



Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Construcción

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRA DE COCO EN LA RETRACCIÓN HIDRÁULICA DEL HORMIGÓN

Por

Benjamín Olave Calabaceros

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

Prof. Guía: Andrés Jamet Aguilar

Octubre, 2019.

*Dedicado a mis padres, hermanos, abuelos y mi novia por ayudarme a
cumplir este objetivo.*

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Andrés Jamet, por su apoyo en este trabajo de investigación, por su atención, tiempo, dedicación y por todos los conocimientos entregado y adquiridos durante el tiempo, gracias a su experiencia.

A mi familia y a la familia Flores Cortes, por su apoyo en todo este tiempo, por su amor y entereza en los momentos difíciles, por confiar y creer en mis capacidades para el desempeño de esta investigación y por entregarme los recursos y herramientas necesarias para la ejecución de esta investigación.

A Camila, por su amor, apoyo, paciencia y comprensión; por estar en los momentos difíciles, donde necesite fuerzas para continuar, gracias por estar siempre.

A mis compañeros y amigos, Camila, Maximiliano por su ayuda y apoyo en los momentos de laboratorio.

A mis compañeros y amigos por su amistad, apoyo y aliento que de alguna u otra forma son parte de esta investigación.

A Don Víctor y Don Aldo, por su disposición, apoyo y ayuda en los momentos que ejecutamos los ensayos.

Por ultimo al cuerpo docente de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso por su dedicación, consejos y conocimientos entregados durante el proceso de educación.

A todos ustedes, muchas gracias.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	3
INDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE TABLAS	8
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPITULO 1. ANTECEDENTES GENERALES	12
1.1 Problema de Investigación.....	12
1.2 Objetivos de la Investigación	14
1.2.1 General.....	14
1.2.2 Específicos	14
1.3 Alcances de la Investigación.....	14
1.4 Hipótesis.....	14
1.5 Estructura de la Investigación.....	15
CAPITULO 2. MARCO TEORICO.....	17
2.1 Generalidades del Hormigón Reforzado con Fibras Naturales.....	17
2.1.1 Hormigón en Estado Fresco	19
2.1.2 Hormigón en Estado Endurecido	20
2.2 Retracción.....	21
2.2.1 Tipos de Retracción	21
2.2.2 Variables que afectan la Retracción Hidráulica	24
2.2.3 Fisuración por causa de la Retracción Hidráulica	28
2.2.4 Método de Medición Directa	29
2.3 Generalidades de las Fibras de Coco.....	30
2.4 Fibras de Coco como Refuerzo	31
CAPITULO 3. DISEÑO EXPERIMENTAL	33

3.1	Generalidades	33
3.2	Materiales a Utilizar	33
3.3	Definición de Variables	34
3.3.1	Variables Independientes	34
3.3.2	Variables Dependientes.....	35
3.4	Factorial Experimental	36
3.5	Ensayos aplicados a Hormigón Reforzado.....	38
3.5.1	Retracción Hidráulica.....	38
3.5.2	Resistencia a la Compresión	39
3.6	Metodología de Trabajo	40
3.6.1	Retracción Libre.....	40
3.6.2	Ensayo de Compresión.....	42
CAPITULO 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL		44
4.1	Generalidades	44
4.2	Caracterización de los Agregados	44
4.2.1	Granulometría del Árido Combinado.....	44
4.2.2	Densidad Gravilla.....	46
4.2.3	Densidad Arena	48
4.2.4	Densidad Fibra de Coco	50
4.3	Dosificación de Hormigones	51
4.3.1	Consideraciones	51
4.3.2	Dosificación Hormigón Patrón.....	51
4.3.3	Dosificación Hormigón con agregados de Fibra de Coco	52
4.4	Fabricación de hormigones.....	53
4.4.1	Retracción Libre.....	54
4.4.2	Resistencia a Compresión	54
CAPITULO 5. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS		55

5.1	Generalidades	55
5.2	Hormigón en Estado Fresco	56
5.2.1	Docilidad del Hormigón.....	56
5.3	Ensayo de Retracción Libre.....	58
5.4	Pérdida de Peso y Densidad en Hormigones	61
5.5	Resistencia a Compresión.....	64
5.6	Análisis estadístico de resultados.....	67
CAPITULO 6. CONCLUSIONES.....		71
6.1	Generalidades	71
6.2	Relacionado con el Objetivo General e Hipótesis.....	71
6.3	Relacionado con los Objetivos Específicos	71
BIBLIOGRAFIA		72
ANEXOS		76

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama de Flujo.....	16
Figura 2.1. Relación entre retracción y pérdida de agua.....	23
Figura 2.2. Retracción de hormigones elaborados con cementos de diferente finura.....	24
Figura 2.3. Relación entre el contenido de agua del hormigón fresco y la retracción por secado...25	
Figura 2.4. Relación entre el contenido de agua, contenido de cemento y razón <i>a/c</i> , con la retracción del hormigón curado a 28 días y secado a 450 días	26
Figura 3.1 Equipo medidor de cambios de longitud	38
Figura 3.2 Prensa Universal.....	39
Figura 4.1 Granulometria	45
Figura 4.2. Método de asentamiento de cono	53
Figura 5.1. Asentamiento de cono en hormigones.....	56
Figura 5.2. Expansión y Retracción hidráulica porcentual en hormigones	60
Figura 5.3. Variación en el peso en hormigones a los 97 días.....	62
Figura 5.4. Variación de densidad en hormigones	63
Figura 5.5. Resistencia a compresion de hormigones	65
Figura 5.6. Variación porcentual de la resistencia a compresión	66
Figura 5.7 Gráfica de probabilidad normal Retracción Hidráulica	68
Figura 5.8 Gráfica de probabilidad normal Resistencia a la Compresión.....	68

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Retracción hidráulica medida a diferentes tiempos de secado (mm/m)	28
Tabla 2.2. Tipos de Fibras y sus propiedades.....	31
Tabla 3.1. Factorial de experimento	37
Tabla 3.2. Planificación ensayo de retraccion libre	40
Tabla 4.1. Árido combinado	44
Tabla 4.2. Densidad aparente suelta gravilla	46
Tabla 4.3. Densidad aparente compactada gravilla	46
Tabla 4.4. Densidades y absorción gravilla.....	47
Tabla 4.5. Densidad aparente suelta arena	48
Tabla 4.6. Densidad aparente compactada arena	48
Tabla 4.7. Densidades y absorción arena.....	49
Tabla 4.8. Densidad aparente fibra de coco.....	50
Tabla 4.9. Densidad Real, Neta y absorción fibra de coco.....	50
Tabla 4.10. Dosificación Hormigón Patrón	51
Tabla 4.11. Dosificación hormigón con 2% de fibra de coco en tamaño de 20 y 40 mm.	52
Tabla 4.12. Dosificación hormigón con 4% de fibra de coco y tamaños de 20 y 40 mm.	52
Tabla 5.1. Nomenclatura Hormigones.....	55
Tabla 5.2. Asentamiento de cono.....	56
Tabla 5.3. Variación porcentual de asentamiento en hormigones.....	57
Tabla 5.4. Expansión y retracción hidráulica en hormigones hasta día 21	58
Tabla 5.5. Expansión y retracción hidráulica en hormigones hasta día 97	58
Tabla 5.6. Expansión y retracción hidráulica porcentual de hormigones hasta día 21	59
Tabla 5.7. Expansión y retracción hidráulica porcentual de hormigones hasta día 97.....	59
Tabla 5.8. Variación de peso en hormigones a los 21 días.....	61
Tabla 5.9. Variación de peso en hormigones a los 97 días.....	61

Tabla 5.10. Pérdida de densidad promedio en hormigones a los 21 días.....	62
Tabla 5.11. Pérdida de densidad promedio en hormigones a los 97 días.....	63
Tabla 5.12. Resistencia a compresión de hormigones.....	64
Tabla 5.13. Variación de resistencia a compresión.....	66
Tabla 5.14 Tabla general de retracción libre y resistencia a la compresión en software Desingn - Expert.....	67
Tabla 5.15 Porcentaje de Contribución Retracción Hidráulica	69
Tabla 5.16 Porcentaje de Contribución Resistencia a la Compresión.....	69
Tabla 5.17 Análisis de varianza Repuesta 1: Retracción	70
Tabla 5.18 Análisis de varianza Repuesta 2: Resistencia a a Compresión.....	70

RESUMEN

La retracción hidráulica es una de las limitaciones más importantes que tiene el hormigón, y se define como la deformación del hormigón, ya sea en estado fresco o endurecido, producido por la pérdida paulatina del agua en la mezcla de hormigón. Al producirse la pérdida de agua se produce una deformación impuesta, la cual genera tensiones internas de tracción que conllevan a la fisuración por tracción, lo que se presenta durante las primeras horas a través de una disminución de volumen del hormigón en el proceso de fraguado; o en el hormigón endurecido días o meses después.

Diversos son los factores que afectan en la velocidad y magnitud de la retracción hidráulica, entre los cuales se encuentran factores de dosificación, factores ambientales, factores de ejecución y diseño del mismo. La presente investigación se basa en el factor de diseño del hormigón, y trata de la influencia de la proporción de adición y tamaño de la fibra de coco adicionada a este; en donde se hizo una adición de esta fibra en relación del árido fino.

La investigación tiene como propósito y objetivo evaluar la influencia que tiene la incorporación de fibra de coco en proporción y tamaños variables en la retracción hidráulica del hormigón. Para ello se evaluaron dos porcentajes de fibra de coco adicionados en la relación a la masa del árido fino 2% y 4% y dos largos de fibra 20 mm y 40 mm.

Mediante un diseño factorial se determinó estudiar cuatro hormigones, más un hormigón patrón, en los cuales se midió docilidad, retracción hidráulica y resistencia a la compresión, con el fin de identificar el efecto que tiene la incorporación de fibra de coco en el hormigón.

Los resultados obtenidos permitieron concluir que la incorporación de los distintos porcentajes y tamaños de fibra de coco aumentaron los niveles de retracción hidráulica. Mientras que la resistencia a la compresión disminuyó a medida que aumenta el porcentaje y tamaño de fibra, siendo la adición de 4% con tamaños de 40 mm los que produjeron una menor resistencia a la compresión.

Palabras Claves: Hormigón, Retracción hidráulica, Fibras naturales, Fibras, Resistencia a la compresión.

ABSTRACT

Hydraulic retraction is one of the most important limitations of concrete, and is defined as the deformation of concrete, whether in a fresh or hardened state, produced by the gradual loss of water in the concrete mix. When the water loss occurs, an imposed deformation occurs, which generates internal tensile stresses leading to tensile cracking, what occurs during the first hours through a decrease in volume of concrete in the setting process; or in hardened concrete days or months later.

There are several factors that affect the speed and magnitude of hydraulic retraction, among which are dosage factors, environmental factors, execution factors and design thereof. The present investigation is based on the design factor of the concrete, and deals with the influence of the proportion of addition and size of the coconut fiber added to it; where an addition of this fiber was made in relation to the fine aggregate.

The purpose of the research is to evaluate the influence of the incorporation of coconut fiber in proportion and variable sizes in the hydraulic retraction of concrete. For this, two percentages of coconut fiber added in relation to the mass of fine aggregate 2% and 4% and two lengths of fiber 20 mm and 40 mm were evaluated.

Through a factorial design it was determined to study four concretes, plus a standard concrete, in which ductility, hydraulic retraction and compressive strength were measured, in order to identify the effect that the incorporation of coconut fiber has on the concrete.

The results obtained allowed us to conclude that the incorporation of the different percentages and sizes of coconut fiber increased the levels of hydraulic retraction. While the compressive strength decreased as the percentage and fiber size increased, it was the addition of 4% with 40 mm sizes that produced a lower compressive strength.

Key words: Concrete, Hydraulic retraction, Natural fibers, Fibers, Compressive strength.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Problema de Investigación

Al ser el hormigón el material más usado en la construcción y disfrutar de una infinidad de atributos que le permiten ser el material de construcción más usado para cualquier tipo de obra, este material presenta ciertas restricciones que originan el desarrollo de varias acciones para contrarrestarlas. Una de las limitaciones son los cambios de volumen, los que producen tensiones de tracción, si el movimiento de un elemento es restringido tanto externa como internamente, existe un riesgo creciente que se produzca el agrietamiento del hormigón (Videla & Aguilar, 2000).

El agrietamiento por causa de la retracción hidráulica es un fenómeno que afecta a todas las estructuras de hormigón y representa una de las más inciertas propiedades del hormigón (Videla & Aguilar, 2005). El origen del problema de la retracción se centra en factores específicos, siendo uno de ellos la pérdida de agua. Cuando el hormigón saturado de agua entra en contacto con la atmosfera seca da lugar a una retracción debida a la gradiente de humedades interiores y exteriores, el cual genera una pérdida de volumen en la estructura, causada por una evaporación del agua de amasado más rápida que el agua de exudación en la superficie del hormigón fresco (Garin, Santillini, & Pejoja, 2012). La retracción hidráulica es una variación en el volumen de la mezcla, que se produce por varias razones; tipo de cemento, contenido de agua, tipo y tamaño de áridos, aditivos, tipo de curado, geometría del elemento y condiciones ambientales (Neville, 1995). Las grietas por retracción hidráulica representan desde el 35% al 40% del total de las grietas producidas (Videla, 1994; Campbell, 1979), además estas tienen una serie de responsabilidades técnicas, económicas, y de calidad sobre la construcción en hormigón (Videla y Aguilar, 1999); en efecto las grietas del hormigón deben ser prevenidas y controladas, las medidas obedecerán al uso y exposición de la estructura (Videla y Aguilar, 2000). Los estudios para predecir con certeza la deformación producida por retracción hidráulica son de suma importancia para que las estructuras no presenten problemas de durabilidad y servicialidad, que generan un impacto técnico, económico y de calidad en las obras de construcción en hormigón (Videla y Aguilar, 2005).

Es por esto que la retracción hidráulica ha sido considerado como uno de los problemas más serios en la construcción con hormigón y es la principal causa del agrietamiento (ACI Committee 224, 1992), para solucionar este problema se han desarrollado sistemas de prevención a través de la modificación de las propiedades del hormigón, basándose en el uso de cementos expansivos o compensadores de retracción (ACI Committee 223, 1983) y de aditivos que controlan la disminución de tensión superficial de agua (Holland, 1999) o modificaciones mediante el uso de juntas de movimiento y cuantías mínimas de armadura, métodos de diseño propuestos por la norma británica BS 8007:1987.

Padron y Zollo (1990), investigando hormigones y morteros con refuerzos de fibras de polipropileno, observaron que, en condiciones severas, la cantidad de fisuras fue entre 18 % y 23 % menor en relación al hormigón simple, mientras que la retracción total de las probetas disminuyó desde un 52% a 100% en relación al patrón de hormigón sin fibras. Curiosamente la muestra con fibras que presentó la misma retracción del patrón fue la que exhibió menor cantidad de fisuras, 18% de la observada en el hormigón simple. Según Johnston (1994), las fibras en una matriz cementicia pueden, en general, tener dos efectos importantes. Primero, ellas tienden a reforzar el compuesto sobre todos los modos de carga que provocan tensiones de tracción, o sea, retracción restringida, tracción directa o en la flexión y corte y, secundariamente, ellas mejoran la ductilidad y la tenacidad de una matriz frágil. Una alta dosis de fibras otorga una mayor resistencia pos fisuración y menor dimensión de fisuras, desde que las fibras puedan absorber las cargas adicionales ocasionadas por la fisura (Taylor, 1994). El desempeño de los compuestos reforzados con fibras es controlado principalmente por la dosis, por la longitud de la fibra, por las propiedades físicas de la fibra y de la matriz además por la adherencia entre las fibras y el hormigón (Hannant, 1994).

La eficiencia de las fibras depende de diversos factores como, su relación longitud/diámetro, longitud, módulo de elasticidad, dosificación y hasta las características del propio hormigón: por ejemplo, matrices más ricas es decir mayor relación cemento/áridos, responderán de manera más eficientemente a la adición de las fibras además el hormigón liviano presenta mayor potencial de reducción de fisuras que el convencional, cuando se utilizan dosis y tipos idénticos de fibras (Balaguru, 1994).

En esta investigación se incorporó la fibra de coco en el hormigón para verificar sus mejoras sobre la retracción hidráulica. La fibra de coco está definida por tres tipos; una larga y fina considerada Fibra de Hilo, una más tosca que se conoce como fibra de cerda, y una más corta conocida como Fibra Corta para Colchones. (Cavides y Rojas, 1994). En comparación a otras fibras la de coco es relativamente corta, sus células miden alrededor de 1 mm de longitud en vez de 2,5 mm del sisal, y 4,9 mm de las de abacá. La fibra de coco tiene un diámetro medio de 15 micras, la fibra varía entre 15 y 35 cm de longitud en vez de 140 cm del sisal y 240 cm el abacá. (Quintero, 2003). La Fibra de Coco tiene una capacidad de estiramiento de 29,04%, con un módulo de rigidez de 1,8924 dinas/cm². Además de absorber un estiramiento permanente cuando soporta cargas, la resistencia en estado seco es baja en comparación con la de Sisal pero disminuye menos en cuanto son sumergidas en agua solo pierde un 25% de resistencia. (Quintero, 2003).

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 General

- Evaluación de la influencia de la incorporación de fibras de coco en la resistencia a la compresión y retracción hidráulica del hormigón.

1.2.2 Específicos

- Determinar la influencia de distintos contenidos y largos de fibra de coco adicionados a la mezcla de hormigón sobre su retracción hidráulica.
- Determinar la influencia de la adición de fibras de coco en la resistencia a la compresión del hormigón.

1.3 Alcances de la Investigación

- Se utilizará cemento portland puzolánico grado corriente según norma NCh 148 Of 1968.
- Se confeccionará hormigón convencional según norma NCh 170 Of 2016. “Hormigón Generalidades”.
- Se utilizará áridos procedentes del río Aconcagua según norma NCh 164 Of 1976.
- El árido a utilizar será del tipo chancado, con tamaño máximo nominal 20 mm.
- El agua utilizada será del tipo potable, libre de contaminación según NCh 1498 Of 82.
- Las fibras de coco a agregar serán naturales de diámetro 0,11 a 0,53 mm con tamaños de 20 y 40 mm.
- Las fibras de coco se agregaran en relación a la masa de la arena en cantidades de 2% y 4% de su masa.
- Se evaluará la retracción hidráulica por secado según NCh 2221 Of. 94. “Hormigón y Mortero – Determinación de los Cambios de Longitud”.
- El estudio de retracción hidráulica será evaluado a un plazo máximo de 90 días.
- Los ensayos de retracción del hormigón se realizarán en los laboratorios de la escuela de construcción de la Universidad de Valparaíso.

1.4 Hipótesis

Al aumentar la adición de fibras de coco, aumentara la resistencia a la compresión y disminuye la retracción hidráulica del hormigón.

