

Comparación de los parámetros de diseño sísmico para edificios en altura de hormigón armado, frente a normativas latinoamericanas.



Autor: Iván Peñailillo Cabrera
Profesor Guía: Manuel Carrasco Yefi
Universidad Andrés Bello, Facultad de Ingeniería
Escuela de obras civiles
Santiago de Chile, 2022

Resumen:

Tanto en Chile como en los demás países de Latinoamérica se produce una gran cantidad de sismos y eventos telúricos, por esto, cada país tiene su respectiva normativa para el diseño sísmico de edificios los cuales tienen como alcance principal evitar el colapso de las estructuras. Sin embargo, estas normativas pueden diferir en parámetros, restricciones y límites entre unas y otras.

Por esto, el objetivo de la investigación es realizar una comparativa de los parámetros y condiciones del diseño sísmico para edificios habitacionales de hormigón armado en Sudamérica y el caribe, comparando las normativas de 4 países; **Chile, Perú, Colombia y Guatemala**. La manera de abordar el estudio fue desarrollar el modelamiento de un edificio habitacional en base a muros de 2 alturas distintas y de 2 espesores distintos de muro, a estos modelos se les introdujo el espectro de diseño sísmico de dichos países en análisis, los parámetros que definen el espectro de diseño dependen mayormente de sus condiciones dadas por su zona geográfica, el tipo de suelo y tipo de edificación.

A través del estudio y los ensayos realizados se puede observar que el diseño sísmico chileno utiliza las mayores sobrecargas de uso, una magnitud de corte basal y aceleración espectral de diseño, en general, más baja que el promedio, y una limitante de desplazamientos entre pisos menores al resto. Se puede demostrar que el diseño sísmico chileno es uno de los mejores de Latinoamérica y del mundo, ya que la curva del espectro de diseño permite utilizar aceleraciones de diseño más convenientes y también evitar un corte basal sobredimensionado, todo esto considerando altas sobrecargas de uso y combinaciones de carga desfavorables.

De los procedimientos de diseño sísmico y también de los resultados, para cada uno de los países en estudio, se obtiene un interesante análisis donde se permitiría hacer converger y unificar ideas y métodos generando importantes avances a nivel continental, todo esto se comenta con más detalle al final del documento investigativo.

Palabras claves: Diseño sísmico Latinoamérica

Abstract:

In Chile and in other Latin American countries, a large number of earthquakes and telluric events occur, for this reason, each country has its respective regulations for the seismic design of buildings whose main objective is to prevent the collapse of structures. However, these regulations may differ in parameters, restrictions and limits between each other.

For this reason, the objective of the research is to make a comparison of the parameters and conditions of the seismic design for residential buildings of reinforced concrete in South America and the Caribbean, comparing the regulations of 4 countries; **Chile, Peru, Colombia and Guatemala**. The way to approach the study was to develop the modeling of a residential building based on walls of 2 different heights and 2 different wall thicknesses. The seismic design spectrum of said countries under analysis was introduced to these models, the parameters that define the design spectrum depend mainly on their conditions given by their geographical area, the type of soil and the type of building.

Through the study and the results, it can be observed that the Chilean seismic design uses the highest loads of use, a magnitude of basal shear and design spectral acceleration, in general, lower than the average, and a limitation of displacements between lower floors. to the rest. It can be shown that the Chilean seismic design is one of the best in Latin America and the world, since the design spectrum curve allows the use of more convenient design accelerations and also a non-oversized basal shear, all this considering high loads of use and unfavorable load combinations.

From the seismic design procedures and from the results, for each of the countries under study, an interesting analysis is obtained that would allow the convergence and unification of ideas and methods, generating important advances at the continental level, all of this is commented in more detail at end of the paper.

1.- INTRODUCCIÓN

Chile, Sudamérica y Latinoamérica son zonas que sufren constantes eventos sísmicos, este territorio se encuentra ubicado sobre la placa sudamericana, y en su borde convergen en subducción las placas de Nazca y Antártica tal como se muestra en la figura 1.1. Estas interacciones entre placas producen deformaciones en el continente Sudamericano, y cuando la energía acumulada es suficiente, se generan los terremotos y movimientos telúricos que se pueden percibir en la superficie.

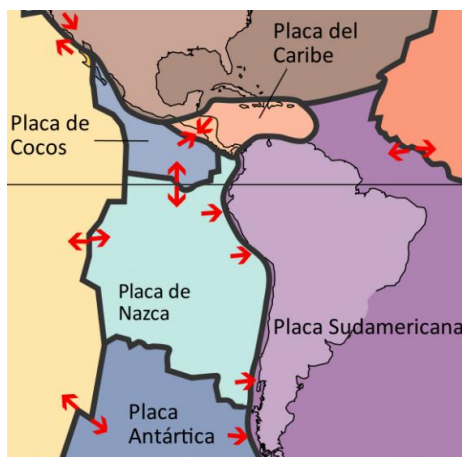


Figura 1.1. Placas sudamericanas. Fuente: USGS. (2010). Cropped Beyond my Ken (talk)

Debido a esto, cada país tiene su propia normativa para el diseño sísmico de sus edificaciones, ya sean estructuras habitacionales, comerciales o industriales, estas normas regulan las condiciones con que deben contar las construcciones con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable, se tiene como alcance principal evitar deformaciones, daños y/o colapso de la estructura.

En el estudio de investigación se analizó y comparó las normas de **Chile, Perú, Colombia y Guatemala**, todos estos países tienen importantes avances en ingeniería sísmica a nivel latinoamericano. Se busca

identificar las diferencias cuando se comparen entre sí, cada una tiene distintas maneras para generar la función del espectro de diseño sísmico, sin embargo, en términos de parámetros, todas tienen una forma similar. Por ejemplo, cambiando la zona sísmica y tipo de suelo las curvas pueden cambiar como se indica en la figura 1.2, acá se muestran las curvas diferenciadas en zona sísmica (Z) y tipo de suelo (S).

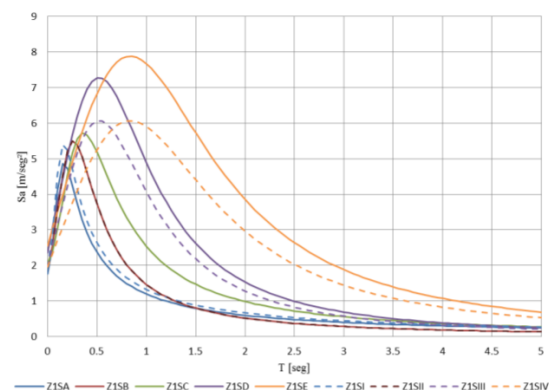


Figura 1.2. Espectros de diseño. Fuente: Guendelman, T y Larraín, A. (2012). Comparación parámetros sísmicos [Figura 1.2] U. de Chile

A pesar de que los parámetros que generan la curva sean similares, esta curva puede ser distinta entre países, y dos edificios pueden ser distintos en su diseño final. Por ejemplo, un edificio construido en el norte de Chile (Arica) puede ser muy distinto a uno construido en el sur de Perú (Tacna), a pesar de que geográficamente se encuentren cerca y sus condiciones de suelo sean similares, al final pueden diferir bastante en el diseño final debido solamente a sus diferencias de espectros de diseño y restricciones normativas. Es fundamental comprender que cada país tiene su propio método para determinar el espectro de diseño sísmico.

2.- OBJETIVOS

2.1.- Objetivo general:

- Desarrollar un estudio comparativo de los parámetros generales en las normativas de diseño sísmico de 4 países latinoamericanos: Chile, Perú, Colombia y Guatemala.

2.2.- Objetivos específicos:

- Elaborar los espectros de diseño sísmico a utilizar según la normativa correspondiente a cada país y obtener resultados a través de un análisis modal espectral.
- Modelar edificios habitacionales en base a muros de dos espesores distintos (15 y 20cm) y de dos alturas distintas (8 y 15 pisos) y destacar diferencias entre sí.
- Realizar una comparativa de los resultados que permita dar una conclusión relevante sobre la diferencia de los parámetros utilizados.
- Identificar si el diseño sísmico cumple o no cumple con las restricciones indicadas en las normas de cada país.

3.- METODOLOGÍA

3.1.- Estudio de normas sísmicas

Se estudiaron las normativas de diseño sísmico chilena NCh433, norma peruana E.030, norma colombiana NSR-10, y norma guatemalteca NSE-3.

También se necesitó estudiar algunas normas que complementan el diseño sísmico de cada país.

3.2.- Esfuerzo de corte basal

Se calculó el corte basal según la normativa sísmica de cada uno de los países. El corte basal es la fuerza horizontal reactiva en la base del edificio producto de una demanda sísmica, se le llama corte basal inelástico cuando está reducido por el factor de reducción R, que depende de su sistema estructural.

