



Facultad de Ingeniería  
Escuela de construcción Civil

## **“Diseño de Fundaciones de Hormigón Armado Prefabricadas”**

Por

**Daniela Natalia Santibáñez Pizarro**

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

**Profesor Guía: Juan Egaña Ramos**

Septiembre, 2016.

*“Se valiente y sigue adelante, aunque las cosas se pongan  
díficiles...recuerda que todo lo que merece la pena se alcanza con  
voluntad y dedicación”  
(Anónimo)*

*Dedicado a la memoria de dos maravillosas personas... para ustedes al cielo  
**Cristian Collao Olivares y Gastón Soto Becar.***

## Agradecimientos

Deseo dar las gracias por todo el apoyo, la buena disposición, cariño y conocimientos entregados durante el periodo en el que desarrollé este trabajo, me refiero a mi querido y respetado profesor, Sr. Juan Egaña Ramos, nunca dejaré de agradecer sus consejos y aportes tan valiosos, sin usted no habría podido lograr esto.

Agradezco a mi familia por todo el amor entregado a lo largo de esta etapa universitaria, muy especialmente a mi madre Victoria y a mi hermano Daniel, ya que sin ellos jamás habría podido comenzar esta carrera, ni ser la mujer en la que me he convertido, los amo!!

A ti Valeria, que sin ti no habría podido levantarme y continuar cada vez que tuve un tropiezo, mil gracias por tu apoyo incondicional, por ser mi hermana, amiga, compañera, y consejera en todos los aspectos de mi vida.

Por supuesto a mi querida Elena, gracias por ser siempre tan amorosa y dar aliento a continuar en esto sin rendirme.

Agradezco a mis ahijaditas, Catalina e Isabella (mis princesitas) por el amor que me entregan y que llenan mi corazón día a día.

Les agradezco mucho el apoyo, la camaradería, el cariño y la amistad a Ennith y Pauli, el último año de universidad no habría sido igual sin alguna de ustedes.

A mis amigos de la vida, Marcela, Liset, Ana María, Sylvia, María Paz, Ángela, Marcelo y Rodrigo, por estar motivándome a continuar y estar siempre presentes en cada paso que he dado...los quiero infinito!

A ustedes mis queridos regalones: Iva, Felipe, Claudio y Mauricio, gracias por tantos buenos momentos compartidos y alegrar mi estancia en Construcción, un placer contar con su amistad.

No puedo dejar de agradecerles a ustedes mis queridas amigas y compañeras de trabajo, Nicol y Johanna, por ayudarme y tener siempre la mejor disposición para que yo pudiera asistir a clases sin inconvenientes, el contar con ustedes me permitió sacar adelante mis estudios.

Por supuesto agradecer las herramientas entregadas por los docentes de la escuela de Construcción, muy especialmente a mi amiga Gina Vindigni, y a Gianella Adofacci, por ser siempre tan cordiales y amables no solo conmigo, sino que con todos los alumnos.

A Emperatriz Villanueva y Fabiola Guzmán, mil gracias por toda su ayuda siempre. Desde que nos conocimos ustedes fueron un amor. Las tengo en el corazón y sin ustedes la escuela no sería lo mismo.

Deseo agradecer muy afectuosamente a los asistentes de laboratorio de hormigones de la Universidad de Valparaíso, a don Enrique, don Aldo, pero muy especialmente a don Víctor...muchas gracias por toda la ayuda entregada para que llevara a cabo mis ensayos de la mejor manera posible.

## Índice

Dedicatoria .....	2
Agradecimientos.....	3
Índice .....	4
Lista de Tablas .....	7
Lista de Figuras .....	8
Resumen .....	9
<b>Capítulo 1: Antecedentes Generales .....</b>	<b>11</b>
1.1 Introducción .....	11
1.2 Objetivos .....	12
1.2.1 Objetivo General .....	12
1.2.2 Objetivos Específicos .....	12
1.3 Alcances .....	12
1.4 Metodología de la Investigación .....	13
<b>Capítulo 2: Marco teórico .....</b>	<b>15</b>
2.1 Fundaciones .....	15
2.2 Suelos .....	17
2.2.1 Clasificación de los suelos .....	17
<b>Capítulo 3: Métodos y Materiales .....</b>	<b>24</b>
3.1 Diseño de la Experiencia .....	24
3.1.1 Incorporación de gránulos de caucho reciclado .....	24
3.1.2 Incorporación de Arlita (Arcilla Expandida) .....	26
3.1.3 Incorporación de Poliestireno Expandido.....	27
3.2 Metodología de Trabajo .....	29
3.2.1 Diseño de Fundación .....	29
3.2.2 Hormigón H-20 Patrón .....	33

<b>Capítulo 4: Desarrollo Experimental</b> .....	34
4.1 Caracterización de la arena.....	34
4.1.1 Granulometría arena .....	34
4.1.2 Densidad real y aparente de la arena .....	37
4.1.2.1 Densidad real del árido saturado superficialmente seco .....	37
4.1.2.2 Densidad real del árido seco.....	37
4.1.2.3 Densidad neta .....	37
4.1.2.4 Absorción de agua .....	37
4.1.2.5 Densidad aparente compactada .....	37
4.1.2.6 Densidad aparente suelta .....	37
4.2 Caracterización de la grava.....	38
4.2.1 Granulometría grava .....	38
4.2.2 Densidad real y aparente grava .....	40
4.2.2.1 Densidad real del árido saturado superficialmente seco .....	40
4.2.2.2 Densidad real del árido seco.....	40
4.2.2.3 Densidad neta .....	40
4.2.2.4 Absorción de agua .....	40
4.2.2.5 Densidad aparente compactada .....	40
4.2.2.6 Densidad aparente suelta .....	40
4.3 Dosificación hormigón patrón.....	41
4.3.1 Método IDIEM .....	41
4.3.2 Dosificación .....	42
4.4 Caracterización del Caucho Reciclado .....	43
4.4.1 Granulometría Caucho Reciclado .....	43
4.4.2 Densidad real del Caucho Reciclado .....	45
4.4.2.1 Densidad real del Caucho Reciclado saturado superficialmente seco .....	45
4.4.2.2 Densidad real del Caucho Reciclado seco .....	45
4.4.2.3 Densidad neta .....	45
4.4.2.4 Absorción de agua .....	45
 <b>Capítulo 5: Análisis de resultados</b> .....	 46
5.1 Análisis de resultados obtenidos de los ensayos a compresión de las probetas .....	46
5.1.1 Asentamiento .....	47
5.1.2 Resistencia a compresión a los 28 días .....	49
5.1.3 Densidad Aparente Hormigón endurecido .....	50

<b>Capítulo 6: Conclusiones y futuras investigaciones</b> .....	52
6.1 Generalidades .....	52
6.2 Respecto al objetivo general .....	52
6.3 Respecto a los objetivos específicos .....	52
6.4 Futuras investigaciones .....	52
<b>Bibliografía</b> .....	53
<b>Anexos</b> .....	54
<b>A. Tablas</b> .....	54
<b>B. Cálculos</b> .....	63
<b>C. Modelación y Diagramas</b> .....	65

## Lista de Tablas

Tabla 2.1 Clasificación suelos .....	18
Tabla 2.2 Clasificación de suelos/ Dec.61 .....	19
Tabla 2.3 Clasificación de suelos.....	20
Tabla 2.4 Clasificación de suelos/ Dec.61 .....	21
Tabla 3.1 Datos muro Hormigón armado .....	30
Tabla 3.2 Datos fundaciones Prefabricadas .....	30
Tabla 3.3 Presiones admisibles distintos suelos.....	31
Tabla 3.4 Tensión del suelo .....	32
Tabla 3.5 verificación corte del suelo .....	32
Tabla 3.6 Cuadro resumen M, V y $\Delta$ .....	32
Tabla 4.1 Granulometría Arena.....	34
Tabla 4.2 Granulometría arena obtenida en laboratorio .....	34
Tabla 4.3 Granulometría Grava.....	38
Tabla 4.4 Dosificación para 1 metro cubico .....	42
Tabla 4.5 Dosificación para 20 litros .....	42
Tabla 4.6 Granulometría caucho reciclado .....	44
Tabla 5.1 Asentamiento de la muestra .....	47
Tabla 5.2 Resistencias obtenidas a los 28 días.....	49
Tabla 5.3 Densidades aparentes hormigón endurecido .....	50
Tabla 5.4 Resistencia a la compresión a los 28 días.....	51

## Lista de Figuras

Figura 3.1 Partes del neumático .....	25
Figura 3.2 Gránulos de Caucho Reciclado .....	25
Figura 3.3 Arcilla Expandida .....	26
Figura 3.4 Poliestireno Expandido .....	27
Figura 3.5 Pieza de fundación prefabricada (diseño experimental).....	29
Figura 4.1 Gráfico granulometría arena .....	35
Figura 4.2 Tamizado Arena en laboratorio.....	36
Figura 4.3 Arena tamizada y pesada .....	36
Figura 4.4 Gráfico granulometría grava .....	38
Figura 4.5 Tamizado Grava.....	39
Figura 4.6 Grava tamizada y pesada .....	39
Figura 4.7 Gránulos de caucho reciclado .....	43
Figura 4.8 Cuarteo caucho reciclado para granulometría.....	43
Figura 4.9 Gráfico granulometría caucho reciclado .....	44
Figura 5.1 Máquina utilizada en ensayo .....	46
Figura 5.2 Probeta patrón ensayada en laboratorio.....	46
Figura 5.3 Ensayo asentamiento.....	47
Figura 5.4 Gráfico descenso cono de Abrams.....	48
Figura 5.5 Gráfico comparación resultados ensayos a compresión a los 28 días .....	49
Figura 5.6 Gráfico densidades valor relativo (%) .....	50



## Resumen

A raíz de todos los desastres que suceden en nuestro país, naturales y accidentales, y ante las cuales nadie puede quedar indiferente; ha surgido la necesidad de intentar brindar una solución definitiva a familias que requieran una construcción de sus viviendas rápida y de calidad. Para esto se ha considerado diseñar una estructura de fundación prefabricada de hormigón armado, la cual puede ser utilizada en variados tipos de suelos; además de ser fáciles de transportar y colocar.

El objetivo es conseguir este diseño pensando en que se trate de algo sencillo y resistente a las solicitaciones, con una correcta dosificación, y en medida de lo posible disminuyendo el peso de estas piezas incorporando gránulos de caucho de neumático reciclado a la mezcla para sustituir parte de la grava.

Por otra parte, el diseño en sí de la fundación es sencillo, y elaborado bajo normativa chilena, basado en condiciones ideales.

En la presente investigación, se llevó a cabo la sustitución de grava por gránulos de caucho reciclado de un 20%, 30% y 40% respectivamente. Además se diseñó un tipo de fundación ensamblable entre sí, de tal manera que sea sencilla de armar y unir por cualquier persona, que aunque no tenga conocimientos de construcción, le bastará con unas instrucciones sencillas para poder disponerlas de manera correcta.

La experiencia de la sustitución de grava por gránulos de caucho, se realizó en los porcentajes indicados anteriormente, los que fueron comparados con un hormigón patrón que estaba confeccionado sin adiciones.

En general, luego de ensayar a compresión las probetas, se obtuvieron los resultados esperados, a mayor sustitución de grava por gránulos de caucho reciclado menor peso, pero también menor resistencia a los 28 días; sin embargo dos de las tres dosis de reemplazo cumplen con la resistencia requerida para este tipo de elementos.

## Abstract

Following all disasters that happen in our country, natural and accidental, and before which no one can remain indifferent; It has arisen the need to try to provide a definitive solution to families requiring rapid construction of their homes and quality. To this it was considered to design a structure of precast reinforced concrete foundation, which can be used in various types of soils; besides being easy to transport and place.

The goal is to get this design thinking that it is something simple and resistant to the stresses, with the correct dosage, and as far as possible by decreasing the weight of these pieces incorporating rubber granules recycled tire to the mixture to replace part gravel.

Moreover, the design of the foundation itself is simple, and prepared under Chilean law, based on ideal conditions.

In the present investigation it was carried out replacing gravel recycled rubber granules 20%, 30% and 40% respectively. In addition a type of foundation was designed bayed together, so that is simple to assemble and unite by anyone, that even without knowledge of construction, will suffice simple instructions to arrange them properly.

Experience replacing gravel rubber granules, was performed in the percentages indicated above, which were compared with a pattern was made of concrete without additions.

Overall, after testing compression specimens, the expected results were obtained, the higher the replacement of gravel recycled rubber granules less weight, but also less resistance at 28 days; however two of the three replacement doses meet the strength required for such elements.

