



Facultad de Ingeniería Escuela de
Construcción Civil

Evaluación del comportamiento mecánico del Hormigón confinado con fibras de Vidrio y del Hormigón confinado con fibras de Carbono.

Por

Ignacio Andrés Pinto Arriagada

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

Profesor Guía: Sr. Mauricio González Moya.

Agosto del 2018

Agradecimientos

A mis padres por darme el apoyo incondicional durante mi carrera, a ti mi mamá porque siempre estuviste ahí en los peores momentos con tu amuleto, mi hermano Maximiliano, primo Gastón por alegrar mis días.

A mis compañeros y amigos Marcel, Belén, Diego, Susan, Mauri, Silvi y Camila polola de negro, por todo este proceso que sin ustedes no se hubiera hecho posible.

A la universidad por darme la oportunidad y en especial a mi profesor guía Don Mauricio Gonzáles.

A mis amigos del deporte por siempre comprender que tenía que estudiar en las carreras y no poder entrenar a full para estar a nivel.....Gracias Totales!!!!

Índice

1. CAPITULO 1, ANTECEDENTES GENERALES.....	8
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN.....	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
OBJETIVOS	15
ALCANCES.....	16
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	17
2. CAPITULO 2, MARCO TEÓRICO	19
2.1 COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN	20
2.2 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	21
2.3 COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DEL HORMIGÓN	22
2.3.1 <i>Determinación de la resistencia a flexión (Flexotracción)</i>	22
2.4 DESARROLLO DE LOS FRP	23
2.5 FIBRAS DE CARBONO	24
2.5.1 <i>Propiedades de la fibra de carbono</i>	24
2.5.2 <i>Características de la fibra de carbono</i>	25
2.6 MATERIALES COMPUESTOS	26
2.5.1 <i>Propiedades de un material compuesto</i>	27
2.7 FIBRAS DE VIDRIO	29
2.7.1 <i>Ventajas de la fibra de vidrio</i>	30
2.7.2 <i>Desventajas de la fibra de vidrio</i>	31
2.7.3 <i>Características de la fibra de vidrio</i>	31
2.8 REFUERZOS CON FRP	32
2.8.1 <i>Tipos de Refuerzo</i>	32
2.8.2 <i>Ventajas del refuerzo FRP</i>	33
3. CAPITULO 3, DISEÑO EXPERIMENTAL.....	34
3.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	35
3.2 ENSAYOS	37
3.3 REFRENTADO DE PROBETAS	40
3.4 OTROS ENSAYOS REALIZADOS	43
3.5 DESARROLLO EXPERIMENTAL	44
3.5.1 <i>Agua</i>	45
3.5.2 <i>Arena</i>	46
3.5.3 <i>Árido Combinado</i>	55
3.5.4 <i>Características de los áridos</i>	56
3.5.5 <i>Método de dosificación</i>	58
3.5.7 <i>Dosis de cemento y agua estimada para ambas series</i>	60
3.5.8 <i>Dosificación de áridos a emplear en las mezclas</i>	62
3.5.9 <i>Preparación de Hormigones</i>	63
3.5.10 <i>Características de los epóxicos</i>	67
3.5.11 <i>Preparación de la superficie</i>	70
3.5.12 <i>Mezcla de Resinas</i>	71
3.5.13 <i>Aplicación de Resinas</i>	73
3.5.14 <i>Impregnación de telas</i>	74
3.5.15 <i>Aplicación de refuerzo</i>	75

4. CAPÍTULO 4, ANÁLISIS DE RESULTADOS	76
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	77
4.2 PROBETAS Y VIGAS DE HORMIGÓN H-30.....	78
4.3 VIGAS H-30 Y H-50	80
4.4 PROMEDIOS.....	89
5. CAPÍTULO 5, CONCLUSIONES.....	95
5.1 CONCLUSIONES.....	96
FUTURAS INVESTIGACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	101

Índice de Figuras

Figuras 2-1: Materia compuesto.....	26
Figuras 2-2:Composición de un material Compuesto	27
Figuras 2-3:Material Compuesto. Matriz Fibra.....	28
Figuras 2-5:Proceso de Fabricación Fibra de Vidrio.....	29
Figuras 2-6:Refuerzo de Pilar circular	32
Figuras 3-1:Ensayo de tracción por flexotracción con carga p/2	39
Figuras 3-2:Cemento portland puzolánico	44
Figuras 3-3:Zona de acopio Material "arena"	46
Figuras 3-4:Muestra de Realización de vigas y probetas	64
Figuras 3-5:Muestra de cono y betonera dependencias del laboratorio	65
Figuras 3-6:Muestra de realización Probetas	66
Figuras 3-7:Confección y Limpieza para realizar confinamiento	70
Figuras 3-8:Muestra de Resina epoxica aplicada al carbono	71
Figuras 3-9:Muestra de Resina y Confinamiento en Fibra de Vidrio	72
Figuras 3-10:Muestra en la aplicación de la resina epoxica en la Fibra de Carbono	73
Figuras 3-11:Muestra de corte de tela en Fibra de vidrio y traslapo de fibra.....	74
Figuras 3-12:Muestra de aplicación de refuerzo en Fibra de Carbono	75
Figuras 5-1:Viga de Hormigon Fisurada.....	96
Figuras 5-2:Muestra de Probeta tras realizar ensayo de compresión	97
Figuras 5-3:Muestra de la falla en la viga confinada con fibra de Vidrio.....	98

Índice de Tablas

Tabla 2-1:Propiedades de la fibra de carbono	25
Tabla 2-2:Propiedades del material laminado	25
Tabla 2-3:Propiedades de la fibra de Vidrio	31
Tabla 2-4: Propiedades del material laminado	31
Tabla 3-1-Factorial de diseño de experiencia.....	36
Tabla 3-2- Normativa Ensayos	43
Tabla 3-3- Muestra Arena	47
Tabla 3-4-Muestra 2 arena	48
Tabla 3-5-Muestra 3 arena	49
Tabla 3-6-Granulometria Arena	50
Tabla 3-7-Muetsra 1 Grava	51
Tabla 3-8-Muestra 2 Grava	52
Tabla 3-9-Muestra 3 Grava	53
Tabla 3-10-Muestra 3 Grava	54
Tabla 3-11- Caracterización de los áridos	56
Tabla 3-12-Nivel de confianza	58
Tabla 3-13-Dispersion estimada de resistencia	59
Tabla 3-14-resistencias requeridas para el Hormigon	59
Tabla 3-15-Dosis de cemento y agua estimada	60
Tabla 3-16-Dosis de cemento y agua	61
Tabla 3-17-Dosificacion Estimada	61
Tabla 3-18-Dosificacion de áridos	62
Tabla 3-19- Nomenclatura dosificacion H-30.....	63
Tabla 3-20-Nomenclatura dosificación H-50	64
Tabla 3-21- Sika dur -330	67
Tabla 3-22- Resina Fibra de vidrio.....	69
Tabla 4-1-Caracterización Probetas H-30	78
Tabla 4-2-Characterizacion Probetas H-50	79
Tabla 4-3-Characterizacion Vigas H-30.....	80
Tabla 4-4-Characterizacion vigas H-50	81
Tabla 4-5- Resistencia a la Compresión H-30.....	82
Tabla 4-6-Resistencia a la Compresión H-50.....	84
Tabla 4-7-Resistencia a la Flexión H-30.....	86
Tabla 4-8 -Resistencia a la Flexión H-50	87
Tabla 4-9- Promedios Resistencias a Compresión H-30.....	89
Tabla 4-10-Promedios resistencia a Compresión H-50.....	90
Tabla 4-11-Promedio Resistencia a la Flexión H-30	91
Tabla 4-12-Promedio Resistencia a la Flexión H-50	91
Tabla 39 Aumento en Porcentaje de resistencias	93

Índice de Gráficos

Grafico 1 Granulometría muestra 1	47
Grafico 2 Granulometría muestra 2	48
Grafico 3 Granulometría muestra 3	49
Grafico 4 granulometría corregida Arena promedio	50
Grafico 5 Granulometría gravilla muestra1	51
Grafico 6 Granulometría gravilla muestra2	52
Grafico 7 Granulometría gravilla muestra 3	53
Grafico 8 Granulometría grava	54
Grafico 9 Resistencia probetas H-30 a compresión	83
Grafico 10 Resistencia Probetas H-50 a compresión	85
Grafico 11 Resistencia de vigas H-30 a Flexión	86
Grafico 12 Resistencia vigas H-50 a flexión	88
Grafico 13 H-30 compresión promedio	89
Grafico 14 H-50 compresión promedio	90
Grafico 15 H-30 flexión promedio	91
Grafico 16 H-50 flexión promedio	92

1. Capítulo 1, Antecedentes Generales

Resumen

En la última década, se han realizado estudios en la aplicación de envolturas de polímero reforzado con fibra a diferentes tipos de estructuras, ya sea pilares de hormigón armado o albañilería para proporcionar un efecto de confinamiento y tratar mejorar la resistencia a la compresión, flexotracción y ductilidad. Aunque esta técnica ha demostrado ser bastante eficaz, puede presentar inconvenientes cuando se usan resinas orgánicas para unir las fibras y el costo que involucra confinar una estructura.

En el ámbito de la edificación influyen diferentes factores, entre los cuales se encuentran los siguientes problemas patológicos, aumento de solicitaciones de carga en estructuras existentes, problemas relacionados a la durabilidad y acciones accidentales: estos afectan de manera perjudicial a una estructura siendo necesario la aplicación de un tipo de refuerzo.

El presente estudio tiene como objetivo principal estudiar las propiedades mecánicas del hormigón en conjunto de la incorporación de fibras de vidrio y fibra de carbono a probetas mediante el procedimiento de confinamiento, para así poder realizar una comparación técnica de los espesores de recubrimiento de cada probeta a ensayar, obteniendo diferentes resultados que puedan depender del tipo de fibra a utilizar o adherencia de la fibra de confinamiento, para ello, se realizaron ensayos comparativos entre un hormigón patrón y un hormigón confinado con distintos porcentajes de fibras adicionado por separado, en una escala que permita aproximar respuestas y compararlas con otros estudios y opiniones de especialistas, para validar resultados obtenidos de una escala de laboratorio, para los elementos indicados, además de la determinación de las cargas máximas que pueden verse sometido el hormigón confinado con FRP.

Para el desarrollo de las probetas se utilizaron dos tipos de hormigones un H-30 y un H-50, uno para uso convencional y el otro para utilizarse en pre y post tensados en el país.

Una vez desmoldado el hormigón de las probetas, cubicas y vigas, se continua con el proceso de curado sumergiendo las probetas durante 28 días en agua para luego esperar el proceso de secado durante 5 a 7 días para que la probeta quede totalmente seca por el exterior, para proceder el proceso de limpieza “escobillado” para limpiar y que el FRP se adhiera de la mejor forma.

Luego una vez terminado el proceso de preparación de la viga o probeta se procede al proceso de confinamiento o encamisado con fibra de vidrio y fibra de carbono por separado en cada una de las probetas, posteriormente se mezclan los epóxicos e impregnan a las fibras y probetas. Finalmente se confinan las probetas con las fibras procurando no dejar aire atrapado entre la fibra y el manto de la probeta, así evitamos el desacoplamiento.

Luego de siete días de espera finaliza el proceso de curado de los epóxicos y se lleva a cabo la realización de los ensayos de compresión y flexión para la determinación de las cargas máximas admitidas por las probetas.

Los resultados obtenidos de los ensayos de carga demuestran aumentos en relación a las probetas y vigas patrones de hormigón H-30 y H-50 ; en cuanto a las probetas H-30 confinadas con fibra de vidrio y carbono

presentaron un aumento de 10%, 50% y 80%, mientras en las vigas se tiene un aumento de un 20%, 50% a un 100% , mientras que las probetas de un H-50 se tiene un aumento de casi un 50% como máximo y en las vigas de H-50 también con un 50% de aumento en su resistencia .

En cuanto a las conclusiones del trabajo se demostró por medios de ensayos compresión y flexión el aumento de la capacidad resistente del hormigón confinado con fibras de vidrio y carbono; cuanto a las vigas y probetas sin confinar presentaron las roturas típicas, con grietas paralelas a la dirección de carga, mientras que con confinamiento la dirección varia hasta llegar a un punto de casi “explotar” desintegrándose completamente el encamisado o confinamiento.

Introducción

Según (Muñoz Alvarez 2007) señala que desde los inicios de la industria de la construcción se ha visto en la obligación de explorar diversos materiales que concilien los más variados aspectos tales como durabilidad, resistencia, costo, etc.; es así como en esta constante búsqueda los materiales aglomerantes, principalmente en la forma de hormigones o morteros, destacan para su uso como materiales de construcción, pues en ellos se combina de la mejor forma los aspectos de bajo costo, su considerable durabilidad y su adecuada resistencia a la compresión para un uso estructural; en otro orden de ideas, en su estado inicial ellos son fácilmente moldeables a las formas más complejas que sean requeridas; sin embargo presentan algunos aspectos negativos como por ejemplo su baja resistencia a la tracción, a los impactos y un deficiente desempeño en condiciones de cambios de humedad.

En pos de superar los problemas recién mencionados se han hecho variados estudios, entre los cuales destacan el reforzamiento del hormigón mediante fibras y placas de acero, por mencionar algunos, ya que con ellos se busca incrementar la resistencia a la flexión y compresión.

Como es común que gran parte de las estructuras que existen sean de hormigón, el autor (Bsesi and Adam 2015) señala que en estructuras de edificación constituidas generalmente por hormigón armado (H.A), en muchas ocasiones es necesario aplicar un refuerzo o reparaciones, esta necesidad de refuerzos se debe a las siguientes razones: Problemas patológicos, aumento de solicitaciones de carga en las estructuras existente, problemas relacionados a la durabilidad y acciones accidentales. Por ello, el fortalecimiento y reparación de la infraestructura de hormigón armado con materiales compuestos reforzados con fibra reforzada externamente (FRP) es una tecnología establecida (Zhang, Smith and Kim 2012), la cual se utiliza frecuentemente en este último tiempo.

La práctica de utilizar compuestos de polímero reforzado con fibra (FRP) se está difundiendo ampliamente en las infraestructuras para el fortalecimiento y la rehabilitación de miembros estructurales. Los compuestos de FRP son atractivos para su uso en una amplia gama de campos de ingeniería debido a su elevada relación de resistencia a peso, resistencia a la corrosión y características potencialmente de alta durabilidad (Hawileh et al. 2015). Recientemente, las aplicaciones de polímeros reforzados con fibra de carbono (FRP) y laminados de polímero reforzado con fibra de vidrio (FRP) o sus combinaciones híbridas se implementan en diferentes formas, tales como láminas, tiras, rejillas, varillas y tendones con diferentes tipos de adhesivo para reforzar elementos estructurales de refuerzo tales como losas, vigas y columnas.

En las últimas dos décadas, los materiales reforzados con fibra de polímero (FRP) han encontrado su lugar entre el refuerzo tradicional y los métodos de estabilización de estructuras (Countryman and Naval Education and Training Program Development Center 1981). El refuerzo con fibras de carbono de alta resistencia pertenece a métodos progresivos novedosos, parcialmente no invasivos y reversibles, basados en la limitación de la aparición y desarrollo de grietas de tracción resultantes de tensiones de tracción horizontales causadas por la contracción y la interacción mutua de componentes de la estructura con diferentes propiedades de desplazamiento. Estas son, sobre todo, aplicaciones para reforzar las estructuras contra la flexión, la tensión y el cizallamiento y, en menor medida, para aumentar la capacidad de carga mediante el envoltorio de los elementos portadores (principalmente columnas y pilares (Witzany and Zigler 2016). FRP materiales también desempeñan un papel importante en el fortalecimiento de las estructuras en

términos de seguridad sísmica (Corradi 2002);(Eslami 2013).

Los materiales de FRP ofrecen numerosas ventajas para fortalecer y estabilizar estructuras históricas, principalmente de mampostería , en virtud de su bajo peso, alta efectividad y reversibilidad potencial (Brugge 2011).

Hasta la fecha, la aplicación de compuestos de FRP en la restauración de edificios históricos y patrimoniales se ha centrado principalmente en la estabilización vertical de la carga y las estructuras abovedadas para resistir los efectos de las cargas horizontales debido a la sismicidad inducida y natural (Luccioni 2013);(Grande 2013)

Hoy en día, las técnicas más empleadas en refuerzos de pilares se pueden clasificar en tres tipos:

- Encamisado de hormigón, que consiste en aumentar la sección de hormigón armado.
- Encamisado de acero, que radica en envolver el soporte por una jaula constituida por perfiles angulares y pretinas de acero.
- Refuerzo mediante fibras de polímeros (conocido como el acrónimo FRP), que consiste en el envolver el soporte con tejidos de fibras de polímeros.

Ante estas situaciones con el paso de los años se ha dado el desarrollo de materiales poliméricos avanzados los cuales se utilizan hace más de 25 años en la industria aeroespacial, automotriz, construcción naval y electrónica entre otras. Estos son los llamados materiales compuestos o poliméricos reforzados con fibras desde ahora en adelante FRP (en inglés fiber reinforced polymers) (Fuertes 2007).

Ahora bien, se entiende por material compuesto aquel formado por dos o más componentes, de forma que las propiedades del material final sean superiores a las de los componentes por separado.

El primer trabajo experimental donde se usaron FRP para el refuerzo del H.A se remonta al año 1978 en Alemania. Sin embargo las primeras aplicaciones de la técnica de confinamiento por FRP en columnas de H.A se realiza en Japón en los años ochenta, es más el uso de FRP en este país aumento de forma súbita en 1995 tras el terremoto de Hyookken Namba (Nanni 2000).

El presente estudio se basa en el confinamiento de probetas cilíndricas y rectangulares de hormigón, las cuales, como se señaló anteriormente serán confinadas unas con fibras de carbono y otras con fibra de vidrio.

De esta manera por medio de ensayos de compresión y flexión se pretende determinar las resistencias máximas a las cuales pueden ser sometidas las nuevas probetas confinadas con estos tipos de materiales poliméricos y realizar un análisis comparativo de ellas.

También como caso de estudio será la aplicación de la cantidad de material (fibras) al confinar cada probeta, debido a la relación de cantidad de material implementado, y adherencia podríamos resolver o responder incógnitas al momento de plantear una solución.

