

U N I V E R S I D A D D E L B I O - B I O
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Ing. Cristian Belmar.

Profesores Comisión: Ing. Gilda Espinoza.

Ing. Alexander Opazo.

**INCIDENCIA DE FACTORES DE MODIFICACIÓN DE
RESPUESTA Y DENSIDAD DE MUROS EN LOS
COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE
MEDIANA ALTURA.**

PROYECTO DE TÍTULO PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS REQUISITOS PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

YASNA CATHERINE AGUILERA CONTRERAS

CONCEPCIÓN, OCTUBRE 2013

NOMECLATURA

P: Peso total del edificio sobre el nivel basal, calculado en la forma indicada en 6.2.3.3 de la NCh433.

INCIDENCIA DE FACTORES DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA Y DENSIDAD DE MUROS EN LOS COSTOS DE CONSTRUCCION DE EDIFICIOS DE MEDIANA ALTURA.

Autor: Yasna Catherine Aguilera Contreras.

Departamento Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del BioBio.

yaaguile@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Cristian Marcelo Belmar González.

cbelmarg@ubiobio.cl

Departamento Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del BioBio.

RESUMEN

Tras el sismo ocurrido en Chile el año 2010 se efectuaron una serie de modificaciones en la normativa de diseño sísmico de edificios, es así como se generan los decretos supremos DS60 y DS61. Se efectuaron cambios tanto en la normativa de diseño sísmico como en los criterios de diseño de elementos de hormigón armado.

En el presente estudio se da respuesta a la siguiente interrogante. ¿Cuánto inciden en los costos de construcción de edificios de mediana altura las modificaciones establecidas en las normas de diseño sísmico de edificios?

Para dar respuesta a esta interrogante se diseñaron 18 modelos de edificios fundados en suelo tipo B: se trata de 3 arquitecturas diferentes (I, II y III) con 3 densidades de muros en planta variables (2%, 2.5%, y 3%) y los dos factores de modificación de respuesta permitidos por la nueva normativa ($R=4$ y $R=7$).

Escogidas las configuraciones de los edificios se realizó el análisis y el diseño sísmico de cada uno de ellos, obteniendo la cuantía de acero de cada muro que forma parte del sistema estructural.

Como resultado de esta investigación, se realizó un análisis de la incidencia de las variables en estudio en los costos constructivos de edificios de mediana altura emplazados en suelo

tipo B. Finalmente, se tiene que para este tipo de suelo, el factor de modificación de respuesta no incide en los costos de construcción, por lo que es conveniente diseñar con factor R igual a 4.

Palabras clave: Costos de Construcción, Edificio Sismorresistente, Modificaciones Norma Chilena.

5887Palabras Texto + 14Figuras/Tablas*250 =9387 Palabras Totales

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	10
2.1	Estudios relacionados	11
2.2	Normativa utilizada.....	12
2.2.1	Norma NCh433.Of1996 modificada en 2009.....	12
2.2.2	Decreto Supremo Número 61	12
2.2.3	ACI 318S-08.....	12
2.2.4	Norma NCh 430.Of2008	12
2.2.5	Decreto supremo Número 60.....	12
2.2.6	NCh 3171.Of2010	13
2.2.7	NCh 15 37.Of2010	13
3	METODOLOGÍA.....	14
4	DESARROLLO.....	16
4.1	Características generales de los edificios estudiados.....	16
4.2	Densidades en planta	18
4.3	Parámetros normativos de los edificios.	19
4.3.1	Zonificación sísmica.....	19
4.3.2	Clasificación de ocupación de edificios	20
4.3.3	Tipo de suelo de fundación.....	20
4.3.4	Factores de modificación de respuesta	20
4.4	Materialidad	21
4.5	Modelación estructural	21
4.6	Modelación de cargas solicitantes	22
4.7	Análisis estructural	22

4.8	Diseño sísmico.....	22
4.9	Diseño y cálculo de los edificios	23
4.9.1	Diseño muros ordinarios.....	23
4.9.2	Diseño muros especiales.....	23
4.10	Resultados del diseño y cálculo	24
5	ANÁLISIS Y RESULTADOS	25
5.1	Análisis sísmico estático	25
5.1.1	Incidencia del factor de modificación de respuesta.....	25
5.1.2	Incidencia de la densidad de muros	27
5.2	Elementos de hormigón armado	28
5.2.1	Volumen de hormigón	28
5.2.2	Acero requerido	29
6	INCIDENCIA ECONÓMICA DE LOS PARÁMETROS ESTUDIADOS.....	31
6.1	Análisis estadístico	31
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	32
8	REFERENCIAS	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Esquema Metodología de Trabajo	14
Figura 3.2 Matriz De Combinación Datos.....	15
Figura 4.1 Planta I	17
Figura 4.2 Planta II	17
Figura 4.3 Planta III.....	18
Figura 4.4 Obtención densidades en planta	19
Figura 5.1 Esfuerzo de corte basal por modelo en cada dirección de análisis	26
Figura 5.2 Peso sísmico por modelo.....	27
Figura 5.3 Volumen de hormigón en muros.....	29
Figura 5.4 Acero requerido por modelo	30
Figura 5.5 Acero requerido por elemento estructural.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Edificios estudiados según SPDR	16
Tabla 5.1 Resumen Análisis Sísmico Por Modelo.	26
Tabla 6.1 Prueba T para medias de dos muestras emparejadas.....	31

1 INTRODUCCIÓN

Debido al gran auge que ha tenido la construcción en los últimos años, en Chile es muy común ver edificios habitacionales de hormigón armado. Es por esta razón que este estudio está motivado en base a que las viviendas de hormigón representan una atractiva alternativa como sistema masivo de construcción por su calidad y costos.

En este trabajo se expone la incidencia de las modificaciones a la norma NCh433 of. 1996, tras el terremoto ocurrido en Chile el 27 de febrero de 2010, en lo que se refiere a cómo influye en los costos constructivos de edificios de mediana altura la utilización de diferentes factores de modificación de respuesta R asociados a densidades de muro en plantas variables.

Se requiere obtener el costo de construcción asociado a un suelo tipo B, ya definido en la norma NCh433 of.1996 y modificado en el decreto supremo número 61 (DS61).

El presente informe forma parte de un estudio completo donde se considera, además los suelos tipo C y D. Esta investigación se concentra en edificios de tipo habitacional, donde los costos asociados a la construcción son preponderantes para su ejecución.

Por último, con los resultados obtenidos se pretende entregar una herramienta de decisión para un diseño sísmico confiable y económico, tanto para empresas constructoras como para oficinas de ingeniería.

1.1 Antecedentes generales

Tras las consecuencias del terremoto ocurrido en Chile el año 2010, se efectuaron cambios en la normativa de diseño sísmico de edificios. El 14 de febrero de 2011 fueron publicados en el Diario Oficial los decretos de emergencia DS117 y DS118, que modifican las normas NCh 433 of.1996 y NCh430 of.2008. Al llevar a la práctica el DS117 se observó que los costos de las construcciones aumentaban considerablemente, que los espesores de los muros resultaban inadmisibles para las condiciones normales de construcción en Chile, inhabilitando la reactivación del sector. Además a la fecha sólo se contaba con información parcial de los daños y causas producto del sismo, por lo que fue necesaria una nueva reglamentación, publicada el 13 de Diciembre de 2011: se trata de los decretos DS60 y DS61. La nueva reglamentación permite utilizar dos factores de modificación de respuesta

(R) para realizar el diseño sísmico de edificios de mediana altura, dichos factores están directamente relacionados con la fuerza sísmica inducida al edificio por el sismo.

La normativa sísmica señala que el criterio de diseño de los muros de hormigón armado depende del factor de modificación de respuesta utilizado para el diseño sísmico del edificio; por lo anterior, la cuantía necesaria para darles capacidad a los muros está directamente relacionada con el R utilizado.

