



UNIVERSIDAD  
**SAN SEBASTIAN**  
Ilumina el futuro

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL  
SEDE CONCEPCIÓN**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO SÍSMICO,  
CONSTRUCTIVO Y ECONÓMICO DE UNA EDIFICACIÓN  
HABITACIONAL DE CINCO NIVELES CON SISTEMA DE MARCOS Y  
NÚCLEO DE MUROS DE HORMIGÓN ARMADO, CONSIDERANDO  
LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO Y DE CLT COMO ALTERNATIVAS  
ESTRUCTURALES.**

**Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil**

Profesor Guía: Ingeniero Civil, M.Sc. Gian Carlo Giuliano B.

Alumno: Benjamín Esteban Cerda Neira.

© Benjamín Esteban Cerda Neira.

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra en cualquier forma, medio o procedimiento sin permiso por escrito del autor.

© Benjamín Esteban Cerda Neira.

Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra, con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento siempre y cuando se incluya cita bibliográfica del documento.

Concepción, Chile  
2025

## HOJA DE CALIFICACIÓN

En \_\_\_\_\_ el \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ los abajo firmantes dejan  
constancia que el (la) estudiante \_\_\_\_\_ de  
la carrera de \_\_\_\_\_ ha  
aprobado la tesis para optar al título de  
\_\_\_\_\_  
con una nota de \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Profesor Evaluador

\_\_\_\_\_  
Profesor Evaluador

\_\_\_\_\_  
Profesor Evaluador

## **Dedicatoria.**

Dedico este trabajo con todo mi cariño a mis padres, Ximena Neira Guevara y Edgardo Cerda Monsalve, por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la resiliencia.

A mis hermanos, Felipe Cerda Neira y Catalina Cerda Neira, por acompañarme en cada etapa de este proceso, brindándome siempre ánimo y comprensión.

Y a mis amigos, quienes con su cercanía hicieron de este camino algo más llevadero y significativo.

Finalmente, me lo dedico a mí mismo por hacer todo este gran trabajo, por no rendirme, por confiar, y por continuar avanzando incluso en los momentos más difíciles.

## **Agradecimientos.**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis, y que de distintas maneras fueron parte importante de este proceso.

En primer lugar, a mi familia, por su apoyo incondicional y constante compañía. A mis padres, Ximena Neira Guevara y Edgardo Cerda Monsalve, por su amor, esfuerzo y ejemplo de perseverancia. A mis hermanos, Felipe Cerda Neira y Catalina Cerda Neira, por su afecto y apoyo inquebrantable. También agradecer a mis abuelos Edelita Guevara Jara y Guillermo Seguel Rioseco por estar siempre presentes y preocupados de mí.

A mi tío Fernando Neira Sagredo, quien fue la persona que me motivó desde el inicio a estudiar Ingeniería Civil, confiando en mis capacidades y dándome el primer impulso hacia este camino profesional.

A mi primo Alex Cerda Núñez, por su confianza y generosidad al darme la oportunidad de realizar mis prácticas, lo que significó una experiencia fundamental en mi formación.

Agradezco especialmente a mi profesor guía, Gian Carlo Giuliano Bilbao, por su orientación, disposición y compromiso durante el desarrollo de esta tesis. Su apoyo técnico y académico fue esencial para lograr los objetivos de este trabajo.

También quiero agradecer a mis amigos Carlos Villagrán, Nicolás Ortiz, Gonzalo Peña, Álvaro Cárdenas, Richard Bueno, Javiera Saldivia, entre otros, por su compañía, consejos y palabras de ánimo en momentos clave de esta etapa universitaria.

A todos, gracias por estar presentes, por confiar en mí y por ayudarme a crecer, tanto personal como profesionalmente.

