



**UNIVERSIDAD  
MAYOR**

para espíritus emprendedores

FACULTAD DE CIENCIA

ESCUELA DE CONSTRUCCION CIVIL

**“Análisis económico de la implementación de aislantes sísmicos en edificación sociales de hormigón”**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:  
Cristian Santoni Candía

Profesor guía:  
Carlos Aguirre Nuñez

Junio 2018  
Santiago, Chile



**UNIVERSIDAD  
MAYOR**

para espíritus emprendedores

FACULTAD DE CIENCIA

ESCUELA DE CONSTRUCCION CIVIL

**“Análisis económico de la implementación de aislantes sísmicos en edificación sociales de hormigón”**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:  
Cristian Santoni Candía

Profesor guía:  
Carlos Aguirre Nuñez

Junio 2018  
Santiago, Chile

## DEDICATORIA

### **A mi madre Cecilia y padre Cristian**

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

### **A mis Familiares.**

A mi hermano Felipe por ser el ejemplo de un hermano menor en momentos difíciles, a mi tío Luis, a mi tía Claudia, a mi tío Mario y en especial a mi abuela Elena Von Unger por ser el motor de apoyo de cada logro en la vida.

*¡Gracias a ustedes!*

SOLO USO ACADÉMICO

## DEDICATORIA

*A mi profesor guía Carlos Aguirre el cual fue una ayuda fundamental en este proceso académico también a mis amigos Álvaro Espinosa, Alejandro Bozzo, Sebastián Miranda, Diego Araneda, Héctor Arias, Felipe Vásquez, Cesar Villanueva, Rodrigo Medina, Juan Cabello, Javier Zavala, Trinidad Rendic, Valentina Encina, Carlos Farfán, Sergio Besomi, Cesar Chavez, Felipe Donoso, Jorge Farfán y Bastian Rivers que fueron un apoyo en estos 5 años de carrera que me ayudaron a crear parámetros de logros profesionales lo que me permitió poder superarme cada día, para poder lograr esta etapa y las que siguen.*

SOLO USO ACADÉMICO

## Resumen

Chile es un país con alta sismicidad, por lo que se hace imprescindible realizar investigaciones respecto a tecnologías sísmo resistente para las estructuras. Por otro lado, las edificaciones destinadas a familias de bajos recursos, se encuentran con limitantes en el valor máximo de cada inmueble, con lo cual, se busca cumplir con lo mínimo señalado en las normativas.

La metodología adoptada para el análisis económico es la denominada "Metodología de Daño Evitado". El método propone estudiar los costos sociales asociados a las reparaciones de los daños, los cuales, son estimados con la simulación del comportamiento de la estructura frente a eventos sísmicos, asociándolos a la probabilidad de daño y distintas magnitudes de eventos sísmicos.

De esta manera se realiza análisis económico mostrando la factibilidad de reconstrucción del edificio social el cual está sometido a la investigación de costos totales de reconstrucción y analizado en un modelo de contraste buscando de esta manera el óptimo financiamiento de reconstrucción.

## **SUMMARY**

Chile is a country with high seismicity. Due to this, it is indispensable to do research on seism-proof technologies for structures. On the other hand, buildings destined to low-resource families have limitations on the maximum cost of each real estate. This, in order to fulfill the minimum stated in the norms.

The methodology adopted for the economic analysis is the denominated "Damage methodology avoided". The method proposes studying the social costs associated to the repairs of the damages, which are estimated by simulating the behavior of the structures during seismic events. Possible damages and different magnitude of the seismic events are taken into consideration.

The economic analysis is done displaying the factibility of reconstruction of the building, which goes through the investigation of total costs of reconstruction. Then it is analyzed in a contrast-model so that the optimal finance is found.

## INDICE DE CONTENIDO

### CAPITULO 1

#### 1. INTRODUCCION

1.1 presentación del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcances y Limitaciones.....	2
1.4 Metodología.....	2

### CAPITULO 2

#### 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Magnitudes Sísmicas.....	4
2.1.1 Tipos de ondas.....	4
2.1.2 Tipos de magnitud.....	5
2.2 Aisladores Sísmicos:.....	6
2.3 Probabilidad y Estadística.....	7
2.3.1 Conceptos Básicos.....	7

### CAPITULO 3

#### 3. DESARROLLO

Análisis de sismicidad en el área de emplazamiento del proyecto.....	8
3.1 Introducción.....	8
3.2 Sismicidad Histórica en Chile.....	8
3.3 Estandarización de Datos.....	10
3.3.1 Correlación mediante regresión de datos.....	10
3.3.2 Análisis Estadístico.....	13

### CAPITULO 4

#### 4. MODELACIÓN DE EDIFICIO PINARES SANTA CRUZ

4.1 Introducción.....	14
4.2 Descripción del Proyecto Piloto, Edificio Nueva Pinares.....	14
4.2.1 Descripción Estructural.....	14
4.2.2 Materialidad.....	15
4.2.3 Mecánica de suelos.....	15
4.3.3 Cargas Aplicadas.....	16
4.3.4 Combinaciones de Carga.....	16

## **CAPITULO 5**

### **5. ANÁLISIS DE LOS DAÑOS OBTENIDOS EN EL EDIFICIO**

5.1 Introducción.....	16
5.2 Daños en Edificios de Hormigón Armado.....	17
5.3 Daños en elementos no estructurales.....	19
5.4 Análisis de Elementos Estructurales .....	19
5.6 Resultado de Daños.....	20
5.6.1 Análisis edificio sin aislación sísmica.....	20
5.6.2 Análisis edificio con aislación sísmica.....	22

## **CAPITULO 6**

### **6. REPARACIONES Y COSTOS EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO**

6.1 Introducción.....	23
6.2 Sistemas y Costos de Reparación de Daños en Edificios de Hormigón Armado.....	23
6.2.1 Elementos Estructurales.....	23
6.2.2 Elementos no Estructurales.....	25
6.3 Costo de Daños en el Edificio.....	27
6.4 Costos Subsidio de Arriendo.....	27

## **CAPITULO 7**

### **7. MODELOS DE ANALISIS ESTADISTICO**

7.1 Evaluación de contraste de costos.....	27
7.2 Simulación de sismo 7,7 en programa @RISK .....	29
7.3 Tabulación de datos de sismo 7,7 ingresados en programa @RISK.....	30
7.4 Simulación de sismo 8,8 en programa @RISK.....	32
7.5 Tabulación de datos de sismo 7,7 ingresados en programa @RISK .....	33

## **CAPITULO 8**

<b>8. Conclusión y Proyección.....</b>	<b>34</b>
--	-----------

## **CAPITULO 9**

<b>9. Bibliografía.....</b>	<b>35</b>
-----------------------------	-----------

# 1 introducción

## 1.1 Presentación del problema

Chile es considerado uno de los países con mayor actividad sísmica, tanto a nivel continental como mundial. En las últimas décadas, el país se ha visto afectado por numerosos terremotos, de distintas magnitudes, que han producido cientos de personas fallecidas y gran cantidad de daños a nivel nacional en las diferentes viviendas y estructuras.

No obstante, con el transcurso de los años, se han ido desarrollando nuevas tecnologías para aumentar la calidad de vida y protección de las personas, implementándose en diferentes edificaciones de variadas áreas en el país, como lo son hospitales y estructuras industriales, entre otros. En los años 90', ingresó al país la técnica de diseño sísmo resistente denominado "Aislación Sísmica". Desde dicha década, las construcciones que contienen este sistema sísmo resistente, han dado excelentes resultados frente a las diferentes acciones sísmicas que ha sufrido el país, incluyendo el pasado terremoto del 27 de febrero del 2010, uno de los sismos más fuertes desde que se tienen registros (Hernández, 2014).

Por otra parte, la población del país ha tenido un aumento considerable con los años, generando mayor demanda de viviendas. Frente a la escasa disponibilidad, o alto precio, de los terrenos, se ha optado como solución viable la construcción de edificios o condominios sociales. Estas estructuras habitacionales están constituidas por no más de 5 niveles y se caracterizan por su reducido costo de construcción en comparación a otros edificios departamentales del sector inmobiliario.

Es por ello que, mediante el presente documento, se busca realizar un análisis técnico-económico que permita comparar de manera objetiva los costos de reparación de un edificio social con y sin la implementación de aislación sísmica, considerando todo lo que conlleva la instalación de estas tecnologías en dicha estructura, cuyo objetivo particular es generar mayor seguridad y confianza en la vida diaria de las personas.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo General

Determinar la factibilidad técnico-económica de la no implementación de sistemas de aislación sísmica en edificios sociales en Chile mediante la metodología de daño evitado, para proponer su instalación en construcciones futuras.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el escenario sísmico de Chile
- Determinar tipología de daños comunes en edificios de hormigón armado
- Generar una relación entre costos de reparación y daños estimados computacionalmente
- Elaborar curva de daño evitado y efectuar análisis económico de la propuesta

### 1.3 Alcances y Limitaciones

La presente investigación tiene un enfoque económico, en relación a los efectos ocurridos en un edificio social al no incorporar un sistema de aislación sísmica, es decir, los daños provocados por sismos se cuantifican en costos de reparación o reconstrucción. En este sentido, si bien se realiza un análisis estructural, este no es el fin del estudio, si no que más bien, se realiza solo como método de verificación de los elementos para posteriormente asignar costos.

El estudio se realiza en un edificio social piloto, el cual posee características determinadas en cuanto a altura, materialidad y construcción. Es por esto que la extrapolación de los resultados obtenidos debe estar sujeta a un sólido juicio profesional.