Se estudiaron edificios con densidades de muros fijas de 2%, 2,5% y 3%, estos valores fueron determinados a partir de las recomendaciones de diseño basadas en el comportamiento de edificios para el terremoto del 3 de marzo de 1985 en la zona central de Chile. Según estudios, a la fecha los edificios chilenos contaban con una densidad de muros fluctuante entre 1,5% y el 3,5%, rango en el cual se observó que los edificios prácticamente no sufrieron daños estructurales (Wood, 1991). Cabe destacar que la norma chilena de diseño sísmico de edificios ha considerado para el diseño un corte basal mínimo, lo que ha significado en la práctica aumentar la rigidez de la estructura, y en la versión que aplicaba hasta antes de 1986 se controlaba la torsión en planta de una forma tal que contribuyó al uso de mejores distribuciones de los muros en planta. Es por esto que, a consecuencia de dichos criterios, el “modelo chileno de edificios de hormigón armado” se caracteriza por tener casi sin excepción muros estructurales de gran densidad (Calderón, 2007).

1.2 Identificación y justificación del problema

Chile durante toda su existencia ha sido un país sísmico por naturaleza. En los últimos cinco siglos, se ha producido en promedio un terremoto destructor de magnitud superior a 8 cada 10 años en alguna parte del territorio chileno, y ha producido gran daño y gran número de pérdidas de vidas humanas. El nivel de sismicidad es tal que en los últimos 35 años desde 1962 se han producido más de 4.000 sismos de magnitud superior a 5 (Madariaga, 1998). Es indudable que esta sismicidad es causa permanente de preocupación y estudio.

En la madrugada del 27 de febrero de 2010, la zona centro-sur de nuestro país fue sacudida por un fuerte movimiento telúrico acompañado de tsunamis en las zonas costeras. El sismo alcanzó una magnitud de 8,8 en la escala Richter y su epicentro se ubicó frente a las localidades de Curanipe y Cobquecura, cerca de 150 kilómetros al noroeste de Concepción y 63 kilómetros al suroeste de Cauquenes (USGS, 2010). En total, unas 500 mil viviendas

presentaron daños severos que dejaron cerca de 2 millones de personas damnificadas (Riquelme, C, 2010). Las víctimas fatales fueron 521 personas, con un saldo de 56 que aún continúan desaparecidas (Ministerio del Interior, 2010a, 2010b). Como consecuencia de este sismo, fue necesario modificar y complementar las normas NCh433 of.1996 y NCh430 of.2008; de esta forma se generaron los decretos supremos DS60 y DS61. Se efectuaron cambios tanto en la normativa de diseño sísmico de edificios, como en los criterios de diseño de elementos de hormigón armado. Lo anterior nos lleva a preguntarnos ¿Que incidencia tienen en los costos de construcción de edificios de mediana altura las modificaciones establecidas en los Decretos Supremos 60 y 61? Para dar respuesta a esta interrogante se genera la necesidad de realizar este estudio, donde se analizaron edificios con factor de modificación de respuesta variable y tres densidades de muros diferentes, emplazados en suelo tipo B. Bajo la nueva normativa, el diseño de edificios puede transitar por dos caminos, uno de ellos es con R igual a 4, donde el diseño de los muros es tradicional, mientras que el otro camino es con R igual a siete, donde el diseño de los muros es en base a una nueva filosofía que es desconocida para la mayoría de las oficinas de ingeniería. Es por esto que es necesario dar a conocer las incidencias que tiene esta nueva normativa de diseño sísmico de edificios, en lo referente a costos constructivos de edificios de mediana altura en base a muros de hormigón armado, con el propósito de encontrar la alternativa más eficiente y económica para uso habitacional.

1.3 Alcances del estudio

La presente investigación se enmarca en un estudio completo que involucra además a los suelos tipo C y D. Sin embargo, en este estudio solo se exponen los resultados obtenidos para suelo tipo B; identificándose la incidencia en los costos constructivos de edificios de mediana altura cuando se utilizan dos factores de modificación de respuesta diferentes asociados a densidades de muro en planta variables. La investigación busca encontrar la cuantía de acero necesaria para cada R asociado a las densidades de muros; por lo anterior y dado que son los muros los elementos que se ven más condicionados por los requisitos de los nuevos decretos, es que son los elementos de principal estudio.

Para cumplir con el escenario normativo, los elementos estructurales fueron diseñados de acuerdo a las disposiciones de la Norma Chilena NCh433.of 1996 y del Código ACI318-08

y conforme a las modificaciones establecidas en los correspondientes decretos supremos DS60 Y DS61.

En cuanto al estudio de costos de obra gruesa, se realizó la respectiva cubicación de acero y hormigón para cada edificio (sin incluir fundaciones), permitiendo así analizar económicamente la incidencia de los nuevos requerimientos de la normativa.

Con los resultados obtenidos se pretende entregar una herramienta de decisión para un diseño sísmico confiable y económico, tanto para empresas constructoras como para oficinas de ingeniería.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Investigar cuál es la incidencia y cómo se relacionan en los costos de construcción, las variables “densidad de muros” y “factor de modificación de respuesta” en edificios de mediana altura emplazados en suelo tipo B.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar la incidencia del factor de modificación de respuesta en la cuantía de acero requerida para un mismo edificio.
- Analizar la incidencia de la densidad de muros en los requerimientos de hormigón asociados a cada edificio.
- Comparar los costos de construcción asociados a los modelos en estudio, de acuerdo a las variables modificadas.

2 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

A continuación se discuten los antecedentes bibliográficos que sirven como base para este estudio, en lo que se refiere a la normativa vigente, a las modificaciones que ha sufrido tras

el terremoto acontecido en 2010 y a estudios que se han realizado a la fecha en relación al diseño sismorresistente de edificios y que guardan conexión con este trabajo. A través de la recopilación de antecedentes se buscó reunir información relevante y necesaria para la familiarización con el tema en estudio.

2.1 Estudios relacionados

Wood (1991) establece el perfil del denominado “Edificio Chileno” y analiza las densidades de muros utilizadas en el diseño de estos edificios, llegando a concluir que el “Edificio Chileno” posee un rango característico de densidades, en el cual se observó, tras el terremoto de 1985, que los edificios prácticamente no sufrieron daños estructurales.

Calderón (2007) realiza un estudio de 124 edificios, en su mayoría con densidades que van desde 0.02 a 0.035, estableciendo que el Edificio Chileno se caracteriza por tener (casi sin excepción) muros estructurales de gran densidad.

Mediante los estudios de estos dos autores se definen y justifican las densidades utilizadas para el diseño de los edificios analizados en este trabajo.

Rojas (2012) realiza un estudio comparativo de parámetros de respuesta sísmica y del diseño de elementos estructurales principales, a través de un análisis modal espectral de 18 edificios en altura de hormigón armado. Aquí se identifican las diferencias que resultan al aplicar el nuevo decreto, como lo es el aumento de volúmenes de hormigón y tonelaje de acero, donde el responsable es el confinamiento normativo.

Guendelman(2010) define el perfil Bío-Sísmico como una metodología de calificación sísmica de edificios de hormigón armado a través de la evaluación de indicadores que se comportan con valores considerados satisfactorios. Estos indicadores se agrupan en tres categorías: de rigidez, de redundancia estructural y de demanda de ductilidad, cubriendo así los diferentes aspectos considerados relevantes para una adecuada apreciación de las bondades y defectos de una estructura.

2.2 Normativa utilizada

2.2.1 Norma NCh433.Of1996 modificada en 2009

La NCh 433.Of 1996 modificada en 2009 establece los requisitos mínimos para el diseño sísmico de edificios. Es de importancia para este trabajo el estudio de esta norma, pues en ella se establecen ciertos parámetros como tipo de suelo de fundación, clasificación de ocupación, zonificación sísmica y factor de modificación de respuesta, los cuales son imprescindibles para el diseño sísmico de los modelos en estudio.