# Capítulo 1: Antecedentes Generales

## 1.1 Introducción

A lo largo de la historia, existen varios precedentes de prefabricación debido al propósito de la sociedad de optimizar la eficiencia de los procesos productivos. El primer ejemplo significativo de construcción industrializada data del siglo XVI, cuando Leonardo Da Vinci recibió el encargo de planificar una serie de nuevas ciudades en la región de Loire. Su planteamiento consistió en establecer en el centro y origen de cada ciudad, una fábrica de elementos básicos que permitieran conformar un gran abanico de edificios a su alrededor.

Pero no fue hasta la revolución industrial en los años 1780- 1880, que se dio una visión más consciente de la idea de producir más, más rápido y más económico. Con la aparición de las máquinas durante este periodo, se producen grandes modificaciones al sistema de trabajo, mayor productividad y menos horas hombre.

La prefabricación de las fundaciones se enfrenta con una serie de circunstancias problemáticas que en gran medida han desincentivado su utilización de manera masiva, tanto en la construcción formal como en la autoconstrucción, esto es debido a que su diseño es de tipo estándar, pero en realidad no son transversales a todos los tipos de suelos, y esa es precisamente la mayor dificultad a la que se enfrentan quienes deseen utilizar este tipo de elementos, ya que en nuestro país las características del suelo son muy variadas incluso dentro de una misma región.

Las fundaciones son uno de los componentes más esenciales en la construcción de una vivienda, y aunque la ingeniería ha avanzado bastante en lo que a tecnología se refiere, en esta área no se ha integrado mayormente la industrialización, por los motivos ya mencionados.

La idea de implementar un sistema de fundaciones prefabricadas, es lograr la uniformidad en la construcción de ellas, de modo de hacer correctamente su instalación en un periodo menor de tiempo, pero por sobre todo, y de esta manera poder reaccionar frente a catástrofes o emergencias que se presenten en nuestro país.

El introducir un sistema de prefabricación es muy importante en los procesos de construcción, dado el ahorro que significa no solamente en tiempos, sino que en la reducción del costo total de la obra.

El tiempo que toma finalizarlas para el posterior montaje de la vivienda, ya que la mano de obra al ser más especializada requiere menos trabajadores para poder llevar a cabo las labores; y por ende, se contamina menos al casi no dejar residuos.

En las estructuras de fundaciones prefabricadas, el mayor temor resulta ser el fenómeno de aplastamiento en los bordes exteriores de las fundaciones, tema solucionable con un buen diseño y enfocándolo para varios tipos de suelos.

Para que las fundaciones prefabricadas sean aplicables en casos de emergencias, deben ser fáciles de transportar, sin necesidad de recurrir a grúas para su instalación en el lugar definitivo; para ello se debe buscar la óptima dosificación que permita obtener un hormigón lo más ligero posible, y a su vez con una resistencia suficiente para soportar los esfuerzos a los que serán sometidas.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Diseñar estructuralmente fundaciones prefabricadas para viviendas emplazadas en suelos de clasificación A, B, C, y D, siendo las dos primeras las óptimas condiciones, sin perjuicio de que se puedan utilizar transversalmente en todos los suelos mencionados.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Diseñar fundaciones prefabricadas, que satisfagan adecuadamente dos grandes categorías principalmente, en las cuales están inmersos los criterios y requisitos para el correcto cálculo de dichos elementos; estos son:

- Diseño Geotécnico
- Diseño Estructural

Realizar dosificación adecuada y conveniente, para obtener un hormigón disminuido en su peso, pero a su vez de resistencia óptima para soportar las cargas y transmitir las al suelo natural.

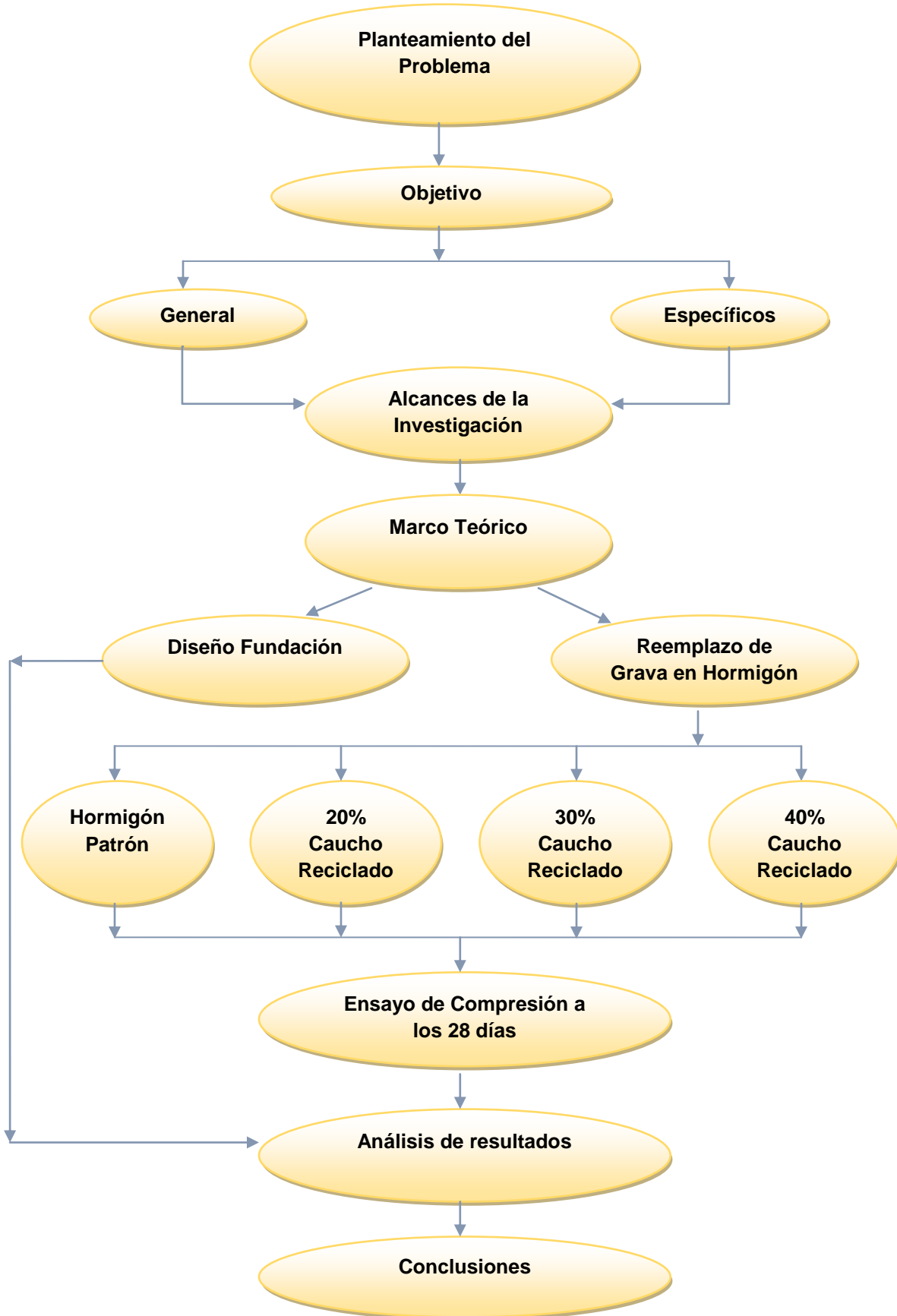
Incorporar gránulos de caucho de neumático reciclado a la mezcla, en tamaño nominal entre 15 mm y 25 mm, para obtener un hormigón de peso más ligero, que no disminuya la resistencia del mismo.

## **1.3 Alcances**

El diseño de este tipo de fundaciones prefabricadas, será transversalmente aplicable a los suelos de clasificación A, B, C y D de nuestro país. Por otro lado, se excluyen de aplicación los suelos tipo E y F por tratarse de suelos que requieren mejoramientos para ser fundados, y la base de este tema es la rápida instalación.

Las fundaciones de este tipo, deben ser dispuestas en sectores donde las diferencias de cotas puedan ser sorteadas con una excavación o relleno simple ya que al ser dispuestas en partes, se debe garantizar su comportamiento monolítico para así lograr una perfecta unión entre los bloques que conforman la fundación.

## 1.4 Metodología de la Investigación



Se recopilarán los antecedentes del diseño de las fundaciones prefabricadas existentes en el mercado hoy en día en nuestro país.

De acuerdo a la información recabada, se procederá a rediseñar una fundación prefabricada de hormigón armado particular para los tipos de suelos anteriormente mencionados.

El diseño se realizará de acuerdo a los parámetros establecidos en la normativa vigente, la cual señala que se deben realizar para satisfacer adecuadamente los requisitos derivados de su definición como elemento estructural base, debiendo garantizar la transmisión de las cargas de la superestructura al suelo, además de evitar fallas tales como, roturas de la base y bordes, y deformaciones que puedan dañar la estructura superior que ira dispuesta sobre la fundación.

Todo lo anterior nos deriva a los requisitos del diseño que se abordarán de dos formas: primero el diseño geotécnico, que es aquí precisamente donde se define que el suelo debe poseer características particulares para la disposición de las fundaciones prefabricadas, de acuerdo a la NCh 433, y además de eso debe poseer características topográficas para su disposición, estas son que las diferencias de cotas mínimas, las cuales puedan garantizar el comportamiento monolítico de la fundación una vez colocadas en su posición definitiva, para esto se debe calcular las dimensiones adecuadas en planta de la base B y L (ancho y largo), estas variables forman parte del diseño geotécnico de la fundación.

El segundo requisito es el diseño estructural, el cual además de satisfacer los requisitos del diseño geotécnico, debe ser de tipo auto-soportante. Este diseño dependerá de las variables de los materiales a utilizar (resistencia del hormigón y del acero a emplear), cuantías y posición de la enfierradura de la fundación, y por supuesto, las dimensiones de la base de la fundación (las que en este caso como serán prefabricadas tendrán dimensiones estándar, que serán definidas una vez realizado el diseño).

Otra de las cosas que se deben considerar es que el diseño geotécnico, condicionará el diseño estructural.

## Capítulo 2: Marco Teórico

### 2.1 Fundaciones

De las catástrofes más comunes en el mundo, en Chile pueden ocurrir todas, y en los últimos años han llegado una tras otra: incendios, terremotos, sequías, erupciones volcánicas, inundaciones y aludes.

De acuerdo a un estudio realizado por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos en Desastres (UNISDR), Chile es el noveno país del mundo en gastos por desastres naturales en los últimos 20 años. (ONU, 2012)

Es por eso, que siempre existe la necesidad de poder reaccionar de manera rápida y eficaz ante situaciones de esta índole. La idea de poder dar una residencia de carácter rápido y definitivo a las personas que sufren los embates de la naturaleza y accidentales, como son los incendios. La prefabricación de unas fundaciones de hormigón armado para viviendas, resultaría ser de mucha utilidad frente a estos hechos, ya que los tiempos de reacción serían evidentemente menores, y con un estándar de calidad elevado.

Toda edificación requiere bajo el nivel natural del suelo, una base de sustentación permanente encargada de recibir diferentes esfuerzos y transmitirlos al suelo. A esta base de sustentación se le denomina fundación. El tipo de esfuerzo relevante a que se somete el suelo es el de compresión, producto del peso propio de la fundación, muros, entresijos y techumbre, más las sobrecargas de uso y las accidentales de diversas magnitudes y en distintas direcciones, como por ejemplo sobrecargas accidentales por sismo, nieve o vientos, y esfuerzos normales no uniformes transmitidos a la fundación en estado de presiones no uniformes.

Es así que para diseñar y dar solución a la fundación adecuada, se deben considerar:

- ❖ Condiciones de carga
- ❖ Características del suelo
- ❖ Restricciones constructivas de la obra

La importancia fundamental de que una solución de fundación sea adecuada, reside en que es la parte de la obra con menos probabilidad de ser reparada o reforzada, en caso de falla futura.(CORMA, 2007)

La falla más común que se presenta en las fundaciones es el asentamiento diferencial, o sea, un descenso desigual ocasionado por variadas razones:

- ❖ Calidad del suelo
- ❖ Deficiente compactación del terraplén
- ❖ Vibraciones recepcionadas por el terreno que producen reubicación de los estratos finos
- ❖ Peso de la estructura

Este descenso se puede presentar en forma uniforme (igual para todos los puntos de la fundación) o diferenciada (distintos descensos en puntos de la fundación), según sean las condiciones del terreno o por las razones anteriormente enunciadas.