Si bien existen diversos sistemas sismo resistentes presentes en el mercado chileno, para la realización del estudio, se analiza únicamente el sistema implementado en el edificio piloto, compuesto por aisladores del tipo elastomérico y deslizante. Otros tipos de sistemas sismo resistentes, como lo son los disipadores de energía, amortiguadores de masa sintonizada y otros aisladores, no son caracterizados detalladamente, pues no son concernientes al estudio.

En lo que respecta a la infraestructura, no se realiza verificación del sistema de fundaciones diseñado para el edificio, si no que se asume un diseño óptimo por parte de la empresa encargada.

De la misma manera, los parámetros de análisis estructural o sísmico que se requieran son definidos a partir del edificio piloto entregado por el MINVU.

Finalmente, en esta investigación no se considera el colapso total de la estructura, de manera que los costos de reparación y reconstrucción se definen por elemento dañado. Pudiendo resultar daños excesivos que se verían reflejados en el costo de reconstrucción total de la edificación.

### 1.4 Metodología

Inicialmente, se contextualiza el escenario sísmico en el cual se encuentra Chile, considerando los diferentes terremotos ante los cuales se ha visto afectada la población. En este contexto, se realiza un análisis estadístico de los eventos sísmicos que han azotado a la zona centro del país.

Luego, se busca cuantificar los daños producidos por eventos sísmicos. Para esto, se define un tipo de estructura a estudiar, seleccionando la tipología estructural de un edificio social con aislación sísmica. La información requerida es recopilada a través de entidades como: Ministerio de Obras Públicas (MOP), Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU) y otras.

Paralelamente, se realiza una investigación de tipologías de daños comunes en los elementos que componen la estructura, sus diferentes metodologías de reparación y costos asociados a cada una de ellas.

Para realizar un contraste económico entre ambos casos, empleando la metodología de daño evitado. Finalmente, se elaboran conclusiones y comentarios correspondientes a los resultados obtenidos.

SOLO USO ACADÉMICO

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Magnitudes Sísmicas

El cálculo de la magnitud es un proceso interactivo. La magnitud reportada inicialmente, tanto por entidades locales como el CSN, como por otras agencias internacionales, como lo es el USGS. Además, el tipo de datos que se toman difiere entre las agencias, por lo que las metodologías utilizadas en el cálculo de magnitud también difieren. Esta es la razón por la que los valores preliminares de magnitud son diferentes entre las distintas organizaciones.

Pasados unos minutos de haber ocurrido el sismo, se cuenta con una gran cantidad de datos sismológicos mediante sismogramas registrados en las redes de observación. Con estos datos, un analista experimentado se encarga de obtener una nueva estimación de magnitud. En general, los valores finales de magnitud que reportan las diversas agencias coinciden; no obstante, pueden existir pequeñas diferencias debido al tipo de datos que se usan.

La manera de diferenciar un sismo de otro es mediante la magnitud de cada uno. "La magnitud de un sismo es un número que busca caracterizar el tamaño de un sismo y la energía sísmica liberada. Se mide en una escala logarítmica, de tal forma que cada unidad de magnitud corresponde a un incremento de raíz cuadrada de 1000, o bien, de aproximadamente 32 veces la energía liberada. Es decir que, un sismo de magnitud 8 es 32 veces más grande que uno de magnitud 7, 1.000 veces más grande que uno de magnitud 6, 32.000 veces más grande que uno de magnitud 5, y así sucesivamente" (Servicio Sismológico Nacional (MX) [SSN (MX)], 2016, pág. 1).

#### 2.1.1 Tipos de ondas

Los terremotos se caracterizan por propagarse bajo la superficie terrestre mediante ondas. Cuando se producen fracturas en las placas tectónicas, la energía liberada por esa deformación se propaga a través del medio rocoso como una onda elástica. Las ondas difieren de cada tipo según su forma de propagación, profundidad y velocidad. Estas son registradas por diferentes elementos de medición, tales como bandas anchas, sismógrafos y acelerómetros, entre otros (Gálvez, 2013).

Se tienen dos categorías para las ondas: las ondas volumétricas, las cuales son transmitidas a través del material en profundidad, pudiendo sufrir en su tránsito procesos de refracción y reflexión, como lo son las ondas de compresión (P) y las de corte (S); y las ondas superficiales, las cuales son transmitidas por la superficie con mínima penetración en el material.

#### Ondas de cuerpo (P)

Estas ondas son las primeras en llegar a los sismógrafos, por lo tanto, son las más veloces. Se transmiten por sucesivas compresiones y descompresiones del medio, con cambios de volumen. El movimiento de vibración de las partículas es paralelo a la dirección de propagación, lo que implica mayor velocidad (Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, 2016).

### Ondas superficiales (**S**)

Estas ondas son las segundas en llegar a los sismógrafos, siendo menos veloces que las ondas P. Sólo se propagan por medios sólidos de manera perpendicular a la dirección de propagación, lo cual supone un mayor recorrido y, en consecuencia, menor velocidad (Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, 2016).

### Ondas Rayleigh (**R**)

Estas ondas de período largo producen un movimiento elíptico longitudinal de las partículas sobre un plano vertical. Son el resultado de la interacción en la superficie de la incidencia de ondas P y ondas S (Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, 2016).

### Ondas Love (**L**)

Las ondas L son más rápidas que las ondas R, cuyo movimiento de partícula es paralelo a la superficie, pero perpendicular a la dirección de propagación. Se encuentra en la componente horizontal del sismograma (Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, 2016).

#### 2.1.2 Tipos de magnitud

Existen varios tipos de magnitud. Estos se diferencian entre sí por los datos y la metodología particular empleada. A continuación, se presentan los tipos de magnitud utilizados normalmente:

##### Magnitud local, **ML**

La magnitud local, conocida comúnmente como magnitud Richter, fue propuesta por Charles F. Richter en 1935. Esta escala ha sido calibrada para poder ser usada en diferentes partes del mundo y usando registros de otros instrumentos. Las magnitudes de los sismos aplicados a esta escala poseen valores superiores a 3 y menores a 7; el límite inferior se debe a que difícilmente son percibidos por las personas, por ende, no producen efectos negativos en las estructuras; los sismos con magnitudes mayores al límite superior quedan excluidos, debido al error en la medición producidos por la saturación de los datos (Bazán & Meli).

##### Magnitud de ondas de cuerpo, **Mb**

Su valor se obtiene a partir de la amplitud máxima, observada en los sismogramas, de las ondas de cuerpo, como lo son las ondas P. Un problema de esta magnitud es que se satura a magnitudes de 6.5 a 6.8; es decir, no es posible determinar datos para magnitudes superiores a estos valores (SSN (MX), 2016).

### Magnitud de ondas superficiales, **MS**

Observando las ondas superficiales en los sismogramas y, a partir de la amplitud máxima, es posible obtener la magnitud de este tipo de onda. Esta escala permite determinar magnitudes de sismos más intensos, pero también sufre una saturación cuando se trata de sismos con magnitudes mayores a 8.3 (SSN (MX), 2016).

### Magnitud de Duración, **MD**

Tal y como indica su nombre, la magnitud de duración se calcula en base a la duración del registro de la señal sísmica (Sergio Barrientos Explica Diferencias en la Magnitud de los Sismos, 2012). Esta medición es válida para sismos de magnitud menor a 5 ocurridos a distancias menores a 200 kilómetros (Tavera, 2001).

### Magnitud de momento, **MW**

La magnitud de momento se determina a partir del momento sísmico, que es una cantidad proporcional al área de ruptura, es decir, al tamaño de la falla geológica que se rompió, y al deslizamiento que ocurra en la falla. La medición es válida para todo tipo de magnitudes sísmicas (SSN (MX), 2016).

SOLO USO ACADÉMICO

## 2.2 Aisladores Sísmicos:

Existen diversos sistemas de protección sísmica disponibles en el mercado, entre los cuales es posible distinguir tres tipos: sistemas activos, semi-activos y pasivos.

Los sistemas activos y semi-activos funcionan mediante un sistema de sensores que detectan el movimiento de la estructura en tiempo real, siendo procesados por algoritmos de control que determinan las fuerzas necesarias para contrarrestar el movimiento. Por otra parte, se tiene los sistemas pasivos, que permiten reducir la respuesta dinámica de la estructura por medio de dispositivos mecánicos que permiten disminuir la energía a disipar por la estructura.

Entre los sistemas pasivos de protección sísmica se encuentran los disipadores de energía y los aisladores sísmicos, en donde los primeros cumplen la función de concentrar la disipación en puntos particulares, reduciendo la energía que debe ser disipada por la estructura. De este modo, los disipadores de energía son utilizados fundamentalmente para estructuras relativamente flexibles. Los aisladores sísmicos tienen como función independizar la superestructura del movimiento del suelo a través de una interfaz flexible. Dicha configuración reduce la energía transmitida desde el suelo a la estructura y genera un incremento en el periodo de la misma, provocando una reducción de los esfuerzos internos. Es por esto que los aisladores sísmicos son utilizados en estructuras relativamente rígidas y de baja altura.

Básicamente, existen dos tipos de sistemas de aislamiento: los apoyos elastoméricos y los apoyos deslizantes. Los primeros, constituidos por láminas de acero y elastómero intercaladas, presentan una notable flexibilidad lateral en el elastómero, permitiendo el desplazamiento lateral de los extremos del aislador, mientras que las láminas de refuerzo evitan el abultamiento del elastómero y le proporcionan una gran rigidez vertical al dispositivo. En esta categoría es posible encontrar tres tipos de dispositivos: aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB); aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB); y aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB), los cuales se diferencian principalmente en su capacidad de amortiguamiento, siendo 2-5%, 10-15% y 25-30%, respectivamente, esto debido a los materiales empleados en cada uno.