2.2.2 Decreto Supremo Número 61

Tras el terremoto de 2010 se hace necesaria una nueva reglamentación sobre el diseño sísmico de edificios; es así como el 13 de diciembre de 2011 es publicado en el diario oficial el DS61. En este se modifican ciertos aspectos de la NCh 433, entre ellos una nueva clasificación de suelos. El detalle de las modificaciones que tienen incidencia en este estudio se muestra en el anexo A del presente.

2.2.3 ACI 318S-08

Es el código de diseño de estructuras en base a hormigón armado.

2.2.4 Norma NCh 430.Of2008

Esta norma se basa en los criterios establecidos en el código ACI 318S-08: Es de importancia su conocimiento y comprensión, pues el diseño y cálculo de los elementos de hormigón armado de los edificios estudiados se realizó con base en estos fundamentos.

2.2.5 Decreto supremo Número 60

Al igual que el DS61, el DS60 es publicado tras el terremoto de 2010. En este decreto se modifican ciertos aspectos de la NCh430 Of.2008 se establecen nuevas consideraciones que se deben tener en cuanto al diseño de elementos de hormigón armado. Es de consideración para este estudio tener en cuenta que se redimensionaron los espesores de algunos muros junto a la armadura requerida, incorporándose además el confinamiento de muros. En el anexo A de la presente investigación se señalan las principales modificaciones establecidas en este decreto que tienen repercusión en este estudio.

2.2.6 NCh 3171.Of2010

Esta norma establece las disposiciones generales y combinaciones de carga que fueron utilizadas en el diseño de los edificios estudiados.

2.2.7 NCh 15 37.Of2010

Las cargas permanentes y cargas de uso consideradas en el diseño de los edificios de este estudio fueron evaluadas según las bases establecidas en esta norma.

3 METODOLOGÍA

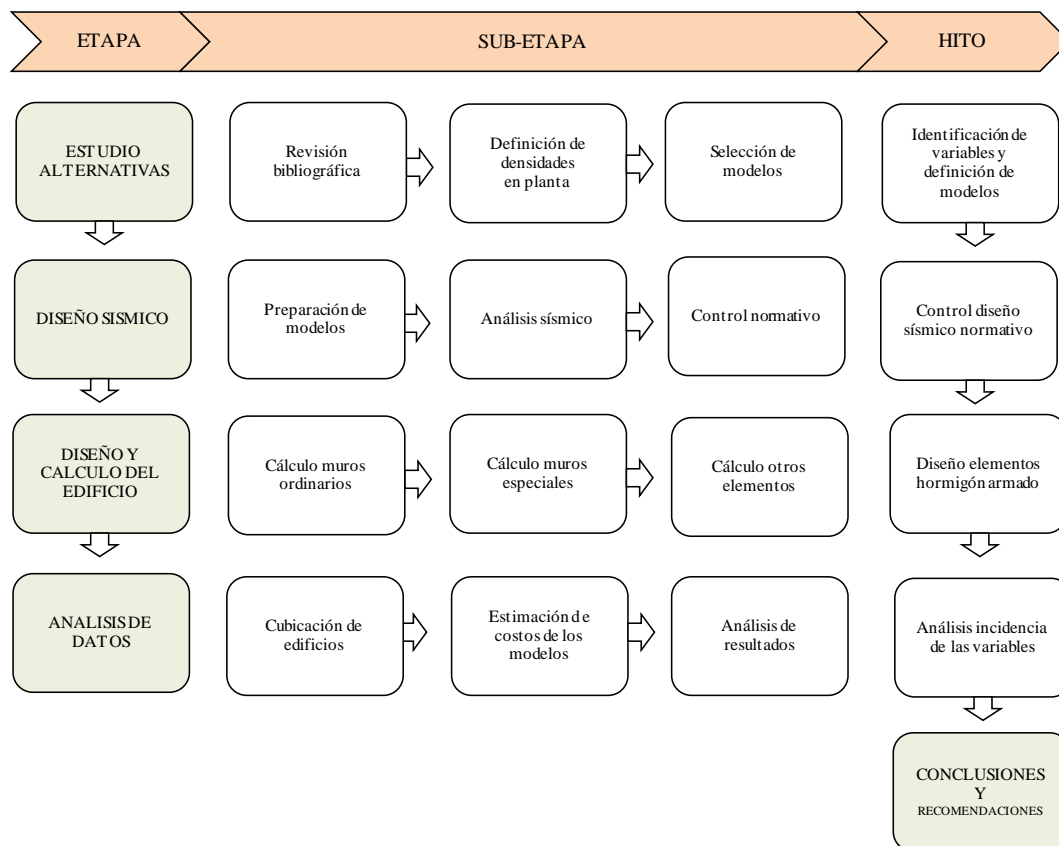


Figura 3.1 Esquema Metodología de Trabajo

La metodología de trabajo diseñada para el cumplimiento de los objetivos considera 4 etapas, con sus correspondientes sub-etapas. Al final de cada etapa se definieron hitos o logros de cumplimiento que describen y sintetizan el producto de cada una de ellas. La Figura 1 presenta esquemáticamente la metodología de trabajo propuesta.

En la primera etapa de trabajo se realizó un estudio de alternativas, lo que consistió básicamente en un estudio de antecedentes y una revisión bibliográfica y normativa para identificar el adecuado enfoque de este trabajo. Haciendo uso de los antecedentes recolectados, se definieron tanto las variables a modificar como la arquitectura para cada modelo en estudio. Cabe destacar que para lograr dar validez a esta investigación fue necesario determinar el número mínimo de modelos que se deben estudiar. Se realizó un análisis de alta precisión de potencia estadística, utilizando para ello el software G-Power,

donde el análisis estadístico señaló que se deben analizar 54 casos de edificios de mediana altura. En la tabla 1 se muestra tanto el número como las combinaciones de variables que se deben combinar y modificar.

Figura 3.2 Matriz De Combinación Datos

		Densidad de Muros		
		2,0%	2,5%	3,0%
Suelo tipo B	R=4	3	3	3
	R=7	3	3	3
Suelo tipo C	R=4	3	3	3
	R=7	3	3	3
Suelo tipo D	R=4	3	3	3
	R=7	3	3	3

Este estudio sólo enmarca el análisis para suelo tipo B, es por ello que en el presente informe sólo se presentarán resultados y conclusiones para los 18 casos de edificios correspondientes a este tipo de suelo.

La segunda etapa consistió en el análisis sísmico de cada modelo, cumpliendo de esta manera con el control normativo vigente.

En la tercera etapa se realizó el cálculo y diseño estructural de los elementos. Acá fueron calculados tanto los muros ordinarios como los muros especiales según los requerimientos de cada modelo, además de otros elementos estructurales como losas y vigas.

En la cuarta etapa se realizó un análisis de los datos obtenidos, lo que consistió en la ubicación de los edificios y en la obtención de los costos constructivos de cada uno de ellos. De esta forma se logró ver la dependencia de las variables, las relaciones que existen entre ellas y cuán incidentes son en los costos construcción.

Finalmente, se elaboraron conclusiones y posibles recomendaciones.

4 DESARROLLO

4.1 Características generales de los edificios estudiados

Para el desarrollo de este trabajo se estudió un total de 18 edificios con sistema estructural en base a muros de hormigón armado de 15 cm de espesor, todos con característica común 5 pisos de altura sin subterráneo y suelo de fundación tipo B. Se trata de edificios simétricos entre los cuales se presentan 3 plantas distintas, denominadas como planta I, planta II y planta III, las cuales presentan una distribución de muros en planta que cumple con densidades de 2, 2.5 y 3 % definidas de acuerdo a la literatura ya señalada. Además, las 3 plantas fueron estudiadas con los correspondientes factores de respuesta R igual 4 y R igual 7 permitidos por la normativa.

En la tabla 3.1 se definen los modelos en estudio según SPDR (tipo de suelo, planta, densidad y factor de modificación de respuesta).

En las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 se muestran los modelos correspondientes a las plantas I, II y III respectivamente.