1.5 Estructura de la Investigación

En la figura 1.1 se muestra la metodología de trabajo que se empleará para determinar el efecto que produce las fibras coco en la retracción hidráulica de hormigones, esta metodología se dividirá en tres etapas, las cuales se describen a continuación:

a) Etapa I

Esta etapa inicial se basa en el estudio bibliográfico sobre la retracción hidráulica del hormigón, con el fin de identificar el efecto que tiene en el hormigón el aplicar fibras naturales. Se agrega a esta etapa la definición de los objetivos y alcances de la investigación.

b) Etapa II

Luego de obtener el diseño de la mezcla, se llevará a cabo la elaboración de probetas de hormigón, donde elaborara un hormigón patrón sin incorporación de fibras de coco. No así las demás probetas las que tendrán diferentes porcentajes y largos de fibras. A estas probetas se les aplicaran los ensayos de compresión, y retracción libre.

c) Etapa III

Por último se analizaran y entregaran los resultados para llevar a cabo las conclusiones de la investigación.

En la figura 1.1. se mostrara el diagrama de flujo de la metodología de trabajo correspondiente a esta investigación.

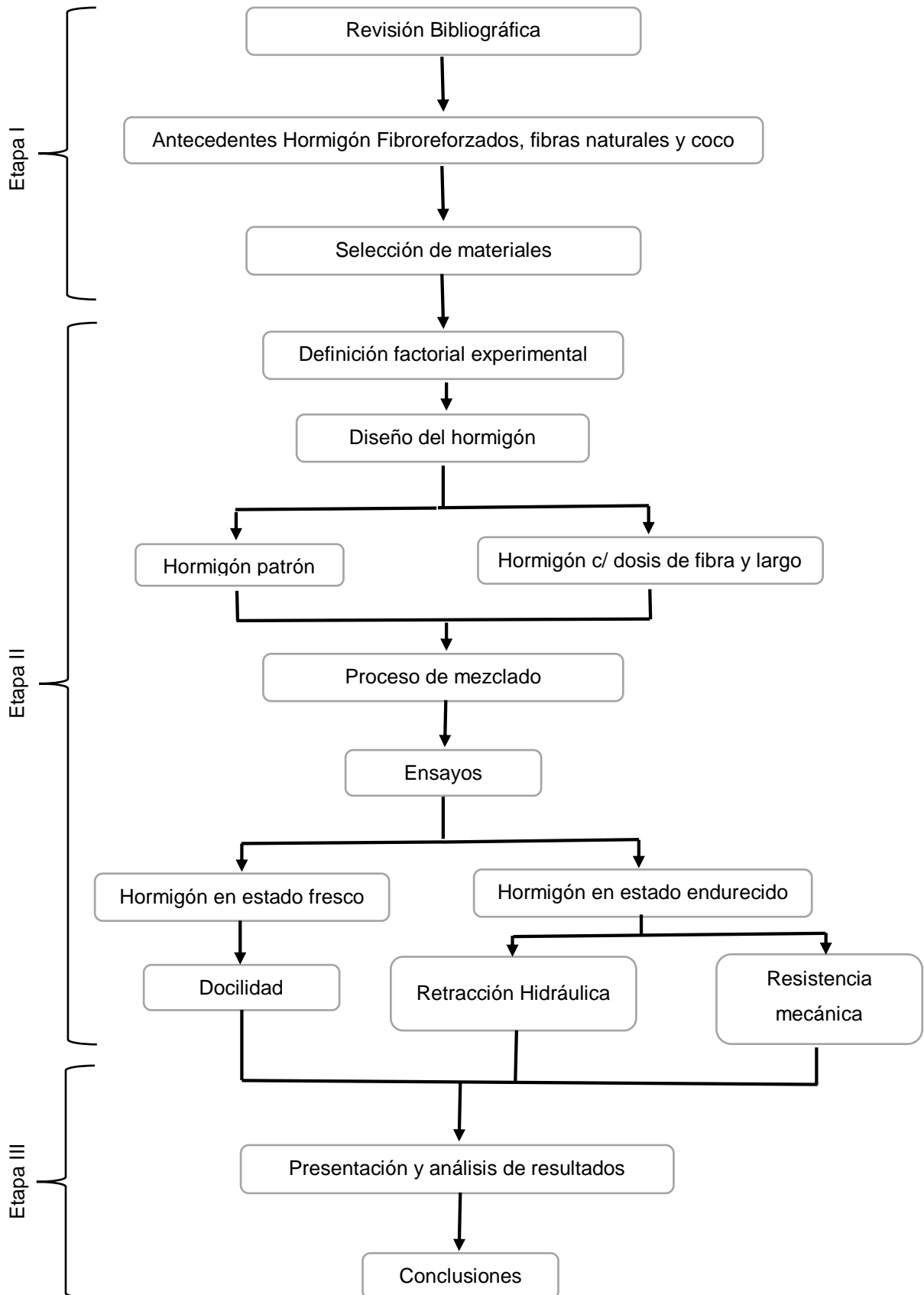


Figura 1.1. Diagrama de Flujo
Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 2. MARCO TEORICO

2.1 Generalidades del Hormigón Reforzado con Fibras Naturales

El hormigón reforzado con fibras es aquel que es generado por la mezcla de un conglomerante hidráulico “Cemento”, agregados pétreos como lo son la grava y arena, agua, y además fibras discontinuas y discretas.

Para que haya una mejora en las características de tenacidad, fisuración, y resistencia a las tensiones, es necesario una proporción adecuada de estas fibras ya que estas aportaran un mayor o menor refuerzo al elemento. Para que la adición de fibras sea efectiva, debe haber adherencia entre la pasta de cemento y las fibras que son añadidas, de forma que se genere una mezcla con distribución uniforme lo que generara un material dúctil.

El uso de fibras en el hormigón ha aumentado en el último tiempo, ya que puede llegar a ser un material de bajo costo y peso; pero los estudios de hormigones reforzados con fibras datan hace unos años atrás.

Swift y Smith (1979), elaboraron probetas de hormigón con 5% en volumen de fibras de Sisal de 25 mm hasta de 1 metro de longitud alineadas en el molde, usando una relación $A/C=0,5$. Los resultados demostraron que para la primera longitud la resistencia a la flexión fue un 50% mayor, y para la segunda fue 3 veces mayor el valor que el de especímenes sin fibras. Para los valores de tenacidad e impacto las probetas con fibras de 25 mm fueron un 100% mayor y para las con fibra de 1 metro fueron 7 veces mayor que los resultados obtenidos en las probetas patrón.

Moreira (1986) ocupó fibras de sisal en pastas y morteros, aplicando ensayos de compresión, flexión y tensión. Ocuparon dimensiones de 20 y 50 mm de largo de fibras, las que fueron distribuidas aleatoriamente, se ocupó una relación $A/C=0,74$. Los resultados demostraron que la incorporación de fibras mantenía la resistencia a la compresión, tensión y flexión.

Filho (1990) reforzó morteros con fibras de Sisal variando la longitud, volumen y humedad inicial de las fibras “saturada” y “seca”. Los resultados demostraron que la resistencia a la flexión a los 63 días de edad es mayor en 10% en morteros sin fibras, además se determinó que la resistencia disminuía cuando la fibra tenía una humedad saturada. Se concluyó que la resistencia a flexión es mayor en especímenes con matrices de mortero con menor contenido de fibras.

Castro y Naaman (1981), junto con caracterizar las fibras de Maguey las incorporaron a probetas en fracciones de volumen de 5% a 12%; los resultados de los ensayos de flexión determinaron que el volumen de la fibra no influye en la resistencia a la primera grieta y que posterior al agrietamiento se origina un comportamiento elástico en especímenes con 7% de fibras de 300 mm que fueron alineadas

en los moldes. Las resistencias disminuyeron cuando las probetas fueron sometidas a ciclos de humedad y secado con variaciones de temperatura, aun así se reporta que expuestos a medios alcalinos no afecta su resistencia a la flexión.

Smith (1979), extrajo fibra de bambú, ocupándolas sin ningún tratamiento previo a la incorporación, el fraguado de la mezcla se retardaba debido a la glucosa, además la resistencia a flexión no presentaba mejorías significativas en comparación con hormigones sin fibras. Aplicándoles un tratamiento previo la resistencia a compresión aumento pero aun así fue menor que los especímenes sin fibras.

2.1.1 Hormigón en Estado Fresco

Se llama hormigón en estado fresco al material que permanece en estado fluido desde el momento en que todos los elementos básicos son mezclados hasta que inicia su endurecimiento, esto le permite ser un material que puede ser transportado, adoptar formas de moldes, y ser terminado sin segregación; por lo tanto es un material trabajable. En hormigones reforzados con fibras las propiedades que este tendrá en estado fresco dependerán de la geometría de las fibras y la dosificación de aquellas.

El agregar fibras naturales a la mezcla tiende a reducir la trabajabilidad, debido principalmente a la absorción de agua, incremento de área superficial y especialmente a la forma y tamaño de las fibras en relación con los otros agregados que componen la mezcla. Una mezcla muy seca tendrá problemas de compactación que originaran huecos y una distribución no uniforme de las fibras. En cambio una mezcla con alto contenido de agua disminuirá considerablemente la resistencia mecánica.

a) Trabajabilidad

En tecnología del hormigón, la trabajabilidad se emplea con dos acepciones distintas. La general lo define como un conjunto de propiedades que permiten manejarlo sin producir segregación, colocarlo en moldes y compactarlo adecuadamente. La trabajabilidad del hormigón reforzado con fibras depende del volumen que ocupen las fibras, su geometría, las dimensiones de los agregados y su cantidad relativa (Neville, 1996).

La segunda acepción define la trabajabilidad a través del asentamiento de la mezcla de hormigón medida por el cono de Abrams. A mayor cantidad de fibras el asentamiento será menor, al ser hormigón reforzado con fibras presenta ciertas dificultades, ya que la matriz es muy cohesiva y no fluye libremente.

b) Segregación

Se define como la separación de los componentes de una mezcla heterogénea, la distribución de esos componentes debe ser uniforme. Las principales causas de segregación son las diferencias de tamaños y densidades de cada componente de la mezcla.

Existen dos formas de segregación, la primera es cuando las partículas gruesas tienden a asentarse mucho más que las partículas finas, y la segunda cuando la lechada se separa de la mezcla. Estas dos son evitable escogiendo una mezcla de áridos con granulometría adecuada y manejar de forma cuidadosa el hormigón en su colocación (Neville, 1996).

Las microfibras previenen la segregación de la mezcla ya que la hacen una mezcla mucho más cohesiva. En cambio fibras que no sean de tamaño micro y presenten una alta relación de aspecto (longitud/diámetro) tendrán tendencia a aglomerarse lo que produce una segregación en la mezcla y aumentan la porosidad.

c) Exudación

Es un tipo de segregación en el cual una parte del agua de la mezcla tiende a ascender a la superficie de un hormigón recién colocado. Se trata de un caso de sumersión de partículas (Powers, 1939).

Como consecuencia de la exudación, es el elevado porcentaje de humedad en la parte superior de la masa de hormigón. Si el agua quedase atrapada en las zonas de contacto entre hormigones, provocaría que el material fuese poroso, débil y con poca durabilidad. El incorporar fibras reduce considerablemente la exudación en el hormigón fresco debido a la superficie específica de éstas.

2.1.2 Hormigón en Estado Endurecido

El hormigón experimenta un proceso de endurecimiento progresivo, que transforma al material de plástico a sólido, producto de un proceso físico - químico de larga duración.

Las propiedades dependen de las características y proporciones de los componentes y evolucionaran con el tiempo; influirán las condiciones ambientales a las que esté expuesta la estructura. Las propiedades más importantes son la resistencia y durabilidad.

En estado endurecido las fibras actúan como reductoras del agrietamiento. Como cualquier refuerzo secundario, tienden a evitar la propagación de grietas, debido a la cohesión que logran en el hormigón. Las fibras forman un refuerzo tridimensional que distribuye los esfuerzos de tracción, esto mejora los esfuerzos a impacto, flexión y tracción.

a) Resistencia

Se define como la capacidad que tiene el hormigón de resistir cargas por unidad de área. La resistencia dependerá de cómo haya sido diseñada la mezcla y que requisitos se requiera cumplir, la que está definida principalmente por la razón Agua/Cemento, de modo que son inversamente proporcionales, al disminuir esta relación, mayor será la resistencia.

El hormigón simple posee una excelente resistencia a la compresión, sin embargo, es frágil. Las fibras le proporcionan ductilidad y permiten mejorar propiedades como la tensión, flexión, impacto y tenacidad.

b) Durabilidad

Es la capacidad que tiene un material de resistir al paso del tiempo sin perder otras propiedades. En el hormigón dependerá de los esfuerzos que agreden al material como lo son esfuerzos mecánicos, físicos, químicos o biológicos. El hormigón reforzado con fibras tiene una mayor durabilidad ya que se reduce el espesor de fisuras por contracción plástica, secado y cambios térmico (Alvarado, 2002).

2.2 Retracción

La retracción se define como la deformación del hormigón, ya sea en estado fresco o endurecido, y se presenta durante las primeras horas a través de una disminución de volumen del hormigón en el proceso de fraguado; y en el hormigón endurecido días o meses después. La retracción se produce por la pérdida paulatina del agua en la mezcla de hormigón (Cedeño et. al, 2009). Al producirse la pérdida de agua se produce una deformación impuesta, la cual genera tensiones internas de tracción y conlleva a la fisuración por retracción.

Existen cinco tipos de retracción, las cuales son: retracción plástica, retracción autógena, retracción por secado, retracción térmica y retracción por carbonatación. Esta investigación se basará en la retracción hidráulica o retracción por secado, que es considerada particularmente como una de las principales causas de agrietamiento en la construcción en hormigón (Videla y Aguilar, 1999).

2.2.1 Tipos de Retracción

a) Retracción Plástica

Se produce cuando la pasta de cemento es plástica y experimenta una retracción volumétrica, cuya magnitud es del orden de 1% del volumen total del cemento deshidratado (García, 2011). Esta reducción se conoce como retracción plástica, porque se presenta mientras el hormigón está todavía en estado plástico y aún no ha adquirido resistencias significativas, la pérdida de agua por evaporación de la superficie del hormigón agrava la retracción plástica y puede llevar a un agrietamiento superficial. Sin embargo, si se evita por completo la evaporación inmediatamente después de la colocación del hormigón, se elimina el agrietamiento.

b) Retracción Autógena

La retracción autógena se diferencia de los otros tipos de retracción, ya que no se atribuye a la pérdida de agua, sino que a la reducción de volumen que esta experimenta al combinarse químicamente con el cemento. Esta reducción de volumen, de no existir aportes de agua externos que permitan compensarla, da origen a poros de vacío en la masa del hormigón y en consecuencia a fuerzas capilares capaces de generar retracción. El orden de magnitud de la retracción por auto desecamiento, en hormigones normales, de acuerdo a Neville (1995) varía entre 50 y 100 micrones por metro, no es necesario tomarla en cuenta como factor separado de la retracción por secado que normalmente incluye aquella retracción causada por cambios autógenos.

c) Retracción por Carbonatación

La retracción por carbonatación es producida por la reacción del CO₂ atmosférico, que penetra y se disuelve en el agua que contienen los capilares, con el hidróxido de calcio contenido en la solución, para formar carbonato de calcio más agua (Giani et al. 2008). Esta combinación química tiene un carácter contractivo ya que disuelve el agua que contiene los capilares, por lo cual el espesor de hormigón afectado por el disminuye su volumen inicial, generándose la denominada retracción por carbonatación. En general, el espesor afectado es pequeño, alcanzando solo algunos milímetros a la superficie en contacto con el aire. Sin embargo, por el confinamiento que produce el hormigón interior adyacente, esa capa queda sometida a tensiones de tracción, pudiendo fisurarse.

d) Retracción Térmica

El hormigón puede experimentar variaciones de volumen causadas por la temperatura y puede llegar a ser importante durante los primeros días después de la colocación del hormigón, donde el calor producido por la hidratación del cemento aumenta la temperatura del hormigón, durante el enfriado subsiguiente, el hormigón experimenta una retracción que crea un esfuerzo tensor en el hormigón (Castaño, 2009). En general, no conllevan riesgos estructurales y deben ser estudiados caso por caso, por ser atípicos.

e) Retracción Hidráulica

La retracción hidráulica, también denominada retracción por secado, se origina en sí, por el secado de la mezcla, lo que conlleva a la pérdida paulatina de agua por poros y capilares en la mezcla de hormigones o morteros.

García (2011), señala más precisamente que la retracción hidráulica se produce debido a un gradiente higrométrico con el aire circulante, si el entorno cuenta con una humedad relativa menor que la presente en el interior del hormigón, este material tiende a contraerse, produciendo el fenómeno de retracción.

Al cambiar las características del medio y este se encuentre más húmedo, el gradiente de humedad cambia de signo y la probeta aumenta su volumen (hinchamiento). Como se dijo con anterioridad este cambio de volumen genera fuerzas de tracción en el interior de la mezcla, produciendo fisuras y grietas, por lo que los estudios para predecir con certeza la deformación producida por retracción hidráulica son de suma importancia para que las estructuras no presenten problemas de durabilidad y servicialidad, ya que generan un impacto técnico, económico y de calidad en las obras de construcción en hormigón (Videla y Aguilar, 2005b). A edades tempranas es importante el proceso de curado en una obra de hormigón ya que de no existir aportes de agua externos que permitan compensar la pérdida de agua, en un principio, da origen a poros de vacío en la masa del hormigón y, en

consecuencias, a fuerzas capilares capaces de generar retracción en una temprana edad (Giani et al. 2008).

En otras palabras la retracción está relacionada principalmente con la remoción del agua absorbida de la pasta de cemento hidratada y, como se menciona con anterioridad, la gradiente de humedad con el medio ambiente es la responsable de este fenómeno.

En la figura 2.1 se puede apreciar la relación entre la pérdida de agua y la retracción. Para pastas puras, es decir sin áridos, las cantidades son proporcionales ya que no hay agua capilar y solamente se elimina el agua absorbida. Los hormigones que contienen alguna cantidad de agua en los poros de los agregados o en grandes cavidades (vacíos) presentan una variación mayor en la forma de las curvas de pérdida de agua-retracción (Munizaga, 2009).