Por otro lado, los apoyos deslizantes poseen una superficie de deslizamiento que permite la disipación de energía por medio de las fuerzas de rozamiento, reduciendo el movimiento oscilante de la estructura y se dividen en dos tipos: deslizadores friccionales planos y péndulos friccionales. El primero corresponde al apoyo deslizante más simple, compuesto por una cara adherida a la estructura y otra a la fundación, permitiendo los movimientos horizontales y resistiendo las cargas verticales de la edificación. Este tipo de aisladores requiere un sistema recitativo de aislación para prevenir deformaciones residuales luego de un evento sísmico. Finalmente, el péndulo friccional consta de un deslizador articulado ubicado sobre una superficie cóncava, la cual le permite ser autocentrante, es decir, no requiere de otro sistema recitativo.

## 2.3 Probabilidad y Estadística

### 2.3.1 Conceptos Básicos

El análisis probabilístico emplea diferentes términos relacionados con la estadística. Entre ellos, se tiene:

**Estandarización:** corresponde a la generalización de diferentes variables respecto a una única, a modo de representar los diferentes datos de una manera clara y ordenada. En el presente estudio se realiza una estandarización en base a correlaciones entre diferentes tipos de magnitudes sísmicas.

**Coefficiente de determinación ( $R^2$ ):** es un estadístico que indica qué tan relacionados están los valores que se están analizando, correspondientes a una ecuación de regresión: si  $R^2$  es cercano a 0, significa que las variables no están relacionadas (en este caso, magnitudes); si  $R^2$  es cercano a 1, implica que las variables están fuertemente relacionadas a modo de asegurar un alto nivel de confianza en las ecuaciones de correlación obtenidas.

**Promedio ( $\bar{x}$ ):** resultado que se obtiene al dividir la suma de varias cantidades o datos por el número de sumandos.

**Desviación Estándar ( $\bar{\sigma}$ ):** también conocida como desviación típica, es una medida de dispersión para variables cuantitativas y de intervalo. Este valor es calculado automáticamente mediante el programa Microsoft Excel.

### 3 ANÁLISIS DE SISMICIDAD EN EL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL PROYECTO

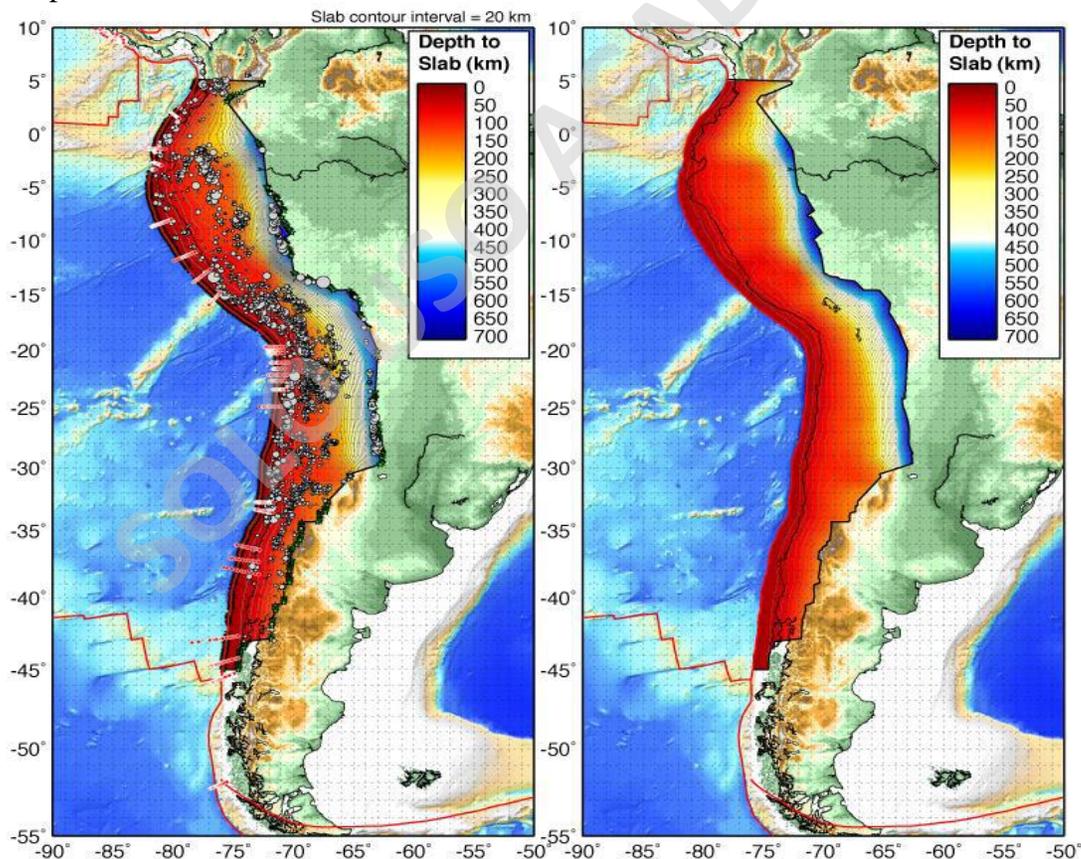
#### 3.1 Introducción

Para cumplir con los objetivos planteados en la presente investigación, en este capítulo se aborda el escenario sísmico de Chile como base para la generación de un análisis estadístico, que busca obtener la probabilidad de excedencia de los sismos en la zona centro del país.

#### 3.2 Sismicidad Histórica en Chile

Chile se encuentra ubicado sobre la placa Sudamericana, en su borde occidental donde convergen y generan zonas de subducción las placas de Nazca y Antártica, en tanto que la placa de Scotia se desliza horizontalmente respecto a la placa Sudamericana, en un borde de placas transcurrete.

Estas interacciones producen una gran deformación del continente Sudamericano, y generan terremotos en todo Chile. Debido a la alta velocidad de convergencia entre Nazca y Sudamérica, la sismicidad en esa zona es la más intensa y produce los mayores terremotos en el país.



Marco tectónico de Chile. Se muestran las placas que interactúan con la Placa Sudamericana, indicando la dirección y velocidad de convergencia. Los colores indican la profundidad alcanzada por la Placa de Nazca (Fuente: CSN de la Universidad de Chile)

En 1906, ocurrió uno de los terremotos más desastrosos de la era republicana. Valparaíso, principal puerto, centro financiero y comercial del país, fue destruido casi completamente. La ciudad llamada “la perla del Pacífico”, quedó reducida a escombros y tuvo que ser reconstruida casi totalmente; sin contar los miles de muertos que quedaron atrapados bajo sus ruinas. Dramáticos fueron también el sismo de Atacama en 1922 y el terremoto de Talca, en 1928

En 1939 le tocó el turno a la ciudad de Chillan y a toda la región circundante. La destrucción fue tal que obligó, tanto a las autoridades como a la población en general, a una mejor oportunidad ideal para que el parlamento aprobara la creación de la Corporación de Fomento y Reconstrucción (CORFO), institución a través de la cual el Estado dirigió la reconstrucción del país y el fomento de la actividad industrial.

En 1960 ocurrió el evento más fuerte registrado en el mundo, 9.5 Mw, el cual devastó las provincias de Cautín, Valdivia, Osorno, Llanquihue y Chiloé. Al situarse su epicentro en el mar, en las cercanías de Valdivia, el sismo fue acompañado por un tsunami que provocó una sucesión de enormes olas que arrasaron con las ciudades costeras. Asimismo, el terremoto dejó algunas zonas sumergidas bajo el mar, desatando un derrumbe en el río San Pedro que, de no haber sido solucionado rápidamente, habría arrasado con lo que quedaba de Valdivia.

Cinco años más tarde, el 28 de marzo de 1965 a las 12:33, la ciudad de La Ligua sería sacudida por un fuerte sismo de 7.4 grados. El movimiento, cuyo epicentro estuvo situado en las cercanías de La Ligua, fue percibido desde Copiapó hasta Osorno.

En la década siguiente, la zona norte y central, fueron afectadas por un terremoto grado 7.8 Mw. El movimiento, registrado el 8 de julio de 1971 a las 23:04 minutos, afectó desde Antofagasta a Valdivia, con mayor intensidad en Illapel, Los Vilos, Combarbalá y La Ligua.

En 1985 un nuevo sismo sacudió la zona central del país. El terremoto puso al descubierto la precariedad de las viviendas de adobe que abundaban en las ciudades y pueblos afectados. Ya en el siglo XXI, en 2007 se produjeron los terremotos de Aysén y de Tocopilla que, pese a no dejar un gran número de víctimas, causaron enormes pérdidas materiales. Finalmente, en febrero de 2010 se produjo un terremoto de 8.8 Mw, siendo el segundo más destructivo en la historia chilena (Biblioteca Nacional de Chile, 2016).

### 3.3 Estandarización de Datos

Con el objetivo de realizar un correcto análisis estadístico, como primer paso es necesario efectuar una estandarización de magnitudes, obteniendo una base de datos uniforme en cuanto a unidad de medida.

De esta manera se podrá efectuar una mayor margen de comparación dentro de la zona en la cual está emplazado el proyecto a analizar y también las magnitudes sísmicas variables de nuestros país.

Con este análisis se un ordenamiento correlativo de las distintas fechas, tiempos y momentos donde son efectuados los sismos.