Tabla 4.1 Edificios estudiados según SPDR

Edificios Estudiados			
Modelo	Planta tipo	D	R
B-I-2-4	I	2%	4
B-I-2-7	I	2%	7
B-I-2.5-4	I	2.50%	4
B-I-2.5-7	I	2.50%	7
B-I-3-4	I	3%	4
B-I-3-7	I	3%	7
B-II-2-4	II	2%	4
B-II-2-7	II	2%	7
B-II-2.5-4	II	2.50%	4
B-II-2.5-7	II	2.50%	7
B-II-3-4	II	3%	4
B-II-3-7	II	3%	7
B-III-2-4	III	2%	4
B-III-2-7	III	2%	7
B-III-2.5-4	III	2.50%	4
B-III-2.5-7	III	2.50%	7
B-III-3-4	III	3%	4
B-III-3-7	III	3%	7

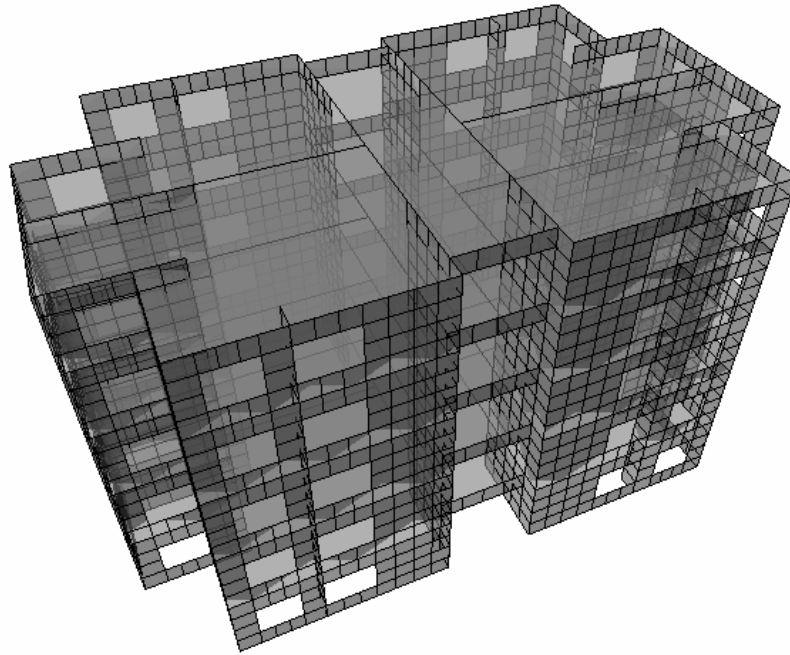


Figura 4.1 Planta I

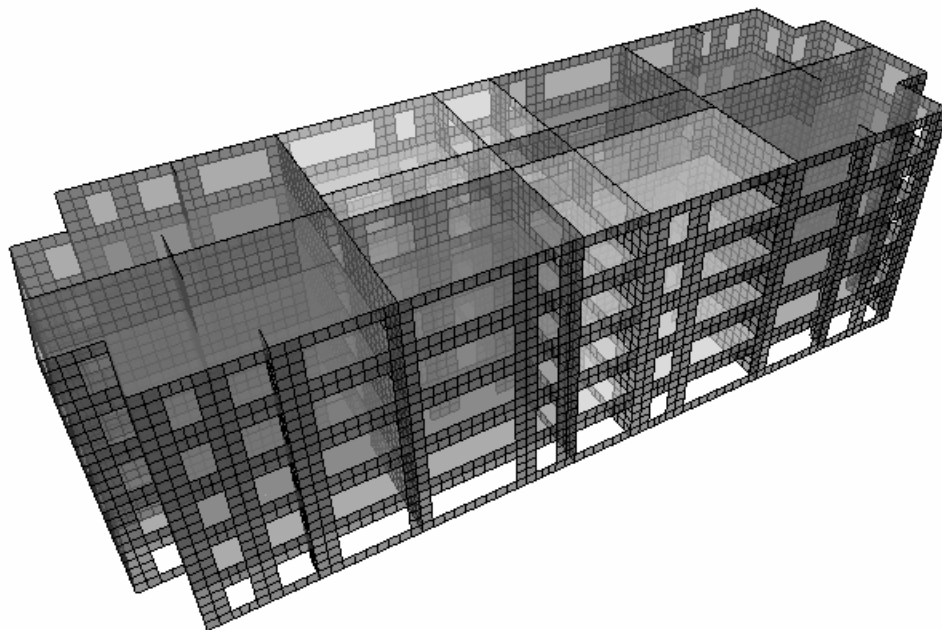


Figura 4.2 Planta II

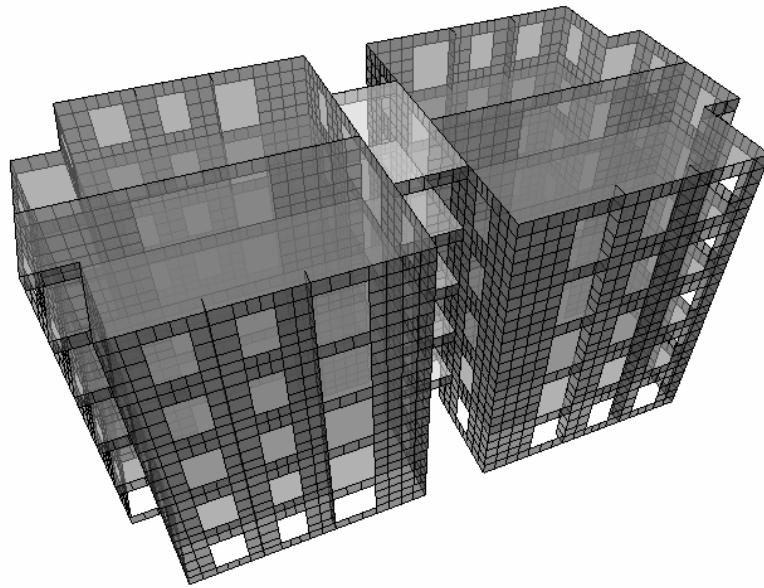


Figura 4.3 Planta III

4.2 Densidades en planta

Como fue señalado anteriormente el denominado “Edificio Chileno” cuenta con muros estructurales de gran dimensión, y en posteriores estudios alusivos al terremoto ocurrido en Chile en 1985 ha quedado demostrado su buen comportamiento estructural, en virtud de lo cual se justifica para este estudio las densidades utilizadas, las cuales corresponden a 2, 2.5 y 3%, densidades que están dentro del rango de densidades correspondientes al “Edificio Chileno” y que son comunes en edificios de mediana altura.

En el anexo C del presente se muestra en detalle las densidades en planta para cada modelo, las cuales fueron calculadas de la siguiente manera.

ajustan las dimensiones de las secciones de muros tanto en los ejes extremos del edificio como en los centrales hasta alcanzar los valores deseados.