A pesar de las diferentes ventajas que se derivan de la adopción de envolturas de FRP, los trabajos de la literatura han puesto de manifiesto el hecho de que varios aspectos críticos están involucrados en esta técnica, como la concentración de esfuerzos en secciones acentuadas, el comportamiento frágil del FRP, Sobre superficies húmedas, altos costos y gran impacto estético, además de señalar que “Los elementos de hormigón reforzados con compuestos de polímero reforzado con fibra adherida externamente (FRP) son susceptibles de falla prematura por desacoplamiento del FRP.(Lam and Teng 2001)

Planteamiento del problema

En los últimos tiempos, uno de los materiales más utilizados en el mundo de la construcción es el hormigón, dado su bajo costo, su durabilidad y su adecuada resistencia a la compresión para el uso estructural, por ello, en variadas estructuras es muy común ver diferentes tipos de factores de falla, más aun en Chile que es un país sísmico, que influyen en el estado de la edificación.

Entre las causas que pueden motivar la intervención sobre una estructura ya construida pueden ser las siguientes:

- Errores de diseño y/o cálculo de la estructura.
- Baja calidad de los materiales estructurales.
- Problemas de durabilidad, especialmente degradación de los materiales por agresión del ambiente.
- Uso y/o mantenimiento incorrecto de la construcción.
- Acciones “imprevisibles” de carácter excepcional:
 - a) Catástrofes naturales.
 - b) Accidentes.
- Remodelación y/o reutilización de una estructura:
 - a) Modificación de ella misma o cambio en la distribución de esfuerzos.
 - b) Cambios en la utilización de ella, con incrementos de las sobrecargas de uso.

Es por estas razones que las estructuras deben ser intervenidas, ya sea para realizar reparaciones o refuerzos, existiendo un amplio campo de diferentes tipos de refuerzo, con diferentes materialidades y con una amplia gama de insumos disponibles en el mercado.

Por lo tanto, debido a lo anterior se decide emprender el estudio sobre el uso de refuerzos con FRP (fibers reinforced polymers) y explicar en detalle el comportamiento del hormigón, el cual se verá sometido a pruebas de ensayos de compresión y flexión confinando sus caras con fibra de carbono y fibra de vidrio, por separado, para así tener una respuesta como actúa un material compuesto (FRP) y tener una respuesta concreta de cómo hacer y que material ocupar.

Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento mecánico del hormigón confinado con diferentes espesores de fibras de carbono y diferentes espesores de fibras de vidrio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la capacidad de resistencia a la compresión y flexotracción del hormigón confinado con fibras de carbono en diferentes espesores.
2. Determinar la capacidad de resistencia a la compresión y flexotracción del hormigón confinado con fibras de vidrio en diferentes espesores.

Alcances

- Todos los hormigones serán fabricados y evaluados en el laboratorio de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso.
- El cemento utilizado corresponde a portland puzolánico grado corriente.
- Las probetas a ensayar serán de diámetro 15 cm y altura 30 cm de acuerdo a la norma chilena NCh 1037 of 77.
- La calidad de los hormigones será en grados H-30 puesto a que es de uso convencional en la edificación y H-50 debido a que se realizan los posts y pre tensados con esta calidad de hormigón.
- Todas las mezclas de hormigón serán fabricadas con árido de tamaño máximo nominal de 20mm según la norma chilena NCh 163 of 79.

Metodología de la Investigación

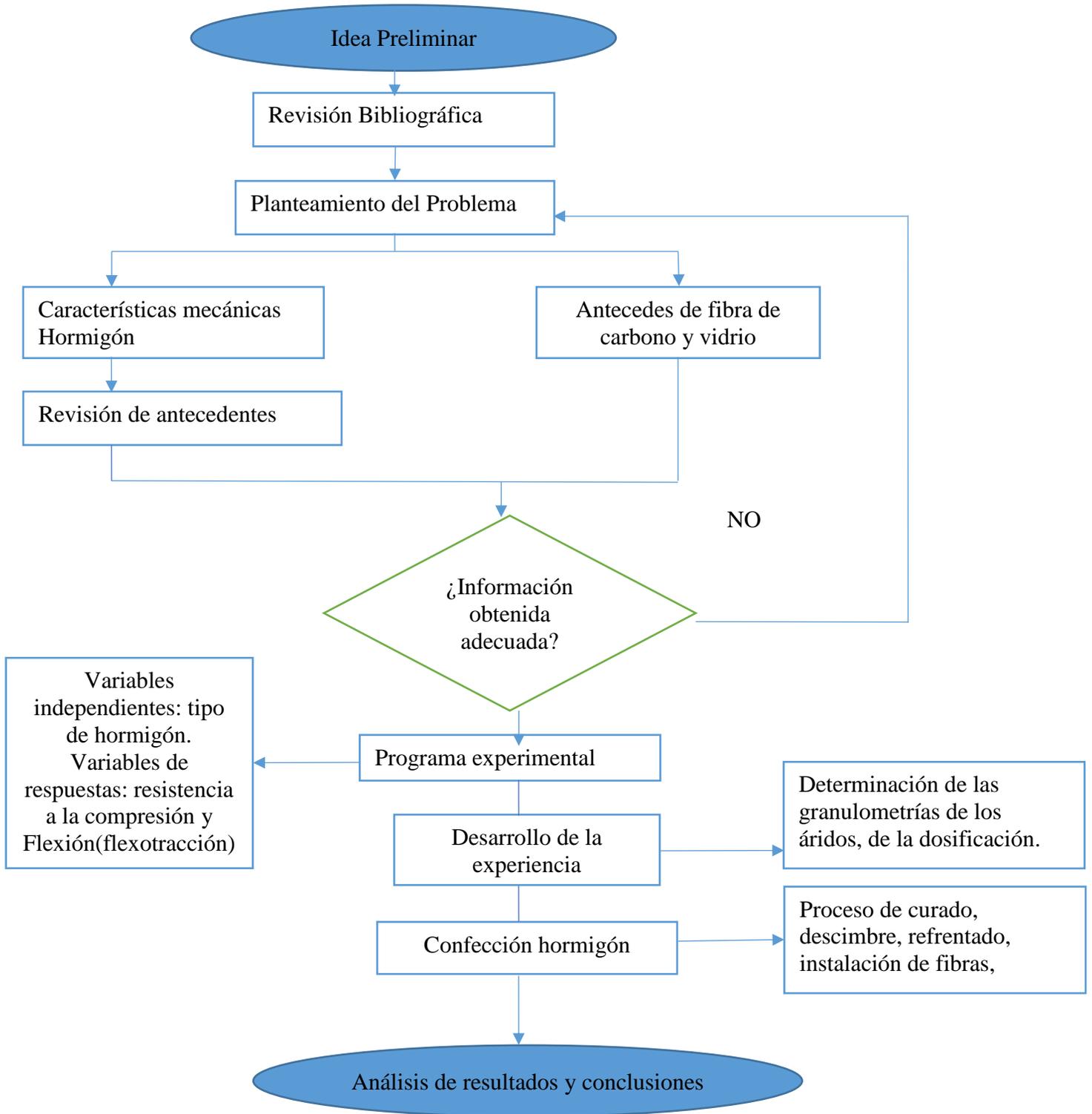
Este estudio se dividirá en cuatro partes que describen y revelan el proceso metodológico llevado a cabo en la elaboración de esta experiencia. Cada parte compuesta de los correspondientes capítulos que se expresan a continuación:

Capítulo 1: Antecedentes generales, introducción, planteamiento del problema, objetivos generales y específicos, alcances del estudio.

Capítulo 2: Aclaración de conceptos necesarios para la elaboración de la tesis con fundamentos y planificaciones para la parte experimental.

Capítulo 3: Planificación, desarrollo y resultados de la experiencia, se detalla primordialmente el tiempo necesario para la ejecución de los ensayos, descripción de los ensayos, caracterización de materiales, desarrollo de ensayos y expresión de resultados tratando de dar resultado a los objetivos y o antecedentes generales.

Capítulo 4: En este capítulo se analizan los resultados obtenidos y se contrastan los objetivos tanto generales como específicos planteados originalmente (análisis de datos y conclusiones).



2. Capítulo 2, Marco Teórico

2.1 Comportamiento a compresión del hormigón

El hormigón es un material compuesto principalmente por áridos, cemento y agua. Su masa es heterogénea, lo que supone una complicación añadida al estudio en su comportamiento. Las características más relevantes a tener en cuenta son la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, densidad, impermeabilidad y estabilidad volumétrica

El cemento tiene que ser el adecuado, el árido debe tener una resistencia a compresión mayor o igual al cemento, y al igual que el agua, no contener sustancias nocivas para el cemento. Otros factores que influyen en la obtención de un hormigón con la resistencia deseada es la relación agua cemento y tamaño máximo del árido.

Para la determinación de la cantidad de agua necesaria hay que contar con la humedad del árido, debido a que en función de ello, el árido absorberá mayor o menor cantidad de agua, quedando agua restante para mezclarse con la cantidad de cemento. El agua que queda una vez saturado el árido se denomina agua efectiva, siendo la teórica el total de agua añadida. Si la cantidad de agua es excesiva, se crean huecos que al evaporarse el agua quedan rellenos de aire provocando una disminución de densidad y resistencia. Al contrario, si el agua no es suficiente y el cemento no se hidrata lo suficiente, también puede producir huecos en el hormigón, debido a que se dificulta la trabajabilidad y el cemento no se hidrata suficientemente para crear los geles que rellenan los huecos (De la Rosa, 2010)

Debido a que, a mayor cantidad de cemento se consigue mayor calidad en el hormigón y mayores resistencias, a los hormigones con buenas resistencias conllevan tamaños máximos de áridos más pequeños que los hormigones de resistencias más bajas. Para hormigones de uso estructural el tamaño máximo del árido suele ser de 40mm de acuerdo a la norma Chilena 163 of 79. En cuanto al árido también influye la granulometría de este, su resistencia, forma y textura.

2.2 Determinación de la resistencia a la compresión

El comportamiento del hormigón a compresión se puede determinar mediante ensayos que se realizan en el laboratorio mediante la rotura de probetas cilíndricas o cúbicas según la norma de cada país.

En Chile es posible determinar la resistencia a la compresión sobre probetas cilíndricas y cúbicas, las cilíndricas tienen dimensiones de 15cm de diámetro y 30cm de alto y deben ser curadas a una edad de 28 días con un tamaño máximo entre 20mm y 40mm (NCh 1077 of 77)

De los ensayos se obtienen valores individuales para cada probeta y se realiza la media aritmética para calcular la resistencia a la compresión del hormigón ensayado, para contrarrestar la influencia de los valores típicos obtenidos se define la resistencia característica, para la cual, se tienen en cuenta la dispersión de los datos. La resistencia de un hormigón es la que con un 95% de probabilidad la resistencia obtenida de la rotura de cualquier probeta semejante a las estudiadas será igual o mayor a su valor.

Uno de los parámetros más estudiados para conocer el comportamiento del hormigón, y que está relacionado con la resistencia a la compresión, es el módulo de elasticidad (Dela Rosa, 2010). A diferencia de otros materiales, el hormigón no cumple la ley de Hooke. El módulo de elasticidad toma diferentes valores para cada nivel de tensión, excepto en los primeros niveles de carga, donde la curva tensión deformación presenta un ramo inicial rectilíneo. El módulo de Young o módulo de elasticidad estático en el origen tangente a la curva se denomina módulo de elasticidad (E). Un valor muy empleado es módulo de elasticidad secante (E_c) (figura) definido por la recta que une el origen con el punto de la curva correspondiente a una fracción de la carga, normalmente entre un 0,4 y 0,5 f_c , max.

Se puede considerar que aproximadamente (E_c) es un 90% de (E). Para cualquier valor de la carga se considera un módulo de elasticidad tangente a la curva en el punto correspondiente a la esta tensión, válido también para pequeñas variaciones de esta.

2.3 Comportamiento a Flexión del Hormigón

Se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas. El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerza perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos.

2.3.1 Determinación de la resistencia a flexión(Flexotracción)

El comportamiento del hormigón a Flexión sobre probetas mediante ensayos que realizan en el laboratorio mediante la rotura de probetas cilíndricas o cubicas según la norma de cada país.

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

El ensayo se basa en la norma chilena NCh 1038 Of 77 y consiste en someter a una vigueta de hormigón simplemente apoyada, a una sollicitación de flexión mediante la acción de dos cargas concentradas en los límites del tercio central de la luz de ensayo.

2.4 Desarrollo de los FRP

El primer trabajo experimental donde se usaron los materiales de FRP para el refuerzo de estructuras de HA se remonta al año 1978 en Alemania (Wolf y Miessler 1989). Sin embargo, las primeras aplicaciones se realizaron en Suiza, tras unos trabajos dirigidos a la mejora de la resistencia a flexión de las estructuras de algunos puentes de HA (Meier 1987; Rostasy 1987).

Las primeras aplicaciones de la técnica de confinamiento por FRP, a columnas de HA, se realizaron en Japón en los años ochenta (Fardis y Khalili 1981; el Katsumata et al. 1987). Sin embargo, el uso de FRP en este país aumentó de forma súbita en 1995 tras el terremoto de Hyogoken Nanbu (Nanni 1995).

Los Estados Unidos han mantenido, desde los años treinta, un interés constante y continuo en el refuerzo por FRP de las de estructuras de HA. Sin embargo, el desarrollo en el uso de estos refuerzos tuvo lugar en los años ochenta, tras las iniciativas de la National Science Foundation (NSF) y de la Federal Highway Administration (FHWA).

Las aportaciones más significativas en cuanto a investigación y aplicación del refuerzo mediante FRP en la rehabilitación de estructuras de HA ocurren a final de los noventa y principios de este siglo (Japan Concrete Institute 1997; Neale 2000; Dolan et al. 1999; Sheheta et al. 1999; Saadatmanesh and Ehsani 1998; Benmokrane and Rahman 1998; Neale and Labossière 1997; Hassan and Rizkalla 2002).

En los últimos diez años, ha tenido lugar el desarrollo de códigos y normas para el refuerzo mediante FRP en Europa, Japón, Canadá, y los Estados Unidos. La Japan Society of Civil Engineers (JSCE), la Japan Concrete Institute (JCI) y la Railway Technical Research Institute (RTRI) han publicado varios documentos relacionados al uso de materiales de FRP en estructuras de hormigón. En Europa, la International Federation for Structural Concrete (FIB) publicó, en 2001, un boletín con una guía de diseño por refuerzos de estructuras de HA por FRP (FIB 2001). La Canada Standards Association e ISIS han sido instituciones muy activas en el desarrollo de guías de diseño por refuerzos de estructuras de HA por FRP.

2.5 Fibras de Carbono

Se denomina fibra de carbono a un compuesto no metálico de tipo polimérico, integrado por una fase dispersante que da forma a la pieza que se quiere fabricar, normalmente alguna resina, y una fase dispersa, un refuerzo hecho de fibras, en este caso de carbono y cuya materia prima es el poliacrilonitrilio (PAN). Es un material de alto costo monetario, de propiedades mecánicas elevadas y ligeras.

Las fibras aportan resistencia y rigidez, mientras que la matriz transmite los esfuerzos de unas fibras a otras, entre ellas y la superficie sobre la que se adhiere, además de proteger a las fibras de posibles daños mecánicos y ambientales (Oller, 2002).

2.5.1 Propiedades de la fibra de carbono

Las fibras del carbono son las más resistentes y durables, y por ende, las más costosas. Las fibras típicas de carbono usadas en la industria de construcción tienen resistencias 10 veces más que del acero típico de grado 60 utilizado para el refuerzo y dos veces más fuertes que el acero usado para pretensado, es también absolutamente resistente a la mayoría de las condiciones ambientales y puede soportar altas condiciones de carga y fatiga; sin embargo, es un material conductor, y mientras que el carbono mismo no se corroe, si está en contacto con acero, acelera la corrosión del acero. (Nanni, 1999).

Las altas características mecánicas de las fibras de carbono son debidas al alto grado de orientación de los cristales a lo largo de los ejes de las fibras. Dependiendo del proceso de fabricación se obtienen de bajo modulo, alta resistencia y alargamiento a la rotura o fibras de alto módulo de gran aplicación en el campo aeroespacial. A continuación, se detallan los dos tipos de fibras:

Fibras de bajo modulo: con módulo de elasticidad entorno de $2,3 \times 10^5$ N/mm² y un alargamiento en rotura aproximado 1,5%.

Fibras de alto módulo de elasticidad con un módulo de elasticidad que va entre los $4,4 - 6,4 \times 10^5$ N/mm² y un alargamiento en rotura de 4 a un 0,6%.

Las razones del elevado precio de los materiales realizados con fibra de carbono se deben a varios factores:

- El refuerzo, fibra, es un polímero sintético que requiere un caro y largo proceso de producción. Este proceso se realiza a altas temperaturas en atmosfera de hidrogeno durante una semana o incluso meses dependiendo de la calidad que se desee obtener, ya que pueden realizarse procesos para mejorar alguna de sus características una vez obtenida la fibra.
- El uso de materiales termoestables dificulta el proceso de creación de la pieza final, ya que se requiere de un complejo entorno especializado, como el horno autoclave. (Águila, 2010)

2.5.2 Características de la fibra de carbono

Tabla 2-1:Propiedades de la fibra de carbono

Resistencia a la tracción	600 000 psi (4,14 Gpa)
Módulo de Tracción	35 x 10 ⁶ psi (241 Gpa)
Alargamiento a la rotura	1,7%
Densidad	0,063 lbs/ in
Peso por yarda cuadra	9,5 oz

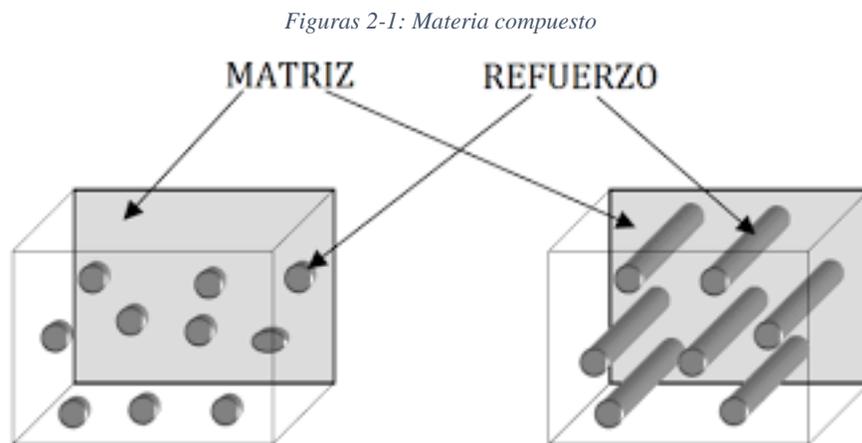
Tabla 2-2:Propiedades del material laminado

Propiedades	Método ASTM	Valor típico de prueba	Valor de diseño
Resistencia a la rotura en la dirección de la fibra primaria, psi	D-3039	128.000 psi	100.000 psi
Alargamiento de rotura	D-3039	1%	0,85%
Módulo de tracción, psi	D-3039	13x10 ⁶ psi	11x10 ⁶ psi
Espesor de laminado		0.028 in	0.028 in

Fuente: Morales,2013

2.6 Materiales Compuestos

Los materiales compuestos están formados por la combinación de dos o más materiales para obtener propiedades (físicas, químicas, etc.) tales que sean superiores a aquellas de sus constituyentes, es decir, en el lenguaje común actual, los materiales compuestos son aquellos en los que las fibras de unas sustancias están incorporadas en una matriz con propiedades de otra sustancia (o resina), habitualmente un plástico, para crear un material con propiedades mecánicas especiales, normalmente mejor que las propiedades que posee cada uno por separado.