#### 3.3.1 Correlación mediante regresión de datos

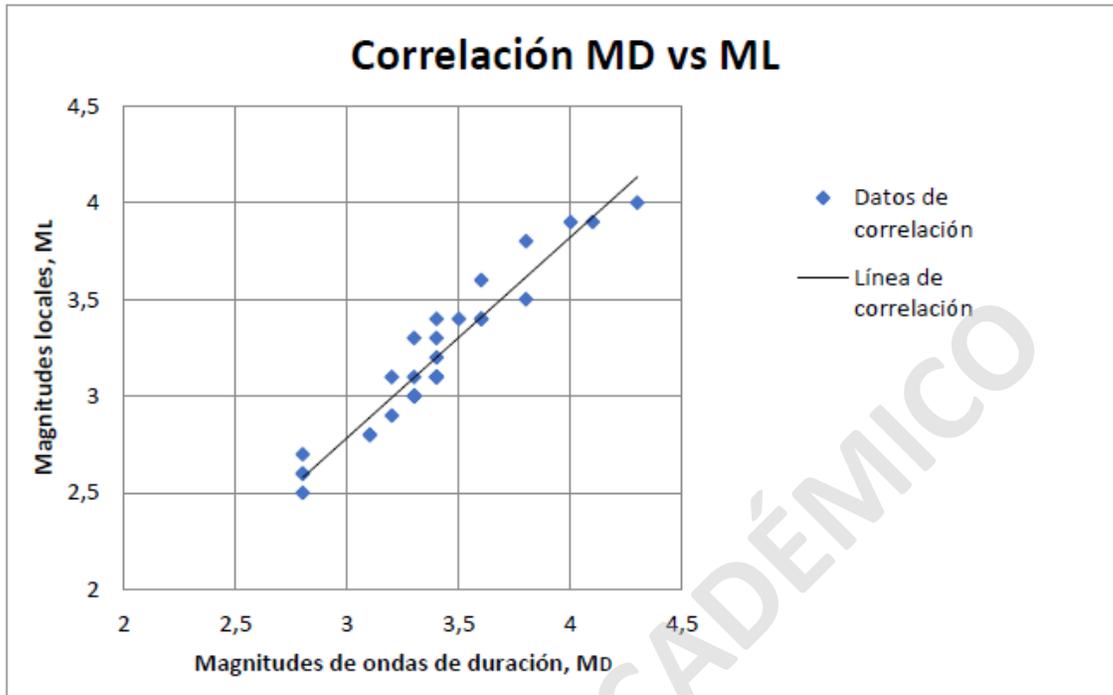
Se obtienen 25 registros sísmicos de diferentes magnitudes y fechas, presentados en la Tabla MD: Magnitud de ondas de duración ML: Magnitudes locales

Tabla 1: Tabulación de magnitudes locales en función de magnitudes de duración

Fecha	Hora	MD	ML
21/05/2002	17:35:38.01	3,6	3,6
21/05/2002	18:05:38.02	3,6	3,4
11/10/2002	09:41:44.70	3,3	3,1
16/10/2002	18:12:30.33	3,8	3,5
24/10/2002	13:54:15.93	4,1	3,9
05/04/2003	6:02:09	2,8	2,5
07/06/2003	14:22:35	3,3	3
03/01/2004	17:55:42.30	3,3	3
09/01/2004	15:56:08.50	3,6	3,4
01/04/2004	19:25:33.70	3,1	2,8
07/04/2004	18:08:45.20	3,3	3
28/08/2004	10:52:56.50	3,4	3,1
28/08/2004	14:11:36.90	3,8	3,8
28/08/2004	14:50:24	3,4	3,2
28/08/2004	15:45:42.70	3,4	3,4
29/08/2004	15:28:47.10	4,3	4
30/09/2004	12:48:36.90	3,4	3,3
27/12/2004	21:04:36.50	3,3	3,3
11/08/2005	22:13:41.30	3,1	2,8
12/08/2006	00:25:15.70	3,5	3,4
11/11/2008	09:51:02.40	3,8	3,6
24/04/2009	12:48:04.90	2,8	2,6

Fuente: (Elaboración propia a partir de datos sismológicos)

Grafico 1: Correlación entre Magnitudes de Duración y Magnitudes Locales.



(Fuente: Elaboración Propia)

Se presentan los registros sísmicos extraídos del USGS, el detalle de correlaciones y los valores finales en Magnitud de Momento para cada tipo de magnitud.

Tabla 2: Tabulación de registro de sismos en los años 2010 a 2017.

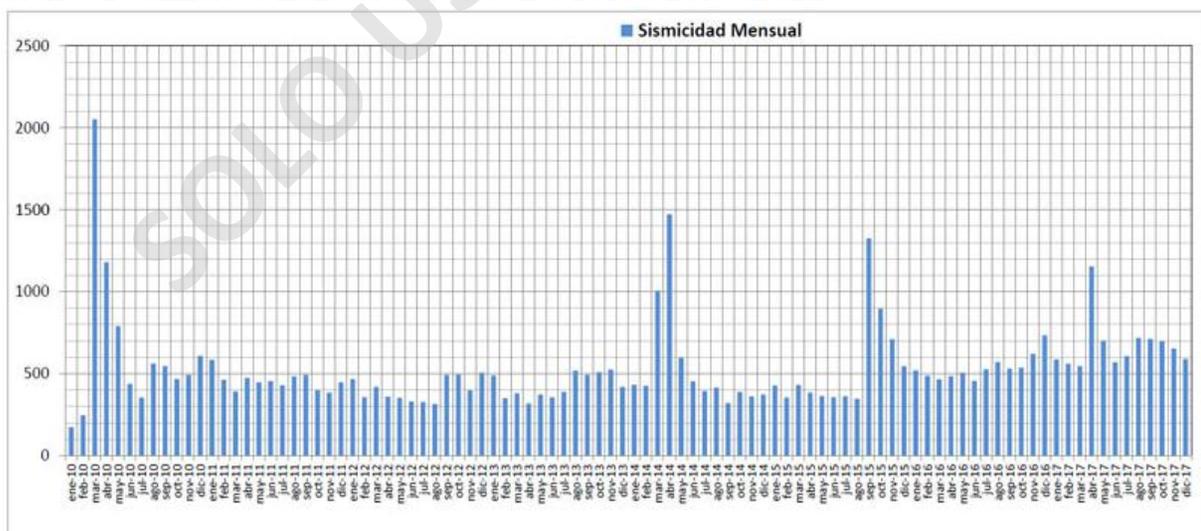
Año	Total_anual	Total No percibidos	Total percibidos
2010	7906	6772	1134
2011	5447	4675	772
2012	4816	4316	500
2013	5119	4729	390
2014	6637	6105	532
2015	6499	5945	554
2016	6437	6055	382
2017	8094	7742	352

Fuente: Centro sismológico nacional, Universidad de Chile)

Los datos se obtienen directamente de la Red Sismológica Nacional (RSN), conformada por una serie de estaciones distribuidas a lo largo del país. Cada una se compone de sensores de desplazamiento (GNSS), velocidad (sismómetros banda ancha) y aceleración (acelerómetros).

Gracias a esta información, generalmente se considera que el punto de detección mínimo es de magnitud 3, siendo un poco menor debido al mayor número de estaciones en las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Metropolitana.

Gráfico 2 : sismicidad mensual entre los años 2010 a 2017 en Chile



(Fuente: Centro sismológico nacional, Universidad de Chile)

En este grafico podemos apreciar que la mayor cantidad de sismos efectuados en Chile ocurrieron con mayor frecuencia en los meses de marzo 2010, abril de 2010, marzo 2014, abril 2014, septiembre 2015 y abril 2017.

### 3.3.2 Análisis Estadístico

Estas acotaciones se realizan debido a que, se considera que los sismos de magnitud menor a 4 MW son prácticamente imperceptibles y se limita la zona de estudio para evitar disipación de ondas, respectivamente.

#### Zona de registro sísmico



Fuente: Elaboración propia en función de (USGS, 1906-2015)

En primera instancia, utilizando el gráfico “*Sismos registrados entre los años 2002 y 2009, en la zona centro del país*” se determina eventos sísmicos de distintas magnitudes. Se considera que, el promedio de los intervalos de tiempo sin ocurrencia de eventos de magnitud mayor o igual a la estudiada, es un parámetro representativo para definir las magnitudes. No obstante, como se puede apreciar en el gráfico “*Sismos ocurridos entre los años 2002 y 2009, en la zona centro del país*”, va aumentando la cantidad de datos y magnitudes en el tiempo, de manera que, a partir de la década del 70’ se tiene un registro completo de magnitudes. Debido a esto, se determina que el total de años estimado para el cálculo del promedio del ancho de los intervalos, varía en función de la magnitud estudiada y la existencia de registros de dicha magnitud o inferior.

De esta manera podemos apreciar que nuestro país presenta uno de los mayores índices de sismicidad a nivel mundial. Ya que en los últimos años (2010 a 2017) ha tenido un notorio incremento en la cantidad de sismos en su mayoría en los meses de abril y marzo en sus respectivos años.

## 4. MODELACIÓN DE EDIFICIO PINARES SANTA CRUZ

### 4.1 Introducción

En particular, en este estudio se trabaja con un modelo para el edificio con y sin aisladores sísmicos, generados en el programa computacional ETABS 2016 Ultimate 16.3. El modelos se analizan para distintos eventos sísmicos registrados en el país, con el objetivo de obtener diferentes magnitudes de daños en la estructura. Por otro lado, cabe indicar que, si bien la normativa chilena permite alivianar la estructura al incorporar la aislación sísmica, en este estudio se busca tener como única variable la no utilización sistema de aislación. Por lo tanto, no se modifican los elementos de la superestructura al quitar este sistema.