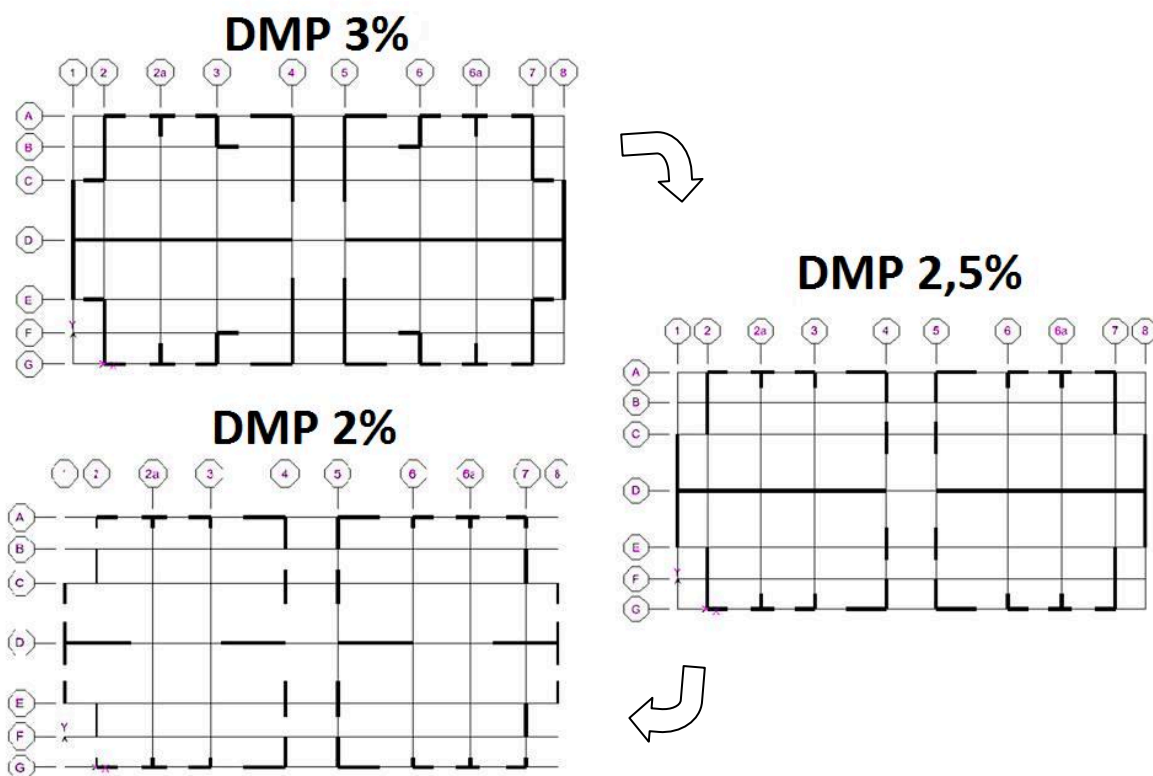


Figura 4.4 Obtención densidades en planta

4.3 Parámetros normativos de los edificios.

Los parámetros de diseño de los edificios estudiados se muestran a continuación y son asignados de acuerdo a las disposiciones de la norma chilena NCh 433.Of1996 modificada en 2009 “Diseño Sísmico de Edificios” y de acuerdo a las modificaciones a dicha norma establecidas en el DS61.

4.3.1 Zonificación sísmica

Respecto a lo establecido en el punto 4.1 de la NCh 433.Of996.mod, 2009 de la zonificación sísmica, los edificios estudiados se consideraran emplazados en zona sísmica III, por ser estimada como la zona sísmica más desfavorable. A esta zona sísmica le

corresponde un valor de aceleración efectiva obtenida de la tabla 6.2 de la norma sísmica correspondiente a:

Una de estas simplificaciones se logra con la introducción de factores de modificación de respuesta, también conocidos como factores R.

La resistencia a la acción sísmica que se suministra a una estructura puede hacer que ésta se aleje de un comportamiento elástico, lo que solo puede analizarse mediante un procedimiento de respuesta en el tiempo aplicado a un modelo no-lineal. La dificultad analítica que impone un análisis de esta índole ha desarrollado la incorporación de un factor R que se asocia a la determinación de un factor de modificación de la acción sísmica con objeto de generar un sismo de diseño, susceptible de analizar mediante el empleo de un modelo lineal. (Guendelman et al, 2010)

Una de las bases de este estudio es la utilización de dos factores de modificación de respuesta distintos, los que definen el camino a seguir en cuanto al cálculo y diseño de muros estructurales. Para este estudio se utilizaran los siguientes factores:

$$R= 7$$

$$R= 4$$

4.4 Materialidad

En la muestra de edificios estudiados el hormigón utilizado en los muros es H-30(con 10% de fracción defectuosa) y presenta las siguientes propiedades:

Resistencia cilíndrica a la compresión :

4.6 Modelación de cargas solicitantes

Para la modelación de las cargas solicitantes, fueron consideradas las normas NCh1537 y NCh3171, el peso propio queda definido por el material asignado a cada elemento, en los modelos la sobrecarga de uso es asignada a la losa del edificio. De acuerdo a la NCh1537 la sobrecarga utilizada es de 200 Kg/

4.9 Diseño y cálculo de los edificios

El diseño sísmico de los edificios fue realizado con base en el DS60, y de acuerdo a lo señalado en el artículo 1°, el diseño y cálculo de las estructuras de hormigón armado fue diseñado de acuerdo a los requerimientos y exigencias establecidas en el código de diseño ACI318. En el artículo 21.1.1.7, se permite el uso de muros ordinarios en estructuras de hasta cinco pisos que hayan sido diseñadas utilizando un factor de modificación de respuesta R igual a 4, lo que se hace válido para los modelos de este estudio que presentan dicho factor, no así para los modelos cuyo factor de modificación de respuesta es igual a 7; en este caso el diseño cumple con lo establecido en el punto 21.9 y los muros fueron diseñados como muros especiales.

Es importante dar a conocer las diferencias que existen entre ambos diseños: a continuación se observan las principales diferencias en el procedimiento de diseño de muros especiales y ordinarios.

4.9.1 *Diseño muros ordinarios*

En el chequeo de muros ordinarios para R igual 4 se debe realizar el siguiente procedimiento de diseño:

- Verificar el cumplimiento de los requerimientos de diseño a la rotura.
- Realizar diagrama de interacción 3D.
- Verificar que los puntos queden dentro del diagrama y en la zona baja (límite que impone el DS60)

4.9.2 *Diseño muros especiales*

El diseño con R igual 7 obliga a realizar un chequeo especial donde en primer lugar se debe estudiar la posibilidad de confinamiento, para ello se debe:

- Calcular el eje neutro límite, lo que implica además el cálculo del desplazamiento de techo, el cual depende de parámetros provenientes del análisis sísmico.
- Comparar el eje neutro límite con respecto al eje neutro de la sollicitación (el más desfavorable del análisis).

- Confinar, en caso que el eje neutro del muro analizado sea mayor que el eje neutro límite.
- De ser necesario el confinamiento, se debe calcular el largo a confinar junto con la armadura especial (estribos, trabas, empalmes especiales). Además, se debe aumentar el espesor del muro (sobre 30 cm).

En segundo lugar se debe verificar si está controlado el daño, para ello se debe:

- Verificar que la demanda de curvatura establecida por el DS60 sea menor o igual a la capacidad de curvatura, es decir, que la deformación en la fibra más comprimida sea menor o igual a 0.008.

Cabe destacar que ETABS entrega solo diagramas de interacción y no entrega ejes neutros. Sin embargo, para este chequeo se debe tener el valor del eje neutro, por lo que además se hace necesario el uso de Sectiondesing de SAP 2000.

De esta manera quedan establecidas las diferencias entre un chequeo con muros especiales y uno con muros ordinarios.

En los anexos del presente informe se entrega el diseño y cálculo, tanto de los muros como de los demás elementos estructurales.

4.10 Resultados del diseño y cálculo

Entre los 18 modelos se estableció una comparación de resultados provenientes del análisis sísmico correspondiente a la incidencia del factor de modificación de respuesta y a la incidencia de la densidad de muros en los parámetros sísmicos.

Se cubico la cantidad de hormigón y acero requerido para todos los elementos estructurales de los modelos en estudio y se analizó la incidencia de las variables modificadas en el costo de obra gruesa.

5 ANALISIS Y RESULTADOS

5.1 Análisis sísmico estático

Del análisis estático se obtienen los resultados que se muestran en el anexo E de este informe, en él se explica tanto el método utilizado, como los resultados obtenidos para un mismo modelo analizado con distinto factor de modificación de respuesta.

El peso del edificio sobre el nivel basal fue calculado con las cargas permanentes más un 25% de la sobrecarga de uso. El corte basal fue estimado según las consideraciones de la normativa sísmica Chilena.

5.1.1 Incidencia del factor de modificación de respuesta

Se observa que el corte basal presenta diferencias entre un mismo modelo analizado con un factor de modificación distinto, lo que se explica de acuerdo a los valores que toma el coeficiente

Tabla 5.1 Resumen Análisis Sísmico Por Modelo.