Fuente: Oller,2002.

También se designa a estos materiales como plásticos de fibra reforzada, pero esta expresión es algo engañosa, porque hace pensar que el material fundamental es el plástico, y que las fibras son elementos accesorios. En realidad, son las fibras que por lo general soportan las cargas de los elementos y las matrices plásticas sirven únicamente para estabilizarlas y repartir las cargas entre ellas(Parrilla,2011). Los materiales compuestos estructurales según los conceptos actuales difieren por ejemplo de los ladrillos de adobe o de hormigón reforzado con acero, en los que la paja o el acero proporcionan la resistencia a la tracción. En los materiales compuestos sintéticos modernos tanto la fuerza tensora como la compresión las soporta el refuerzo fibroso.

Aun con esta definición, los materiales compuestos no son algo nuevo; la fibra de vidrio y la baquelita reforzada con resinas epóxicas, han sido utilizadas durante decenas de años en una enorme variedad de productos. Lo nuevo es actualmente una gama de materiales compuestos avanzados, materiales que utilizan fibras de gran rendimiento como el carbono, aramida o el vidrio en matrices epóxicas.

Estos materiales superan las aleaciones metálicas en resistencia y rigidez, son muchos más ligeras, tienen características superiores de fatiga y, su gran cualidad, son prácticamente inmunes a la corrosión.

Por otra parte, en lo referido a la edificación observamos la evolución de las construcciones y sus infraestructuras. A lo largo del tiempo, las técnicas y los materiales utilizados han ido mejorando de manera vertiginosa.

Sin embargo, una vez realizada una construcción, esta se deteriora debido a su envejecimiento o es necesaria una adaptación de la estructura debido a nuevas condiciones de uso. Para hacer frente a estas necesidades, el campo de refuerzo de estructuras ha recibido un énfasis importante en las dos últimas décadas en todo el mundo (Chávez, 2007).

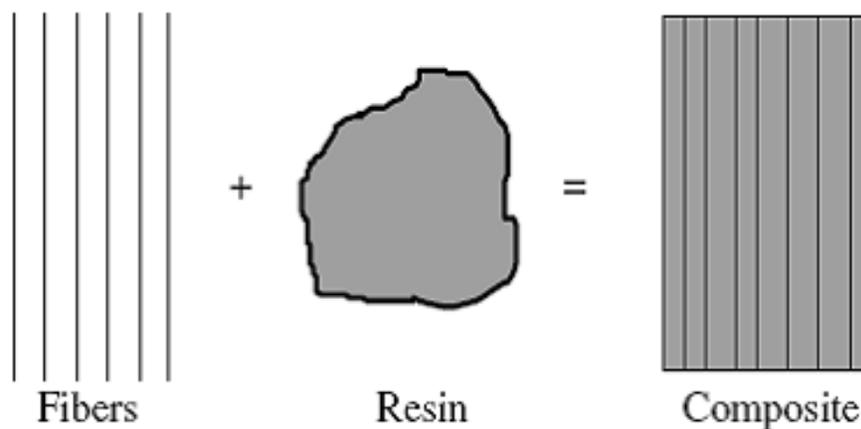
2.5.1 Propiedades de un material compuesto

Un material compuesto, es un sistema de material consistente de dos o más fases en una escala macroscópica, cuyo comportamiento mecánico y propiedades están diseñadas para ser superiores a aquellos materiales que lo constituyen cuando actúan independientemente.

Las propiedades de un material compuesto dependen de las propiedades de los elementos, geometría y distribución de las fases. Uno de los parámetros más importantes es la fracción en volumen o en peso de fibras en el material compuesto.

Una de las fases es usualmente discontinua, conocida como fibra, la cual es un material rígido y otra fase débil en continuo que es llamada matriz (figura).

Figuras 2-2: Composición de un material Compuesto

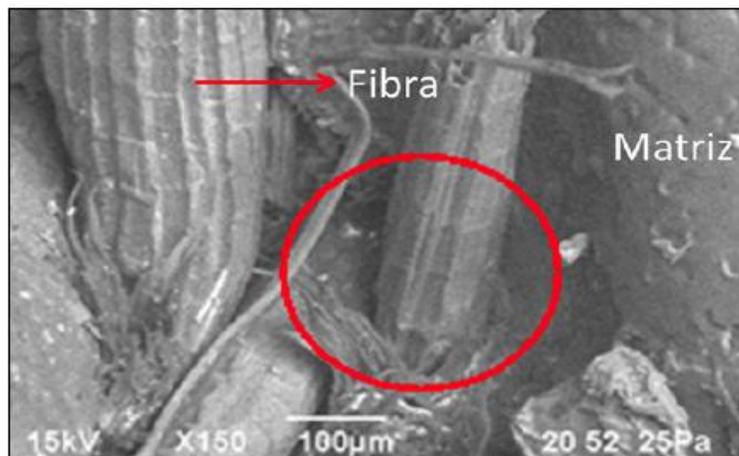


Fuente: Carbonconcrete, 2010.

La distribución del refuerzo determina la homogeneidad o uniformidad del sistema del material. Cuanto menos uniforme es la distribución de refuerzo, y en cuanto más heterogéneo sea, causara una alta probabilidad de falla en las áreas débiles. La geometría del refuerzo afecta la anisotropía del sistema.

Las fases del sistema compuesto tienen diferentes funciones que dependen del tipo y aplicación del material compuesto. En el caso de un material compuesto de bajo o medio comportamiento, el refuerzo es usualmente en la forma de fibras cortas o partículas, proporcionando rigidez, pero solo frente a esfuerzos locales de material. La matriz en cierta forma es el principal elemento que soporta las cargas gobernando las propiedades mecánicas del material.

Figuras 2-3: Material Compuesto. Matriz Fibra



Fuente: LatinAm. Metal. Mater, 2012

En el caso de compuestos estructurales de alto comportamiento, son usualmente reforzados con fibra continua, la cual es la columna vertebral del material que determina la rigidez y refuerzo en la dirección de la fibra y los refuerzos locales se transfieren de una fibra a otra. (Águila, 2010). La interfase a pesar de su corto tamaño, puede jugar un rol importante en controlar el mecanismo de fractura, la fuerza para fracturar y en conjunto el comportamiento, esfuerzo- deformación del material.

En cuanto a la matriz, las resinas habitualmente utilizadas en ingeniería estructural son poliésteres, vinylésteres y epoxis. Todas aquellas son resinas termoestables que se polimerizan a temperaturas normales. En cuanto a sus características, las resinas epóxicas constituyen unos de los materiales de mayor aplicación principalmente por su excelente adherencia a las fibras, fruto de su viscosidad, y de la baja retracción que experimentan durante el proceso de curado. Además cabe destacar su elevada dureza, resistencia a la humedad y a la fatiga (Oller,2002).

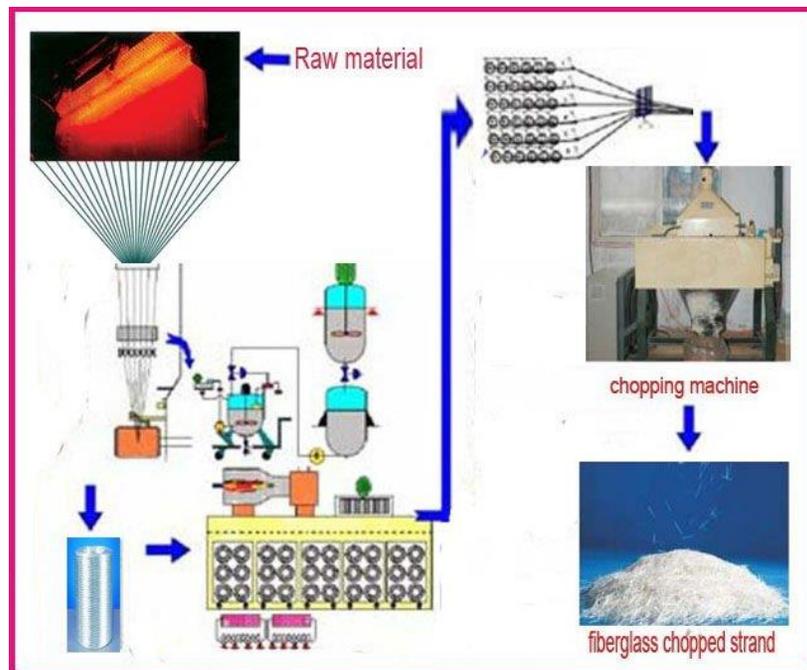
De la combinación de fibras orgánicas o inorgánicas con resina y con las cargas, resultan los materiales compuestos. En función de las fibras que contienen: vidrio, carbono o aramida surgen los llamados GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer), CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) y AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymer).

2.7 Fibras de Vidrio

La fibra de vidrio es un material compuesto consistente en fibras continuas o discontinuas de vidrio embebidas en una matriz plástica, este compuesto se produce en gran cantidad, por ello son los compuestos más utilizados en la construcción, debido fundamentalmente a la excelente relación existente entre características y precio.

Las fibras de vidrio están elaboradas con las mismas materias primas que el vidrio: sílice, cal, alúmina y magnesita, a las cuales se les añade ciertos óxidos en porcentaje muy estrictos, según los tipos de fibras que se quieran obtener. Todos estos componentes se mezclan y trituran hasta conseguir una mezcla homogénea que se introduce en un horno de fusión a la temperatura de 1550 c, en el cual la mezcla pasa progresivamente a un estado líquido. El vidrio en estado pasa por hileras, por centenares de orificios de 1 a 2mm de diámetro, a la salida de cuales son estirados mecánicamente hasta conseguir unos filamentos de 5 a 24 micras, dependiendo de las aplicaciones. Posteriormente se revisten estos filamentos con una dispersión acuosa de compuestos, generalmente orgánicos, operación denominada ensimaje que garantiza la unión entre filamentos y la protección del hilo. Los filamentos, una vez revestidos, se reúnen para formar el hilo que finalmente se le da un acabado textil o plástico.

Figuras 2-4:Proceso de Fabricación Fibra de Vidrio



Fuente :Nioglass,2008

Las prestaciones industriales de la fibra de vidrio para su uso como material de refuerzo de las matrices orgánicas son las siguientes:

- Mat: fieltros de hilos cortados o continuos aglomerados entre si mediante un ligante químico.
- Roving: bobinas de filamentos (roving directo) o hilos de vidrio (roving ensamblado) que han recibido un ensimaje plástico.
- Tejido: superficies constituidas por mechas de Roving directo en trama y urdimbre, tratados principalmente con ensimaje plástico.
- Hilos cortados: hilos cortados generalmente en longitudes de 3 a 12mm
- Fibras molidas: fibras trituradas hasta longitudes comprendidas entre 0,1 y 0,02 mm. Manteniendo su diámetro entre 10 y 17 micras.

2.7.1 Ventajas de la fibra de vidrio

- Excelentes resistencias mecánicas
- Buen aislante térmico
- Baja densidad
- Buena flexibilidad
- Bajo costo
- Buena resistencia a agentes químicos

Existen muchos tipos de fibras de vidrio, ya que dependiendo del porcentaje de cada uno de sus componentes pueden obtenerse diferentes formulaciones, adecuando cada una de ellas, a unas características determinadas.

2.7.2 Desventajas de la fibra de vidrio

- Es necesario plantear una adecuada protección frente al fuego, debido a la presencia de resinas epoxi.
- La eficacia del refuerzo se ve reducida si la sección no es circular, lo que hace el refuerzo poco adecuado para soportes con sección cuadrada o rectangulares , a menos que estos se transformen en circulares o elípticos.

2.7.3 Características de la fibra de vidrio

Tabla 2-3: Propiedades de la fibra de Vidrio

Resistencia a la tracción	470 000 psi (4,14 Gpa)
Modulo de Tracción	10,5 x 10 ⁶ psi (241 Gpa)
Alargamiento a la rotura	4,5%
Densidad	0,092 lbs/ in
Peso por yarda cuadra	27 oz

Tabla 2-4: Propiedades del material laminado

Propiedades	Método ASTM	Valor típico de prueba	Valor de diseño
Resistencia a la rotura en la dirección de la fibra primaria, psi	D-3039	83.400 psi	66,720psi
Alargamiento de rotura	D-3039	2,2%	1,76%
Modulo de tracción, psi	D-3039	3,79x10 ⁶ psi	3.03x10 ⁶ psi
Espesor de laminado		0.05 in	0.05 in

Fuente: Morales,2013

2.8 Refuerzos con FRP

2.8.1 Tipos de Refuerzo

La técnica de refuerzo de soportes con FRP más común, consiste en enrollar alrededor del soporte que se quiere reforzar, una o más capas de láminas de este material, impregnados con resinas poliméricas (epoxi), con las fibras orientadas en la dirección de los estribos. Esta operación requiere pocos operarios, es de fácil puesta en obra, y de rápida ejecución, lo que supone una gran ventaja en aquellos casos en que es difícil el acceso a la zona de trabajo. (Mastrovitti, 2009).

De esta forma, sin alterar en no más de unos milímetros las dimensiones iniciales del soporte, se consigue dotar al hormigón de un efecto de confinamiento muy beneficioso, lo que permite que aumente en gran medida la ductilidad y capacidad de absorción de energía del soporte, produciéndose un aumento en su resistencia mecánica.

Si bien el efecto de confinamiento es muy efectivo en soportes circulares, cuando la sección es rectangular o cuadrada el empleo de un refuerzo FRP es mucho menor eficaz (Mastrovitti,2009), llegando incluso afirmarse que se necesita emplear el doble de material para conseguir el mismo efecto que se tendría si la sección fuese circular (Tao,2007). En general, en los diseños propuestos en los códigos existentes suele calcularse como si la sección fuese circular y posteriormente se introduce un “factor de forma” (Rocca,2006), que tiene en cuenta esta pérdida de efectividad.

Figuras 2-5:Refuerzo de Pilar circular



Fuente: tectónica,2012

2.8.2 Ventajas del refuerzo FRP

Las principales ventajas que presenta un refuerzo con FRP son:

1. Fácil puesta en obra y ejecución, gracias a la ligereza del material. Por ello, son especialmente adecuados en zonas de difícil acceso.
2. Resistencia a la corrosión y al ataque de agentes ambientales, una ventaja importante en aplicaciones costeras, marinas y en general en todos aquellos ambientes que sean agresivos, siendo el mantenimiento prácticamente nulo.
3. Gran ligereza y buenas características mecánicas, destacando sus elevadas resistencias y rigidez específica y buena resistencia a la fatiga.
4. Facilidad de transporte y puesta en obra, reduciéndose los plazos y costes de ejecución.
5. Aumentan significativamente la ductilidad y la capacidad de absorción de energía de soporte, lo que supone mejorar el comportamiento de la estructura frente a un sismo.
6. Poseen una baja conductividad térmica y no producen interferencias con campos electromagnéticos.

Desventajas del refuerzo FRP

Es necesario plantear una adecuada protección frente al fuego, debido a la presencia de resinas epoxi y su presunta inflamación momentánea.

La eficacia del refuerzo se ve reducida si la sección no es circular, lo que hace el refuerzo poco adecuado para soportes con sección cuadrada o rectangular, a menos, que se disponga del doble de material para obtener mejores resultados.

3. Capítulo 3, Diseño Experimental

3.1 Metodología de Trabajo

Introducción

Esta metodología permitirá comparar las propiedades mecánicas del hormigón confinado con fibra de vidrio y carbono en distintos espesores, el cual será sometido a pruebas de flexión y compresión.

De acuerdo con la bibliografía y plan de desarrollo de nuestro estudio, se realizará confinamiento con fibra de vidrio tipo E (mayor resistencia mecánica), además del confinamiento con fibra de carbono, para así poder realizar el estudio comparativo de ambas tecnologías a emplear.

Diseño de la experiencia

Esta experiencia se diseñará, tomando en cuenta la presencia de dos hormigones patrones, el primer hormigón patrón será del tipo H-30 y el segundo será un hormigón del tipo H-50. Los cuáles serán confinados con diferentes espesores o giros (1-2 vueltas) de fibra, ya sea vidrio o carbono. Con esto las variables independientes son:

- Hormigón tipo H-30.
- Hormigón tipo H-50

Las variables dependientes:

- Resistencia a la compresión.
- Resistencia a la flexión.
- Tipos de Fibra.

Cada tipo de confinamiento para las probetas según el ensayo a realizar fue designado por las siguientes siglas:

- V= Envoltura.(giro)
- R= Envoltura (giro) en vigas
- X: 3 repeticiones (probetas).

Nota: Giro, recubrimiento en totalidad del perímetro de la probeta.

Tabla 3-1-Factorial de diseño de experiencia

Ensayo de Compresión					
Hormigón		Fibra de Carbono		Fibra de Vidrio	
	Patrón	1º V	2º V	1º V	2º V
H-30	x	x	x	x	x
H-45	x	x	x	x	x
Ensayo de Flexión					
Hormigón		Fibra de Carbono		Fibra de Vidrio	
	Patrón	1º R	2º R	1º R	2º R
H-30	x	x	x	x	x
H-45	x	x	x	x	x

Fuente: Elaboración Propia, 2017

La cantidad total de hormigones que se realizarán en el presente estudio, serán 2, con un total de 60 probetas para los ensayos de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

Los hormigones que se diseñaran para esta experiencia, serán dosificados según la norma NCh 170 Of.2016, el hormigón patrón tendrá un tamaño de árido máximo nominal de 20mm según la norma chilena NCh 163 of 79, lo cual después de pasado los 28 días de curado se confinaran con la misma resina para ambas fibras, con diferentes espesores de fibra mediante la envoltura, por ende, nos brindaran diferentes espesores formando un material compuesto de confinamiento.