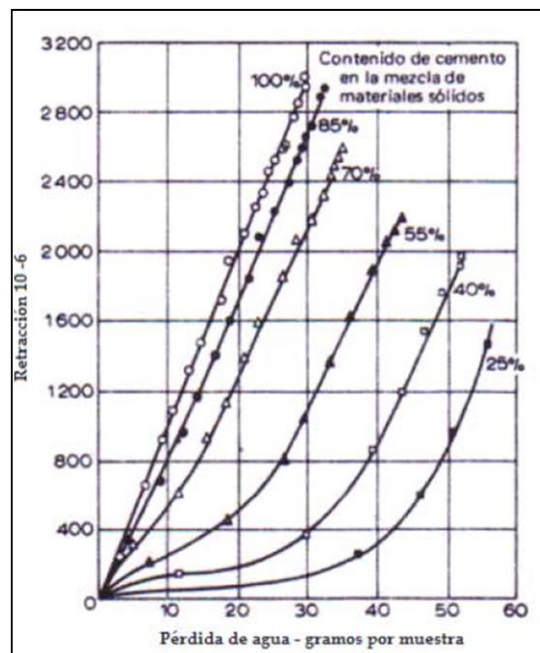


Figura 2.1. Relación entre retracción y pérdida de agua

Fuente: Neville, 1995.

2.2.2 Variables que afectan la Retracción Hidráulica

Para estudiar la retracción se debe tener en cuenta que son diversos los factores que afectan este fenómeno, en este punto se analizarán aquellos factores.

a) Tipo de Cemento

Neville (1995), concluye que el cemento tiene poca influencia en la retracción del hormigón. La finura del cemento no influye excepto en las fracciones gruesa de partículas mayores a $75\ \mu\text{m}$ (N° 200), según se muestra en la figura 2.2 estas tienen poca hidratación lo que las hace trabajar como áridos.

Investigando pastas de cemento con 183 tipos de cementos el Instituto Americano del Cemento (ACI 209,1999), determinaron que el cemento a utilizar tiene una incidencia considerable ya que entre más contenido de C_4AF o menor contenido de C_3A presenten los cementos la retracción disminuirá.

En cambio Videla y Aguilar el año 2000 investigando en Chile y luego corroborando esta investigación en 2001 determinaron que con cemento Portland puzolánicos se presenta una retracción rápida en el inicio que tiende a reducirse y estabilizarse en el tiempo, no así en los cementos Portland puros ya que la retracción inicial es lenta pero se mantiene durante el tiempo.

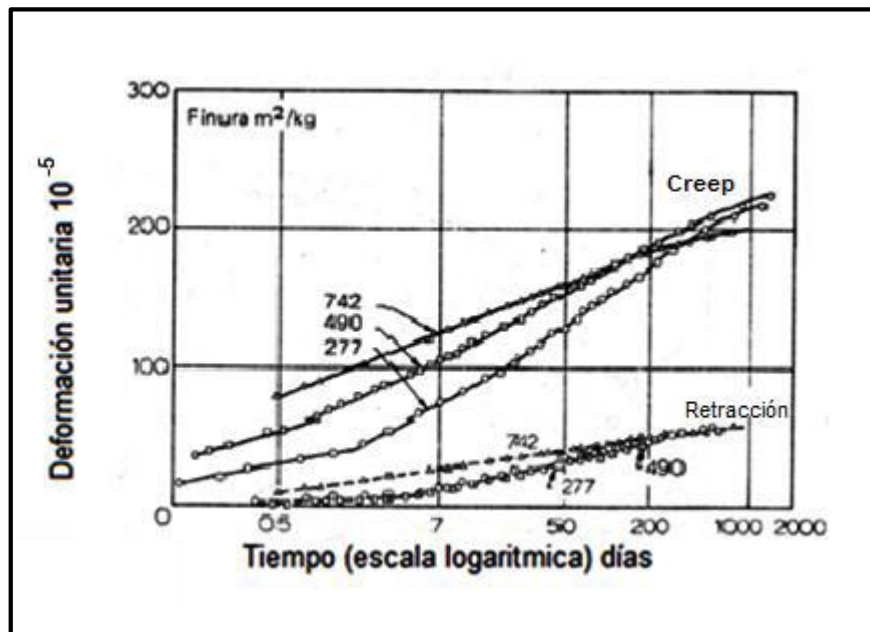


Figura 2.2. Retracción de hormigones elaborados con cementos de diferente finura

Fuente: Neville, 1995.

b) Dosis de Agua y Razón agua/cemento

La dosis de agua afecta la retracción ya que reducirá la cantidad agregado restrictivo. Por tanto según Neville (1995) la dosis de agua indicará la cantidad previsible de retracción, ya que la dosis de agua es un factor primordial. Es por esto que la relación entre retracción y la razón agua/cemento es directamente proporcional, a mayor razón agua/cemento, mayor será la retracción; según la figura 2.3 se establece la cantidad de agua evaporable y la velocidad que puede llegar a la superficie expuesta.

Si la retracción hidráulica depende de la cantidad de agua evaporable en poros y capilares de la pasta de cemento, entonces es más condicionante el volumen de agua de amasado que la razón de agua/cemento.

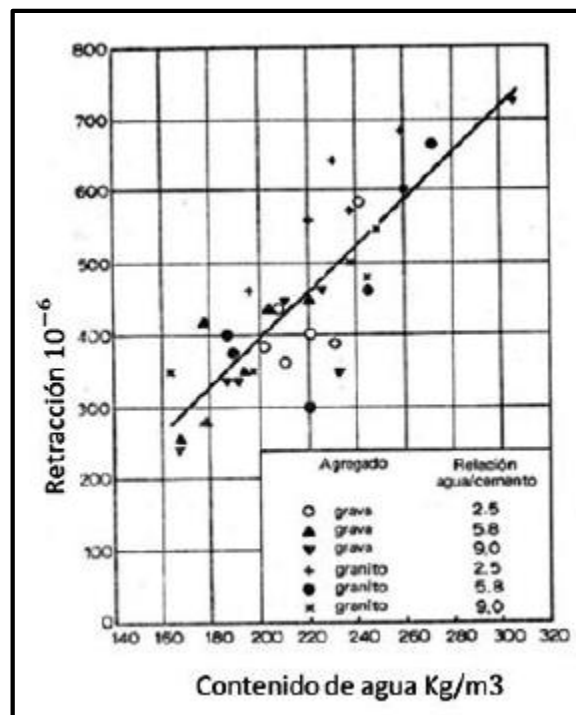


Figura 2.3. Relación entre el contenido de agua del hormigón fresco y la retracción por secado

Fuente: Neville, 1995.

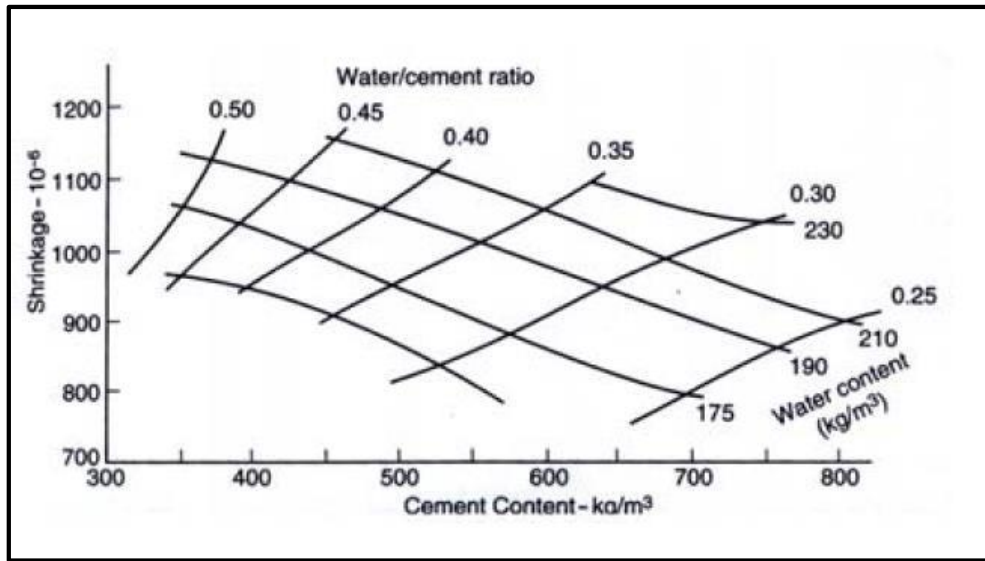


Figura 2.4. Relación entre el contenido de agua, contenido de cemento y razón a/c, con la retracción del hormigón curado a 28 días y secado a 450 días

Fuente: Neville, 1995.

c) Áridos

Los áridos al no manifestar cambios significativos en sus tamaños, toman importancia en la estabilidad volumétrica de la mezcla, estos restringen la retracción libre de la pasta de cemento, también permiten hacer mezclas más pobres de hormigón lo que conlleva a una retracción menor. Castaño (2009) observó que un contenido mayor de áridos con buenas características, como dureza, baja absorción, densidad alta, y superficie rugosa, permitirán el control de la retracción, ya que restringirán las deformaciones que se presenten en la pasta de cemento. También señala que además del volumen de áridos y su rigidez, depende también la forma del árido y el espacio entre partículas.

Solas y Giani en 2010 indicaron que el árido al conformar el esqueleto del hormigón, sus propiedades influyen de gran manera en la retracción; al utilizar áridos más rígidos, aumentando el tamaño máximo a utilizar o aumentando el árido grueso, se disminuye la retracción hidráulica del hormigón.

En la misma línea Videla y Aguilar (1999) demostraron que para una misma docilidad, el aumentar el tamaño máximo de los áridos permitirá reducir la superficie específica de estos, lo que trae en consecuencia, un aumento en el contenido inerte en la mezcla, permitiendo un incremento en la restricción interna, por tanto una menor retracción.

d) Aditivos y adiciones

Hay aditivos y adiciones que tienden a incrementar el volumen de los poros finos en el producto de hidratación del cemento, como los aditivos reductores de agua y los retardantes de fraguado, estos afectan la dispersión de las partículas de cemento que no contienen agua, ya que por ejemplo la

retracción por secado está relacionado directamente con el agua contenida en los poros pequeños. Por tanto los aditivos que sean capaces de filtrar los poros, provocaran una retracción por secado mayor (Munizaga, 2011).

e) Curado del Hormigón

Neville (1995), concluye que el resultado de muchas investigaciones respecto a este aspecto se contradice, pero en común tienden a reflejar que el periodo de curado no es un factor primordial en la retracción.

Un curado prolongado retrasara la retracción, pero el efecto del curado sobre la magnitud de retracción y fisuramiento, en el largo plazo es pequeño. En la pasta de cemento un curado prolongado provocara una retracción mayor, pero esta se volverá más fuerte y será capaz de resistir la tendencia a contraerse sin fisurarse.

f) Humedad del Ambiente

Afecta en gran cantidad la retracción del hormigón, en una menor humedad relativa, la mezcla sedera más agua al medio ambiente. Un hormigón colocado en un aire seco, se retraerá, pero en un ambiente saturado, como inmersión en agua este se expandirá, siempre que no exista retracción autógena (Neville, 1995).

g) Geometría del Elemento

Según Neville (1995) el tamaño del elemento influye en el último valor de retracción a obtener, ya que en elementos pequeños la velocidad de desarrollo de la retracción es mayor que en elementos grandes y el efecto de la forma del elemento estructural también influye sobre la retracción, pero su influencia es secundaria.

h) Tiempo de medición

Videla et al. (2001); en el estudio denominado "Calibración de modelos de predicción de la retracción hidráulica a hormigones fabricados con cemento chilenos" el cual evalúa y destaca la necesidad de calibrar los modelos de predicción de retracción hidráulica existentes a condiciones locales. El programa experimental ejecutado incluyo 8 mezclas de hormigón con similar resistencia, fabricados con cemento portland y portland puzolánicos. Los ensayos se realizaron en 72 probetas y la retracción hidráulica fue medida hasta los 448 días de secado, analizándose el efecto del tipo de cemento, asentamiento de cono, tamaño máximo del árido y dimensiones de la probeta.

Se concluye que a los 90 días de secado se logra medir aproximadamente un 91% de la retracción total. Los resultados obtenidos de la retracción en los distintos tiempos de secado se pueden observar en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Retracción hidráulica medida a diferentes tiempos de secado (mm/m)

Identificación del hormigón	Probeta (mm)	esh,1	esh,2	esh,5	esh,7	esh,14	esh,28	esh,56	esh,83	esh,112	esh,224	esh,360	esh,448
P-20/6-1	100x100x500	0,0649	0,0837	0,1560	0,1926	0,2659	0,4380	0,6024	0,7054	0,7774	0,8806	0,9179	0,9299
	75x75x285	0,0860	0,1153	0,1720	0,2180	0,3573	0,5373	0,7200	0,7520	0,8147	0,8153	0,8467	0,8747
P-40/6-1	100x100x500	0,0768	0,0938	0,1525	0,1888	0,2514	0,3779	0,5199	0,6150	0,6759	0,7877	0,8226	0,8328
	75x75x285	0,0880	0,1093	0,1613	0,1967	0,2940	0,4280	0,5900	0,6140	0,6780	0,6887	0,7587	0,7840
P-20/12-1	100x100x500	0,0402	0,0583	0,0935	0,1192	0,1837	0,4174	0,5371	0,6362	0,7243	0,8473	0,8723	0,8806
	75x75x285	0,0687	0,0947	0,1947	0,2367	0,3673	0,5615	0,6927	0,7673	0,8547	0,8860	0,9067	0,9253
P-40/12-1	100x100x500	0,0364	0,0375	0,0556	0,0616	0,1435	0,3333	0,4498	0,5534	0,6096	0,7020	0,7404	0,7685
	75x75x285	0,0390	0,0880	0,1270	0,1930	0,2570	0,4420	0,5490	0,6120	0,6770	0,7240	0,7360	0,7800
PP-20/6-1	100x100x500	0,0766	0,1029	0,1252	0,1949	0,3161	0,4681	0,6400	0,7141	0,7877	0,9248	0,9676	0,9670
	75x75x285	0,1407	0,1607	0,2633	0,3147	0,4660	0,5620	0,6973	0,7660	0,8233	0,8933	0,9700	0,9740
PP-20/6-2	100x100x500	0,0362	0,0777	0,1601	0,1897	0,3154	0,5004	0,6382	0,8379	0,8384	0,9536	0,9893	0,9889
	75x75x285	0,1113	0,1187	0,2607	0,3127	0,4913	0,7253	0,8967	0,9620	0,9700	1,0087	1,0340	1,0513
PP-40/6-1	100x100x500	0,0629	0,0902	0,0828	0,1431	0,2618	0,3871	0,4864	0,5362	0,6475	0,7708	0,8005	0,8016
	75x75x285	0,1120	0,1373	0,2627	0,2973	0,4347	0,5200	0,6053	0,6500	0,7000	0,7707	0,7620	0,7907
PP-40/6-2	100x100x500	0,0533	0,0797	0,1592	0,1978	0,3020	0,4911	0,6159	0,8007	0,8145	0,8879	0,9082	0,9118
	75x75x285	0,0800	0,1360	0,2880	0,3320	0,5240	0,6720	0,8160	0,9040	0,8960	0,9360	0,9600	0,9840
PP-20/12-1	100x100x500	0,0688	0,0793	0,1509	0,1793	0,2612	0,5556	0,7194	0,8246	0,9038	1,0147	1,0669	1,0746
	75x75x285	0,0753	0,1207	0,2153	0,2693	0,4453	0,7000	0,8593	0,9333	1,0180	1,0760	1,0840	1,1320
PP-20/12-2	100x100x500	0,0328	0,0596	0,1654	0,2793	0,4554	0,6230	0,8187	0,9333	0,9824	0,9873	1,0078	1,0495
	75x75x285	0,0573	0,0940	0,2207	0,2720	0,4633	0,7080	0,9213	1,0353	1,0647	1,2273	1,2287	1,2307
PP-40/12-1	100x100x500	0,0417	0,0480	0,0795	0,0810	0,1455	0,4072	0,5315	0,6129	0,6830	0,7708	0,7978	0,8141
	75x75x285	0,0567	0,0907	0,1960	0,2493	0,4053	0,6293	0,7553	0,8313	0,9080	0,9400	0,9753	0,9860
PP-40/12-2	100x100x500	0,0301	0,0480	0,1592	0,2431	0,3846	0,5040	0,6462	0,7310	0,7634	0,8243	0,8774	0,8866
	75x75x285	0,0760	0,1080	0,2113	0,2820	0,4420	0,6333	0,8053	0,8900	0,9607	0,9667	1,0073	1,0193

Fuente: Carlos Videla, Juan P. Covarrubias, Cristian Masana "Calibración de modelos de predicción de la retracción hidráulica a hormigones fabricados con cementos chilenos", 2001.

Con los resultados obtenidos de la tabla anterior para las probetas de dimensión 75 x 75 x 285 mm. se halló el valor de la retracción medida a los 90 días de secado, en comparación con los 448 días totales de la investigación, lo que determinó que los 90 días de medición representaban un 91% de la retracción total.

2.2.3 Fisuración por causa de la Retracción Hidráulica

Las fisuras por retracción, tienden a una anchura constante y un trazado limpio sin entrecruzarse. Estas fisuras son muy estrechas del orden de 0,05 a 0,1 mm de ancho, no son profundas y penetran al hormigón de 4 a 10 mm.

Usualmente aparecen desde los 14 a 21 días del vaciado del hormigón, pero el riesgo de aparición es constante en condiciones normales hasta años después del vaciado, esto depende de la sequedad

atmosférica ya que pondrían aparecer a los dos o tres años. La fisuración influye en la rigidez del elemento estructural.

2.2.4 Método de Medición Directa

Retracción hidráulica o por secado según norma chilena NCh. 2221 Of. 1994 “Hormigón y mortero – Método de ensayo – Determinación de cambios de longitud”, establece un procedimiento de ensayo que permite determinar los cambios de longitud de morteros y hormigones debido a factores externos distintos a la aplicación de fuerzas y a cambios de temperatura. La medición del cambio de longitud permite determinar la expansión o contracción volumétrica potencial de un mortero u hormigón.

La norma se basa en la confección de probetas primaticas, cuyas dimensiones varían de acuerdo al tamaño del árido utilizado para la mezcla, es por esto que se consideran tres moldes de probetas distintas de ensayo, las cuales son:

- Para morteros y pastas de cemento la dimensión del molde es: 25 x 25x 285 mm.
- Para hormigones con árido de tamaño máximo nominal (D_n) menor o igual a 50 (mm): 100 x 100 x 285 mm.
- Para hormigones con árido de tamaño máximo absoluto (D_a) menor o igual a 25 (mm) se puede usar probetas de 75 x 75x 285 (mm).

Cada probeta debe tener una longitud efectiva de $250 \pm 2,5$ mm. Esta longitud es la distancia entre los extremos internos de los topes de acero inoxidable.

En los extremos de cada probeta deben ir dos insertos empotrados, que tienen la función de fijar la probeta al instrumento de medición, llamado “medidor de longitud”.

Las probetas junto con los insertos son colocadas en el instrumento de medición, el cual posee un soporte metálico que permite apoyar las probetas, además sostiene un dial micrométrico que permite efectuar lecturas de las variaciones de longitud que experimenta la probeta.

