



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

ANÁLISIS Y MODELACION DE UN EDIFICIO DE MADERA DE 6 NIVELES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

ÁLVARO AGUSTÍN CATALÁN CUEVAS

Informe de Actividad de Graduación para optar al Grado de
Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica

Profesor Supervisor:
HERNAN SANTA MARIA

Santiago de Chile, diciembre,2021.

Dedicada a Camila por acompañarme
y apoyarme en todo este camino.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradecer al profesor Hernán Santa María por darme la confianza de poder desarrollar este tema de investigación y ser su alumno tesista. También agradecer a Jairo Montaña Castañeda del Centro de innovación UC por el tiempo destinado a responderme mis dudas e inquietudes en cualquier momento. Por último, agradecer a mi familia que son el pilar fundamental en mi vida y el motivo de esfuerzos a mejorar cada día.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
Indice General.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
1. OBJETIVOS.....	13
1.1. Objetivo general	13
1.2. Objetivos específicos	13
2. SISTEMA MARCO-PLATAFORMA DE MADERA.....	14
2.1. Muros de corte.....	17
2.2. Rigidez y resistencia del muro en sistema marco plataforma	18
2.3. Rigidez de un muro de material isotrópico	25
2.4. Compatibilidad rigidez lateral	26
3. PROYECTO ESTUDIADO	27
3.1. Tipo de edificio.....	28
3.2. Códigos aplicables	33
3.2.1 Normas nacionales.....	33
3.2.2 Normas y estándares extranjeros	33
3.2.3 Información adicional	33
3.3 Materiales	34
3.3.1 Madera MGP 10 y C16.....	34
3.3.2 Placas arriostrantes OSB.....	35
3.3.3 Hormigón para la sobre losa.....	35
3.4 Solicitaciones de diseño	36
3.4.1 Cargas permanentes (D).....	36
3.4.2 Sobrecargas (L)	36

3.4.3	Solicitaciones sísmicas (e)	36
3.4.4	Espectro de diseño	37
3.5	Combinaciones de carga	38
3.5.1	Estados de carga	38
3.5.2	Combinaciones de carga	38
4	MODELO DEL EDIFICIO	39
4.1	Modelo tipo	39
4.2	Modelo 1	41
4.3	Modelo 2	44
4.4	Factor de reducción de módulo de rigidez	47
4.5	Torsión accidental.....	51
5	RESULTADOS Y ANALISIS DEL MODELO 1	52
5.1	Análisis sísmico modelo Shell completo	53
5.2	Análisis sísmico modelo Shell dividido horizontalmente 8 veces	55
5.3	Drift modelo Shell completo	57
5.4	Drift modelo Shell dividido 8 veces	59
5.5	Comentarios modelo 1	61
6	RESULTADOS Y ANALISIS DEL MODELO 2	62
6.1	Análisis sísmico modelo Shell completo	63
6.2	Análisis sísmico modelo Shell dividido horizontalmente 8 veces	64
6.3	Drift modelo Shell completo	65
6.4	Drift modelo Shell dividido 8 veces	68
6.5	Comentarios modelo 2	71
7	ANALISIS TIPO DE MODELACION	72
7.1	Tipo de Shell de muro.....	72
7.2	Tipo de Shell de piso	72
7.3	Tipo de diafragma.....	73
7.4	Tipo de apoyo.....	74
7.5	Comentarios.....	75
8	CONCLUSIONES	76

9	BIBLIOGRAFIA	79
10	ANEXOS PROPIEDADES MUROS	80

INDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Sistema de muro. Fuente: Manual de diseño de estructuras en madera [3]	14
Figura 2-2: Sistema de envigado de piso. Fuente: Manual de diseño de estructuras en madera [3].....	15
Figura 2-3: Vista continuidad del anclaje ATS. Fuente: Manual de diseño de estructuras en madera [3].....	16
Figura 2-4: Configuración muro corte. Fuente: Manual de diseño de estructuras en madera [3]	17
Figura 3-1: Modelo en elementos finitos	27
Figura 3-2: Planta de arquitectura edificio tipo C.....	28
Figura 3-3: Planta de arquitectura edificio tipo C.....	29
Figura 3-4: Planta de envigado de piso del edificio tipo C	30
Figura 3-6: Espectro elástico de diseño de aceleración según NCh433.....	37
Figura 4-1: Modelo en 3D modelo 1.....	41
Figura 4-2: Planta tipo de edificio modelo 1	42
Figura 4-3: Elevación eje A modelo 1	43
Figura 4-5: Planta tipo de edificio modelo 2.....	45
Figura 4-6: Elevación eje A modelo 2	46
Figura 5-1: Drift centro masa	58
Figura 5-2: Drift borde	58
Figura 5-3: Drift centro masa	60
Figura 5-4: Drift borde	60

Figura 6-1: Drift centro masa	67
Figura 6-2: Drift borde	67
Figura 6-3: Drift centro masa	70
Figura 6-4: Drift borde	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Tabla 7-17 AISC 2015	21
Tabla 2-2: Tabla 4.3A SDPWS-2015	23
Tabla 3-1 Configuración de tableros.....	29
Tabla 3-2 Configuración de tableros en dirección X	31
Tabla 3-3 Configuración de tableros en dirección Y	32
Tabla 3-4 Parámetros Tensión admisible y módulo de elasticidad: Fuente NCh 1198.34	
Tabla 3-5 Parámetros Tensión admisible y módulo de elasticidad OSB	35
Tabla 3-6 Parámetros que dependen de la ubicación y categoría del edificio.....	36
Tabla 3-7 Parámetros NCh 433 Of.1996 Mod.2009.....	37
Tabla 3-8 Parámetros D.S. N°61 que dependen del tipo de suelo.....	37
Tabla 3-9: Combinaciones de carga para diseño por resistencia última.	38
Tabla 4-1: Método manual edificio tipo C	40
Tabla 4-2 Propiedades primer nivel.....	48
Tabla 4-3 Propiedades segundo nivel	48
Tabla 4-4 Propiedades tercer nivel	49
Tabla 4-5 Propiedades cuarto nivel.....	49
Tabla 4-6 Propiedades quinto nivel	50
Tabla 4-7 Propiedades sexto nivel	50
Tabla 4-8 Torsión accidental	51

Tabla 5-1: Drift de borde y centro dirección X	57
Tabla 5-2: Drift de borde y centro dirección Y	57
Tabla 5-3: Drift de borde y centro dirección X	59
Tabla 5-4: Drift de borde y centro dirección Y	59
Tabla 6-1: Drift de borde y centro dirección X	66
Tabla 6-2: Drift de borde y centro dirección Y	66
Tabla 6-3: Drift de borde y centro dirección X	69
Tabla 6-4: Drift de borde y centro dirección Y	69
Tabla 7-1: Comparación Shell de muros.....	72
Tabla 7-2: Comparación Shell de pisos	73
Tabla 7-3: Comparación diafragma	73
Tabla 7-4: Comparación tipo de apoyos	74

RESUMEN

Es conocido que dentro de las construcciones en altura el material predominante es el hormigón armado por resistencias y ductilidad ofrecidas, en segunda opción, pero en menor cantidad existe la opción del acero debido a sus estudios en el área industrial y comportamientos elásticos. Si bien Chile es un país sísmico también es un país con muy buen material prima y es por esto que deja la interrogante de porque no ocupar la madera si es tan buen comportamiento y estudiado a nivel nacional con muy buenos resultados. A raíz de lo anterior propuesto nace este tema de tesis, se crea la inquietud de poder formar parte de estas construcciones alturas y poder ser una real alternativa a la hora de ser tomada en los proyectos de edificios.

Este proyecto tiene como objetivo modelar un edificio de 6 niveles mediante un programa común conocido por todas las oficinas de cálculo y plantear tipos de modelamiento el cual el primero se van a modelar pies derechos y placas de OSB de manera bruta, el segundo modelo se va agregar factores de reducción de corte mediante simplificaciones mediante un muro tipo equivalente en sus distintas variables y para finalizar se expondrán distintas variantes al modelo y ver cuanto cambie en términos de rigidez o desplazamientos.

Todo lo anterior presentado es para ver qué tan cercanos son a los cálculos obtenidos de forma manual y de esta forma se van a poder obtener información sobre la complejidad del modelamiento, los tipos de información que entrega y si es factible poder llevar a un proyecto real con los tiempos que pueda manejar una oficina de cálculo.

ABSTRACT

It is known that within high-rise constructions the predominant material is reinforced concrete due to the resistance and ductility offered, as a second option, but in a lesser quantity there is the option of steel due to its studies in the industrial area and elastic behavior. Although Chile is a seismic country, it is also a country with very good raw material and that is why it leaves the question of why not use wood if it is so well behaved and studied at the national level with very good results. As a result of the above proposed, this thesis topic is born, the concern is created to be part of these high-rise constructions and to be a real alternative when it comes to being taken in building projects.

The objective of this project is to model a 6-level building using a common program known to all calculation offices and to propose types of modeling in which the first one is going to model upright feet and OSB plates in a raw way, the second model is going add cut reduction factors through simplifications by means of an equivalent wall type in its different variables and finally, different variants will be exposed to the model and see how much it changes in terms of stiffness or displacement.

All of the above presented is to see how close they are to the calculations obtained manually and, in this way, it will be possible to obtain information on the complexity of the modeling, the types of information it provides and if it is feasible to carry it to a real project with the times that a calculation office can handle.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

- Crear un modelo optimo mediante el sistema marco-plataforma que se pueda usar en el mundo laboral.

1.2. Objetivos específicos

- Modelar un edificio en madera de 6 niveles mediante un programa de elementos finitos.
- Evaluar distintos modelos con alternativas de modelación y distintos tipos de divisiones de elementos para comparar resultados.
- Revisar distintas configuraciones tomando como base un modelo y ver cuanto cambian las rigideces y deformaciones al variar ciertos parámetros.
- Establecer comparaciones y análisis finales para saber qué modelo y configuración es mejor.
- Evaluar si es factible el método propuesto y qué tan complejo seria su implementación en oficinas de cálculo.

2. SISTEMA MARCO-PLATAFORMA DE MADERA

Se denomina así a todo edificio que se arriostra lateralmente mediante tableros de OSB o contrachapado, los cuales se unen a pies derechos mediante clavos o tornillos con el fin de formar un diafragma. De esta forma, al formar un diafragma todos los elementos trabajan en conjunto y funcionan como muros de corte, resistiendo fuerzas laterales y permitiendo la transferencia de fuerza hacia las fundaciones.

En la siguiente figura se muestra la configuración de un muro el cual contiene pies derechos los cuales transmiten cargas verticales hacia la fundación, un sistema arriostrante (OSB o contrachapado) cada 1.2 metros y tensores en los bordes de los muros para tomar el volcamiento.

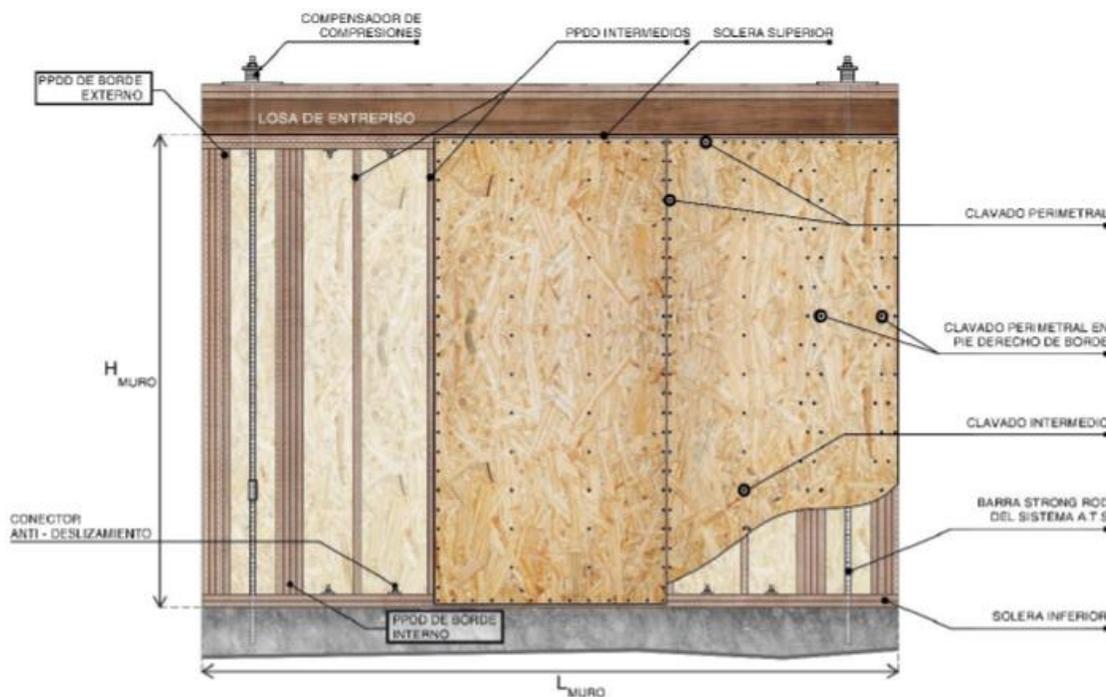


Figura 2-1: Sistema de muro. Fuente: Manual de diseño de estructuras en madera

El sistema de piso consiste de un sistema de plataforma de acuerdo a la Figura 2-2. El sistema está compuesto por un envigado principal, cadenas de bloqueo o vigas secundarias, cuerdas y colectores.

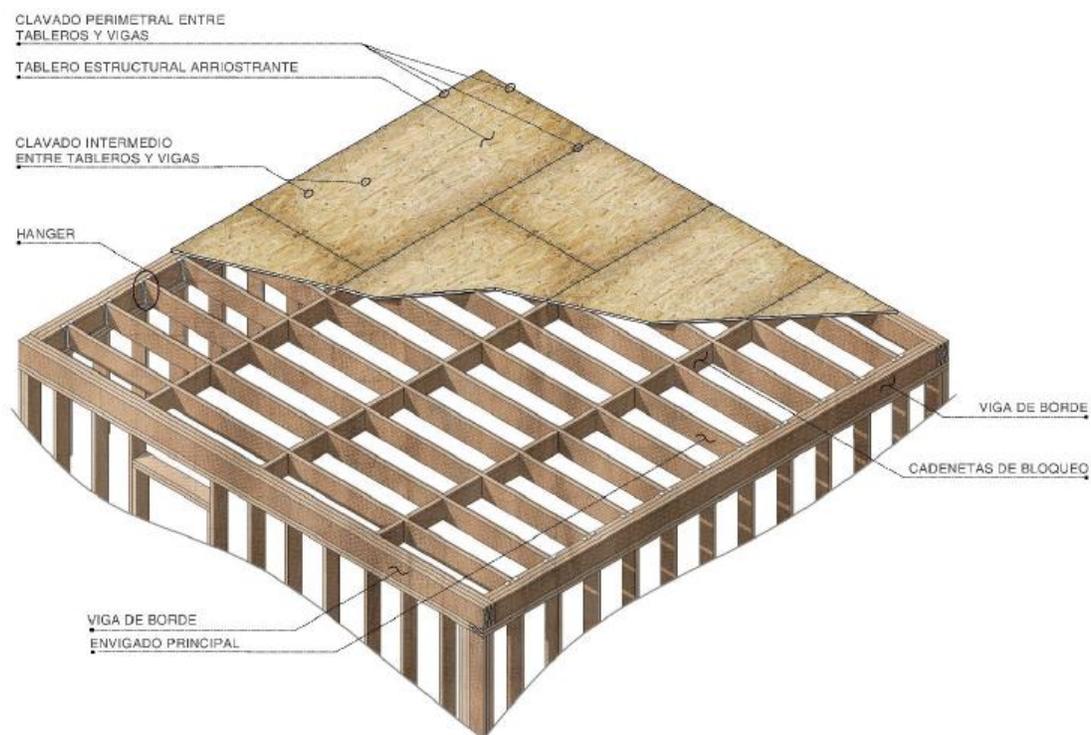


Figura 2-2: Sistema de envigado de piso. Fuente: Manual de diseño de estructuras en madera [3]

Para tomar las fuerzas de tracción y rigidizar la estructura en caso de solicitaciones de sismo o viento se ocupa un anclaje tipo Anchor Tie-Down System (A.T.S), el cual consiste en una barra de acero en cada esquina y en el interior de los muros estructurales, la cual es continua desde la fundación hasta el nivel de coronamiento. La barra puede ser de diámetros variables en altura y se conecta por tramos a través de elementos especiales que permiten funcionar de forma continua, ver detalles en la Figura 2-3.