3.2 Ensayos

Compresión

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

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

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

a) Forma y dimensiones de la probeta:

- Probetas Cúbica: preferentemente de 15 y 20 cm de arista.
- Probetas Cilíndrica: 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

b) Condiciones de ejecución del ensayo:

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

c) Características del hormigón:

Tipo de cemento.

- Relación agua / cemento.
- Edad del hormigón.

d) Condiciones ambientales:

- Temperatura.
- Humedad.

Flexotracción

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

El ensayo se basa en la norma chilena NCh 1038 Of 77 y consiste en someter a una vigueta de hormigón simplemente apoyada, a una sollicitación de flexión mediante la acción de dos cargas concentradas en los límites del tercio central de la luz de ensayo.

Procedimiento

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

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

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

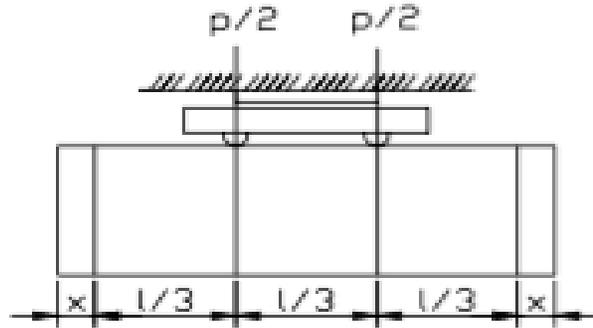
$L > 3h$ En que:

L = luz de ensayo;

h = altura de la probeta.

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

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



Fuente: NCh 1038, 1977.

3.3 Refrentado de Probetas

Resina y fibras

Después de haber desmontado las probetas de los moldes se procederá a realizar el siguiente procedimiento:

1. Preparada la superficie de concreto(probete), se aplica una capa de imprimante epóxico. Usualmente, este primer producto epóxico tiene una baja viscosidad permitiendo su penetración en el concreto. La función de esta primera capa es proveer a la superficie del concreto una adecuada adherencia.
2. Acto seguido, se aplica una pasta epóxica para rellenar cualquier defecto en la superficie (lisa)
3. Luego, se cubre la superficie con un saturante epóxico para impregnar las fibras secas. Este saturante mantiene las fibras en su adecuada dirección y posición. El objetivo de esta capa de saturante es rápidamente empapar las fibras y mantenerlas en su ubicación mientras se inicia el proceso de curado del sistema de reforzamiento. Debido a su alta viscosidad, permite el fácil manejo de la fibra y su correcta aplicación. Este saturante también distribuye los esfuerzos en las fibras y ayuda a protegerlas de las condiciones ambientales y la abrasión.
4. Se cortan y preparan a medida las láminas de fibras de acuerdo al diseño del proyecto y se colocan en su lugar, permitiendo que comience a absorber el saturante.
5. Luego de un tiempo de espera determinado que permite que la lámina absorba la primera capa de saturante, se aplica una segunda capa de saturante para cubrirla.
6. Finalmente, se aplica una capa de acabado que cubre totalmente el sistema FRP, logrando una apariencia similar a un concreto común. Esta capa también protege a la fibra.

Consideraciones del procedimiento de refrentado:

- Se debe cuidar que la probeta no presente diferencias de altura o inclinación de la cara de ensayo superior a 3mm
- La probeta no debe presentar imperfecciones o depresiones mayores a 5 mm

Material de refrentado

El procedimiento de refrentado de probetas es un proceso que mejora las condiciones de planeidad y paralelismo entre las caras de ensayo de la probeta.

El método utilizado para efectos de este estudio corresponde al referentado de mortero de azufre (NCh 1172 of 78) el cual consiste básicamente en la mezcla seca de azufre y material granular comprendido entre los tamices #50 y #100. La dosificación utilizada para dicha mezcla puede variar utilizándose 55 a 70 partes de azufre en polvo y 30 a 45 partes del material ránulas anteriormente mencionado. El proceso de fusión de la mezcla se debe hacer por calentamiento de la misma, a temperatura controlada entre 30 y 145°C.

El método de refrentado a utilizar ser mediante mortero de Azufre el cual se presenta como el método más confiable a la hora de trabajar con hormigones (Nch 1172 of 78). Sin embargo, debido a las características de los materiales a utilizar en la confección del mortero es necesario la revisión de dicho material avaluando las capacidades resistentes del material de refrentado, para esto se deben confeccionar cubos de 5 cm de arista y variando las cantidades de los materiales componentes hasta encontrar la dosis que represente la mejor capacidad frente al esfuerzo de compresión y flexotracción.

Capa de refrentado

El espesor de capa de refrentado debe ser menor a 5mm, lo ideal es que sea lo más delgada posible, aconsejando una capa de 3mm de espesor, la cual se revisa usando la siguiente expresión:

$$(H' - H)/2 < 5 \text{ mm}$$

Donde:

H= Promedio de la mayor y menor altura en mm (h_1 y h_2), registrada en la probeta antes del procedimiento de refrentado.

H`= Promedio de la mayor y menor altura en mm (h_1' y h_2'), registrada una vez terminada la etapa de refrentado.

Una vez aplicada la capa se dejará endurecer durante 24 horas, condición obligada al tratarse de hormigones de resistencia alta, ya que en este periodo de tiempo se estima que el mortero de azufre alcanza su máxima resistencia.

Luego de refrentadas las probetas se debe verificar que la capa no haya quedado con incrustaciones de aire, ya sea por falta de adherencia o por aire atrapado, además se debe controlar lo plano e inclinado que este dentro de las tolerancias obtenidas.

3.4 Otros ensayos realizados

Hasta el momento se ha mencionado y descrito los ensayos fundamentales para dar respuesta a los objetivos específicos, sin embargo, estos ensayos no sirven de nada sin los ensayos previos a los materiales que componen el hormigón, para ello se muestra en la tabla de ensayos realizados previos para poder determinar las resistencia a la compresión y flexotracción, en el capítulo siguiente se muestra el desarrollo de cada ensayo.

Tabla 3-2- Normativa Ensayos

Etapa Experimental	Elemento en estudio	Ensayo Realizado	Norma Referencia
Dosificación de las series de hormigón	Arena y grava	Extraccion y preparacion de muestras	Nch 164 of 76
	Arena y grava	Tamizado y determinacion de la granulometria	Nch 165 of 77
	Arena y grava	Determinacion de la densidad aparente	Nch 1116 of 77
	Gravilla	Determinacion de las densidades real, neta de absorcion de agua de las gravas	Nch 1117 of 77
	Arena	Determinacion de las densidades real, neta de absorcion de agua de las arenas	Nch 1239 of 77
	Arena y grava	Determinacion del material fino menor que 0,08 mm	Nch 1223 of 77
	Arena y grava	Determinacion de huecos	Nch 1326 of 77
	Hormigon fresco	Preparacion de mezclas de prueba en laboratorio	Nch 1018 of 77
Confección de Probetas	Hormigon fresco	Determinacion de la docilidad, metodo del asentamiento de cono de abrams	Nch 1019 of 74
Ensayo de probetas	Material de Refrentado	Determinación de la resistencia a compresión y flexotracción del material refrentado	ASTM C617-08 ASTMC109-03
	Hormigón endurecido	Refrentado de probetas	Nch 1172 of 78
		Ensayos de compresión y flexotracción de probetas y vigas	Nch 1037 of 77

Fuente: Elaboración Propia, 2017

3.5 Desarrollo Experimental

Generalidades

En este capítulo se presenta el proceso de estudio y caracterización de los materiales que componen el hormigón, de esta manera se puede dosificar y luego llevar a cabo los ensayos mas importantes correspondientes a los de compresión y flexotracción y dar respuesta a los objetivos específicos de este trabajo de tesis.

El siguiente análisis fue desarrollado en el laboratorio de la Universidad de Valparaíso, tomado como referencia las normas chilenas para el desarrollo de dicha experiencia.

Estudio y caracterización de los materiales

Cemento

El cemento a utilizar en el estudio, portland puzolánico grado corriente con agregado tipo A, esto significa que, el cemento en cuya composición entrará en una proporción comprendida entre el 30% y 50% en peso del producto terminado.

Donde el agregado tipo A significa que, es una mezcla de sustancias compuestas de un material calcáreo-arcilloso que ha si calcinado a una temperatura superior a 900°C y otros materiales a base de óxidos de silicio, aluminio y fierro. El contenido de calcio del agregado, expresado como CaO tota, fluctuara entre el 5% mínimo y 30% máximo según NCh 148 Of 1968.

EL peso específico del cemento a utilizar es de 2,95(Kg/dm³) según fabricante.

Figuras 3-2:Cemento portland puzolánico



Fuente: melón, 2017

3.5.1 Agua

El agua como material componente del hormigón de estar limpia y libre de impurezas, debe cumplir con los requisitos descritos en la norma chilena NCh 1498 of 82.

Para el desarrollo de esta experiencia se utilizó agua potable de la red pública.

En este estudio se debe procurar la correcta dosis de agua necesaria para generar el hormigón de la serie H-50 puesto que un exceso de esta aumentaría la docilidad del hormigón y se vería afectada su resistencia final, en cambio, si la dosis fuera menor a la necesaria la mezcla estaría muy seca por lo que sería difícil de manipular y a su vez su endurecimiento sería muy rápido teniendo complicaciones en el llenado de vigas y probetas.

Según la norma Chilena NCh 1498 of 82 el agua de amasado debe cumplir los siguientes requisitos:

- Se puede utilizar agua potable siempre y cuando esta no se contamine antes de su uso.
- No se puede utilizar agua que contenga azúcares, tales como sacarosa, glucosa o similares.
- El agua de mar se puede emplear solo en la confección de hormigones simples o inferiores a 150 kg/cm².

Áridos Pétreos

Los áridos utilizados en este trabajo provienen de la ribera del río Aconcagua en la quinta región de nuestro país, específicamente de la planta de áridos conovia ubicada en el camino internacional Con Con.

3.5.2 Arena

La arena utilizada en este estudio presentaba un alto contenido de áridos gruesos por lo que se forman varias muestras representativas del material para obtener los resultados fidedignos, las granulometrías se presentan a continuación, indicando las bandas normalizadas y los datos obtenidos.

Figuras 3-3: Zona de acopio Material "arena"



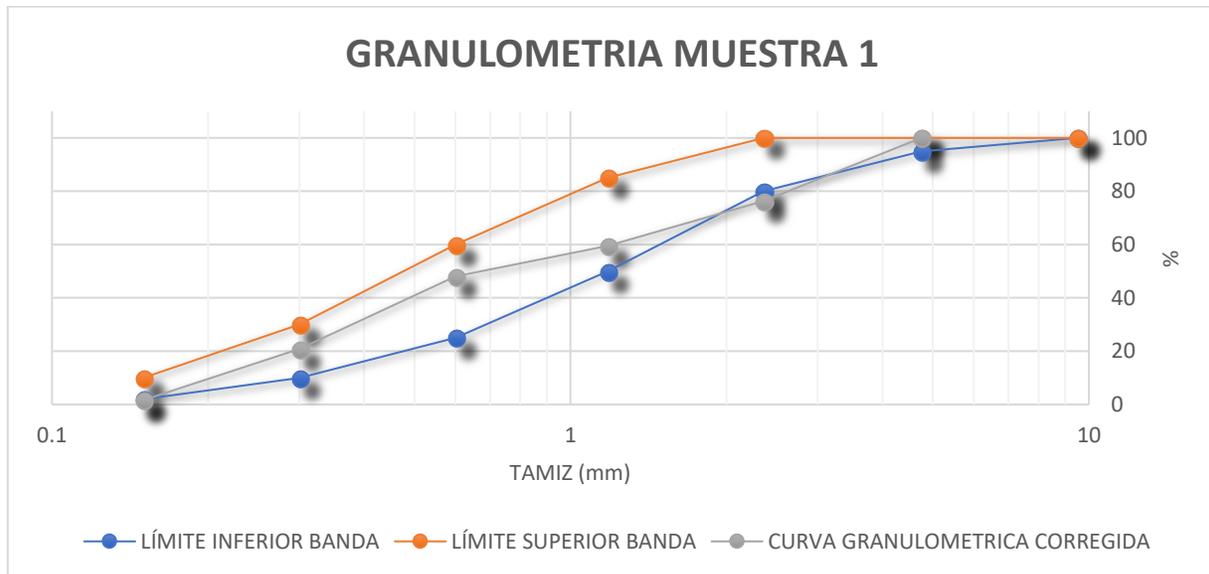
Fuente: elaboración Propia, 2017

Tabla 3-3- Muestra Arena

MUESTRA 1								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	%	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 1979	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO	BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF1979	
3/8"	9,5	0	0	0	100		100	100
4"	4,75	1062	15	15	85	100	95	100
8"	2,36	1431	20	35	65	76	80	100
16"	1,18	1019	14	49	51	60	50	85
30"	0,6	693	10	59	41	48	25	60
50"	0,3	1653	23	82	18	21	10	30
100"	0,15	1161	16	99	1	2	2	10
BAJO 100"		95	1	100	0			
MASA REAL		7114						
MASA INICIAL		7117						
ERROR		0,04%						

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Gráfico 1 Granulometría muestra 1



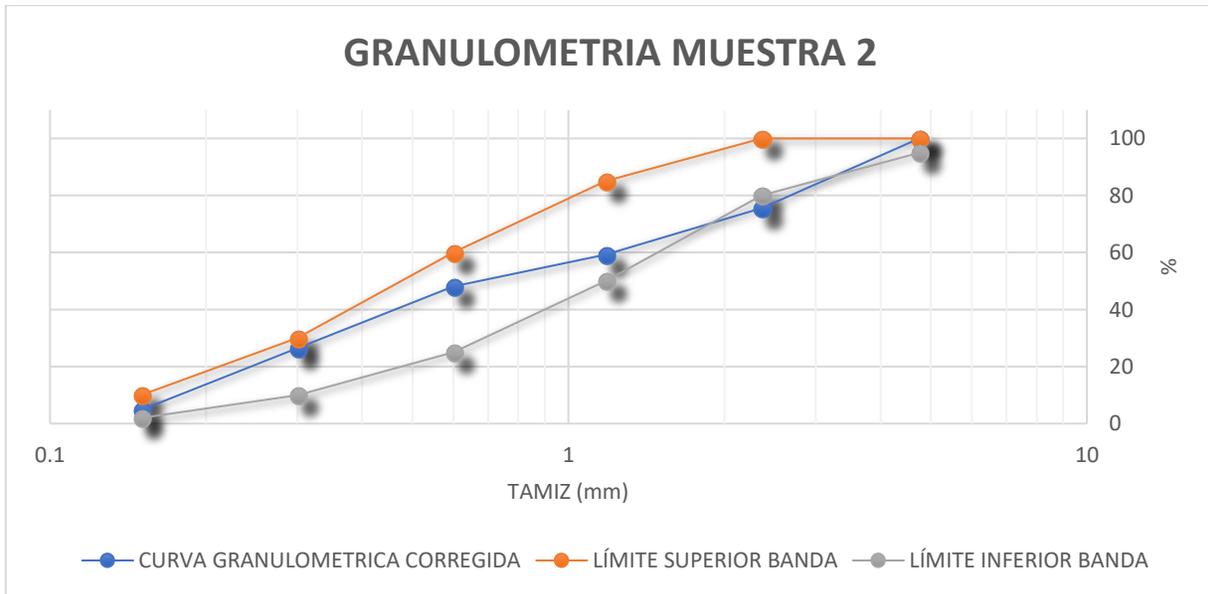
Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 3-4-Muestra 2 arena

MUESTRA 2								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	% BANDAS GRANULOMETRICA NCH163OF1979	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 1979	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO		
3/8"	9,5	0	0	0	100		100	100
4"	4,75	362	14	14	86	100	95	100
8"	2,36	527	21	35	65	76	80	100
16"	1,18	349	14	49	51	59	50	85
30"	0,6	241	10	59	41	48	25	60
50"	0,3	466	19	77	23	26	10	30
100"	0,15	467	19	96	4	5	2	10
BAJO 100"		102	4	100	0			
MASA REAL		2514						
MASA INICIAL		2515						
ERROR		0,04%						

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Grafico 2 Granulometría muestra 2



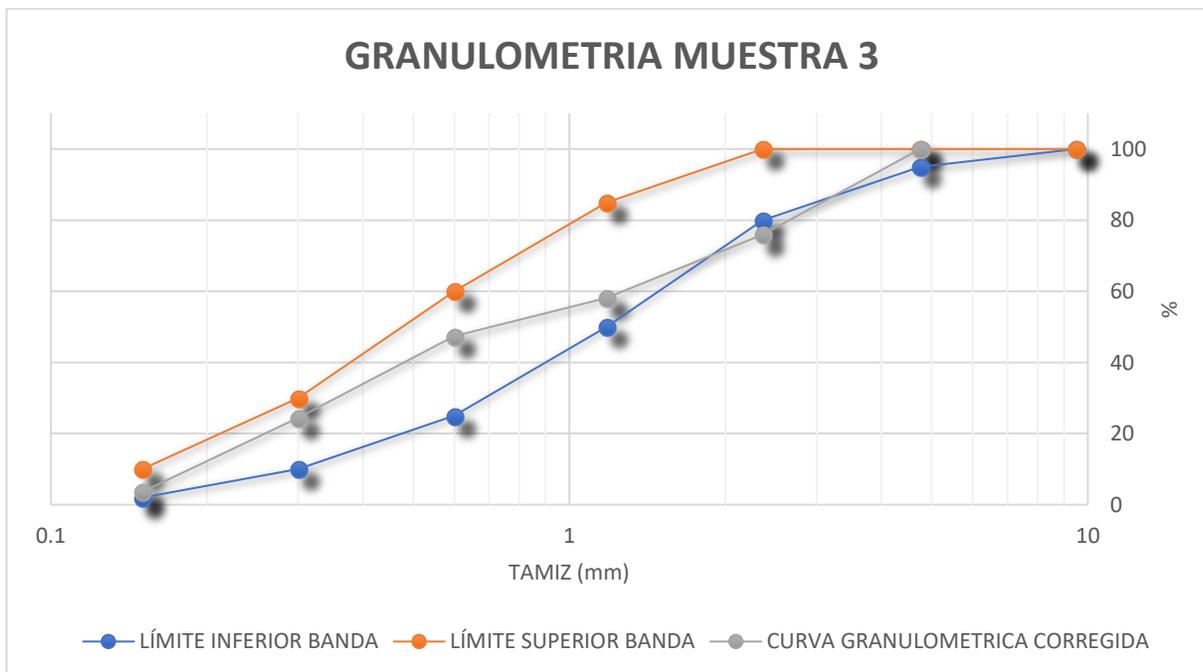
Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 3-5-Muestra 3 arena