Las ecuaciones para determinar el corte basal para cada uno de los países se detallan a continuación:

CHILE: El esfuerzo de corte basal está dado por:

$$Q_0 = CIP$$

Donde:

$$C = \frac{2.75 * S * A_0}{g * R} * \left(\frac{T'}{T^o}\right)^n = \text{coeficiente sísmico}$$

I = Coeficiente importancia del edificio

P = Peso total del edificio sobre nivel basal

S, n, T' = parámetros relativos tipo de suelo

A₀ = parámetro relativo a zona sísmica

R = factor de reducción

T^o = período modo mayor masa traslacional

PERÚ: La fuerza cortante total en la base de la estructura se determina por la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z*U*C*S}{R} * P$$

Donde:

Z = Factor de zona

U = Factor de uso o importancia

C = Factor de amplificación sísmica

S = Factor de amplificación de suelo

R = Coeficiente de reducción

P = Peso total de la edificación

COLOMBIA: El cortante sísmico en la base, V_s , equivalente a la totalidad de los efectos horizontales, se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_s = S_a * g * M$$

Donde:

S_a = aceleración de diseño

g = aceleración de gravedad

M = Masa total de la edificación

GUATEMALA: El total de fuerzas sísmicas equivalentes, se representará por medio de la expresión:

$$V_b = C_s W_s$$

Donde:

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R} = \text{coeficiente sísmico}$$

S_a = es la demanda sísmica de diseño (pseudo-aceleración en función del período)

R = es el factor de reducción

T = Período fundamental de vibración

W_s = es el peso total de la edificación

Cabe recalcar que en las normas de cada uno de los países está estipulado que existe un límite mínimo para el corte basal, pero sólo para el caso de Chile, también existe un límite máximo, esto último está indicado en el artículo 6.2.3.1.2 de la NCh433.

3.3.- Espectros de diseño

Se realizaron los espectros de diseño en base a las normas para los 4 países. Estos espectros de diseño se generan, en general, a partir de los siguientes parámetros:

-Zona sísmica: se representa según ubicación geográfica donde está ubicada la estructura, es un parámetro que indica que un sismo puede aportar mayores aceleraciones mientras más es su cercanía a la costa del océano pacífico.

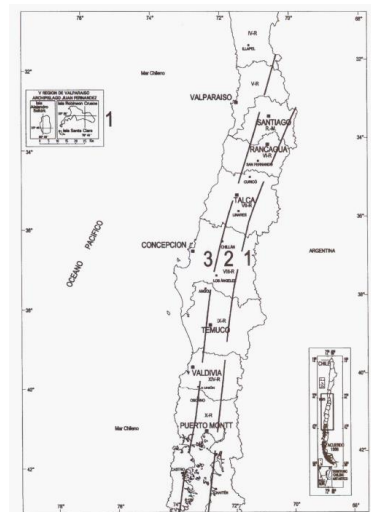


Figura 3.1. Zonas sísmicas chilenas. Fuente: NCh433. (2009). Figura 4.1 Zonificación sísmica.

-Tipo de suelo: se clasifican según la competencia o compactación en donde está situada la estructura, un suelo más compacto o duro generará velocidades de ondas de corte mayores a uno de compacidad mediana o baja.

	Suelo Tipo	V_{s30} (m/s)	RQD	q_u (MPa)	(N_1) (golpes/pie)	S_u (MPa)
A	Roca, suelo cementado	≥ 900	$\geq 50\%$	≥ 10 ($c_{90} \leq 2\%$)		
B	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o muy firme	≥ 500		$\geq 0,40$ ($c_{90} \leq 2\%$)	≥ 50	
C	Suelo denso o firme	≥ 350		$\geq 0,30$ ($c_{90} \leq 2\%$)	≥ 40	
D	Suelo medianamente denso, o firme	≥ 180			≥ 30	$\geq 0,05$
E	Suelo de compactidad, o consistencia mediana	< 180			≥ 20	$< 0,05$
F	Suelos Especiales	*	*	*	*	*

Figura 3.2. Tipos de suelo. Fuente: NCh433. (2009). Tabla 4.1. Clasificación de terreno.

-Importancia de la edificación: hace referencia al tipo de estructura que se realiza; sea gubernamental, habitacional, de grandes conglomeraciones tipo mall o bajas tipo bodega, mientras más importante es, más conservador es el diseño.

-Factor reducción: depende del sistema estructural y del tipo material principal de la edificación, distinto es un edificio en base a muros a uno en base a pórticos. Se traduce en la “disipación” de energía a través de las deformaciones admisibles en sus elementos.

La función del espectro de diseño es la ecuación que permite generar la curva que se puede ver representada en los gráficos de la figura 3.3, estas funciones se resumen para cada país a continuación:

CHILE: El espectro de diseño chileno de pseudo aceleraciones que determina la resistencia sísmica de la estructura está definido por:

$$Sa = \frac{S \cdot A_o \cdot \alpha}{(R^\circ / I)} * g$$

Donde:

A_o = valor que depende de zona sísmica
 S = tipo de suelo
 α = parámetro que depende del período
 I = nivel de importancia
 R° = factor de reducción.

PERÚ: La aceleración espectral peruana para cada una de las direcciones analizadas es un espectro inelástico de pseudo aceleraciones definido por:

$$Sa = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} * g$$

Donde:

Z = valor que depende de zona sísmica
 U = factor de uso (importancia)
 C = factor de amplificación, según periodo
 S = factor de suelo
 R = factor de reducción

COLOMBIA: La forma del espectro de pseudo aceleraciones depende de un conjunto de funciones:

Si $T > T_0$

$$Sa = 2.5 * Aa * Fa * I * (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0})$$

Si $T_0 < T < T_c$:

$$Sa(T) = 2.5 * Aa * Fa * I$$

Si $T_c < T < T_l$:

$$Sa(T) = \frac{1,2 \cdot Av \cdot Fv \cdot I}{T \cdot R}$$

Si $T_l < T$:

$$Sa(T) = \frac{1,2 \cdot Av \cdot Fv \cdot T_l \cdot I}{T \cdot T \cdot R}$$

Donde:

Aa = Coeficiente aceleración horizontal
 Av = Coeficiente velocidad horizontal
 Fa = Coeficiente de período corto
 Fv = Coeficiente de período intermedio
 I = Factor de importancia
 T_0 = Período de inicio
 T_c = Período de aceleración constante.
 T_l = Período de transición constante y descendente
 R = factor de reducción.

GUATEMALA: Las ordenadas espectrales para Guatemala también se definen por un conjunto de funciones detalladas a continuación:

Si $T < T_s$

$$Sa1(T) = Scd$$

Si $T > T_s$

$$Sa2(T) = \frac{S1d}{T}$$

Donde:

Scr = Ordenada espectral período corto

S1r = Ordenada espectral de período de 1seg

Scd = K_d/F_a

Scs = $Scr \cdot F_a$

S1d = $K_d \cdot S1s$

S1s = $S1r \cdot F_v$

F_a, F_v = Factores de sitio

K_d = Probabilidad ocurrencia del sismo (imp)

S1s = Ajuste por clase de sitio

T = Período utilizado

T_s = Período característico

R = Factor de reducción

Teniendo en cuenta esto, y otros detalles de cada norma, se puede generar el espectro de diseño que queda en función a los parámetros mencionados.

3.4.- Espectros de diseño a utilizar

Se comenzó a generar combinaciones de parámetros, tales que, las curvas generadas, que son el espectro de diseño, tengan magnitudes y comportamientos similares para realizar una comparativa más efectiva.

A continuación, en la tabla 3.1, se detallan los parámetros elegidos para cada caso:

País	Zona sísmica	Tipo de suelo	Importancia	Factor de reducción
Chile	2	C	II	7
Perú	3	S1	C	6
Colombia	6 y 6	C	I	5
Guatemala	3.2	C	II	6

Tabla 3.1. Parámetros escogidos para diseño

Las curvas del espectro de diseño superpuestas para el estudio de cada caso y país se reflejan en la figura 3.3:

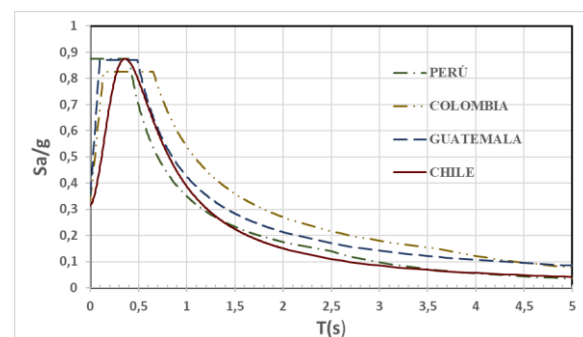


Figura 3.3. Espectros de diseño superpuesto.
Fuente: elaboración propia.

Estos espectros de diseño se incorporaron al software ETABS 16.2.0 donde se modelarían posteriormente los edificios habitacionales.

Cabe recalcar que **se mantendrá esta nomenclatura en los gráficos** de líneas que se muestren más adelante para evitar la confusión:

País	Tipo	Línea
Chile	Continua	————
Perú	Raya-rótula	— · · —
Colombia	Raya-doble rótula	— · · ·
Guatemala	Segmentada	—— —

Tabla 3.2. Espectros de diseño superpuesto.
Fuente: elaboración propia.

3.5. Sobrecargas de uso

Cada país tiene también estipulado en sus normas cuál es la magnitud de la sobrecarga, o carga viva, a la que estará sometida la estructura. En la tabla 3.2 se indican los valores utilizados y cada norma referente:

País	Norma	Carga [kgf/m ²]		
		Habitación	Balcón	Techo
Chile	NCh1537	200	500	100
Perú	E.020	200	500	100
Colombia	NSR-10	180	500	100
Guatemala	NSE-2	200	300	0

Tabla 3.3. Sobrecargas de uso según normativas

En la norma de Guatemala no especifica ninguna sobrecarga en el techo por lo que se decide utilizar 0.

