
Absorción	Kg./ dm <sup>3</sup>	1.79	1.48	0.71

Tabla 4-1. Propiedades de los Áridos.

Para determinar la granulometría de los áridos se procedió a tamizar los áridos, de acuerdo con la norma chilena NCh 165 [11].



<b>Tamiz</b>	<b>M. Ret.</b>	<b>% Ret.</b>	<b>% que pasa</b>
3/8"	0	0	100
nº 4	245	20	80
nº 8	156	13	67
nº 16	124	10	56
nº 30	440	37	20
Nº 50	156	13	7
Nº 100	36	3	4
Nº 200	34	3	1
Residuo	8	1	0
Total	1199		

Tabla 4-2. Granulometría de la Arena.

<b>Tamiz</b>	<b>M. Ret.</b>	<b>% Ret.</b>	<b>% que pasa</b>
3/4"	320	9	91
1/2"	1866	53	38
3/8"	994	28	9
Nº 4	318	9	0
Residuo	7	0	0
Total	3505		

Tabla 4-3. Granulometría de la Gravilla.

<b>Tamiz</b>	<b>M. Ret.</b>	<b>% Ret.</b>	<b>% que pasa</b>
1 1/2"	0	0	100
1"	3303	77	23
3/4"	950	22	1
1/2"	50	1	0
3/8"	0	0	0
Nº 4	0	0	0
Total	4305		

Tabla 4-4. Granulometría de la Grava.

## **Determinación de Impurezas en las Arenas para Hormigones**

Ensayo realizado a la arena según la norma NCh 166 [12]. Obteniéndose como resultado Nivel 2.

### **4.1.2 Cemento**

Para la fabricación de las mezclas se utilizó **Cemento Polpaico Especial**, que es un conglomerante hidráulico que se fabrica bajo norma NCh 148, mediante la molienda conjunta de clínquer, yeso y puzolana volcánica. Clasifica como un cemento "Puzolánico Grado Corriente".

### **4.1.3 Fibras de Vidrio Alkali-Resistentes [7].**

La fibra de vidrio utilizada, es un monofilamento resultante de la dispersión de haces de fibra al entrar en contacto con la humedad del hormigón. Su nombre comercial es Cem-FIL Anti-Crack HD (High Dispersión), y es fabricado por el grupo SAINT GOBAIN-VETROTEX. El diámetro del filamento corresponde a 14 micras y su longitud a 12 mm, por lo cual su relación de aspecto (cociente entre el largo de la fibra y su diámetro) equivale a 857. La Tabla 4-5 muestra un resumen con las características físicas y mecánicas más importantes de este tipo de fibra.

<b>Propiedades</b>	<b>Valor</b>
Resistencia a la Tracción del	1,7 Gpa
Modulo Elástico de Young	72 Gpa
Gravedad Específica	2.68 g/ cm <sup>3</sup>
Alargamiento a la rotura	2,4 %
Diámetro del filamento	14 µm
Longitud	12 mm
Relación longitud-diámetro	857:1
Número de fibras por kilo	212 millones

Tabla 4-5. Principales Propiedades Mecánicas y Físicas de la Fibra de Vidrio Cem-FIL Anti-Crack HD.



Fibra de vidrio.

FOTO N° 8:

#### 4.1.4 Agua

Para la confección de los hormigones se utiliza agua potable tomada directamente desde la red de suministro de la ciudad de Valdivia.

## 4.2 Dosificación y Confección del Hormigón

### 4.2.1 Dosificación de los Hormigones.

Para efectuar nuestras comparaciones confeccionaremos hormigones patrones con dos grados diferentes, los cuales serán ensayados a compresión y flexotracción.

Debemos dejar claro que los áridos serán los mismos utilizados en todas las mezclas y que las dosificaciones utilizadas en la confección de los hormigones patrones no serán alteradas, cuando se utilicen los distintos porcentajes de fibras de vidrio.

El grado de los hormigones será: H-25, H-30.

#### ❖ **Porcentaje de los áridos necesarios para la mezcla.**

Cumpliendo los requisitos de la norma Nch 163 se obtienen los porcentajes de arena y gravilla que serán utilizados para la confección en las diferentes mezclas.

Para determinar los porcentajes de cada uno de los áridos que agregaremos a la mezcla usaremos el triangulo de Feret.

	x	y
G	40	20
M	36	32
F	24	48

Tabla 4-6 datos según la banda de Especificación.

	G	M	F
GRAVA	99	1	0
GRAVILLA	9	91	0
ARENA	0	20	80

Tabla 4-7 datos según los Áridos.

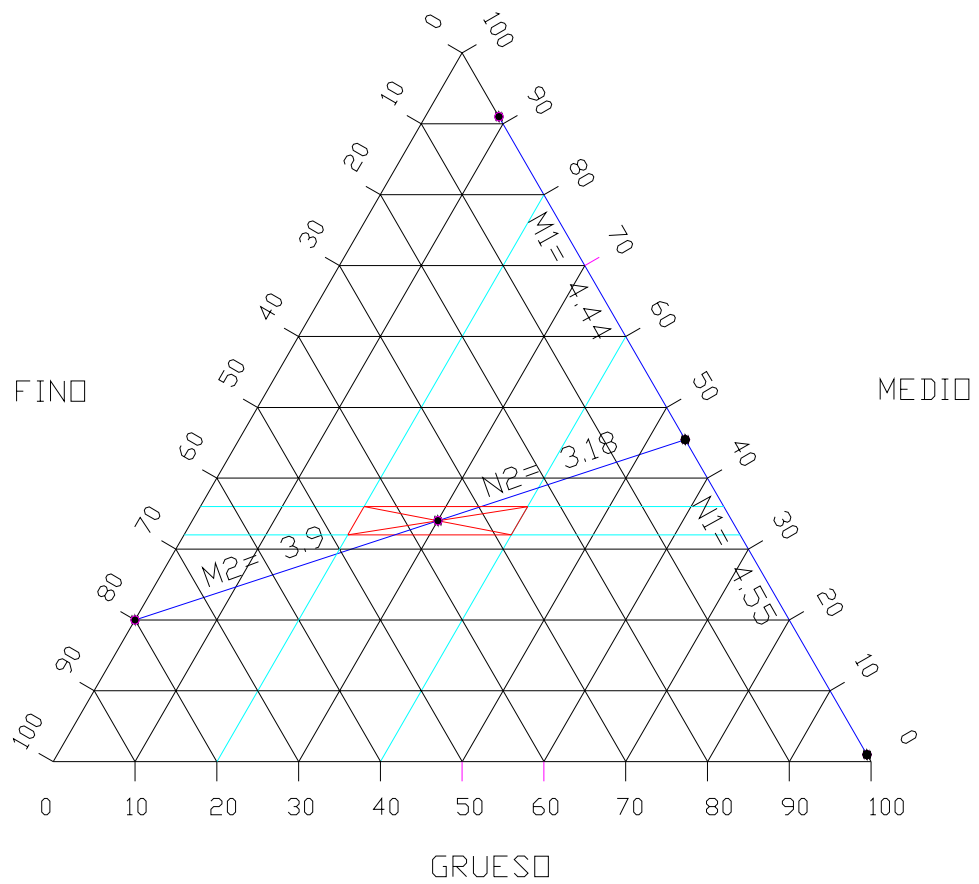


Figura 4-1: triángulo de feret.