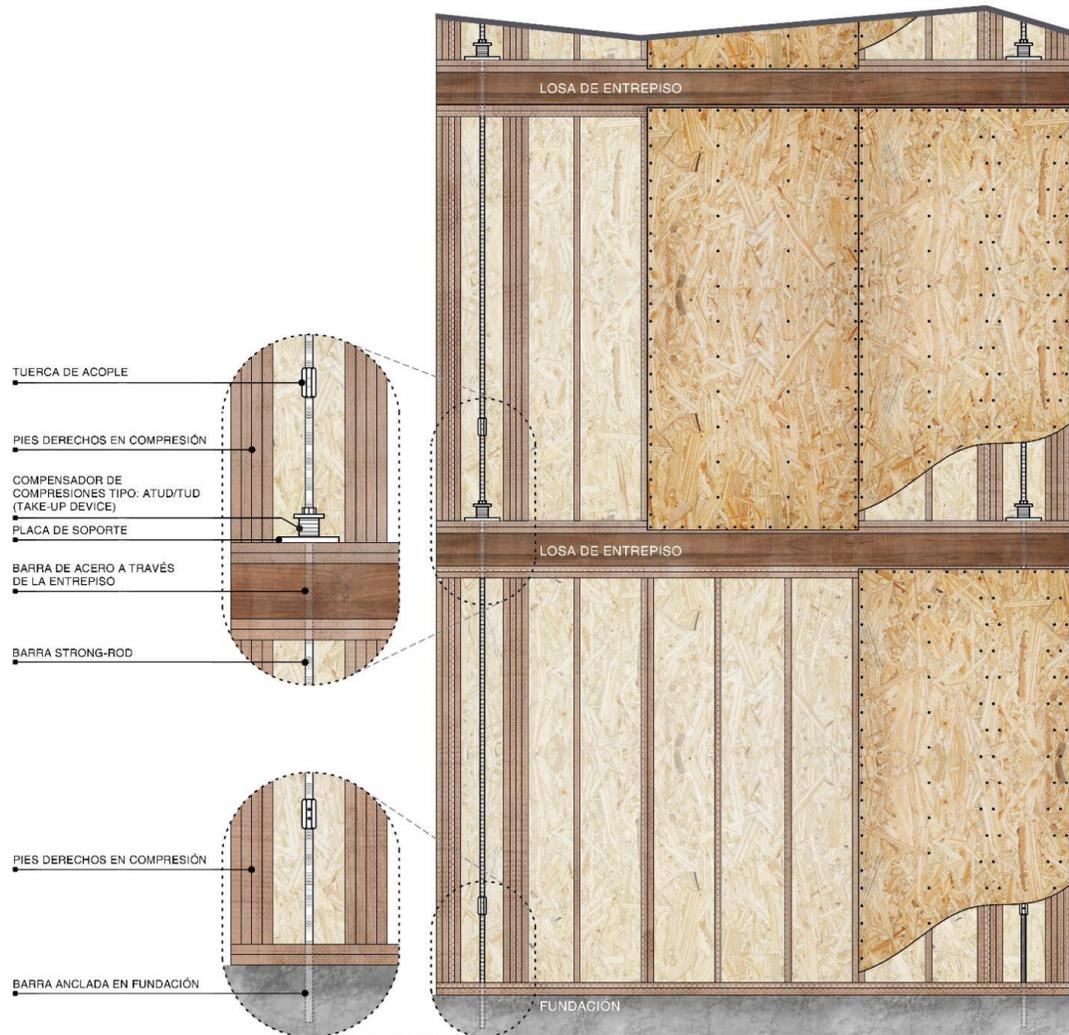


Figura 2-3: Vista continuidad del anclaje ATS. Fuente: Manual de diseño de estructuras en madera [3]

2.1. Muros de corte

De acuerdo con SDPWS-2015 American Wood Council (2015), el sistema de marco-plataforma posee tres tipos de diseño de muros dependiendo de cómo se considera el efecto de las aperturas de ventanas o puertas en la rigidez y la resistencia de los muros. En este caso se utilizará el sistema de muro segmentado en el que los muros se consideran completos en altura (muros en los que la relación altura: largo es menor a 2:1), suponiendo que cada elemento aporta resistencia al corte y al volcamiento mediante elementos rígidos en sus bordes. Ver la Figura 2.4.

La capacidad resistente de diseño al corte de cada segmento se calcula como la multiplicación de la longitud del segmento por un valor de resistencia unitaria al corte disponible de ensayos experimentales o de valores de resistencia tabulados en normas. De esta forma se pueden obtener diseños más simples, aunque son diseños más conservadores.

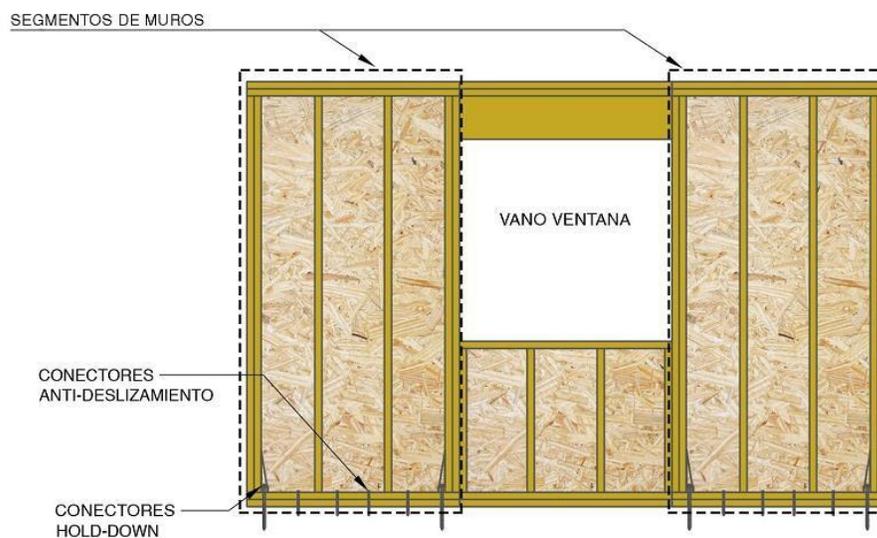


Figura 2-4: Configuración muro corte. Fuente: Manual de diseño de estructuras en madera [3]

2.2. Rigidez y resistencia del muro en sistema marco plataforma

Para el cálculo de la rigidez se ocupa la expresión del SDPWS-2015 [2] la cual combina los aportes de flexión, corte y el desplazamiento del cuerpo rígido.

$$\frac{1}{K_{eq}} = \frac{1}{K_F} + \frac{1}{K_Q} + \frac{1}{K_{CR}}$$

Donde:

K_{eq} : Rigidez equivalente del Sistema

K_F : Rigidez asociada al efecto de la Flexión

K_Q : Rigidez asociada al efecto del Corte

K_{CR} : Rigidez asociada al efecto del desplazamiento de Cuerpo Rígido

Debido a que la norma SDPWS [2] plantea la deformación que alcanzara el muro dado su corte por unidad de largo es necesario modificar los términos para poder despejar las respectivas rigideces.

Para calcular la rigidez a flexión se considera como un elemento empotrado en su base asumiendo cierta condición a los pernos sujetos sobre la solera de acuerdo a la siguiente formula:

$$K_F = \frac{EAL^2}{8h^3}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad de la madera de los pies derechos

A: Sección total de los pies derechos de borde

h: Altura del muro

K_F : Rigidez asociada al efecto de la flexión

Adicionalmente, poseerá una rigidez asociada al movimiento de un cuerpo rígido que es una deformación asociada al levantamiento del anclaje dependiendo de la tracción del anclaje y la tracción del sistema del anclaje (K_{HD}).

La tracción es producida por un momento volcante, el cual depende del corte y su altura. Este momento se puede descomponer por la distancia de ambas fuerzas (compresión y tracción) que presentan en los bordes la cual es medida en el centro geométrico de los pernos anclajes.

De esta forma es posible desarrollar la siguiente expresión:

$$\Delta_a = \frac{T}{K_{HD}} = \frac{h}{L' * K_{HD}} * V$$

Donde:

T: Tracción que recibe el anclaje

K_{HD} : Rigidez del anclaje

h: Altura del muro

L' : Distancia entre el eje del anclaje traccionado y el centro de los pies derechos del borde opuesto

V: Corte que recibe el muro en su extremo superior

a: Levantamiento del anclaje

Al invertir la flexibilidad, la rigidez asociada queda de la siguiente forma asociada al levantamiento del muro o desplazamiento del cuerpo rígido

$$K_{CR} = \frac{K_{HD}LL'}{h^2}$$

Para obtener K_{hd} el sistema de anclaje tipo ATS corresponde a una rigidez axial de la barra la cual depende del módulo de elasticidad del acero, el largo de la barra (Alto del muro + Altura de la losa de entrepiso) y área de la barra acero, esta área se recomienda de la tabla 7-17 del Manual of Steel Construction (AISC, 2015). [5]

$$K_{ATS} = \frac{E_{Acero} A_{barra}}{L_{barra}} = \frac{E_{Acero} A_e}{(H + h_{entrepiso})}$$

$$A_e = 0.7854 \cdot \left(D - \frac{0.9743}{n} \right)^2$$

Donde

D: Diámetro nominal de la barra

n: Número de hilos por pulgada

E acero: Modulo de elasticidad del acero

H: Altura muro

h entrepiso: Altura entrepiso

Estos datos se pueden encontrar en la tabla 7-17 del manual o en la tabla 4 de la norma ASTM F1554-18 (ASTM,2018) [5]

Table 7-17
Threading Dimensions for High-Strength
and Non-High-Strength Bolts

SCREW THREADS Unified Standard Series-UNC/UNRC and 4UN/4UNR ANSI B1.1					
Diameter		Area			
Bolt Diameter <i>d</i> , in.	Min. Root <i>K</i> , in.	Gross Bolt Area, in. ²	Min. Root Area, in. ²	Net Tensile Area ^a , in. ²	Threads per inch, <i>n</i> ^b
1/4	0.196	0.0490	0.0301	0.0320	20
3/8	0.307	0.110	0.0742	0.0780	16
1/2	0.417	0.196	0.136	0.142	13
5/8	0.527	0.307	0.218	0.226	11
3/4	0.642	0.442	0.323	0.334	10
7/8	0.755	0.601	0.447	0.462	9
1	0.865	0.785	0.587	0.606	8
1 1/8	0.970	0.994	0.740	0.763	7
1 1/4	1.10	1.23	0.942	0.969	7
1 3/8	1.19	1.49	1.12	1.16	6
1 1/2	1.32	1.77	1.37	1.41	6
1 3/4	1.53	2.41	1.85	1.90	5
2	1.76	3.14	2.43	2.50	4.5
2 1/4	2.01	3.98	3.17	3.25	4.5
2 1/2	2.23	4.91	3.90	4.00	4
2 3/4	2.48	5.94	4.83	4.93	4
3	2.73	7.07	5.85	5.97	4
3 1/4	2.98	8.30	6.97	7.10	4
3 1/2	3.23	9.62	8.19	8.33	4
3 3/4	3.48	11.0	9.51	9.66	4
4	3.73	12.6	10.9	11.1	4

^a Net tensile area = $0.7854 \times \left(d - \frac{0.9743}{n} \right)^2$

^b For diameters listed, thread series is UNC (coarse). For larger diameters, thread series is 4UN.

^c 2A denotes Class 2A fit applicable to external threads;
 2B denotes corresponding Class 2B fit for internal threads.

Tabla 2-1: Tabla 7-17 AISC 2015

Para la rigidez al corte corresponde a las planchas estructurales OSB y patrón de clavado perimetral de acuerdo a la siguiente expresión:

$$K_Q = \frac{1000G_a L * n}{h}$$

Donde:

G_a: Modulo de corte aparente entregado por la norma SDPWS [kips/in]

L: Largo del muro [ft]

n: Cantidad de planchas de OSB arriostrando al muro

K_Q: Rigidez asociada al efecto del corte [kips/in]

Los valores de G_a se encuentran detallados en una tabla de diseño que especifica su valor de acuerdo a espesor del panel, espaciamiento y tipo de clavo, y tipo de panel asociado a la deformación de un muro con una sola plancha de OSB.

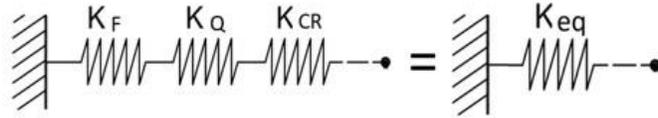
Table 4.3A Nominal Unit Shear Capacities for Wood-Frame Shear Walls^{1,3,6,7}

Wood-based Panels⁴

Sheathing Material	Minimum Nominal Panel Thickness (in.)	Minimum Fastener Penetration in Framing Member or Blocking (in.)	Fastener Type & Size	A SEISMIC												B WIND					
				Panel Edge Fastener Spacing (in.)						Panel Edge Fastener Spacing (in.)						Panel Edge Fastener Spacing (in.)					
				6		4		3		2		6		4		3		2			
				V_s (plf)	G_s (kips/in.)	V_s (plf)	G_s (kips/in.)	V_s (plf)	G_s (kips/in.)	V_s (plf)	G_s (kips/in.)	V_s (plf)	G_s (kips/in.)	V_w (plf)	V_w (plf)	V_w (plf)	V_w (plf)				
				OSB	PLY	OSB	PLY	OSB	PLY	OSB	PLY	OSB	PLY								
Wood Structural Panels - Structural ^{4,5}	5/16 3/8 ⁶ 7/16 ⁶ 15/32	1-1/4 1-3/8	Nail (common or galvanized box) 6d 8d 10d	400 460 510 560	13 14 16 14	10 14 13 11	600 720 790 860	18 24 21 18	13 17 16 14	780 920 1010 1100	23 20 27 24	16 20 19 24	1020 1220 1340 1460	560 645 715 785	840 1010 1105 1205	1090 1290 1415 1540	1430 1710 1875 2045				
	15/32	1-1/2	10d	680	22	16	1020	29	20	1330	36	22	1740	950	1430	1860	2435				
Wood Structural Panels - Sheathing ^{4,5}	5/16 3/8 7/16 ⁶ 15/32 19/32	1-1/4 1-3/8	6d 8d 10d	360 440 480 520 620 680	13 15 11 13 22 19	9.5 12 10 10 14 13	540 640 700 760 920 1020	18 25 22 19 30 26	12 15 14 13 17 16	700 820 900 980 1200 1330	24 31 28 25 37 33	14 17 17 15 19 18	900 1060 1170 1280 1540 1740	505 615 670 730 870 950	755 895 980 1065 1290 1430	980 1150 1260 1370 1680 1860	1260 1485 1640 1790 2155 2435				
Plywood Siding	5/16 3/8	1-1/4 1-3/8	Nail (galvanized casing) 6d 8d	280 320	13 16	420 480	16 18	550 620	17 20	720 820	21 22	390 450	590 670	770 870	1010 1150						
Particleboard Sheathing - (M-S "Exterior Glue" and M-2 "Exterior Glue")	3/8 3/8 1/2 1/2 5/8		Nail (common or galvanized box) 6d 8d 10d	240 260 280 370 400	15 18 18 21 21	360 380 420 550 610	17 20 20 23 23	460 480 540 720 790	19 21 22 24 24	600 630 700 920 1040	22 23 24 25 26	335 365 390 520 560	505 530 590 770 855	645 670 755 1010 1105	840 880 980 1290 1455						
Structural Fiberboard Sheathing	1/2 25/32		Nail (galvanized roofing) 11 ga. galv. roofing nail (0.120" x 1-1/2" long x 7/16" head) 11 ga. galv. roofing nail (0.120" x 1-3/4" long x 3/8" head)	340	4.0	460	5.0	520	5.5	475	645	730									

Tabla 2-2: Tabla 4.3A SDPWS-2015

De esta forma es posible conocer la rigidez equivalente combinando todos los esfuerzos vistos anteriormente de la siguiente forma:



Se calcula una rigidez teórica que involucra los 3 efectos dando una rigidez ante una carga lateral puntual en el extremo del muro.

$$K_{SDPWS} = \left(\frac{8h^3}{EAL^2} + \frac{h}{n * 1000G_aL} + \frac{h^2}{K_{HDLL'}} \right)^{-1}$$

2.3. Rigidez de un muro de material isotrópico

En el caso de la rigidez lateral de un muro compuesto se verá afectado por los efectos corte y flexión, según lo que se propone para el primer caso se considera como una viga empotrada o en voladizo queda definido por:

$$K'_F = \frac{3E'I'}{h^3}$$

Donde:

E' : Modulo de elasticidad del material isotrópico

I' : Inercia de la sección propuesta h : Altura del muro

K'_F : Rigidez asociada al efecto de la flexión

Para el caso de la rigidez a corte de acuerdo al modelo de viga profunda planteado por Neunhofer se define así:

$$K'_Q = \frac{G'A'}{1.2h}$$

Donde:

G' : Modulo de corte del material isotrópico

A : Área de la sección propuesta

h : Altura del muro

K'_Q : Rigidez asociada al efecto del corte

Debido a que las rigideces se encuentran en serie se tiene que sumar de manera armónica lo obtenido anteriormente de la siguiente forma:

$$K'_{eq} = \left(\frac{3E'I'}{h^3} + \frac{G'A'}{1.2h} \right)^{-1}$$

2.4. Compatibilidad rigidez lateral

De acuerdo a lo expuesto en el punto 2.2 y 2.3 es posible compatibilizar ambas rigideces despejando el módulo de corte (G') de acuerdo a la siguiente expresión:

$$K_{lat}^{MP} = K_{lat}^{Iso}$$

$$\frac{1}{K_F} + \frac{1}{K_Q} + \frac{1}{K_{CR}} = \frac{1}{K'_F} + \frac{1}{K'_Q}$$

$$\frac{8h^3}{EA_{PD}L^2} + \frac{h}{n * 1000G_aL} + \frac{h^2}{K_{HD}LL'} = \frac{h^3}{3E'I'} + \frac{1.2h}{G'A'}$$

Si se considera que la sección propuesta para el muro isotrópico posee dimensiones L y e , el módulo de corte queda definido en la siguiente ecuación:

$$G' = \frac{1.2h}{Le} * \left(\frac{8h^3}{EA_{PD}L^2} + \frac{h}{n * 1000G_aL} + \frac{h^2}{K_{HD}LL'} - \frac{4h^3}{E'L^3e} \right)^{-1}$$

3. PROYECTO ESTUDIADO

En este capítulo se presenta el diseño de un edificio de 6 niveles estructurado en base a madera en muros y envigado de piso en sistema marco-plataforma.