3.6.- Combinaciones de cargas

Todos los países tienen sus propias combinaciones de cargas estipuladas en cada norma, las combinaciones para resistencia última (LRFD) que se utilizan para el diseño de estado último del hormigón armado, tal cual indica ACI-318/08, se reflejan a continuación:

3.5.1. CHILE - NCh3171 Combinaciones de carga:

Ecuación	Combinación de carga
(1.a)	1.4D
(2.a)	1.2D + 1.6L + 0.5(Lr o S o R)
(3.a)	1.2D + 1.6(Lr o S o R) + L
(4.a)	1.2D + 1.6W + L + 0.5(Lr o S o R)
(5.a)	1.2D + 1.4E + L + 0.2S
(6.a)	0.9D + 1.6W
(7.a)	0.9D + 1.4E

Tabla 3.4. Combinaciones de carga Chile

Donde:

D =carga permanente

E = carga sísmica

L = carga de uso (viva)

Lr = cargas de uso de techo

R = carga de lluvia

S = carga de nieve

W = carga de viento

3.5.2. PERÚ – E.060 Norma técnica de edificación:

Ecuación	Combinación de carga
(1.b)	1.4CM + 1.7CV
(2.b)	1.25(CM + CV +- CVi)
(3.b)	0.9CM +- 1.25CVi
(4.b)	1.25(CM + CV) +- CS
(5.b)	0.9CM +- CS
(6.b)	1.4CM + 1.7CV + 1.7CE
(7.b)	0.9CM + 1.7CE
(8.b)	1.4CM + 1.7CV + 1.4CL

Tabla 3.5. Combinaciones de carga Perú

Donde:

CM = carga muerta

CV = carga viva

CVi = carga viento

CS = carga sismo

CE = carga empuje de suelos

CL = presión de líquidos

Cargas de impacto, nieve o granizo se considera en las cargas vivas CV.

3.5.3. COLOMBIA – NSR-10 Combinaciones de carga:

Ecuación	Combinación de carga
(1.c)	1.4(D + F)
(2.c)	1.2(D+F+T)+1.6(L+H)+0.5(Lr ó G ó Le)
(3.c)	1.2D + 1.6(Lr +o G +o Le) + (L ó 0.8W)
(4.c)	1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(Lr ó G ó Le)
(5.c)	1.2D + 1.0E + 1.0L
(6.c)	0.9D + 1.6W + 1.6H
(7.c)	0.9D + 1.0E + 1.6H

Tabla 3.6. Combinaciones de carga Colombia

Donde:

D = carga muerta

E = fuerzas sísmicas reducidas

F = cargas por fluidos

T = fuerzas por variación de temperatura

L = cargas vivas

G = carga debido al granizo

W = carga de viento

Lr = carga viva sobre cubierta

Le = carga de empozamiento de agua

H = carga debido al empuje de suelo

3.5.4. GUATEMALA – NSE-2 Normas de seguridad estructural:

Ecuación	Combinación de carga
(1.d)	1.4M
(2.d)	1.2M + 1.6V + 0.5(Vt ó Pl)
(3.d)	1.2M + V + 1.6(Vt ó Pl)
(4.d)	1.2M + V + S
(5.d)	0.9M +- S
(6.d)	1.0M +- S
(7.d)	1.2M + V + 1.3W + 0.5(Pl ó vt)
(8.d)	0.9M +- 1.3W

Tabla 3.7. Combinaciones de carga Guatemala

Donde:

M = cargas muertas

V = cargas vivas

Vt = cargas de techo

S = carga sísmica

W = carga de viento

Pl = cargas de lluvia

Para cada país, se genera una combinación extra llamada Envolvente, esta reúne a todas las combinaciones anteriores para determinar así los esfuerzos máximos y mínimos de los

elementos que se necesiten diseñar. Los nombres abreviados de estas combinaciones son ECh, EP, EC y EG para Chile, Perú, Colombia y Guatemala respectivamente.

Es interesante notar que **sólo para el caso chileno** el efecto del sismo está aumentado **1.4 veces**, es considerablemente mayor al resto y se debe tener en cuenta al analizar los resultados finales.

A modo de referencia se citan a continuación las combinaciones de carga estipuladas por el ACI 318-08 en su apartado 5.3.1 – Combinaciones de carga.

Ecuación	Combinación de carga
(1.e)	1.4D
(2.e)	1.2D + 1.6L + 0.5(Lr ó S ó R)
(3.e)	1.2D + 1.6(Lr ó S ó R) + (1.0L ó 0.5W)
(4.e)	1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(Lr ó S ó R)
(5.e)	1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S
(6.e)	0.9D + 1.0W
(7.e)	0.9D + 1.0E

Tabla 3.8. Combinaciones de carga según ACI318-08

Donde:

D = carga muerta

L = carga viva

Lr = carga de techo

S = carga de nieve

R = carga de lluvia

W = carga de viento

E = carga de sismo

3.7. Modelamiento del edificio

La estructura modelada corresponde a un edificio habitacional en base a muros. Se digitalizó la planta (figura 3.4) del edificio, esta estructura es real y se encuentra en la comuna de Las Condes, Santiago de Chile.

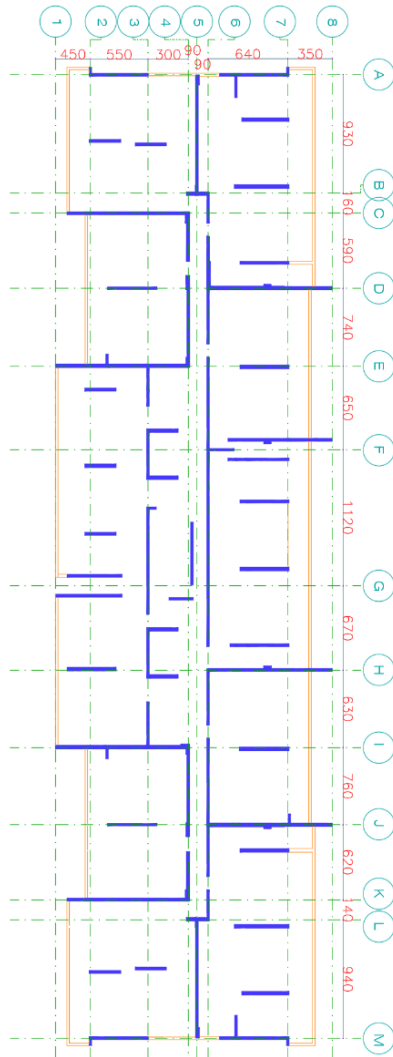


Figura 3.4. Dibujo rotado en planta del edificio.
Fuente: elaboración propia

El edificio se modeló de 8 y de 15 pisos de altura, y para espesores de muro de 15cm y 20cm, un total de 4 modelos para cada país, es decir 16 modelos en total.

Para tener una referencia de coordenadas cartesianas, el eje X de la estructura corresponde al eje longitudinal (más largo) del edificio, mientras que el eje Y es el más corto, por eso la figura 3.4 está rotada.

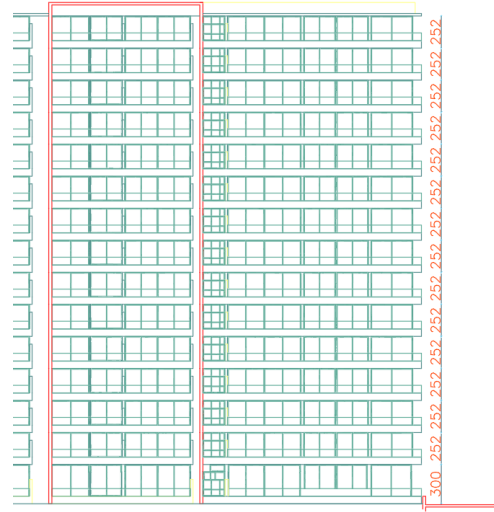


Figura 3.5. Dibujo en elevación del edificio.
Fuente: elaboración propia

En la figura 3.5 se pueden notar las alturas utilizadas para modelar el edificio, el primer nivel tiene 3 metros de altura y todo el resto de los pisos 2.52m.

La especificación y calidad de los materiales utilizados (hormigón y el acero) para la modelación, se resumen en la tabla 3.3 para cada país:

País	Material	
	Hormigón	Acero
Chile	Calidad G25	A630-420H
Perú	f'c 25MPa	Corrugado
Colombia	Tipo 1-2-2,5	Corrugado
Guatemala	25MPa	Grado 60

Tabla 3.9. Materiales utilizados para la modelación

Todos los materiales utilizados son de igual resistencia para cada país.