MUESTRA 3								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	%	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 1979	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO	BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF1979	
3/8	9,5	0	0	0	100		100	100
4	4,75	443	12	12	88	100	95	100
8	2,36	751	21	34	66	76	80	100
16	1,18	553	16	49	51	58	50	85
30	0,6	336	9	58	42	47	25	60
50	0,3	716	20	79	21	24	10	30
100	0,15	650	18	97	3	4	2	10
BAJO 100		109	3	100	0			
MASA REAL		3558						
MASA INICIAL		3561						
ERROR		0,08%						

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Grafico 3 Granulometría muestra 3



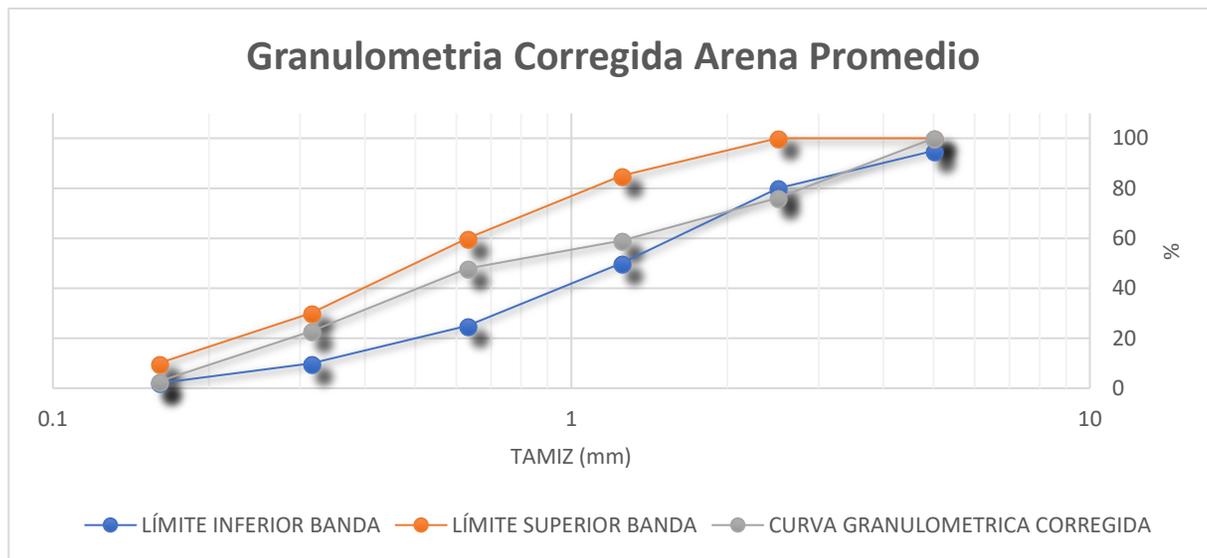
Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 3-6-Granulometria Arena

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA					BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF79	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 79	MUESTRA 1 %	MUESTRA 2 %	MUESTRA 3 %	PROMEDIO	CORREGIDO	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
3/8"	10	100	100	100	100	0	100	100
4"	5	85	86	88	86	100	95	100
8"	2,5	65	65	66	65	76	80	100
16"	1,25	51	51	51	51	60	50	85
30"	0,63	41	41	42	41	48	25	60
50"	0,315	18	23	21	21	21	10	30
100"	0,16	1	4	3	3	2	2	10
MÓDULO DE FINURA						2,91		

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Gráfico 4 granulometría corregida Arena promedio



Fuente: Elaboración Propia, 2017

En el gráfico se observa, la arena corregida respecto a los límites presentes en la NCh 163 Of 79.

La arena adquirida es en realidad, una mezcla correspondiente 86% de arena (bajo 5mm) y 14% de grava.

La corrección corresponde a la granulometría de fracción que pasa 100% por el tamiz de 5mm.

Grava

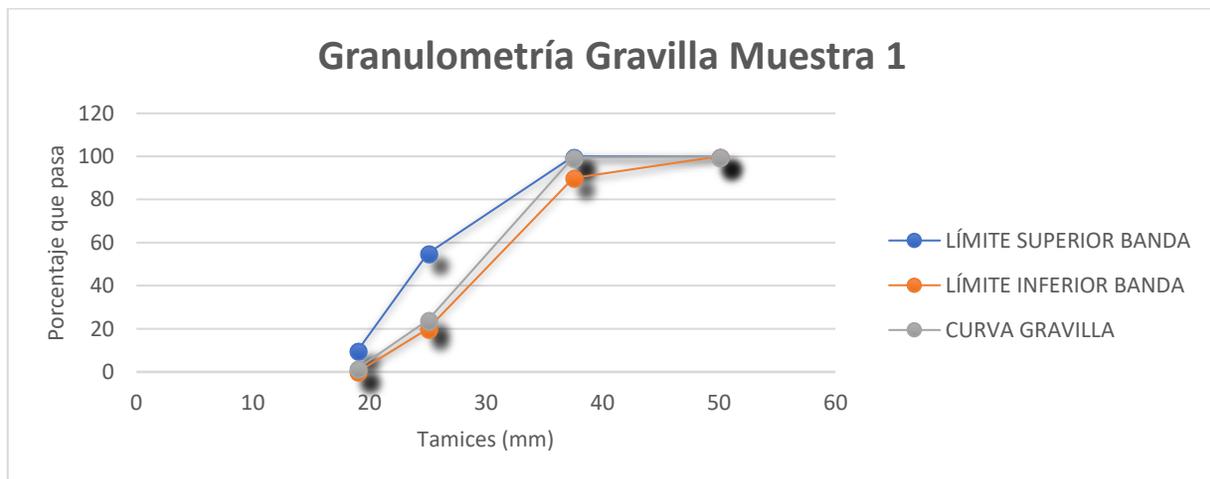
Se utilizó grava promedio tamaño máximo nominal de 20 mm al igual que la arena se sacó del material de acopio disponible en el laboratorio y a continuación se muestra su granulometría.

Tabla 3-7-Muestra 1 Grava

MUESTRA 1							
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	% BANDA GRANULOMETRICA	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 1979	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA		
2"	50	0	0,00	0	100	100	100
1 1/2	37,5	0	0,00	0	100	100	100
1	25	0	0,00	0	100	100	100
3/4	19	38	0,48	0	100	90	100
3/8	9,5	5978	76	76	24	20	55
4	4,75	1765	22	98	2	0	10
BAJO 4		130	2	100	0	0	5
MASA REAL (gr)		7911					
MASA INICIAL (gr)		7914					
ERROR		0,04%					

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Grafico 5 Granulometría gravilla muestral



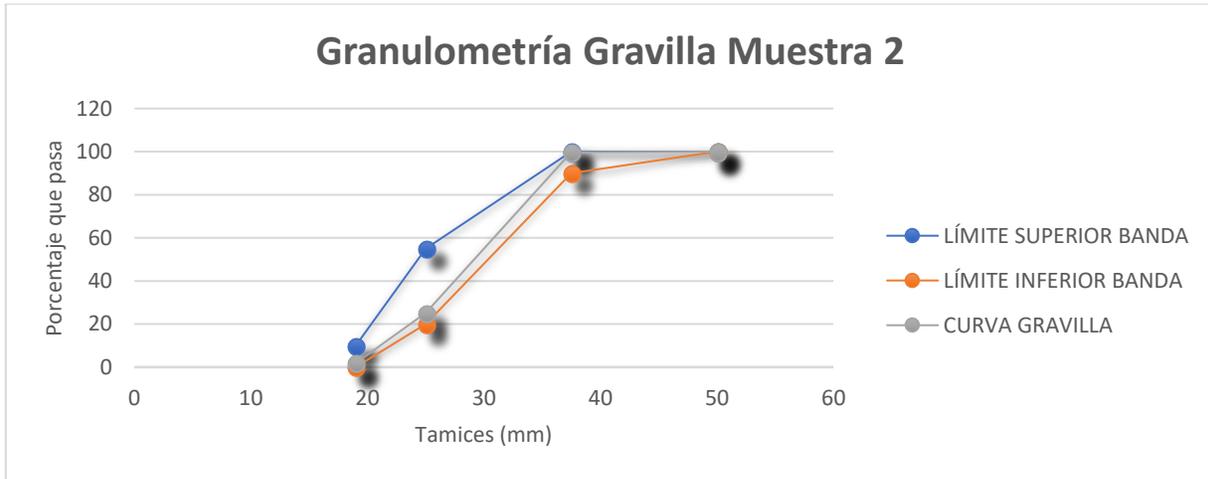
Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 3-8-Muestra 2 Grava

MUESTRA 2							
TAMIZ		PESO RETENIDO gramos	% RETENIDO		% QUE PASA	% BANDA GRANULOMETRICA	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 1979		PARCIAL	ACUMULADO			
2"	50	0	0	0	100	100	100
1 1/2	37,5	0	0	0	100	100	100
1	25	0	0	0	100	100	100
3/4	19	29	0	0	100	90	100
3/8	9,5	10455	75	75	25	20	55
4	4,75	3270	23	98	2	0	10
BAJO 4		260	2	100	0	0	5
MASA REAL (gr)		14014					
MASA INICIAL (gr)		14015					
ERROR		0,01%					

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Grafico 6 Granulometría gravilla muestra2



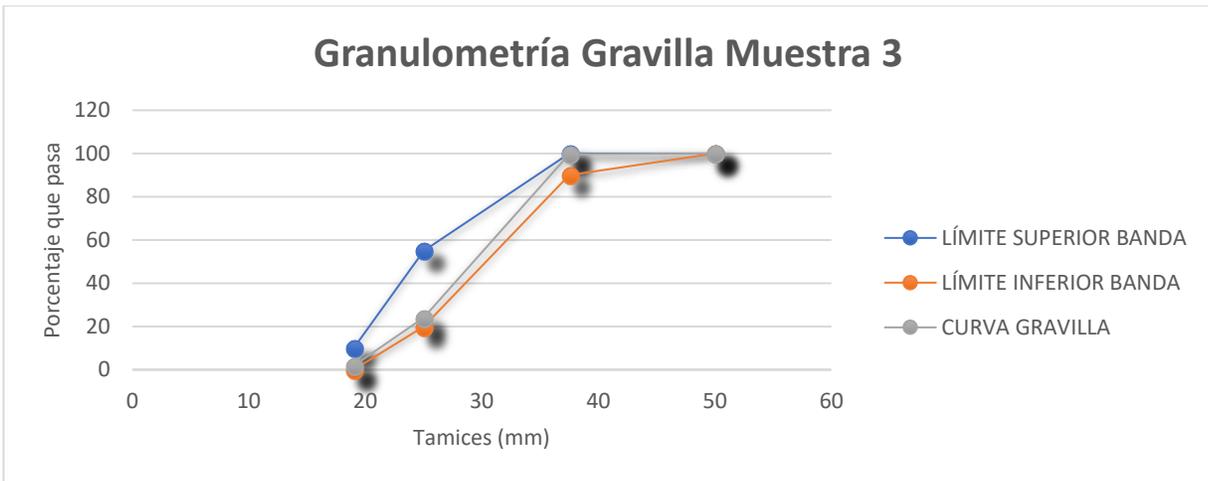
Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 3-9-Muestra 3 Grava

MUESTRA 3							
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 1979	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	BANDA GRANULOMETRICA	
2"	50	0	0	0	100	100	100
1 1/2	37,5	0	0	0	100	100	100
1	25	0	0	0	100	100	100
3/4	19	30	0	0	100	90	100
3/8	9,5	6574	76	76	24	20	55
4	4,75	1942	22	98	2	0	10
BAJO 4		155	2	100	0	0	5
MASA REAL (gr)		8701					
MASA INICIAL (gr)		8701					
ERROR		0,00%					

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Grafico 7 Granulometría gravilla muestra 3



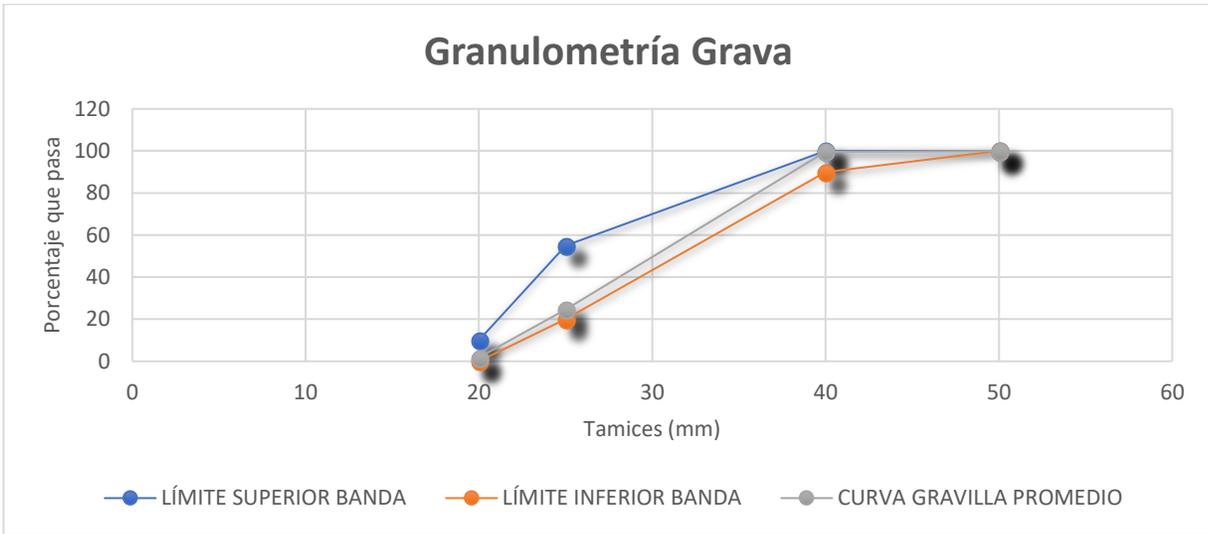
Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 3-10-Muestra 3 Grava

TAMIZ		PESO RETENIDO			PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	BANDA GRANULOMÉTRICA - NCH163 Of 79	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 Of 79	MUESTRA 1 (gr)	MUESTRA 2 (gr)	MUESTRA 3 (gr)	(gramos)	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
2"	50	0	0	0	0	0	0	100	100	100
1 1/2 "	40	0	0	0	0	0	0	100	100	100
1"	25	0	0	0	0	0	0	100	100	100
3/4"	20	38	29	30	32	0	0	100	90	100
3/8"	10	5978	10455	6574	7669	75	75	25	20	55
4"	5	1765	3270	1942	2326	23	98	2	0	10
BAJO 4		130	260	155	182	2	100	0	0	5
MASA REAL (gr)		7911	14014	8701	10209					
MASA INICIAL (gr)		7914	14015	8705	10211					
ERROR		0,04%	0,01%	0,05%	0,03%					

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Grafico 8 Granulometría grava



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Analizando los datos que nos entrega el tamiz #4 el árido corresponde a los límites recomendados, lo cual no representa mayores problemas para realizar una mezcla, debido a que no sobrepasan las bandas propuestas por la NCh 163 Of.79.

3.5.3 Árido Combinado

El establecer las proporciones de arena y grava es necesario para formar un árido que combinado resulte adecuado en la conformación de las mezclas que se dosificaran para cada serie.

Para determinar los porcentajes tentativos en la conformación del árido combinado se utilizó el método en el cual se escoge un tamiz que este ubicado en la zona central y se le asigna un porcentaje de árido combinado que debe pasar por dicho tamiz este porcentaje se indica en la norma chilena NCh 163 of 79.

Considerando los valores promedios de las granulometrías realizadas, se mezclarán los áridos de modo que el porcentaje de arena recomendado sea lo que corresponde a un hormigón armado.

Se plantea para un H-30 y H-50

$$4g+90a=42(g+a)$$

$$4g+90a=42g+42a$$

$$0=38g-48a$$

$$g=48/(38+48)$$

$$g= \quad \quad \quad 55,82$$

$$a= \quad \quad \quad 44,19$$

Donde:

A= porcentaje de arena en la mezcla de áridos

G= porcentaje de grava en la mezcla de áridos.

A+G= ambos porcentajes sumaran el porcentaje completo.

3.5.4 Características de los áridos

A continuación, se entregan los datos obtenidos de las densidades real, neta, porcentaje de absorción, etc, según las normas chilenas correspondientes

Tabla 3-11- Caracterización de los áridos

ARENA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
MATRAZ CON AGUA (gr) - Ma	684	684,5	684,25
MATRAZ CON MUESTRA (gr) - Mm	745,5	746	745,75
Msss (gr)	100,5	100	100,25
Ms (gr)	99,1	99,2	99,15
ρ NETA (Kg/m ³)	2636	2631	2633
ρ REAL SECA (Kg/m ³)	2541	2577	2559
ρ REAL SSS (Kg/m ³)	2577	2597	2587
% ABSORCIÓN	1,4	0,8	1,1
GRAVILLA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
MASA SUMERGIDA (gr) - A	597,7	927,6	598
MASA Mss (gr) - B	957,4	1492,4	957
Ms (gr) - C	945	1473	945
ρ NETA (Kg/m ³)	2721	2701	2721
ρ REAL SECA (Kg/m ³)	2627	2608	2627
ρ REAL SSS (Kg/m ³)	2662	2642	2662
% ABSORCIÓN	1,3	1,3	1,3

Fuente: Elaboración Propia, 2017

ARENA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO	P. TACHO (gr)	V. TACHO (cm3)
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	3128	3133	3130,5	1320	1040
D. AP SUELTA (gr/cm3)	1,738	1,743	1,741		
D. AP SUELTA (Kg/m3)	1738	1743	1741		
GRAVILLA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO	P. TACHO (gr)	V. TACHO (cm3)
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	7798	8228	8013	3690	5173
D. AP. SUELTA (gr/cm3)	0,794	0,877	0,836		
D. AP SUELTA (Kg/m3)	794	877	836		
ARENA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO	P. TACHO (gr)	V. TACHO (cm3)
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	3231	3242	3236,5	1320	1040
D. AP COMPACTADA (gr/cm3)	1,838	1,848	1,843		
D. AP COMPACTADA (Kg/m3)	1838	1848	1843		
GRAVILLA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO	P. TACHO (gr)	V. TACHO (cm3)
PESO MUESTRA + TACHO (gr)	8274	8300	8287	3690	5173
D. AP COMPACTADA (gr/cm3)	0,886	0,891	0,889		
D. AP COMPACTADA (Kg/m3)	886	891	889		

Fuente: Elaboración Propia, 2017

CARACTERISTICA	ARENA	NORMA	GRAVILLA	NORMA
ρ NETA (Kg/m ³)	2633	NCH 1239 Of 77	2721	NCH 1117 Of 2010
ρ REAL SECA (Kg/m ³)	2559	NCH 1239 Of 77	2627	NCH 1117 Of 2010
ρ REAL SSS (Kg/m ³)	2587	NCH 1239 Of 77	2662	NCH 1117 Of 2010
ρ Ap. SUELTA (Kg/m ³)	1741	NCH 1116 Of 2008	836	NCH 1116 Of 2008
ρ . Ap. COMPACTADA (Kg/m ³)	1843	NCH 1116 Of 2008	889	NCH 1116 Of 2008
% ABSORCIÓN	1,1	NCH 1239 Of 77	1,3	NCH 1117 Of 2010

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Con la obtención de los valores entregados en la tabla se podrá corregir la cantidad de agua de amasado calculada y también pasar de una dosificación por volumen a una por peso.