## TABLA DE CONTENIDOS

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| Resumen. ....                                      | 13 |
| Abstract. ....                                     | 14 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....                      | 15 |
| 1.1 Planteamiento del problema. ....               | 15 |
| 1.2 Objetivos de la investigación.....             | 16 |
| 1.2.1 Objetivo general. ....                       | 16 |
| 1.2.2 Objetivos específicos. ....                  | 16 |
| 1.3 Justificación del Estudio. ....                | 16 |
| 1.4 Alcances de la investigación. ....             | 17 |
| 1.5 Materiales Estructurales Considerados.....     | 18 |
| 1.5.1 Pino Radiata.....                            | 18 |
| 1.5.2. Hormigón Armado. ....                       | 20 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEORICO. ....                   | 23 |
| 2.1 Enfoque general.....                           | 23 |
| 2.2 Etapas metodológicas.....                      | 24 |
| 2.2.1. Revisión bibliográfica. ....                | 24 |
| 2.2.2. Definición de parámetros estructurales..... | 24 |
| 2.2.3. Modelación numérica tridimensional.....     | 24 |
| 2.2.4. Análisis sísmico.....                       | 25 |
| 2.2.5. Evaluación de desempeño estructural. ....   | 25 |
| 2.2.6. Análisis económico. ....                    | 25 |
| 2.2.7. Análisis crítico y discusión técnica. ....  | 26 |
| 2.3 Justificación de la metodología. ....          | 26 |
| 2.4 Limitaciones de la metodología.....            | 26 |
| CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO.....              | 28 |
| 3.1 Propiedades geométricas panel.....             | 28 |
| 3.2 Cargas Consideradas. ....                      | 28 |
| 3.2.1 Cargas Permanentes. ....                     | 28 |
| 3.2.2 Carga de Uso o Carga Viva. ....              | 29 |
| 3.3 Momento flector por cargas inducidas. ....     | 29 |
| 3.4 Verificación panel CLT. ....                   | 30 |
| 3.4.1 Resistencia a la Flexión. ....               | 30 |
| 3.4.2 Resistencia al corte.....                    | 31 |

|                                                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.3 Resistencia a la flexión según el enfoque de capacidad de la fibra más extrema. .... | 32        |
| 3.4.4 Resistencia al corte según el enfoque de capacidad de la fibra más extrema. ....     | 34        |
| <b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y RESPUESTA SÍSMICA. ....</b>                         | <b>36</b> |
| 4.1 Enfoque general del análisis estructural. ....                                         | 36        |
| 4.2 Procedimiento de Cálculo Estructural de la Edificación. ....                           | 37        |
| 4.3 Análisis Dinámico. ....                                                                | 37        |
| 4.4 Verificación De Desplazamientos. ....                                                  | 39        |
| 4.5 Obtención De Esfuerzos. ....                                                           | 40        |
| 4.6 Criterio de la Evaluación Estructural. ....                                            | 40        |
| 4.6.1 Hipótesis de Análisis. ....                                                          | 40        |
| 4.6.2 Consideraciones de Diseño. ....                                                      | 41        |
| 4.7 Consideraciones Sísmicas. ....                                                         | 42        |
| 4.7.1 Zonificación. ....                                                                   | 43        |
| 4.7.2 Parámetros de Suelo. ....                                                            | 44        |
| 4.7.3 Factor de Amplificación Sísmica. ....                                                | 44        |
| 4.7.4 Categoría de las Edificaciones. ....                                                 | 44        |
| 4.7.5 Sistemas Estructurales. ....                                                         | 45        |
| 4.8 Método de Análisis a Emplear. ....                                                     | 46        |
| 4.9 Análisis Sismorresistente de la Estructura. ....                                       | 46        |
| 4.10 Modelo Estructural Adoptado. ....                                                     | 47        |
| 4.11 Cargas Producidas por Sismo. ....                                                     | 49        |
| 4.12 Indicadores de respuesta estructural. ....                                            | 50        |
| 4.13 Comparación de resultados y análisis. ....                                            | 50        |
| 4.14 Consideraciones específicas del modelo. ....                                          | 51        |
| <b>CAPITULO V: RESULTADOS. ....</b>                                                        | <b>52</b> |
| 5.1 Análisis Modal Espectral. ....                                                         | 52        |
| 5.1.1. Periodos de las Estructuras. ....                                                   | 52        |
| 5.1.2. Peso Sísmico de las Estructuras. ....                                               | 52        |
| 5.1.3. Centro de Masa y Rigidez. ....                                                      | 53        |
| 5.1.4. Coeficiente Sísmico y Corte. ....                                                   | 54        |
| 5.1.5. Desplazamiento Relativo. ....                                                       | 58        |
| 5.2 Diseño de Panel de CLT. ....                                                           | 61        |
| 5.3 Diseño de Elementos de Hormigón Armado. ....                                           | 64        |
| 5.3.1 Muros de Hormigón Armado. ....                                                       | 64        |