### 4.2 Descripción del Proyecto Piloto, Edificio Nueva Pinares

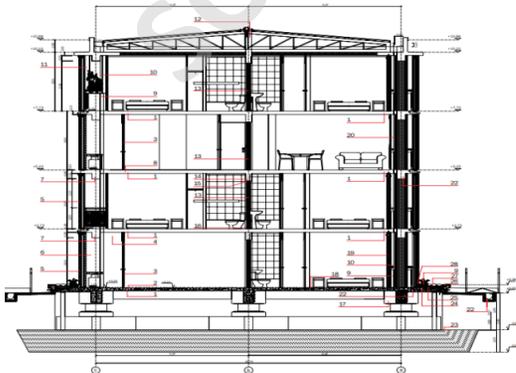
El edificio piloto se ubica en la comuna de Santa Cruz, VI Región de Chile, específicamente en la localidad de Pinares y corresponde al Edificio Nueva Pinares, el cual, es un edificio de viviendas sociales construido entre los años 2013 y 2014 dentro del plan de reconstrucción de la villa 26 de Septiembre, cuyas estructuras se vieron severamente dañadas en el pasado terremoto del 27 de febrero de 2010 (27F), llegando a colapsar el primer piso de uno de los bloques y, por ende, transformándose en un edificio emblemático.

En el proceso de análisis de las causas del colapso de la estructura, los especialistas plantearon la baja calidad del suelo que lo sostiene, por lo que, se optó por efectuar una reconstrucción en base a aisladores sísmicos.

El proyecto de arquitectura y diseño se llevó a cabo por la empresa SIRVE S. con el SERVIU de la región como mandante. La construcción fue realizada por Empresa Constructora Staggia y la inspección técnica, junto con los proyectos eléctricos y sanitarios, estuvieron a cargo de Satco empresa de la región

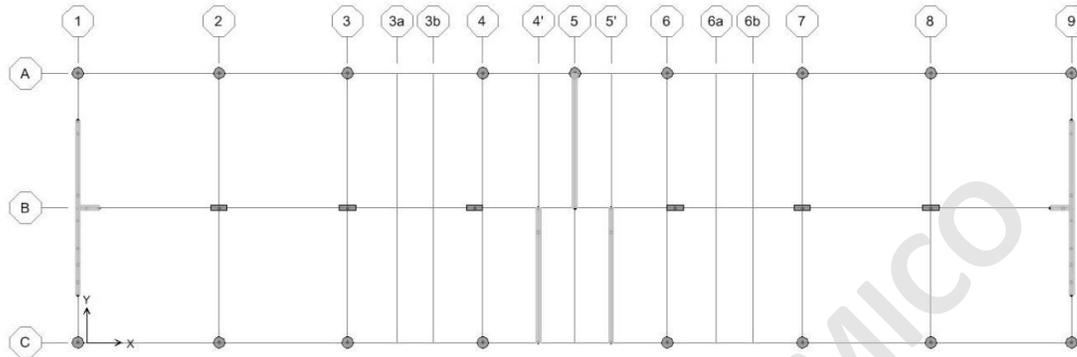
#### 4.2.1 Descripción Estructural

El edificio piloto, estructuralmente, está formado por marcos y muros de hormigón armado. Donde los marcos están compuestos por la configuración columna-viga y columna-losa



Fuente: Bosquejo constructora Staggia

En los ejes perimetrales longitudinales, la estructura posee columnas circulares de 45[cm] de diámetro. En la dirección transversal posee principalmente muros de hormigón armado, los cuales se encuentran ubicados en los ejes 1, 4', 5, 5' y 9. Esta configuración se puede observar en la Figura presentada a continuación:



Fuente: Empresa Sirve S.

El sistema de aislación sísmica se compone de 7 aisladores y 21 deslizadores. Los 4 aisladores ubicados en las esquinas (puntos 1-A, 1-C, 9-A y 9-C, en planta) corresponden a aisladores con centro de plomo y los 3 restantes (5-A, 4'-C y 5'-C) sólo a apoyos elastoméricos. Todos los aisladores poseen una altura de 367 [mm] y un diámetro de 75 [cm]. Mientras que, los deslizadores friccionales fueron calculados para un desplazamiento máximo de 50 [cm].

#### 4.2.2 Materialidad

Para efectos del análisis y diseño de este proyecto, acorde al estudio desarrollado por SIRVE S.A., se han utilizado las siguientes características de los materiales:

- Hormigón H25 (90% de confianza)
- Acero de refuerzo A630-420H

#### 4.2.3 Mecánica de Suelos

El suelo donde se emplaza la estructura corresponde a arcilla, correspondiendo una clasificación normativa de suelo tipo IV con Zona Sísmica 3. La velocidad de propagación de ondas de corte promedio medida en los primeros 7[m] es de aproximadamente 150[m/s] (SIRVE S.A., 2011).

#### 4.2.4 Cargas Aplicadas

-Carga Muerta (**D**): La carga muerta definida considerada en el diseño estructural contiene el peso propio de todos los elementos estructurales (Losas, vigas y muros). Adicionalmente se aplica una carga  $70[\text{kg}/\text{m}^2]$ , que corresponde a la carga por tabiques

Para el caso del faldón se ha considerado una carga muerta de  $400[\text{kg}/\text{m}^2]$  (SIRVE S.A., 2011).

-Carga Viva (**L**): La carga viva considerada corresponde a  $200[\text{kg}/\text{m}^2]$ . Esta carga es aplicada sobre todas las losas de piso. Para las losas de acceso o área comunes se aplicó una carga de  $400[\text{kg}/\text{m}^2]$ . Las escaleras han sido diseñadas para una carga de  $500[\text{kg}/\text{m}^2]$ . Las cargas se rigen según lo especificado en la NCh.1537 Of 2009 (SIRVE S.A., 2011).

-Carga de Techo (**Lr**): La carga de techo considerada corresponde a  $100 [\text{kg}/\text{m}^2]$  sobre las vigas de hormigón armado del cielo del cuarto piso (SIRVE S.A., 2011).

#### 4.3.4 Combinaciones de Carga

En este estudio, se utiliza solo 1 combinación de cargas, la cual se define sin considerar factores de amplificación, debido a que la finalidad del análisis es la verificación y no el diseño de los elementos. Sin embargo, sí se considera una reducción en la sobrecarga de uso (L), pues, la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico en conjunto con una aglomeración de personas en un recinto, es baja.

### 5. ANÁLISIS DE LOS DAÑOS OBTENIDOS EN EL EDIFICIO

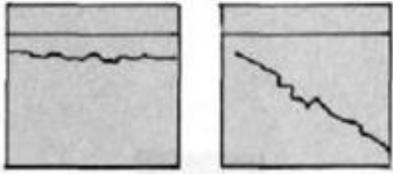
#### 5.1 Introducción

El efecto de un sismo en una edificación se puede evidenciar de distintas maneras, ya sea por problemas estructurales, por ejemplo, falla por flexión en vigas; como por complicaciones en tabiquerías u otros elementos no estructurales. Cualquiera sea el daño, afecta la cotidianeidad de las personas y tendrá un costo asociado. Es por esto que, en este capítulo se busca establecer las consideraciones adoptadas para definir los tipos de fallas presentes en cada elemento que compone el edificio, para luego, en el siguiente capítulo, precisar el costo asociado.

## 5.2 Daños en Edificios de Hormigón Armado

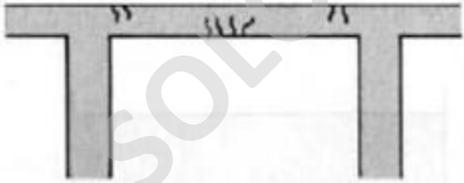
Los daños típicos en elementos de hormigón Armado son referentes a losas, muros, vigas y columnas las cuales son atacadas por el sismo efectuando daños es ellos.

### Daños en muro de hormigón armado

Reconocimiento	Descripción	Causas Principales
	Falla por esfuerzo de corte	<p>Esfuerzos superiores a los previstos al diseñar</p> <p>Insuficiencia de armaduras</p> <p>Asentamientos diferenciales</p>

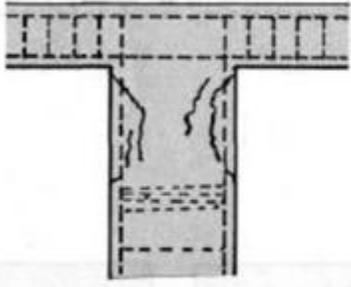
Fuente: (instituto chileno del cemento y hormigón, 1985)

### Daños en losas de hormigón armado

Reconocimiento	Descripción	Causas Principales
	Grietas por flexión	<p>Sobrecargas no previstas</p> <p>Armadura insuficiente o mal colocada</p> <p>Reducido espesor</p> <p>Descimbre prematuro</p>

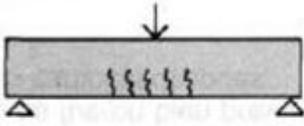
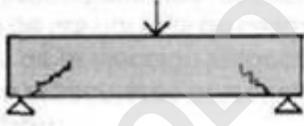
Fuente: (instituto chileno del cemento y hormigón, 1985)

### Daños en columnas de hormigón armado

Reconocimiento	Descripción	Causas Principales
	Fracturas localizadas, eventual colapso del hormigón y pandeo de armaduras	Mala distribución o insuficiencia de estribos Esfuerzo superior a lo previsto Impactos

Fuente: (instituto chileno del cemento y hormigón, 1985)

### Daños en viga de hormigón armado

Reconocimiento	Descripción	Causas Principales
	Grietas por flexión pura	Sobrecargas no previstas. Deformación excesiva con cuantías normales Cuantías insuficientes Mala adherencia de las armaduras al hormigón
	Grietas por esfuerzo de corte	Sobrecargas no previstas. Armaduras transversales insuficientes Baja calidad del hormigón

Fuente: (instituto chileno del cemento y hormigón, 1985)

### 5.3 Daños en elementos no estructurales

Los elementos no estructurales considerados en esta investigación, son los tabiques divisorios. Estos elementos se pueden ver seriamente dañados en un evento sísmico, requiriendo su reemplazo total. No obstante, también pueden tener daños menores, remediables con materiales menores como huinchas, yeso y pintura.