3.5.5 Método de dosificación

La dosificación de hormigones para esta experiencia se realizará a través del método IDIEM, el cual contiene los siguientes puntos

Determinación de la resistencia media requerida (fr)

La resistencia media requerida, fr, para calcular la dosificación y cumplir con el nivel de confianza, debe ser mayor que la resistencia especificada, fc, en una cantidad tal que pueda absorber las dispersiones propias de los materiales en uso y de los procedimientos aplicados.

$$Fr = fc + t \times s$$

Nivel de confianza

El nivel de confianza indica una probabilidad, en porcentaje de obtener valores iguales o mayores a la resistencia especificada, teniendo cada valor un factor estadístico asociado.

Tabla 3-12-Nivel de confianza

Nivel de confianza	t
80%	0,842
85%	1,036
90%	1,282
95%	1,645

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Dispersión estimada de resistencias

Se determina de acuerdo a la experiencia personal previendo las condiciones en las que se fabricará el hormigón y el grado de este, teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se obtiene el valor del s o desviación normal mediante la cual se presenta la siguiente dispersión.

Tabla 3-13-Dispersión estimada de resistencia

Condiciones previstas para ejecución en obra	S estimado, Mpa $f_c < H15$	S estimado, MPa $f_c > 15$ MPa
regulares	8,0	-
Medias	6,0	7,0
Buenas	4,0	5,0
Muy Buenas	3,0	4,0

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Resistencias requeridas para cada serie de hormigón

Tenemos en presente estudio dos series de hormigón, H30 y H50, cuyas resistencias especificadas son 300 kg/cm²

Y 500 kg/cm², tomando estos datos y las consideraciones de los puntos anteriores se procede a calcular las resistencias medias requeridas con un $S=3,5$ Mpa.

Tabla 3-14-resistencias requeridas para el Hormigon

Hormigón	Fc (kg/cm ²)	Nivel de confianza (%)	T	Condiciones Previstas	"S" $f_c > 15$ MPa	fr
H30	300	90	1,282	buenas	3,5	345
H50	500	90	1,282	buenas	3,5	545

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Con la obtención de fr podemos ahora determinar la dosis de cemento necesaria y la cantidad de agua de amasado.

3.5.7 Dosis de cemento y agua estimada para ambas series

La dosis de cemento empleada en la confección del hormigón está en función de la resistencia requerida y del grado de cemento utilizado.

Tabla 3-15-Dosis de cemento y agua estimada

Dosis de cemento estimada f_c (kg/cm ²)		
f_c (kg/cm ²)	G`corriente	G' alta resistencia
80	170	140
100	200	165
120	225	185
140	250	205
160	270	220
180	290	235
200	310	255
220	325	265
240	345	280
260	355	290
280	370	305
300	385	315
320	395	325
340	405	330
360	415	340
380	425	350
400	430	355
420	440	360
440	450	370
460	460	375
480	470	385
500	480	390
520	490	400

Fuente: Elaboración Propia, 2017

La dosis de agua de amasado se puede estimar una vez establecida la dosis de cemento a emplear puesto que esta en función de este último del tamaño máximo nominal del árido.

Tabla 3-16-Dosis de cemento y agua

Dosis de cemento (kg/cm ²)	Aguan de amasado lts/m ²	
	Dn 40mm	Dn 20 mm
170	152	
200	156	
230	162	170
260	167	174
290	172	180
310	176	184
340	180	188
370	184	193
400	189	198
430	193	203
460	200	208
490	204	214
520	209	219
550	214	224

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Luego de interpolar las tablas, considerando que el cemento es grado corriente y el tamaño máximo del árido Dn es de 20 mm, se obtienen las dosis de cemento y agua para cada hormigón.

Tabla 3-17-Dosificación Estimada

Hormigon	Fc(Kg/cm ²)	Fr	Dosificación estimada	
			Cemento (kg/m ³)	Agua(l/m ³)
H-30	300	345	407	170
H-50	500	545	500	149

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Posteriormente según la fórmula se puede determinar la relación agua/cemento de acuerdo a la resistencia específica necesaria:

$$fr=210*(c/w-0,72)$$

Donde:

Fr: resistencia específica del hormigón

C/W: Relación cemento/ agua.

Resultando de la ecuación una relación w/c= 0,418 para un hormigón de resistencia específica de 407 kg/cm² correspondiente a un H-30 y una relación de w/c= 0.298 para el hormigón de resistencia especificada de 500 kg/cm² correspondiente a un H-50. De esta manera teniendo la relación agua cemento y la resistencia específica de los hormigones se puede determinar la cantidad de áridos necesarios.

3.5.8 Dosificación de áridos a emplear en las mezclas

Para establecer la cantidad de árido necesario se dosificará sobre la base de un peso aproximado al m³ de hormigón fresco compactado:

Tabla 3-18-Dosificación de áridos

	H-30	H-50
Peso m ³ Hormigón	2417	2430
C	407	500
W	170	149
Árido total	1840	1781
Grava	883	962
Arena	957	819
Total	2417	2430

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Donde:

C: volumen real del cemento en Litros

W: volumen real de agua obtenida mediante fórmula para resistencia específica del hormigón.

G: volumen real de la grava seca en litros

A: volumen real de la arena seca en litros.

Como se muestra en la tabla anterior proporción de los áridos se aplicó siguiente recomendación:

- La arena se disminuye en un 2% para dosis de cemento entre 300 y 400 kg/m³
- La arena se disminuye en un 4% para dosis de cemento de 400 y 500 kg/m³

3.5.9 Preparación de Hormigones

De acuerdo a los resultados obtenidos en las respectivas dosificaciones se llevó a cabo la preparación de los distintos tipos de hormigón.

Para una Trompada:

H-30

Tabla 3-19- Nomenclatura dosificación H-30

para 50 litros		50	
5%			
gravilla	arena	cemento	agua
44,160	47,840	20,350	8,500
33,319		20,350	8,500
10,841			
	47,840		

Fuente: Elaboración Propia, 2017

H-50

Tabla 3-20-Nomenclatura dosificación H-50

para 55 litros		55			
5,5%					
gravilla	arena	cemento	agua		
52,896	45,059	27,500	8,195		
0,000	0,000				
0,000	0,000				
0,000	0,000				
0,184	0,000				
39,726	0,000				
12,063	6,748				
0,923	9,060				
0,000	6,441				
0,000	4,413				
0,000	10,468				
0,000	7,350				
	0,579				

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Como se aprecia en las tablas resúmenes se dosificó para 50 y 55 litros por trompada respectivamente de cada hormigón ya sea H-30 y H-50.

El primer paso fue aplicar por medio de una brocha el desmoldante a cada molde de viga y cubo dispuesto para realización de probetas cubicas de 20x20 cms y vigas de 15x15x55 cms.

Figuras 3-4: Muestra de Realización de vigas y probetas



Fuente: elaboración propia, 2017

Para realizar la mezcla se utilizó la betonera dispuesta en el laboratorio de la Escuela de Construcción Civil de la universidad, con un mezclado mecánico de aproximado de 5 a 10 minutos por trompada según NCh1018 of 77.

Figuras 3-5: Muestra de cono y betonera dependencias del laboratorio



Fuente: elaboración propia.

Luego una vez homogeneizada la mezcla se procedió al llenado de las probetas obteniendo un cono de 8(cm) , vibrando cada una con el vibrador de inmersión dispuesto en el laboratorio, para proceder dar el acabado con una llana para la superficie superior para obtener una cara lisa.

Figuras 3-6: Muestra de realización Probetas



Fuente: elaboración propia, 2017

Al segundo día después de confeccionadas las probetas se procede a desmoldar y sumergir las probetas durante 28 días de curado en las dependencias del laboratorio de hormigones de la universidad.

3.5.10 Características de los epóxicos

Resina Epóxica

Sika dur 330 (fibra de carbono)

Tabla 3-21- Sika dur -330

INFORMACION TECNICA

Módulo de Elasticidad	~ 3 800 N/mm ² (7 días a +23 °C)		(DIN EN 1465)
Resistencia a Tracción	~ 30 N/mm ² (7 días a +23°C)		(ISO 527)
Módulo de Elasticidad a Tracción	~ 4 500 N/mm ² (7 días a +23 °C)		(ISO 527)
Elongación a Rotura	0.9 % (7 días a +23 °C)		(ISO 527)
Resistencia de Adhesión en Tracción	Falla del hormigón (> 4 N/mm ²) sobre sustrato arenado		(EN ISO 4624)
Coefficiente de Expansión Térmica	4.5 × 10 ⁻⁵ 1/K (Rango de temperatura -10 °C a +40 °C)		(EN 1770)
Temperatura de Transición Vítrea	Tiempo de cura- do	Temperatura de curado	TG
	30 días	+30 °C	+58 °C
Temperatura de Deflexión por Calor	Tiempo de cura- do	Temperatura de curado	HDT
	7 días	+10 °C	+36 °C
	7 días	+23 °C	+47 °C
	7 días	+35 °C	+53 °C
	Resistente a la exposición continua de hasta 45 ° C.		
Temperatura de Servicio	-40 °C a +45 °C		

INFORMACION DE APLICACIÓN

Proporción de la Mezcla	Parte A : parte B = 4 : 1 (en peso) Al usar el material a granel se debe procurar mantener la razón de mezcla exacta pesando y dosificando cada componente.		
Consumo	Ver el Procedimiento de Ejecución "Aplicación manual en seco de SikaWrap®". Como guía considerar un consumo de 0,7 a 1,5 kg/m ² .		
Temperatura Ambiente	+10 °C min. / +35 °C max.		
Punto de Rocío	¡Cuidado con la condensación! La temperatura ambiente durante la aplicación debe ser por lo menos 3°C sobre el punto de condensación.		
Temperatura del Soporte	+10 °C min. / +35 °C max.		
Humedad del Soporte	< 4 % pbw		
Vida de la mezcla	Temperatura	Pot life	Tiempo abierto (EN ISO 9514)
	+10 °C	~90 minutos (5 kg)	~60 minutos
	+35 °C	~30 minutos (5 kg)	~30 minutos
<p>El Potlife comienza cuando se mezclan ambas partes (resina y endurecedor). A temperatura ambiente baja el potlife se extiende, a temperaturas elevadas este se reduce. Cuanto más alta es la cantidad de material mezclado, más corto es el potlife. Para alcanzar un potlife más largo a altas temperaturas el material mezclado se puede dividir en unidades más pequeñas o ambas partes pueden ser enfriadas antes de mezclarse.</p>			

Resina Poliéster (fibra de vidrio)*Tabla 3-22- Resina Fibra de vidrio*

CARACTERÍSTICAS	VALORES TÍPICOS
Resistencia Máxima a Tracción (MPa)	50
Módulo de Elasticidad em Tracción (MPa)	3.400
Elongación Máxima	2.0
Resistencia a Flexión (MPa)	90
Módulo de Elasticidad en Flexión (MPa)	4.500
Deformación Máxima (%)	2.0
Dureza Barcol	40
Contracción Linear (%)	2.0
Temperatura de Termodistorción (°C)	75

3.5.11 Preparación de la superficie.

La preparación de la superficie requerida depende en gran medida del tipo de elemento. En general, la superficie debe estar limpia y seca y libre de protuberancias o cavidades, lo que puede provocar espacios vacíos detrás de la fibra(malla).

En este estudio se utilizó una lijadora circular con una lija para fierro y un cepillo dentado de alta resistencia para lo cual se procede a lijar y limpiar las probetas para sacarle la lechada, para asegurar mayor adherencia del material compuesto a emplear (resina utilizada y el sustrato de hormigón).

Figuras 3-7: Confección y Limpieza para realizar confinamiento



Figura: Elaboración, propia,2017

3.5.12 Mezcla de Resinas

Resina Epóxica

En esta experiencia fueron pesados en la balanza por separados 1Kg de componente (A) en conjunto con el componente (B) que fueron 250g, luego se mezclaron ambos en un recipiente durante 5 minutos hasta obtener una pasta homogénea.

Figuras 3-8: Muestra de Resina epoxica aplicada al carbono



Fuente: Elaboración propia, 2017

Una vez realizada la mezcla de ambos componentes se procede a la división de estos nuevamente en dos partes iguales para refrentar mas rápido en vigas y probetas para evitar el secado de la muestra en la aplicación de la fibra de carbono.

Resina Poliéster

En esta experiencia fueron pesados en la balanza por separados 1Kg de componente (resina) en conjunto con el componente (b, peróxido) que fueron 20g y el componente C(cobalto) que corresponde a 2g , luego se mezclaron ambos en un recipiente durante 5 minutos hasta obtener una pasta homogénea

Figuras 3-9: Muestra de Resina y Confinamiento en Fibra de Vidrio



Fuente: elaboración propia, 2017

3.5.13 Aplicación de Resinas

Hay que tener en cuenta que para la mezcla de resinas y el trabajo de aplicación de los mismos se deben utilizar medidas de seguridad adecuadas, por lo cual se trabajó con guantes de pvc, mascarillas y lentes de seguridad

Como se señaló anteriormente la superficie debe encontrarse limpia y seca para lo cual se utilizó una brocha y un soplador de manera de sacar el polvo dispuesto en los orificios.

La aplicación de la pastas y o resinas se realiza con una espátula sobre la cara de la probeta de hormigón procurando de manera muy cuidadosa cubrir todo el perímetro a reforzar y cubrir las oquedades presentes en éste.

Figuras 3-10: Muestra en la aplicación de la resina epoxica en la Fibra de Carbono



Fuente: elaboración propia, 2017

3.5.14 Impregnación de telas

Para la impregnación de las telas tanto la fibra de vidrio como la fibra de carbono se utilizó un rodillo y brocha, el cual se humecta y se pasa varias veces por la tela cuidando de humectar ambas caras. Cabe mencionar que las telas se deben cortar previamente y disponer sobre polietileno de manera de no afectar el área de trabajo, ni las telas.

Para esta experiencia se utilizaron paños de 20 x 85 cm ,50 x 70 , 20 x 95 cm y 50 x 80 cm.

Figuras 3-11: Muestra de corte de tela en Fibra de vidrio y traslapo de fibra



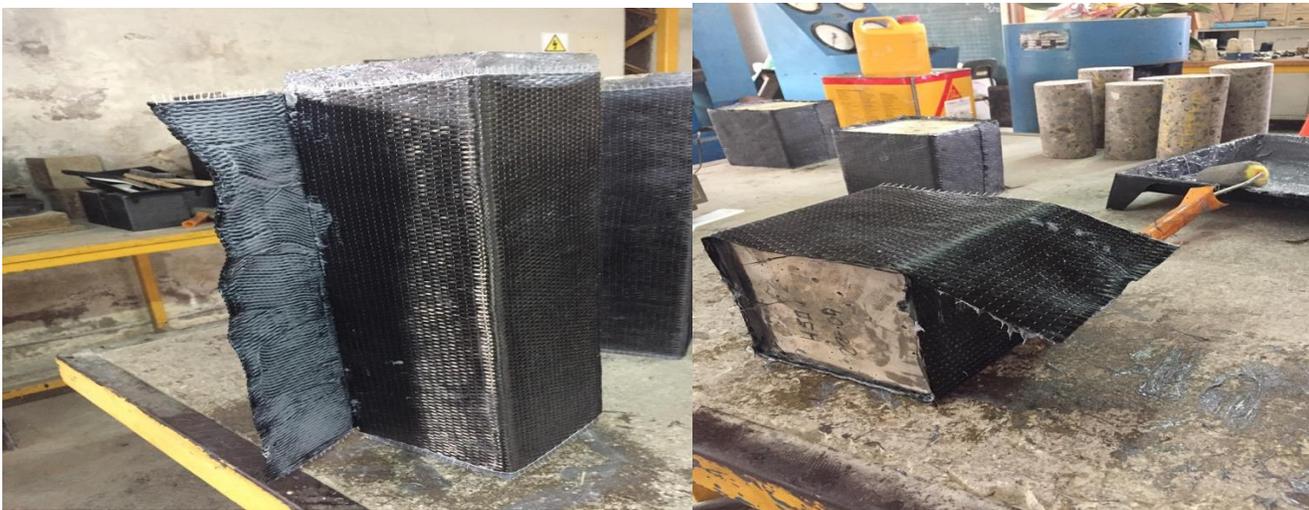
Fuente: elaboración propia, 2017

3.5.15 Aplicación de refuerzo

Una vez impregnadas las probetas con la pasta (resina) y las telas de fibra de vidrio y fibra de carbono con la pasta (aplicación lista), se puede proceder a la aplicación del confinamiento o refuerzo.

Puesto que la aplicación se debe realizar a una temperatura entre 4°C y 38°C no hubo inconvenientes ya que la temperatura ambiente en ese momento era de aproximadamente 13°C lo que daba tiempo suficiente para aplicar los refuerzos.

Figuras 3-12: Muestra de aplicación de refuerzo en Fibra de Carbono



Fuente: elaboración propia, 2017

Una vez finalizado el proceso de aplicación de refuerzos se dejaron las probetas en un ambiente ventilado durante siete días para que se lleve el proceso de curado de los epóxicos y poder realizar posteriormente los ensayos a compresión y flexión de las probetas y vigas.

No obstante, el proceso de confinamiento no está exento de problemas y unos de sus principales enemigos puede ser el polvo o superficie sucia, la cual nos puede provocar el temido desacoplamiento, por ello como se nombra anteriormente la preparación de la superficie es crucial ya que proporcionando un lijado y una buena humectación de la superficie la resina epoxi logra adherirse de la mejor manera proporcionando un pegado resistente y logrando así un material compuesto de gran resistencia en conjunto con la fibra.