Donde:

$N1= 4,55$  Cm.

$M1= 4,44$  Cm.

$N2 = 3,18$  Cm.

$M2 = 3,90$  Cm.

Por lo tanto:

$$\% \text{ grava} = (M2 / (M2 + N2)) * (N1 / (M1 + N1)) * 100\% = 28\%$$

$$\% \text{ gravilla} = (M2 / (M2 + N2)) * (M1 / (M1 + N1)) * 100\% = 27\%$$

$$\% \text{ arena} = (N2 / (N2 + M2)) * 100\% = 45\%$$

Malla	Grava	Gravilla	Arena	Grava 28%	Gravilla 27%	Arena 45%	Comp.	Especific. x - y
1/12"	100			28	27	45	100	100
3/4"	12	91		0	25	45	70	60 - 80
1/2"	1	38		0	10	45	55	-
3/8"	0	9	100	0	2	45	47	40 - 61
Nº 4	0	0	80	0	0	36	36	24 - 48
Nº 8			67	0	0	30	30	15 - 37
Nº 16			56	0	0	25	25	10 - 28.
Nº 30			20	0	0	9	9	6 - 9.
Nº 50			7	0	0	3	3	3 - 11.
Nº 100			4	0	0	2	2	2 - 5.
Nº 200			1	0	0			

Tabla 4-8. Ajuste de porcentajes de grava y arena a bandas granulométricas

De estos requisitos, se obtiene que para el tipo de material que se utilizara en la confección del hormigón, la proporción que mejor se adapta a las bandas granulométricas es la de 45% de arena, 28% de grava y 27% gravilla.

#### ❖ **Resistencia media requerida ( $f_r$ ).**

Esta dada por el nivel de confianza, por la desviación estándar y la resistencia especificada.

Para nuestro diseño utilizaremos:

- Un nivel de confianza de 80%, lo que nos entrega un factor estadístico ( $t$ ) de 0,842.
- Una desviación estándar ( $s$ ) de 47,6 Kgf/cm<sup>2</sup>.
- La resistencia a compresión a 28 días solicitadas ( $R_c$ ), en Kg/cm<sup>2</sup>.

$$f_r = R_c + s * t$$

Entonces para:

- Dosificación H-25  $f_r = 290$  [Kgf/m<sup>2</sup>].
- Dosificación H-30  $f_r = 340$  [Kgf/m<sup>2</sup>].

#### ❖ **Razón Agua-Cemento.**

La razón agua-cemento es extraída de la tabla nº 3 de la Nch 170 [13].

Depende del tipo de cemento a utilizar, de la resistencia media requerida calculada anteriormente.

Para  $f_r = 290$  Kgf/m<sup>2</sup>. **A/C= 0.5.**

Para  $f_r = 340$  Kgf/m<sup>2</sup>. **A/C= 0.45**

❖ **Agua.**

La cantidad de agua estará condicionada por la docilidad (cono) que debe tener el hormigón. Y se obtiene de la tabla nº 22 de la Nch 170.

El cono que se le exigió a las mezclas de los hormigones H-25 y H-30 es 6-9.

Entonces para este cono, según tabla, la cantidad de agua a introducir es de **170 lts.** para un metro cúbico.

❖ **Cemento.**

Esta se calcula una vez obtenida la razón agua cemento (A/C) y la cantidad de agua (A) a introducir en la mezcla.

$$C = \frac{A}{AC}$$

Tenemos entonces que las cantidades de cemento (C) para un metro cúbico de hormigón será:

Para H-25 = 340 Kg de Cemento.

Para H-30 = 378 Kg de Cemento.

❖ **Aire.**

La cantidad de aire considerada en la mezcla, se obtiene, según el tamaño máximo nominal del árido, de la tabla nº 23 de la norma Nch 170.



Entonces para el tamaño máximo nominal, de 10mm, que es el que posee el árido a utilizar en las mezclas, la cantidad de aire a considerar es de **10 lts**. Esta cantidad es utilizada para las dos dosificaciones ya que el material será el mismo en ambos casos.

#### ❖ **Áridos.**

La cantidad de los áridos se calcularan de la siguiente forma:

$$V = 1000 - (A + C/3 + Aire)$$

Donde:

V: Volumen que ocuparan los áridos.

A: Dosis de agua, calculada anteriormente.

C: Cantidad de cemento, calculado anteriormente.

Aire: Cantidad de aire, Calculado anteriormente.

• Dosificación H-25.  $V = 706.65$  lts.

• Dosificación H-30.  $V = 694,05$  lts.

Obtenido V, se calculará el peso de los áridos, lo que se hará utilizando la siguiente formula:

$$P = V \frac{DrG * Drg * DrA}{\% G * Drg * DrA + \% g * DrA * DrG + \% A * Drg * DrG}$$

Donde:

P: Peso total de los áridos.

DrA: Densidad real arena.

DrG: Densidad real grava.

Drg: Densidad real grava.

% A: Porcentaje de arena.

% G: Porcentaje de grava.

% g: Porcentaje de gravilla.

• **Dosificación H-25.** P = 1870

Arena:  $1870 * 0.45 = 842$  (KG).

Gravilla:  $1870 * 0.27 = 524$  (KG).

Grava:  $1870 * 0.28 = 505$  (KG).

• **Dosificación H-30** P = 1.836

Arena:  $1.836 * 0,45 = 827$  (KG).

Gravilla:  $1.836 * 0,27 = 496$  (KG).

Grava:  $1.836 * 0,28 = 514$  (KG).

❖ **Resumen**

El siguiente resumen se hará para un metro cúbico de hormigón y además se incluirá la cantidad utilizada para hacer los hormigones patrones.

		<b>H - 25</b>	<b>H - 30</b>
<b>Fr</b>	Kgf/cm <sup>2</sup>	290	340
<b>Razón A/C</b>	-	0.5	0.45
<b>Dosis de agua</b>	Lts.	170	170
<b>Cemento</b>	Kg.	340	378
<b>V. Árido</b>	Lts.	707	694
<b>Peso áridos</b>	Kg.	1870	1836
<b>Peso Gravilla</b>	Kg.	842	827
<b>Peso Gravilla</b>	Kg.	505	496
<b>Peso Arena</b>	Kg.	524	514

Tabla 4-9. Dosificación para un m<sup>3</sup> de hormigón.

		<b>H - 25</b>	<b>H - 30</b>
<b>Cemento</b>	Kg.	25,50	28,34
<b>Dosis de agua</b>	Lts.	14,72	14,68
<b>Peso Grava</b>	Kg.	39,28	38,58
<b>Peso Gravilla</b>	Kg.	37,87	37,20
<b>Peso Arena</b>	Kg.	63,12	62,00

Tabla 4-10. Dosificación para 75 litros.

❖ **Cantidad de fibra de vidrio.**

Las cantidades de fibra de vidrio adicionadas a la mezcla corresponden a valores establecidos por el fabricante, los cuales son: 0.03%,0.5%, 1% y1.5% en peso del hormigón.

**Cantidad de fibra para la dosificación H-25.**

1º será la dosis mínima de 5.4 grs., la que se designara como H25-01.