### 5.4 Análisis de Elementos Estructurales

#### Análisis de vigas de hormigón armado

Para la verificación de este tipo de elemento, se emplea el criterio de falla por flexión y el criterio de falla por corte, según los tipos de daños más comunes para vigas de hormigón armado.

#### Análisis de losas de hormigón armado

Para las verificaciones de este tipo de elemento, se emplea el criterio de falla por flexión, según los tipos de daños más comunes mostrados por las losas de hormigón armado.

#### Análisis de muros de hormigón armado

Para las verificaciones de este tipo de elemento, se emplea el criterio de corte. Según los tipos de daños más comunes mostrados por muros de hormigón armado

#### Análisis de columnas de hormigón armado

En el caso de las columnas, el criterio de falla está dado por flexocompresión y corte. Según los tipos de daños más comunes mostrados por columnas de hormigón armado.

## 5.5 Resultado de Daños

Sobre la base de los resultados del edificio piloto con y sin aislación y lo planteado en los puntos de daño, se presenta un resumen de los resultados por tipo de análisis y elementos los cuales fueron afectados tras el análisis de daño.

### 5.6.1 Análisis edificio sin aislación sísmica

Se muestra la cantidad elementos estructurales afectados, con daños de tipo “reconstrucción”, por departamento para cada magnitud de sismo.

Tabla 3: Cantidad de elementos a reconstruir por departamento

Departamentos	N de elementos dañados por sismo	
	Sismo 7,7	Sismo 8,8
Depto 1	7	15
Depto 2	7	14
Depto 3	8	14
Depto 4	7	12
Depto 5	8	14
Depto 6	7	12
Depto 7	7	15
Depto 8	7	14
Depto 9	4	12
Depto 10	6	13
Depto 11	7	11
Depto 12	7	14
Depto 13	3	14
Depto 14	3	10
Depto 15	4	10
Depto 16	4	14
Depto 17	2	10
Depto 18	3	16
Depto 19	2	14
Depto 20	1	12
Depto 21	4	12
Depto 22	4	12
Depto 23	4	10
Depto 24	4	10

Fuente: (Constructora Staggia)

Tabla 4: Volumen y meses de reconstrucción para cada departamento

	volumen de elementos dañados por m3		N de meses asociados a la reconstrucción	
Sismo	7,7	8,8	7,7	8,8
Departamentos				
Depto 1	6,92	17,2	0,94	2,34
Depto 2	6,92	16,78	0,94	2,29
Depto 3	10,64	13,61	1,45	1,85
Depto 4	11,78	14,76	1,6	2,01
Depto 5	10,72	13,61	1,6	1,86
Depto 6	11,78	14,76	1,46	2,01
Depto 7	6,92	17,2	1,6	2,34
Depto 8	6,92	16,78	0,94	2,29
Depto 9	1,88	13,61	0,94	1,85
Depto 10	3,41	14,76	0,26	2,01
Depto 11	7,36	13,34	0,46	1,82
Depto 12	9,28	14,42	1	1,96
Depto 13	1,12	9,9	1,26	1,35
Depto 14	1,58	9,78	0,15	1,33
Depto 15	1,58	8,7	0,15	1,19
Depto 16	0,7	9,92	0,22	1,35
Depto 17	5,26	12,38	0,22	1,69
Depto 18	4,82	8,7	0,1	1,19
Depto 19	0,26	17,61	0,72	2,4
Depto 20	1,39	11,32	0,66	1,54
Depto 21	1,38	13,86	0,04	1,89
Depto 22	1,38	15,01	0,19	2,04
Depto 23	1,39	4,54	0,19	0,62
Depto 24	1,39	7,97	0,19	1,09

Fuente: (Constructora Staggia)

Los datos presentes en la tabla son requeridos para el cálculo de tiempo necesario para trasladar a las familias afectadas, mientras se realiza la reconstrucción de los elementos del edificio piloto

En la tabla se presenta el total de departamentos afectados, por sismo, y el valor máximo de meses requerido para la reconstrucción de elementos, aproximado al entero superior, puesto que la demora de reconstrucción es un factor a considerar

Tabla 5: Total de departamentos afectados

Sismo	N de meses de reconstrucción	Departamentos Afectados
7,7	2	24
8,8	3	24

Fuente: Elaboración Propia

### 5.6.2 Análisis edificio con aislación sísmica

En el caso del edificio con aislación sísmica, este no se ve afectado por los sismos, por lo tanto, no se presentan tablas de resultados en cuanto a daños en los elementos. No obstante, en la tabla se muestran los factores de utilización máximos para cada tipo de elemento en el sismo 8.8 Mw. Esto con el fin de tener una noción numérica de la reducción de efectos.

Tabla 6: Daños con aislantes sísmicos

	Losas	Vigas	columnas	muros	tabiques
FU	0,72	0,68	0,71	0,67	0,11

Fuente: Elaboración Propia

## **6. REPARACIONES Y COSTOS EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO**

### 6.1 Introducción

Como ha sido comentado a lo largo de este documento, las estructuras de hormigón armado pueden ser afectadas por eventos sísmicos, produciendo daños de distintas magnitudes. En este capítulo se establecen costos asociados a reparaciones de los daños más comunes.

### 6.2 Sistemas y Costos de Reparación de Daños en Edificios de Hormigón Armado

A raíz de los diferentes daños generados por los sismos, se establecen diversas metodologías de reparación a emplear en los elementos dañados. Los costos asociados a las diferentes partidas de reparación son extraídos de presupuestos entregados por el MINVU, referentes a reconstrucciones de edificios de similares características al estudiado.

Cabe mencionar que los costos asociados a reparaciones y reconstrucción, se consideran del tipo directo, es decir, costos referentes directamente a la ejecución de cada partida. Además, son exentos de IVA.

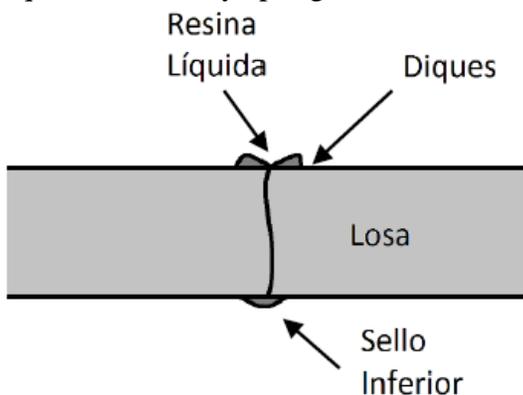
#### 6.2.1 Elementos Estructurales

-Costo de reparación de fisuras y grietas a partir de inyecciones epóxicas

La inyección de fisuras y grietas con resinas epóxicas tiene por objetivo recuperar el monolitismo de las estructuras, gracias a las propiedades de adherencia y resistencia de estos materiales. La implementación de este método es mediante dos procedimientos diferentes:

### a) Inyección gravitacional

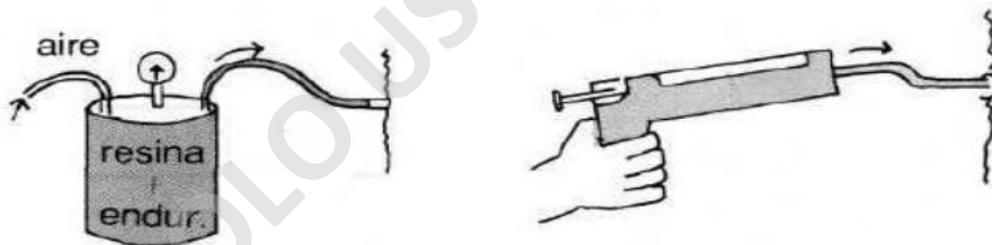
Método empleado para sellar fisuras y grietas verticales, generadas en elementos horizontales, como lo son vigas y losas. El procedimiento consiste en sellar la cara inferior de la fisura y/o grieta con masilla epóxica, ejecutando diques laterales en la cara superior a modo que la resina fluya por gravedad al interior de la grieta



Fuente: (Instituto Chileno Del Cemento y Hormigón)

### b) Inyección a Presión

Método empleado para sellar fisuras y grietas en cualquier posición, exclusivamente en elementos estructurales verticales, como lo son columnas y muros de hormigón armado. El procedimiento emplea el uso de equipos a presión con aire comprimido, el cual permite que la resina fluya en el sentido que se desee.



Fuente: (Instituto Chileno De Cemento y Hormigón)

El costo de aplicación de este método es de 1,70 UF por metro lineal de elementos dañados por fisuras y grietas, tanto para inyecciones gravitacionales, como a presión.

- Costo de reconstrucción debido al colapso de elementos de hormigón armado

Cuando se produce el colapso, se debe reconstruir el elemento en cuestión, lo cual conlleva a costos asociados a la demolición, retiro de escombros, compra de insumos y ejecución de nuevos elementos. Las partidas, precios y unidades respectivas consideradas en el colapso de elementos.