El diseño se ha realizado según la normativa vigente del país, según la sección 3.4 de este documento. Se ha considerado el efecto de cargas gravitacionales y por acción sísmica. La estructura se ha modelado mediante el programa de elementos finitos ETABS (CSI), utilizando elementos tipo “Frame” para columnas y vigas y elementos tipo “Shell” para muros y losas. La Figura 3-1 muestra una vista 3D del modelo del edificio.

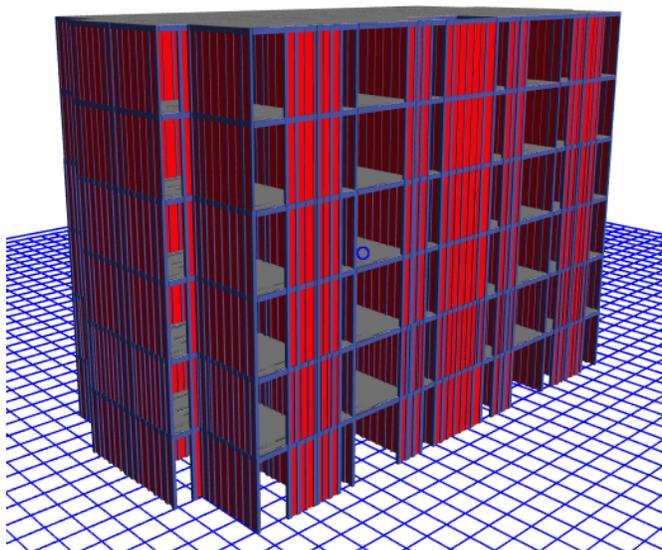


Figura 3-1: Modelo en elementos finitos

3.1. Tipo de edificio

El edificio investigado fue el tipo C para uso residencial con el sistema marco-plataforma con refuerzos de borde de los muros. La Figura 3-2 muestra una planta de arquitectura típica. Para la zona sísmica 1 la aceleración es 0.2g, con un suelo tipo D de acuerdo a lo que indica la norma de “Diseño sísmico de edificios” según la NCh433 Of.1996 Mod 2012 y D.S.61

El edificio tiene una altura total de 16,08 m, altura libre de piso de 2.47 m, ancho del edificio de 11,9 m, largo del edificio de 23 m y un área por planta de 258 m².

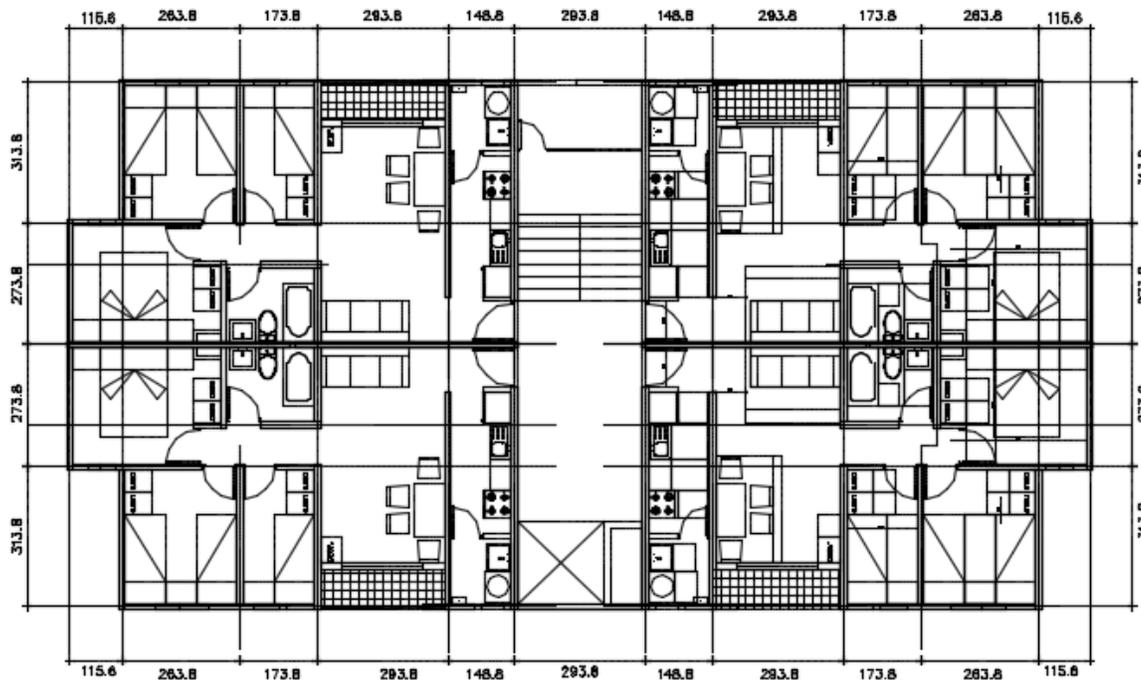


Figura 3-2: Planta de arquitectura edificio tipo C

Para la configuración de los paneles se estructura con pies derechos de madera aserrada MGP10 de 2x6" (35mm x138 mm) y 2x4" (35mm x 90 mm) que van distanciados según se detalla en la Tabla 3-1.

Piso 1	Doble 2x6" @ 600 mm
Piso 2	2x6" @ 400 mm
Piso 3	2x6" @ 600 mm
Piso 4	2x6" @ 600 mm
Piso 5	2x4" @ 600 mm
Piso 6	2x4" @ 600 mm

Tabla 3-1 Configuración de tableros.

Para la nomenclatura de los tableros se ocupa el siguiente orden de acuerdo a la Figura 3-3, diferenciando los muros en dirección X-X (Este-Oeste) e Y-Y (Norte-Sur).

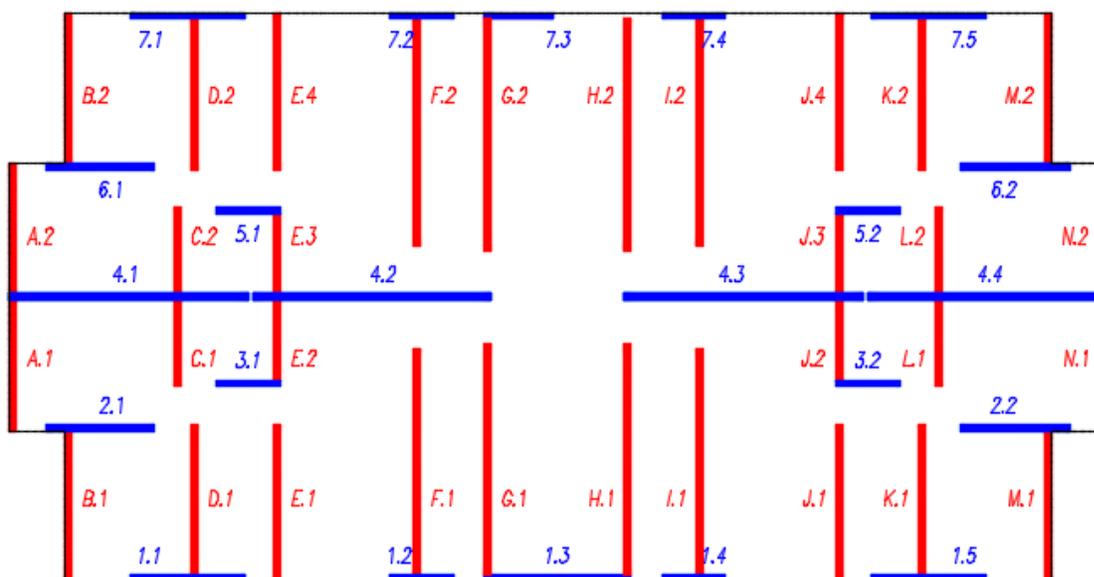


Figura 3-3: Planta de arquitectura edificio tipo C

El sistema de losas se conforma con vigas de madera aserrada de 2x8" (41 mm x185 mm) grado C16 espaciadas cada 400 mm con una placa de OSB de 11,1 mm más una losa de 41 mm.

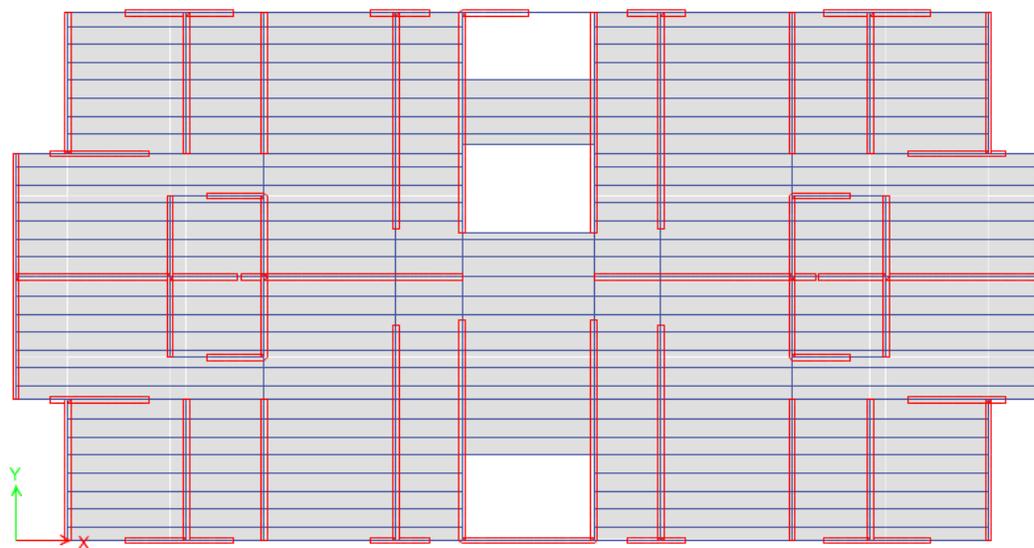


Figura 3-4: Planta de envigado de piso del edificio tipo C

Para la configuración de entepiso se consideró un entramado de piso con vigas principales 2x8" (41x185 mm) cada 400 mm y cadenetras de acuerdo a la Figura 3-5.

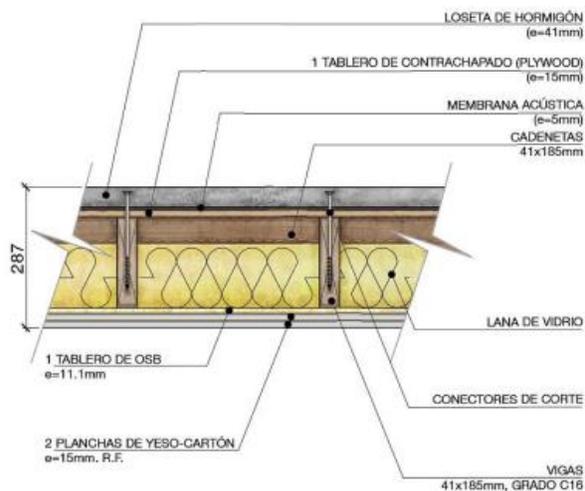


Figura 3-5: Configuración de entrepiso. Fuente: Manual de diseño de estructuras en madera [3]

Para cada piso se plantean las siguientes configuraciones de cada muro de manera de tener un valor inicial y poder comparar de mejor forma. Las Tablas 3-2 y 3-3 muestran las configuraciones de todos los muros de cada piso, en cada dirección principal, en términos de la cantidad de tableros arriostrantes OSB, el espaciamiento de clavos, el número de pies derechos de borde y el diámetro de las barras de borde ATS.

Piso	Cantidad tableros OSB	Espaciamiento de clavos (mm)	Numero de PPDD de borde	Diámetro de barra de ATS (mm)
1	2	50	10	44.5
2	2	50	8	38.1
3	2	100	7	31.8
4	2	100	6	25.4
5	1	50	2	19.1
6	1	100	1	19.1

Tabla 3-2 Configuración de tableros en dirección X

Piso	Cantidad tableros OSB	Espaciamiento de clavos (mm)	Numero de PPDD de borde	Diámetro de barra de ATS (mm)
1	1	50	10	44.5
2	1	50	8	38.1
3	1	100	7	31.8
4	1	100	6	25.4
5	1	50	2	19.1
6	1	100	1	19.1

Tabla 3-3 Configuración de tableros en dirección Y

3.2. Códigos aplicables

En las siguientes secciones se indican los códigos y normas de diseño nacionales e internacionales aplicables.

3.2.1 Normas nacionales

- Ordenanza General de la Ley de Urbanismo y Construcciones.
- NCh433.Of96 Mod.2009: “Diseño sísmico de estructuras”.
- D.S. N°60: “Requisitos de diseño y cálculo para el hormigón armado”.
- NCh1537.Of2009: “Diseño Estructural de Edificios – Cargas Permanentes y Sobrecargas de Uso”.
- NCh3171.Of2010: “Diseño Estructural – Disposiciones generales y combinaciones de carga”.
- NCh1198.Of2006: “Construcciones en madera – Cálculo”.

3.2.2 Normas y estándares extranjeros

- ACI 318S-08 “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario”.
- ANSI/AISC 360-10 “Especificación y Comentario para Construcciones de Acero”.
- SDPWS 2015: “Special Design Provisions for Wind & Seismic”

3.2.3 Información adicional

- Planos de arquitectura
- Modelo de muros marco Plataforma para un programa de elementos finitos mediante elementos área 2017, Cárcamo Chávez, Sebastián Ignacio
- Manual CIM-UC de diseño de estructura en madera

3.3 Materiales

3.3.1 Madera MGP 10 y C16

- Densidad 500 kg/m³
- Módulo de elasticidad 10000 MPA (MGP 10)
- Módulo de elasticidad 7900 MPA (C16)

Según tabla 4 – Tensiones admisibles y módulo de elasticidad en flexión para madera aserrada MPA NCh1198.

Grado estructural	Tensiones admisibles de:					Módulo de elasticidad en flexión	Índice de aplastamiento en compresión normal
	Flexión ¹⁾	Compresión paralela	Tracción paralela ¹⁾	Compresión normal	Cizalle		
	F_f MPa	F_{cp} MPa	F_{tp} MPa	F_{cn} MPa	F_{cz} MPa		
a) Visuales							
GS	11,0	8,5	6,0	2,5	1,1	10 500	5,65
G1	7,5	7,5	5,0	2,5	1,1	10 000	
G1 y mejor	9,5	7,8	5,5	2,5	1,1	10 100	
G2	5,4	6,5	4,0	2,5	1,1	8 900	
b) Mecánicos							
C24	9,3	8,0	4,7	2,5	1,1	10 200	5,65
C16	5,2	7,5	3,5	2,5	1,1	7 900	
MGP 10	8,4	10	4,0	2,5	1,3	10 000	
MGP 12	13,5	15,5	6,0	2,5	1,3	12 700	
1) Valores aplicables sobre piezas de altura de sección transversal ≤ 90 mm, excepto en los Grados Mecánicos MGP 10 y MGP 12, para los que el límite se incrementa hasta 160 mm.							
2) Valores aplicables sobre piezas de altura de sección transversal ≥ 180 mm, excepto en los Grados Mecánicos MGP 10 y MGP 12, cuyos valores son aplicables sobre cualquier altura de sección transversal. El módulo de elasticidad característico inherente al percentil del 5%, E_{fk} , se puede estimar como $0,60 E_f$.							

Tabla 3-4 Parámetros Tensión admisible y módulo de elasticidad: Fuente NCh 1198.

3.3.2 Placas arriostrantes OSB

Las placas arriostrantes Oriented Strand Board (OSB) son placas formadas por hijuelas de madera cuya densidad es de 700 kg/m³ y módulo de elasticidad 32264 kg/cm² la cual tiene buenas propiedades estructurales de arriostramiento.

Los siguientes son datos obtenidos de OSB-Home de LP Building products.