2º será una dosis intermedia de 90.2 grs., la que se designará como H25-02.

3º será una dosis intermedia de 180.5 grs., la que se designará como H25-03.

4º será la dosis máxima de 270.7 grs., la que se designará como H25-04.

**Cantidad de fibra para la dosificación H-30.**

1º será la dosis mínima de 5.42 grs., la que se designara como H30-01.

2º será una dosis intermedia de 90.4 grs., la que se designará como H30-02.

3º será una dosis intermedia de 180.79 grs., la que se designará como H30-03.

4º será la dosis máxima de 271.2 grs., la que se designará como H30-04.

### 4.3 Confección de Mezclas de Prueba.

Todas las mezclas de pruebas serán confeccionadas en una betonera según la norma Nch 1018 “Preparación de mezclas de prueba en laboratorio”.



Betonera para confeccionar las mezclas

FOTO N° 9

Se utilizó el método húmedo de la norma Nch 1018.

Se determinó el volumen considerando un 50% más del necesario para llenar los moldes que se utilizaron.

A continuación detallaremos todos los pasos seguidos, en cada una de las muestras patrones.

**1º** El día anterior a la realización de los hormigones se procedió a mojar el árido, de acuerdo a lo establecido en la norma Nch 1018 [15].

**2º** El día de la confección de las muestras antes de pesar los materiales se midió la humedad de los áridos y luego se procedió a realizar las correcciones por humedad.

A continuación se entregan resúmenes de las tablas de corrección.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Aporte humedad</b>	<b>corrección</b>
Cemento (kg.)	25,50	0,0	25,50
Dosis de Agua	14,72	-4,95	9,77
Peso Gravilla	39,28	0,69	39,97
Peso Gravilla	37,87	1,10	38,97
Peso Arena (Kg.)	63,12	3,16	66,28

Tabla 4-11. Corrección por humedad para HP-25 (hormigón patrón H-25).

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Aporte humedad</b>	<b>corrección</b>
Cemento (kg.)	25,50	0,0	25,50
Dosis de Agua	14,72	-4,94	9,78
Peso Gravilla	39,28	0,70	39,98
Peso Gravilla	37,87	0,95	38,82
Peso Arena (Kg.)	63,12	3,28	66,40

Tabla 4-12. Corrección por humedad para H25-01.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Aporte humedad</b>	<b>corrección</b>
Cemento (kg.)	25,50	0,0	25,50
Dosis de Agua	14,72	-5,63	9,09
Peso Gravilla	39,28	0,78	40,06
Peso Gravilla	37,87	1,06	38,93
Peso Arena (Kg.)	63,12	3,79	66,91

Tabla 4-13. Corrección por humedad para H25-02.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Aporte humedad</b>	<b>corrección</b>
Cemento (kg.)	25,50	0,0	25,50
Dosis de Agua	14,72	-5,21	9,51
Peso Gravilla	39,28	0,66	39,94
Peso Gravilla	37,87	1,14	39,01
Peso Arena (Kg.)	63,12	3,41	66,53

Tabla 4-14. Corrección por humedad para H25-03.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Aporte humedad</b>	<b>corrección</b>
Cemento (kg.)	25,50	0,0	25,50
Dosis de Agua	14,72	-5,24	9,48
Peso Gravilla	39,28	0,62	39,90
Peso Gravilla	37,87	0,95	38,82
Peso Arena (Kg.)	63,12	3,66	66,78

Tabla 4-15. Corrección por humedad para H25-04.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Aporte humedad</b>	<b>corrección</b>
Cemento (kg.)	28,34	0,00	28,34
Dosis de Agua	14,68	4,50	10,18
Peso Gravilla	38,58	-0,54	39,12
Peso Gravilla	37,20	-0,70	37,9
Peso Arena (Kg.)	62,00	-3,26	65,26

Tabla 4-16. Corrección por humedad para H30-P.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Aporte humedad</b>	<b>corrección</b>
Cemento (kg.)	28,34	0,00	28,34
Dosis de Agua	14,68	-4,58	10,10
Peso Gravilla	38,58	0,46	39,04
Peso Gravilla	37,20	0,85	38,05
Peso Arena (Kg.)	62,00	3,26	65,26

Tabla 4-17. Corrección por humedad para H30-01.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Aporte humedad</b>	<b>corrección</b>
Cemento (kg.)	28,34	0,00	28,34
Dosis de agua	14,68	-4,24	10,44
Peso Gravilla	38,58	0,34	38,92
Peso Gravilla	37,20	0,63	37,83
Peso Arena (Kg.)	62,00	3,26	65,26

Tabla 4-18. Corrección por humedad para H30-02.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Aporte humedad</b>	<b>corrección</b>
Cemento (kg.)	28,34	0,00	28,34
Dosis de Agua	14,68	-4,88	9,80
Peso Gravilla	38,58	0,54	39,12
Peso Gravilla	37,20	0,74	37,94
Peso Arena (Kg.)	62,00	3,59	65,59

Tabla 4-19. Corrección por humedad para H30-03.



<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Aporte humedad</b>	<b>corrección</b>
Cemento (kg.)	28,34	0,00	28,34
Dosis de Agua	14,68	-4,70	9,98
Peso Gravilla	38,58	0,42	39,00
Peso Gravilla	37,20	0,93	38,13
Peso Arena (Kg.)	62,00	3,34	65,34

Tabla 4-20. Corrección por humedad para H30- 04.

**3º** Realizada ya las correcciones, se procede a medir los materiales, según cantidad corregida.

La medición de la fibra se hizo en peso en una balanza de 0,001 grs. de precisión.

**4º** Reunido todos los materiales se procedió a ejecutar la mezcla de la siguiente forma:

- En primer lugar se procede a introduce el 75 % del agua.
- Luego se agrega la gravilla.
- Posteriormente se agrega la arena y el cemento, se mezclan hasta formar una masa homogénea y se va ingresando el resto del agua mientras la maquina esta en funcionamiento.
- En el caso de los hormigones con fibra de vidrio, esta se ingresa cuando la betonera esta ya cargada con todos los materiales y se introduce mientras la betonera esta en funcionamiento.

**5º** Terminada la mezcla de todos los materiales se procede a medir la docilidad del hormigón, lo cual se hace utilizando el cono de Abrams, y siguiendo el procedimiento establecido en la Nch 1019 [16].

- Se colocó el molde sobre la plancha de apoyo horizontal, ambos limpios y humedecidos solo con agua.

- Luego se procedió a pararse sobre las pisaderas, no produciéndose ningún movimiento del molde mientras se llenaba.
- El molde se lleno en tres capas de aproximadamente igual volumen, apisonándose cada capa con 25 golpes de la varilla-pisón, distribuidos uniformemente.
- Terminadas las tres capas se enrasa la superficie de la última capa y se limpio el hormigón que fue derramado, en la placa horizontal.
- Se cargo el cono, con las manos por las asas, y posteriormente se retiro los pies de las pisaderas.
- Se levanto el cono en la forma lo mas vertical posible.
- Inmediatamente levantado el molde, se mide el descenso de altura respecto del mismo molde, aproximando a 0,5 cm.