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| 5.3.2 Marcos de Hormigón Armado. ....                     | 74  |
| 5.3.3 Losa de Hormigón Armado. ....                       | 79  |
| 5.4 Cubicación de Panel de CLT. ....                      | 80  |
| 5.5 Cubicación de Elementos de Hormigón. ....             | 81  |
| 5.5.1 Cubicación de Hormigón para Modelo 1. ....          | 81  |
| 5.5.2 Cubicación de Hormigón para Modelo 2. ....          | 83  |
| 5.6 Cubicación de Acero de Refuerzo. ....                 | 84  |
| 5.6.1 Cubicación de Acero de Refuerzo para Modelo 1. .... | 84  |
| 5.6.2 Cubicación de Acero de Refuerzo para Modelo 2. .... | 87  |
| 5.7 Comparación Constructiva. ....                        | 90  |
| 5.8 Comparación Económica. ....                           | 91  |
| CAPITULO VI: CONCLUSIONES. ....                           | 94  |
| CAPITULO VII: REFERENCIAS. ....                           | 96  |
| ANEXOS. ....                                              | 99  |
| ANEXO A - Resultados de Periodos. ....                    | 99  |
| ANEXO B – Espectro Elástico y de Diseño. ....             | 101 |
| ANEXO C – Espectro de Desplazamiento. ....                | 106 |
| ANEXO D – ACERO DE REFUERZO UTILIZADO POR ELEMENTO. ....  | 112 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: “Proceso de madera dimensionada. Fuente: Concon Maderas (s.f.), recuperado de <a href="https://conconmaderas.cl/calidad/">https://conconmaderas.cl/calidad/</a> ”                                                                                     | 18 |
| Figura 2: “Panel de CLT, Fuente: Arauco”                                                                                                                                                                                                                        | 19 |
| Figura 3 :” “Ejemplo de secciones transversales de paneles Fuente: CLT. U.S. Edition of the CLT Handbook: cross laminated timber (2013)”                                                                                                                        | 20 |
| Figura 4: “representación de muro de hormigón armado, Fuente: PngWing (s.f.), recuperado de <a href="https://www.pngwing.com/es/free-png-mwipb">https://www.pngwing.com/es/free-png-mwipb</a> ”                                                                 | 20 |
| Figura 5: “Varilla de acero corrugado o estriado, Fuente: ACB Constructor (s.f.), recuperado de <a href="https://www.acbconstructor.cl/shop/10003-fierro-estriado-8mm-5395#attr=">https://www.acbconstructor.cl/shop/10003-fierro-estriado-8mm-5395#attr=</a> ” | 22 |
| Figura 6: “Zonificación sísmica”                                                                                                                                                                                                                                | 43 |
| Figura 7: “Vista en planta de la estructura”                                                                                                                                                                                                                    | 47 |
| Figura 8: “Vista 3D de la estructura”                                                                                                                                                                                                                           | 47 |
| Figura 9: “Corte Máximo de Sismo en la dirección X del modelo 1”                                                                                                                                                                                                | 55 |
| Figura 10: “Corte Máximo de Sismo en la dirección Y del modelo 1”                                                                                                                                                                                               | 56 |
| Figura 11: “Corte Máximo de Sismo en la dirección X del modelo 2”                                                                                                                                                                                               | 57 |
| Figura 12: “Corte Máximo de Sismo en la dirección Y del modelo 2”                                                                                                                                                                                               | 57 |
| Figura 13: “Drfit Máximo en Cualquier Punto - Sismo X del Modelo 1, Fuente: Elaboración Propia”                                                                                                                                                                 | 59 |
| Figura 14: “Drfit Máximo en Cualquier Punto - Sismo Y del Modelo 1, Fuente: Elaboración Propia”                                                                                                                                                                 | 59 |
| Figura 15: “Drfit Máximo en Cualquier Punto - Sismo X del Modelo 2, Fuente: Elaboración Propia”                                                                                                                                                                 | 60 |
| Figura 16: “Drfit Máximo en Cualquier Punto - Sismo Y del Modelo 2, Fuente: Elaboración Propia”                                                                                                                                                                 | 60 |
| Figura 17: “Vista en Planta de Muros de Hormigón Armado”                                                                                                                                                                                                        | 64 |
| Figura 18: “Diagrama de Interacción de Muro 1 con respecto al eje X del Modelo 1”                                                                                                                                                                               | 66 |
| Figura 19: “Diagrama de Interacción de Muro 1 con respecto al eje Y del Modelo 1”                                                                                                                                                                               | 66 |
| Figura 20: “Diagrama de Interacción de Muro 2 con respecto al eje X del Modelo 1”                                                                                                                                                                               | 67 |
| Figura 21: “Diagrama de Interacción de Muro 2 con respecto al eje Y del Modelo 1”                                                                                                                                                                               | 67 |
| Figura 22: “Diagrama de Interacción de Muro 3 con respecto al eje X del Modelo 1”                                                                                                                                                                               | 68 |
| Figura 23: “Diagrama de Interacción de Muro 3 con respecto al eje Y del Modelo 1”                                                                                                                                                                               | 68 |
| Figura 24: “Diagrama de Interacción de Muro 1 con respecto al eje X del Modelo 2”                                                                                                                                                                               | 69 |
| Figura 25: “Diagrama de Interacción de Muro 1 con respecto al eje Y del Modelo 2”                                                                                                                                                                               | 69 |