Luego de haber realizado las lecturas, se debe calcular el cambio de longitud de probeta expresada en milímetros por metro (mm/m).

2.3 Generalidades de las Fibras de Coco

La fibra de coco es de origen natural obtenida del fruto que da la palmera de coco. El coco es un fruto cubierto de fibras que van desde los 20 a 30 cm de longitud con forma ovoide, y pueden llegar a pesar 2,5 kilogramos. La fibra de coco está constituida de fibras de celulosa, lignina y hemicelulosa. Dentro de las fibras vegetales es la con mayor contenido de lignina, además de tener bajo contenido de celulosa, lo que la conlleva a ser una fibra resistente, fuerte y duradera.

El fruto es un 35% de cascara con fibra (mesocarpio), un 12% de hueso (endocarpio), 28% carne y 25% agua. El mesocarpio o estopa de coco tiene numerosos usos como por ejemplo la fabricación de ropa resistente al agua de mar y en la producción de cepillo, cordeles y filtros.

Pertenece al grupo de las fibras duras como lo son el sisal, abacá y henequén. Aunque la resistencia es baja a la tracción en estado seco en comparación al sisal, esta disminuye menos en inmersión en agua, solo disminuye un 25%. Su flotabilidad extrema y su resistencia al ataque de bacterias es única, además de ser imputrescible e incombustible, tiene alta resistencia en medios alcalinos y microbiológicos.

a) Proceso de Producción

Las fibras naturales tienen un bajo costo de producción en comparación a las otras fibras. Requieren menor energía en el proceso de extracción, siendo este un proceso mecánico.

Las fibras son usualmente extraídas disolviendo los taninos y pectinas en agua que son componentes de la fruta en menor porcentaje, esto hace que las fibras se separen. También pueden ser extraídas por medios mecánicos.

Las fibras se encuentran fuertemente ligadas a los otros componentes de la fruta, es por esto que se desarrollan métodos de extracción mecánicos a través de cepillos y molinos precisos que permiten la extracción.

b) Propiedades de las Fibras de Coco

En búsqueda de un refuerzo que logre un material compuesto que logre excelentes prestaciones, se han estudiados diversos tipos de fibras.

Las fibras necesitan tener apropiadas propiedades mecánicas para ser consideradas como posibles refuerzos en matrices de hormigón. En la tabla 2.2 Se muestran distintos tipos de fibras con sus principales características.

Tabla 2.2. Tipos de Fibras y sus propiedades

Tipo de Fibra	Diametro Equivalente (mm)	Densidad (Kg/m ³)	Resistencia a Traccion (Mpa)	Módulo de Young (Gpa)	Alargamiento de Rotura (%)
Asbesto	0,0015 a 0,02	3200	600 a 1000	83 a 138	1 a 2
Algodón	0,2 a 0,6	1500	400 a 700	4,8	3 a 10
Vidrio	0,005 a 0,15	2500	1000 a 2600	70 a 80	1,5 a 3,5
Grafito	0,008 a 0,009	1900	1000 a 2600	230 a 415	0,5 a 1
Nylon	0,02 a 0,4	1100	760 a 820	4,1	16 a 20
Polipropileno	0,02 a 1	900 a 950	900 a 950	3,5 a 15	5 a 25
Carbon	-	1400	4000	230 a 240	1,4 a 1,8
Polietileno	0,025 a 1	960	200 a 300	5	3
Sisal	0,08 a 0,3	760 a 1100	228 a 800	11 a 27	2,1 a 4,2
Coco	0,11 a 0,53	680 a 1020	108 a 250	2,5 a 4,5	14 a 41
Yute	0,1 a 0,2	1030	250 a 350	26 a 32	1,5 a 1,9
Acero	0,15 a 1	7840	345 a 3000	200	4 a 10

Fuente: ACI 544.5R, 2010.

2.4 Fibras de Coco como Refuerzo

El uso de este tipo de fibras no es nuevo como un refuerzo en el área de la construcción, aquí se muestran diferentes investigaciones que utilizaron la fibra de coco como refuerzo.

Paramasivam & Nathan (1984), remplazaron parcial o totalmente las fibras de asbesto por las de coco en Singapur produciendo láminas acaneladas de concreto. Las láminas producidas en laboratorio tenían un espesor 10 mm de espesor y fueron ensayadas a flexión. La laminas ensayas con una fracción de 3% de volumen y un largo de fibra de 25mm lograban mayores módulos de ruptura. Se observó que la fibra fallaba por extracción, además se hicieron unas pruebas de conductividad térmica donde las con fibra coco presentaron 0,68W°K/m en cambio las de asbesto 0,65W°K/m y en las pruebas de absorción de sonidos también son mayores las propiedades.

También Hussin y Zakaria (1990), utilizaron la fibra de coco como refuerzo en placas planas y acanaladas de 10mm con razón A/C= 0,35 y con contenidos de fibras de 1 a 6%. Las placas se mantuvieron en ambiente natural por 3, 6 y 12 meses. Se determinó que la resistencia a flexión aumenta acorde aumenta el porcentaje de fibras, siendo un 4% el con mayor resistencia, valores mayores que este disminuían la resistencia. También redujeron su resistencia pos agrietamiento en un 30%.

Savastano (1990), usa las fibras como refuerzo en morteros con base de cementos Portland. Ocupando longitudes de fibras de 38,2 y 9,7 mm, otras variables fueron la condición inicial de humedad de las fibras siendo saturadas o secas, la fracción de volumen a ocupar y la razón A/C de la mezcla. Los resultados obtenidos indicaron que la resistencia al impacto aumenta acorde aumentaba la fracción de volumen a ocupar por fibras, pero disminuía la resistencia a compresión; con una fracción de 3,2%

se logró el mayor valor a flexión y tensión, el mayor valor para la resistencia al impacto se logró con 4,4%. Respecto al mortero sin fibra se logró un aumento en un 165 y 400% respectivamente. La condición inicial de humedad no demuestra una gran diferencia. Las pruebas con fibras más largas de 38,2 mm lograron mayor resistencia a flexión y compresión, mientras que al impacto no influye el largo.

Paricaguan (2015), utilizó fibras naturales de coco como agregado sustituto de una parte del agregado fino en la elaboración hormigones reforzados, utilizó dos tamaños de fibras uno corto entre 3 y 4cm, y uno largo entre 5 y 6cm, además otra variable fue el porcentaje de fibras en la mezcla. La resistencia a compresión para probetas con tamaño corto y largo con un porcentaje de 2,5% de aditivo de fibras fue de 39,5 y 37 MPa respectivamente, para las de 5% de concentración fue de 36,5 y 37 MPa y para las de 10% de concentración fue de 27,5 y 30,5 MPa respectivamente. La resistencia a tracción en especímenes reforzados con un 2,5% fue de 4,8MPa para un tamaño largo.

Macías (1985) investigando el uso del fibrequen en hormigones, realizó ensayos con hormigones reforzados con fibra de coco, donde la resistencia a la compresión con 1% de fibras en la mezcla y curado húmedo, el hormigón se comportó tan bien como lo hizo el hormigón patrón sin fibras. En ensayos donde se suspendió el curado húmedo a los 7 días, el hormigón patrón sufrió pérdidas de resistencias en edades mayores mientras que los hormigones reforzados continuaron presentando pequeños incrementos de resistencia con el tiempo, esto lo atribuye a poder utilizar el agua absorbida por las fibras para usarse como hidratación del cemento en el tiempo. Por lo tanto concluyó que cuando sea necesario suspender el curado húmedo a edades tempranas la incorporación de fibras puede favorecer. También la resistencia a tracción por flexión aumentó entre un 5 a 25% en hormigones reforzados con 1% de fibras.

CAPITULO 3. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1 Generalidades

A continuación se detalla la estrategia, variables, procedimientos y requisitos para determinar cómo se comporta el hormigón al agregar un refuerzo como lo es la fibra de coco; con las variables se obtendrá la factorial de experimento lo que permitirá conocer la cantidad y tipos de hormigón que habrá que fabricar.

En la siguiente metodología se estudiara el comportamiento mecánico de los hormigones fibroreforzados con fibras de coco, caracterizando su resistencia a la compresión, flexotracción, y el comportamiento de su retracción hidráulica en función de la cantidad de fibras agregadas en relación al contenido de árido en la mezcla de hormigón.

Se detallaran los ensayos necesarios para llevar a cabo esta investigación de manera de cuantificar el efecto de la incorporación de fibra de coco al hormigón, donde se efectuarán ensayos comparativos entre un hormigón patrón, sin contenido de fibras y un hormigón fibroreforzados con fibras de coco las cuales serán agregadas con distintos porcentajes respecto el contenido de áridos.

El diseño de esta investigación se divide en tres etapas, en primer lugar se mencionan los materiales a utilizar, donde se definirán las variables independiente y las variables dependientes.

Luego la realización del diseño, en donde se señalara la cantidad de muestras y el número de réplicas de las probetas requeridas para realizar los ensayos, esto definido por medio del factorial de experimento.

Por último se presentan los ensayos que se realizaran y los equipos que se utilizaran para los ensayos de hormigón reforzado con fibras de coco.

3.2 Materiales a Utilizar

Para realizar la mezcla de hormigón reforzado se manipularan los siguientes materiales:

a) Cemento

El cemento a utilizar en la presente investigación corresponde a un portland puzolánico grado corriente, nombre comercial “Melón Especial”; este cumple según norma NCh 148 Of. 68. “Cemento – Terminología, clasificación y especificaciones generales”.

b) Agua

El agua a utilizar será del tipo potable que deberá cumplir con los requisitos para el amasado de morteros y hormigones dados por la norma NCh 1498 Of. 2012. “Hormigón - Agua de amasado – Requisitos”.

c) Áridos

El árido a utilizar será un árido combinado entre un grueso “Gravilla” y un fino “Arena”, con un tamaño máximo nominal de 20 mm. obtenido de la planta Conovia, Tabolango. Deben cumplir los requisitos de la norma NCh 163 Of. 79. “Áridos para morteros y hormigones”.

d) Fibra de Coco

Fibra de origen natural obtenida de proveedor local, con diámetro de 0,11 a 0,53 mm. y largos de 20 y 40 mm.

Se utilizará como remplazo en porcentajes de 2% y 4% respecto al volumen de los áridos finos.

3.3 Definición de Variables

3.3.1 Variables Independientes

Las variables independientes de esta investigación corresponden a:

a) Cantidad de Fibras de Coco

Es una variable numérica, cuyos porcentajes a variar son 0%, 2%, y 4%, que según revisión bibliográfica son los porcentajes que mejor respuesta dieron en investigaciones con otros tipos de fibras, estas serán remplazadas respecto al volumen del árido fino.

b) Tamaño de la Fibra de Coco

Es una variable categórica donde se consideran 2 tamaños distintos de fibra de coco. Una fibra corta de 20 mm. y una fibra larga de 40 mm. ambos tamaños de fibra con diámetro de 0,11 a 0,53 mm.

c) Tiempo

Las mediciones de retracción se harán a los 4, 7, 14, 21, 28, 35, 49 y 90 días. Los 90 días implica un tiempo mínimo de días requeridos para obtener estimaciones de exactitud, ya que a este tiempo de secado se logra medir un 91 % de la retracción total.

3.3.2 Variables Dependientes

Se definen estas variables, como las variables a investigar, ya que serán los parámetros de medición que darán respuesta a la investigación estos son los ensayos de retracción hidráulica, como estudio complementario la resistencia a la compresión.

a) Retracción Hidráulica

Se obtendrá bajo el ensayo que se hace mediante la norma NCh 2221 Of. 94 “Hormigón y mortero – Método de ensayo – Determinación de los cambios de longitud”, que establece un procedimiento para determinar los cambios de longitud del hormigón endurecido debido a factores externos distintos a la aplicación de fuerzas y a cambios de temperatura. Esta medición permite determinar la expansión o contracción volumétrica del hormigón.

b) Resistencia a Compresión

Se obtendrá bajo el ensayo que se hace mediante la norma NCh 1037 Of. 77 “Hormigón – Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas”, que establece el procedimiento para efectuar el ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas de hormigón.

3.4 Factorial Experimental

Ya siendo fijados los parámetros dependientes e independientes, se define la factorial experimental de la investigación, el cual determinara la cantidad de hormigones a fabricar con distintos porcentajes de fibras de coco y distintos tamaños de esta; los hormigones serán sometidos a diferentes ensayos, que serán descritos y analizados.

A. Geometría Fibra de Coco (G):

- G_C: Tamaño Corto: 20 mm. / Diámetro: 0,11 a 0,53 mm.
- G_L: Tamaño Largo: 40 mm. / Diámetro: 0,11 a 0,53 mm.

B. Porcentaje de Fibra (P):

- P_{0%}: 0% de fibra agregada en remplazo de la masa del árido fino.
- P_{2%}: 2% de fibra agregada en remplazo de la masa del árido fino.
- P_{4%}: 4% de fibra agregada en remplazo de la masa del árido fino.

C. Tiempo de medición de los ensayos:

- Retracción Libre: 4, 7, 14, 21, 28, 35, 49, y 90 días.
- Compresión: 28 días.

La tabla 3.1. muestra las variables independientes con las diferentes cantidades y la combinación entre ellas.

Tabla 3.1. Factorial de experimento

FACTORIAL EXPERIMENTAL						
Porcentaje de Fibra		P _{0%}	P _{2%}		P _{4%}	
Geometría Fibra		—	G _C	G _L	G _C	G _L
TIEMPO (Días)	4	x	X	x	x	x
	7	x	X	x	x	x
	14	x	X	x	x	x
	21	x	X	x	x	x
	28	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y
	35	x	X	x	x	x
	49	x	X	x	x	x
	90	x	X	x	x	x

Fuente: Elaboración propia.

En donde:

X: 3 repeticiones de ensayo de Retracción hidráulica.

Y: 3 repeticiones de ensayo de Resistencia a la Compresión.

Según la factorial de experimento se elaboraran 4 hormigones distintos más un hormigón patrón, el cual tendrá 0% de fibras de coco en función al volumen del árido fino. Para cada hormigón se elaboraran 3 probetas para ensayar a compresión, 3 para ensayar a flexotracción y 3 para ensayar a retracción, por lo tanto el total de probetas son 45 unidades.

3.5 Ensayos aplicados a Hormigón Reforzado

3.5.1 Retracción Hidráulica

Este ensayo se realiza bajo el procedimiento que determina la norma NCh 2221 Of. 94, que establece un procedimiento para determinar los cambios de longitud del hormigón endurecido debido a factores externos distintos a la aplicación de fuerzas y a cambios de temperatura. En esta investigación se determinará la retracción hidráulica a 15 probetas, estas probetas serán prismas de 75 x 75 x 285 mm con una longitud efectiva de 250 mm.

Las mediciones de este ensayo se realizarán a través del aparato medidor, este consta de una plataforma y un soporte de acero, el cual posee un dial micrométrico donde realizan las lecturas que determinará los cambios longitudinales de las probetas. Figura 3.1.

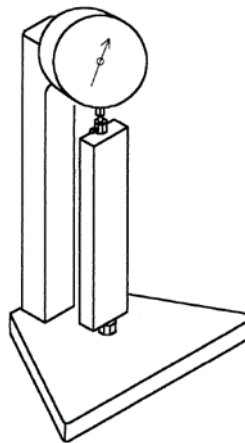


Figura 3.1 Equipo medidor de cambios de longitud

Fuente: NCh 2221. Of 94.

3.5.2 Resistencia a la Compresión

El ensayo es realizado bajo el procedimiento que determina la norma NCh 1037 Of. 77, donde se establece el método para efectuar el ensayo a la rotura por compresión de probetas cúbicas y cilíndricas de hormigón. En esta investigación se determinara la resistencia a 15 probetas confeccionadas y curadas según NCh 1017 Of. 75; las probetas para esta investigación serán cúbicas con aristas de 150 mm., además el ensayo se realizará a los 28 días.

Para llevar a cabo este ensayo el equipo a utilizar es una prensa universal equivalente a la que se muestra en la figura 3.2 propiedad de la Universidad de Valparaíso.

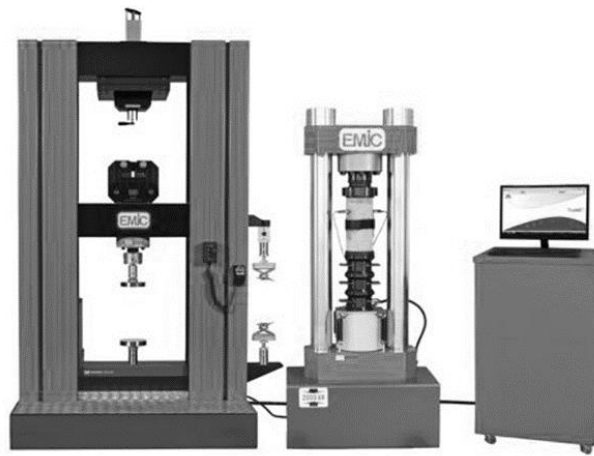


Figura 3.2 Prensa Universal

Fuente: Imagen referencial.

3.6 Metodología de Trabajo

Para el desarrollo de esta investigación se estudiarán diferentes propiedades del hormigón en su estado fresco como en estado endurecido, para esto es necesario realizar diferentes ensayos.

3.6.1 Retracción Libre

Las mediciones del ensayo se realizarán respetando los periodos que especifica la norma, hasta el día 90. La tabla 3.2 muestra el cronograma de lecturas a realizar a las probetas de acuerdo a la edad del hormigón.

Tabla 3.2. Planificación ensayo de retracción libre

LECTURA	ESTADO DEL HORMIGON	TIEMPO DE LECTURA (DIAS)	EDAD DEL HORMIGON (DIAS)
L ₀ CURADO	Periodo de Curado	0	1
L ₇ CURADO	Periodo de Curado	7	8
L ₄ SECADO	Periodo de Secado	4	11
L ₇ SECADO	Periodo de Secado	7	14
L ₁₄ SECADO	Periodo de Secado	14	21
L ₂₁ SECADO	Periodo de Secado	21	28
L ₂₈ SECADO	Periodo de Secado	28	35
L ₃₅ SECADO	Periodo de Secado	35	42
L ₄₉ SECADO	Periodo de Secado	49	56
L ₉₀ SECADO	Periodo de Secado	90	97

Fuente: Elaboración propia.

Durante el periodo de secado la norma establece efectuar mediciones a los 4, 7, 14, y 28 días, y 8, 16, 32 y 64 semanas; pero señala que se puede especificar otras edades por lo que las mediciones de esta investigación se realizaran a los 4, 7, 14, 21, 28, 35, 49 y 90 días, además de las mediciones iniciales.

a) Proceso de Medición

1º Medición inicial

Después de ser desmoldadas las probetas, se deben sumergir en agua saturada con cal, a una temperatura de 20 ± 1 °C por un mínimo de 30 minutos, con el fin de minimizar las variaciones por temperatura.