Esto último tiene su explicación por:

- ❖ Existencia de estratos de suelos con diferentes espesores
- ❖ Diferencia en la capacidad de soporte
- ❖ Compactación inadecuada del terreno
- ❖ Transmisión de presiones de cargas no uniformes a la fundación

El diseño de fundaciones consiste en limitar las deformaciones posibles del suelo a valores que no produzcan efectos perjudiciales a la estructura, para que no se presenten descensos en ningún punto de la fundación y evitar efectos en la vivienda.

Nuestro país al tener una geografía tan accidentada y distinta, es uno de los lugares del mundo con más difíciles accesos en lo que se refiere a los asentamientos urbanos. Caminos por los desiertos, quebradas, cerros, etc., hacen que seamos un país acostumbrado a las dificultades, eso sin contar que somos el país más sísmico del planeta, uno de los que posee más volcanes activos, y dueños del desierto más árido del mundo, entre otras cosas.

La historia de nunca acabar de las tragedias y catástrofes en Chile, en las cuales millones de compatriotas han perdido sus hogares de un minuto a otro, han hecho que las autoridades tengan planes de emergencia para un actuar rápido frente a estas emergencias. Lamentablemente, cuando nos vemos en estas situaciones, el plan principal, es darle un lugar donde puedan vivir nuevamente las familias afectadas, pero la solución que existe hoy por hoy, es bastante precaria, las viviendas sociales de emergencia (medias aguas), terminan siendo prácticamente definitivas para muchos compatriotas, ya que su construcción es rápida, y se montan sobre pilotes de madera; y pese a ser prefabricadas, son hechas pensando en que serán provisorias. La idea de las fundaciones prefabricadas de hormigón armado, es que por su facilidad de traslado e instalación, formen parte del plan de emergencia del gobierno, de esta manera, las viviendas ya no serían las provisorias medias aguas, sino otro tipo de casas prefabricadas o modulares, pero que serían las definitivas y contarían con todas las comodidades para cubrir las necesidades de las familias chilenas, en un tiempo record de construcción en serie.

La idea es contar con stock suficiente siempre por parte del gobierno, así de esta manera reaccionar lo antes posible frente a tragedias de esta magnitud.



## 2.2 Suelos

Para el diseño de las fundaciones y su campo de aplicación, es necesario estudiar muy bien el tipo de suelos a los que se enfocará la fundación, la normativa para llevarlo a cabo, como son las de sismo, suelos, hormigón armado, etc.

Primero partiremos definiendo que es el suelo, para poder comprender de mejor manera algunos conceptos, y así sucesivamente continuaremos con otros conceptos.

Se denomina suelo a todo el espesor de la corteza que se encuentra afectado por la actividad normal del hombre, hasta donde llega la erosión y que dicho espesor esté compuesto por roca suelta.

Por lo general los suelos provienen de las rocas de la corteza terrestre que han sido afectadas por la erosión la cual puede ser del tipo física o química.

- ❖ **EROSIÓN FÍSICA:** secciona la roca llegando a transformarla en áridos de distinta granulometría hasta las arenas y limos, o sea no produce más que cambios de tamaño. Esta fragmentación se puede producir por variaciones bruscas de temperatura, por penetración de agua con posterior congelamiento, por transporte y roce agua/viento que produce desgastes. Esto produce partículas inertes.
- ❖ **EROSIÓN QUÍMICA:** secciona y transforma la roca en partículas aún más pequeñas que los limos; las arcillas minerales producto de la acción de grandes temperaturas y presiones se definen como silicatos hidratados de Alúmina y dan resistencia a la compresión y cohesión a los suelos por su capacidad aglomerante. Son el componente activo del suelo.

### 2.2.1 Clasificación de los suelos

Chile de acuerdo a la NCh 433 of.1996 mod.2009 decreto 61/2011, establece que la nueva clasificación sísmica del terreno de fundación es la siguiente:

Suelo Tipo A: Roca, Suelo Cementado

Suelo Tipo B: Roca blanda o fracturada, Suelo muy Denso o muy Firme.

Suelo Tipo C: Suelo Denso o Firme.

Suelo Tipo D: Suelo Medianamente Denso o Firme.

Suelo Tipo E: Suelo de Compacidad o Consistencia Mediana.

Suelo Tipo F: Suelos Especiales (suelos licuables, suelos colapsables, suelos orgánicos, suelos sensitivos, turba, entre otros).

A continuación la comparación de la clasificación de los suelos en la NCh 433 of.1996 respecto de su modificación en el decreto 61.

**Tabla 2.1.-** Clasificación de suelos

Tipo de Suelo	Descripción
I	<p><b>Roca:</b> material natural, con velocidad de propagación de ondas de corte in-situ igual o mayor que 900 m/s, o bien, resistencia de la compresión uniaxial de probetas intactas(sin fisuras) igual o mayor que 10 Mpa y RQD igual o mayor que 50%</p>
II	<p><b>a)</b>suelo con <math>V</math>, igual o mayor que 400 m/s en los 10 m superiores, y creciente con la profundidad; o bien</p> <p><b>b)</b>Grava densa, con peso unitario seco <math>\gamma_d</math> igual o mayor que 20 KN/M<sup>3</sup>, o índice de densidad ID(DR) (densidad relativa) igual o mayor que 75%, o grado de compactación mayor que 95% del valor protector modificado; o bien</p> <p><b>c)</b>Arena densa, con ID(DR) mayor que 75%, o índice de penetración estándar <math>N</math> mayor 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 Mpa) o grado de compactación superior al 95% del valor protector modificado; o bien</p> <p><b>d)</b>Suelo cohesivo duro, con resistencia al corte no drenado <math>S_m</math> igual o mayor que 0,10 Mpa (resistencia a la compresión simple <math>q_m</math> igual o mayor que 0,20 Mpa) en probetas sin fisuras.</p> <p>En todos los casos, las condiciones indicadas se deben cumplir independientemente de la posición del nivel freático y el espesor mínimo del estrato debe ser de 20 m. Si el espesor sobre la roca es menor que 20 m, el suelo se debe clasificar como tipo I</p>

Fuente: NCh 433 of. 1996

**Tabla 2.2.-** Clasificación de suelos/ Decreto 61

Suelo Tipo		V <sub>s</sub> (m/s)	RQD	q <sub>u</sub> (Mpa)	(N <sub>1</sub> ) (golpes/pie)	S <sub>u</sub> (Mpa)
A	Roca, suelo cementado	≥ 900	≥50%	≥10 (ξ <sub>qu</sub> ≤2%)		
B	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o muy firme	≥500		≥0,40 (ξ <sub>qu</sub> ≤2%)	≥50	
C	Suelo denso o firme	≥350		≥0,30 (ξ <sub>qu</sub> ≤2%)	≥40	

Fuente: NCh 433 of. 1996, modificación según decreto 61

**Tabla 2.3.-** Clasificación de suelos

Tipo de suelo	Descripción
III	<p>a) Arena permanentemente no saturada, con ID(DR) entre 55% y 75%, o <b>N</b> mayor que 20 (sin normalizar a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 Mpa); o bien:</p> <p>b) Grava o arena no saturada, con grado de compactación menor que el 95% del valor Proctor Modificado; o bien:</p> <p>c) Suelo Cohesivo con <b>S<sub>u</sub></b> comprendido entre 0,025 y 0,10 Mpa( <b>q<sub>u</sub></b> entre 0,05 y 0,20 Mpa) independientemente del nivel freático; o bien:</p> <p>d) Arena saturada con <b>N</b> comprendido entre 20 Y 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 Mpa)</p> <p>Espesor mínimo correspondiente del estrato: 10 m. Si el espesor del estrato sobre la roca o sobre suelo correspondiente al tipo II es menor que 10 m, el suelo se debe clasificar como tipo II.</p>
IV	<p>Suelo cohesivo saturado con <b>S<sub>u</sub></b> igual o menor que 0,025 Mpa( <b>q<sub>u</sub></b> igual o menor que 0,050 Mpa)</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10 m. Si el espesor del estrato sobre suelo correspondiente a algunos de los tipos I, II o III es menor que 10 m, el suelo se debe clasificar como tipo III</p>

Fuente: NCh 433 of. 1996

**Tabla 2.4.-** Clasificación de suelos

Suelo Tipo		$V_{s30}$ (m/s)	RQD	$q_u$ (Mpa)	( $N_1$ ) (golpes/pie)	$S_u$ (Mpa)
D	Suelo medianamente denso, o firme	$\geq 180$			$\geq 30$	$\geq 0,05$
E	Suelo de compacidad, o resistencia mediana	$< 180$			$\geq 20$	$< 0,05$
F	Suelos Especiales	*	*	*	*	*

Fuente: NCh 433 of. 1996, modificación según decreto 61

### Simbología

$N_1$ : Índice de penetración estándar normalizado por presión de confinamiento de 0,1 Mpa. Aplicable sólo a suelos que clasifican como arenas.

$V_s$ : velocidad de propagación de ondas de corte.

RQD: rock quality designation, según Normas ASTM D 6032.

$S_u$ : Resistencia al corte no-drenada del suelo.

$V_{s30}$ : velocidad de onda de corte equivalente a los 30 m superiores del terreno.

$\xi_{qu}$ : deformación unitaria desarrollada cuando se alcanza la resistencia máxima en el ensayo de compresión simple.

$q_u$ : resistencia mecánica.

$q_m$ : resistencia a la compresión simple.

$\gamma_d$ : peso unitario seco del suelo.

Por otra parte, además del diseño respecto a la norma sísmica chilena, se debe tener especial cuidado en lo que nos indica la norma de hormigón armado NCh 430 of.2008, en la cual para los factores de carga y de reducción de la resistencia establecidos en 9.2.1, la combinación para cargas que incluyan el efecto sísmico se deben hacer reemplazando el factor de carga 1,0 para sismo, por el factor 1,4 de acuerdo con 9.2.1c), donde la sollicitación sísmica E se debe determinar de acuerdo con NCh 433.

La NCh 430, finalmente será la que oriente el diseño de la fundación, y la NCh 433 será la que indique para que tipo de suelos se realizará dicho cálculo, a fin de obtener una fundación en lo posible de solución transversal en el país, exceptuando obviamente los suelos mas malos dentro de la clasificación, ya que se trata de suelos no recomendables para este proyecto.

Además de la normativa para diseñar las piezas prefabricadas de hormigón, es necesario comprender el sistema de prefabricación en serie, sus fortalezas frente a la construcción tradicional, etc.

La prefabricación consiste en fabricar partes importantes de una construcción fuera de su lugar definitivo.

Esta fabricación se hará en un lugar apropiado, en una posición más cómoda, y en donde se pueda desarrollar un proceso cíclico cuando se trate de muchos elementos iguales (fabricación en serie).

Puede prefabricarse en la misma obra o en planta, o en un taller especializado, que pueden adoptar características propias de la industria.

La construcción misma se desarrolla luego por el sistema de montaje (y uniones), para dejar la estructura terminada.

Propiamente la construcción por montaje es tan antigua, como la construcción misma, y se desarrolló antes para las construcciones en madera, en piedra, en acero, y ahora en hormigón armado y pre comprimido.

Ejemplos de Grecia y Roma son las construcciones monumentales y de templos, en que todas las piezas de piedra o mármol eran confeccionadas en talleres y llevadas a las obras, incluso por mar en Galeras. Algunas de estas embarcaciones se han encontrado en el fondo del mar Mediterráneo con piezas de piedra que no llegaron a su destino.

En nuestro país la prefabricación en hormigón, se inició en la década de los 50, con sistemas para viviendas de uno y dos pisos, como por ejemplo se puede citar el sistema BETONIT de paneles de 80 cm.de ancho y pared de 2 cm.de espesor, que se colocan enfrentadas en parejas dejando un espacio entre ellas. Eran fabricados al vacío por la firma Ignacio Hurtado, y el sistema CEDESCO de grandes paneles del tamaño del muro de una habitación, para viviendas de dos pisos.

El año 1857 el arquitecto Oreste Depetris construye las primeras vigas postensadas de 20 metros de luz, con el sistema Freyssinet, combinadas con losas prefabricadas con bovedillas cerámicas.

En puentes se comienzan a utilizar a utilizar durante esta época las vigas postensadas como alternativa a las vigas tradicionales de acero.

Los años 60 son de un mercado de desarrollo de la prefabricación en el área de Obras Públicas, principalmente en puentes; se puede citar el puente sobre el río Bío-Bío construido por la firma del Ingeniero Mario Millán con la asesoría de Gifford and Partners, y el puente sobre el Malleco construido por la misma firma antes mencionada.

En puertos, puede mencionarse la ampliación del puerto de San Vicente, por la firma BELFI, en que se instaló una fábrica en el lugar mismo de la obra para producir pilotes pretensados, además de vigas y losas para los muelles.