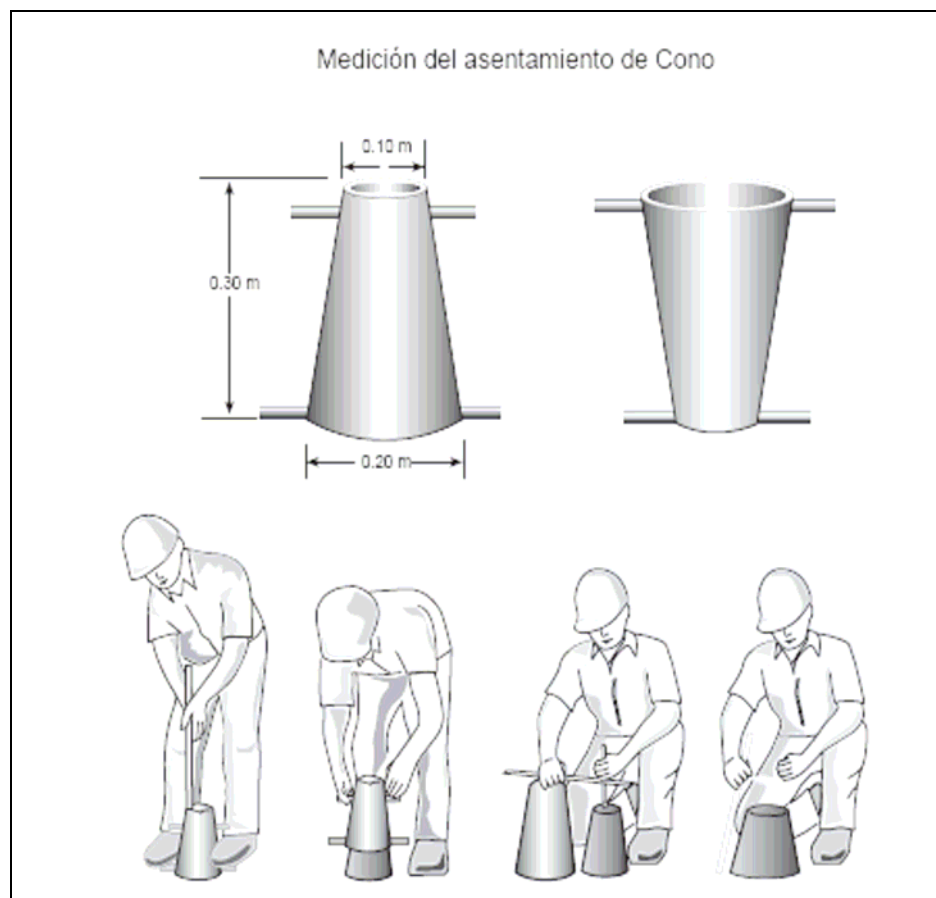


Figura 4-2: Asentamiento de cono.

**6º** Se procede a llenar las probetas de ensayo, lo que fue realizado según la norma Nch 1017.

- Se llenaron los moldes en una sola capa, tanto los cúbicos como los prismáticos.
- En los moldes cúbicos se introdujo el vibrador en forma vertical en el centro, se hizo llegar hasta casi 2cm del fondo, una vez aparecida la lechada, se retiró lentamente el vibrador.
- En los moldes prismáticos se introdujo el vibrador en cuatro partes repartidas uniformemente en el eje longitudinal central, también las inserciones se hicieron hasta casi llegar a los 2cm del fondo y el vibrador fue retirado lentamente, una vez aparecida la lechada.

**7º** Luego de compactados los moldes se procedió enrasar con la varilla pisón haciendo movimientos de aserrado, y finalmente con una llana se procede a darle la terminación final.

**8º** Las muestras, dejan en un lugar seguro, protegidas del sol y de toda contaminación, se identifican, con un papel provisorio hasta su desmolde, donde serán marcadas definitivamente.



Probeta terminada e identificada  
FOTO N° 10:

9º Luego de 48 hrs. se procede a desmoldar las probetas, teniendo especial cuidado de no dañarlas. Se identifican definitivamente.



Desmolde de probetas.  
FOTO N° 11:

**10°** Se trasladan las probetas hasta la piscina de curado donde se mantendrán sumergidas en agua a una temperatura controlada, entre 17 y 23°C, hasta la fecha de ensayo.



Piscina de curado.

FOTO N° 12:

## CAPITULO V

### INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1 Resultados de la Medición de cono.

Con el ensayo de trabajabilidad se logra apreciar una clara influencia de la presencia de las fibras en el hormigón fresco, observándose una disminución de la docilidad de la mezcla a medida que aumentaba el porcentaje de fibra de vidrio adicionado.

#### ❖ Resultados de la medición de cono.

Tipo de Hormigón	Cono (cm.)	Variación del cono Con respecto al patrón
HP - 25	7.5	-
H 25-01	7	0.5
H 25-02	6.2	1.3
H 25-03	5.3	2.2
H 25-04	2.8	4.7

Tabla 5-1 Variación de cono H-25.

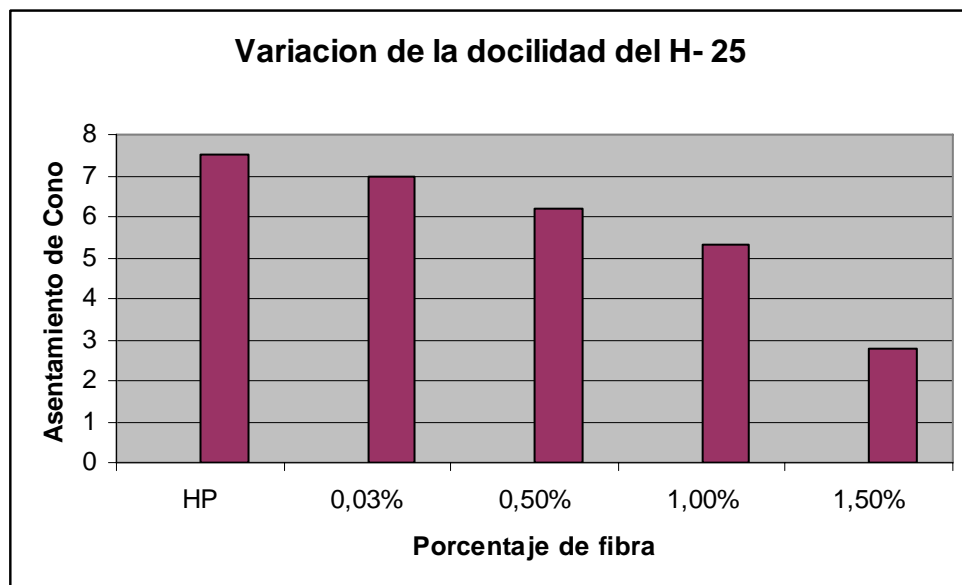


Grafico N° 1. Variación docilidad hormigón H-25, según el porcentaje de fibra.

Tipo de Hormigón	Cono (cm.)	Variación del cono Con respecto al patrón
HP - 30	8	-
H 30-01	7.8	0.2
H 30-02	6.5	1.5
H 30-03	5.6	2.4
H 30-04	3.6	4.4

Tabla 5-2 Variación de cono H-30.