A la edad $24 \pm 0,5$ horas después del mezclado de agua con el cemento, proceder a efectuar las siguientes operaciones:

- i. Leer el dial del aparato medidor con la barra patrón y registrar como L_p .
- ii. Retirar una probeta del baño de inmersión.
- iii. Secar previamente con un paño las piezas de tope de la probeta y colocarla húmeda en el aparato medidor.
- iv. Girar la probeta lentamente en el aparato medidor mientras se lee el dial. Registrar la menor lectura del dial como L_0 , si el giro provoca una variación en la lectura.
- v. Expresar la diferencia de longitud inicial L_i , con aproximación a 0,0025 mm, como la diferencia entre las medidas L_p y L_0 .
- vi. Devolver la probeta al baño y repetir las operaciones desde (ii) para cada una de las siguientes probetas.

2º Periodo de Curado

Después de la medición inicial de comparación, se debe almacenar las probetas en agua saturada con cal (20 ± 3 °C) hasta que hayan alcanzado 7 días incluyendo el periodo de enmoldado.

b) Cambio de Longitud de la Probeta

Calcular el cambio de longitud de cualquier probeta, a cualquier edad, como sigue:

$$L = \frac{Lx - Li}{G}$$

Ecuación 3.1

En donde:

L = cambio de longitud de la probeta a cualquier edad (mm/m);

Lx = diferencia entre las lecturas de la probeta y la barra patrón a la edad x , (mm);

L_i = diferencia inicial entre las lecturas de la barra patrón L_p y de la probeta L_0 , mm;

G = longitud efectiva de medida (0,250 m).

Si el valor de la deformación unitaria es negativo, indica retracción hidráulica en la probeta; si el valor es positivo, indica una expansión hidráulica, fenómeno que solo ocurre en el periodo de curado.

3.6.2 Ensayo de Compresión

El ensayo se realizara según la norma NCh. 1037 Of. 77, cuando el hormigón cumpla los 28 días de edad.

El proceso de medición es el siguiente:

a) Medición de las probetas

- i. Colocar el cubo con la cara de llenado en un plano vertical frente al operador.
- ii. Medir los anchos de las cuatro caras laterales del cubo (a_1 , a_2 , b_1 y b_2).
- iii. Medir las alturas de las cuatro caras laterales (h_1 , h_2 , h_3 y h_4).
- iv. Expresar medidas en mm aproximando a 1 mm.

b) Ensayo:

- i. Limpiar la superficie de las placas y de las caras de ensayo de la probeta.
- ii. Colocar la probeta sobre la placa inferior alineando su eje central con el centro de esta placa.
- iii. La cara de llenado debe quedar perpendicular a la placa inferior y frente al operador.
- iv. Asentar la placa superior sobre la probeta, guiándola suavemente con la mano, para obtener un apoyo uniforme.
- v. Aplicar la carga en forma continua sin choques, a una velocidad uniforme. (rotura franca en un tiempo igual o mayor a 100 s).
- vi. Registrar la carga máxima P , expresada en N (kgf).

c) Expresión de resultados:

- i. Calcular la sección de ensayo según:

$$S = \frac{(a_1 + a_2)}{2} * \frac{(b_1 + b_2)}{2} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

- ii. Calcular la resistencia a compresión como la tensión de rotura según:

$$R = \frac{P}{S} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

En donde:

R = tensión de rotura, N/mm² (kgf/cm²);

P = carga máxima aplicada por la máquina de ensayo, N (kgf);

S = sección de ensayo, mm² (cm²).

- iii. Expresar los resultados en N/mm
- ²
- (kgf/cm
- ²
-) con una aproximación inferior o igual a 0,5 N/mm
- ²
- (≈ 5 kgf/cm
- ²
-).

CAPITULO 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 Generalidades

En este capítulo se presentaran los trabajos realizados en los laboratorios de hormigón pertenecientes a la Universidad de Valparaíso, lo que consta de la granulometría de los áridos, la dosificación de los hormigones y los ensayos para determinar las diferentes propiedades.

4.2 Caracterización de los Agregados

Para la elaboración del hormigón se utilizara arena, gravilla y fibra de coco, las que presentan las siguientes características.

4.2.1 Granulometría del Árido Combinado

La tabla 4.1 muestra la granulometría del árido combinado obtenida en el laboratorio.

Tabla 4.1. Árido combinado

TAMIZ		% QUE PASA PROMEDIO		% QUE PASA	% QUE PASA	% BANDA GRANULOMETRICA NCh 163 Of. 2013	
ASTM	NCh 163 Of. 2013	GRAVA	ARENA	ARENA REDUCIDA	ARIDO COMBINADO		
3/4	19	100%	100%	100%	100%	100%	100%
3/8	9,5	21%	100%	100%	54%	55%	65%
4	4,75	1%	79%	100%	42%	35%	42%
8	2,36	1%	59%	75%	31%	28%	35%
16	1,18	1%	47%	59%	25%	21%	28%
30	0,63	1%	37%	47%	20%	14%	21%
50	0,315	1%	18%	23%	10%	3%	5%
100	0,16	1%	4%	5%	2%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

La figura 4.1 grafica las bandas granulométricas recomendadas por la NCh. 163 Of. 2013 para árido combinado y la granulometría para la dosificación de hormigones.

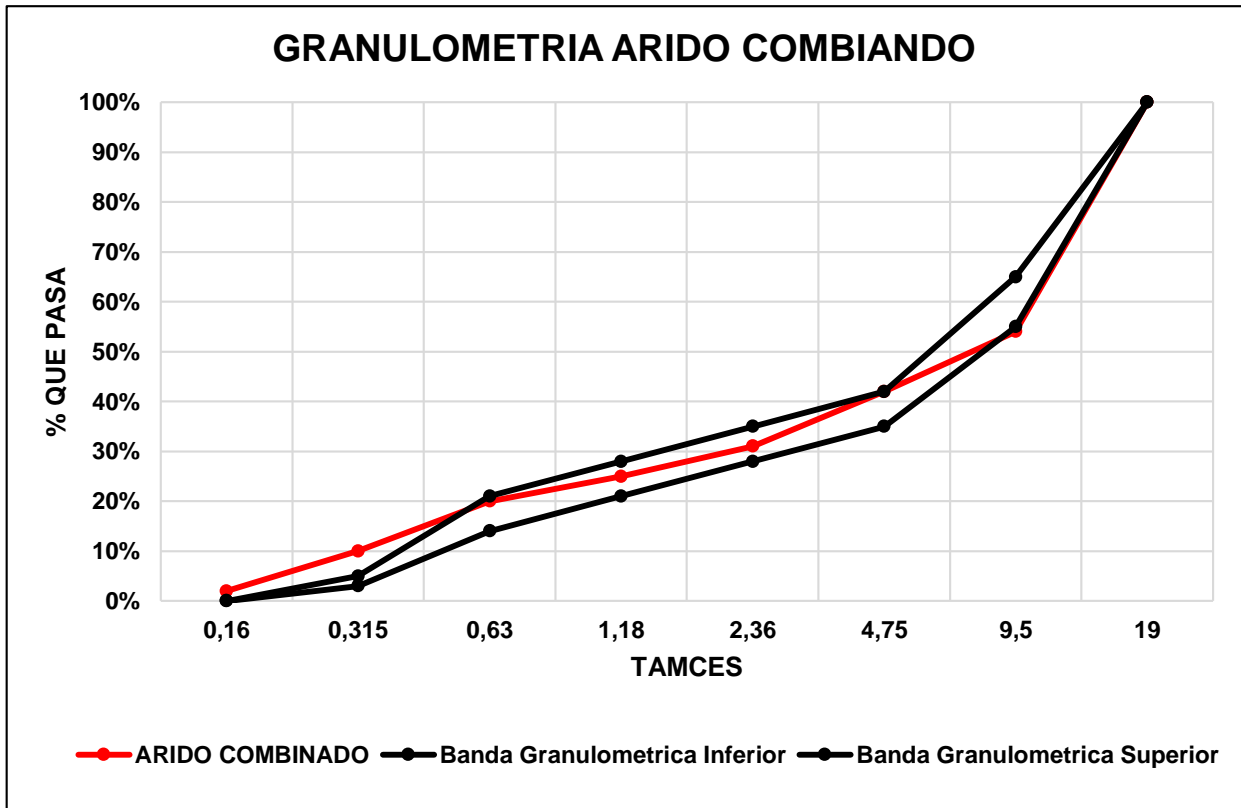


Figura 4.1 Granulometria

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la proporción de los áridos, se utilizó la curva granulométrica anterior, la que determinó una proporción de 58% gravilla y 42% arena.

4.2.2 Densidad Gravilla

La determinación de la densidad aparente de la gravilla se hizo por medio de la norma NCh. 1116 Of. 77 “Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente” y para la obtención de la densidad real y neta se visitó la norma NCh. 1117 Of. 77 “Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las gravas”.

a) Densidad Aparente Suelta:

La tabla 4.2 muestra la densidad aparente suelta promedio de tres muestras de gravilla.

Tabla 4.2. Densidad aparente suelta gravilla

	MUESTRAS		
	1	2	3
Peso Recipiente (g)	3639		
Peso Gravilla (g)	8648	8706	8844
Peso Recipiente + Gravilla (g)	12287	12345	12483
Volumen Recipiente (cc)	5173		
ρ_{as} (g/cc)	1,67	1,68	1,71
ρ_{as} (Kg/m ³)	1672	1683	1710
Promedio ρ_{as} (Kg/m³)	1690		

Fuente: Elaboración propia.

b) Densidad Aparente Compactada:

La tabla 4.3 muestra la densidad aparente compactada promedio de tres muestras de gravillas.

Tabla 4.3. Densidad aparente compactada gravilla

	MUESTRAS		
	1	2	3
Peso Recipiente (g)	3639		
Peso Gravilla (g)	9560	9565	9627
Peso Recipiente + Gravilla (g)	13199	13204	13266
Volumen Recipiente (cc)	5173		
ρ_{ac} (g/cc)	1,85	1,85	1,86
ρ_{ac} (Kg/m ³)	1848	1849	1861
Promedio ρ_{ac} (Kg/m³)	1850		

Fuente: Elaboración propia.

c) Densidad Real, Neta y absorción:

La tabla 4.4 muestra las densidades reales, netas y la absorción del promedio de muestras de gravilla.

Tabla 4.4. Densidades y absorción gravilla

	PROMEDIO MUESTRAS
A (g)	667,5
B (g)	1064,5
C (g)	1052
$\rho_{R_{SSS}}$ (Kg/m ³)	2681
ρ_{R_s} (Kg/m ³)	2650
ρ_N (Kg/m ³)	2736
α %	1,2 %

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

A = masa del árido saturado superficialmente seco menos la masa del agua desplazada (g).

B = masa del árido saturado superficialmente seco (g).

C = masa del árido seco (g).

ρ_{RT} = Densidad real del árido saturado superficialmente seco (kg/m³).

ρ_{RS} = Densidad real del árido seco (kg/m³).

ρ_N = Densidad neta (kg/m³).

α = absorción de agua (%).

4.2.3 Densidad Arena

La determinación de la densidad aparente de la arena se hizo por medio de la norma NCh. 1116 Of. 77 “Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente” y para la obtención de la densidad real y neta se visitó la norma NCh. 1239 Of. 77 “Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las arenas”.

a) Densidad Aparente Suelta

La tabla 4.5 muestra la densidad aparente suelta de muestras de arena.

Tabla 4.5. Densidad aparente suelta arena

	MUESTRAS		
	1	2	3
Peso Recipiente (g)	3631		
Peso Gravilla (g)	7905	7968	7938
Peso Recipiente + Gravilla (g)	11536	11599	11569
Volumen Recipiente (cc)	5033		
ρ_{as} (g/cc)	1,57	1,58	1,58
ρ_{as} (Kg/m ³)	1571	1583	1577
Promedio ρ_{as} (Kg/m³)	1580		

Fuente: Elaboración propia.

b) Densidad Aparente Compactada

La tabla 4.6 muestra la densidad aparente compactada de tres muestras de arena.

Tabla 4.6. Densidad aparente compactada arena

	MUESTRAS		
	1	2	3
Peso Recipiente (g)	3631		
Peso Gravilla (g)	8428	8400	8529
Peso Recipiente + Gravilla (g)	12059	12031	12160
Volumen Recipiente (cc)	5033		
ρ_{ac} (g/cc)	1,67	1,67	1,69
ρ_{ac} (Kg/m ³)	1675	1669	1695
Promedio ρ_{ac} (Kg/m³)	1680		

Fuente: Elaboración propia.

c) Densidad Real, Neta y absorción

La tabla 4.7 muestra las densidades reales, netas y la absorción del promedio de muestras de arena.

Tabla 4.7. Densidades y absorción arena.

	PROMEDIO MUESTRAS
Ma (g)	652,8
Mm (g)	714,9
Msss (g)	100
Ms (g)	97,1
$\rho_{R_{sss}}$ (Kg/m ³)	2639
ρ_{R_s} (Kg/m ³)	2562
ρ_N (Kg/m ³)	2774
α %	3,0%

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Ma = masa del matraz más agua (g).

Mm = masa del matraz más agua más arena (g).

Msss = masa saturada superficialmente seca (g).

Ms = masa seca (g).

$\rho_{R_{sss}}$ = Densidad real del árido saturado superficialmente seco (kg/m³).

ρ_{R_s} = Densidad real del árido seco (kg/m³).

ρ_N = Densidad neta (kg/m³).

α = absorción de agua (%).

4.2.4 Densidad Fibra de Coco

a) Densidad aparente

La tabla 4.8 muestra el promedio de 3 muestras de la densidad aparente de fibras de coco.

Tabla 4.8. Densidad aparente fibra de coco

	PROMEDIO
Peso Fibra de coco (g)	88,39
Volumen Recipiente (cc)	1000
ρ_a (gr/cc)	0,08839
ρ_a (Kg/m ³)	88,39
Promedio ρ_a (Kg/m³)	1680

Fuente: Elaboración propia.

b) Densidad Real, Neta y Absorción

La tabla 4.9 muestra las densidades reales, netas y la absorción del promedio de 3 muestras de fibra de coco.

Tabla 4.9. Densidad Real, Neta y absorción fibra de coco.

	PROMEDIO
Ma (gr)	653,89
Mm (gr)	654,94
Msss (gr)	5,57
Ms (gr)	3,52
ρ_{Rsss} (Kg/m ³)	1232
ρ_{Rs} (Kg/m ³)	779
ρ_N (Kg/m ³)	1425
α %	58,24%

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Ma = masa del matraz más agua (g).

Mm = masa del matraz más agua más fibra (g).

Msss = masa saturada superficialmente seca (g).

Ms = masa seca (g).

ρ_{Rsss} = Densidad real de la fibra saturada superficialmente seca (kg/m³).

ρ_{RS} = Densidad real de la fibra seca (kg/m³).

ρ_N = Densidad neta (kg/m³).

α = absorción de agua (%).

4.3 Dosificación de Hormigones

4.3.1 Consideraciones

Para dosificar se utilizó la norma NCh. 170 Of. 85 “Hormigón – Requisitos generales”, para la cual se utilizaron los siguientes valores:

Diseño hormigón H20–90–20–5, con:

- Tamaño máximo: 20 mm.
- Cemento tipo corriente.
- Árido grueso: 58%.
- Árido fino: 42%.
- ρ_{RSS} arena: 2639 (kg/m³).
- ρ_{RSS} gravilla: 2681 (kg/m³).

4.3.2 Dosificación Hormigón Patrón

Con las consideraciones anteriores se realizó la dosificación por metro cúbico para el hormigón patrón. La tabla 4.10 muestra la dosificación para este hormigón.

Tabla 4.10. Dosificación Hormigón Patrón

Hormigón Patrón		
MATERIALES	Kg/m ³	Lt/m ³
Cemento	336	115
Agua	185	185
Gravilla	1054	392
Arena	763	288
Aire	20	20
Densidad Teórica	2358	1000 (lt)

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Dosificación Hormigón con agregados de Fibra de Coco

Las tablas 4.11 y 4.12 muestran las dosificaciones para los hormigones confeccionados con el agregado de fibra de coco con sus respectivos porcentajes.

Tabla 4.11. Dosificación hormigón con 2% de fibra de coco en tamaño de 20 y 40 mm.

MATERIALES	Hormigón con 2% de fibra de coco			
	Fibra de 20 mm		Fibra de 40 mm	
	Kg/m ³	Lt/m ³	Kg/m ³	Lt/m ³
Cemento	336	116	336	116
Agua	185	185	185	185
Gravilla	1054	393	1054	393
Arena	763	289	763	289
Aire	20	20	20	20
Fibra	7,15	5,8	7,15	5,8
Densidad Teórica	2365	1009	2365	1009

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.12. Dosificación hormigón con 4% de fibra de coco y tamaños de 20 y 40 mm.

MATERIALES	Hormigón con 4% de fibra de coco			
	Fibra de 20 mm		Fibra de 40 mm	
	Kg/m ³	Lt/m ³	Kg/m ³	Lt/m ³
Cemento	336	116	336	116
Agua	185	185	185	185
Gravilla	1054	393	1054	393
Arena	763	289	763	289
Aire	20	20	20	20
Fibra	14,2	11,6	14,2	11,6
Densidad Teórica	2372	1015	2389	1015

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Fabricación de hormigones

La elaboración de los hormigones se realizó bajo los procedimientos que establece la norma NCh. 1018 Of. 77 “Hormigón – Preparación de mezclas de prueba en laboratorio”.

Cada hormigón fue fabricado en una betonera de acuerdo a la dosificación obtenida y bajo el mismo procedimiento, con la diferencia desde la segunda colada donde se agregó la fibra. Para esto se tuvo en consideración los siguientes puntos:

- a. Cada vez que se realizó una amasada se efectuó la correspondiente corrección de la dosificación por humedad y absorción de fibra y áridos, por lo que se dejó secando previo a la fabricación muestras representativas de estos por 24 horas en horno a 110 °C.
- b. En el momento de elaborar un hormigón, primero se mezcló la arena, gravilla y fibras en las ocasiones que fuera el caso, luego se agregó el cemento hasta lograr una masa homogénea y el agua se fue agregando mientras se mezclaban los anteriores materiales; luego de incorporar todos los materiales se revolvió por 3 minutos, se dejó reposar por 2 minutos, para luego seguir revolviendo por 3 minutos más.
- c. Una vez fabricado el hormigón se determinó la docilidad según el método del asentamiento de cono de Abrams conforme a la norma NCh. 1019 Of. 74 “Hormigón – Determinación de la docilidad – Método del asentamiento del cono de Abrams”, este ensayo mide la consistencia del hormigón por medio de una pérdida de altura de la masa de hormigón fresco al ser desmoldado.



Figura 4.2. Método de asentamiento de cono

Fuente: Elaboración propia.