PROPIEDADES FÍSICO MÉCANICA

Esesor	OSB 9,5mm	OSB 11,1mm	OSB 15,1mm
Densidad (*)	705 Kg/m ³	700 Kg/m ³	705 Kg/m ³
IB (**)	30 PSI	30 PSI	30 PSI
Hinchamiento de esesor (***)	25 %	25 %	20 %
Flexión Estatica			
MDE Paralela Modulo de elasticidad	37.332 Kg/cm ²	35.264 Kg/cm ²	44.338 Kg/cm ²
MDE Normal	14.666 Kg/cm ²	8.396 Kg/cm ²	12.764 Kg/cm ²
MOR Paralela	222 Kg/cm ²	191 Kg/cm ²	216 Kg/cm ²
MOR Normal	115 Kg/cm ²	68 Kg/cm ²	97 Kg/cm ²
MOR Hum Paralela	110 Kg/cm ²	96 Kg/cm ²	109 Kg/cm ²
Extracción Lateral del Clavo			
(****)	534 N	534 N	400 N
Extracción Directa del Clavo			
(****)	89 N	89 N	67 N

Ensayos de acuerdo a la norma PS2-04. Valores entregados criterio = 1, Mínimo para Capacidad de Resistencia y Rigidez.

(*) No considera acondicionamiento o humectación.
 (**) Valores mínimos.
 (***) Valores promedio.
 (****) Para tableros de esesor mayor a 12,7mm se realiza ensayo en tratamiento humedo /resecado de acuerdo a ASTM E-661.

Tabla 3-5 Parámetros Tensión admisible y módulo de elasticidad OSB

3.3.3 Hormigón para la sobre losa

- Se usa hormigón G20 (90%) con las siguientes propiedades:

Resistencia a la comprensión: $f_c' = 200 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$

Módulo de Elasticidad: $E_c = 15100 \cdot (f_c')^{0.5} = 213546,24 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$

Peso Específico: $\gamma_c = 2400 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$

3.4 Solicitaciones de diseño

3.4.1 Cargas permanentes (D)

Las cargas permanentes corresponden a las cargas de peso propio y algunas otras cargas que se apliquen de forma permanentes.

- Carga Permanente 100 kgf/m²
- Carga Sobre losa (4.1 cm de espesor) 98,4 kgf/m²

3.4.2 Sobrecargas (L)

Las sobrecargas de uso consideradas para uso habitacional, según NCh1537 Of.1986, serán las siguientes:

- Sobrecarga de uso 200 kgf/m²

3.4.3 Solicitaciones sísmicas (e)

La sollicitación sísmica de la estructura, se ha considerado de acuerdo a los espectros de diseño, según el análisis modal espectral descrito en la norma de diseño sísmico de edificios NCh433 Of.1996 Mod.2009 y D.S.N°61 V y U de 2011. Las Tablas 3-6, 3-7 y 3-8 muestran el resumen de los parámetros requeridos para realizar el análisis sísmico.

Zona sísmica	1
Tipo suelo	D
Categoría edificio	II

Tabla 3-6 Parámetros que dependen de la ubicación y categoría del edificio.

I	1.0
Ao/g	0.2

Tabla 3-7 Parámetros NCh 433 Of.1996 Mod.2009.

S	1,2
To	0,75
T'	0,85
n	1,8
p	1,0

Tabla 3-8 Parámetros D.S. N°61 que dependen del tipo de suelo.

3.4.4 Espectro de diseño

En la siguiente Figura 3-6 se muestra el Espectro elástico de diseño para el sitio de la ubicación del edificio. Se observa que el máximo ocurre entre los 0.45-0.55 segundos.

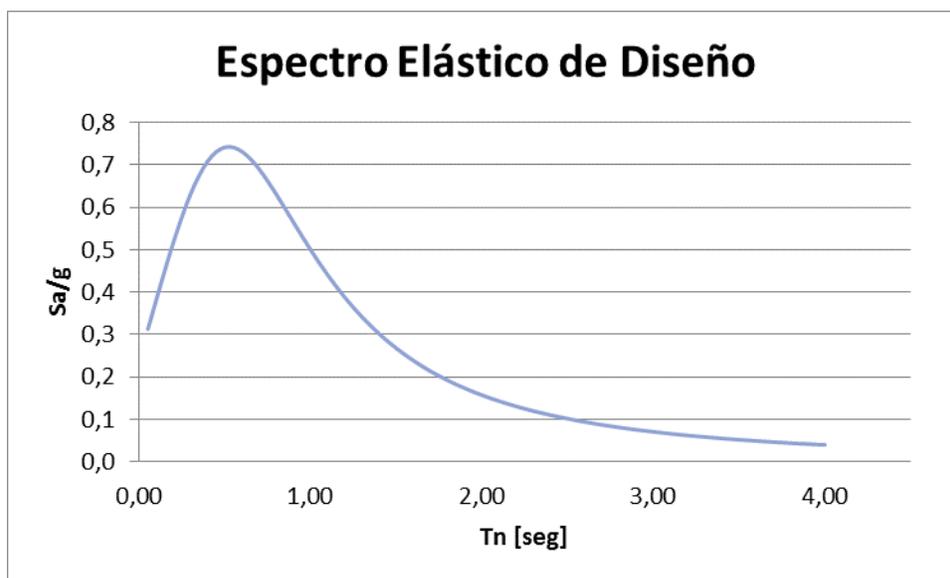


Figura 3-6: Espectro elástico de diseño de aceleración según NCh433.

3.5 Combinaciones de carga

3.5.1 Estados de carga

- D: Peso propio.
- L: Sobrecarga.
- E: Sismo.
- Et: Sismo considerando torsion.

3.5.2 Combinaciones de carga

Se consideran las siguientes combinaciones de carga, de acuerdo a NCh3171 Of.2010.

COMB	Factores de mayoración			
	D	L	+/- E	+/- Et
1	1,0	-	-	-
2	1,0	1,0	-	-
3	1,0	-	1,0	
4	1,0	-	-	1,0
5	1,0	0,75	0,75	-
6	1,0	0,75	-	0,75
7	0,6	-	1,0	
8	0,6	-	-	1,0

Tabla 3-9: Combinaciones de carga para diseño por resistencia última.

4 MODELO DEL EDIFICIO

En este capítulo se presentan las comparaciones y especificaciones de los 3 tipos de modelos utilizados para realizar el análisis, los factores de reducción de rigidez y la torsión accidental que se considera en todos los modelos.

4.1 Modelo tipo

Este modelo es obtenido mediante cálculos manuales, el cual se basa en calcular la rigidez lateral equivalente de cada muro para obtener una rigidez del edificio total y de esta manera obtener los periodos fundamentales del edificio. La explicación del método, los parámetros y resultados del modelo se obtienen del Manual de Diseño de Estructuras en madera del CIM-UC [3], la cual se muestra en la Tabla 4-1.

Análisis Modal Espectral NCH 433 Of.1996 Mod. 2012/ DS 61		
Parámetros relativos al tipo de suelo	Tipo de suelo	D
	S	1,2
	To [s]	0,75
	T' [s]	0,85
	n	1,8
	p	1
Factor de importancia	Categoría del edificio	II
		1
Aceleración efectiva máxima	Zona sísmica	1
	Ao [g]	0,2
Factor de Reducción	Ro	7
Período del modo con mayor masa traslacional equivalente	T*x [s]	0,621
	T*y [s]	0,574
Peso total del edificio [D+0.25L]	P [tonf]	509,5
Cotas coeficiente sísmico	Vbmin [tonf]	20,4
	Vbmax [tonf]	48,9

Tipo de combinación modal			CQC
Elásticas	Factor de Reducción	R_x^*	1,000
		R_y^*	1,000
	Cálculo cortes basales elásticos (Tonf)	V_{bx} SRSS	304,5
		V_{by} SRSS	310,0
		V_{bx} CQC	305,9
		V_{by} CQC	310,3
		V_{bx}	305,9
		V_{by}	310,3
Reducidas (R^*)	Factor de Reducción	R_x^*	4,793
		R_y^*	4,657
	Cálculo cortes basales reducidos (Tonf)	V_{bx} SRSS	63,5
		V_{by} SRSS	66,6
		V_{bx} CQC	63,8
		V_{by} CQC	66,6
		V_{bx}	63,8
		V_{by}	66,6
Reducidas efectivas (R^*_{ef})	Factor de reducción efectivo	$R_x^*_{ef}$	6,254
		$R_y^*_{ef}$	6,345
	Cálculo cortes basales reducidos efectivos (Tonf)	V_{bx} SRSS	48,7
		V_{by} SRSS	48,8
		V_{bx} CQC	48,9
		V_{by} CQC	48,9
		V_{bx}	48,9
		V_{by}	48,9

Tabla 4-1: Método manual edificio tipo C

4.2 Modelo 1

Este modelo se realiza en elementos finitos modelando los pies derechos como elementos tipo “frame” rotulados en sus dos extremos y los paneles OSB con elementos tipo “Shell” según se muestra en la Figura 4-1. Para el envigado de pisos se utilizó elementos tipo “Membrane” para que su rigidez flexural fuera de su plano no sea influyente en el resultado final. Los diferentes colores en la Figura 4-1 representan elementos de diferentes dimensiones. Adicionalmente se contemplan los siguientes ítems:

- Solo se consideran en el modelo los muros cuya relación altura/largo sea menor a 2.
- El peso de la loseta se agrega a la carga permanente en cada piso.
- Por temas de simplificación de modelo no se incluyen los elementos de soleras inferiores ni superiores.
- Los elementos Frame y Shell se consideran sin reducción de rigidez.
- El último nivel de piso se considera de la misma forma que los pisos inferiores en términos de cargas y configuraciones.

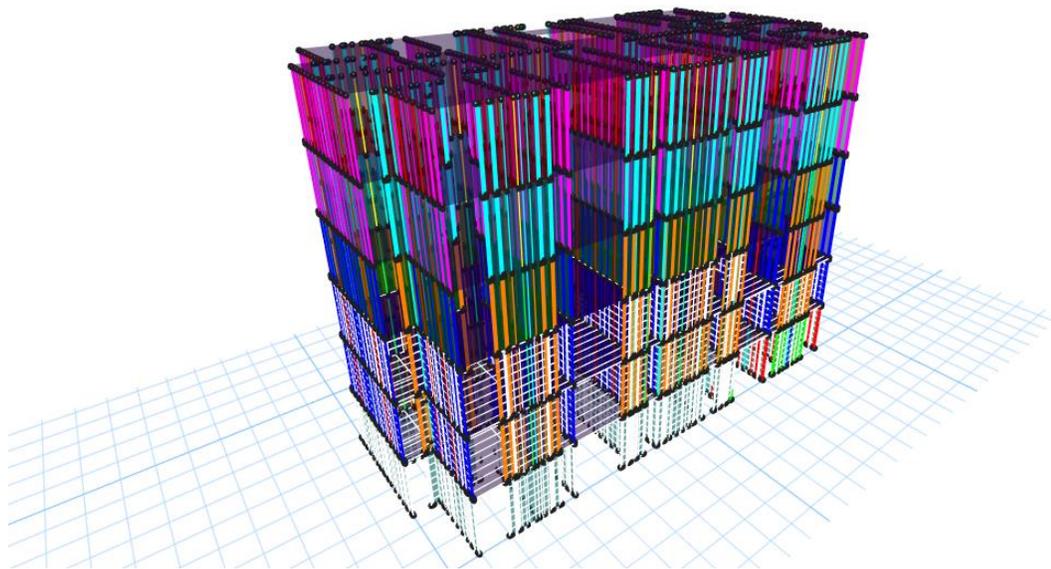


Figura 4-1: Modelo en 3D modelo 1

En la Figura 4-2 se muestra la planta del tercer piso, la cual muestra una disposición tipo de los pies derechos junto a los elementos Shell de los paneles OSB.

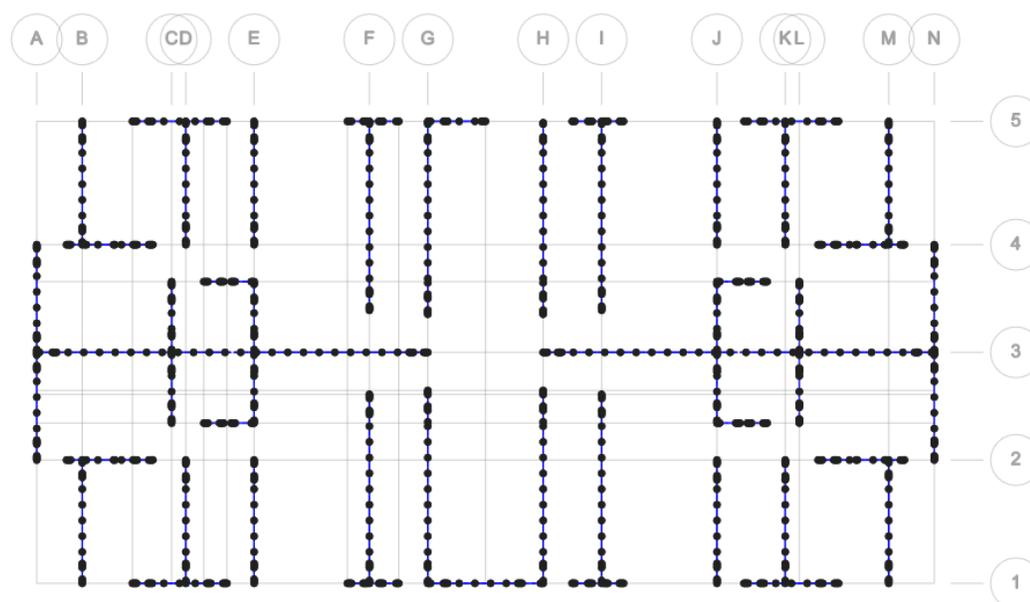


Figura 4-2: Planta tipo de edificio modelo 1

En la figura 4-3 se muestra la elevación del eje A, en la cual se ven distintos tipos de elementos Shell variando en la altura, ya que en cada piso los paneles OSB del muro del eje A tienen propiedades distintas.

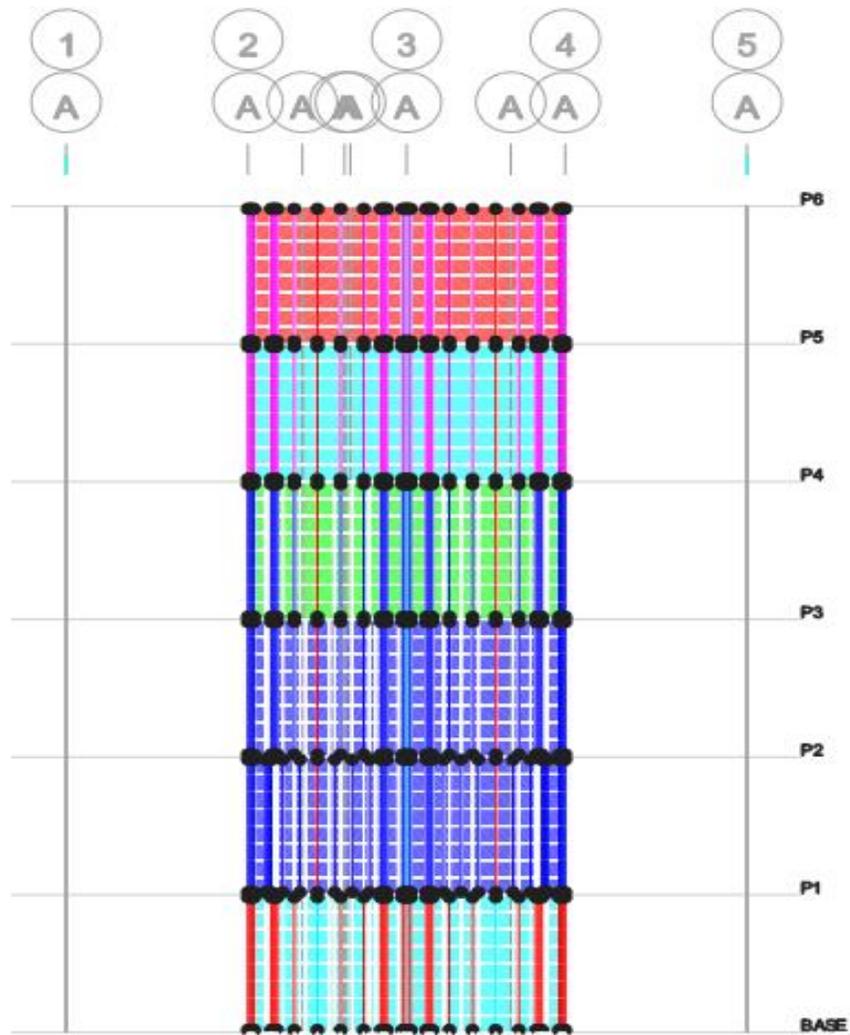


Figura 4-3: Elevación eje A modelo 1

4.3 Modelo 2

Para este modelo solo se ocupa elementos “Shell” para modelar los muros los cuales tienen las propiedades según el método de Shell equivalente (Cárcamo, 2017) [1] y una reducción del módulo de corte de acuerdo a lo planteado en SDPWS 2015. Adicionalmente se contemplan las siguientes consideraciones:

- Solo se modelan los muros cuya relación altura/largo sea menor a 2.
- El peso de la loseta se agrega a la carga permanente en cada piso.
- Por temas de simplificación de modelo no se consideran soleras inferiores ni superiores.
- Los elementos Shell se consideran sin reducción de rigidez.
- El último nivel de piso se considera de la misma forma que los pisos inferiores en términos de cargas y configuraciones.

En la Figura 4-4 se muestra el modelo en 3D, el cual se muestra distintos colores ya que lo que se trata de mostrar son las diferentes configuraciones de los muros por pisos y en altura.