MODELO	ÁREA (m2)	P (Ton)	Qox (Ton)	Qoy (Ton)
B-I-2-4	940	918.7	202.1	202.1
B-I-2-7		918.7	128.6	128.6
B-I-2.5-4		983.0	216.3	216.3
B-I-2.5-7		983.0	137.6	137.6
B-I-3-4		1053.5	231.8	231.8
B-I-3-7		1053.5	147.5	147.5
B-II-2-4	1985	1903.9	418.9	418.9
B-II-2-7		1903.9	266.5	266.5
B-II-2.5-4		1986.2	437.0	437.0
B-II-2.5-7		1986.2	278.1	278.1
B-II-3-4		2095.5	461.0	461.0
B-II-3-7		2095.5	293.4	293.4
B-III-2-4	970	974.6	214.4	214.4
B-III-2-7		974.6	136.4	136.4
B-III-2.5-4		1025.8	225.7	225.7
B-III-2.5-7		1025.8	143.6	143.6
B-III-3-4		1078.2	237.2	237.2
B-III-3-7		1078.2	150.9	150.9

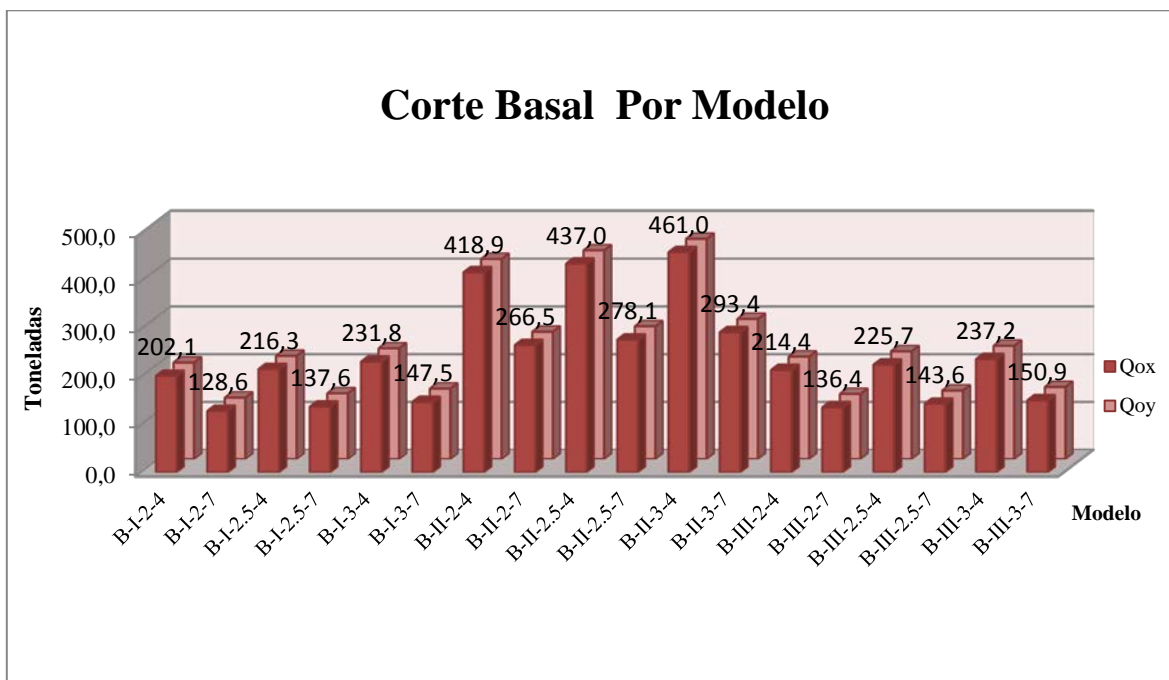


Figura 5.1 Esfuerzo de corte basal por modelo en cada dirección de análisis

5.1.2 Incidencia de la densidad de muros

La densidad de muros en planta incide de forma directamente proporcional en el peso sísmico de cada modelo, no así el factor de modificación de repuesta, que no se relaciona de ninguna forma con este, lo cual se ve reflejado en la figura 5.2, donde se muestran los valores del peso sísmico para cada modelo en estudio. En la figura se observa que para un mismo modelo con distinto R el peso sísmico se mantiene constante, y que mientras mayor sea la densidad en planta de muros, mayor es el peso sísmico a nivel basal de la estructura, lo que se repite para las tres plantas estudiadas.

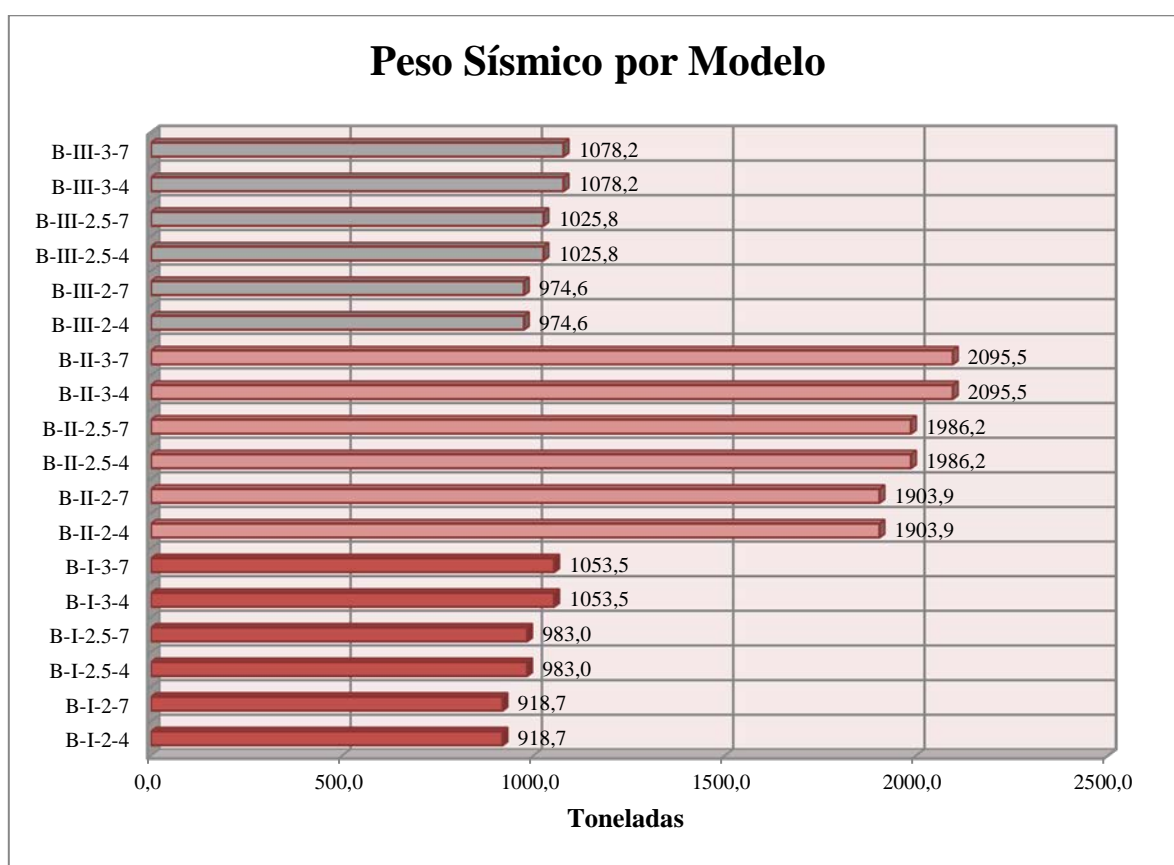


Figura 5.2 Peso sísmico por modelo

Sería importante destacar que el peso sísmico es preponderante en la obtención del corte basal de la estructura, pues mientras mayor sea el peso sísmico, mayor será el corte a nivel

basal; del mismo modo, se obtienen tanto esfuerzos sísmicos como momentos de torsión proporcionalmente mayores.