Un desarrollo similar se observa en los edificios industriales, con prefabricación de pilares estructurales, vigas postensadas por secciones, losas pretensadas de sección TT, cerchas de hormigón postensado con cargas de losa, y luces de hasta 36 metros.

En lo que a viviendas se refiere el desarrollo es menos espectacular, se ha avanzado en sistemas que pueden desarrollarse en las mismas obras, en general livianos, y su mayor desarrollo está en la aplicación masiva del sistema.

En las viviendas el mayor problema recae en las fundaciones, ya que hoy en día encontramos viviendas prefabricadas completamente, y en variadas materialidades, pero lo que tarda su construcción depende muchas veces de las fundaciones, las cuales se deben hacer de la forma tradicional en la obra misma.

Es por ello, la importancia de desarrollar un tipo de fundación también prefabricada, que permita un fácil traslado a su ubicación definitiva, que pueda ser manipulada por personas sin la ayuda de maquinaria, y que por sobre todo sea sencilla su instalación, cosa de no requerir mano de obra especializada para su instalación. De manera que, cuando sea necesario construir una vivienda prefabricada, no sean precisamente las fundaciones lo que más retrase la obra de construcción, y además sean de alta calidad, sin preocuparnos por el tipo de terreno en el que se está fundando.

## Capítulo 3: Métodos y Materiales

### 3.1 Diseño de la Experiencia

Para el diseño y confección de las fundaciones, es necesario reconocer y acotar varias variables: entre ellas, las dimensiones de muros a considerar para el diseño en el peor de los escenarios, materiales a utilizar para construirlas de manera de reducir su peso sin bajar su resistencia, la capacidad de soporte de los suelos donde se dispondrán para su uso, el diseño de uniones en las piezas de manera de salvaguardar la estructura de manera monolítica, etc.

Para el diseño de las fundaciones, se considerará el escenario más desfavorable para ello. En este caso particular, como se trata de fundaciones prefabricadas para viviendas, el peor de los casos es contemplar muros de hormigón armado. Las dimensiones de este permitirán saber la sobrecarga que se traspasará al suelo de fundación, el cual de acuerdo a su naturaleza, nos mostrará si es factible o no utilizarlas.

Por otra parte, se debe considerar la incorporación de algún tipo de material que posea la particularidad de lograr que pierda peso la fundación sin ser menos resistente, para ello se contemplan algunas opciones, de modo de sustituir parte de los áridos en la mezcla de hormigón.

#### 3.1.1 Incorporación de gránulos de caucho reciclado

El caucho es un material de origen natural, se extrae de los árboles sistemáticamente, haciendo un corte en ángulo en su tronco, a través de la corteza y llegando hasta el cambium, de ahí se extrae un látex. Este látex contiene 30 a 36% del hidrocarburo del caucho, 0.30-0.7% de cenizas, 1-2% de proteínas, 2% de resina y 0.5 de quebrachitol. La composición del látex varía en las distintas partes del árbol; generalmente el porcentaje de caucho (hidrocarburo) decrece del tronco a las ramas y hojas.

El caucho es una secreción irreversible o producto de desecho del árbol, y cuanto más se extrae, tanto más la planta regenera.

En esta experiencia, se busca incorporar el caucho reciclado, obtenido de los N.F.U (neumáticos fuera de uso) en gránulos de tamaño nominal entre 15-25 mm, los cuales son triturados y granulados en distintos tamaños. Las principales características de este producto, es que al ser reciclado ayuda al medio ambiente, posee un bajo costo y es resistente al calor, humedad y deformación.

La estructura de los neumáticos no está constituida solo por caucho, también lo conforman una malla de acero o textil y caucho macizo, que constituye la banda de rodadura. Esta es la que se va desgastando con el uso, ya que es la que se encuentra en contacto con la superficie del camino, volviéndose prácticamente lisos al no tener la profundidad mínima de huella de 3 mm. Por lo general, la vida útil de los neumáticos es de 50000 Km, sin embargo esto depende mucho de la mantención que se realice al vehículo (Martínez, 2005)

Una vez cumplida su vida útil, pasan a ser neumáticos fuera de uso





**Figura 3.1.-** Partes del Neumático  
Fuente: Revista Química Viva, 2011



**Figura 3.2.-** Gránulos de Caucho Reciclado  
Fuente: [www.polambiente.cl](http://www.polambiente.cl)

### 3.1.2 Incorporación de Arlita (Arcilla Expandida)

La Arlita, Ripiolita o Arcilla Expandida, es un árido cerámico de gran ligereza. Su granulometría puede variar desde los 10-16 mm, hasta diámetros inferiores a los 5 mm. En general, cuánto más grande sea el tamaño del grano (más expandido), la menor será la densidad del material, que oscila entre los 325 kg/m<sup>3</sup> y los 750 kg/m<sup>3</sup>.

La característica más notable de la Arlita es su relación entre peso y capacidad resistente. Por estas cualidades, se emplea fundamentalmente como material de relleno de bajo peso en situaciones en las que es necesaria una cierta resistencia mecánica.



**Figura 3.3.-** Arcilla Expandida  
Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

### 3.1.3 Incorporación de Poliestireno Expandido

Es un producto derivado del petróleo, es reutilizable 100% para formar bloques del mismo material y también es reciclable para fabricar materias primas para otra clase de productos.

La fabricación del material se realiza partiendo de compuestos de Poliestireno en forma de pellets (perlitas) que contienen un agente expansor que habitualmente es pentano.

Sus principales cualidades son su excelente capacidad de aislante térmico, gran resistencia al envejecimiento y es muy ligero; esta última cualidad, es la más reconocida al momento de utilizarlo para aliviar hormigones.



**Figura 3.4.-** Poliestireno Expandido  
Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

La idea de hacer un hormigón disminuido en peso y a la vez resistente, es que sea lo más sencillo y cómodo su transporte desde el momento de descargar el camión, hasta su puesta en obra definitiva. Todo lo anterior sin embargo, debe realizarse pensando siempre en disminuir costos lo que más se pueda.

De todas maneras, se evaluará la mejor alternativa, y una vez elegida se procederá a dosificar de acuerdo a la resistencia requerida en el diseño, y posteriormente a ensayar probetas en laboratorio, de acuerdo a la normativa chilena.

Para el presente estudio, se ha planteado trabajar de acuerdo a las dimensiones de viviendas entregadas por el gobierno, y en base a ellas se procederá con el diseño.

Las viviendas que tienen contempladas las autoridades para casos especiales, son de un piso; pero de acuerdo a las necesidades de las familias, y dado que en la mayoría de los casos realizan por construcción propia un segundo piso, se desea plantear una sobrecarga en la estructura de acuerdo a antecedentes que están siendo gestionados en SERVIU, para determinar la materialidad que prima en estos casos, para así tener el valor más aproximado del esfuerzo que transmite la superestructura a las fundaciones, y de este modo, determinar primeramente las cargas que deberán soportar las fundaciones, y a su vez este conjunto al suelo.

Los requerimientos técnicos generales que solicita MINVU para la construcción de fundaciones de viviendas es que el hormigón deberá tener una resistencia mínima a los 28 días mayor o igual a 100 Kg/cm<sup>2</sup>

Los ensayos que deberán realizarse, una vez definido el diseño, serán consultados a la norma y en realizados en lo posible en los laboratorios de docencia de la Universidad de Valparaíso.

## 3.2 Metodología de Trabajo

### 3.2.1 Diseño fundación

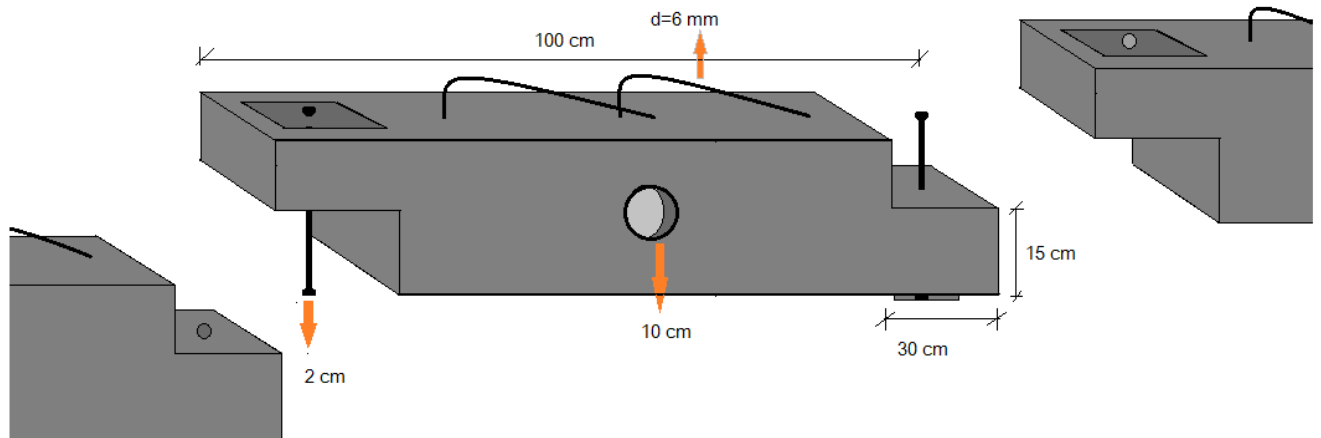
A través del diseño de las fundaciones prefabricadas se busca optimizar los tiempos de reacción frente a las catástrofes; es por ello, que las dimensiones y características serán de acuerdo los requerimientos del suelo y a su vez de la superestructura.

Su diseño es muy simple, pero no por ello menos eficiente, lo que se busca es obtener un equilibrio entre calidad y costos. Las fundaciones fueron diseñadas como sigue:

Las dimensiones de las fundaciones serán las definidas en primera instancia, o sea mantendremos las medidas, (L= 1 m; A= 0.30 m; H=0.30 m)

Además consideraremos un muro de hormigón armado de 3 metros de largo, 2.4 metros de alto y 0.20 metros de ancho.

Las fundaciones contarán con una enfierradura no estructural, la cual sobresaldrá de la cara superior, para ser utilizadas como unión hacia la superestructura, a modo de espárrago; esta será de un diámetro nominal de 6 mm.



**Figura 3.5.-** Pieza de fundación prefabricada (diseño experimental)

Fuente: elaboración propia

A continuación se presentan los datos de manera ordenada en tablas, ya que con estos se procederá a realizar el diseño estructural para las condiciones más desfavorables.

**Tabla 3.1.- Datos Muro Hormigón Armado**

Altura (m)	Espesor (m)	Largo (m)	Peso en Kg ( $W_m$ )
2,4	0,2	3	3456

Fuente: elaboración propia

**Tabla 3.2.- Datos Fundación Prefabricada**

Altura (m)	Espesor (m)	Largo (m)	Peso en Kg ( $W_f$ )
0,3	1	0,3	108

Fuente: elaboración propia

Entonces el Esfuerzo Total Transmitido al suelo está dado por:

$$\Gamma_s = \frac{W_m + W_f}{A} = \frac{3456 + 108}{0,9 \text{ m}^2} = 3960 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Para el diseño estructural, se considera a la fundación como una viga empotrada en sus extremos, ya que la viga trabaja monóticamente en conjunto con las otras piezas, y además que la carga del muro es uniformemente repartida sobre ella.

Desde el punto de vista geotécnico, el diseño de las fundaciones es de dimensiones mínimas, lo cual posee una incidencia pequeña respecto a la carga que generará la fundación y su superestructura sobre el suelo natural. Esto último es necesario para evitar asentamientos diferenciales, lo que provocaría tensiones en los bordes de la fundación, que es el lugar donde más se acumulan los esfuerzos, y que acabarían por provocar daños en las viviendas.

Los empujes del suelo a la fundación, también se ven disminuidos por el peso de estas y por la poca superficie de contacto que existe entre ellos.