Tabla 7: Relación daño – costo empleada para el análisis

ITEM	PARTIDA	UNIDAD	P.UNITARIO UF
1	Reconstrucción De Vigas		
1.1	Demolición	m3	2,88 UF
1.2	Retiro de escombros	m3	0,58 UF
1.3	Enfardadura (97,53 kg/m3)	m3	11,70 UF
1.4	Hormigon H-25	m3	6,66 UF
	Total	m3	21,82 UF
2	Reconstrucción De Losa		
2.1	Demolición	m3	2,88 UF
2.2	Retiro de escombros	m3	0,58 UF
2.3	Enfierradura (83,8 kg/m3)	m3	10,06 UF
2.4	Hormigon H-25	m3	6,66 UF
	Total	m3	20,18 UF

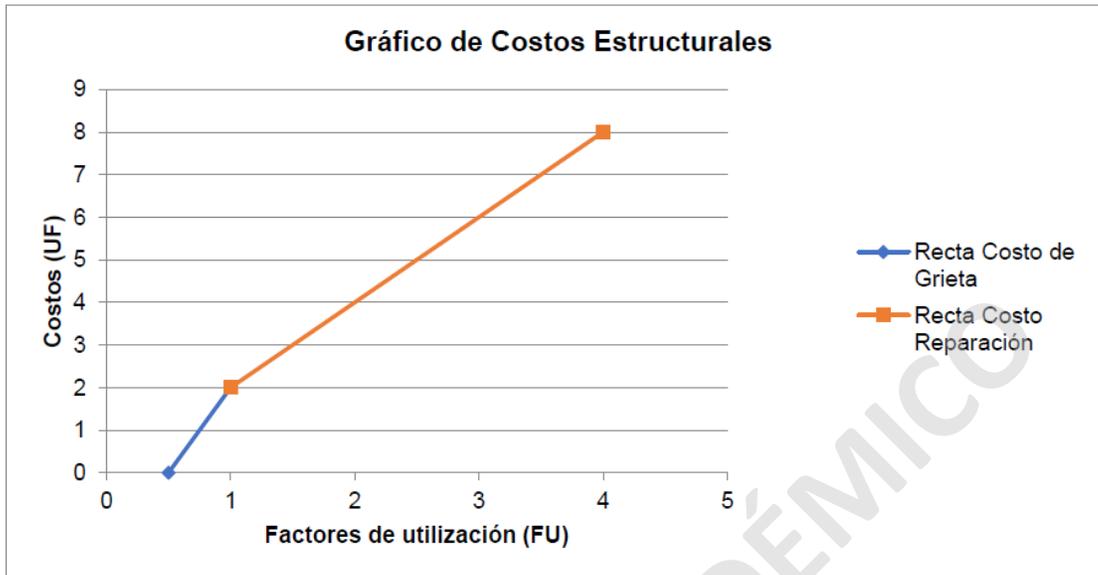
3	Reconstrucción De Muros		
3.1	Demolición	m3	2,88 UF
3.2	Retiro de escombros	m3	0,58 UF
3.3	Enfierradura (70,8 kg/m3)	m3	8,50 UF
3.4	Hormigon H-25	m3	6,66 UF
	Total	m3	18,62 UF
4	Reconstrucción De Columnas		
4.1	Demolición	m3	2,88 UF
4.2	Retiro de escombros	m3	0,58 UF
4.3	Enfierradura (175,3 kg/m3)	m3	21,04 UF
4.4	Hormigon H-25	m3	6,66 UF
	Total	m3	31,16 UF

Fuente: (Elaboración Propia a partir de Constructora Staggia)

#### Relación daño – costo empleada para el análisis

Considerando la relación entre tipo de daño y factor de utilización presentada en la tabla, se propone una relación lineal entre los costos asociados a daños y los factores de utilización definidos. De manera que se obtiene el gráfico presentado a continuación:

Grafico 3: Costos estructural



Fuente: Elaboración propia

Los modelos lineales, quedan definidos en función del factor de utilización asociado a la resistencia en fluencia del acero empleado para cada elemento, el factor de utilización limite previamente definido, el costo de reparación de grietas máximo ( en función a la longitud de los elementos) y el costo de reconstrucción máximo ( en función de la dimensión del elementos colapsados).

### 6.2.2 Elementos no Estructurales

Los costos asociados a la reparación de la tabiquería, según las consideraciones correspondientes presentadas en la siguiente tabla:

Tabla 8: Costos no Estructural

ITEM	PARTIDA	UNIDAD	P.UNITARIO UF
1	Reemplazo de tabiques dañados		
1.1	Estructura metalcom	m2	0,11 UF
1.2	Aislación	m2	0,13 UF
1.3	Revestimientos	m2	0,80 UF
	Total	m2	1,04 UF

Fuente: (Elaboración Propia a partir de Constructora Staggia)

Este valor se aplica para la totalidad de la estructura y considera desarme de los elementos dañados y su reemplazo con elementos nuevos.

### 6.3 Costo de Daños en el Edificio

Aplicando los costos recientemente definidos, a los daños señalados, se obtienen costos asociados al daño de cada elemento analizado en el modelo estructural para cada sismo.

Acorde al análisis de daños efectuado, solo se presentan los daños asociados a la situación sin aislador, ya que, en el caso del modelo con aislación, los resultados indican que no se producen daños.

El resumen general de resultados de costos se presenta en la Tabla donde se muestran los valores de reparación y reconstrucción finales para cada tipo de elemento.

Tabla 9: Daño en UF para cada sismo en modelo sin aislación

Sismo (Mw)	Elementos Estructurales				Elementos no estructurales	Total UF
	Columnas	Muros	Vigas	Losas	Tabiques	
7,7	281,52 UF	51,71 UF	744,58 UF	17.841,58 UF	328,42 UF	19.267,82 UF
8,8	1.092,38 UF	539,52 UF	1.084,99 UF	26.441,68 UF	865,96 UF	30.026,56 UF

Fuente: Elaboración Propia

### 6.4 Costos Subsidio de Arriendo

Debido a los múltiples daños generados en la estructura y a las reparaciones producidas, es imprescindible considerar un lugar temporal para trasladar a las personas afectadas, mientras se realizan los servicios de reconstrucciones. Ante esta problemática, MINVU presenta un programa de subsidio de arriendo único y total, con un máximo de 170 UF, del cual se descontará hasta 3 UF cada mes para efectos de pago de arriendo. El monto total puede ser utilizado mensualmente de manera consecutiva o fragmentada, con un plazo máximo de vigencia de hasta 8 años. La otorgación de este beneficio conlleva, adicionalmente, por única vez, la suma de 1 UF por inicio de contrato.

Tabla 10: Costos de subsidio asociados a cada sismo debido al daño producido

Sismo	N meses de Reconstrucción	Departamentos Afectados	Costo Subsidio UF
7,7	2	24	168 UF
8,8	3	24	240UF

Fuente: Elaboración Propia

## 7. Modelo de análisis estadístico.

### 7.1 Evaluación de contraste de costos.

En esta primera parte del análisis calculamos los costos totales de los sismos 7,7 y 8,8 verificando los costos de reconstrucción del edificio mas los meses de subsidio de arriendo por departamento afectado.

#### Sismo 7,7

Varriendo	144
Vreconstrucción	19267,82
VR	19411,82

#### Sismo 8,8

Varriendo	216
Vreconstruccion	30026,56
VR	30242,56

En esta parte del análisis identificamos las variables las cuales son constantes en los sismos 7,7 y 8,8 que son determinantes para el cálculo del valor actual de costos (VAC)

i	5%
j	10
T	10
a	1
b	1

Fuente: Elaboración propia

$$VAC = \frac{VR}{(1+i)^J} + \alpha \frac{VR}{(1+i)^{J+T}} + \beta \frac{VR}{(1+i)^{J+2T}}$$

Valor actual de costo (VAC)

Al momento de sacar el VAC se determina la variable  $\alpha$  y  $\beta$  para calcular el costo máximo de reconstrucción determinado que fluctúa en un máximo de 1 hasta 0,7 como determinante de costo.

VAC	23.725
VAC depto.	989

VAC	36.962
VAC depto.	1540

VAC de sismos 7.7

VAC de sismo 8.8

Tabla 11: De iteración de las variables  $\alpha$  y  $\beta$ . (Sismos 7,7)

		A						
23.725		0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
b	0,70	20182,47	20548,3	20914,1	21279,9	21645,7	22011,5	22377,3
	0,75	20407,04	20772,8	21138,7	21504,5	21870,3	22236,07	22601,88
	0,80	20631,62	20997,4	21363,2	21729	22094,8	22460,64	22826,45
	0,85	20856,19	21222	21587,8	21953,6	22319,4	22685,22	23051,02
	0,90	21080,76	21446,6	21812,4	22178,2	22544	22909,79	23275,6
	0,95	21305,34	21671,1	22036,9	22402,8	22768,6	23134,36	23500,17
	1,00	21529,91	21895,7	22261,5	22627,3	22993,1	23358,94	23724,74

Fuente: Elaboración propia

Se determinan los rangos de costos máximos de reconstrucción para un sismo 7,7 determinando la evaluación comparativa versus costos de aislación sísmica.

Tabla12: De iteración de las variables  $\alpha$  y  $\beta$ . (Sismos 8,8)

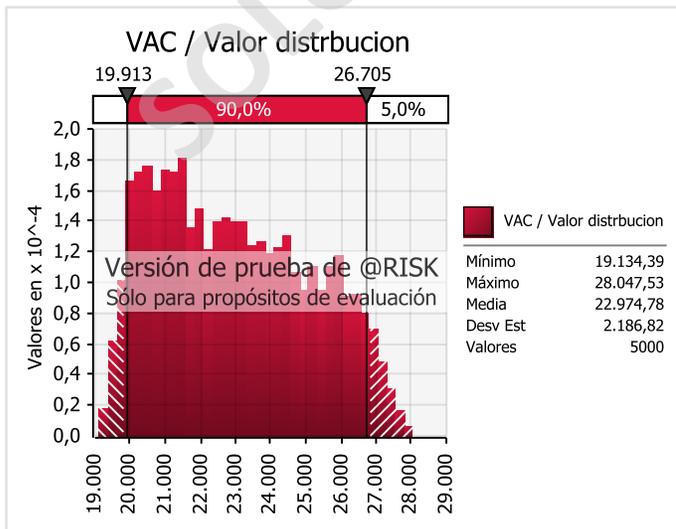
		A						
		0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
b	36.962							
	0,70	31443,2	32013,1	32583	33152,9	33722,8	34292,7	34862,6
	0,75	31793,1	32363	32932,9	33502,8	34072,7	34642,6	35212,5
	0,80	32142,9	32712,8	33282,7	33852,7	34422,6	34992,5	35562,4
	0,85	32492,8	33062,7	33632,6	34202,5	34772,4	35342,3	35912,2
	0,90	32842,7	33412,6	33982,5	34552,4	35122,3	35692,2	36262,1
	0,95	33192,6	33762,5	34332,4	34902,3	35472,2	36042,1	36612
	1,00	33542,4	34112,3	34682,2	35252,1	35822	36392	36961,9

Fuente: Elaboración propia

Se determinan los rangos de costos máximos de reconstrucción para un sismo 8,8 determinando la evaluación comparativa versus costos de aislación sísmica.