País	Resistencia	
	Hormigón (f'c)	Acero
Chile	250kg/cm ²	fy: 4200kg/cm ² E: 2100000
Perú	250kg/cm ²	fy: 4200kg/cm ² E: 2100000
Colombia	250kg/cm ²	fy: 4200kg/cm ² E: 2100000
Guatemala	250kg/cm ²	fy: 4200kg/cm ² E: 2100000

Tabla 3.10. Resistencia de los materiales

Las dimensiones de los elementos con los que se diseñó son:

Elemento	Dimensión [cm]
Espesor Losas	14
Espesor Muros	15 y 20
Espesor Vigas Invertidas	15 y 20
Altura Vigas Invertidas	125

Tabla 3.11. Dimensiones de elementos estructurales

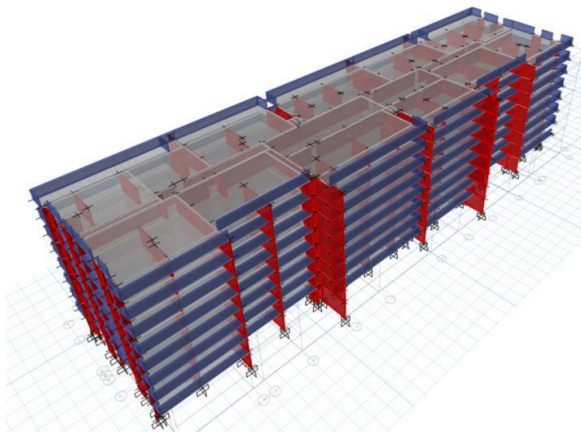


Figura 3.6. Isométrica modelo edificio 8 pisos.
Fuente: elaboración propia

A partir de aquí se utilizará una nomenclatura para diferenciar cada modelo diseñado:

Número de pisos	Espesor de muro	Nomenclatura
8	15	8p15cm
8	20	8p20cm
15	15	15p15cm
15	20	15p20cm

Tabla 3.12. Nomenclatura de modelos

Como los espectros de diseño ya están definidos e incorporados al software, se puede correr el modelo y extraer los datos de importancia para cada caso modelado como, por ejemplo, los valores de la magnitud del cortante basal de cada modelo, los desplazamientos máximos entre piso medidos en cualquier punto de la planta o también conocer los esfuerzos máximos y mínimos de sus muros.

4.- RESULTADOS Y COMENTARIOS

Interesa analizar distintos tipos de resultados, se hablará en detalle en cada punto:

4.1. Masa sísmica

Corresponde a la masa total considerada para el análisis y modelamiento de la estructura. Para todos los casos, o sea los 4 países, se indica en sus normas que para el caso de edificios habitacionales el peso sísmico corresponde al 100% del peso propio o muerto del edificio, sumado con un 25% de la sobrecarga de uso o carga viva.

Como existe un total de 4 tipos de modelos distintos, existen 16 masas que se resumen en la siguiente tabla:

Modelo	Masa sísmica [Ton]			
	8 pisos 15cm	8 pisos 20cm	15 pisos 15cm	15 pisos 20cm
Chile	9293	10156	17531	19131
Perú	9293	10156	17531	19131
Colombia	9248	10110	17440	19040
Guatemala	9188	10051	17320	18921

Tabla 4.1. Masas sísmicas de los modelos

Para una mejor comparativa de resultados se muestran graficados en la figura 4.1.

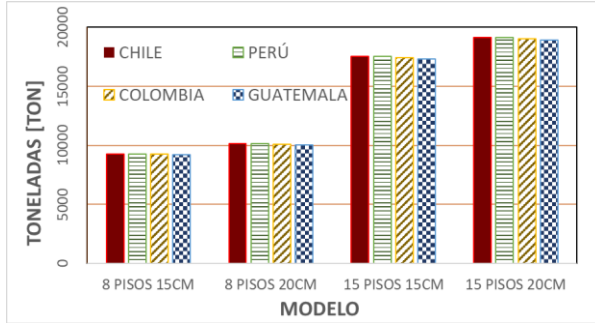


Figura 4.1. Masas sísmicas de modelos. Fuente: elaboración propia

Chile y Perú utilizan la misma masa sísmica debido a que sus cargas de uso son de igual magnitud, en el caso de Colombia son un poco menores ya que su carga viva es de 180kgf/m^2 , y la de Guatemala es la menor de todas porque en sus balcones considera tan solo 300kgf/m^2 y además en su último nivel no se diseña con sobrecargas de uso.

Las diferencias porcentuales entre las masas, dentro de cada modelo, son aproximadamente del 1%, mínimas considerando las magnitudes totales como se muestra en el gráfico de la figura 4.1.

4.2. Período fundamental de la estructura

Los períodos de la estructura dependen principalmente de la masa sísmica y de la rigidez de la estructura, para los diferentes tipos de modelos realizados y dirección, estos se resumen en la siguiente tabla:

País	Modelo	Período fundamental Tx [s]	Período fundamental Ty [s]
Chile, Perú, Colombia y Guatemala	8 pisos (15cm)	0.186	0.218
	8 pisos (20cm)	0.171	0.201
	15pisos (15cm)	0.397	0.546
	15 pisos (20cm)	0.378	0.506

Tabla 4.2. Períodos fundamentales para ambas direcciones

A pesar de que las masas sísmicas de los modelos no son siempre las mismas, estas no marcan una diferencia importante en el período fundamental para ninguna de las direcciones analizadas. Se diferencian al quinto decimal (0,01%), esto significa que la diferencia del período entre uno y otro país, dentro del mismo modelo, es tan pequeña que se desprecia y se consideran como igual.

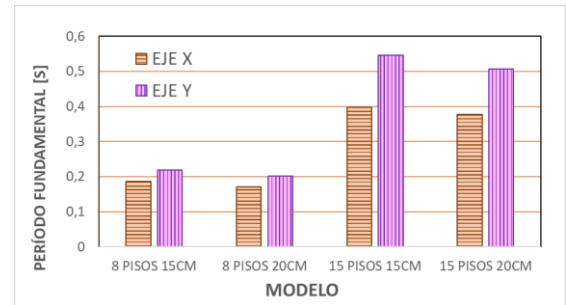


Figura 4.2. Períodos fundamentales de modelos. Fuente: elaboración propia

Se ve que los edificios de 8 pisos tienen un período menor que el de 15 pisos, ya que, al conservar la misma planta, la estructura de 8 niveles es más rígida por tener menor longitud de muro en altura.

Los edificios con muros más gruesos (20cm) tienen períodos más cortos que los de muros de 15cm, esto se debe a que estos últimos son menos rígidos.

El modelo con mayor período es el edificio de 15 pisos y 15cm, mientras que el modelo con períodos más cortos es el de 8 pisos y 20cm.

4.3. Aceleración espectral de diseño

A partir de los gráficos de los espectros de diseño superpuestos, se puede determinar el valor de la magnitud de la aceleración espectral (S_a) para el diseño de la estructura según su período fundamental. Ver tablas 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6.

Edificio 8 pisos 15cm		
Eje	X	Y
Período [s]	0.186	0.218
Aceleración Sa/g		
Chile	0.662	0.737
Perú	0.875	0.875
Colombia	0.825	0.825
Guatemala	0.871	0.871

Tabla 4.3. Aceleraciones espectrales 8p15cm

Edificio 8 pisos 20cm		
Eje	X	Y
Período [s]	0.171	0.201
Aceleración Sa/g		
Chile	0.627	0.696
Perú	0.875	0.875
Colombia	0.825	0.825
Guatemala	0.871	0.871

Tabla 4.4. Aceleraciones espectrales 8p20cm

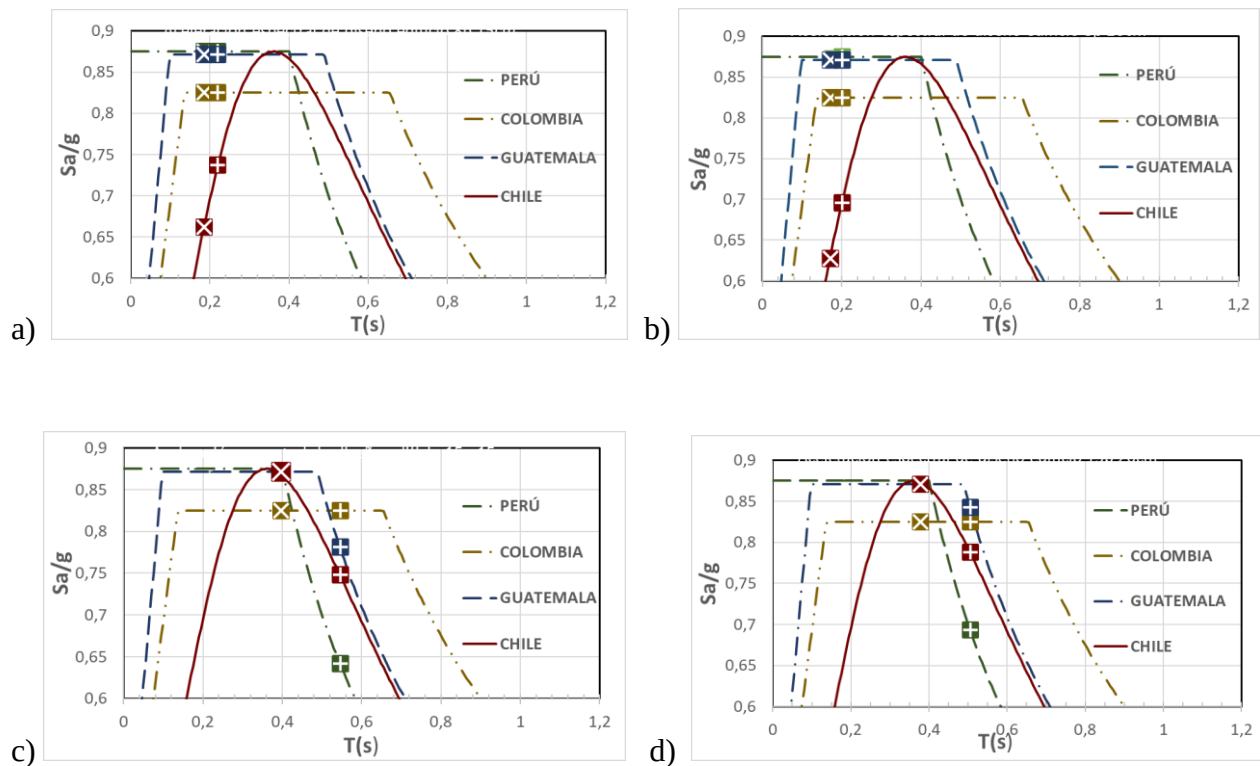
Edificio 15 pisos 15cm		
Eje	X	Y
Período [s]	0.397	0.546
Aceleración Sa/g		
Chile	0.868	0.748
Perú	0.875	0.642
Colombia	0.825	0.825
Guatemala	0.871	0.871

Tabla 4.5. Aceleraciones espectrales 15p15cm

Edificio 15 pisos 20cm		
Eje	X	Y
Período [s]	0.378	0.506
Aceleración Sa/g		
Chile	0.873	0.788
Perú	0.875	0.693
Colombia	0.825	0.825
Guatemala	0.871	0.843

Tabla 4.6. Aceleraciones espectrales 15p20cm

Figura 4.3. Aceleraciones espectrales de diseño



Modelo: a) 8p15cm;

b) 8p20cm;

c) 15p15cm;

d) 15p20cm

Imágenes por elaboración propia.