La tensión máxima recomendada es obtenida de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, tal como se detalla a continuación:

**Tabla 3.3.-** Presiones admisibles distintos suelos

<b>naturaleza del terreno</b>	<b>Presiones Admisibles (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1.-roca dura, roca primitiva	20 a 25
2.- roca blanca(toba, arenisca,caliza,etc)	8 a 10
3.- tosca o arenisca arcillosa	5 a 8
4.- grava conglomerada dura	5 a 7
5.- grava suelta o poco conglomerada	3 a 4
6.- arena de grano grueso	1,5 a 2
7.- arcilla compacta o arcilla con arena seca	1 a 1,5
8.- arena de grano fino, según su grado de capacidad	0,5 a 1
9.- arcilla húmeda	0,5
10.- fango o arcilla empapada	0

Fuente: O.G.U.C (Art.5.7.10)

A continuación se presenta la tabulación de las magnitudes obtenidas del análisis del suelo:

**Tabla 3.4.- Tensión del Suelo**

<b>Q<sub>u</sub></b> (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>Q<sub>adm</sub></b> (kg/cm <sup>2</sup> )
0,3848	0,5

Fuente: elaboración propia

**Tabla 3.5.- Verificación Corte del suelo**

<b>V<sub>u</sub></b> (kg)	<b>V<sub>c</sub></b> (kg)
345,6	6745,8

Fuente: elaboración propia

Las magnitudes calculadas y corroboradas con la ayuda del programa X-Vigas, son las que continúan:

**Tabla 3.6.- Cuadro resumen Momento, Corte y deformación.**

	<b>Extremos de la viga</b>	<b>Centro de la viga (x= 0,5 m)</b>
<b>M (kg*cm)</b>	396000	198000
<b>V (kg)</b>	1980	0
<b>Δ (cm)</b>	0	0,0103/ EI

Fuente: Elaboración Propia



### **3.2.2 Hormigón H-20 Patrón**

El hormigón patrón será confeccionado con materiales de primera calidad y primer uso, en los laboratorios de la Universidad de Valparaíso.

Se utilizarán 3 probetas de dimensiones 15x15x15 [cm] para realizar el hormigón patrón, el cual será ensayado a la compresión a los 28 días.

Los áridos son provenientes del río Aconcagua, de la planta CONOVIA, y el cemento es portland puzolánico corriente marca La Unión.

Las amasadas se realizaran en Betonera de eje vertical, ya que con ella se cuenta en las dependencias de la Universidad.

## Capítulo 4: Desarrollo Experimental

### 4.1 Caracterización de la arena

#### 4.1.1 Granulometría Arena

Se realizaron granulometrías a tres muestras de masas distintas y de ellas se obtienen un promedio, tal como lo indica la normativa NCh 163 of 79 “Áridos para Morteros y Hormigones- Tamizado y determinación de la granulometría”

**Tabla 4.1.- Granulometría Arena**

Tamiz	% Acumulado que pasa
3/8"	100
N°4	95-100
N°8	80-100
N°16	50-85
N°30	25-60
N°50	10-30
N°100	2-10

Fuente: NCh 163 of.79

La arena a utilizar pertenece al Río Aconcagua, extraída en la planta CONOVIA.

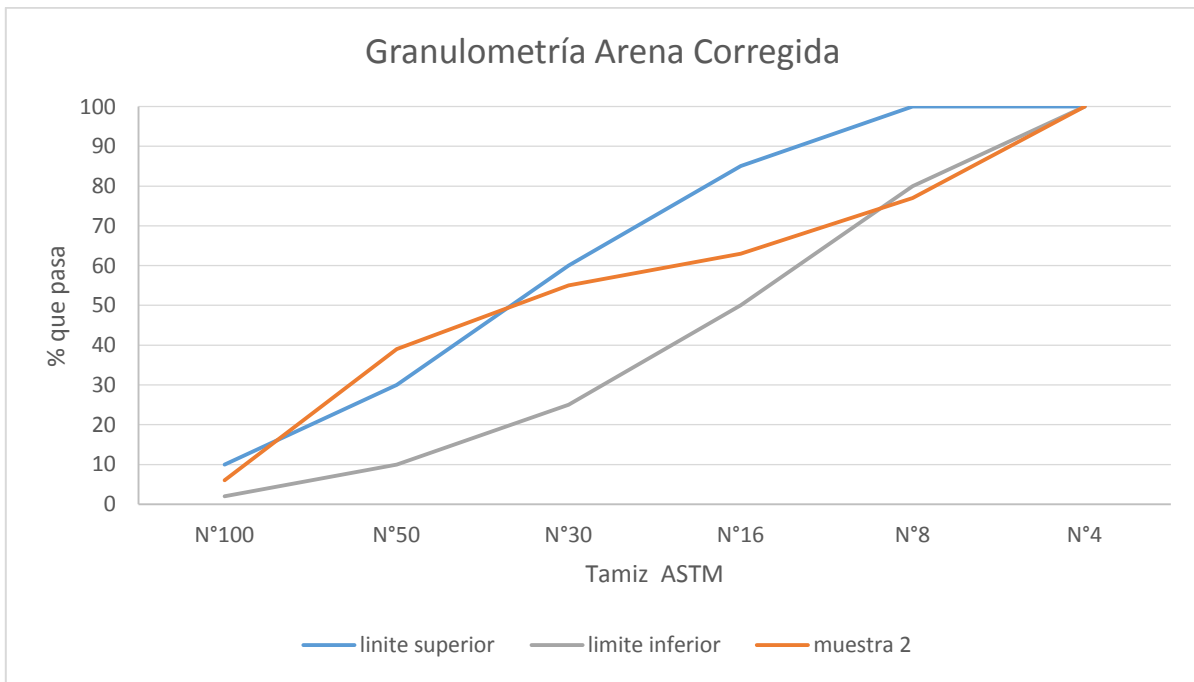
**Tabla 4.2.- Granulometría arena obtenida en laboratorio.**

Tamiz	% que pasa					
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio Muestras	Ajuste NCh 163	Requisito NCh 163
3/8"	100	100	100	100	-	100
N°4	87	84	81	84	100	95-100
N°8	68	64	62	65	77	80-100
N°16	56	52	50	53	63	50-85
N°30	49	45	44	46	55	25-60
N°50	36	32	31	33	39	10-30.
N°100	6	5	4	5	6	2-10
Residuo	0	0	0	0	-	-

Fuente: Elaboración propia

**Módulo de finura arena corregida = 2.60** [Entonces se trata de una arena media]

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



**Figura 4.1.-** Gráfico Granulometría Arena.  
Fuente: elaboración propia



**Figura 4.2.-** tamizado arena en laboratorio  
Fuente: elaboración propia



**Figura 4.3.-** Arena tamizada y pesada  
Fuente: elaboración propia

#### 4.1.2 Densidad Real y Aparente de la Arena

La densidad real de la arena permite conocer su volumen compacto, a fin de dosificar morteros y hormigones, y al relacionarla con la densidad aparente, puede determinarse la compactación del árido.

##### 4.1.2.1 Densidad real del árido saturado superficialmente seco

$$\rho R_{sss} = 2651 \text{ kg/m}^3$$

##### 4.1.2.2 Densidad real del árido seco

$$\rho R_s = 2614 \text{ kg/m}^3$$

##### 4.1.2.3 Densidad neta

$$\rho N = 2712 \text{ kg/m}^3$$

##### 4.1.2.4 Absorción de agua

La absorción, es la que nos permite determinar la porosidad interna de los granos del árido.

$$\alpha = 1.39 \%$$

##### 4.1.2.5 Densidad aparente compactada

$$\rho ac = 1794 \text{ kg/m}^3$$

##### 4.1.2.6 Densidad aparente Suelta

$$\rho as = 1670 \text{ kg/m}^3$$

## 4.2 Caracterización de la Grava

### 4.2.1 Granulometría Grava

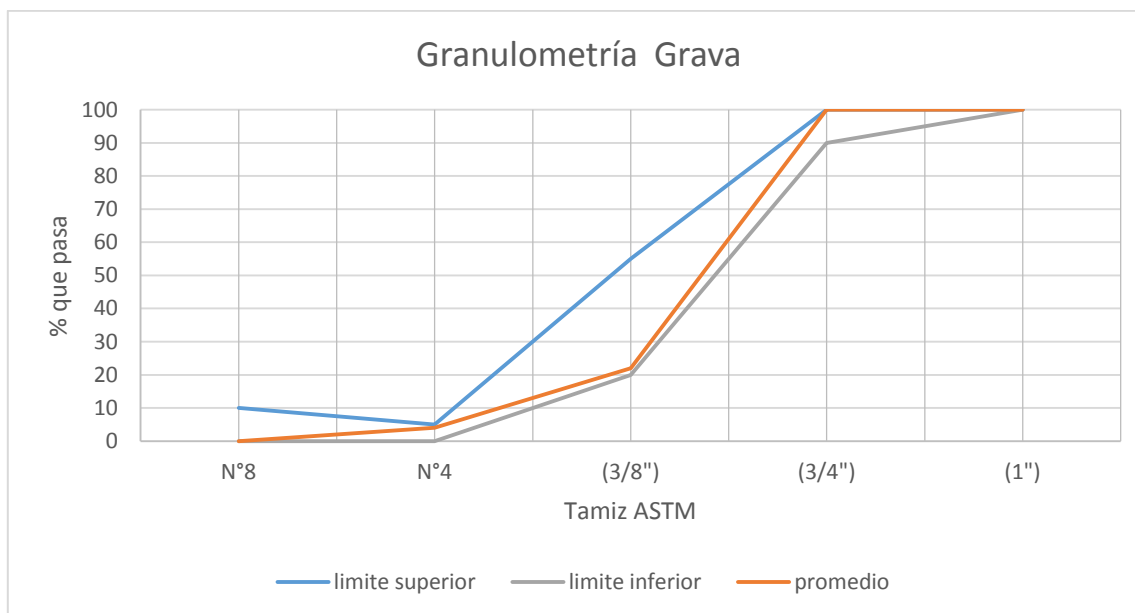
Se realizaron granulometrías a tres muestras de masas distintas y de ellas se obtienen un promedio, tal como lo indica la normativa NCh 165 of 77 “Áridos para Morteros y Hormigones- Tamizado y determinación de la granulometría”.

**Tabla 4.3.-** Granulometría grava

Tamiz		Porcentaje que pasa				
ASTM	NCh	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Requisito NCh 163
1"	25mm	100	100	100	100	100
3/4"	20mm	100	99	100	100	90-100
3/8"	10mm	22	24	22	23	20-55
N° 4	5mm	1	1	1	1	0-10

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta el gráfico de la grava, corregido en base a la NCh 165 of.77



**Figura 4.4:** Gráfico Granulometría Grava  
Fuente: elaboración propia



**Figura 4.5.-** Tamizado Grava  
Fuente: elaboración propia



**Figura 4.6.-** grava tamizada y pesada  
Fuente: elaboración propia

#### **4.2.2 Densidad Real y Aparente Grava**

##### **4.2.2.1 Densidad real del árido saturado superficialmente seco**

$$\rho R_{sss} = 2604 \text{ kg/m}^3$$

##### **4.2.2.2 Densidad real del árido seco**

$$\rho R_s = 2575 \text{ kg/m}^3$$

##### **4.2.2.3 Densidad neta**

$$\rho N = 2653 \text{ kg/m}^3$$

##### **4.2.2.4 Absorción de agua**

$$\alpha = 1.13 \%$$

##### **4.2.2.5 Densidad aparente compactada**

$$\rho ac = 1609 \text{ kg/m}^3$$

##### **4.2.2.6 Densidad aparente Suelta**

$$\rho as = 1549 \text{ kg/m}^3$$



### 4.3 Dosificación Hormigón Patrón

#### 4.3.1 Método IDIEM

Se utilizara el método IDIEM para la dosificación de hormigones.

Como el requerimiento es un hormigón de resistencia grado H-20, Nivel de Confianza 90% y dispersión estimada  $s=4$  MPa, la dosificación se realizó de acuerdo a las tablas y recomendaciones que siguen:

Entonces:

$$\text{Resistencia requerida} = 20 + (1.282 \cdot 4) = 25 \text{ [Mpa]}$$

Porcentaje Grava+Arena

**Arena 36%**

**G+ 84**

$$A=36(G+A)$$

$$35G-48A=0$$

$$G= 48/(35+48)$$

$$G= 0,58$$

$$A= 0,42$$

Peso Hormigon = 2400 kg/m<sup>3</sup> => Cemento Corriente = 350 kg/m<sup>3</sup>

Agua= 180 litros

2400

-350

-182

**1868(kg de áridos)**

Dosificación para 1 m<sup>3</sup>

**C** : 350 Kg

**W**: 182 Kg

**G** : 1083 Kg

**A** : 785 Kg

**2400 Kg**

### 4.3.2 Dosificación

Se confeccionó la dosificación para 1 metro cúbico de hormigón en masa de acuerdo al método anteriormente descrito.

Simbología:

**C:** Cemento

**G:** Grava

**A:** Arena

**W:** Agua

A continuación se presenta la tabla con dicha dosificación.