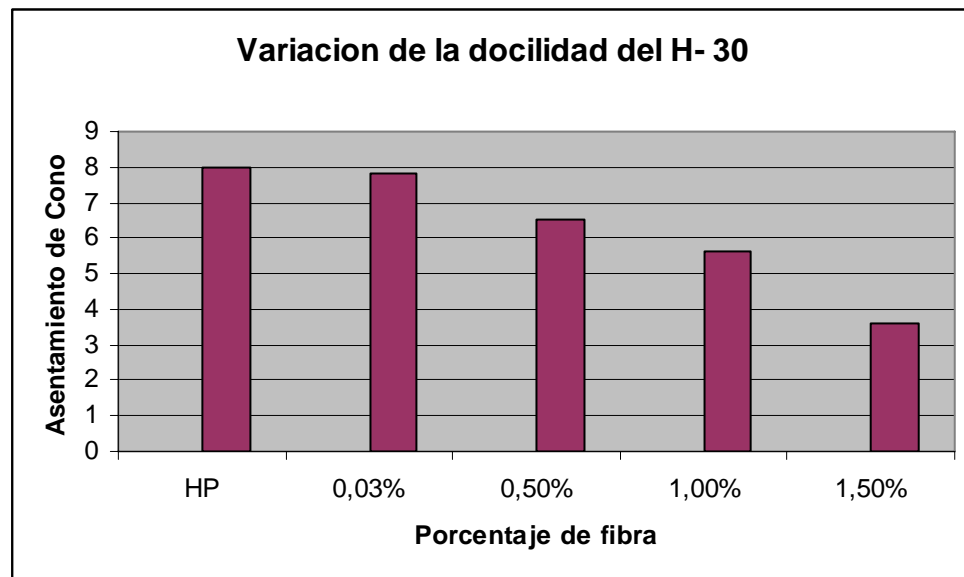


Grafico N° 2. Variación docilidad hormigón H-30, según el porcentaje de fibra.

## 5.2.- Ensayos de compresión.

Este ensayo se realizó siguiendo todo lo establecido en la norma Nch 1037.

### 5.2.1 Resultados.

#### Densidades.

Promedio de densidades y variaciones producidas según dosis de fibra de vidrio tipo AR, H-25.

	Promedio de De densidades (kg/m <sup>3</sup> )	Variación De densidades (kg/m <sup>3</sup> )	Variación (%)
<b>HP - 25</b>	2420	-	-
<b>H 25-01</b>	2422	2	0.1
<b>H 25-02</b>	2438	18	0.7
<b>H 25-03</b>	2445	25	1.0
<b>H 25-04</b>	2456	36	1.5

Tabla 5-3 densidades promedio H-25.

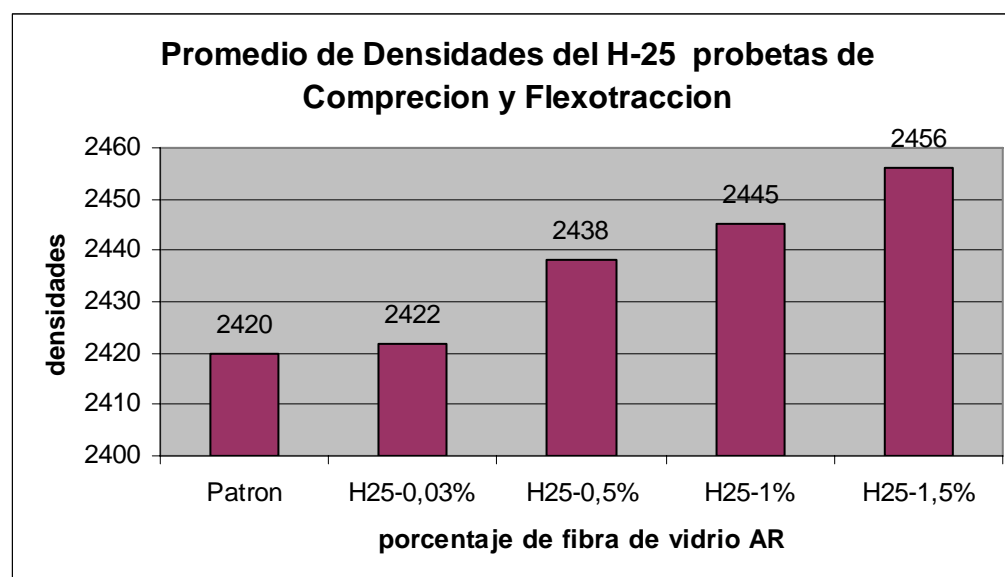


Gráfico N° 3 densidad promedio del H-25



Promedio de densidades y variaciones producidas según dosis de fibra tipo

AR, H-30.

	Promedio de De densidades (kg/m <sup>3</sup> )	Variación De densidades (kg/m <sup>3</sup> )	Variación (%)
<b>HP - 30</b>	2416	-	-
<b>H 30-01</b>	2420	4	0.2
<b>H 30-02</b>	2440	24	1.0
<b>H 30-03</b>	2446	30	1.2
<b>H30-04</b>	2470	54	2.2

Tabla 5-4 densidad promedio H-30.

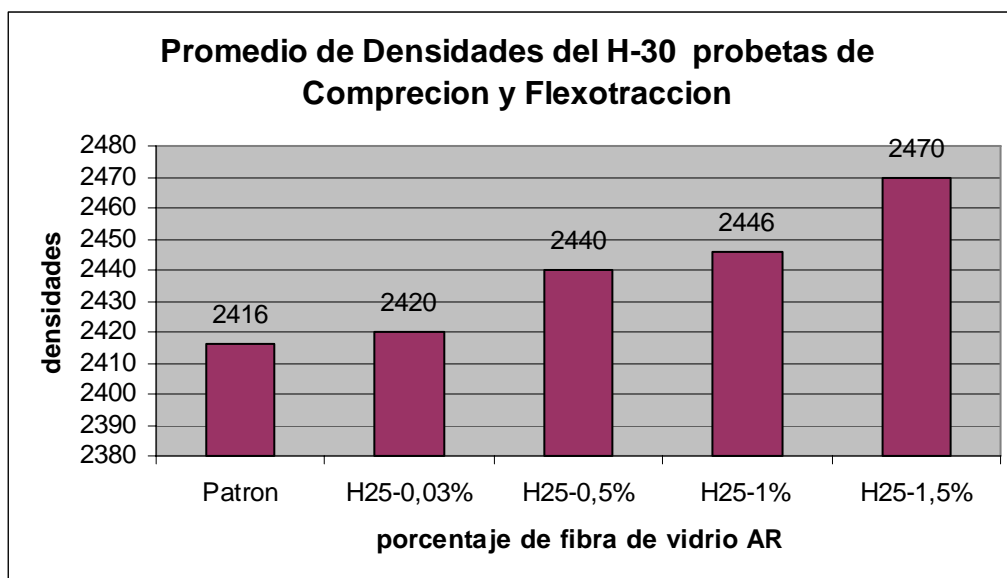


Grafico N° 4 densidad promedio H-30.