En la figura 4.3 se indica con un cuadrado con una “X” las aceleraciones para el eje X, mientras que el “+” muestra los valores de aceleración para el eje Y.

Para el caso de los edificios de 8 pisos, las aceleraciones de menor magnitud son para el caso chileno. En general los resultados no varían entre los modelos de 15cm y 20cm de muro tal como se muestra en los gráficos.

Para los edificios de 15 pisos los resultados son un poco más variables, pero mantienen una tendencia en casi todos los casos.

4.4.- Cortante basal

Se puede determinar también cuál es el valor del corte basal que se utiliza para el diseño, todo esto se resume a continuación:

Modelo 8 pisos 15cm			
	Corte basal inelástico [Ton]		Corte mínimo por norma [Ton]
Eje	X	Y	X e Y
Chile	952	911	488
Perú	988	933	1084
Colombia	1013	955	622
Guatemala	894	843	1133

Tabla 4.7. Cortes basales modelos 15 pisos

Modelo 8 pisos 20cm			
	Corte basal inelástico [Ton]		Corte mínimo por norma [Ton]
Eje	X	Y	X e Y
Chile	1039	989	533
Perú	988	933	1084
Colombia	1013	955	622
Guatemala	894	843	1133

Tabla 4.8. Cortes basales modelos 8 pisos

Modelo 15 pisos 15cm				
	Corte basal inelástico [Ton]		Corte mínimo por norma [Ton]	
Eje	X	Y	X	Y
Chile	1559	1104	920	
Perú	1652	1172	2045	1685
Colombia	1862	1755	1173	1173
Guatemala	1644	1394	2137	1913

Tabla 4.9. Cortes basales modelos 15 pisos

Modelo 15 pisos 20cm				
	Corte basal inelástico [Ton]		Corte mínimo por norma [Ton]	
Eje	X	Y	límite	
Chile	1748	1308	1004	
Perú	1806	1372	2231	1984
Colombia	2031	1922	1280	1280
Guatemala	1795	1639	2335	2255

Tabla 4.10. Cortes basales modelos 15 pisos

En los casos donde el corte real es inferior al corte mínimo indicado por la norma, esta se debe ajustar al mínimo para realizar el diseño sísmico.

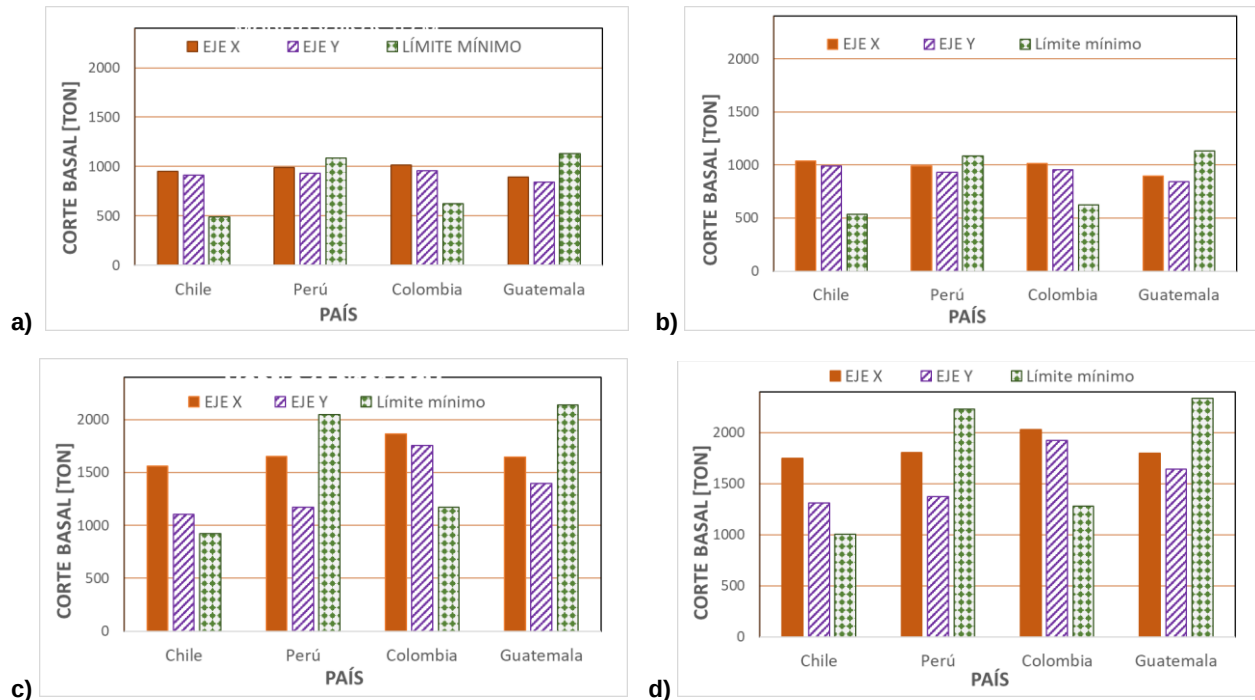
En la tabla 4.11 se muestra el área de muro para cada dirección respecto a la superficie de la planta:

Espesor muros	Área de muro [m2]		% respecto a planta	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
15cm	19.95	30.08	1.3	2.0
20cm	26.61	40.11	1.7	2.7

Tabla 4.11. Cortes basales modelos 15 pisos

En la figura 4.4 se muestran los gráficos de los resultados de cada tabla de corte basal de los modelos:

Figura 4.4. Cortes basales reales y límites mínimos



Modelo: a) 8p15cm;

b) 8p20cm;

c) 15p15cm;

d) 15p20cm

Imágenes por elaboración propia.

Para los modelos de 8 pisos Chile y Colombia utilizan los valores inelásticos calculados según su norma, mientras que Perú y Guatemala se reajustan al corte mínimo establecido por norma. Todos tienen una magnitud similar como se ve en el gráfico.

Para los casos de los modelos de 15 pisos, se mantiene un comportamiento similar, pero con magnitudes aumentadas. El corte basal de diseño para Perú y Guatemala es considerablemente mayor que el de Chile y Colombia.

Es interesante notar que, a pesar de que el área de muros en el sentido Y es mayor que en X, todos los cortes basales reducidos (inelásticos) son mayores en el eje X.

4.5.- Desplazamiento entrepiso

Los desplazamientos horizontales se deben verificar para las acciones sísmicas de diseño, el desplazamiento máximo entre un piso y su piso inferior, para cada una de las direcciones, no debe superar un máximo establecido por la normativa de cada país.

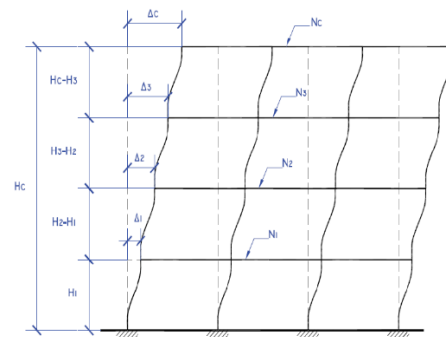


Figura 4.5. Desplazamiento relativo entrepiso.
Fuente: Vielma J.C. Determinación de las derivas de entrepiso

Donde la deriva máxima entrepiso (drift):
 $(\Delta_k - \Delta_{k-1}) / (H_k - H_{k-1})$

Para el caso de Chile, se necesita hacer 2 verificaciones; el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en el centro de masa, y el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos medido en cualquier punto de la planta. En cambio, para el resto de los 3 países, sólo se necesita verificar que el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos en cualquier punto de la planta no sea superior al límite que indica su norma. Los límites estipulados por cada país se citan a continuación:

CHILE – Art. 5.9.2 NCh433: “El desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en el centro de masas en cada una de las direcciones del análisis, no debe ser mayor que la altura de entrepiso multiplicada por 0.002”

CHILE – Art. 5.9.3 NCh433: “El desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en cualquier punto de la planta en cada una de las direcciones de análisis, no debe exceder en más de 0.001h al desplazamiento relativo correspondiente medido en el centro de masas”

PERÚ – Art. 5.2 Norma E.030: “El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso que se indica en la tabla 11 (0.007)”

COLOMBIA – Art. 6.4 NSR-10: “La deriva máxima para cualquier piso no puede exceder los límites establecidos en la tabla A.6.4-1, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso (0.01)”

GUATEMALA – Art. 4.3.3 NSE-3: “Las derivas últimas máximas serán los referentes para establecer derivas laterales tolerables conforme a la tabla 4.3.3 (0.01)”