**Tabla 4.4.-** Dosificación para 1 metro cúbico

Material	Peso(kg)	Peso esp.(kg/dm <sup>3</sup> )	Volumen Absoluto (lt)	Ajuste (lt)	Corrección (kg)
<b>C</b>	350	2,9	120,7	120,7	350
<b>G</b>	1083	2,58	419,8	397,6	1026
<b>A</b>	785	2,61	300,8	284,7	743
<b>W</b>	182		182	182	182
<b>Aire</b>	15		15	15	
			1038,2	1000,0	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.5.-** Dosificación para 20 [litros]

Material	Peso (kg)
<b>C</b>	7
<b>G</b>	20,520
<b>A</b>	14,860
<b>W</b>	3,640

Fuente: Elaboración propia

## 4.4 Caracterización del Caucho Reciclado

### 4.4.1 Granulometría Caucho Reciclado

La granulometría del caucho reciclado, se llevo a cabo de la misma forma que las gravas de acuerdo a la NCh 165 of 77, ya que no existe normativa para este producto que es obtenido de neumáticos fuera de uso, a través de la trituración y granulación de estos, los que se obtienen en un tamaño nominal comprendido entre los 15- 25 mm para este caso en particular.



**Figura 4.7.-** Gránulos de Caucho Reciclado  
Fuente: elaboración propia



**Figura 4.8.-** Cuarteo Caucho Reciclado para Granulometría  
Fuente: elaboración propia

Estos gránulos de caucho se venden comercialmente como **G20 Negro**, por la planta de Reciclados de N.F.U "Polambiente".

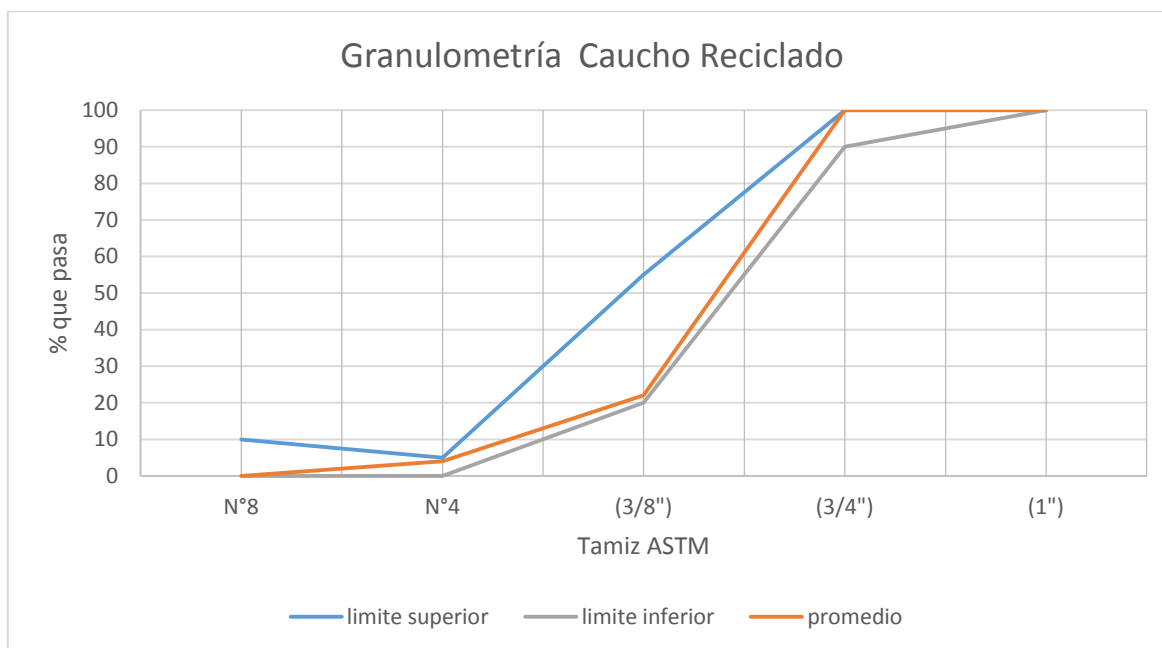
Se busca poder incorporar el caucho reciclado, como un sustituto de grava, para quitarle peso a las fundaciones, las cuales se necesitan movilizar por las personas sin ayuda de maquinarias, es en este proceso, en el cual se reemplazará gravas por este material reciclado, en proporciones de 20% 30% y 40% respectivamente. A los 28 días se realizarán los ensayos de compresión en ellas para compararlas con el hormigón patrón una a una.

**Tabla 4.6.- Granulometría Caucho reciclado**

Tamiz		Porcentaje que pasa				
ASTM	NCh	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Requisito NCh 163
1"	25mm	100	100	100	100	100
3/4"	20mm	100	100	100	100	90-100
3/8"	10mm	25	22	20	22	20-55
N° 4	5mm	6	6	1	4	0-10

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta el gráfico del caucho reciclado, corregido en base a la NCh 165 of.77



**Figura 4.9:** Gráfico Granulometría Caucho Reciclado (adaptación a la banda de gravas medianas)  
Fuente: elaboración propia

#### 4.4.2 Densidad real del Caucho Reciclado

##### 4.4.2.1 Densidad real del árido saturado superficialmente seco

$$\rho R_{sss} = 1127 \text{ kg/m}^3$$

##### 4.4.2.2 Densidad real del árido seco

$$\rho R_s = 1111 \text{ kg/ m}^3$$

##### 4.4.2.3 Densidad neta

$$\rho N = 1129 \text{ kg/ m}^3$$

##### 4.4.2.4 Absorción de agua

$$\alpha = 1.40\%$$

## Capítulo 5: Análisis de Resultados

### 5.1 Análisis de resultados obtenidos de los ensayos a Compresión de probetas

Se confeccionaron probetas de 15x15x15 cm, con tres reemplazos de caucho distinto para llevar a cabo su posterior ensayo a compresión tras 28 días desde su fabricación.



**Figura 5.1.-** Máquina utilizada en el ensayo  
Fuente: elaboración propia



**Figura 5.2.-** Probeta patrón ensayada en laboratorio  
Fuente: Elaboración propia

### 5.1.1 Asentamiento

Se realiza este procedimiento de acuerdo a la NCh 1019E of.74.

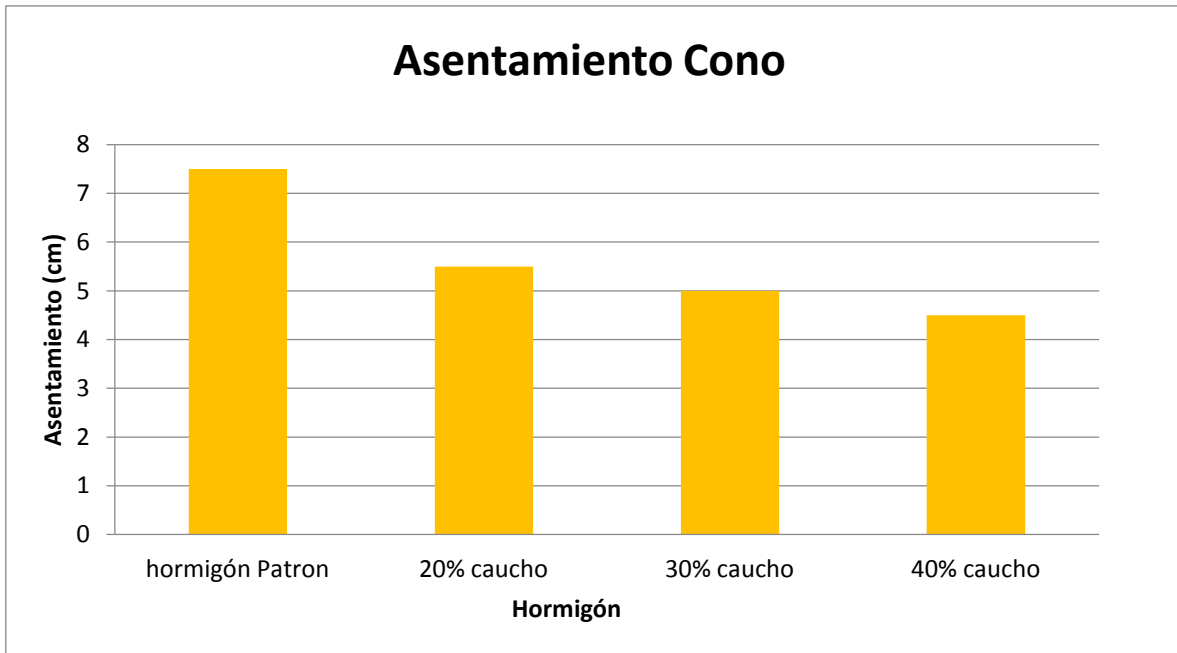


**Figura 5.3.-** Ensayo de asentamiento  
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.1.-** Asentamiento de las mezclas

	Hormigón Patrón	20% Caucho	30% Caucho	40% Caucho
Asentamiento (cm)	7,5	5,5	5	4,5

Fuente: elaboración propia



**Figura 5.4:** Gráfico Descenso cono de Abrams  
Fuente: elaboración propia

De la tabla 5.1, se puede inferir, que a mayor porcentaje de sustitución de gránulos de caucho reciclado, menor es el descenso al realizar el ensayo de asentamiento; lo cual se puede explicar porque los gránulos de caucho absorben más agua que la grava utilizada en la confección del hormigón.

El aspecto del hormigón en estado fresco, variaba de acuerdo a la sustitución del árido; cuanto más caucho se agregaba, más seco lucía, por este motivo se volvía más difícil la trabajabilidad.



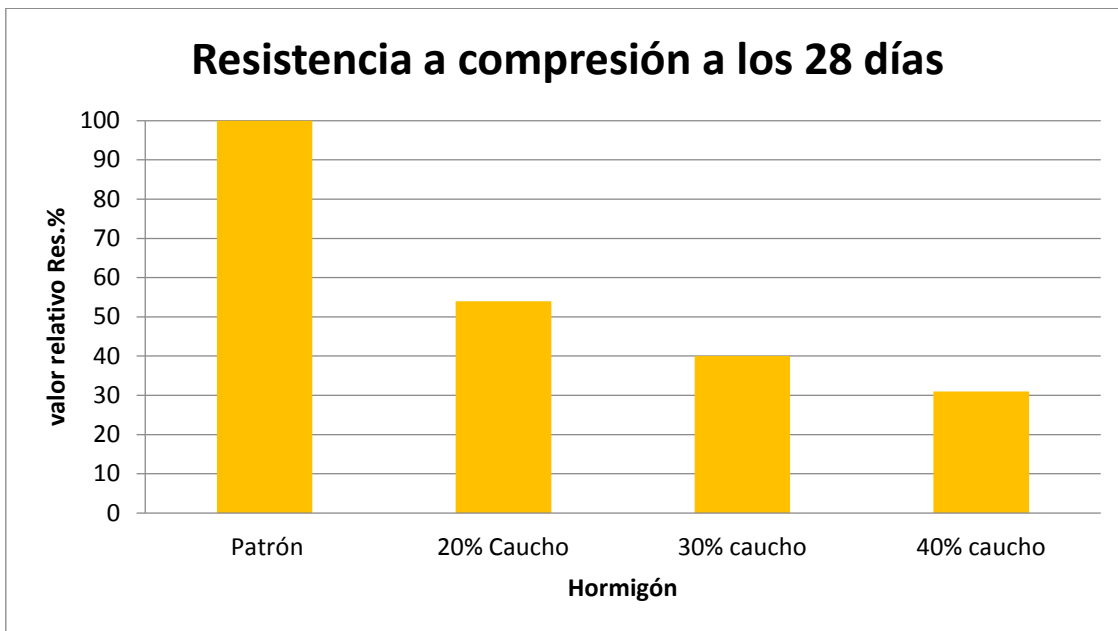
### 5.1.2 Resistencia a compresión a los 28 días

Se realiza los ensayos a la compresión a los 28 días para la muestra patrón y con los porcentajes de reemplazo de grava por caucho reciclado, de acuerdo a NCh 1037 Of.77 “Hormigón-Ensayo de probetas cúbicas y cilíndricas”

**Tabla 5.2.- Resistencias Obtenidas a los 28 días**

	Hormigon Patrón	20% Caucho	30% Caucho	40% Caucho
Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	214,64	115,47	85,75	66,49
Resistencia valor Relativo %	100	54	40	31

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5.5:** Gráfico Comparación resultados ensayos a compresión a los 28 días.

Fuente: elaboración propia

De la tabla 5.2 se observa la notoria pérdida de resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días, a causa de la sustitución de la grava por los gránulos de caucho reciclado. Si bien el caucho es más liviano que la grava, su capacidad de deformación es mayor, es por esto que era de esperarse los resultados obtenidos.