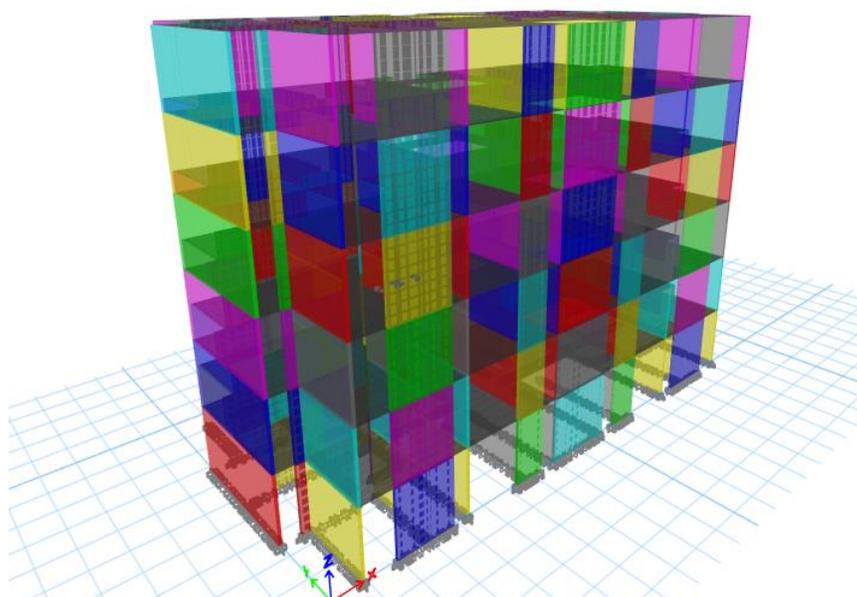


Figura 4-4: Modelo 2 en 3D

En la Figura 4-5 se muestra la planta del piso 3, en la cual se pueden observar de manera gráfica la forma en que están dispuestos los elementos Shell, mientras que en la Figura 4-6 se muestra la elevación del eje A, en la cual se ven distintos tipos de Shell variando en la altura ya que en cada piso los muros tienen propiedades distintas.

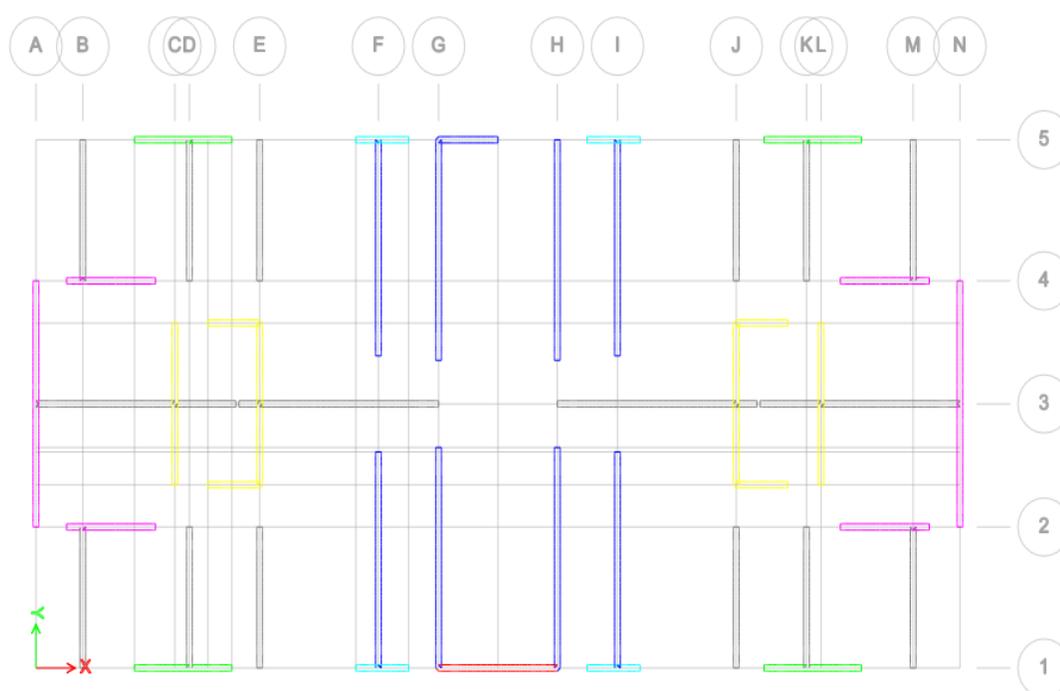


Figura 4-5: Planta tipo de edificio modelo 2

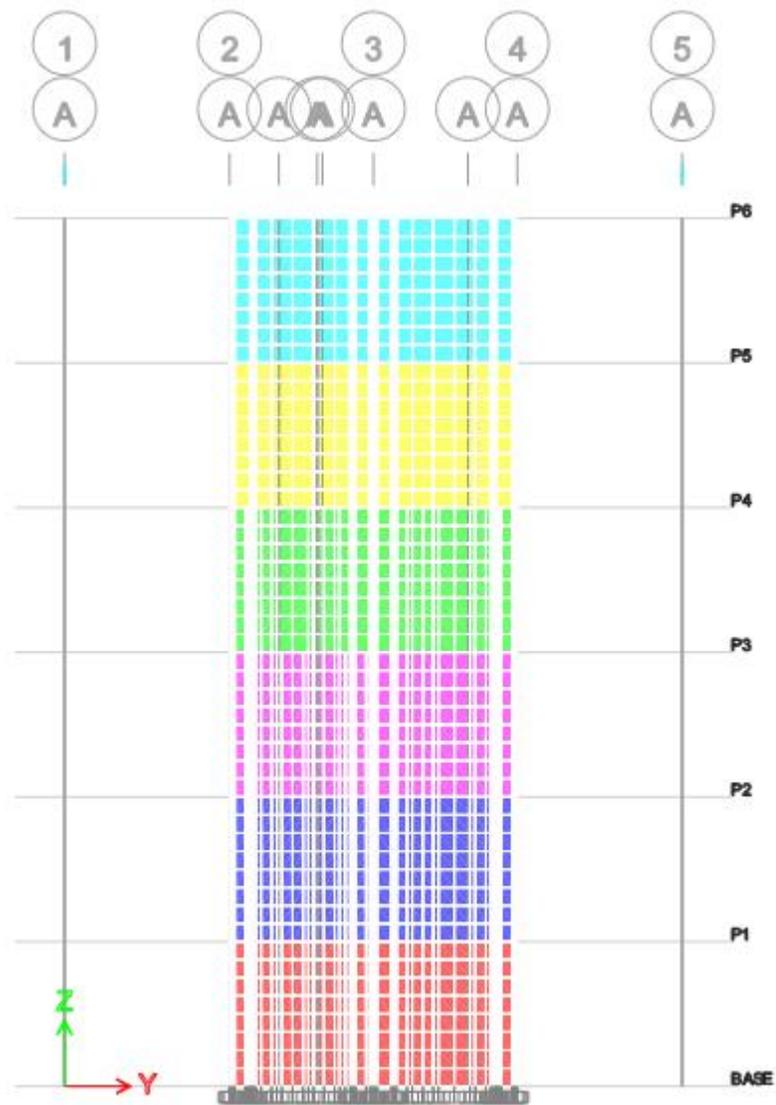


Figura 4-6: Elevación eje A modelo 2

4.4 Factor de reducción de módulo de rigidez

Para el modelo 2 se plantea ocupar un modelo equivalente de Shell (Cárcamo, 2017) [1], en el cual se ingresa el módulo de corte G' , la densidad del Shell y la elasticidad equivalente simulando los pies derechos en el muro de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$G'_{bruto} = \frac{1,2h}{Le} * \left(\frac{8h^3}{EA_{pd}L^2} + \frac{h}{n * 1000 * Ga * L} - \frac{4h^3}{E'L^3e} \right)^{-1}$$

$$G'_{def} = \frac{1,2h}{Le} * \left(\frac{8h^3}{EA_{pd}L^2} + \frac{h}{n * 1000 * Ga * L} + \frac{h^2}{K_{hd}L'L} - \frac{4h^3}{E'L^3e} \right)^{-1}$$

$$E' = \frac{A_{pd}}{A'} * E$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad de la madera de los pies derechos [psi]

h: Altura del muro [ft]

Ga: Modulo de corte aparente entregado por la norma SDPWS [kips/in]

L: Largo del muro [ft]

n: Cantidad de planchas de OSB arriostrando al muro

A: Área de la sección propuesta [inch²]

A_{pd}: Sección total de los pies derechos de borde [inch²]

K_{HD}: Rigidez del anclaje [kips/in]

L': Distancia entre el eje del anclaje traccionado y el centro de los pies derechos del borde opuesto [ft]

Primer nivel					
Ejes	L	G' def	G bruto	E'	Densidad
	cm	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm3
A2-A1-N1-N2	274	479,5	532,6	61630	0,00040
C2-C1-E3-E2-L2-L1-J2-J3	180	447,9	531,9	93814	0,00056
D1-D2-E1-E4-J1-J4-K1-K2	314	493,1	533,9	62742	0,00041
F1-F2-G1-G2-H1-H2-I1-I2	481	509,8	534,7	46809	0,00033
1,1-7,1-1,5-7,5	240	856,3	1060,1	70360	0,00055
1,2-1,4-7,2-7,4	131	618,5	1046,7	107420	0,00073
1,3	294	900,4	1062,1	57437	0,00049
2,1-2,2-6,1-6,2	220	833,6	1059,0	76757	0,00058
3,1-3,2-5,1-5,2	128	604,3	1046,2	109938	0,00074
4,1-4,2-4,3-4,4	495	975,5	1067,3	45486	0,00043
7,3	143	667,5	1048,8	98406	0,00069

Tabla 4-2 Propiedades primer nivel

Segundo nivel					
Ejes	L	G' def	G bruto	E'	Densidad
	cm	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm3
A2-A1-N1-N2	274	475,6	530,3	28247	0,00024
C2-C1-E3-E2-L2-L1-J2-J3	180	441,9	527,5	42998	0,00031
D1-D2-E1-E4-J1-J4-K1-K2	314	484,2	531,8	30250	0,00025
F1-F2-G1-G2-H1-H2-I1-I2	481	502,9	533,6	23405	0,00022
1,1-7,1-1,5-7,5	240	826,6	1046,9	32249	0,00036
1,2-1,4-7,2-7,4	131	641,5	1015,0	45654	0,00043
1,3	294	869,0	1051,3	26325	0,00033
2,1-2,2-6,1-6,2	220	806,0	1044,7	35180	0,00038
3,1-3,2-5,1-5,2	128	632,7	1013,8	46724	0,00043
4,1-4,2-4,3-4,4	495	951,2	1063,2	22743	0,00032
7,3	143	673,4	1019,5	41823	0,00041

Tabla 4-3 Propiedades segundo nivel

Tercer nivel					
Ejes	L	G' def	G bruto	E'	Densidad
	cm	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm3
A2-A1-N1-N2	274	255,4	278,7	23111	0,00022
C2-C1-E3-E2-L2-L1-J2-J3	180	239,9	277,8	35180	0,00027
D1-D2-E1-E4-J1-J4-K1-K2	314	259,2	279,3	24649	0,00022
F1-F2-G1-G2-H1-H2-I1-I2	481	267,2	279,9	19016	0,00020
1,1-7,1-1,5-7,5	240	455,5	552,9	26385	0,00033
1,2-1,4-7,2-7,4	131	361,4	542,0	37597	0,00039
1,3	294	475,2	554,4	21539	0,00031
2,1-2,2-6,1-6,2	220	445,6	552,1	28784	0,00034
3,1-3,2-5,1-5,2	128	356,5	541,6	38478	0,00039
4,1-4,2-4,3-4,4	495	511,5	558,3	18478	0,00029
7,3	143	378,8	543,5	34442	0,00037

Tabla 4-4 Propiedades tercer nivel

Cuarto nivel					
Ejes	L	G' def	G bruto	E'	Densidad
	cm	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm3
A2-A1-N1-N2	274	243,3	278,5	20543	0,00020
C2-C1-E3-E2-L2-L1-J2-J3	180	222,2	277,5	31271	0,00026
D1-D2-E1-E4-J1-J4-K1-K2	314	248,6	279,1	22408	0,00021
F1-F2-G1-G2-H1-H2-I1-I2	481	260,2	279,8	17554	0,00019
1,1-7,1-1,5-7,5	240	412,4	551,8	23453	0,00032
1,2-1,4-7,2-7,4	131	303,2	538,9	32226	0,00036
1,3	294	437,9	553,5	19146	0,00030
2,1-2,2-6,1-6,2	220	400,0	551,0	25586	0,00033
3,1-3,2-5,1-5,2	128	298,0	538,4	32981	0,00037
4,1-4,2-4,3-4,4	495	487,1	558,1	17057	0,00029
7,3	143	322,1	540,7	29522	0,00035

Tabla 4-5 Propiedades cuarto nivel

Quinto nivel					
Ejes	L	G' def	G bruto	E'	Densidad
	cm	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm3
A2-A1-N1-N2	274	351,5	517,8	8374	0,00014
C2-C1-E3-E2-L2-L1-J2-J3	180	285,0	508,9	12746	0,00016
D1-D2-E1-E4-J1-J4-K1-K2	314	372,3	524,4	10230	0,00015
F1-F2-G1-G2-H1-H2-I1-I2	481	422,2	529,9	8586	0,00014
1,1-7,1-1,5-7,5	240	331,9	515,3	9560	0,00015
1,2-1,4-7,2-7,4	131	222,2	478,0	10509	0,00015
1,3	294	361,3	519,0	7804	0,00014
2,1-2,2-6,1-6,2	220	318,4	513,6	10429	0,00015
3,1-3,2-5,1-5,2	128	217,8	476,8	10755	0,00015
4,1-4,2-4,3-4,4	495	425,0	530,1	8343	0,00014
7,3	143	238,6	482,3	9627	0,00015

Tabla 4-6 Propiedades quinto nivel

Sexto nivel					
Ejes	L	G' def	G bruto	E'	Densidad
	cm	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm3
A2-A1-N1-N2	274	219,7	274,4	6699	0,00013
C2-C1-E3-E2-L2-L1-J2-J3	180	191,9	271,2	10197	0,00015
D1-D2-E1-E4-J1-J4-K1-K2	314	228,1	276,9	8768	0,00014
F1-F2-G1-G2-H1-H2-I1-I2	481	245,9	278,8	7632	0,00014
1,1-7,1-1,5-7,5	240	211,9	273,5	7648	0,00014
1,2-1,4-7,2-7,4	131	159,7	256,3	7006	0,00014
1,3	294	223,5	274,8	6243	0,00013
2,1-2,2-6,1-6,2	220	206,3	272,9	8343	0,00014
3,1-3,2-5,1-5,2	128	157,4	255,7	7170	0,00014
4,1-4,2-4,3-4,4	495	246,8	278,8	7416	0,00014
7,3	143	167,9	258,1	6418	0,00013

Tabla 4-7 Propiedades sexto nivel

4.5 Torsión accidental

El efecto de la torsión accidental se considera aplicando momentos de torsión estáticos en cada nivel, calculados como el producto de la variación del esfuerzo de corte combinado en ese nivel, por una excentricidad accidental dará por:

- $\pm b_{ky} Z_k / h$ para el sismo según dirección en X
- $\pm b_{kx} Z_k / h$ para el sismo según dirección en Y

En donde b_k es el largo de piso de la dirección en análisis, Z_k es la altura del piso acumulada y h es la altura total.

A continuación, en la Tabla 4-8, se muestran las excentricidades accidentales que existen en los ejes x e y para cada piso.

N° Piso	Altura	Altura [m]	Excentricidad eje x (m)	Altura [m]	Excentricidad eje y (m)
0	0	0	0,00	0	0,00
1	2,757	2,757	0,20	2,757	0,38
2	2,757	5,514	0,40	5,514	0,77
3	2,757	8,271	0,60	8,271	1,15
4	2,757	11,028	0,79	11,028	1,53
5	2,757	13,785	0,99	13,785	1,92
6	2,757	16,500	1,19	16,542	2,30

Tabla 4-8 Torsión accidental

5 RESULTADOS Y ANALISIS DEL MODELO 1

Para poder comparar la efectividad del modelo se plantea un modelo en primera instancia sin dividir los Shell en altura, luego se compara con el Shell dividido en 8 veces de forma horizontal, ya que Cárcamo (2017) plantea que los resultados del modelo convergen y que la diferencia porcentual disminuye considerablemente llegando casi a 0% cuando los elementos son divididos desde ese número.