5.2 Elementos de hormigón armado

Los resultados del diseño y cálculo de elementos de hormigón armado se presentan en los anexos F al J del presente informe, en ellos se informa finalmente que para un suelo tipo B se requiere armadura mínima para todas las secciones de muros.

A continuación se resumen los resultados en toneladas y metros cúbicos de material para los edificios estudiados.

5.2.1 Volumen de hormigón

Con la puesta en práctica de la nueva normativa resulta lógico asumir que los volúmenes de hormigón podrían verse afectados tras el diseño de muros especiales, es decir en los modelos que fueron diseñados con R igual 7 podrían haberse obtenido mayores volúmenes de hormigón, debido al confinamiento de muros que obliga a diseñar con espesores sobre los 300mm. Sin embargo, para un suelo tipo B en los modelos de este estudio no se registraron muros con confinamiento, por lo que las secciones mantienen sus espesores y el volumen de hormigón solo depende de la superficie del edificio y de la densidad de muros en planta.

En la figura 5.3 se observa el volumen de hormigón correspondiente a los muros de cada modelo. Se verifica que el volumen es contante para un mismo modelo diseñado con distinto factor R y que solo depende de lo anteriormente señalado.

En cuanto al volumen de hormigón por cada elemento estructural, se observa que se mantiene constante en losas y vigas, ya que depende sólo de la dimensión de las secciones y de la arquitectura del modelo. Del mismo modo el hormigón requerido para los muros varía conforme al aumento de densidades de cada arquitectura en planta.

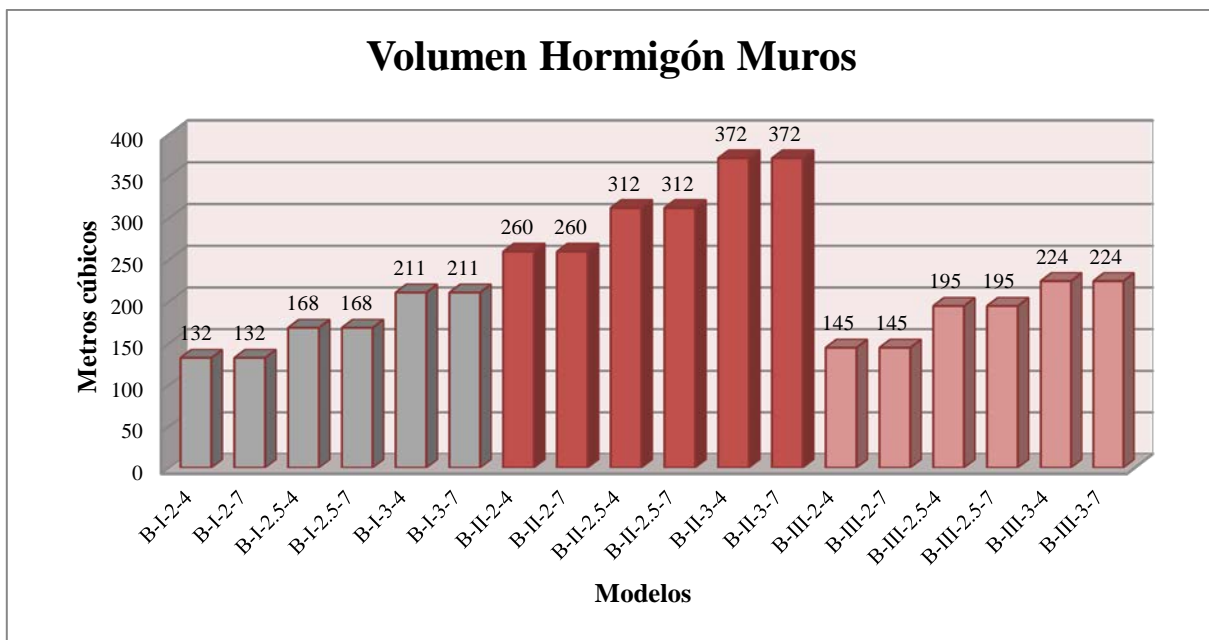


Figura 5.3 Volumen de hormigón en muros

5.2.2 Acero requerido

Se calculó la cantidad de acero total por elemento estructural, los resultados de las cubicaciones se muestran en la figura 5.4. Como era de esperar, la armadura requerida es proporcional a la superficie del edificio y a la densidad de muros en planta de este, tal como se observa en la figura 5.4 donde los modelos con planta I requieren menor armadura, pues poseen la menor superficie correspondiente a los modelos estudiados. Además, se observa un aumento de armadura proporcional a la densidad de muros de cada modelo; sin embargo se destaca el modelo B-III-2-4 al cual le corresponde una cantidad de fierro total mayor que al modelo B-III-2.5-4, producto de la armadura en punta de los muros, que es mayor para el modelo B-III-2-4 pues posee un mayor número de secciones de muros que el modelo B-III-2.5-4, debido al criterio utilizado en la obtención de las densidades en planta, donde se hizo necesario separar una sección de muro en dos secciones de menor dimensión para alcanzar la densidad requerida.

Cabe destacar que la armadura de la losa es igual para los modelos de una misma planta. Análogamente, la armadura de las vigas de acople es constante para los modelos que solo difieren en el factor de respuesta utilizado (ver figura 5.5).

Para suelo tipo B la cuantía necesaria para armar los muros, ya sea utilizando R igual 4 o R igual 7, corresponde a la mínima. Para todos los modelos se cubió utilizando enfierradura $\phi 8@20$ en cada sección de muro salvo para el pier N°6 del modelo B-I-3-4 y para el pier N°5 del modelo B-III-2.5-4 a los cuales les corresponde una enfierradura $\phi 8@18$; sin embargo, los resultados en toneladas prácticamente no varían y se observa una diferencia menor al 1% entre la cantidad acero requerido para los modelos B-I-3-7 y B-I-3-4.