Los límites se resumen en la siguiente tabla:

País	Deriva máxima Δ máx.
Chile	$\Delta_{CM} < 0.002h$
	$\Delta \text{ máx} < 0.001h + \Delta_{CM}$
Perú	$\Delta \text{ máx} < 0.007h$
Colombia	$\Delta \text{ máx} < 0.010h$
Guatemala	$\Delta \text{ máx} < 0.010h$

Tabla 4.12. Deriva máxima por país

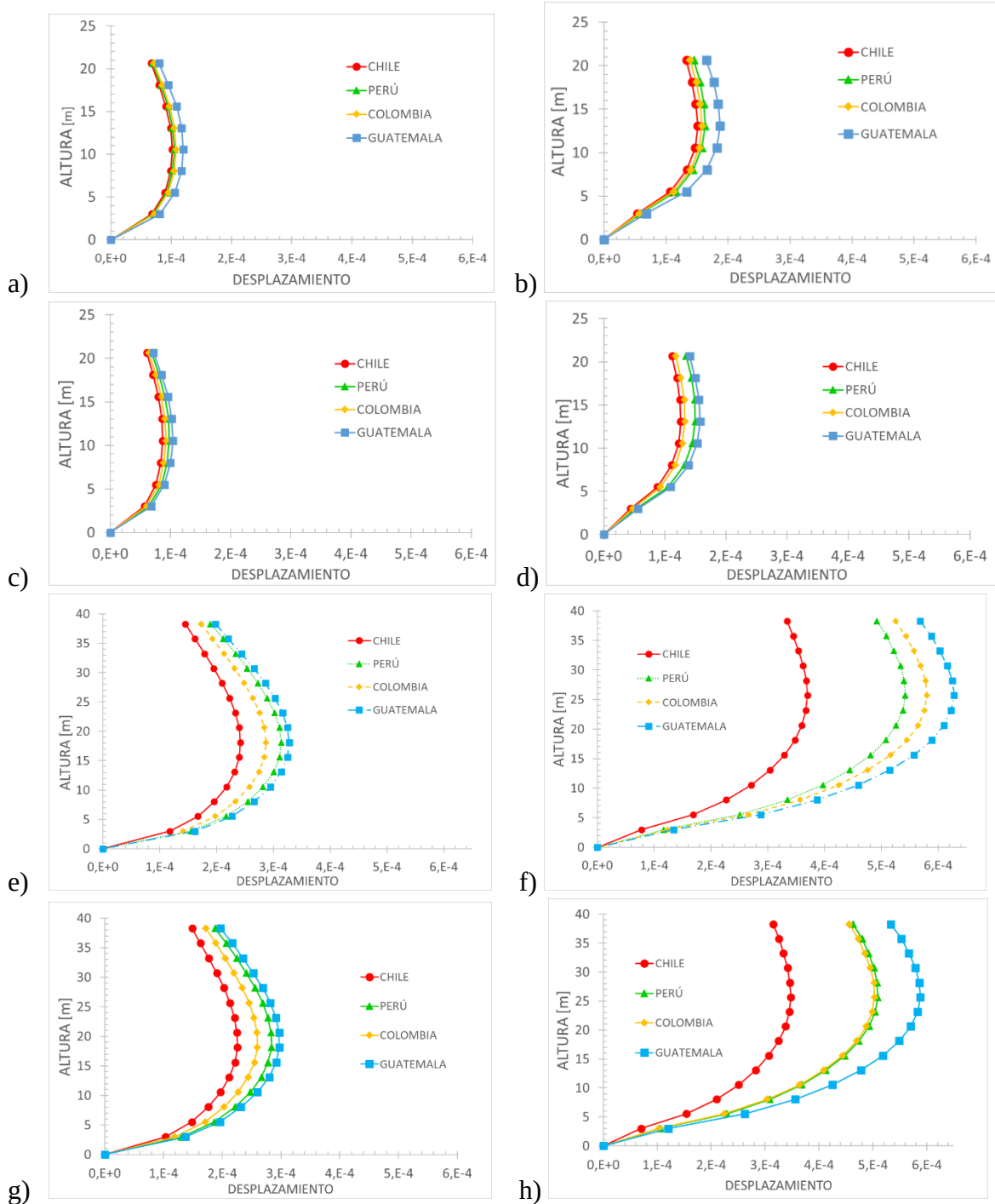
Donde:

CM = centro de masa de la planta

h = altura del piso

Δ = deriva o desplazamiento relativo entrepiso

Figura 4.6. Desplazamientos máximos entrepiso



Modelo:

- a) 8p15cm eje X; b) 8p15cm eje Y; c) 8p20cm eje X; d) 8p20cm eje Y;
 e) 15p15cm eje X; f) 15p15cm eje Y; g) 15p20cm eje X; h) 15p20cm eje Y.

Todas las imágenes por elaboración propia.

Dado a que el modelo tiene grandes cantidades de muros, esto le genera mayor rigidez y la restricción del límite de desplazamiento entrepiso se cumple de sobra para cada uno de los países.

En todos los casos se puede ver una tendencia más o menos marcada, el desplazamiento máximo entrepiso para el caso de Chile es siempre el menor al compararlo con los otros países, mientras que el de Guatemala es siempre el caso de mayor desplazamiento relativo entrepiso.

El desplazamiento en el eje Y es siempre mayor al del eje X debido a la geometría del edificio, la cual tiene mayor rigidez en el eje X.

El vértice que se aprecia en la parte baja de las curvas corresponde al segundo piso, este salto se debe a que este nivel es 48cm mayor al resto de los pisos, tiene una altura de 3m. mientras que el resto de los niveles 2.52m, al ser un piso más alto la deformación es mayor.

Se puede entender que Chile tiene menores desplazamientos debido a que el corte basal utilizado para el diseño es menor al de los demás países.

Sobre los límites, Chile tiene el caso más restrictivo para el desplazamiento relativo entrepiso, mientras que Colombia y Guatemala es el más permisivo. Cabe recalcar que todos los modelos cumplen con sus límites máximos de deriva.

4.6.- Desplazamiento máximo de techo

Es posible determinar también el desplazamiento máximo de techo como punto de control para ambas direcciones y para cada uno de los modelos, es un

parámetro interesante que permite identificar la deformación que sufre el último piso de cada edificio comparando los casos entre sí.

En la figura 4.7 se identifican los modelos deformados indicando también el desplazamiento máximo del techo.

Modelo 8 pisos 15cm		
Desplazamiento máximo del techo[cm]		
Eje	X	Y
Chile	0.243	0.309
Perú	0.251	0.334
Colombia	0.258	0.325
Guatemala	0.289	0.385

Tabla 4.13. Deriva máxima por país

Modelo 8 pisos 20cm		
Desplazamiento máximo del techo[cm]		
Eje	X	Y
Chile	0.190	0.273
Perú	0.214	0.324
Colombia	0.201	0.288
Guatemala	0.226	0.342

Tabla 4.14. Deriva máxima por país

Modelo 15 pisos 15cm		
Desplazamiento máximo del techo[cm]		
Eje	X	Y
Chile	0.786	1.164
Perú	1.020	1.702
Colombia	0.932	1.815
Guatemala	1.067	1.975

Tabla 4.15. Deriva máxima por país

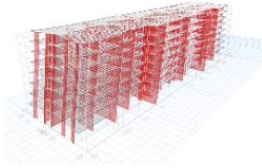
Modelo 15 pisos 20cm		
Desplazamiento máximo del techo[cm]		
Eje	X	Y
Chile	0.740	1.107
Perú	0.930	1.619
Colombia	0.851	1.159
Guatemala	0.974	1.873