## Compresión

<b>Tipo de Hormigón</b>	<b>Resistencia a la Compresión (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>HP - 25</b>	190
<b>H 25-01</b>	192
<b>H 25-02</b>	195
<b>H 25-03</b>	196
<b>H 25-04</b>	200

Tabla 5-5 resultados ensayo a la compresión del hormigo H-25 a los 7 días.

<b>Tipo de Hormigón</b>	<b>Resistencia a la Compresión (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>HP - 25</b>	240
<b>H 25-01</b>	243
<b>H 25-02</b>	246
<b>H 25-03</b>	248
<b>H 25-04</b>	253

Tabla 5-6 resultados ensayo a la compresión del hormigo H-25 a los 14 días.

<b>Tipo de Hormigón</b>	<b>Resistencia a la Compresión (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>HP - 25</b>	282
<b>H 25-01</b>	285
<b>H 25-02</b>	288
<b>H 25-03</b>	291
<b>H 25-04</b>	297

Tabla 5-7 resultados ensayo a la compresión del hormigo H-25 a los 28 días.

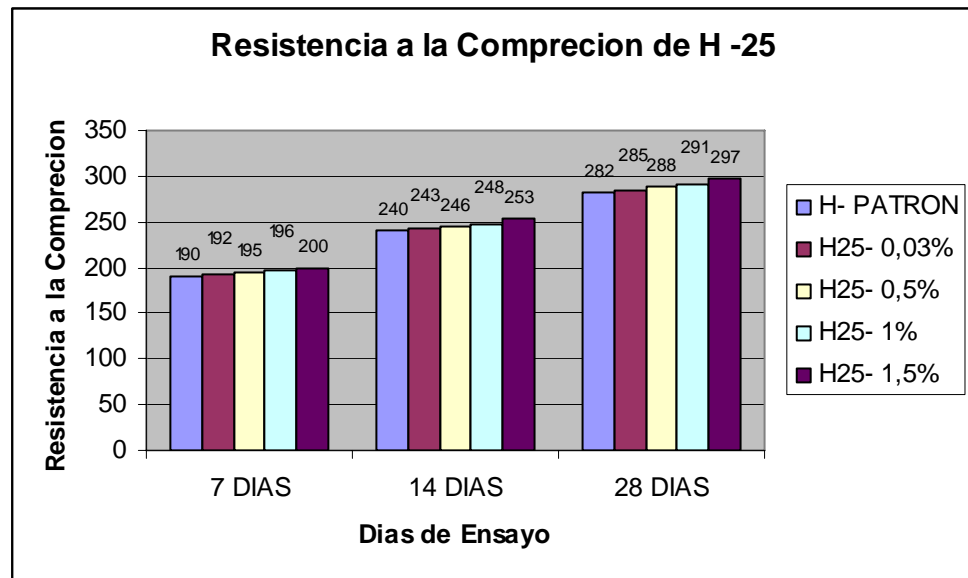


Gráfico N° 5 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días del H-25.

<b>Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión con respecto al hormigón patrón H- 25.</b>				
<b>EDADES</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>28</b>	<b>promedio</b>
<b>HP - 25</b>	0	0	0	0
<b>H 25-01</b>	1,1	1,3	1,1	1,1
<b>H 25-02</b>	2,6	2,5	2,1	2,4
<b>H 25-03</b>	3,2	3,3	3,2	3,2
<b>H 25-04</b>	5,3	5,4	5,3	5,3

Tabla 5-8 Diferencias Calculadas en base a la resistencia del hormigón patrón.

<b>Tipo de Hormigón</b>	<b>Resistencia a la Compresión (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>HP - 30</b>	210
<b>H 30-01</b>	212
<b>H 30-02</b>	215
<b>H 30-03</b>	217
<b>H 30-04</b>	222

Tabla 5-9 resultados ensayo a la compresión del hormigo H-30 a los 7 días.

<b>Tipo de Hormigón</b>	<b>Resistencia a la Compresión (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>HP - 30</b>	280
<b>H 30-01</b>	284
<b>H 30-02</b>	285
<b>H 30-03</b>	290
<b>H 30-04</b>	295

Tabla 5-10 resultados ensayo a la compresión del hormigo H-30 a los 14 días.

<b>Tipo de Hormigón</b>	<b>Resistencia a la Compresión (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>HP - 30</b>	324
<b>H 30-01</b>	328
<b>H 30-02</b>	332
<b>H 30-03</b>	334
<b>H 30-04</b>	342

Tabla 5-11 resultados ensayo a la compresión del hormigo H-30 a los 28 días.

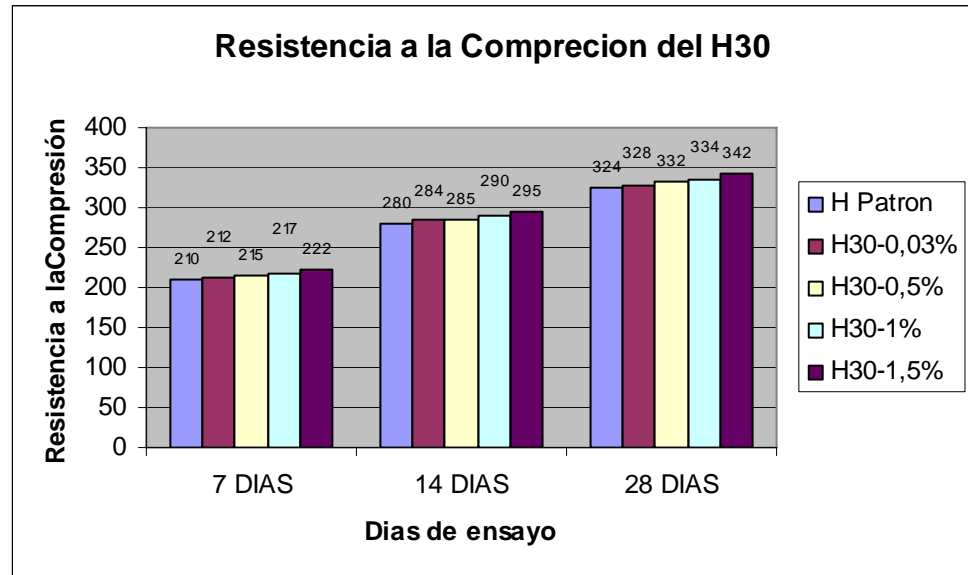


Grafico N° 6 Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días del H-30.

<b>Porcentaje de variación de la Resistencia a la compresión con respecto al hormigón patrón H -30</b>				
<b>EDADES</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>28</b>	<b>promedio</b>
<b>HP- 30</b>	0	0	0	0
<b>H 30-01</b>	1,0	1,4	1,2	1,2
<b>H 30-02</b>	2,4	1,8	2,5	2,2
<b>H 30-03</b>	3,3	3,6	3,1	3,3
<b>H 30-04</b>	5,7	5,4	5,6	5,5

Tabla 5-12 Diferencias Calculadas en base a la resistencia del hormigón patrón.

### 5.3 Ensayos de flexotracción.

Este ensayo se realizó siguiendo todo lo establecido en la norma Nch 1038.

<b>Tipo de Hormigón</b>	<b>Resistencia a la Flexotracción. (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>HF - 25</b>	25,8
<b>HF 25-01</b>	27
<b>HF 25-02</b>	28,5
<b>HF 25-03</b>	29,2
<b>HF 25-04</b>	30,2

Tabla 5-13 resultados ensayo a la flexotracción del hormigo H-25 a los 7 días.