## 7.2 Simulación de sismo 7,7 en programa @RISK.

Grafico 4: Simulación de datos en sismo 7,7.



En esta parte el modelo análisis se determina los puntos donde los márgenes de costos fluctúan entre 19.913 UF y 26.705 UF como optimo dentro del margen del 90 %..

7.3 Tabulación de datos de sismo 7,7 ingresados en programa @RISK.

Tabla 13: Resumen Estadístico

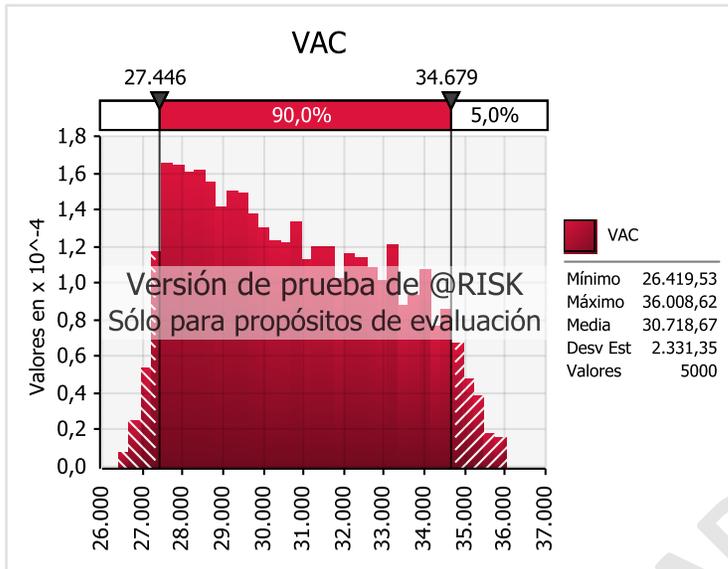
Estadísticos resumen para VAC / Valor distribución			
Estadísticos		Percentil	
Mínimo	19.134	5%	19.913
Máximo	28.048	10%	20.202
Media	22.975	15%	20.485
Desv Est	2.187	20%	20.782
Varianza	4782190,785	25%	21.081
Indice de sesgo	0,27570462	30%	21.381
Curtosis	1,961634373	35%	21.682
Mediana	22.763	40%	22.026
Moda	21.000	45%	22.408
X izquierda	19.913	50%	22.763
P izquierda	5%	55%	23.122
X derecha	26.705	60%	23.499

En este esquema de resultado de distribución se determina 3 puntos estadísticos que son mínimo, máximo y la media los cuales determinan los costos óptimos de reconstrucción en este caso el que determina el costo más óptimo es la media de 22.9175 UF

SOLO USO ACADÉMICO

#### 7.4 Simulación de sismo 8,8 en programa @RISK.

Grafico5: Simulación de datos en sismo 8,8.



En esta parte el modelo análisis se determina los puntos donde los márgenes de costos fluctúan entre 27.446 UF y 34.679UF como optimo dentro del margen del 90 %.

#### 7.5 Tabulación de datos de sismo 8,8 ingresados en programa @RISK.

Tabla 14: Resumen Estadístico

Estadísticos resumen para VAC		
Estadísticos		Percentil
Mínimo	26.420	5%
		27.446
Máximo	36.009	10%
		27.761
Media	30.719	15%
		28.073
Desv Est	2.331	20%
		28.372
Varianza	5435210,083	25%
		28.671
Indice de sesgo	0,26424847	30%
		29.043
Curtosis	1,955658818	35%
		29.370
Mediana	30.489	40%
		29.701
Moda	27.544	45%
		30.097
X izquierda	27.446	50%
		30.489
P izquierda	5%	55%
		30.873
X derecha	34.679	60%
		31.299
P derecha	95%	65%
		31.723

En este esquema de resultado de distribución se determina 3 puntos estadísticos que son minino, máximo y la media los cuales determinan los costos óptimos de reconstrucción en este caso el que determina el costo más óptimo es la media de 30.719UF

## 8. Conclusión

A partir de los resultados de los análisis realizados en la presente tesis, se destaca la óptima adaptación de la metodología de daño evitado, para proyectos que sufran daños producidos por eventos sísmicos, en este caso, el proyecto piloto.

No obstante, se observa que los resultados obtenidos a partir del modelo sin aislación sísmica son excesivamente altos. Además, la totalidad de los departamentos resultan afectados para los sismos con mayores magnitudes. Esto se debe a que el edificio fue diseñado para resistir con el sistema de aislación sísmica incorporado, por lo cual, al extraer dichos dispositivos, la capacidad resistente del edificio ante eventos sísmicos se ve reducida.

En lo que respecta al análisis estadístico para la obtención de las probabilidades de excedencia, si bien estos valores son obtenidos mediante fuentes confiables, es imprescindible trabajar con un registro completo en un rango temporal mayor, pues, solamente a partir de la década del 70' es posible obtener datos de cada uno de las magnitudes, lo que implica que, a partir de este período el registro es continuo, es decir, sin vacíos ni faltas de datos relevantes en la investigación. No obstante, los resultados probabilísticos se consideran relativamente coherentes con los hechos históricamente registrados.

En adición a lo anterior, y analizando los resultados obtenidos, se puede observar que los daños estimados para los sismos de 7,7 y 8,8 Mw son principalmente asociados a costos de reconstrucción de los elementos. Esto se debe a que no se considera los efectos del colapso de un elemento en particular, y, por ende, tampoco considera la redistribución de esfuerzos solicitantes en elementos colindantes al colapsado. Es por ello que se propone un análisis estructural más refinado con la finalidad de realizar un estudio más detallado y fidedigno al comportamiento real que pudiese tener la estructura.

Finalmente, se estima que es necesario continuar profundizando en el tema, en especial en el análisis comparativo de los daños. Será necesario modelar y diseñar un edificio social en las condiciones sin y con aislación, y establecer bajo esta situación más real, el verdadero impacto de los aisladores. No obstante, los valores de rentabilidad social, estimados en la presente memoria, son auspiciosos para que, con resultados más afinados, diseñar una política pública para instalar aisladores en edificios sociales, sin que las familias se vean afectadas por el incremento del monto a pagar.

## 8 Bibliografía

- Bazan, E., & Meli, R. (1999). *Diseño Sísmico de Edificios*. México: LIMUSA.
- BBC. (17 de Septiembre de 2015). ¿Porqué hay tantos terremotos en Chile? *BBC Mundo*. Obtenido de [http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/09/150917\\_terremoto\\_chile\\_porque\\_lp](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/09/150917_terremoto_chile_porque_lp)
- Biblioteca Nacional de Chile. (2016). *Los terremotos en Chile (1570-2010)*. Obtenido de Memoria Chilena: <http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-3576.html#presentacion>
- Centro Sismológico Nacional [CSN]. (2012-2017). *Registro de Eventos Significativos*. Obtenido de CSN, Universidad de Chile: <http://evtdb.csn.uchile.cl/events>
- Comité ACI 224. (2001). *224R-01: Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón*.
- Comité ACI 318. (2005). *Requisitos de reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentarios (ACI 318SR-05)*.
- Comunicaciones FCFM - U. de Chile. (27 de 04 de 2012). Sergio Barrientos Explica Diferencias en la Magnitud de los Sismos. *Beauchef al Día*. Obtenido de <http://boletin.ing.uchile.cl/~boletin/boletin/noticia/magnitud-sismos-es-medida-con-diversas-f-rmulas>
- CONSULTORA BDL. (2014a). *Presupuesto Itemizado Proyecto "Estudio de Normalización y Puesta en Marcha Condominio Cerro Tarapacá I"*. Revisión 1.
- CONSULTORA BDL. (2014b). *Presupuesto Itemizado Proyecto "Estudio de Normalización y Puesta en Marcha Condominio Cerro Tarapacá II"*. Revisión 1.
- CONSULTORA BDL. (2014c). *Presupuesto Itemizado Proyecto "Estudio de Normalización y Puesta en Marcha Condominio San Lorenzo"*. Revisión 1.
- de la Llera, P., Pedrals, I., & Lobos, P. (2014). Conjunto Nueva Paniahue, Santa Cruz, Chile. *ARQ* (86). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962014000100008>
- División de Evaluación Social de Inversiones. (2013). *Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias*. Santiago: Ministerio de Desarrollo Social.
- Gálvez, P. (2013). *Ondas (P y S) (R y L)*. Obtenido de Mediciones Sísmicas e Investigación: <http://geofisicasismospgf.blogspot.cl/p/ondas-p-y-ondas-s.html>
- Gorgas, J., Cardiel, N., & Zamorano, J. (2011). *Estadística Básica para Estudiantes de Ciencias*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de [http://pendientedemigracion.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/ESTADISTICA/libro\\_GCZ2009.pdf](http://pendientedemigracion.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/ESTADISTICA/libro_GCZ2009.pdf)

SOLO USO ACADÉMICO