Tabla 4.16. Deriva máxima por país

Figura 4.7. Desplazamientos máximos de techo **EJE X [cm]**

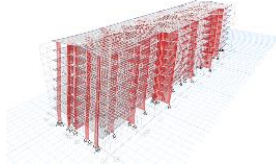
a) 8p15cm Chile

0.243



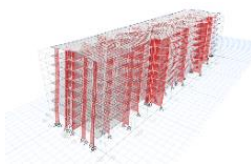
b) 8p15cm Perú

0.251



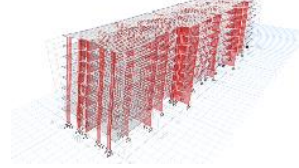
c) 8p15cm Colombia

0.258



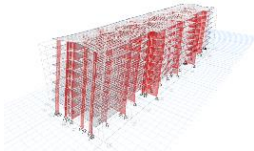
d) 8p15cm Guatemala

0.289



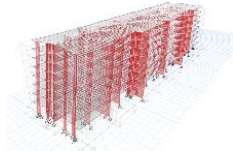
e) 8p20m Chile

0.190



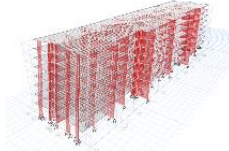
f) 8p20cm Perú

0.214



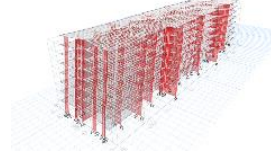
g) 8p20cm Colombia

0.201



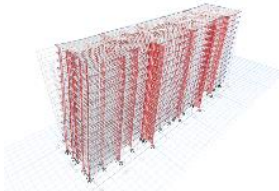
h) 8p20cm Guatemala

0.226



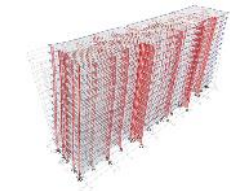
i) 15p15m Chile

0.786



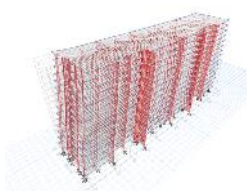
j) 15p15cm Perú

1.020



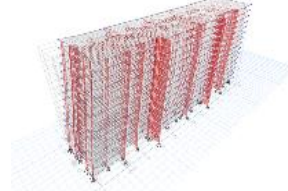
k) 15p15cm Colombia

0.932



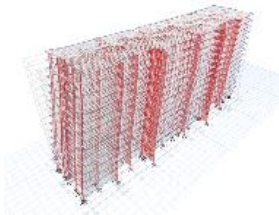
l) 15p15cm Guatemala

1.067



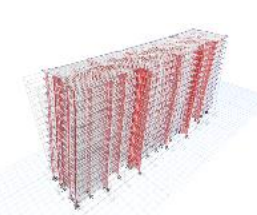
m) 15p20m Chile

0.740



n) 15p20cm Perú

0.930



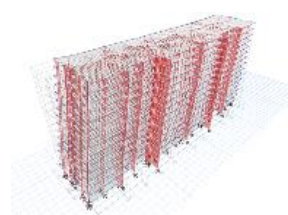
o) 15p20cm Colombia

0.851



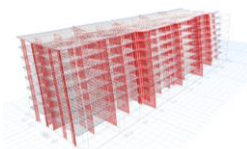
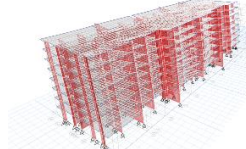
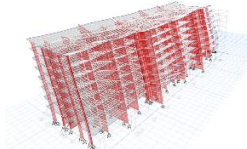
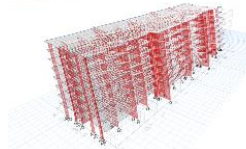
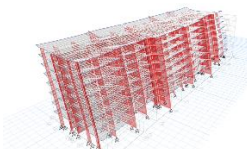
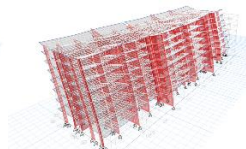
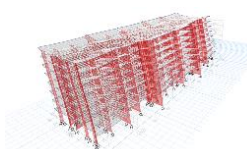
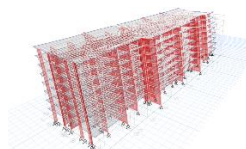
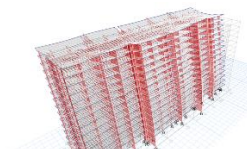
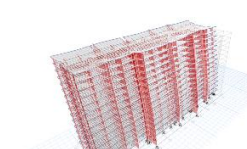
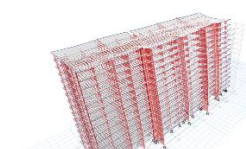
p) 15p20cm Guatemala

0.974



Todas las imágenes por elaboración propia.

Figura 4.8. Desplazamientos máximos de techo **EJE Y [cm]**

a) 8p15cm Chile 0.309	b) 8p15cm Perú 0.334	c) 8p15cm Colombia 0.325	d) 8p15cm Guatemala 0.385
			
e) 8p20cm Chile 0.273	f) 8p20cm Perú 0.324	g) 8p20cm Colombia 0.288	h) 8p20cm Guatemala 0.342
			
i) 15p15cm Chile 1.164	j) 15p15cm Perú 1.702	k) 15p15cm Colombia 1.818	l) 15p15cm Guatemala 1.975
			
m) 15p20cm Chile 1.107	n) 15p20cm Perú 1.619	o) 15p20cm Colombia 1.159	p) 15p20cm Guatemala 1.873
			

Todas las imágenes por elaboración propia.

En los resultados se ve una tendencia similar a los desplazamientos entrepiso para ambas direcciones. El menor desplazamiento de techo para cada modelo es el diseño chileno, mientras que el modelo que sufre más desplazamiento de techo es siempre el guatemalteco.

4.7.- Resistencia a corte de los muros

Como todos los países latinoamericanos basan su diseño en la ACI-318, se puede verificar que cada elemento muro cumpla con la resistencia a corte que indica esta misma. La ACI-318, en su apartado 11.4.6.1,

dice que se debe proporcionar al menos cuantía de acero mínima cuando se cumpla lo siguiente:

$$Vu \leq \phi Vc$$

$$Vu \leq \phi 0.53 * \sqrt{f'c} * d * e$$

Mientras que en el apartado 11.9.5 se indica que el mayor cortante que puede resistir un elemento como viga alta o muro de hormigón, según sus dimensiones, es:

$$Vu = \phi 2.65 * \sqrt{f'c} * d * e$$

Donde:

Vc = Resistencia corte

$f'c$ = resistencia del hormigón

d = largo efectivo elemento

e = espesor

Vn = Corte último nominal

ϕ = factor de seguridad = 0.6

A modo de ejemplo, la verificación de resistencia al corte se hace de la siguiente forma:

Largo de muro L = 1.4[m]

Largo efectivo d ($0.8L$) = 1.12[m]

Espesor de muro e = 0.15[m]

Resistencia hormigón $f'c$ = 250[kgf/cm²]

Vu se obtiene del software ETABS que indica el corte último que sufre el muro.

$$\frac{Vu}{\phi} = 21.2 \leq 2.65 * \sqrt{250} * 1.12 * 0.15 * 10 = 70.4$$

Unidades en toneladas[tonf] y metro[m].

Como el corte nominal de diseño es menor que el corte último (resistencia máxima) el elemento cumple con la condición de la ACI-318.

Todos los modelos de 8 pisos tienen la misma cantidad de Piers, mientras que los de 15 pisos tienen casi el doble que los más pequeños. Los Piers en ETABS son

asignaciones que agrupan varios elementos (en este caso muros), que por razones de diseño se busca que se comporten como un solo elemento.

Los resultados se resumen a continuación:

Edificios de 8 pisos			
País	Modelo	Cantidad de Piers	Cumple con condición
Chile	15cm	584	Todos
	20cm	584	Todos
Perú	15cm	584	Todos
	20cm	584	Todos
Colombia	15cm	584	Todos
	20cm	584	Todos
Guatemala	15cm	584	Todos
	20cm	584	Todos

Tabla 4.7. Verificación ACI en edificios 8 pisos

Edificios de 15 pisos			
País	Modelo	Cantidad de Piers	Cumple con condición
Chile	15cm	1095	Todos
	20cm	1095	Todos
Perú	15cm	1095	Todos
	20cm	1095	Todos
Colombia	15cm	1095	Todos
	20cm	1095	Todos
Guatemala	15cm	1095	Todos
	20cm	1095	Todos

Tabla 4.8. Verificación ACI en edificios 15 pisos

Todos los elementos tipo muro de cada uno de los elementos y para cada país cumple con la condición exigida en la ACI-318, en caso de que no, se necesitaría aumentar el grosor del muro para que tome la cortante solicitada.

4.8.- Diseño por cuantía mínima

Se quiso comprobar si los elementos tipo muro se podían diseñar con cuantía mínima de acero. A continuación, se muestra la cantidad de muros y el factor de utilización (FU) en tres distintos intervalos; menor a 0.2, mayor a 0.8 y mayores a 1. Los resultados se indican en las siguientes tablas:

Edificio de 8 pisos 15cm			
País	Cantidad de Piers		
	FU < 0,2	FU > 0,8	FU > 1
Chile	163	26	7
Perú	180	12	4
Colombia	253	7	0
Guatemala	197	14	0

Tabla 4.9. FU cuantía mínima modelos 8p15cm

Edificio de 8 pisos 20cm			
País	Cantidad de Piers		
	FU < 0,2	FU > 0,8	FU > 1
Chile	198	19	0
Perú	207	14	0
Colombia	302	1	0
Guatemala	237	5	0

Tabla 4.10. FU cuantía mínima modelos 8p20cm

Edificio de 15 pisos 15cm			
País	% con cuantía mínima		
	FU < 0,2	FU > 0,8	FU > 1
Chile	235	104	121
Perú	176	81	147
Colombia	289	105	78
Guatemala	231	73	160