5.1 Análisis sísmico modelo Shell completo

Parámetros NCh 433 Of 96 mod 2009:

Dirección X

R	5,5
R _o	7

Dirección Y

R	5,5
R _o	7

Parámetro que depende del tipo de suelo DS N°61:

T _o	0,75
----------------	------

Periodos con mayor masa traslacional equivalente:

T* _x (seg)	0,3740	73,90%	Masa equivalente
T* _y (seg)	0,3350	79,58%	Masa equivalente

Factores de reducción de la respuesta NCh 433:

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0,10 T_o + \frac{T^*}{R_o}}$$

R* _x	3,91
R* _y	3,73

Parámetros:

I	1,0
A _o /g	0,2
S	1,2
P/g (tonf/m/s ²)	49,32
g (m/s ²)	9,8
P (tonf)	483,8

Corte basal mínimo DS N°61:

Cmin	0,04
Qmin (tonf)	19,35

Corte basal máximo NCh 433:

Dir X

Cmax	0,10
Qmax (tonf)	46,44

Dir Y

Cmax	0,10
Qmax (tonf)	46,44

Cortes basales elásticos:

Qox (tonf)	242,55
Qoy (tonf)	250,19

Cortes basales reducidos:

$$Q_{red} = Q_{elas}/R^*$$

Qredx (tonf)	62,00
Qredy (tonf)	67,13

$$Q_{red} = Q_{elas}/R^{**}$$

Qredx (tonf)	46,44
Qredy (tonf)	46,44

Factores de reducción R:

R*x	-
R*y	-
R**x	5,22
R**y	5,39

5.2 Análisis sísmico modelo Shell dividido horizontalmente 8 veces

Parámetros NCh 433 Of 96 mod 2009:

Dirección X

R	5,5
R _o	7

Dirección Y

R	5,5
R _o	7

Parámetro que depende del tipo de suelo DS N°61:

T _o	0,75
----------------	------

Periodos con mayor masa traslacional equivalente:

T* _x (seg)	0,5050	82,37%	Masa equivalente
T* _y (seg)	0,4950	73,47%	Masa equivalente

Factores de reducción de la respuesta NCh 433:

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0,10 T_o + \frac{T^*}{R_o}}$$

R* _x	4,43
R* _y	4,40

Parámetros:

I	1,0
A _o /g	0,2
S	1,2
P/g (tonf/m/s ²)	49,32
g (m/s ²)	9,8
P (tonf)	483,8

Corte basal mínimo DS N°61:

Cmin	0,04
Qmin (tonf)	19,35

Corte basal máximo NCh 433:

Dir X

Cmax	0,10
Qmax (tonf)	46,44

Dir Y

Cmax	0,10
Qmax (tonf)	46,44

Cortes basales elásticos:

Qox (tonf)	268,03
Qoy (tonf)	289,56

Cortes basales reducidos:

$$Q_{red} = Q_{elas}/R^*$$

Qredx (tonf)	60,48
Qredy (tonf)	65,85

$$Q_{red} = Q_{elas}/R^{**}$$

Qredx (tonf)	46,44
Qredy (tonf)	46,44

Factores de reducción R:

R*x	-
R*y	-
R**x	5,77
R**y	6,23

5.3 Drift modelo Shell completo

A continuación, se muestran los desplazamientos de entrepiso para cada dirección de análisis en la Tabla 5-1 y 5-2.

Dirección X					
Piso	Drift CM (%)	Estado (< 2‰)	Desp. Borde (cm)	Drift borde (%)	Estado (< 1‰)
PISO 6	0,0004	OK	0,70	0,0004	OK
PISO 5	0,0005	OK	0,59	0,0005	OK
PISO 4	0,0005	OK	0,45	0,0005	OK
PISO 3	0,0005	OK	0,31	0,0005	OK
PISO 2	0,0003	OK	0,17	0,0003	OK
PISO 1	0,0002	OK	0,07	0,0002	OK

Tabla 5-1: Drift de borde y centro dirección X

Dirección Y					
Piso	Drift CM (%)	Estado (< 2‰)	Desp. Borde (cm)	Drift borde (%)	Estado (< 1‰)
PISO 6	0,0002	OK	0,51	0,0001	OK
PISO 5	0,0002	OK	0,46	0,0002	OK
PISO 4	0,0003	OK	0,40	0,0003	OK
PISO 3	0,0004	OK	0,29	0,0004	OK
PISO 2	0,0004	OK	0,17	0,0003	OK
PISO 1	0,0002	OK	0,07	0,0002	OK

Tabla 5-2: Drift de borde y centro dirección Y

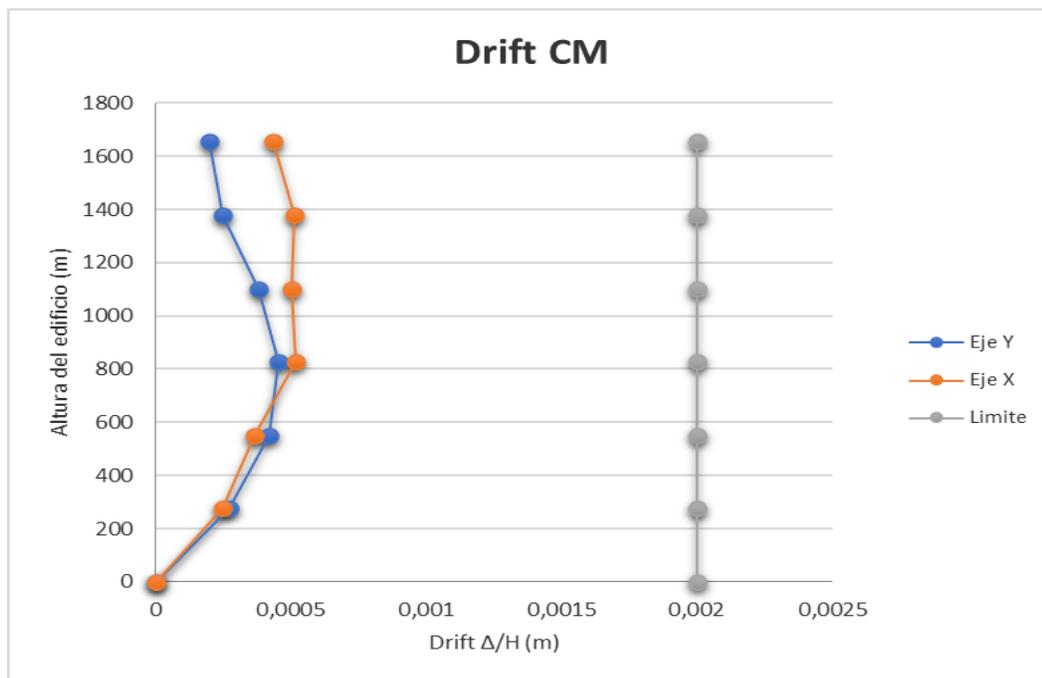


Figura 5-1: Drift centro masa

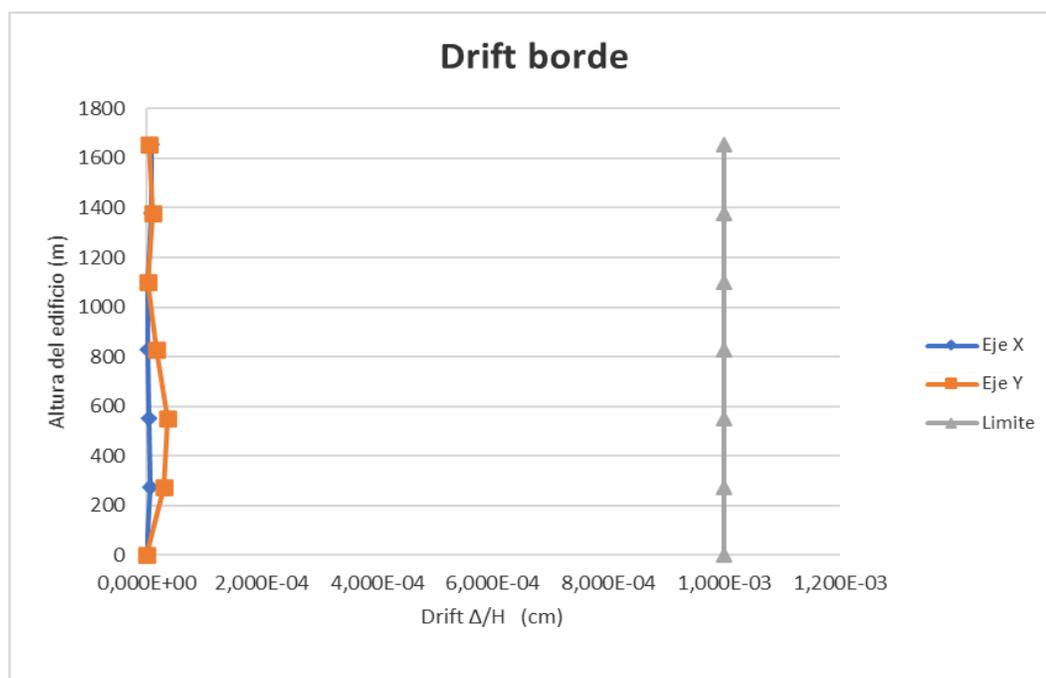


Figura 5-2: Drift borde

5.4 Drift modelo Shell dividido 8 veces

A continuación, se muestran los desplazamientos de entrepiso para cada dirección de análisis en la Tabla 5-3 y 5-4.

Dirección X					
Piso	Drift CM (%)	Estado (< 2‰)	Desp. Borde (cm)	Drift borde (%)	Estado (< 1‰)
PISO 6	0,0006	OK	1,15	0,0006	OK
PISO 5	0,0006	OK	0,97	0,0006	OK
PISO 4	0,0008	OK	0,79	0,0008	OK
PISO 3	0,0009	OK	0,56	0,0009	OK
PISO 2	0,0005	OK	0,30	0,0005	OK
PISO 1	0,0005	OK	0,15	0,0005	OK

Tabla 5-3: Drift de borde y centro dirección X

Dirección Y					
Piso	Drift CM (%)	Estado (< 2‰)	Desp. Borde (cm)	Drift borde (%)	Estado (< 1‰)
PISO 6	0,0003	OK	1,09	0,0003	OK
PISO 5	0,0003	OK	1,00	0,0003	OK
PISO 4	0,0009	OK	0,92	0,0007	OK
PISO 3	0,0019	OK	0,71	0,0009	OK
PISO 2	0,0012	OK	0,45	0,0010	OK
PISO 1	0,0006	OK	0,16	0,0005	OK

Tabla 5-4: Drift de borde y centro dirección Y

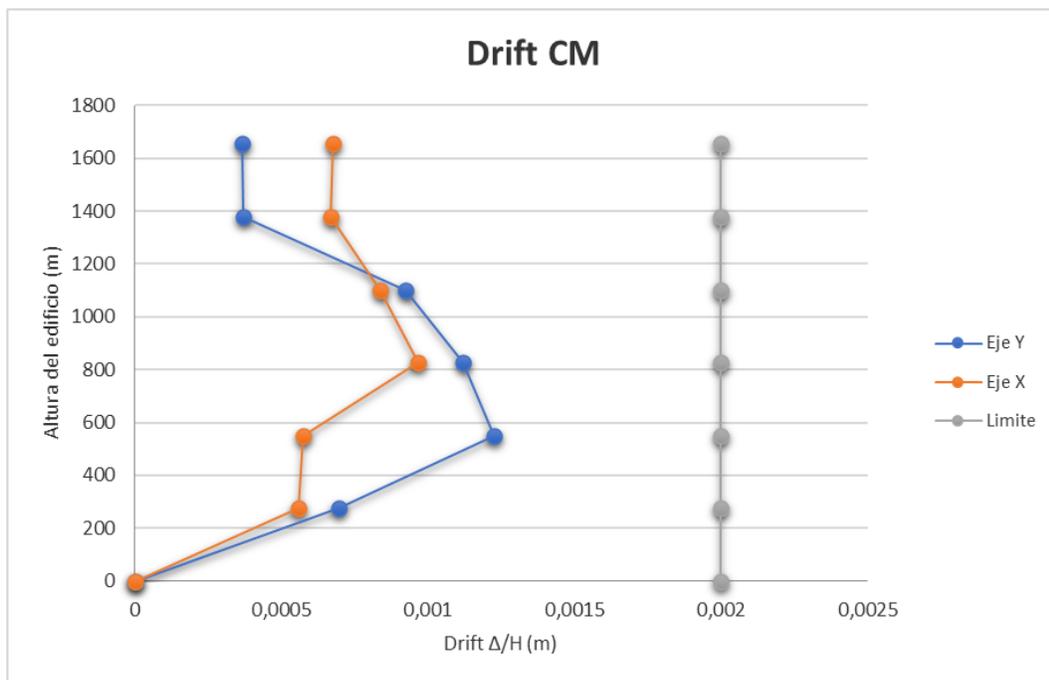


Figura 5-3: Drift centro masa

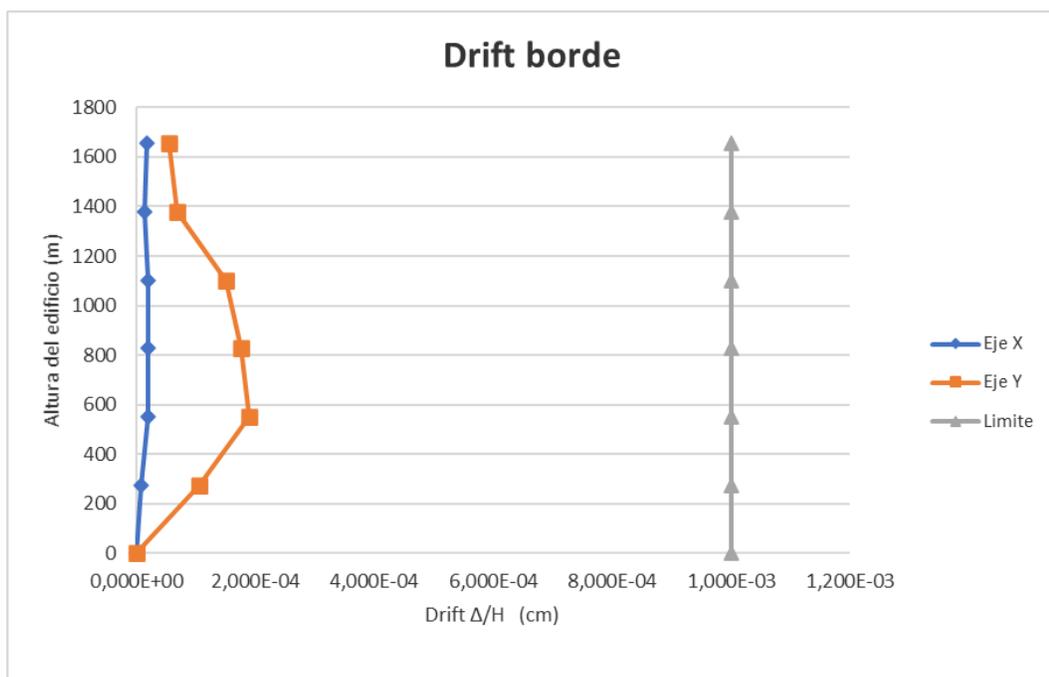


Figura 5-4: Drift borde

5.5 Comentarios modelo 1

- En términos de peso, el modelo se puede considerar aceptable ya que solo presenta una diferencia de 26 toneladas en la modelación en elementos finitos con el método realizado manualmente. Esta diferencia se debe a que en el modelo de elementos finitos no fue considerado las soleras superior e inferior de cada elemento.

- Con respecto a la división de elementos en altura se puede observar que la flexibilidad del modelo aumenta en un 35% en el eje X y un 47% en el eje Y, por lo que se considera importante subdividir los elementos Shell para el análisis.

- En términos de drift, el modelo completo es menos conservador que el modelo dividido en 8 veces ya que entrega desplazamientos más pequeños por lo que no representa un valor real.

- El modelo con una discretización mínima de 8 veces en altura presenta una cercanía al periodo objetivo de casi el 80% en el eje X y en el periodo en el eje Y cercano a un 86%, por lo que se considera que el modelo es adecuado y es necesario la discretización propuesta.

- No se puede establecer una conclusión clara sobre la deformación lateral del edificio porque este tipo de modelación si bien es exacta no considera la rigidez del anclaje A.T.S, por lo que análisis tiende a ser conservador.

6 RESULTADOS Y ANALISIS DEL MODELO 2

Para poder comparar la efectividad del modelo se plantea un modelo en primera instancia sin dividir los Shell en altura, luego se compara con el Shell dividido en 8 veces de forma horizontal, ya que Cárcamo (2017) plantea que los resultados del modelo convergen y que la diferencia porcentual disminuye considerablemente llegando casi a 0% cuando los elementos son divididos desde ese número.