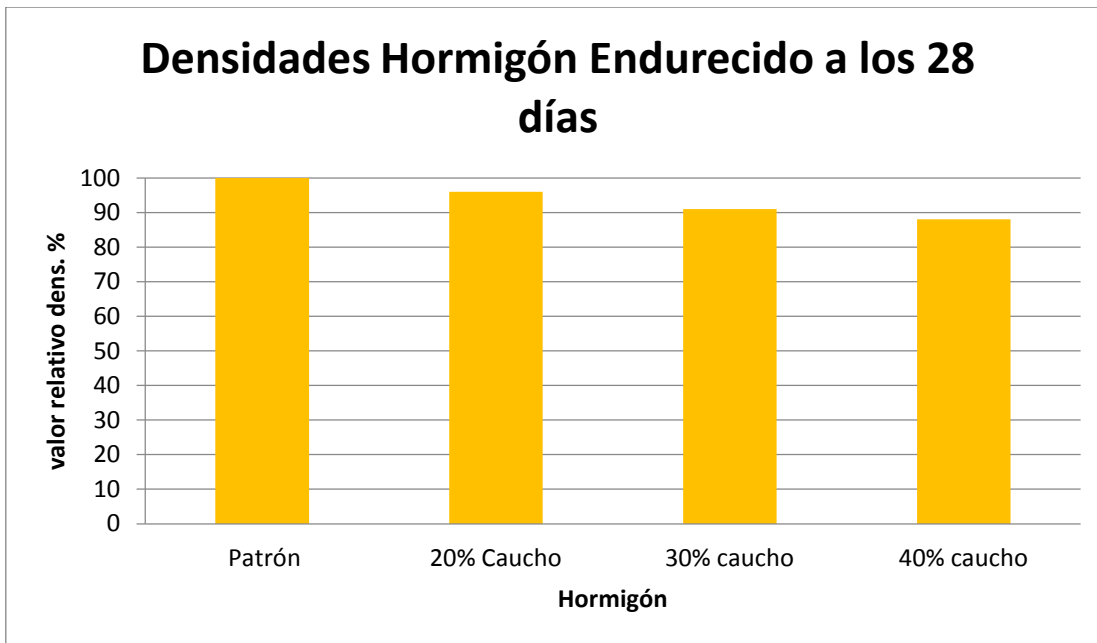
### 5.1.3 Densidad Aparente Hormigón Endurecido

En esta etapa se busca determinar la variación en peso que se obtuvo tras la incorporación del caucho en sustitución de la grava en las muestras de hormigón.

**Tabla 5.3.-** Densidades Aparentes Hormigón Endurecido

	Hormigón Patrón	20% Caucho	30% Caucho	40% Caucho
Densidad promedio(kg/m3)	2456	2358	2235	2162
valor relativo %	100	96	91	88

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5.6:** Gráfico densidades valor relativo (%)  
Fuente: elaboración propia

De la tabla 5.3 se aprecia la disminución de peso en términos de valores relativos del hormigón, a medida que aumenta la sustitución de los gránulos de caucho reciclado. Cada 20% de sustitución, en promedio se logra obtener un 4% de disminución en el peso.

La resistencia del hormigón a la compresión, está dada por el cociente entre la carga aplicada y el área de la sección transversal, tal como se muestra a continuación:

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{carga}}{\text{sección transversal}}$$

	Hormigon Patrón	20% Caucho	30% Caucho	40% Caucho
<b>Carga Max. (Mpa)</b>	21,15	11,32	8,41	6,52
<b>Sección Transversal (cm<sup>2</sup>)</b>	226	227	225	225
<b>Resistencia (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	214,64	115,47	85,75	66,49

**Tabla 5.4.-** Resistencia a la Compresión a los 28 días

Fuente: Elaboración propia

Pese a la baja de resistencia del hormigón endurecido a los 28 días, la normativa SERVIU, nos indica una resistencia mínima en base a dosis de cemento cuando se trata de fundaciones de hormigón simple, que es de 100 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días; y a su vez cuando se trata de hormigón armado solo se hace referencia a que la estructura sea capaz de soportar y transmitir favorablemente las cargas al suelo. Teniendo un requerimiento mínimo en su itemizado técnico de grado H-5, aunque los más utilizados son del orden H-10 entre las propuestas ofertadas.

## **Capítulo 6: Conclusiones y futuras investigaciones.**

### **6.1 Generalidades**

El presente capítulo, es una síntesis de la investigación, de sus procedimientos y análisis respectivamente. Se realizarán de acuerdo a los objetivos planteados para concluir de manera ordenada.

Además, se dejarán a modo de recomendación para investigaciones futuras, algunos puntos de interés.

### **6.2 Respecto al Objetivo General**

El diseño de las fundaciones realizado, logra satisfacer los requerimientos de carga y deformación para viviendas, de acuerdo a la legislación de nuestro país.

### **6.3 Respecto a los Objetivos Específicos**

Se consiguió un adecuado diseño, que cumple tanto con los requisitos geotécnicos como estructurales.

Respecto a la resistencia a la compresión, se observa una pérdida significativa de ésta, al aumentar las dosis de reemplazo de grava por caucho reciclado (tanto mayor sea la adición del caucho, menor es la resistencia del hormigón). En términos absolutos, con 20% de caucho, se superan los 115 Kgf/cm<sup>2</sup>, en tanto que con 30% de sustitución se llega a los 85 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Cuando en un hormigón se emplean áridos de baja resistencia, la resistencia de hormigón queda determinada por la consistencia de éstos, de modo que la dosis del cemento pasa a tomar una influencia secundaria. Sería posible que si se emplease una dosis menor de cemento, las resistencias del hormigón con caucho, en términos absolutos, se mantuviese en los niveles obtenidos.

### **6.4 Futuras Investigaciones**

Como futuras investigaciones, se deja planteada la inquietud respecto a la dosis de cemento a utilizar, puesto que en la presente tesis se utilizó una cantidad de cemento importante para asegurar que aún disminuyendo la resistencia producto de la sustitución de grava por gránulos de caucho reciclado, el producto final cumpliera con la normativa y requerimientos en nuestro país. Quizás sería interesante plantear la opción de bajar esta dosis, y analizar los resultados comparándolos con los ahora obtenidos, de manera de rebajar costos en su fabricación.

## Bibliografía

- [www.prefabricando.cl](http://www.prefabricando.cl)
- Lambe W. Mecánica de suelos (1976)
- Centro de transferencia Tecnológica- "Fundaciones"
- Manual de fundaciones IPChile (2002)
- Curso Básico sobre Prefabricación en Hormigón; David Campusano
- [www.polambiente.cl](http://www.polambiente.cl)
- Benítez A; Polzinett M; Agnello J. Desarrollo de mezclas de hormigón con la adición de Partículas de Caucho.
- Barra M; Jordana F; Royano V; Vásquez E (2009). Realización de Ensayos de laboratorio de hormigón con caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU)
- Ordenanza General de Urbanismo y Construcción
- NCh 1508 of.2008 "Geotecnia- Estudio de mecánica de Suelos"
- NCh 430 of. 2008 "Diseño en Hormigón Armado"
- NCh 433 of.1996 "Diseño sísmico de edificios "
- Decreto 61 of.2011- anexo NCh 433
- NCh 165 of 77 "Tamizado y determinación de la Granulometría"
- NCh 3171 of.2010 "Diseño estructural-disposiciones generales y combinaciones de carga"
- NCh 1537 of. 2009 "diseño estructural-cargas permanentes y cargas de uso"
- NCh 1564 of. 2009 " Hormigón- Determinación de la densidad aparente del hormigón fresco"
- NCh 1037 of. 2009 "Hormigón- Ensayo de Compresión de probetas Cúbicas y Cilíndricas"
- NCh 1117 of. 2010 "Áridos para morteros y Hormigones- Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las gravas"

## Anexos

### A.- Tablas

#### A.1.- Granulometría Arena

##### A.1.1.- Muestra 1

Masa Inicial= 775,4 (gr)

Tamiz	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado %	Porcentaje que pasa
3/8"	0	0	0	0	100
N°4	101,3	101,3	13	13	87
N°8	147,6	248,9	19	32	68
N°16	87,7	336,6	11	44	56
N°30	55,7	392,3	7	51	49
N°50	103,3	495,6	13	64	36
N°100	228,5	724,1	30	94	6
Residuo	48,8	772,9	6	100	0

Fuente: elaboración propia

**A.1.2.- Muestra 2**

Masa Inicial= 910,2 (gr)

Tamiz	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado %	Porcentaje que pasa
3/8"	0	0	0	0	100
N°4	144,9	144,9	16	16	84
N°8	181,6	326,5	20	36	64
N°16	106,7	433,2	12	48	52
N°30	64,4	497,6	7	55	45
N°50	119,6	617,2	13	68	32
N°100	247,2	864,4	27	95	5
Residuo	41,1	905,5	5	100	0

Fuente: elaboración propia

**A.1.3.- Muestra 3**

Masa Inicial= 930,1 (gr)

Tamiz	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado %	Porcentaje que pasa
3/8"	0	0	0	0	100
N°4	176,1	176,1	19	19	81
N°8	174,5	350,6	19	38	62
N°16	107,6	458,2	12	50	50
N°30	61,9	520,1	7	56	44
N°50	116,8	636,9	13	69	31
N°100	251,9	888,8	27	96	4
Residuo	36,3	925,1	4	100	0

Fuente: elaboración propia



## A.2.- Granulometría Grava

### A.2.1.- Muestra 1

Masa Inicial= 8490,2 (gr)  
 Porcentaje de Pérdida= 0,13%

Tamiz	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado %	Porcentaje que pasa	Requisito NCh 163
1"	0	0	0	0	100	100
3/4"	0	0	0	0	100	90-100
3/8"	6603	6603	78	78	22	20-55
4"	1811,2	8414,2	21	99	1	0-10
Residuo	64,2	8478,4	1	100	0	-

Fuente: elaboración propia

**A.2.2.- Muestra 2**

Masa Inicial= 8414,6 (gr)

Porcentaje de Pérdida= 0,21%

Tamiz	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado (gr)	Porcentaje que pasa	Requisito NCh 163
1"	0	0	0	0	100	100
3/4"	52,4	52,4	1	1	99	90-100
3/8"	6301	6353,4	75	76	24	20-55
4"	1969,2	8322,6	23	99	1	0-10
Residuo	74	8396,6	1	100	0	-

Fuente: elaboración propia

**A.2.3.- Muestra 3**

Masa Inicial= 8852,6 (gr)

Porcentaje de Pérdida= 0,04%

Tamiz	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado %	Porcentaje que pasa	Requisito NCh 163
1"	0	0	0	0	100	100
3/4"	20,2	20,2	0	0	100	90-100
3/8"	6912	6932,2	78	78	22	20-55
4"	1853	8785,2	21	99	1	0-10
Residuo	63,8	8849	1	100	0	-

Fuente: elaboración propia

### A.3.- Granulometría Caucho Reciclado

#### A.3.1.- Muestra 1

Masa= 8324,7 (gr)

Porcentaje de Pérdida= 0,09%

Tamiz	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado %	Porcentaje que pasa	Requisito NCh 163
1"	0	0	0	0	100	100
3/4"	0	0	0	0	100	90-100
3/8"	6244	6244	75	75	25	20-55
4"	1581,7	7825,7	19	94	6	0-10
Residuo	491,5	8317,2	6	100	0	-

Fuente: elaboración propia

**A.3.2.- Muestra 2**

Masa= 8135,4 (gr)

Porcentaje de Pérdida= 0,77%

Tamiz	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado %	Porcentaje que pasa	Requisito NCh 163
1"	0	0	0	0	100	100
3/4"	0	0	0	0	100	90-100
3/8"	6297	6297	78	78	22	20-55
4"	1291,7	7588,7	16	94	6	0-10
Residuo	484,4	8073,1	6	100	0	-

Fuente: elaboración propia

**A.3.3.- Muestra 3**

Masa= 8326,9 (gr)

Porcentaje de pérdida= 0,3%

Tamiz	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	Retenido %	Retenido Acumulado %	Porcentaje que pasa	Requisito NCh 163
1"	0	0	0	0	100	100
3/4"	0	0	0	0	100	90-100
3/8"	6475,4	6475,4	78	78	22	20-55
4"	1494,3	7969,7	18	96	4	0-10
Residuo	332,1	8301,8	4	100	0	-

Fuente: elaboración propia

## B.- Cálculos

### B.1.- Determinación del peso de muro de hormigón armado

Dimensiones:

$h = 2,4$  metros

$e = 0,2$  metros

$L = 3$  metros

Peso específico hormigón =  $2,4$  (Kg/m<sup>3</sup>)