Tabla 4.11. FU cuantía mínima modelos 15p15cm

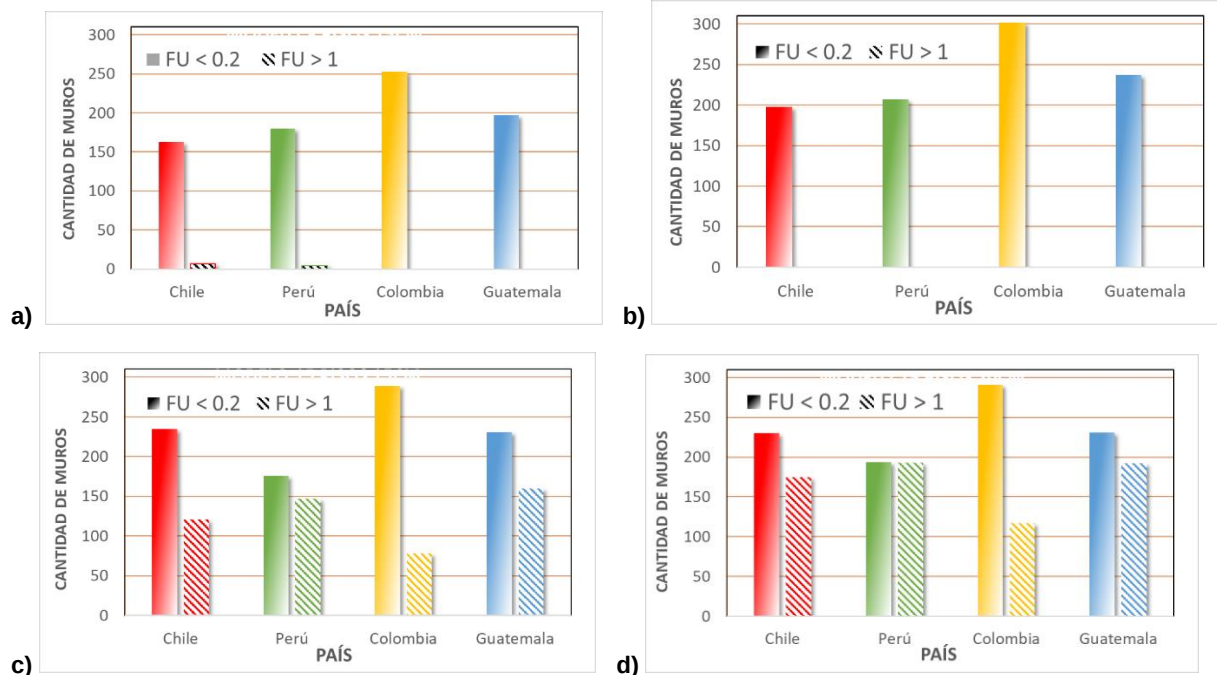
Edificio de 15 pisos 20cm			
País	% con cuantía mínima		
	FU < 0,2	FU > 0,8	FU > 1
Chile	230	73	175
Perú	194	54	193
Colombia	291	85	117
Guatemala	231	59	192

Tabla 4.12. FU cuantía mínima modelos 15p20cm

Cabe recalcar que si un elemento tipo muro está por sobre el $FU > 1$, debe ser diseñado con más acero requerido.

La cuantía mínima de acero para los muros, en cada uno de los países, corresponde a una doble malla D.M. Ø8a20. A continuación, se muestran en gráficos la cantidad de elementos tipo muro que, diseñados con Ø8a20, se encuentran por debajo de un factor de utilización (FU) de 0.2 en relleno sólido, y también un FU por sobre 1 en franjas diagonales:

Figura 4.9. Elementos diseñados por cuantía mínima



Modelo: a) 8p15cm; b) 8p20cm; c) 15p15cm; d) 15p20cm;

Todas las imágenes por elaboración propia.

En los edificios de 8 pisos se puede notar que el caso de Colombia es donde hay más muros con factor de utilización menor a 0,2. Esto se debe a las combinaciones de carga que considera el país, cuya carga de sismo sólo se multiplica por 1, en cambio para Chile este se amplifica en 1,4. Además, el cortante basal y aceleraciones espectrales de diseño están por debajo del promedio.

En los modelos de 15 pisos se ve que nuevamente Colombia presenta los resultados más “económicos”, con la mayor cantidad de elementos con bajo FU y menor cantidad de muros con un FU sobre 1. Basándonos en esos 2 estándares, se podría decir que Chile le sigue por detrás.

A pesar de que en el caso chileno la carga sísmica está amplificada en 1.4 hay “buenos resultados” debido al bajo corte basal y aceleración espectral que se utiliza para el diseño sísmico.

5.- CONCLUSIONES GENERALES

Chile es reconocido a nivel mundial por la ingeniería sísmo resistente que ha desarrollado a través de los últimos años, por medio del presente estudio realizado se puede argumentar y dar distintas razones del porqué;

1. Los espectros de diseño en Chile generan una curva más suave que las otras, esto permite utilizar aceleraciones más aproximadas y que en general son de menor magnitud que el resto.
2. El cortante basal chileno calculado y utilizado es el menor de los países estudiados para caso, lo mismo pasa con el límite mínimo. Esto tendrá como consecuencia unos desplazamientos laterales menores.
3. A pesar de que el límite de desplazamiento entre piso chileno es el más restrictivo, este se compensa con la baja cortante basal la cual provoca desplazamientos de piso y de techo inferiores en comparación a los otros países.
4. Se puede observar que incluso cuando Chile utiliza las combinaciones de cargas con factor de combinación mayores, se obtienen buenos resultados para edificios altos de 15 pisos y en los de 8 pisos los resultados no se alejan al resto. Se consiguen bastantes elementos de muro con un FU menor a 0.2 los cuales podrían incluso eliminarse si no trabajan o se ven lo suficientemente exigidos. Es conveniente tener baja cantidad de elementos con un FU sobre 1, ya que así se puede utilizar menos refuerzo de acero en el concreto estructural y evitar sobredimensionar.

En Chile se realizan diseños conservadores estimando grandes sobrecargas en edificios que necesitan soportar a eventuales sismos de altas magnitudes, pero con cálculos más exactos que permitirían, además de buscar seguridad, no sobredimensionar elementos ni cuantías de acero.

Esto también se puede traducir en economizar una estructura de hormigón armado en materiales o incluso constructibilidad, sin perder la garantía de seguridad que debe tener cualquier obra de ingeniería civil profesional.

Las estructuras chilenas presentaron, en general, buena respuesta al mega terremoto del 27F 2010 de magnitud 8.8. Es una buena señal de que la ingeniería sísmo resistente está bien estipulada en el país, pero esto no quiere decir que no pueda seguir mejorando y evolucionando.

Para realizar el estudio y comparativa se eligieron detalladamente los parámetros más similares posibles, dentro de las normas, y que convenientemente generaran unas curvas de espectro de diseño similares. Tanto la zona geográfica como el tipo de suelo son semejantes en cada uno de los países y se ve reflejado en el gráfico de la figura 3.3 visto y comentado con anterioridad.

Los resultados muestran una similitud en el diseño, la masa sísmica, los períodos, la aceleración espectral, el cortante basal, los desplazamientos de piso y techo, además de sus limitantes, todos los resultados no están distantes entre unos y otros. Esto se puede interpretar en que es posible llevar estos casos a un único código de diseño sísmico latinoamericano que permita garantizar la resistencia de las edificaciones y estructuras habitables de muros de hormigón. Aprovechando las ventajas que puede tener

alguna norma (como las mencionadas de la chilena) se puede optimizar diseños y simplificar el método o hacerlo converger a una misma idea o metodología.

Sería interesante además amplificar la investigación donde se pueda averiguar cómo o de qué forma se desarrolla el diseño sísmico de países más céntricos del continente, y compararlos con el de Chile o con este mismo estudio que permitió notar semejanzas y que hay más cosas en común que las que no.

Y no sólo eso, también queda abierta la puerta para continuar con estudios de este tipo para otra clase de materiales, como acero, albañilería o incluso madera, en caso de que los países tengan su respectiva normativa para cada materialidad.

En Europa existe el Eurocódigo, este es un conjunto de normas europeas para la ingeniería redactadas por el comité europeo de normalización (CEN) la cual pretende unificar criterios y normativas en las materias de diseño, cálculo y dimensionado de estructuras y elementos prefabricados para edificación. Llevar a américa latina por este mismo camino sería conveniente para el desarrollo de la ingeniería a nivel continental.

6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Se citan las normas y documentos estudiados para el complemento del estudio:

- INN. 2012. NCh433.Of1996 – Diseño sísmico de edificios. Santiago de Chile.
- INN. 2009. NCh1537.Of2009 – Cargas permanentes y cargas de uso. Santiago de Chile
- INN. 2010. NCh3171.Of2010 – Disposiciones generales y combinaciones de carga. Santiago de Chile.
- MINVU. 2011. Decreto supremo N°61 diseño sísmico. Santiago de Chile.
- Ministerio de Vivienda. 2016. E.030 – Diseño sismorresistente. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda. 2009. E.060 – Concreto armado E.060. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda. 2009. E.020 – Norma técnica Cargas. Lima, Perú.
- Decreto Supremo N°003-2016-Vivienda
- Ministerio de Ambiente y Vivienda. 2010. Reglamento colombiano de construcción sismorresistente NSR-10. Bogotá D.C., Colombia.
- AGIES. 2018. NSE-1 – Generalidades, administración de las normas y supervisión técnica. Ciudad de Guatemala.
- AGIES. 2018. NSE-2 – Demandas estructurales y condiciones de sitio. Ciudad de Guatemala.
- AGIES. 2018. NSE-3 – Diseño estructural de edificaciones. Ciudad de Guatemala.
- AGIES. 2018. Normas de seguridad estructural para Guatemala. Ciudad de Guatemala.
- Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI318-14)
- Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI7-10).

7.- AGRADECIMIENTOS

Me tomo este fragmento de columna para dar las gracias a todos quienes me acompañaron y se cruzaron en mi proceso de educación superior, un proceso lleno de altibajos, convicciones, dudas, motivaciones y distintas emociones para cada momento. A los compañeros, amigos, docentes, académicos... de todos se obtiene un aprendizaje y se logra crecer en forma personal y profesional. También agradecer a mi familia, primos, tías, hermana y sobre todo a mi padre y madre, por los valores y principios que me inculcaron, el respeto y la responsabilidad, a seguir adelante hasta cumplir el objetivo, seres humanos indispensables quienes me ayudaron y motivaron a cumplir mis metas y finalizar etapas como esta. Por último, agradecerme a mí, por no bajar los brazos ni en los peores momentos, a todos gracias totales.