6.1 Análisis sísmico modelo Shell completo

Parámetros NCh 433 Of 96 mod 2009:

Dirección X

R	5,5
R _o	7

Dirección Y

R	5,5
R _o	7

Parámetro que depende del tipo de suelo DS N°61:

T _o	0,75
----------------	------

Periodos con mayor masa traslacional equivalente:

T* _x (seg)	0,5450	72,27%	Masa equivalente
T* _y (seg)	0,5080	76,48%	Masa equivalente

Factores de reducción de la respuesta NCh 433:

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0,10 T_o + \frac{T^*}{R_o}}$$

R* _x	4,57
R* _y	4,44

Parámetros:

I	1,0
A _o /g	0,2
S	1,2
P/g (tonf/m/s ²)	49,05
g (m/s ²)	9,8
P (tonf)	481,2

6.2 Análisis sísmico modelo Shell dividido horizontalmente 8 veces

Parámetros NCh 433 Of 96 mod 2009:

Dirección X

R	5,5
R _o	7

Dirección Y

R	5,5
R _o	7

Parámetro que depende del tipo de suelo DS N°61:

T _o	0,75
----------------	------

Periodos con mayor masa traslacional equivalente:

T* _x (seg)	0,6200	70,81%	Masa equivalente
T* _y (seg)	0,5620	75,02%	Masa equivalente

Factores de reducción de la respuesta NCh 433:

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0,10 T_o + \frac{T^*}{R_o}}$$

R* _x	4,79
R* _y	4,62

Parámetros:

I	1,0
A _o /g	0,2
S	1,2
P/g (tonf/m/s ²)	49,05
g (m/s ²)	9,8
P (tonf)	481,2

6.3 Drift modelo Shell completo

Para el análisis se considera en dos etapas, el primero en su etapa bruta sin considerar anclajes para fines de diseño y la segunda considerando los anclajes para revisar los desplazamientos del edificio.

Periodos con mayor masa traslacional equivalente:

T*x (seg)	0,5870	72,36%	Masa equivalente
T*y (seg)	0,5600	76,06%	Masa equivalente

Corte basal máximo NCh 433:

Dir X

Cmax	0,10
Qmax (tonf)	46,19

Dir Y

Cmax	0,10
Qmax (tonf)	46,19

Cortes basales elásticos:

Qox (tonf)	252,91
Qoy (tonf)	266,69

Cortes basales reducidos:

$$Q_{red} = Q_{elas}/R^*$$

Qredx (tonf)	53,87
Qredy (tonf)	57,81

R*x	-
R*y	-
R**x	5,47
R**y	5,77

A continuación, se muestran los desplazamientos de entrepiso para cada dirección de análisis en la Tabla 6-1 y 6-2.

Dirección X					
Piso	Drift CM (%)	Estado (< 2‰)	Desp. Borde (cm)	Drift borde (%)	Estado (< 1‰)
PISO 6	0,0011	OK	1,84	0,0010	OK
PISO 5	0,0013	OK	1,55	0,0012	OK
PISO 4	0,0013	OK	1,20	0,0013	OK
PISO 3	0,0014	OK	0,82	0,0012	OK
PISO 2	0,0009	OK	0,47	0,0010	OK
PISO 1	0,0006	OK	0,19	0,0006	OK

Tabla 6-1: Drift de borde y centro dirección X

Dirección Y					
Piso	Drift CM (%)	Estado (< 2‰)	Desp. Borde (cm)	Drift borde (%)	Estado (< 1‰)
PISO 6	0,0008	OK	1,63	0,0008	OK
PISO 5	0,0009	OK	1,41	0,0009	OK
PISO 4	0,0013	OK	1,16	0,0012	OK
PISO 3	0,0014	OK	0,80	0,0013	OK
PISO 2	0,0008	OK	0,42	0,0008	OK
PISO 1	0,0007	OK	0,19	0,0007	OK

Tabla 6-2: Drift de borde y centro dirección Y

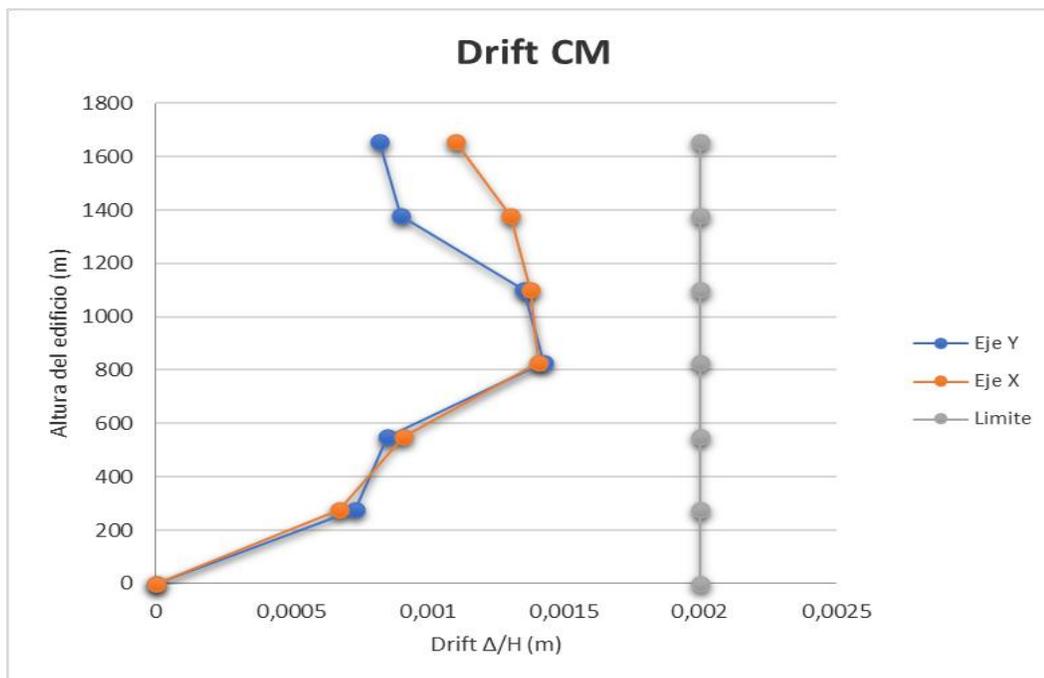


Figura 6-1: Drift centro masa

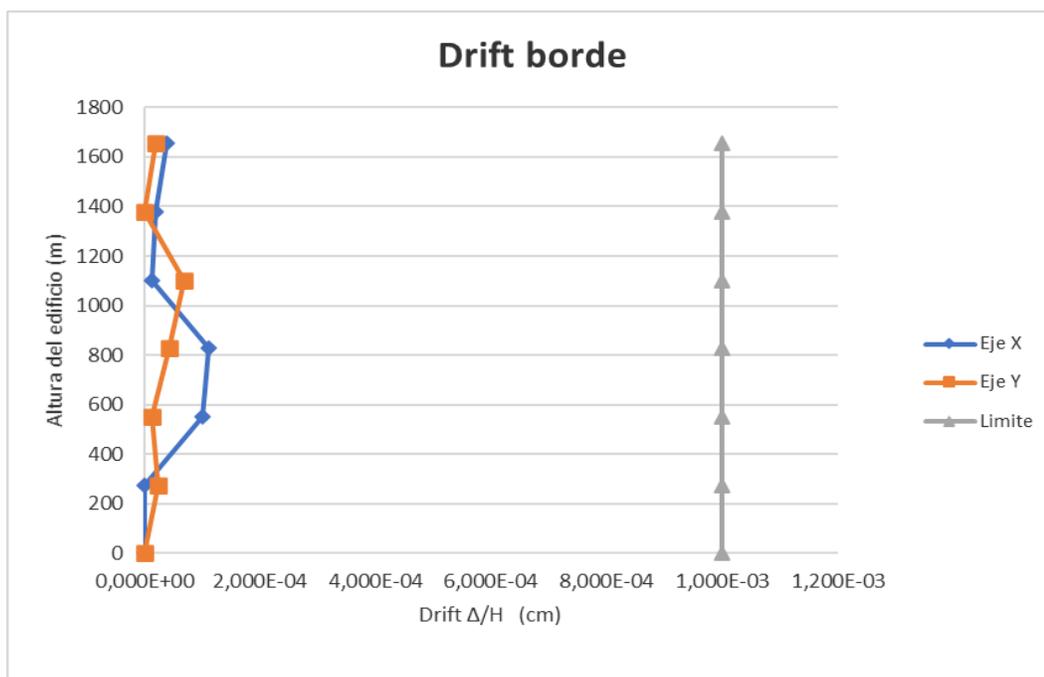


Figura 6-2: Drift borde

6.4 Drift modelo Shell dividido 8 veces

Para el análisis se considera en dos etapas, el primero en su etapa bruta sin considerar anclajes para fines de diseño y la segunda considerando los anclajes para revisar los desplazamientos del edificio.

Periodos con mayor masa traslacional equivalente:			
T*x (seg)	0,6590	71,15%	Masa equivalente
T*y (seg)	0,5870	67,43%	Masa equivalente
Corte basal máximo NCh 433:			
Dir X			
Cmax	0,10		
Qmax (tonf)	46,19		
Dir Y			
Cmax	0,10		
Qmax (tonf)	46,19		
Cortes basales elásticos:			
Qox (tonf)	242,04		
Qoy (tonf)	262,67		
Cortes basales reducidos:			
$Q_{red} = Q_{elas}/R^*$			
Qredx (tonf)	49,43		
Qredy (tonf)	55,94		
R*x	-		
R*y	-		
R**x	5,24		
R**y	5,69		

A continuación, se muestran los desplazamientos de entrepiso para cada dirección de análisis en la Tabla 6-3 y 6-4.

Dirección X					
Piso	Drift CM (%)	Estado (< 2‰)	Desp. Borde (cm)	Drift borde (%)	Estado (< 1‰)
PISO 6	0,0015	OK	2,38	0,0014	OK
PISO 5	0,0017	OK	1,97	0,0016	OK
PISO 4	0,0017	OK	1,51	0,0017	OK
PISO 3	0,0017	OK	1,03	0,0017	OK
PISO 2	0,0011	OK	0,54	0,0011	OK
PISO 1	0,0008	OK	0,22	0,0007	OK

Tabla 6-3: Drift de borde y centro dirección X

Dirección Y					
Piso	Drift CM (%)	Estado (< 2‰)	Desp. Borde (cm)	Drift borde (%)	Estado (< 1‰)
PISO 6	0,0011	OK	2,06	0,0010	OK
PISO 5	0,0011	OK	1,77	0,0011	OK
PISO 4	0,0017	OK	1,45	0,0016	OK
PISO 3	0,0017	OK	0,99	0,0017	OK
PISO 2	0,0010	OK	0,52	0,0010	OK
PISO 1	0,0008	OK	0,23	0,0008	OK

Tabla 6-4: Drift de borde y centro dirección Y

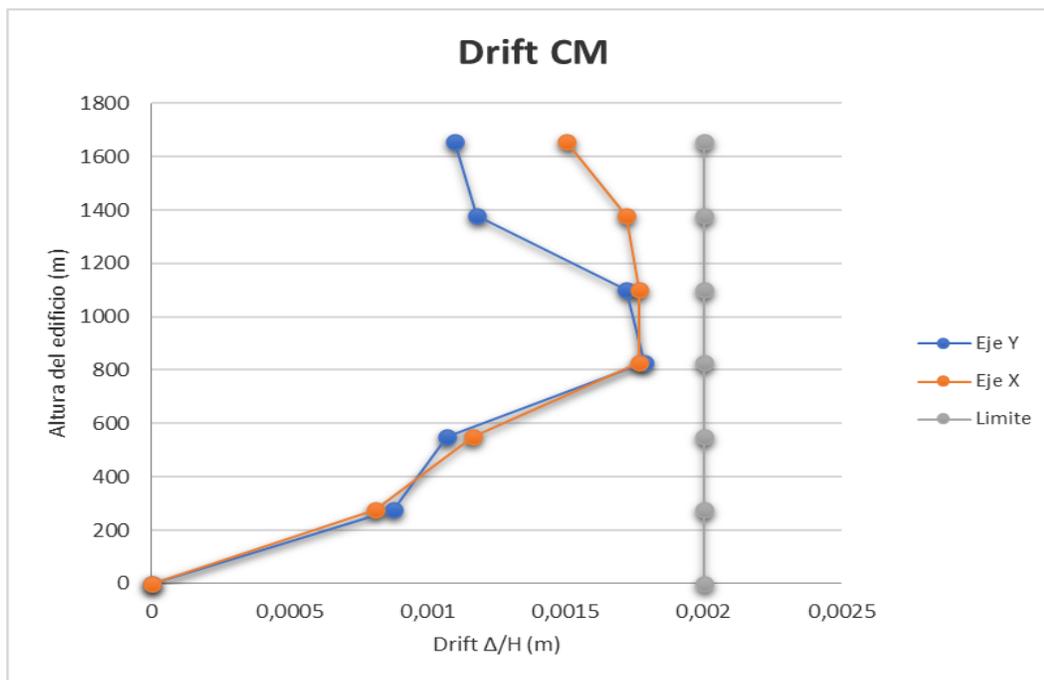


Figura 6-3: Drift centro masa

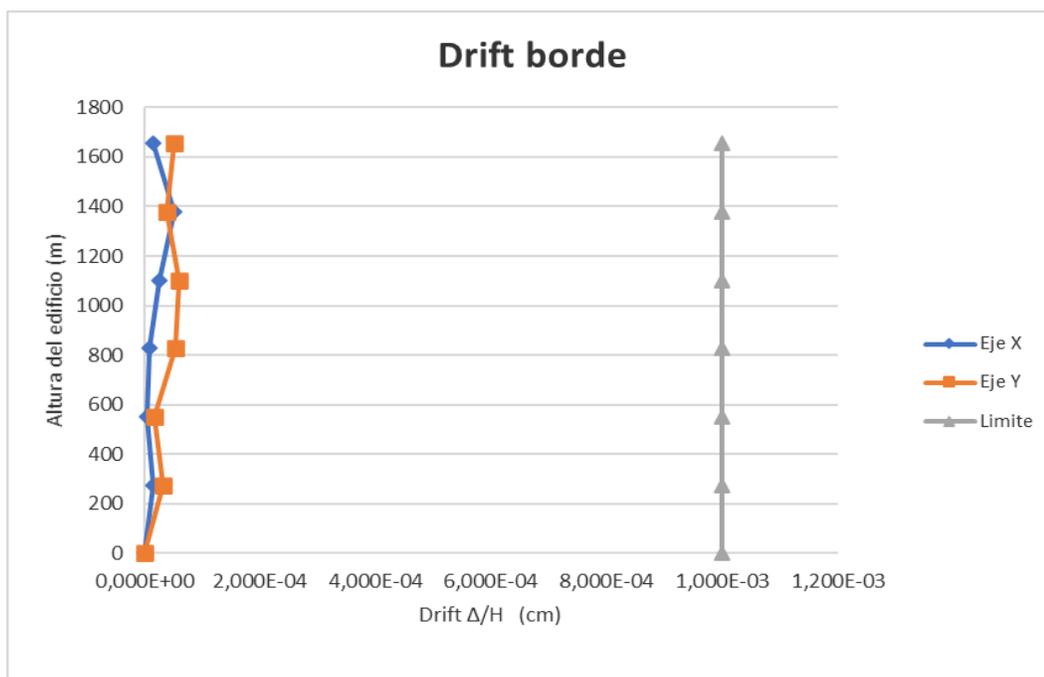


Figura 6-4: Drift borde

6.5 Comentarios modelo 2

- En términos de peso, el modelo se puede considerar aceptable ya que solo presenta una diferencia de 28 toneladas en la modelación en elementos finitos con el método realizado manualmente. Esta diferencia se debe a que en el modelo de elementos finitos no fue considerado las soleras superior e inferior de cada elemento.
- Con respecto a la división de elementos en altura se puede observar que la flexibilidad del modelo aumenta en un 15% en el eje X y un 11% en el eje Y, por lo que se considera importante subdividir los elementos Shell para el análisis ya que según Cárcamo (2017) luego de 8 divisiones los resultados tienden a converger y la diferencia llegar ser cercana al 0%.
- En términos de drift, el modelo completo es menos conservador que el modelo dividido en 8 veces ya que entrega desplazamientos casi un 30% más pequeños que el último modelo por lo que no es recomendable ocupar como parámetro.
- El modelo con una discretización mínima 8 veces en altura presenta una cercanía al periodo objetivo de casi un 1% en el eje X y en el eje Y de un 2% por lo que en términos generales entrega una correcta forma de modelar de acuerdo a los parámetros iniciales entregados.
- No se pudo comparar el drift con lo obtenido del modelo y manualmente ya que los resultados finales fueron variando en diámetros en conveniencia de dejarlos todos al límite del 2/1000 y con valores parejos en todos sus pisos.

7 ANALISIS TIPO DE MODELACION

Se comparan distintos tipos de modelamiento del Etabs para el modelo tipo 2 con 8 divisiones para ver los cambios que implica en términos de resultados y determinar si son significativos para tener una correcta modelación. Se consideraron 4 variaciones del modelo, las cuales se detallan a continuación.

7.1 Tipo de Shell de muro

Se comparan en la Tabla 7-1 los resultados del análisis del edificio modelando los muros usando elementos tipo Shell “thick” y “thin”. La diferencia uno de otro es que el primero posee más grados de libertad.

Comparación	Shell thick	Shell thin
Período en X (s)	0.620	0.630
Período en Y (s)	0.562	0.569
Masa (tonf)	481.2	481.2
Corte basal elástico en X (tonf)	246.1	247.7
Corte basal elástico en Y (tonf)	265.9	267.4
Desplazamiento techo X (cm)	0.838	0.837
Desplazamiento techo Y (cm)	0.819	0.827

Tabla 7-1: Comparación Shell de muros

7.2 Tipo de Shell de piso

Se comparan 3 tipos de Shell para modelar el piso con diferentes grados de libertad. . El elemento tipo membrana no tiene rigidez flexural fuera del plano, mientras que los elementos Shell incluyen todos los grados de libertad. En la Tabla 7-2 se muestran los resultados de los análisis.