El peso del muro entonces será:

$$W_m = 2,4 * 3 * 0,2 * 2,4 = \mathbf{3456 \text{ kg}}$$

$$\text{*superficie de contacto de muro con la fundación} = 0,3 * 3 = \mathbf{0,9 \text{ m}^2}$$

### B.2.- Determinación del peso de la fundación

Dimensiones:

$h = 0,3$  metros

$e = 0,3$  metros

$L = 1$  metro

Peso específico hormigón =  $2,4$  (kg/m<sup>3</sup>)

$$W_f = (2,4 * 1 * 0,3 * 0,30) = \mathbf{108 \text{ kg}}$$

### B.3.- Determinación esfuerzo transmitido al suelo

$$PP_{(FUNDACION)} = \frac{108 \text{ Kg}}{0,9 \text{ m}_2} = 120 \text{ [kg/m}_2\text{]}$$

$$0,9 \text{ m}_2$$

$$SC_{(MURO)} = \frac{3456 \text{ Kg}}{0,9 \text{ m}_2} = 3840 \text{ [Kg/m}_2\text{]}$$

$$0,9 \text{ m}_2$$

Entonces:

$$\text{Esfuerzo total transmitido al suelo} = (3456 + 108) / (0,3 * 3) = \mathbf{0,396 \text{ kg/m}^2}$$

**B.4.- Determinación tensión del suelo**

$$Q_u = \frac{N}{A} = \frac{3456}{9000} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$Q_u = 0,3848 \text{ (KG/CM}^2\text{)} \leq 0,5 \text{ (KG/CM}^2\text{)}$$

Donde:

Qu: tensión de diseño

**B.5.- Verificación al corte**

$$V_u = Q_u \cdot b \cdot d = 0,384 \cdot 30 \cdot 30 = 345,6 \text{ (kg)}$$

$$V_c = 0,53 \cdot \sqrt{200} \cdot 30 \cdot 30 = 6745,8 \text{ (kg)}$$

$$V_u \leq V_c$$

Donde:

Vu: corte de diseño

Vc: corte admisible



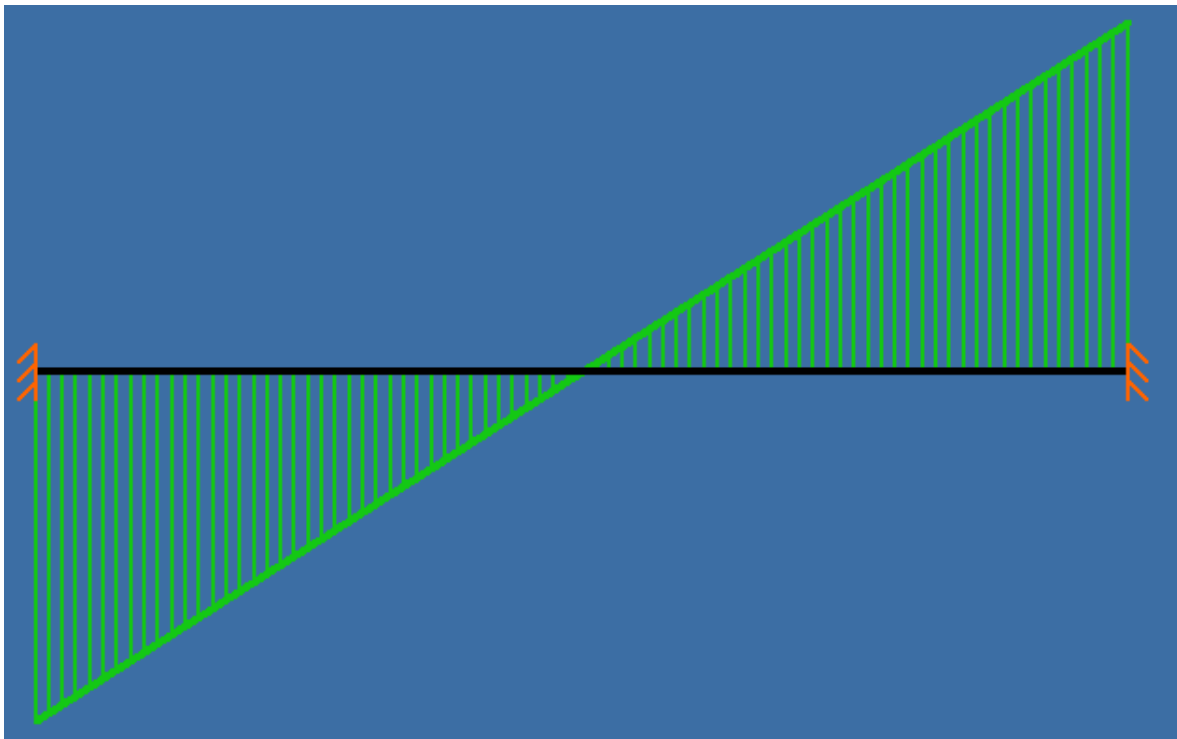
## C.- Modelación y Diagramas

### C.1.- Modelación fundación mas sobrecarga de muro hormigón armado

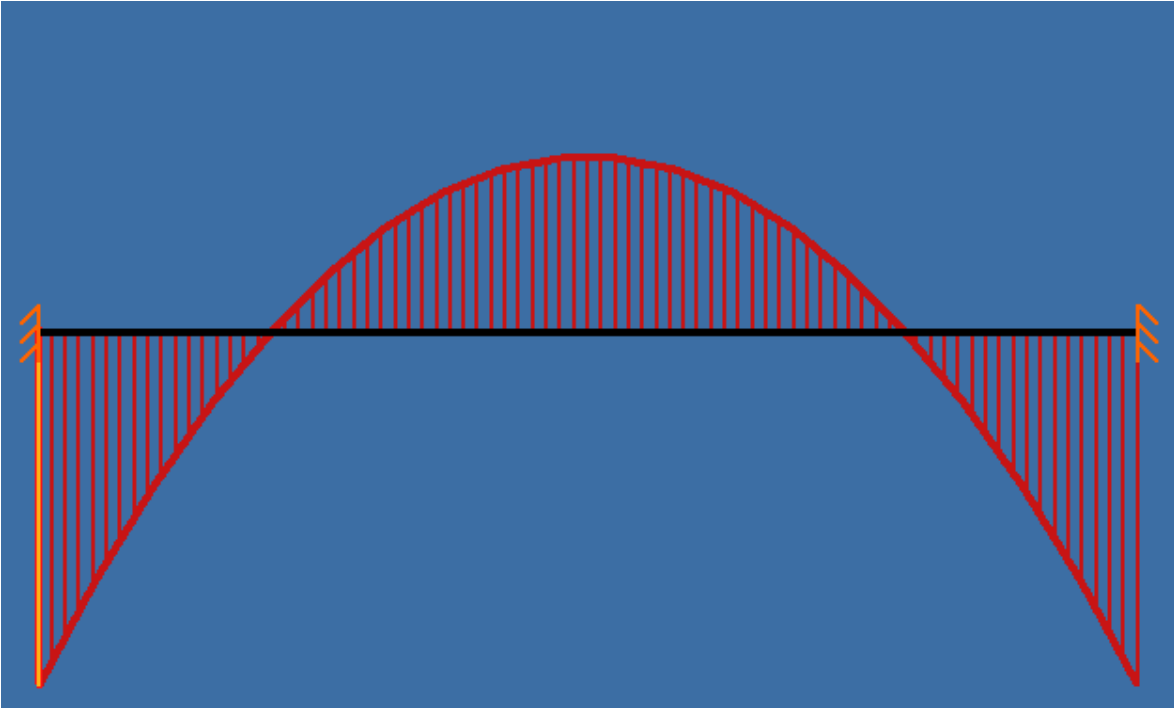


Fuente: elaboración propia

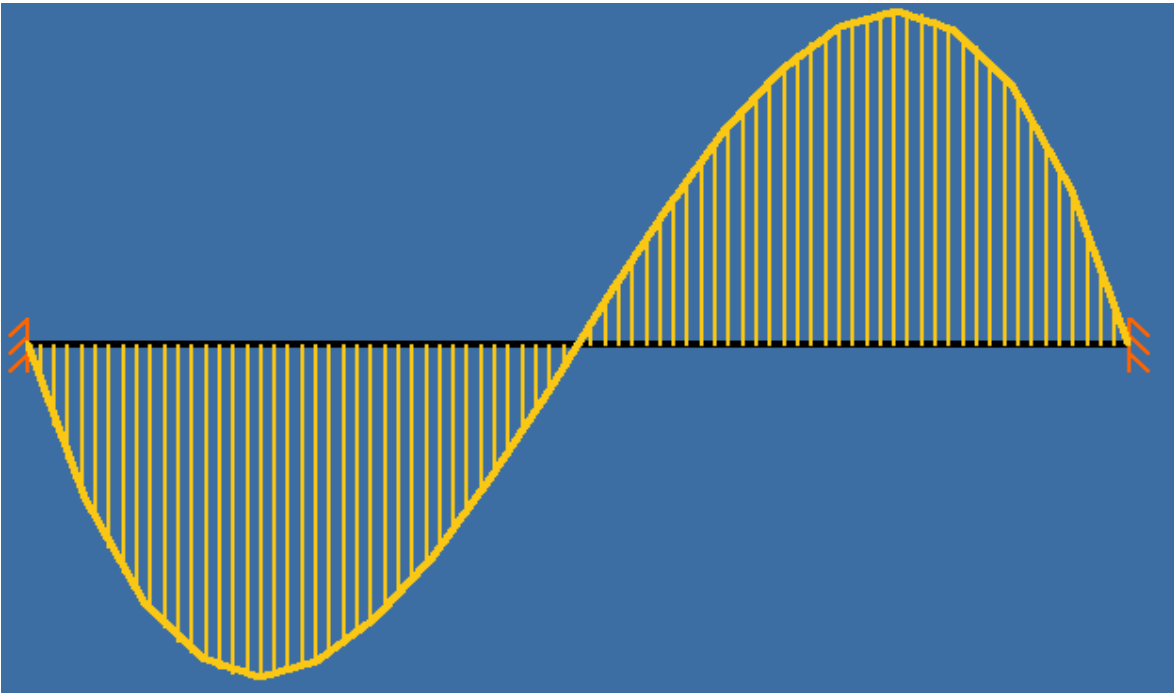
### C.2.- Diagrama de Corte



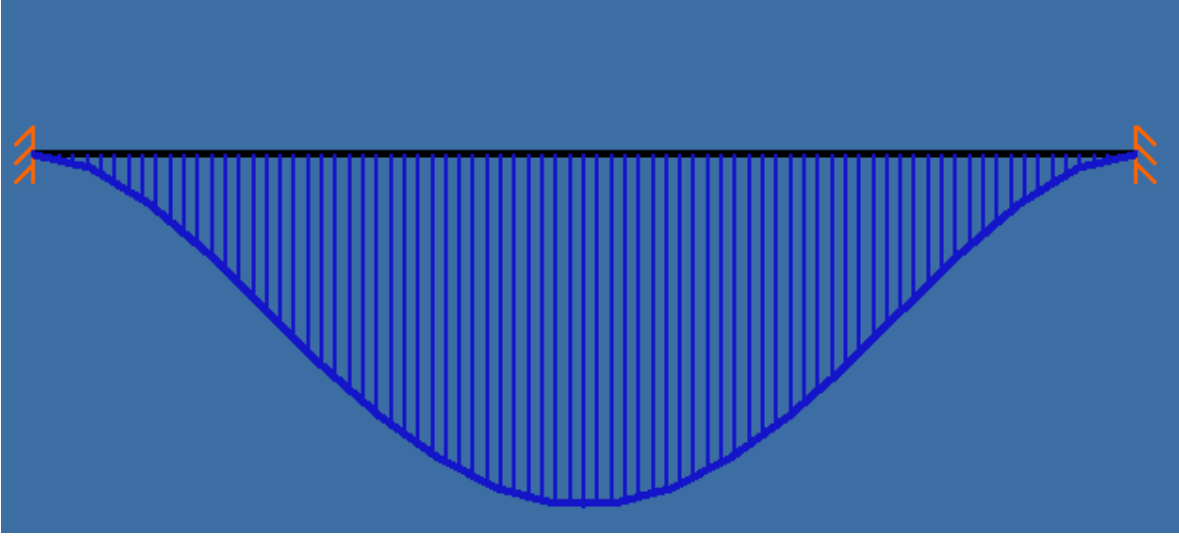
Fuente: elaboración propia

**C.3.- Diagrama de Momento**

Fuente: elaboración propia

**C.4.- Diagrama de Giros**

Fuente: elaboración propia

**C.5.- Diagrama de Deformación**

Fuente: elaboración propia