- d. Finalizando el ensayo de docilidad, se procede a la colocación del hormigón en los moldes.

4.4.1 Retracción Libre

Fabricado el hormigón, ya realizado el ensayo de docilidad en estado fresco, se procede a confeccionar las probetas prismáticas para la realización del ensayo de retracción libre donde se siguió el procedimiento que establece la norma NCh 2221 Of. 94. "Hormigón y mortero – Método de ensayo - Determinación de los cambios de longitud" en el punto 6. Confección y curado inicial de probetas, el que se describe a continuación:

- a. Colocar el hormigón en dos capas aproximadamente iguales, compactando según el asentamiento de cono, esto será por una varilla pisón o por vibrado externo.
- b. Después de compactar la capa superior, retirar el exceso de hormigón del borde del molde y alisar la superficie con unos golpes de platacho. Con una llana se dio una terminación lisa en la superficie.
- c. Desmoldar probetas a una edad de $23,5 \pm 0,5$ horas desde la fabricación del hormigón. Se debe tener especial cuidado en no golpear y ejercer presión sobre los insertos.
- d. Desmoldadas las probetas éstas serán curadas en un recipiente con agua saturada con cal por un periodo de 7 días.
- e. Terminado el periodo de curado, las probetas serán almacenadas en una cámara de secado durante 90 días. En la cámara de secado la temperatura debe estar a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y a una humedad relativa de $54 \pm 4\%$.

4.4.2 Resistencia a Compresión

El procedimiento llevado a cabo en la confección de probetas cúbicas para el ensayo de compresión:

- a. El hormigón se coloca dentro de los moldes cúbicos con aristas de 150 mm. se llenan 3 probetas por amasadas.
- b. La compactación se realizó con vibrador de inmersión, debido al asentamiento de cono, se compacta hasta que aflore la lechada.
- c. Las probetas cúbicas se desmoldaron $24 \pm 0,5$ horas después de fabricado el hormigón y fueron curadas inmersas en agua saturada con cal durante 28 días.

CAPITULO 5. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 Generalidades

En el siguiente capítulo se presentan y analizan los resultados que se obtuvieron en los distintos ensayos realizados, siguiendo la metodología de trabajo. El programa de trabajo comienza con la fabricación de hormigones considerando las mediciones desde el asentamiento hasta la ejecución de los ensayos.

En la tabla 5.1 se muestra la nomenclatura de los distintos hormigones que se estudiaron, con el objetivo de simplificar su designación, en donde se describe el porcentaje y tamaño de fibra incorporada para cada hormigón.

Tabla 5.1. Nomenclatura Hormigones

Hormigón	% de Fibra	Tamaño de Fibra (mm)	Designación
HP	0	0	Hormigón patrón con 0% de fibra de coco.
H2% - 20	2	20	Hormigón con 2% de fibra de coco de largo 20 mm.
H2% - 40	2	40	Hormigón con 2% de fibra de coco de largo 40 mm.
H4% - 20	4	20	Hormigón con 4% de fibra de coco de largo 20 mm.
H4% - 40	4	40	Hormigón con 4% de fibra de coco de largo 40 mm.

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Hormigón en Estado Fresco

5.2.1 Docilidad del Hormigón

Posterior a la fabricación de los hormigones se tomó un registro de la docilidad de estos, lo que se demuestra en la tabla 5.2, con los respectivos asentamientos de cono.

Tabla 5.2. Asentamiento de cono

Hormigón	% de Fibra	Tamaño de Fibra (mm)	Asentamiento de cono (cm)
HP	0	0	6
H2% - 20	2	20	5
H2% - 40	2	40	4
H4% - 20	4	20	1
H4% - 40	4	40	0,5

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se aprecia que el asentamiento de cono de los hormigones disminuye al aumentar el porcentaje y el tamaño de las fibras, esto se puede apreciar mejor en la siguiente figura 5.1.

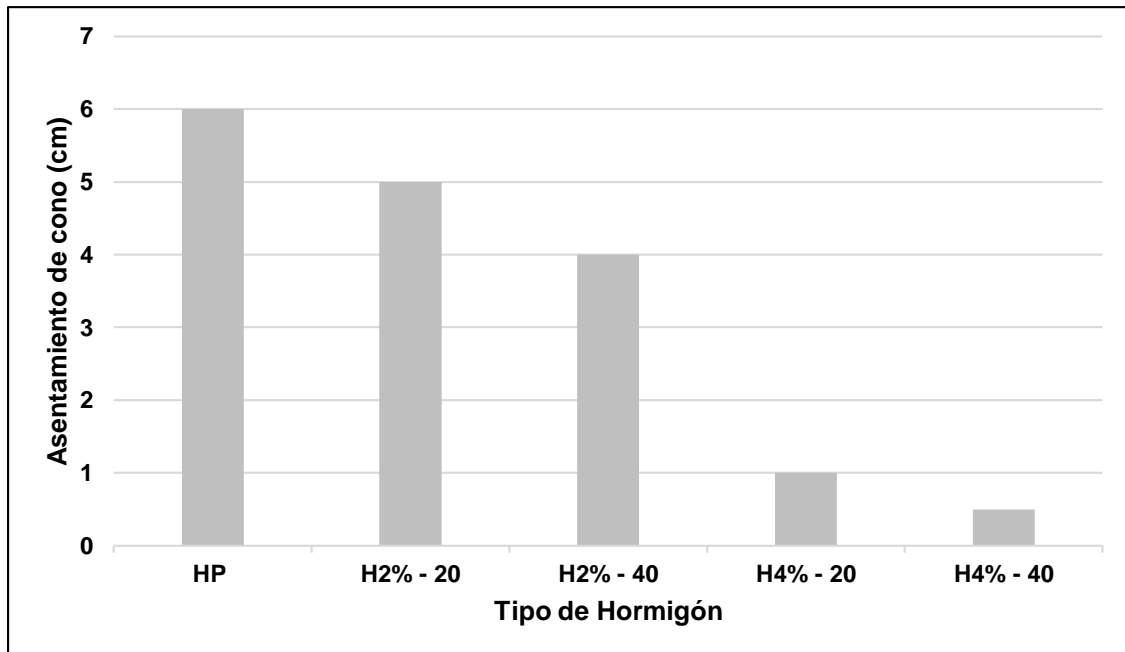


Figura 5.1. Asentamiento de cono en hormigones

Fuente: Elaboración propia.

En el hormigón patrón se presentó el mayor asentamiento de cono con un valor de 6 cm., el que va disminuyendo a medida que se incrementa la cantidad de fibra de coco. Cuando al hormigón se le agrega un 4% de fibra se observa un asentamiento crítico de 1 cm. Fuera de los límites que permite el ensayo 5 ± 2 cm.

A medida que va disminuyendo el asentamiento de cono, hace a los hormigones menos trabajables, esto se debe a que se genera una mezcla más cohesiva dado a una mayor sección superficial, por lo tanto hay un menor índice de vacíos.

La tabla 5.3 presenta la disminución del asentamiento de cono en porcentajes con respecto al valor del hormigón patrón que se consideró como 100%.

Tabla 5.3. Variación porcentual de asentamiento en hormigones

Hormigón	% de Fibra	Tamaño de Fibra (mm)	Asentamiento de cono (cm)	Variación % Asentamiento
HP	0	0	6	-
H2% - 20	2	20	5	17%
H2% - 40	2	40	4	33%
H4% - 20	4	20	1	83%
H4% - 40	4	40	0,5	92%

Fuente: Elaboración propia.

Como se observó en la tabla anterior, la mayor variación que sufre el asentamiento de cono es en el hormigón con más agregado de fibra de coco y a la vez la fibra más larga, es decir, es el hormigón con menor trabajabilidad.

5.3 Ensayo de Retracción Libre

Los resultados obtenidos del ensayo de retracción libre corresponden a los cambios de longitud de las probetas prismáticas en condiciones establecidas en la norma NCh. 2221 Of. 94. La variación longitudinal corresponde a la deformación unitaria, es decir, expansión o retracción hidráulica que se produce por absorción o pérdida de agua respectivamente en las probetas.

En primera instancia y durante 7 días las probetas de hormigón fueron curadas en agua saturada con cal para medir la expansión hidráulica causada por la inmersión, y en segunda instancia fueron sometidas a un lugar estable en humedad y temperatura en la cámara de secado durante 90 días, para así medir la retracción hidráulica.

En las tablas 5.4 y 5.5 se muestra la expansión y retracción hidráulica promedio que experimentaron los hormigones durante ambos periodos de curado y secado.

Tabla 5.4. Expansión y retracción hidráulica en hormigones hasta día 21

Hormigón	EDAD (días)				
	1	7	11	14	21
HP	0,0000	0,0203	-0,0542	-0,0669	-0,0754
H2% - 20	0,0000	0,2354	0,0389	-0,0779	-0,1084
H2% - 40	0,0000	0,4750	-0,2278	-0,3124	-0,3624
H4% - 20	0,0000	0,0555	-0,0405	-0,0407	-0,0422
H4% - 40	0,0000	0,1500	-0,1160	-0,1240	-0,1365
	Expansión hidráulica (mm/m)		Retracción Hidráulica (mm/m)		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.5. Expansión y retracción hidráulica en hormigones hasta día 97

Hormigón	EDAD (días)				
	28	35	42	56	97
HP	-0,0889	-0,0999	-0,1118	-0,1278	-0,1750
H2% - 20	-0,1329	-0,1482	-0,1685	-0,1981	-0,2849
H2% - 40	-0,3696	-0,3797	-0,4064	-0,4259	-0,4829
H4% - 20	-0,0428	-0,0483	-0,0538	-0,0585	-0,0657
H4% - 40	-0,1560	-0,2235	-0,2595	-0,3375	-0,5625
	Retracción Hidráulica (mm/m)				

Fuente: Elaboración propia.

Durante el primer periodo de 7 días en donde las probetas se encontraban inmersas en agua, todas las probetas presentan un aumento en su longitud, debido al aumento del volumen de estas ocasionado posiblemente por la absorción de agua durante el curado.

De manera porcentual en relación al medida inicial de cada probeta se puede apreciar en la tabla 5.6 y tabla 5.7 las variaciones de longitud que presentaron los hormigones.

Tabla 5.6. Expansión y retracción hidráulica porcentual de hormigones hasta día 21

Hormigón	EDAD (días)				
	1	7	11	14	21
HP	0,00%	0,41%	-1,09%	-1,34%	-1,51%
H2% - 20	0,00%	4,79%	0,79%	-1,59%	-2,21%
H2% - 40	0,00%	9,32%	-4,47%	-6,13%	-7,11%
H4% - 20	0,00%	5,44%	-3,97%	-3,99%	-4,13%
H4% - 40	0,00%	12,38%	-9,57%	-10,23%	-11,27%
Expansión hidráulica (mm/m)			Retracción Hidráulica (mm/m)		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.7. Expansión y retracción hidráulica porcentual de hormigones hasta día 97

Hormigón	EDAD (días)				
	28	35	42	56	97
HP	-1,79%	-2,01%	-2,25%	-2,57%	-3,51%
H2% - 20	-2,71%	-3,02%	-3,43%	-4,03%	-5,80%
H2% - 40	-7,25%	-7,45%	-7,98%	-8,36%	-9,48%
H4% - 20	-4,19%	-4,73%	-5,27%	-5,74%	-6,44%
H4% - 40	-12,88%	-18,45%	-21,42%	-27,86%	-46,43%
Retracción Hidráulica (mm/m)					

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que el hormigón patrón (HP), sufre una expansión baja en comparación a los hormigones con agregado de fibra ya que solo aumenta un 0,41% desde su medición inicial producto del proceso de curado, en cambio los hormigones reforzados van desde los 4,79% a 12,38% de expansión.

También se puede apreciar que la retracción en el hormigón patrón ocurre de forma lenta ya que después de 7 en días en cámara secado vario 1,75% en cambio el hormigón con 2% de fibra y tamaño 20 mm. (H2% - 20) vario en un 4% su longitud.

En la siguiente figura 5.2 se muestra el desarrollo de los cambios de longitud porcentual.

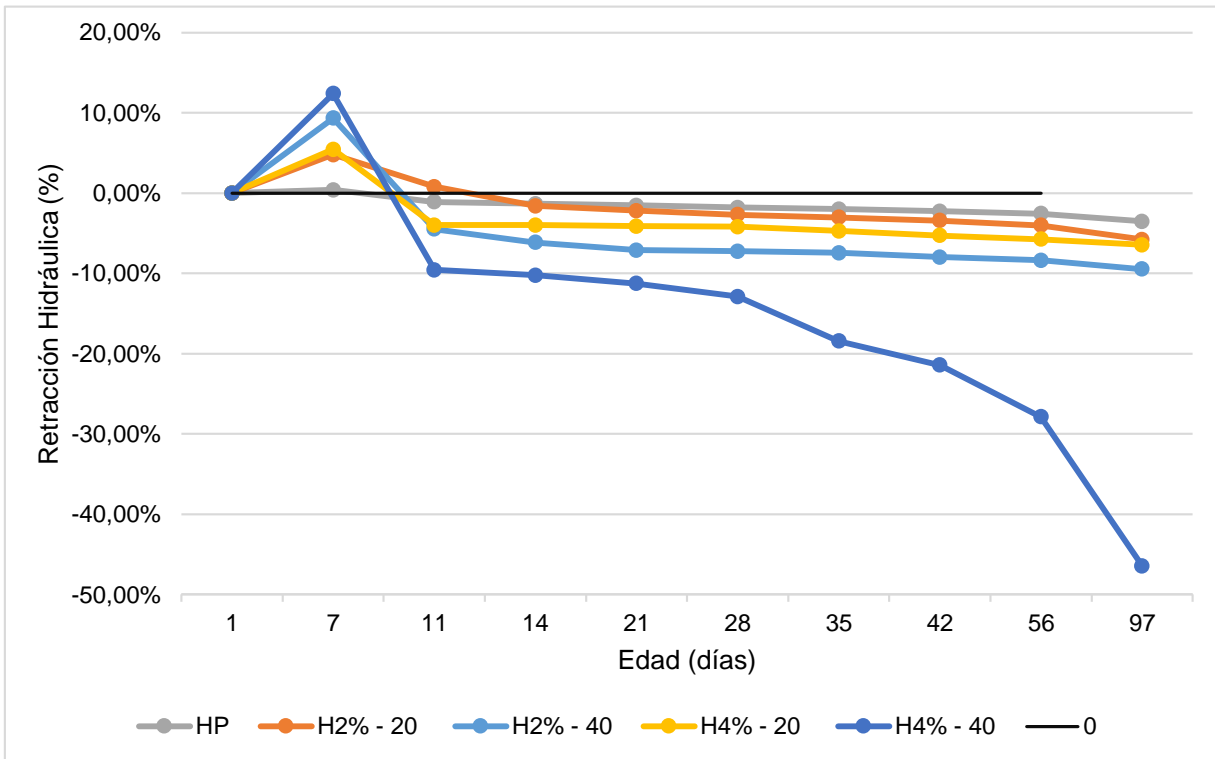


Figura 5.2. Expansión y Retracción hidráulica porcentual en hormigones

Fuente: Elaboración propia.

La curva color gris correspondiente al hormigón patrón en los primero 7 días de retracción, pasa por el centro de los hormigones, obteniéndose para los hormigones H2% - 20 y H4% - 40 una menor retracción hidráulica que en los días posteriores se invierte ya que el hormigón patrón tiene menor retracción que los hormigones reforzados con fibras.

Para el caso de los hormigones H2% - 40 y H4% - 40 se obtiene que en el periodo de retracción sus valores son menores en comparación a los de hormigón patrón y esto se mantiene durante el tiempo, esto quiere decir que sufren una mayor retracción.

Se puede observar que todos los hormigones presentan un comportamiento normal, debido a que en el primer periodo de tiempo todos los hormigones presentan expansión hidráulica en los días de curado y retracción hidráulica en los días de secado.

5.4 Pérdida de Peso y Densidad en Hormigones

Las probetas fueron sometidas a control de su peso, ya que la pérdida de peso se relaciona directamente con la retracción hidráulica, debido a que la pérdida de agua en el hormigón es la causante de este fenómeno debido al proceso de secado de los hormigones, en la tabla 5.8 y 5.9 se muestran las variaciones en los pesos de las probetas de retracción.

Tabla 5.8. Variación de peso en hormigones a los 21 días

EDAD (días)	1	7	11	14	21
Hormigón	Peso (g)				
HP	3819,5	3831,0	3739,3	3731,7	3708,8
H2% - 20	3689,3	3718,8	3626,6	3611,8	3605,9
H2% - 40	3895,5	3907,2	3802,0	3795,1	3777,6
H4% - 20	3769,4	3780,7	3678,0	3664,7	3639,0
H4% - 40	3887,1	3902,6	3793,8	3786,0	3742,0
	Expansión hidráulica (mm/m)		Retracción Hidráulica (mm/m)		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.9. Variación de peso en hormigones a los 97 días

EDAD (días)	28	35	42	56	97
Hormigón					
HP	3693,8	3692,9	3691,9	3688,1	3677,1
H2% - 20	3580,4	3572,8	3563,1	3562,1	3559,2
H2% - 40	3760,1	3750,0	3744,9	3737,0	3714,0
H4% - 20	3634,3	3629,7	3637,2	3631,4	3614,5
H4% - 40	3723,4	3704,8	3667,6	3634,9	3539,0
	Retracción Hidráulica (mm/m)				

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la anterior tabla se puede apreciar en la figura 5.3 la gráfica de la variación promedio de peso en gramos, donde se puede observar que la evolución de las probetas es similar para todos los hormigones, donde en el proceso de expansión incrementaron su peso y durante el proceso de secado disminuyeron su peso.