Comparación	Membrane	Shell thin	Thick
Período en X (s)	0.620	0.617	0.615
Período en Y (s)	0.562	0.559	0.559
Masa (tonf)	481.2	481.2	481.2
Corte basal elástico en X (tonf)	246.1	246.8	247.3
Corte basal elástico en Y (tonf)	265.9	266.4	266.5
Desplazamiento techo X (cm)	0.838	0.836	0.836
Desplazamiento techo Y (cm)	0.819	0.821	0.811

Tabla 7-2: Comparación Shell de pisos

7.3 Tipo de diafragma

Se comparan en la Tabla 7-3 dos tipos de diafragma la cual varia uno de otro los grados de libertado y la forma de tomar torsión accidental, ya que el diafragma rígido concentra la excentricidad en el centro de geométrico del entrepiso mientras que el diafragma semi rígido lo concentra en cada nodo del piso. La forma en que fue modelado los diafragmas es considerando todos los puntos o nodos de un entrepiso.

Comparación	Rígido	Semi rígido
Período en X (s)	0.618	0.620
Período en Y (s)	0.561	0.562
Masa (tonf)	481.2	481.2
Corte basal elástico en X (tonf)	246.5	246.1
Corte basal elástico en Y (tonf)	265.9	265.9
Desplazamiento techo X (cm)	0.832	0.838
Desplazamiento techo Y (cm)	0.807	0.819

Tabla 7-3: Comparación diafragma

7.4 Tipo de apoyo

En la Tabla 7-4 se toma como referencia los tipos de apoyo del edificio en el cual podemos comparar el apoyo fijo el cual contiene 3 grados de libertad restringido (3 traslacionales) mientras que el apoyo empotrado tiene 6 grados de libertad restringido (3 traslacionales y 3 giros).

Comparación	Apoyo fijo	Empotrado
Período en X (s)	0.620	0.620
Período en Y (s)	0.562	0.562
Masa (tonf)	481.2	481.2
Corte basal elástico en X (tonf)	246.1	246.1
Corte basal elástico en Y (tonf)	265.9	265.9
Desplazamiento techo X (cm)	0.838	0.838
Desplazamiento techo Y (cm)	0.819	0.819

Tabla 7-4: Comparación tipo de apoyos

7.5 Comentarios

- En la comparación de tipos de elementos Shell usados para modelar los muros podemos encontrar pequeñas diferencias ya que en los periodos existe entre 1-2% de diferencia, siendo más flexible el Shell thin. De la misma forma este último entrega cortes basales y desplazamientos de techos levemente más altos, aunque no es muy significativo para ser influyente en los cálculos.
- En tipos de Shell de pisos se puede ver que el tipo “Thick” presenta una mayor rigidez con respecto a los otros dos elementos, por otro lado, el elemento “Membrane” es el más flexible pero aun siendo esta diferencia no más del 1-2%, por lo que aún sigue siendo muy baja y no es influyente en el cálculo.
- Con respecto al tipo de diafragma, la diferencia es menor al 1%, por lo que el tipo de diafragma (rígido o semi rígido) no afecta al resultado para ese caso de edificio.
- Con respecto a los tipos de apoyos se puede establecer que no tiene mayor relevancia la elección ya que por la configuración y criterios adoptados no es un elemento que interfiera los resultados.

8 CONCLUSIONES

Esta actividad de graduación tenía como objetivo principal modelar un edificio de madera de 6 niveles mediante un programa de elementos finitos y obtener 2 modelos, los cuales se pudieran comparar con los resultados obtenidos en el ejemplo del Manual de Diseño de Estructuras en madera del CIM-UC. En el primer modelo se modeló los pies derechos y OSB de acuerdo a su configuración en terreno, mientras que el segundo se modela a través de un modelo equivalente de elementos finitos planos tipo Shell, en el cual se ingresa el módulo de corte G' , la densidad y la elasticidad equivalente simulando los pies derechos en el muro. Una vez obtenidos estos modelos se comparan entre ellos y también con la diferencia de división en altura para determinar qué modelo y cuál configuración se acerca más al método obtenido manualmente.

Luego, al obtener el modelo óptimo se procedió a comparar el efecto de distintas variables encontradas en la modelación de elementos finitos como el tipo de apoyo, tipo de muros, diafragmas y tipos de piso, obteniendo información relevante al elegir uno sobre el otro.

De esta forma podemos obtener las siguientes conclusiones:

- En todos los modelos analizados se llegó a la conclusión que la división de forma vertical y horizontal de los elementos afecta significativamente los resultados produciendo diferencias importantes de rigidez, por lo tanto, se recomienda siempre dividir todos los elementos mínimos 8 veces en vertical y horizontal, aunque signifique un mayor uso de recursos computacionales.
- Si bien el modelo 1 se modela de forma exacta la disposición de los pies derechos y tableros de OSB, este entrega desplazamientos y rigideces más pequeñas que el modelo tipo, por lo que no se recomienda ocupar este método.

Además, destacar que no considera la rigidez del anclaje la cual afecta de manera importante la flexibilidad de la estructura.

- El modelo 2 según el método de rigidez equivalente según Cárcamo (2017), entrega valores muy cercanos al objetivo, por lo que se recomienda para evaluar edificios en altura.

- El método de rigidez equivalente según Cárcamo (2017) entrega resultados muy cercanos a los del modelo tipos, solo se tienen diferencias de masas sísmicas que se podrían corregir considerando la masa de las soleras inferiores y superiores a los cálculos.

- Al analizar el edificio por método de rigidez equivalente es importante saber que para análisis de deformaciones se tiene que incluir la rigidez del anclaje, ante el cual tiende a ser muy sensible la deformación de entre pisos.

- Los tipos de modelación tienden a pasar a un segundo plano ya que dentro de todas las comparaciones evaluadas ninguna presentó una diferencia de gran magnitud que afectara el resultado final.

- Es importante señalar que debido a la variabilidad de elementos como pies derechos, número de paneles de OSB y anclajes de cada muro por piso, se debe manejar una plataforma que permita importar al programa de elementos finitos los valores de esos elementos de forma rápida y que no produzca un retraso en la etapa de diseño ya que se tiende a iterar muchas veces para llegar a un resultado óptimo.

- El método propuesto presenta una simplificación y aproximación bastante real a la que buscábamos por lo que en temas de optimización de trabajo y presentar un

avance en oficinas de calculo para edificios en altura puede ser considerado una gran alternativa.

9 BIBLIOGRAFIA

[1] CARCAMO CHAVEZ, SEBASTIAN IGNACIO (2017) Modelo de muros marco plataformas para un programa de elementos finitos mediante elementos área

[2] AMERICAN WOOD COUNCIL (2015) SDPWS Special Design Provisions for wind & Seismic

[3] CENTRO UC DE INNOVACION DE MADERA (2021) Manual de diseño de estructuras en madera

[4] LP BUILDING PRODUCTS, OSB home structural

[5] AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Steel construction manual

10 ANEXOS PROPIEDADES MUROS

Primer piso											Rigidez anclaje	
Ejes	e	L	A'	h	Peso	Peso	Volumen	E	n	Ga	Khd	L'
	cm	cm	cm ²	cm	Pd	OSB	m ³	kgf/cm ²	cantidad OSB	kgf/cm	kg/cm	cm
A2-A1-N1-N2	14	274	3836	275,7	320	107,749	1,058	101971,621	1	7500	93369,2	199
C2-C1-E3-E2-L2-L1-J2-J3	14	180	2520	247	286	63,416	0,622	101971,621	1	7500	93369,2	105
D1-D2-E1-E4-J1-J4-K1-K2	14	314	4396	247	334	110,625	1,086	101971,621	1	7500	93369,2	239
F1-F2-G1-G2-H1-H2-I1-I2	14	481	6734	247	382	169,460	1,663	101971,621	1	7500	93369,2	406
1,1-7,1-1,5-7,5	14	240	3360	247	286	169,108	0,830	101971,621	2	7500	93369,2	165
1,2-1,4-7,2-7,4	14	131	1834	247	239	92,305	0,453	101971,621	2	7500	93369,2	56
1,3	14	294	4116	247	286	207,157	1,017	101971,621	2	7500	93369,2	219
2,1-2,2-6,1-6,2	14	220	3080	247	286	155,016	0,761	101971,621	2	7500	93369,2	145
3,1-3,2-5,1-5,2	14	128	1792	247	239	90,191	0,443	101971,621	2	7500	93369,2	53
4,1-4,2-4,3-4,4	14	495	6930	247	382	348,785	1,712	101971,621	2	7500	93369,2	420
7,3	14	143	2002	247	239	100,760	0,494	101971,621	2	7500	93369,2	68

Segundo piso											Rigidez anclaje	
Ejes	e	L	A'	h	Peso	Peso	Volumen	E	n	Ga	Khd	L'
	cm	cm	cm2	cm	Pd	OSB	m3	kgf/cm2	cantidad OSB	kgf/cm	kg/cm	cm
A2-A1-N1-N2	14	274	3836	247	131	96,533	0,947	101971,621	1	7500	69289,8	230
C2-C1-E3-E2-L2-L1-J2-J3	14	180	2520	247	131	63,416	0,622	101971,621	1	7500	69289,8	136
D1-D2-E1-E4-J1-J4-K1-K2	14	314	4396	247	161	110,625	1,086	101971,621	1	7500	69289,8	270
F1-F2-G1-G2-H1-H2-I1-I2	14	481	6734	247	191	169,460	1,663	101971,621	1	7500	69289,8	437
1,1-7,1-1,5-7,5	14	240	3360	247	131	169,108	0,830	101971,621	2	7500	69289,8	196
1,2-1,4-7,2-7,4	14	131	1834	247	101	92,305	0,453	101971,621	2	7500	69289,8	87
1,3	14	294	4116	247	131	207,157	1,017	101971,621	2	7500	69289,8	250
2,1-2,2-6,1-6,2	14	220	3080	247	131	155,016	0,761	101971,621	2	7500	69289,8	176
3,1-3,2-5,1-5,2	14	128	1792	247	101	90,191	0,443	101971,621	2	7500	69289,8	84
4,1-4,2-4,3-4,4	14	495	6930	247	191	348,785	1,712	101971,621	2	7500	69289,8	451
7,3	14	143	2002	247	101	100,760	0,494	101971,621	2	7500	69289,8	99

Tercer piso											Rigidez anclaje	
Ejes	e	L	A'	h	Peso	Peso	Volumen	E	n	Ga	Khd	L'
	cm	cm	cm2	cm	Pd	OSB	m3	kgf/cm2	cantidad OSB	kgf/cm	kg/cm	cm
A2-A1-N1-N2	14	274	3836	247	107	96,533	0,947	101971,621	1	3928	47618,3	222
C2-C1-E3-E2-L2-L1-J2-J3	14	180	2520	247	107	63,416	0,622	101971,621	1	3928	47618,3	128
D1-D2-E1-E4-J1-J4-K1-K2	14	314	4396	247	131	110,625	1,086	101971,621	1	3928	47618,3	262
F1-F2-G1-G2-H1-H2-I1-I2	14	481	6734	247	155	169,460	1,663	101971,621	1	3928	47618,3	429
1,1-7,1-1,5-7,5	14	240	3360	247	107	169,108	0,830	101971,621	2	3928	47618,3	188
1,2-1,4-7,2-7,4	14	131	1834	247	84	92,305	0,453	101971,621	2	3928	47618,3	79
1,3	14	294	4116	247	107	207,157	1,017	101971,621	2	3928	47618,3	242
2,1-2,2-6,1-6,2	14	220	3080	247	107	155,016	0,761	101971,621	2	3928	47618,3	168
3,1-3,2-5,1-5,2	14	128	1792	247	84	90,191	0,443	101971,621	2	3928	47618,3	76
4,1-4,2-4,3-4,4	14	495	6930	247	155	348,785	1,712	101971,621	2	3928	47618,3	443
7,3	14	143	2002	247	84	100,760	0,494	101971,621	2	3928	47618,3	91

Cuarto piso											Rigidez anclaje	
Ejes	e	L	A'	h	Peso	Peso	Volumen	E	n	Ga	Khd	L'
	cm	cm	cm2	cm	Pd	OSB	m3	kgf/cm2	cantidad OSB	kgf/cm	kg/cm	cm
A2-A1-N1-N2	14	274	3836	247	95	96,533	0,947	101971,621	1	3928	29779,9	224
C2-C1-E3-E2-L2-L1-J2-J3	14	180	2520	247	95	63,416	0,622	101971,621	1	3928	29779,9	130
D1-D2-E1-E4-J1-J4-K1-K2	14	314	4396	247	119	110,625	1,086	101971,621	1	3928	29779,9	264
F1-F2-G1-G2-H1-H2-I1-I2	14	481	6734	247	143	169,460	1,663	101971,621	1	3928	29779,9	431
1,1-7,1-1,5-7,5	14	240	3360	247	95	169,108	0,830	101971,621	2	3928	29779,9	190
1,2-1,4-7,2-7,4	14	131	1834	247	72	92,305	0,453	101971,621	2	3928	29779,9	81
1,3	14	294	4116	247	95	207,157	1,017	101971,621	2	3928	29779,9	244
2,1-2,2-6,1-6,2	14	220	3080	247	95	155,016	0,761	101971,621	2	3928	29779,9	170
3,1-3,2-5,1-5,2	14	128	1792	247	72	90,191	0,443	101971,621	2	3928	29779,9	78
4,1-4,2-4,3-4,4	14	495	6930	247	143	348,785	1,712	101971,621	2	3928	29779,9	445
7,3	14	143	2002	247	72	100,760	0,494	101971,621	2	3928	29779,9	93

Quinto piso											Rigidez anclaje	
Ejes	e	L	A'	h	Peso	Peso	Volumen	E	n	Ga	Khd	L'
	cm	cm	cm2	cm	Pd	OSB	m3	kgf/cm2	cantidad OSB	kgf/cm	kg/cm	cm
A2-A1-N1-N2	14	274	3836	247	39	96,533	0,947	101971,621	1	7500	16413,3	231
C2-C1-E3-E2-L2-L1-J2-J3	14	180	2520	247	39	63,416	0,622	101971,621	1	7500	16413,3	137
D1-D2-E1-E4-J1-J4-K1-K2	14	314	4396	247	54	110,625	1,086	101971,621	1	7500	16413,3	271
F1-F2-G1-G2-H1-H2-I1-I2	14	481	6734	247	70	169,460	1,663	101971,621	1	7500	16413,3	438
1,1-7,1-1,5-7,5	14	240	3360	247	39	84,554	0,830	101971,621	1	7500	16413,3	197
1,2-1,4-7,2-7,4	14	131	1834	247	23	46,152	0,453	101971,621	1	7500	16413,3	88
1,3	14	294	4116	247	39	103,579	1,017	101971,621	1	7500	16413,3	251
2,1-2,2-6,1-6,2	14	220	3080	247	39	77,508	0,761	101971,621	1	7500	16413,3	177
3,1-3,2-5,1-5,2	14	128	1792	247	23	45,095	0,443	101971,621	1	7500	16413,3	85
4,1-4,2-4,3-4,4	14	495	6930	247	70	174,393	1,712	101971,621	1	7500	16413,3	452
7,3	14	143	2002	247	23	50,380	0,494	101971,621	1	7500	16413,3	100

Sexto piso											Rigidez anclaje	
Ejes	e	L	A'	h	Peso	Peso	Volumen	E	n	Ga	Khd	L'
	cm	cm	cm2	cm	Pd	OSB	m3	kgf/cm2	cantidad OSB	kgf/cm	kg/cm	cm
A2-A1-N1-N2	14	274	3836	247	31	96,533	0,947	101971,621	1	3928	16413,3	232
C2-C1-E3-E2-L2-L1-J2-J3	14	180	2520	247	31	63,416	0,622	101971,621	1	3928	16413,3	138
D1-D2-E1-E4-J1-J4-K1-K2	14	314	4396	247	47	110,625	1,086	101971,621	1	3928	16413,3	272
F1-F2-G1-G2-H1-H2-I1-I2	14	481	6734	247	62	169,460	1,663	101971,621	1	3928	16413,3	439
1,1-7,1-1,5-7,5	14	240	3360	247	31	84,554	0,830	101971,621	1	3928	16413,3	198
1,2-1,4-7,2-7,4	14	131	1834	247	16	46,152	0,453	101971,621	1	3928	16413,3	89
1,3	14	294	4116	247	31	103,579	1,017	101971,621	1	3928	16413,3	252
2,1-2,2-6,1-6,2	14	220	3080	247	31	77,508	0,761	101971,621	1	3928	16413,3	178
3,1-3,2-5,1-5,2	14	128	1792	247	16	45,095	0,443	101971,621	1	3928	16413,3	86
4,1-4,2-4,3-4,4	14	495	6930	247	62	174,393	1,712	101971,621	1	3928	16413,3	453
7,3	14	143	2002	247	16	50,380	0,494	101971,621	1	3928	16413,3	101