También cabe mencionar que la geometría al cual queremos añadir el confinamiento sea completamente limpia evitando bordes, los cuales no quitaran superficie de pegado, por ende pérdida de resistencia en el sistema de confinamiento, una de las soluciones que se puede plantear para dicho caso es que antes de confinar con cualquier fibra se tiene que ver el problema (viga o pilar) por su geometría y superficie de adherencia, así planteando el mejor material o fibra a emplear en el confinamiento y así ver el trabajo en conjunto de cada material ya sea a compresión o flexión.

4. Capítulo 4, Análisis de Resultados

4.1 Análisis de Resultados

En esta etapa se entregarán los resultados de las probetas ensayadas, las probetas patrón (sin confinamiento) y las probetas con fibra de vidrio y carbono, tanto para la serie de Hormigones H-30 y H-50.

- P1,P2,P3 :corresponde a las probetas cubicas de hormigón patrón generadas.
- V1,V2,V3: corresponde a las vigas de hormigón patrones generadas.
- Pv1,Pv2,Pv3: corresponde a las probetas cubicas de hormigón con un giro de confinamiento en fibra de vidrio.
- Vv1,Vv2,Vv3:correponde a las vigas de hormigón confinadas con giro en fibra de vidrio
- Pc1,Pc2,Pc3: corresponde a las probetas cubicas de hormigón con un giro de de confinamiento en fibra de carbono
- Vc1,Vc2,Vc3: corresponde a las vigas de hormigón confinadas con un giro de confinamiento en fibra de carbono.
- Pv21,Pv22,Pv23: corresponde a las probetas cubicas de hormigón con 2 giros de confinamiento en fibra de vidrio.
- Vv21,Vv22,Vv23: corresponde a las vigas de hormigón con 2 giros de confinamiento en fibra de vidrio.
- Pc21,Pc22,Pc23: corresponde a las probetas cubicas de hormigón con 2 giros de confinamiento en fibra de carbono.
- Vc21,Vc22,Vc23: corresponde a las vigas de hormigón con 2 giros de confinamiento en fibra de carbono.

4.2 Probetas y vigas de hormigón H-30

Probetas de H-30 y H-50

A continuación, en las siguientes tablas se presentan los datos para cada probeta H30 y H-50 antes de realizar el ensayo a compresión.

Tabla 4-1-*Caracterización Probetas H-30*

	Probetas cúbicas H-30				Area(cm2)	Volumen(m3)	Masa (kg)
	h1	h2	a1	a2			
P1	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	17,85
P2	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	17,94
P3	19,9	19,8	20	20	396	0,0078	17,87
Pv1	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,00
Pv2	19,8	19,9	20	20	398	0,0078	18,01
Pv3	19,9	19,8	20	20	396	0,0078	18,00
Pc1	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,20
Pc2	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,00
Pc3	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,15
Pv21	19,7	19,8	20	20	396	0,0078	18,33
Pv22	19,9	19,8	20	20	396	0,0078	18,35
Pv23	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,40
Pc21	19,8	19,9	20	20	398	0,0078	18,27
Pc22	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,35
Pc23	19,7	19,9	20	20	398	0,0078	18,39

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 4-2- Caracterización Probetas H-50

Probetas cúbicas H-50							
	h1	h2	a1	a2	Area(cm2)	Volumen(m3)	Masa (kg)
P1	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,25
P2	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,19
P3	19,9	19,8	20	20	396	0,0078	18,30
Pv1	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,57
Pv2	19,8	19,9	20	20	398	0,0078	18,51
Pv3	19,9	19,8	20	20	396	0,0078	18,58
Pc1	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,51
Pc2	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,59
Pc3	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,60
Pv21	19,7	19,8	20	20	396	0,0078	18,69
Pv22	19,9	19,8	20	20	396	0,0078	18,65
Pv23	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,70
Pc21	19,8	19,9	20	20	398	0,0078	18,67
Pc22	19,9	19,9	20	20	398	0,0079	18,73
Pc23	19,7	19,9	20	20	398	0,0078	18,76

Fuente: Elaboración Propia, 2017

4.3 Vigas H-30 y H-50

A continuación, en las siguientes tablas se presentan los datos para cada viga H30 y H-50 antes de realizar el ensayo a flexión.

Tabla 4-3-*Caracterización Vigas H-30*

	Vigas H-30				Area(cm2)	Volumen(m3)	Masa (kg)
	h1	h2	a1	a2			
P1	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	27,86
P2	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	27,47
P3	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	27,87
Vv1	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	29,44
vv2	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	27,89
Vv3	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	28,33
Vc1	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	29,55
Vc2	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	29,46
Vc3	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	29,48
Vv21	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	29,78
Vv22	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	30,50
Vv23	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	30,02
Vc21	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	30,95
Vc22	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	31,46
Vc23	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	31,24

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 4-4- Caracterización vigas H-50

	Vigas H-50				Area(cm2)	Volumen(m3)	Masa (kg)
	h1	h2	a1	a2			
P1	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	29,86
P2	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	30,39
P3	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	30,34
Vv1	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	31,09
Vv2	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	31,2
Vv3	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	31,12
Vc1	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	31,10
Vc2	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	31,25
Vc3	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	31,10
Vv21	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	31,50
Vv22	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	31,50
Vv23	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	32
Vc21	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	31,40
Vc22	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	31,43
Vc23	14,9	14,9	55	55	3278	0,012	31,50

Fuente: Elaboración Propia, 2017

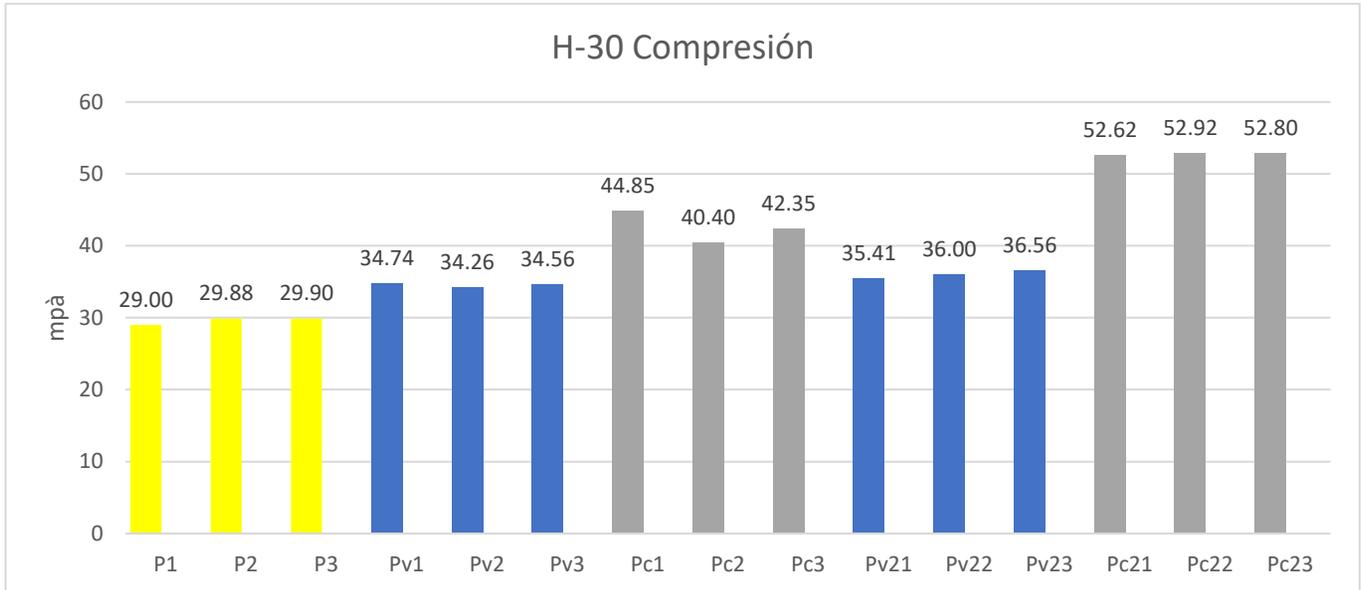
Al momento de realizar los ensayos ya sea flexión y compresión se registraron las cargas máximas a las que fueron sometidas las probetas y vigas de hormigón, ya sea H-30 y H-50, de esta manera con las cargas máximas y los datos de la sección de la probeta, se pudo generar la tabla donde se detalla la carga máxima aceptada por cada viga o probeta y la tensión de rotura que alcanza cada una de ellas.

Tabla 4-5- Resistencia a la Compresión H-30

Compresión		
H-30	Carga Máxima (kN)	Resistencia máxima(Mpa)
P1	657,81	29,00
P2	666,80	29,88
P3	665,78	29,90
Pv1	776,52	34,74
Pv2	765,67	34,26
Pv3	772,80	34,56
Pc1	1002,36	44,85
Pc2	903,03	40,40
Pc3	951,12	42,34
Pv21	791,47	35,41
Pv22	800,08	36,00
Pv23	823,88	36,56
Pc21	1175,98	52,62
Pc22	1182,70	52,92
Pc23	1180,09	52,80

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Grafico 9 Resistencia probetas H-30 a compresión



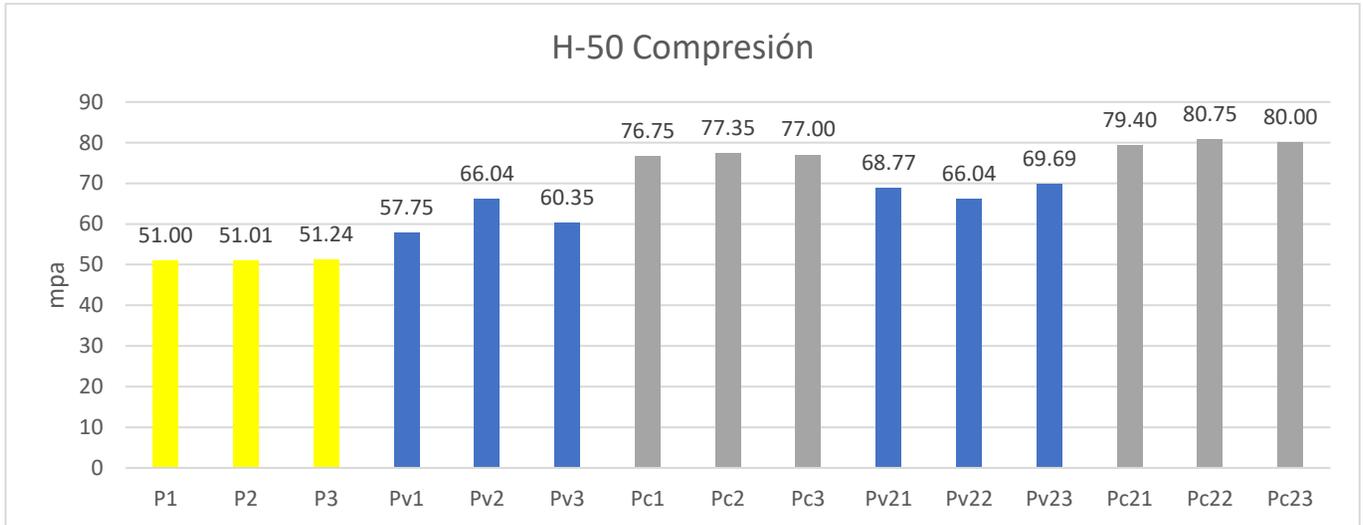
Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 4-6-Resistencia a la Compresión H-50

Compresión		
H-50	Carga Máxima (KN)	Resistencia máxima(Mpa)
P1	1139,78	51,00
P2	1143,45	51,01
P3	1151,01	51,24
Pv1	1290,73	57,75
Pv2	1475,92	66,04
Pv3	1342,90	60,34
Pc1	1715,32	76,75
Pc2	1728,70	77,35
Pc3	1722,24	77,00
Pv21	1536,91	68,76
Pv22	1475,92	66,04
Pv23	1602,84	69,69
Pc21	1774,68	79,40
Pc22	1804,68	80,75
Pc23	1795,19	80,00

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Grafico 10 Resistencia Probetas H-50 a compresión



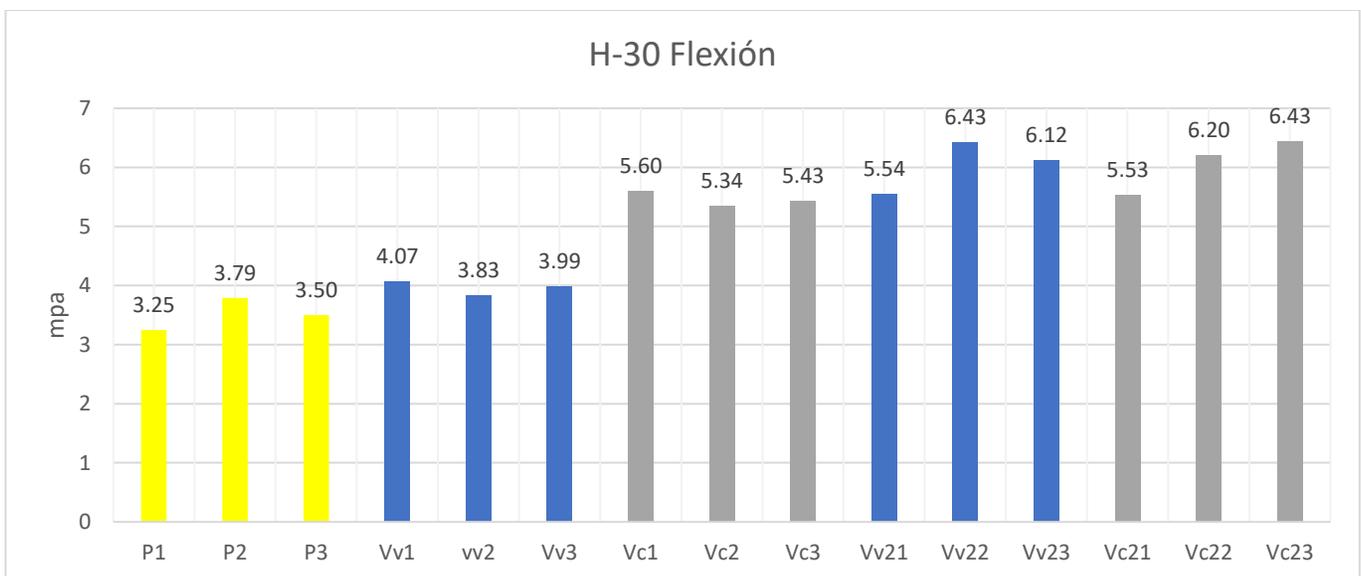
Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 4-7-Resistencia a la Flexión H-30

H-30	Flexión	
	Carga Máxima (kN)	Resistencia máxima(Mpa)
P1	24,37	3,25
P2	28,42	3,79
P3	26,79	3,50
Vv1	30,51	4,07
vv2	28,704	3,83
Vv3	29,57	3,99
Vc1	42,04	5,60
Vc2	40,06	5,34
Vc3	41,32	5,43
Vv21	41,59	5,54
Vv22	48,21	6,43
Vv23	45,06	6,12
Vc21	41,48	5,53
Vc22	46,21	6,20
Vc23	48,31	6,43

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Gráfico 11 Resistencia de vigas H-30 a Flexión



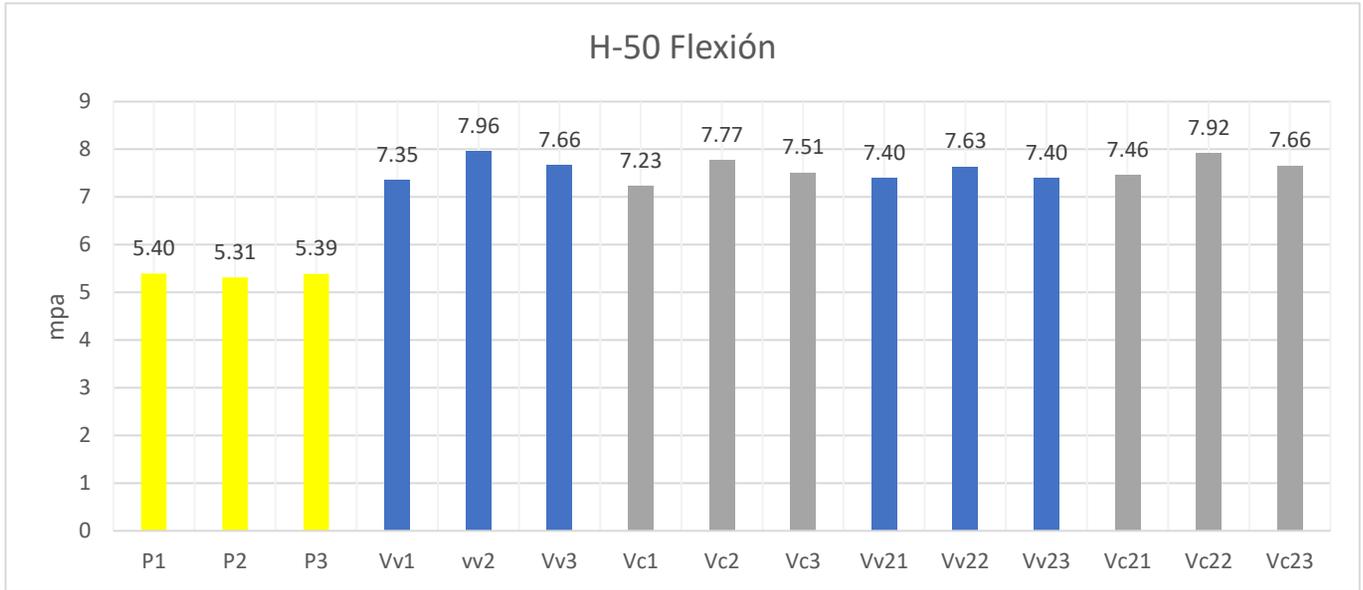
Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 4-8 -Resistencia a la Flexión H-50

H-50	Flexión	
	Carga Máxima (kN)	Resistencia máxima(Mpa)
P1	40,47	5,39
P2	39,85	5,31
P3	40,02	5,39
Vv1	55,14	7,35
vv2	59,70	7,96
Vv3	58,99	7,66
Vc1	55,75	7,23
Vc2	58,27	7,77
Vc3	57,79	7,51
Vv21	56,64	7,40
Vv22	58,23	7,64
Vv23	57,62	7,40
Vc21	57,75	7,46
Vc22	59,38	7,92
Vc23	58,78	7,66

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Grafico 12 Resistencia vigas H-50 a flexión