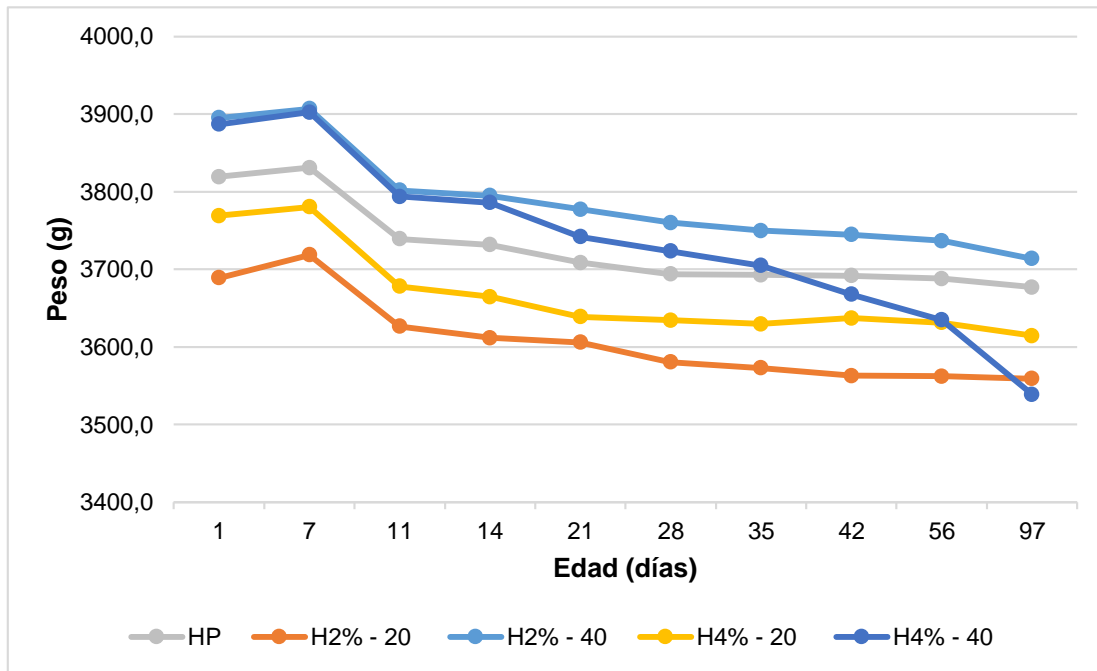


Figura 5.3. Variación en el peso en hormigones a los 97 días

Fuente: Elaboración propia.

Todos los hormigones presentan una disminución mayor de peso en los primeros días de secado, y posteriormente presentan una pérdida de peso que va disminuyendo con el tiempo, esto se ve reflejado en la figura 5.3 en donde las curvas en el último periodo de tiempo presentan una mínima variación.

Se observa además que la relación que tiene el peso de las probetas con la retracción hidráulica, es una relación inversa, ya que al disminuir el peso, aumentan los valores de retracción hidráulica. A continuación en la tabla 5.10 y 5.11 se muestran la variación de las densidades que sufrieron los hormigones.

Tabla 5.10. Pérdida de densidad promedio en hormigones a los 21 días

EDAD (días)	1	7	11	14	21
Hormigón	Densidad (Kg/m ³)				
HP	2382,6	2389,7	2332,5	2327,8	2313,5
H2% - 20	2301,3	2319,7	2262,2	2253,0	2249,3
H2% - 40	2429,9	2437,2	2371,6	2367,3	2356,4
H4% - 20	2351,3	2358,3	2294,3	2286,0	2269,9
H4% - 40	2424,7	2434,4	2366,5	2361,6	2334,2
	Expansión hidráulica (mm/m)			Retracción Hidráulica (mm/m)	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.11. Pérdida de densidad promedio en hormigones a los 97 días

EDAD (días)	28	35	42	56	97
Hormigón	Densidad (Kg/m ³)				
HP	2304,1	2303,5	2302,9	2300,6	2293,7
H2% - 20	2233,4	2228,7	2222,6	2222,0	2220,2
H2% - 40	2345,5	2339,2	2336,0	2331,1	2316,7
H4% - 20	2267,0	2264,1	2268,8	2265,2	2254,7
H4% - 40	2322,6	2311,0	2287,8	2267,4	2207,6
	Retracción Hidráulica (mm/m)				

Fuente: Elaboración propia.

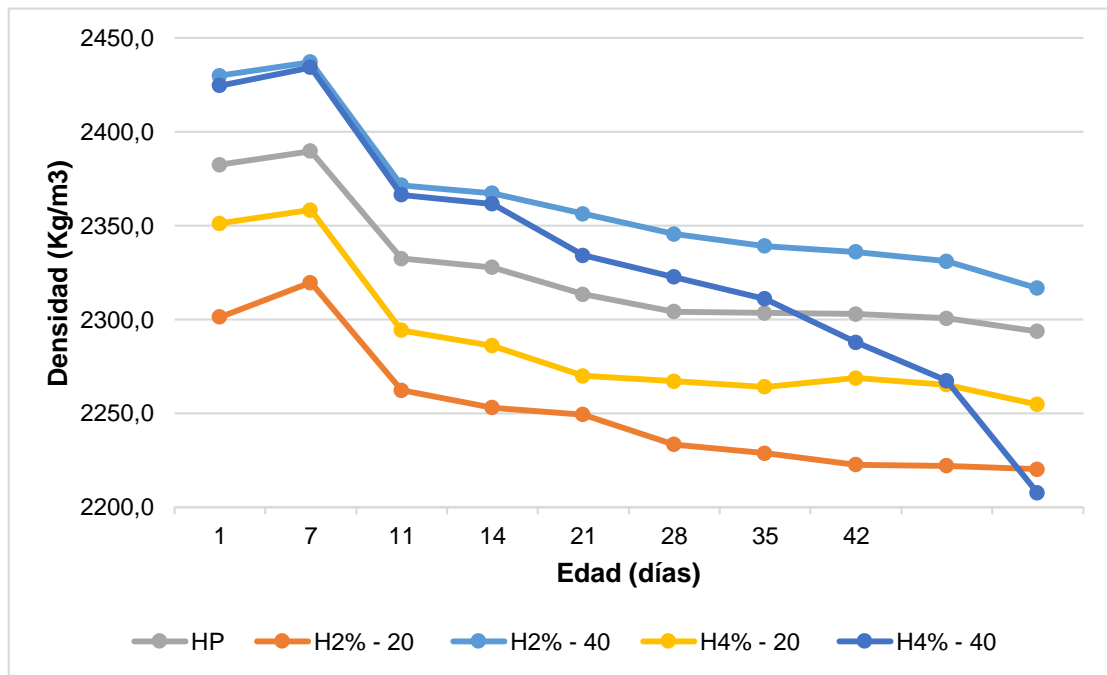


Figura 5.4. Variación de densidad en hormigones

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5.4 se aprecia la pérdida de densidad en los 5 tipos de hormigón, en donde se puede observar que la de la misma forma que varían los pesos, en los primeros días de secado, todos los hormigones sufren una pérdida mayor de densidad y posteriormente la pérdida es una tanto más lineal con menos variación que en los primeros 4 días de secado.

5.5 Resistencia a Compresión

En esta parte del capítulo se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión realizados a los diferentes hormigones. Estos ensayos fueron realizados a los 28 días de edad, en series de 3 probetas cubicas de 150 mm.

La tabla 5.12 presenta los resultados de resistencia a compresión individual, promedio, desviación estándar y el coeficiente de variación.

Tabla 5.12. Resistencia a compresión de hormigones

Hormigón	Resistencias Individuales (Kgf/cm ²)	Resistencias Promedio (Kgf/cm ²)	Desviación Estándar (Kgf/cm ²)	Coefficiente de Variación (%)
HP	208,93	208,29	1,13	0,54%
	206,99			
	208,95			
H2% - 20 mm	209,30	209,74	6,15	2,93%
	216,11			
	203,82			
H2% - 40 mm	179,56	182,85	3,23	1,77%
	186,02			
	182,99			
H4% - 20 mm	193,71	195,94	3,32	1,70%
	194,36			
	199,76			
H4% - 40 mm	148,83	150,55	1,52	1,01%
	151,13			
	151,69			

Fuente: Elaboración propia.

La tabla anterior demuestra que en hormigones con mayor contenido de fibras y acorde aumente el tamaño se tiene una resistencia a compresión menor con respecto a la obtenida en el hormigón patrón. Eventualmente el hormigón H2% - 20 mm, presenta una resistencia equivalente a la del hormigón patrón.

Según ACI 214, la dispersión se considera excelente si la desviación estándar es menor a 14,1 (kgf/cm²), en los hormigones de esta investigación todos tienen una desviación estándar menor a 14,1 (kgf/cm²). Para el caso del coeficiente de variación, exceptuando al hormigón H2% - 20 mm todos los hormigones presentan una dispersión excelente ya que presentan un valor menor al 2%, según la norma

ya mencionada. En el caso del hormigón H2% - 20 mm presenta un parámetro de dispersión calificado por la norma como muy bueno ya que se encuentra entre 2 y 3%.

La siguiente figura 5.5 grafica las diferentes resistencias a compresión de cada hormigón en comparación al hormigón patrón.

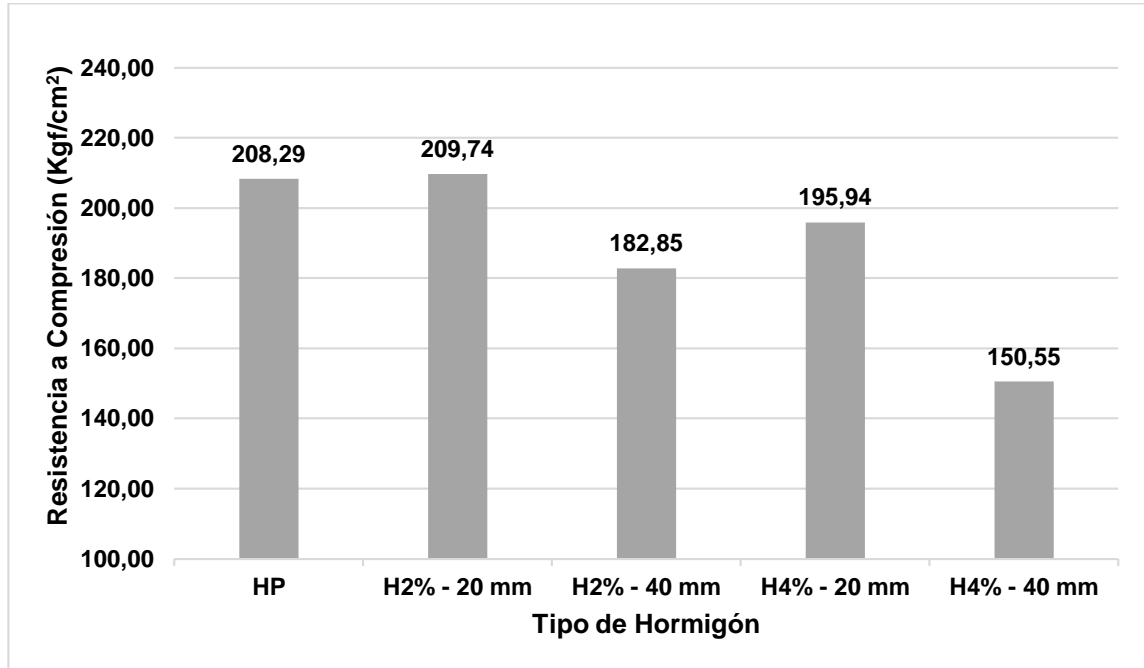


Figura 5.5. Resistencia a compresion de hormigones

Fuente: Elaboración propia.

En el anterior grafico se puede observar que el hormigón H2% - 20 mm presenta la mayor resistencia a compresión con un valor de 209,74 (Kg/cm²), seguido del hormigón patrón con una resistencia a compresión de 208,29 (Kg/cm²); el hormigón que incorpora un 4% de fibra y con tamaño de estas de 40 mm, es el que presenta la menor resistencia con 150,55 (Kg/cm²).

Además se puede observar que los hormigones a los que se le agrego solo un 2% de fibra presentan mayores resistencias en comparación a los que se le agrego un 4%.

La tabla 5.13 muestra el porcentaje de reducción o aumento de resistencia a compresión de los diferentes hormigones con respecto al hormigón patrón.

Tabla 5.13. Variación de resistencia a compresión

Hormigón	Resistencia Promedio (Kg/cm ²)	Reducción o Aumento (%)
HP	208,29	0%
H2% - 20 mm	209,74	0,7%
H2% - 40 mm	182,85	-12,2%
H4% - 20 mm	195,94	-5,9%
H4% - 40 mm	150,55	-27,7%

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla anterior, la figura 5.6 grafica la reducción porcentual de las resistencias promedio de los hormigones en comparación con el hormigón patrón.

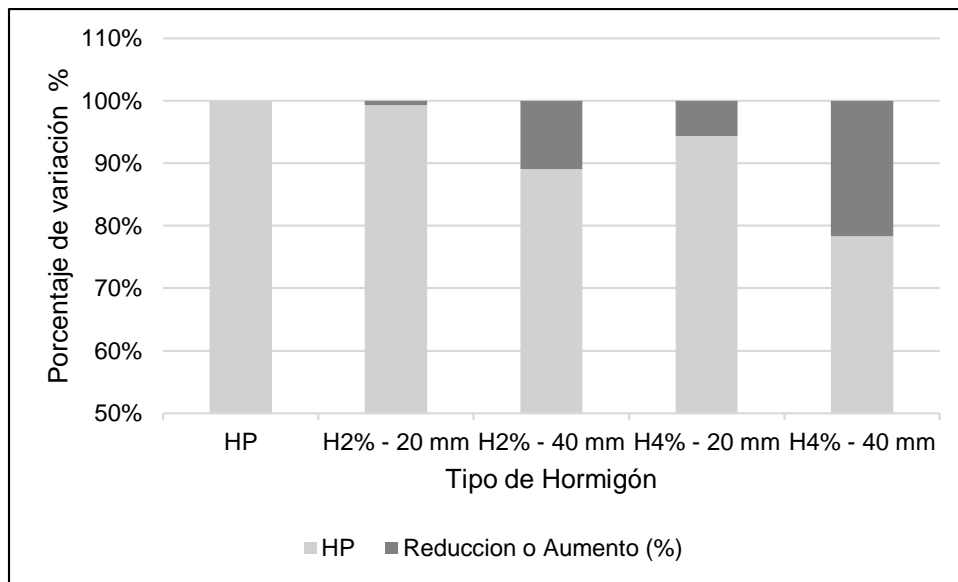


Figura 5.6. Variación porcentual de la resistencia a compresión

Fuente: Elaboración propia.

Se observó en la figura que el hormigón que presenta la menor reducción en la resistencia a la compresión es el H4% - 20 mm, teniendo un porcentaje de reducción de un 5,9%. En cambio, el que presenta la mayor reducción es el hormigón H4% - 40 mm el cual posee la mayor pérdida de resistencia con un 27,7%. Caso contrario es el del hormigón H2% - 20 mm el cual aumenta la resistencia en comparación al hormigón patrón en un 0,7%.

5.6 Análisis estadístico de resultados

Los resultados obtenidos en los ensayos de retracción libre y compresión se analizaron estadísticamente con el programa “Design – Expert 12”, el cual es un software que permite determinar el diseño e interpreta los datos obtenidos de algún experimento. Mediante el análisis “ANOVA” se valoró los efectos que producen los distintos porcentajes de fibra de coco adicionados, como también los largos de estas fibras adicionadas sobre las variables de respuesta.

Este análisis estadístico sirve para determinar si las diferencias que existen entre las medias de 3 o más grupos, son estadísticamente significativas.

El “ANOVA” es una técnica en la que la varianza total de un conjunto de datos se divide en componentes asociados a una fuente específica de variación estimando la magnitud con la que contribuye cada una de esas fuente a la variación total. Consiste esencialmente en descomponer la varianza total de un conjunto de observaciones de una variable en varianzas parciales, correspondiente a fuentes de variaciones distintas y determinadas, las que luego se comparan entre sí por medio de una prueba estadística llamada F de Fisher.

Para la utilización del software, se requiere de los datos obtenidos en los ensayos de retracción libre y resistencia a la compresión; como se muestra en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14 Tabla general de retracción libre y resistencia a la compresión en software Desingn - Expert

FACTOR 1 A: Largo de Fibra (mm)	FACTOR 2 B: Adición de Fibras (%)	Respuesta 1 Retracción (mm/m)	Respuesta 2 Compresión (Kgf/cm²)
0	0	-0,1343	208,93
0	0	-0,1892	206,99
0	0	-0,2014	208,95
20	2	-0,3099	209,30
20	2	-0,3077	216,11
20	2	-0,2371	203,82
40	2	-0,4913	179,56
40	2	-0,4813	186,02
40	2	-0,4761	182,99
20	4	-0,3912	193,71
20	4	-0,4013	194,36
20	4	-0,4140	199,76
40	4	-0,7570	148,83
40	4	-0,7853	151,13
40	4	-0,7465	151,69

Fuente: Software Design – Expert 12

Para estimar los efectos de los factores en estudio A: Largo de Fibra; B: Adición de fibras; sobre las variables de respuestas se examinó la gráfica de probabilidad normal, en donde los factores que son insignificantes tienden a ubicarse en una línea recta, siguiendo una distribución normal, las variables significantes del modelo se alejan de aquella recta. En las figuras 5.7 y 5.8, se presentan las gráficas de probabilidad normal para la retracción hidráulica y la resistencia a la compresión respectivamente.

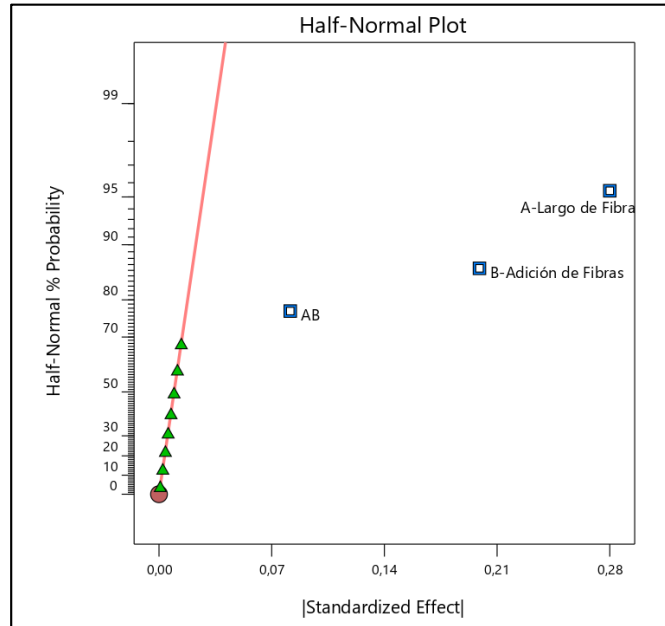


Figura 5.7 Gráfica de probabilidad normal Retracción Hidráulica

Fuente: Software Design – Expert 12

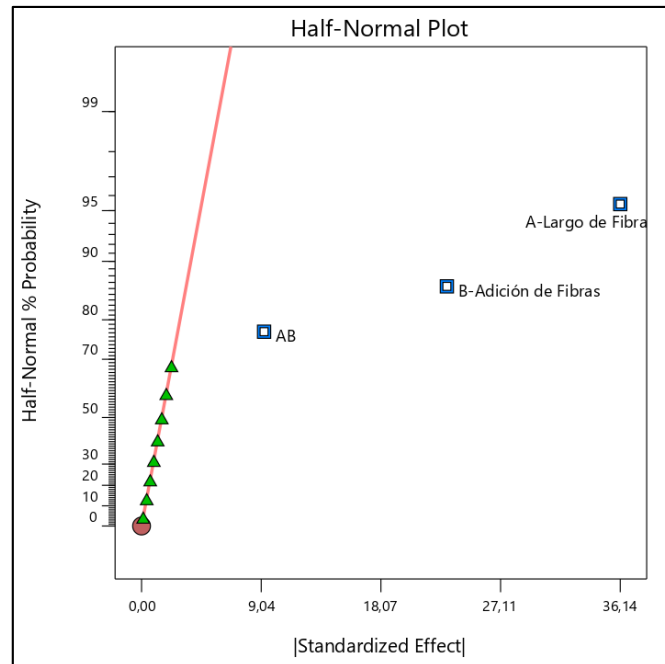


Figura 5.8 Gráfica de probabilidad normal Resistencia a la Compresión

Fuente: Software Design – Expert 12

De manera complementaria se analizó la lista de efectos en las tablas 5.15 y 5.16, la cual indica el porcentaje de contribución de cada factor sobre las variables de respuestas, en ella se pudo apreciar que el Largo de fibra (A), y la Adición de fibra (B) en conjunto explican el 93,51% de la variabilidad total para la retracción hidráulica y el 93,55% de la variabilidad total para la resistencia a la compresión, por lo tanto estas dos variables son significativas para la retracción hidráulica y las resistencia a la compresión del hormigón.