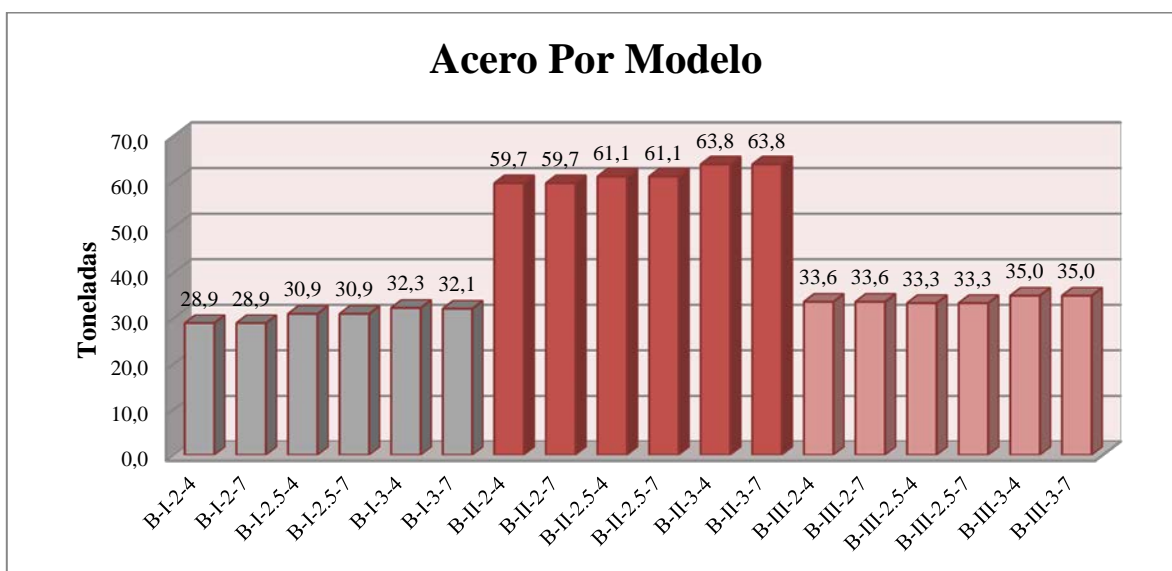


Figura 5.4 Acero requerido por modelo

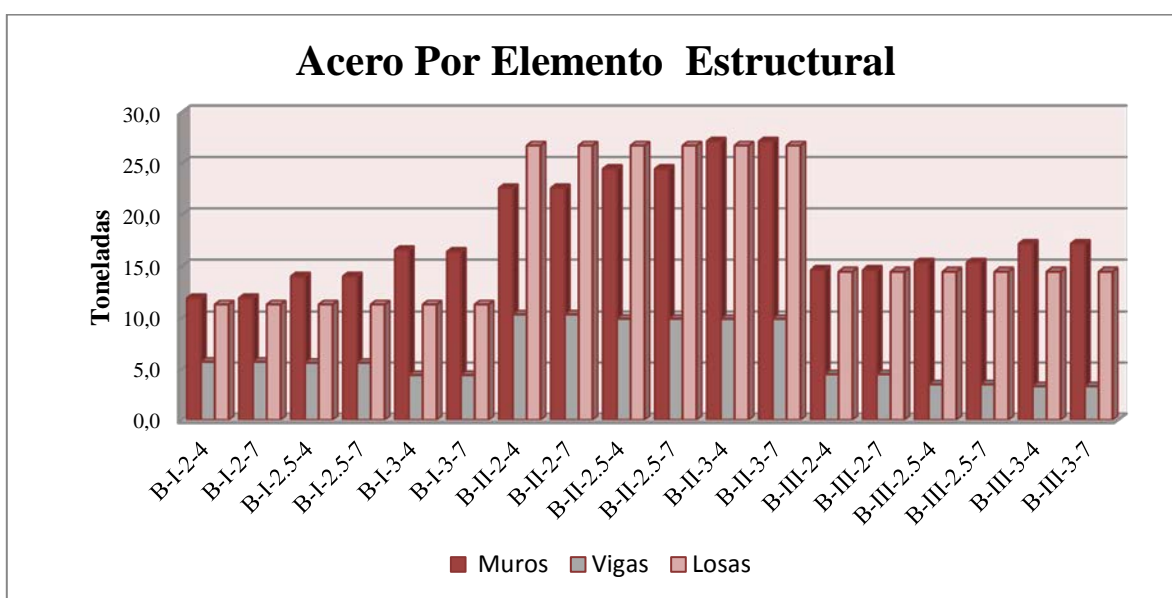


Figura 5.5 Acero requerido por elemento estructural

6 INCIDENCIA ECONÓMICA DE LOS PARÁMETROS ESTUDIADOS

En términos económicos, se observa que no es posible reducir el costo de construcción de edificios diseñados con R igual a 7, ya que la cuantía requerida para el tipo de suelo estudiado es la mínima y además corresponde a la misma asociada a un factor de modificación R igual a 4. Siendo así, es conveniente económicamente diseñar los muros como “muros ordinarios, es decir, con R igual 4, debido al aumento en el costo de cálculo traducido en horas que requiere el diseño de muros especiales tras las modificaciones a la normativa sísmica chilena.

Por otro lado, se observa y se ratifica con estudios anteriores que las densidades utilizadas en este estudio son óptimas para un funcionamiento estructural adecuado, por lo que es conveniente económicamente diseñar con densidades en planta de 2%, si se comparan los resultados obtenidos para densidades de 2% y 3% se observa que se puede llegar a reducir los costos de acero y hormigón aproximadamente un 7 y 10% respectivamente.

6.1 Análisis estadístico

De los resultados a simple vista se observa que no hay diferencia en el acero requerido utilizando ambos factores R. Sin embargo, mediante un análisis estadístico se desarrolló la prueba T de student para comprobar que efectivamente no existen diferencias significativas entre los modelos estudiados con los dos factores de modificación de respuesta expuestos.

Este test consiste en contrastar 2 hipótesis habrá una hipótesis cero llamada “hipótesis nula” y una “hipótesis llamada hipótesis alternativa”; la hipótesis nula denota igualdad mientras que la hipótesis alternativa se quiere contrastar. La tabla 6.1 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 6.1 Prueba T para medias de dos muestras emparejadas

Prueba T Para Medias de Dos Muestras Emparejadas		
	Variable 1 (R4)	Variable 2 (R7)
Media	42.06	42.04
Varianza	216.74	217.18
Coefficiente de correlación de Pearson	1.00	
Diferencia hipotética de las medias	0.00	
Estadístico t	1.00	
P(T<=t) una cola	0.17	

El test se hizo en relación a la hipótesis nula con un 98% de confianza y no indica rechazo por lo que se concluye que las cuantías de acero requeridas para ambas muestras de datos son iguales.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para edificios de mediana altura fundados en suelo tipo B se obtienen prácticamente los mismos resultados en cuanto a cuantías de acero requeridas, utilizando factores de respuesta R igual 4 y R igual 7, debido a las restricciones normativas para la calidad del suelo, de modo que del análisis estático se obtienen solicitaciones sísmicas que hacen que las estructuras analizadas de ambas formas requieran enfierradura mínima.

Los edificios estudiados cumplen con el perfil del denominado “Edificio Chileno”, por lo que, en términos económicos, es recomendable diseñar con una densidad en planta de muros de 2%, pues se obtiene un ahorro en hormigón y acero de hasta un 10 % y 7% respectivamente.

Para este tipo de suelo los muros analizados con R igual 7 no requieren confinamiento, de modo que las secciones mantienen sus espesores al no necesitar cabezales de muros. Siendo así, el volumen de hormigón solo depende de la superficie del edificio y de la densidad de muros en planta, y la cuantía de acero requerida coincide con la cuantía asociada a los modelos con R igual 4.

Si bien se obtienen mayores solicitaciones sísmicas para modelos analizados con R igual 4, esto no afecta a la cuantía de acero requerida. Es por esto que para el diseño de edificios de mediana altura emplazados en suelo tipo B es conveniente el uso de este factor; de este modo se reduce el tiempo destinado a análisis y diseño de muros traduciéndose en una disminución del costo asociado al cálculo.

8 REFERENCIAS

American Concrete Institute. “ACI 318S-08: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”, Detroit, 1995.

Calderón, J (2007) “Actualización de tipologías estructurales usadas en edificios de hormigón armado en Chile”. Memoria para optar al de título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Santiago.

Guendelman, T., Guendelman, M., Lindenberg, J. (2010) “Perfil Bío-Sísmico de edificios”. Revista BiT. Ed. Mayo de 2010.

Madariaga, R (1998). “Sismicidad de Chile” Département de Sismologie, Université Denis Diderot de Paris 7, France.

Ministerio del Interior-Gobierno de Chile (2010a). “Fallecidos confirmados con RUT y certificado de defunción de registro civil”. (Actualizado al 15/04/2010).

Norma Chilena NCh430. Of2008, “Hormigón Armado – Requisitos de Diseño y Cálculo”, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 2008.

Norma Chilena NCh433. Of1996, “Diseño Sísmico de Edificios”, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 1996.

Norma Chilena NCh1537. Of2010, “Diseño Estructural de Edificios – Cargas Permanentes y Sobrecargas de Uso”, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 2010.

Norma Chilena NCh3171. Of2010, “Diseño Estructural – Disposiciones Generales y Combinaciones de Carga”, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 2010.

Riquelme, C. (2010). “El terremoto en Chile deja 795 muertos y dos millones de damnificados”. Europapress. Ed. 03 de marzo de 2010.

Rojas, J “Comparación de parámetros de respuesta sísmica y diseño para elementos estructurales principales de edificios en altura de hormigón armado, frente a los requerimientos de los decretos supremos 60 y 61”. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile, Santiago.

USGS - United States Geological Survey (2010). Tsunami and earthquake research.

Wood, S. L., “Performance of reinforced concrete buildings during the 1985 ChileEarthquake: Implications for the design of structural walls”, Earthquake Spectra, EERI.