Fuente: Elaboración Propia, 2017

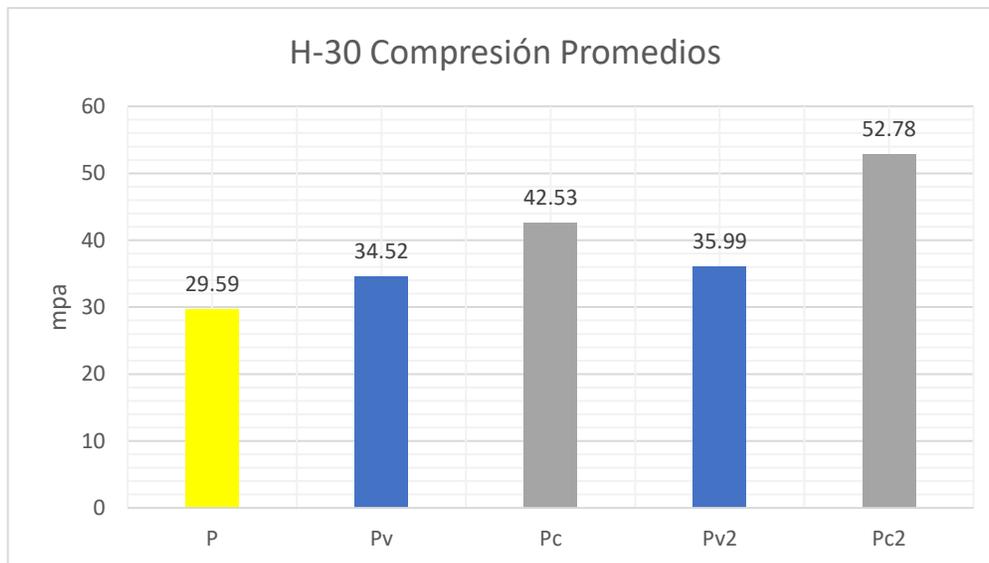
4.4 Promedios

Tabla 4-9- Promedios Resistencias a Compresión H-30

Compresión H-30	
H-30	Promedio
P	29,59
Pv	34,52
Pc	42,53
Pv2	35,99
Pc2	52,78

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Grafico 13 H-30 compresión promedio



Fuente: Elaboración Propia, 2017

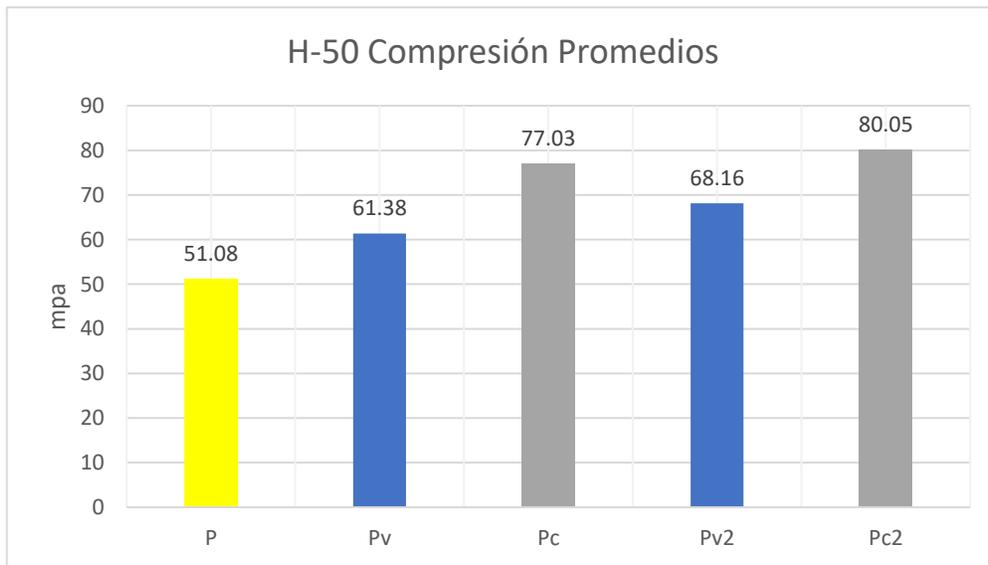
Como se observa en el grafico13 se puede inferir que el confinamiento con fibra de vidrio es relativamente efectivo con una sola vuelta, mientras que en el fibra de carbono el confinamiento ya sea con una o dos vueltas de material, la fibra y resina como material compuesto siguen aumentando considerablemente su resistencia como se aprecia subiendo de un 45,53 MPa a 52,77mpa con un doble confinamiento y sin presencia de acople, mientras que como se mencionó anteriormente la fibra de vidrio en conjunto con la resina presenta un bajo desempeño debido a su trabajabilidad y acople con la probeta.

Tabla 4-10-Promedios resistencia a Compresión H-50

Compresión H-50	
H-50	Promedio
P	51,08
Pv	61,38
Pc	77,03
Pv2	68,16
Pc2	80,05

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Grafico 14 H-50 compresión promedio



Fuente: Elaboración Propia, 2017

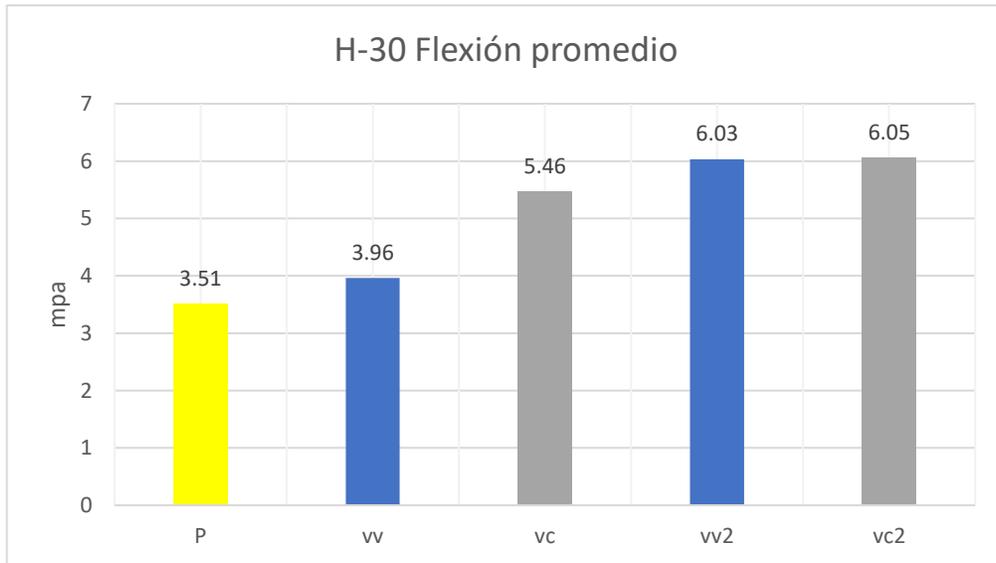
Como se observa en el grafico 14 el hormigón patrón tiene una resistencia mayor que el anterior, la cual con el confinamiento con fibra de vidrio se comportó en un buen nivel en comparación al confinamiento realizado con la fibra de vidrio en el H-30, pero la fibra de carbono con una sola vuelta de confinamiento aumento considerablemente su resistencia haciéndolo así un excelente confinamiento aumentando en un 50% la resistencia actual, mientras que para la segunda vuelta al igual que el doble confinamiento con fibra de vidrio aumentaron en una escala menor sin temor al desacoplamiento por parte de la fibra de carbono.

Tabla 4-11-Promedio Resistencia a la Flexión H-30

Flexión H-30	
H-30	Promedio
P	3,50
vv	3,96
vc	5,46
vv2	6,03
vc2	6,05

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Grafico 15 H-30 flexión promedio



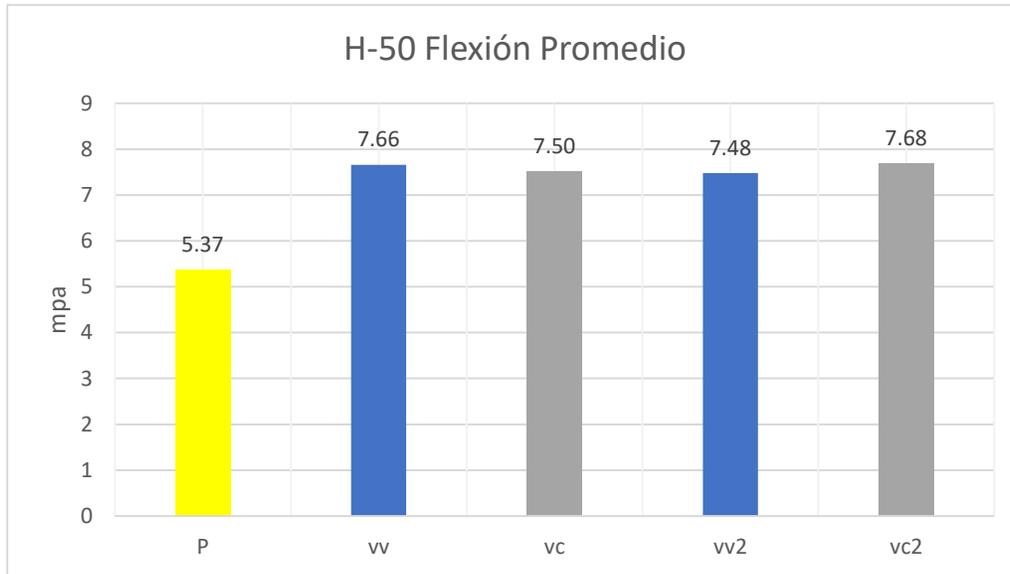
Fuente: Elaboración Propia, 2017

Tabla 4-12-Promedio Resistencia a la Flexión H-50

Flexión H-50	
H-50	Promedio
P	5,37
vv	7,66
vc	7,50
vv2	7,48
vc2	7,68

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Grafico 16 H-50 flexión promedio



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Como se observa en las tablas anteriores resúmenes con los promedios siempre se ve un aumento en la resistencia ya sea en el confinamiento con fibra de vidrio o carbono, es más notorio en la fibra de carbono en la compresión como aumenta, ya que en la flexión ambos materiales se comportaron casi de igual manera no teniendo grandes discrepancias en valores de resistencias, solo cabe mencionar el tipo de falla o la implicancia que puede ocasionar una falla del tipo de confinamiento ya se desacople o no unión de fibra con hormigón.

Tabla 13 Aumento en Porcentaje de resistencias

Compresión		Flexión	
H-30	%	H-30	%
P	0	P	0
Pv	17	vv	13
Pc	44	vc	56
Pv2	22	vv2	72
Pc2	78	vc2	72,5
H-50		H-50	
P	0	P	0
Pv	20	vv	43
Pc	51	vc	40
Pv2	33	vv2	39
Pc2	57	vc2	43,2

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Como se puede apreciar y menciono anteriormente, en la tabla 39, surge un aumento de resistencia claro a compresión y flexión por parte de las vigas y probetas confinadas con fibra de vidrio, vigas y probetas confinadas con fibra de carbono, cabe señalar que en la compresión de las muestras de H-30 la fibra de carbono surge aumento considerable en comparación a la fibra de vidrio con un 44% en comparación a un 17% con un giro de material mientras que con dos giros el aumento de la resistencia es mucho mayor triplicando su valor de un 22% a un 78%.

Mientras que la compresión con un H-50 la diferencia entre ambos materiales compuestos es de igual manera pero con un poco menos de resistencia, pero aun así aumentando de un 20% a un 51% que es considerable, mientras que con dos giros de material es casi el doble de un 33% a un 57% el aumento de resistencia no es lineal, por ende podemos señalar que la primera cara de material confinado es la que ejerce la mayor resistencia.

Para la flexión el aumento por parte del confinamiento con fibra de carbono en un H-30 es sumamente considerable aumentando de un valor de un 13% por parte del confinamiento con fibra de vidrio a compararse con un 56% de la fibra de carbono, mientras que lo anormal se presenta en el confinamiento por dos giros en un H-30, debido a que ambos materiales cumplen o tienen casi la misma resistencia de un 72%.

Mientras que para un H-50 en la flexión los materiales compuestos ya sea por fibra de carbono y fibra de vidrio (por separados) adquieren casi la misma resistencia. No superan el 5% de resistencia.

Esto quiere decir que al realizar un confinamiento por Flexión se debe analizar bien el material a emplear debido a que tienen una diferencia abismante, ya sea en instalación y precio, por ende la fibra de vidrio que

es más común puede realizar el mismo trabajo en flexión que el carbono cumpliendo de la misma manera con un costo menor pero mayor riesgo de desacoplamiento.

5. Capítulo 5, Conclusiones

5.1 Conclusiones

Las conclusiones planteadas a continuación se basan en los datos obtenidos en los puntos anteriores en el capítulo 4, de manera de poder dar respuesta a los objetivos planteados

Con respecto a la determinación de la resistencia a compresión y flexión de las probetas confinadas con fibras se nota un aumento claro en sus resistencias, ya sea en carbono o en vidrio ambas presentan un aumento considerable en su resistencia, tanto así alcanzando un porcentaje máximo de 78% en compresión y un 72% en flexión, comúnmente en la fibra de carbono, mientras que en la fibra de vidrio aumento en un máximo de 33% y un 39% respectivamente.

En cuanto a las roturas de las probetas sin confinar presentaron una rotura típica, con grietas en dirección de la carga, en las vigas y probetas en dirección perpendicular a la carga.

Figuras 5-1: Viga de Hormigón Fisurada



Fuente: Elaboración propia, 2017

Estructuralmente la fibra de carbono ayuda a que el hormigón pueda trabajar al máximo su capacidad de compresión y flexión, sin embargo, su rotura frágil y explosiva, hace que se tenga poca certeza de cuándo se producirá la falla y por ende no se pueda actuar con anticipación a modo de prevenir esta ruptura.

Figuras 5-2: Muestra de Probeta tras realizar ensayo de compresión



Fuente: Elaboración propia, 2017

En cuanto a la fibra de vidrio a la flexión se comportó de casi igual manera que la fibra de carbono, en cuanto a la compresión soporto una capacidad de carga menor a la de la fibra de carbono por el hecho de que su módulo de tracción es menor, pero en cuanto a la falla fue fácil de reconocer pues la fibra de vidrio a tener elongación de rotura mayor a la fibra de carbono, se comportó de manera dúctil logrando que la falla fuera de manera gradual.

Figuras 5-3: Muestra de la falla en la viga confinada con fibra de Vidrio



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Las mayores resistencias se alcanzaron cuando las probetas a compresión y flexión fueron confinadas con fibras de carbono, cabe mencionar que su resistencia máxima con un doble confinamiento fue de 80,05 mpa, lo que se debe principalmente a la mayor rigidez de este tipo de fibras en comparación al a las probetas de hormigón patrón que superaron en un alto porcentaje la resistencia.

En cuanto a la confección del confinamiento el principal enemigo del empleo de fibras con resinas es el polvo y la suciedad adherida a la probeta, por lo cual es sumamente necesario limpiar bien la zona ya sea lijándola y sacando el polvo con un trapo húmedo dejando el hormigón en perfectas condiciones así haciendo que las resinas en conjunto con la fibra sufran desacoplamiento.

La Fibra de carbono para el confinamiento de columnas de hormigón, aumento su capacidad de compresión. El tipo de falla observado es frágil, vale decir, tiene un comportamiento elástico, alcanza su máximo esfuerzo y falla.

La fibra de vidrio para el confinamiento de columnas de hormigón, aumenta su capacidad de compresión, su ductilidad, pues la fibra permite que el hormigón alcance mayores deformaciones.

Para el uso de fibras en confinamiento se tiene que tener claro la superficie a confinar, ya sea por su trabajo estructural o empleo que desempeña dicha superficie, ya sea viga, pilar o muro, debido a que el material de confinamiento “fibra” se mide generalmente por su desempeño, además del valor económico y dimensión de la superficie, también hay que tener en cuenta que mediante este trabajo se obtiene valores muy parecidos en el trabajo a flexión no así en la compresión en las fibras comparadas, obviamente la fibra de carbono es un material excelente para realizar el trabajo en conjunto del material compuesto por su alta resistencia a la compresión y adaptación al medio geométrico de la estructura no así con la fibra vidrio que no es un material tan dócil y de difícil acceso de pegado en las aristas, proporcionando así un bajo desempeño en esa zona favoreciendo el desacoplamiento del FRP.

Futuras Investigaciones

Se propone como futura investigación medir la deformación máxima de los elementos confinados como material compuesto, para así compararlos con un nuevo material de confinamiento o sistema de reparación de estructuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Brugge, M. 2011
Design of the optimal Fiber-Reinforced composite materials. In *Conste.Build.Mater.*
- Bsesi, A. & F. Adam. 2015. The effect of width, Multiple and strength of FRP sheets on strength and ductility of strengthened reinforced concrete beams in flexure.
- Corradi, M. 2002. strong the ring techniques tested on masonry structures struck by the UMBRAE - MARCHE earthquake of 1997-1998. In *constr.build mater.*
- Countryman, G. L. & P. F. L. Naval Education and Training Program Development Center. 1981. *Builder 3 & 2. Naval Education and Training Command Rate Training Manual and Nonresident Career Course. Revised.*
- Eslami, A. 2013
Effect of FRP wrapping in seismic performance of RC buildings with and without special detailing.
- Fuertes, P. 2007. Factibilidad técnica y económica entre laminas de fibra de carbono y acero para vigas de hormigón armado. In *Ingeniería Construcción*. Valparaiso: Universidad de Valparaiso.
- Grande, E. 2013. finite element analysis of masonry panels strengthened with FRPs.
- Hawileh, R. A., A. Abu-Obeidah, J. A. Abdalla & A. Al-Tamimi (2015) Temperature effect on the mechanical properties of carbon, glass and carbon–glass FRP laminates. *Construction & Building Materials*, 75, 342-348.
- Lam, L. & J. G. Teng (2001) Strength of RC Cantilever Slabs Bonded with GFRP Strips. *Journal of Composites for Construction*, 5, 221.
- Luccioni, B. 2013. In-Plane retrofitting of masonry pants with fiber reinforced composite materials. In *Constr.Build.Mater.*
- Muñoz Alvarez, C. 2007. Comportamiento Mecánico del Hormigón Reforzado con Fibra de Vidrio. In *Escuela de Ingeniería*. Valdivia.
- Nanni, A. 2000. FRP Reinforcement for bridge structures. In *Proceedings, structural engineering conference*. Kansas.
- Witzany, J. & R. Zigler (2016) Stress State Analysis and Failure Mechanisms of Masonry Columns Reinforced with FRP under Concentric Compressive Load. *Polymers (20734360)*, 8, 1-25.
- Zhang, H. W., S. T. Smith & S. J. Kim (2012) Optimisation of carbon and glass FRP anchor design. *Construction & Building Materials*, 32, 1-12.