Tabla 5.15 Porcentaje de Contribución Retracción Hidráulica

	Term	Stdized Effect	Sum of Squares	% Contribution
	Intercept			
	A-Largo de Fibra	-0,279383	0,234165	62,1068
	B-Adición de Fibras	-0,19865	0,118385	31,399
	AB	-0,0813833	0,0198697	5,26999
	Lack of Fit		0	0
	Pure Error		0,00461561	1,22418
	Lenth's ME	0,226627		0
	Lenth's SME	0,292819		0

Fuente: Software Design – Expert 12

Tabla 5.16 Porcentaje de Contribución Resistencia a la Compresión

	Term	Stdized Effect	Sum of Squares	% Contribution
	Intercept			
	A-Largo de Fibra	-36,14	3918,3	66,4918
	B-Adición de Fibras	-23,0533	1594,37	27,0557
	AB	-9,25333	256,873	4,35901
	Lack of Fit		0	0
	Pure Error		123,365	2,09346
	Lenth's ME	26,5197		0
	Lenth's SME	34,2654		0

Fuente: Software Design – Expert 12

Posterior al análisis de efectos y mediante del análisis de varianza “ANOVA”, el estadístico de 215,17 implica que el modelo es significativo y posee solo un 0,01% de probabilidad que un valor F del modelo este afectado por factores de ruido para la retracción hidráulica. El estadístico de 124,71 implica que el modelo es significativo posee un 0,01% de probabilidad que un valor F del modelo este afectado por factores de ruido para la resistencia a la compresión. Valores de probabilidad > F menores de 0,05; indican las variables significativas del modelo. En este caso estos factores son el Largo de Fibra (A), Adición de Fibras (B) presentes en la tabla 5.17 y 5.18.

Tabla 5.17 Análisis de varianza Repuesta 1: Retracción

ANOVA for selected factorial model							
**Response 1: Retracción **							
	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	0,3724	3	0,1241	215,17	< 0.0001	significant
	A-Largo de Fibra	0,2342	1	0,2342	405,87	< 0.0001	
	B-Adición de Fibras	0,1184	1	0,1184	205,19	< 0.0001	
	AB	0,0199	1	0,0199	34,44	0,0004	
	Pure Error	0,0046	8	0,0006			
	Cor Total	0,3770	11				

Fuente: Software Design – Expert 12

Tabla 5.18 Análisis de varianza Repuesta 2: Resistencia a a Compresión

ANOVA for selected factorial model							
Response 2: Resistencia a la Compresión							
	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
	Model	5769,54	3	1923,18	124,71	< 0.0001	significant
	A-Largo de Fibra	3918,30	1	3918,30	254,09	< 0.0001	
	B-Adición de Fibras	1594,37	1	1594,37	103,39	< 0.0001	
	AB	256,87	1	256,87	16,66	0,0035	
	Pure Error	123,37	8	15,42			
	Cor Total	5892,91	11				

Fuente: Software Design – Expert 12

CAPITULO 6. CONCLUSIONES

6.1 Generalidades

En el presente capítulo y final, se desprenden las conclusiones, de acuerdo al planteamiento de objetivos e hipótesis para esta investigación.

6.2 Relacionado con el Objetivo General e Hipótesis

Respecto al objetivo general, de acuerdo al estudio realizado, se determina que la incorporación de fibra de coco respecto de la masa de árido fino en porcentajes de 2% y 4% y en tamaños de 20 mm y 40 mm, produce una influencia estadísticamente significativa, además a través de los ensayos de los de retracción libre se determina que la influencia es negativa en la retracción hidráulica de los hormigones. Por lo tanto no es recomendable utilizar fibra de coco como adición en relación a la masa de árido fino. En relación a la resistencia a la compresión se logra determinar estadísticamente que tanto la adición de fibra en 2% y 4% como el tamaño de esta de 20 mm y 40 mm, tienen una influencia estadísticamente significativa que a través de los ensayo de resistencia a la compresión se determina que es negativa su adicción.

La hipótesis planteada, señala que el aumentar la adición de fibra de coco aumentara la resistencia a la compresión y disminuirá la retracción hidráulica del hormigón, de acuerdo a las mediciones realizadas hasta la edad de 97 días para la retracción hidráulica y a los 28 días para la resistencia a la compresión, se refuta.

6.3 Relacionado con los Objetivos Específicos

El incremento de porcentaje de adición de fibra de coco en relación a la masa del árido fino, influye de manera negativa sobre la retracción hidráulica. El incremento de los largos de las fibras de coco agregadas en la mezcla, influye de manera negativa sobre la retracción hidráulica.

En relación a la propiedad mecánica estudiada, se determinó una disminución en la resistencia a la compresión al aumentar el porcentaje y largo de las fibras, siendo el hormigón H4% - 40 el que produce una menor resistencia a la compresión.

Se puede concluir de esta investigación, que a pesar que las fibras de coco presentan propiedades aptas para considerarlas como refuerzos, las que originan menores deformaciones, no son suficientes para generar un efecto positivo sobre la retracción hidráulica y la resistencia a la compresión del hormigón.

BIBLIOGRAFIA

- 214, ACI. (1968). *Práctica Recomendada para la Evaluación de Resultados de Ensayes de Compresion de Concreto.*
- Alvarado, C. A. (2002). *Concretos base cemento portland reforzados con fibras naturales, como materiales de construccion en Mexico.* Nuevo Leon.
- American Concrete Institute. (1992). *Cracking of concrete member in direct tension.* Committee 224.2R.
- American Concrete Institute. (2010). *Report on the physical prperties and durability of fiber-reinforced concrete.* Committee 544.5R.
- American Concrete Institute. (2010). *Standar practice for the use shrinkage - compensating concrete.* Committee 223R.
- Balaguru, P. (1994). *Contribution of fibers to crack reduction of cement composites during the initial and final setting period.*
- Campbell, A. (1979). *The reduction of cracking in concrete.*
- Carlos Videla, J. P. (2001). *Calibracion de modelos de prediccion de la retraccion hidraulica a hormigones fabricados con cementos chilenos.* Revista Ingenieria de Construccion Volumen 16 N° 1.
- Castaño, J. (2009). *Fluencia y retraccion de hormigon de aridos reciclados.*
- Castro, J., & Naaman, A. (1981). *Cement mortar reinforced with natural fibers.*
- Cavides, H., & Rojas, W. (1994). *Evaluacion de la estopa de coco como fuente alternativa de fibra celulosica para papel.*
- Filho, A. (1990). *Mortar reinforced with sisal - mechanical behavior in flexure.*
- Garcia, E. (2011). *Estudio de retraccion en una estructura real: estudio teorico y contratacion experimental.*
- Garin, L., Santillini, A., & Pejoja, E. (2012). *Influencia del curado en la resistencia a compresion del hormigon: estudio experimental.*
- Giani, R., Navarrete, B., & Bustos, J. (2008). *Laretraccion autogena y su relacion con la tendencia a la fisuracion a temprana edad en pavimentos de hormigon.*
- Hannant, L. (1994). *Fibre-reinforced cements and concretes.*
- Holland, T. (1999). *Using shrinkage reducing admixtures.*

- Hussin, M., & Zakaria, F. (1990). *Prospects for coconut-fibre-reinforced thin cement sheets in the Malaysia construction industry*.
- Johnston, C. (1994). *Fibre-reinforced cement and concrete*.
- Macias, J. (1985). *utilizacion de fibras en hormigones. La experiencia cubana con el empleo del fibrequen*.
- Mehta, P., & Monteiro, P. (1998). *Concreto: estructura, propiedades y materiales*.
- Moreira, A. (1986). *The use of sisal fiber in cementitious pastes and mortars-physical and mechanical properties*.
- Munizaga, G. (2009). *Fisuración por retracción en hormigones: influencia del tipo de cemento*.
- NCh 1018, Of 77. (1977). *Hormigón – Preparación de mezclas de prueba en laboratorio*. Santiago, Chile.: Normativa Chilena, Instituto Nacional de Normalización.
- NCh 1037, Of 77. (1977). *Hormigón – Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas*. Santiago, Chile.: Normativa Chilena, Instituto Nacional de Normalización.
- NCh 1038, Of 77. (1977). *Hormigón – Ensayo de tracción por flexión*. Santiago, Chile.: Normativa Chilena, Instituto Nacional de Normalización.
- NCh 1116, Of 77. (1977). *Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente*. Santiago, Chile.: Normativa Chilena, Instituto Nacional de Normalización.
- NCh 1117, Of 77. (1977). *Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad real y neta y la absorción de agua de las gravas*. Santiago, Chile.: Normativa Chilena, Instituto Nacional de Normalización.
- NCh 1239, Of 77. (1977). *Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad real y neta y la absorción de agua de las arenas*. Santiago, Chile.: Normativa Chilena, Instituto Nacional de Normalización.
- NCh 148, Of 68. (1968). *Cemento- Terminología, clasificación y especificaciones generales*. Santiago, Chile.: Normativa Chilena, Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.
- NCh 1498, Of 82. (1982). *Hormigón – Agua de amasado – Requisitos - Normativa Chilena, Instituto Nacional de Normalización*. Santiago, Chile. Santiago, Chile.: Normativa Chilena, Instituto Nacional de Normalización.
- NCh 163, Of 79. (1979). *Áridos para morteros y hormigones – Requisitos generales*. Santiago, Chile.: Normativa Chilena, Instituto Nacional de Normalización.

- NCh 164, Of 76. (1976). *Áridos para morteros y hormigones – Extracción y preparación de muestras*. Santiago, Chile.: Normativa Chilena, Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.
- NCh 170, Of. 16. (2016). *Hormigón - Requisitos generales*. Santiago, Chile: Normativa Chilena, Instituto Nacional de Normalización.
- NCh 2221, Of 94. (1994). *Hormigón y mortero – Método de ensayo – Determinación de los cambios de longitud*. Santiago, Chile.: Normativa Chilena, Instituto Nacional de Normalización.
- Neville, A. (1995). *Properties of concrete*.
- Neville, A. (1996). *Tecnología del concreto*. Londres Pitman Publishing.
- Padron, I., & Zollo, R. (1990). *Effect of synthetic fibers on volume stability and cracking of portland cement concrete and mortar*.
- Paramasivam, P., & Nathan, G. (1984). *Coconut fiber reinforced corrugated slabs*.
- Paricaguan, B. (2015). *Contribucion al estudio del comportamiento mecanico fisicoquimico del concreto reforzado con fibras naturales de coco y bagazo de caña de azucar para su uso en construccion*.
- Powers, T. C. (1939). *The bleeding of portland cement paste, mortar and concrete*. Portl. Cem. Assoc. Bul N°2. Portl. Cem. Assoc. Bul N°2.
- Quintero, G. (2003). *Evaluacion del uso de la estopa de coco, obtenida como residuo de la industria alimenticia den el Valle del Cauca, para la elaboracion de elementos prefabricados de concreto aligerado*.
- Savastano, H. (1990). *The use of coir fibras as reinforcement to portland cement mortars*.
- Smith, P. (1979). *Bamboo fibre as reinforcing material in concrete*.
- Solas, A., & Giani, R. (2010). *Tecnología del hormigon avanzada*.
- Swift, P., & Smith, R. (1979). *Sisal-cement composites as low-cost construction materials*.
- Taylor, G. (1994). *Materials in construction*.
- Videla, C. (1994). *Desarrollo tecnologico de aditivos*.
- Videla, C., & Aguilar, C. (1999). *Evaluacion de la efectividad de procedimientos para la reduccion de la retraccion hidraulica en hormigones fabricados con cementos puzolanicos*.
- Videla, C., & Aguilar, C. (2000). *Analisis del impacto de los parametros de dosificacion en la retraccion hidraulica de hormigones*.

Videla, C., & Aguilar, C. (2005). *Proposición de un modelo de predicción de retracción hidráulica por secado para hormigones chilenos.*

Videla, C., & Aguilar, C. (2005). *Retracción por secado de hormigones con cemento portland puzolánicos y aditivos reductores de retracción.*

ANEXOS

Anexo 1: Resultados de granulometría

- Primera Granulometría de la Arena

TAMIZ (pl")	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% PARCIAL RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	BANDA ARENA	ARENA REDUCIDA
4	4,75	117,4	19%	19%	81%	95 - 100	100%
8	2,36	123,6	20%	38%	62%	80 - 100	76%
16	1,18	79,3	13%	51%	49%	50 - 85	61%
30	0,63	63,2	10%	61%	39%	25 - 60	48%
50	0,315	127,7	20%	81%	19%	5 - 30	23%
100	0,16	93,1	15%	96%	4%	0 - 10	5%
RESIDUO	RESIDUO	26,9	4%	100%	0%		0%
			100,00%				

- Segunda Granulometría de la Arena

TAMIZ (pl")	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% PARCIAL RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	BANDA ARENA	ARENA REDUCIDA
4	4,75	123,7	21%	21%	79%	95 - 100	100%
8	2,36	124,3	21%	43%	57%	80 - 100	73%
16	1,18	68,8	12%	55%	45%	50 - 85	58%
30	0,63	55,6	10%	64%	36%	25 - 60	46%
50	0,315	107,8	19%	83%	17%	5 - 30	22%
100	0,16	79,1	14%	96%	4%	0 - 10	5%
RESIDUO	RESIDUO	21,5	4%	100%	0%		0%
			100,00%				

- Tercera Granulometría de la Arena

TAMIZ (pl")	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% PARCIAL RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	BANDA ARENA	ARENA REDUCIDA
4	4,75	114	22%	22%	78%	95 - 100	100%
8	2,36	102,7	20%	42%	58%	80 - 100	75%
16	1,18	60,9	12%	53%	47%	50 - 85	60%
30	0,63	51,1	10%	63%	37%	25 - 60	47%
50	0,315	97,5	19%	82%	18%	5 30	23%
100	0,16	77,5	15%	97%	3%	0 - 10	4%
RESIDUO	RESIDUO	16,5	3%	100%	0%		0%
			100,00%				

- Primera Granulometría de la Grava

TAMIZ (pl")	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% PARCIAL RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	BANDA GRAVA
3/4	19	13	0%	0%	100%	90 - 100
1/2	12,5	4063	43%	44%	56%	-
3/8	9,5	3421	37%	80%	20%	20 - 55
4	4,75	1852	20%	100%	0%	0 - 10
8	2,36		0%	100%	0%	0 - 5
16	1,18		0%	100%	0%	
30	0,63		0%	100%	0%	
RESIDUO	RESIDUO	5	0%	100%	0%	
			100,00%			

- Segunda Granulometría de la Grava

TAMIZ (pl")	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% PARCIAL RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	BANDA GRAVA
3/4	19	27	0%	0%	100%	90 - 100
1/2	12,5	3651	45%	45%	55%	-
3/8	9,5	2578	32%	77%	23%	20 - 55
4	4,75	1748	22%	99%	1%	0 - 10
8	2,36	0	0%	99%	1%	0 - 5
16	1,18	0	0%	99%	1%	
30	0,63	0	0%	99%	1%	
RESIDUO	RESIDUO	75	1%	100%	0%	
			99,88%			

- Tercera Granulometría de la Grava

TAMIZ (pl")	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% PARCIAL RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	BANDA GRAVA
3/4	19	20	0%	0%	100%	90 - 100
1/2	12,5	0	0%	0%	100%	-
3/8	9,5	6265	78%	78%	22%	20 - 55
4	4,75	1684	21%	99%	1%	0 - 10
8	2,36	0	0%	99%	1%	0 - 5
16	1,18	0	0%	99%	1%	
30	0,63	0	0%	99%	1%	
RESIDUO	RESIDUO	79	1%	100%	0%	
			100%			

- Datos para densidad aparente suelta y compactada de la grava

DENSIDAD APARENTE								
GRAVA								
PESO RECIPIENTE:	3639	gr	3,639	kg				
Vol:	5173	cm ³	0,005173	m ³				
SUELTA								
peso Rec + gra 1:	12287	gr	12,29	kg	peso grava 1:	8,65	Das1	1672
peso Rec + gra 2:	12345	gr	12,35	kg	peso grava 2:	8,71	Das2	1683
peso Rec + gra 3:	12483	gr	12,48	kg	peso grava 3:	8,84	Das3	1710
Densidad Aparente Suelta Prom:	1677	Kg/m3	1680					
COMPACTADA								
peso Rec + gra 1:	13199	gr	13,20	kg	peso grava 1:	9,56	Dac1	1848
peso Rec + gra 2:	13204	gr	13,20	kg	peso grava 2:	9,57	Dac2	1849
peso Rec + gra 3:	13266	gr	13,27	kg	peso grava 3:	9,63	Dac3	1861
Densidad Aparente Compactada Prom:	1853		1850	(kg/m3)				

- Datos para densidad aparente suelta y compactada de la arena

DENSIDAD APARENTE								
ARENA								
PESO RECIPIENTE:	3631	gr	3,631	kg				
Vol:	5033	cm ³	0,005033	m ³				
SUELTA								
peso Rec + are 1:	11536	gr	11,54	kg	peso arena 1:	7,91	Das1	1571
peso Rec + are 2:	11599	gr	11,60	kg	peso arena 2:	7,97	Das2	1583
peso Rec + are 3:	11569	gr	11,57	kg	peso arena 3:	7,94	Das3	1577
Densidad Aparente Suelta Prom:	1580	Kg/m3						
COMPACTADA								
peso Rec + are 1:	12059	gr	12,06	kg	peso arena 1:	8,43	Dac1	1675
peso Rec + are 2:	12031	gr	12,03	kg	peso arena 2:	8,40	Dac2	1669
peso Rec + are 3:	12160	gr	12,16	kg	peso arena 3:	8,53	Dac3	1695
Densidad Aparente Compactada Prom:	1675		1680	Kg/m3				