<b>Tipo de Hormigón</b>	<b>Resistencia a la Flexotracción (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>HF - 25</b>	31
<b>HF 25-01</b>	33
<b>HF 25-02</b>	34,5
<b>HF 25-03</b>	35,7
<b>HF 25-04</b>	37,2

Tabla 5-14 resultados ensayo a la flexotracción del hormigo H-25 a los 14 días.

<b>Tipo de Hormigón</b>	<b>Resistencia a la flexotracción (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>HF - 25</b>	37,4
<b>HF 25-01</b>	38,8
<b>HF 25-02</b>	40,5
<b>HF 25-03</b>	43
<b>HF 25-04</b>	45

Tabla 5-15 resultados ensayo a la flexotracción del hormigo H-25 a los 28 días.

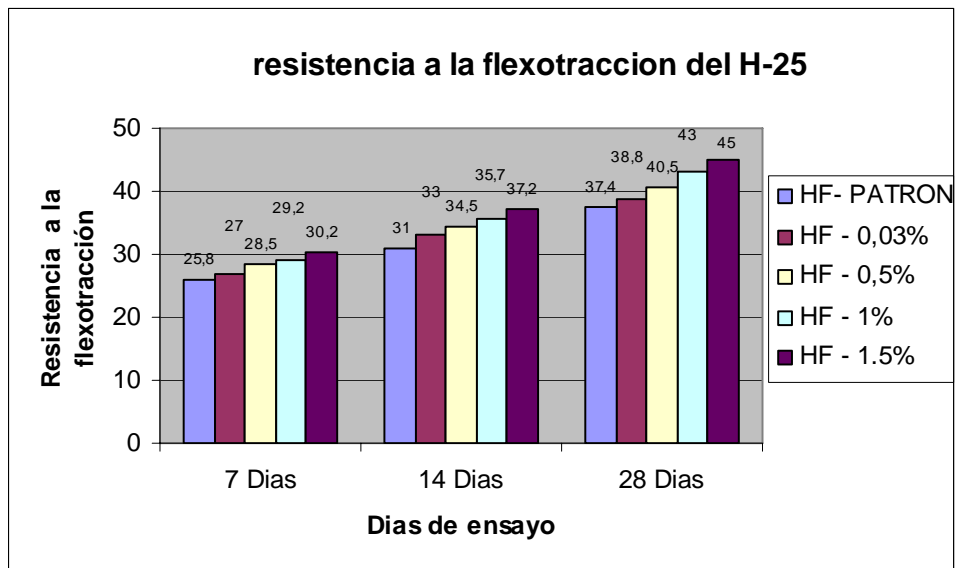


Grafico N° 7 Resistencia a la flexotracción a los 7, 14 y 28 días del H-25.

<b>Porcentaje de variación de la Resistencia a la flexotracción con respecto al hormigón patrón H-25.</b>				
<b>Edades</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>28</b>	<b>promedio</b>
<b>HF - 25</b>	0	0	0	0
<b>HF 25-01</b>	4,7	6,5	3,7	4,9
<b>HF 25-02</b>	10,5	11,3	8,3	10,0
<b>HF 25-03</b>	13,2	15,2	15,0	14,4
<b>HF 25-04</b>	17,1	20,0	20,3	19,1

Tabla 5-16 Diferencias Calculadas en base a la resistencia del hormigón patrón.

<b>Tipo de Hormigón</b>	<b>Resistencia a la Flexotracción (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>HF - 30</b>	30
<b>HF 30-01</b>	31,3
<b>HF 30-02</b>	32,5
<b>HF 30-03</b>	34,2
<b>HF 30-04</b>	36,4

Tabla 5 -17 resultados ensayo a la flexotracción del hormigo H-30 a los 7 días.

Tipo de Hormigón	Resistencia a la Flexotracción (Kgf/cm <sup>2</sup> )
HF - 30	35,5
HF 30-01	37
HF 30-02	38,5
HF 30-03	40,7
HF 30-04	42,5

Tabla 5-18 resultados ensayo a la flexotracción del hormigo H-30 a los 14 días

Tipo de Hormigón	Resistencia a la Flexotracción (Kgf/cm <sup>2</sup> )
HF - 30	41,5
HF 30-01	43,4
HF 30-02	45,5
HF 30-03	48
HF 30-04	50

Tabla 5-19 resultados ensayo a la flexotracción del hormigo H-30 a los 28 días.

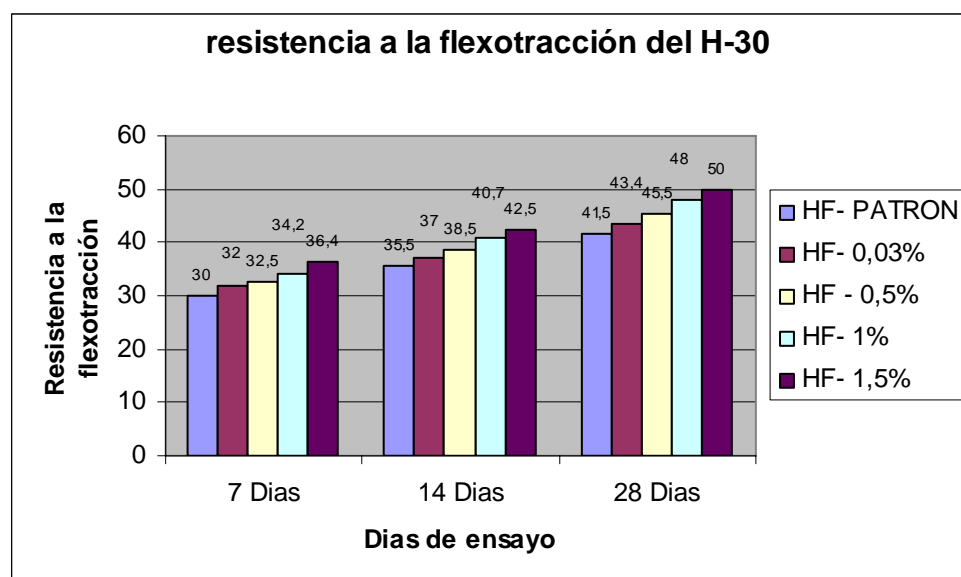


Grafico N° 8 Resistencia a la flexotracción. a los 7, 14 y 28 días del H-30.



<b>Porcentaje de variación de la Resistencia a la flexotracción con respecto al hormigón patrón H- 30.</b>				
	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>28</b>	<b>promedio</b>
<b>HF - 30</b>	0	0	0	0
<b>HF 30-01</b>	4,3	4,2	4,6	4,4
<b>HF 30-02</b>	8,3	8,5	9,6	8,8
<b>HF 30-03</b>	14,0	14,6	15,7	14,8
<b>HF 30-04</b>	21,3	19,7	20,5	20,5

Tabla 5-20 Diferencias Calculadas en base a la resistencia del hormigón patrón.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIÓN

De los resultados obtenidos en las experiencias desarrolladas se puede deducir las siguientes conclusiones:

➤ **Resistencia:**

- **Resistencia a Compresión.**

Los resultados indican, que si bien al aumentar la cantidad de fibra adicionada a la mezcla aumenta la resistencia a la compresión, este aumento es muy pequeño.

La influencia en el aumento de la resistencia de los distintos porcentajes de fibra aplicadas es similar en todas las edades de ensayo consideradas en el estudio y para ambos tipos de hormigón analizados, por este motivo consideraremos un promedio de los porcentajes en que varia la resistencia a la compresión.

El porcentaje de variación de la resistencia varia desde 1.1% para la dosis mínima hasta un 5.3% para la dosis máxima. Se puede decir, que la adición de fibras de vidrio no tiene mayor influencia en el aumento de la resistencia a la compresión del hormigón.

- **Resistencia a Flexotracción.**

La resistencia a la flexotracción aumenta en gran medida al aumentar la dosis de fibra en la mezcla.

Al ser muy similares los porcentajes en que varia la resistencia para el H-25 Y H-30 se estimo un promedio.

El porcentaje de variación de la resistencia varia desde 4.4% para la dosis mínima hasta un 20,5% para la dosis máxima. Se puede decir, que la adición de fibras de vidrio es un factor relevante en el aumento de la resistencia a la flexotracción de los hormigones.

➤ **Densidad:**

La fibra de vidrio AR produce un leve aumento de la densidad en los hormigones fabricados con ella, la que va aumentando a medida que se acrecienta la cantidad de fibra de vidrio AR.

Todas las densidades determinadas están dentro del rango que se recomienda para un hormigón normal (2,55 – 2,35 kg/dm<sup>3</sup>).

Para el hormigón H-25, con un 0.03% de fibra de vidrio AR la densidad tuvo una variación de un 0,1% llegando a un 1.5% con 1.5% de fibra de vidrio AR.

Para el hormigón HF-3,0, con un 0.03% de fibra de vidrio AR la densidad tuvo una variación de un 0,2% llegando a un 2.2% con 1.5% de fibra de vidrio AR.

➤ **Docilidad :**

Se pudo observar que la incorporación de fibras de vidrio en la mezcla tiene un efecto importante en la docilidad de los hormigones, ya que a mayor porcentaje de fibra incorporada en la mezcla, la docilidad disminuye esto se pudo comprobar en ambos tipos de hormigones estudiados.

- Para el hormigón H-25, con la dosis mínima de fibras de vidrio el asentamiento del cono varío de 7.5cm a 7cm siendo la disminución de 0.5cm. Con la dosis máxima vario de 7.5 a 2.8cm. la disminución de 4.7cm.

- Para el hormigón H-30, con la dosis mínima de fibras de vidrio el asentamiento del cono varío de 8cm a 7.8cm siendo la disminución de 0.2cm. Con la dosis máxima vario de 8 a 3.6cm. la disminución de 4.4cm.

La disminución de la docilidad tanto para la dosis mínima como para la dosis máxima de hormigón con fibra de vidrio y para ambos tipos de hormigón estudiados son similares observándose diferencias mínimas.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Asociación española de materiales compuestos, "Material Compuesto"  
[www.aemac.org/html/info.htm](http://www.aemac.org/html/info.htm).
- [2] Callister, William D., "Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales",  
1° Edición, Barcelona, España, Editorial Reverté, 1997, pág. 535-550.
- [3] Ciencia de los materiales, clasificación de los materiales compuestos  
<http://www.uca.edu.sv/facultad/ing/mecarch/m210031/CLASE21y22.pdf>.
- [4] Comino Almenara, Pablo, "El G. R. C. Material Compuesto de Matriz de  
Cemento Reforzado con Fibras de Vidrio A. R.", 1° Edición, Alcalá de  
Henares, España, Editor Saint-Gobain Vetrotex, 2003, pág. 2-27.
- [5] "Engineered Material Handbook", Vol. 1, Composites, ASM International,  
Materials Park, OH, 1987.
- [6] Facultad de Ingeniería UNCUYO, Ciencia de los Materiales, "Materiales  
Compuestos", [http://fing.uncu.edu.ar/catedras/industrial/cmateriales/archivos/c  
materiales/Unidad%2010\\_Materiales%20Compuestos.pdf](http://fing.uncu.edu.ar/catedras/industrial/cmateriales/archivos/cmateriales/Unidad%2010_Materiales%20Compuestos.pdf)
- [7] Ficha Técnica "Cem-FIL "Hormigones y Morteros", Saint-Gobain Vetrotex, s.f.  
[www.cem-fil.com](http://www.cem-fil.com).
- [8] Gere, James M. y Timoshenko, Stephen P., "Mecánica de Materiales", 4°  
Edición, México, International Thomson Editores, 1998, pág. 105.

- [9] Instituto Nacional De Normalización. NCh 163 of. 1979. Áridos para Morteros y Hormigones – Requisitos Generales.
- [10] Instituto Nacional De Normalización. NCh 164 of. 1976. Áridos para Morteros y Hormigones – Extracción y Preparación de Muestras.
- [11] Instituto Nacional De Normalización. NCh 165 of. 1977. Áridos para Morteros y Hormigones – Tamizado y Determinación de la Granulometría.
- [12] Instituto Nacional De Normalización. NCh 166 of. 1962. Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación colorimétrica de la presencia de impurezas orgánicas en las arenas.
- [13] Instituto Nacional De Normalización. NCh 170 of. 1985. Hormigón –Requisitos Generales.
- [14] Instituto Nacional De Normalización. NCh 1017 of. 1975. Hormigón – Confección y Curado en Obra de Probetas para Ensayos de Comprensión y Tracción.
- [15] Instituto Nacional De Normalización. NCh 1018 of. 1977. Hormigón – Preparación de mezclas de prueba en laboratorio.
- [16] Instituto Nacional De Normalización. NCh 1019 of. 1974. Construcción – Hormigón – Determinación de la Docilidad – Método del Asentamiento del Cono de Abrams.
- [17] Instituto Nacional De Normalización. NCh 1037 of. 1977. Hormigón –Ensayo de Compresión de Probetas Cúbicas y Cilíndricas.

- [18] Instituto Nacional De Normalización. NCh 1038 of. 1977. Hormigón –Ensayo e Tracción por Flexión.
- [19] Instituto Nacional De Normalización. NCh 1117 of. 1977. Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación de la Densidad Real y Neta y la Absorción de Agua de las Gravas.
- [20] Instituto Nacional De Normalización. NCh 1239 of. 1977. Áridos para Morteros y Hormigones – Determinación de las Densidades Real y Neta de la Absorción de Agua de las Arenas.
- [21] “La Fibra de Vidrio Vetrotex”, Alcalá de Henares, España, Editor Saint-Gobain Vetrotex, s.f., pág. 5-9.
- [22] Márquez Rivera, Clara. “Hormigón Proyectado Reforzado con Fibra de Vidrio para Reparación de Estructuras. Aplicación como Revestimiento Resistente en Túneles”. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2002, pág. 208-220.
- [23] Sánchez Paradela, M. Laura y Sánchez Gálvez, Vicente, “Comportamiento a Tracción de Cementos reforzados con Fibra de Vidrio”, Informes de la Construcción, España, Vol. 43 n° 413, Pretensazo, 1991, pág. 77.