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 26: “Diagrama de Interacción de Muro 2 con respecto al eje X del Modelo 2”.                         | 70 |
| Figura 27: “Diagrama de Interacción de Muro 2 con respecto al eje Y del Modelo 2”.                         | 70 |
| Figura 28: “Diagrama de Interacción de Muro 3 con respecto al eje X del Modelo 2”.                         | 71 |
| Figura 29: “Diagrama de Interacción de Muro 3 con respecto al eje Y del Modelo 2”.                         | 71 |
| Figura 30: “Diagrama de interacción para columna D8 del modelo 1 en dirección X”.                          | 74 |
| Figura 31: “Diagrama de interacción para columna D8 del modelo 1 en dirección Y”.                          | 75 |
| Figura 32: “Diagrama de interacción para columna D8 del modelo 2 en dirección X”.                          | 75 |
| Figura 33: “Diagrama de interacción para columna D8 del modelo 2 en dirección Y”.                          | 76 |
| Figura 34: “Comparación de Volumen de Hormigón entre los Modelos, Fuente: Elaboración propia”.             | 90 |
| Figura 35: ” “Comparación de Kilogramos de Acero entre los Modelos, Fuente: Elaboración propia”.           | 90 |
| Figura 36: “Costos Asociados al Hormigón: Modelo 1 vs Modelo 2”, Fuente: Elaboración propia”.              | 91 |
| Figura 37: “Comparación de Costos de Acero de Refuerzo: Modelo 1 vs Modelo 2, Fuente: Elaboración propia”. | 92 |
| Figura 38: “Comparación de Costos Totales entre Modelos, Fuente: Elaboración propia”.                      | 93 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: “Factores de ajuste para la madera contralaminada CLT”             | 33 |
| Tabla 2: “Factor de Temperatura”                                            | 35 |
| Tabla 3: “Factor de Valores máximos del coeficiente sísmico C”              | 39 |
| Tabla 4: “Valor de la aceleración efectiva”                                 | 43 |
| Tabla 5: “Clasificación sísmica del terreno de fundación”.                  | 44 |
| Tabla 6: “Valor de los parámetros que dependen del tipo de suelo”.          | 44 |
| Tabla 7: “Valor del coeficiente de importancia”                             | 45 |
| Tabla 8: “Valores máximos de los factores de modificación de la respuesta”. | 45 |
| Tabla 9: “Resumen de parámetros de diseño de la estructura”                 | 46 |
| Tabla 10: “Elementos del modelo 1”                                          | 48 |
| Tabla 11: ““Elementos del modelo 2”                                         | 48 |
| Tabla 12: “Resultado de Periodos Fundamentales para ambos Modelos”.         | 52 |
| Tabla 13: “Peso Sísmico del Modelo 1”.                                      | 53 |
| Tabla 14: “Peso Sísmico del Modelo 2”.                                      | 53 |
| Tabla 15: “Centro de Masa y Rigidez del Modelo 1”                           | 54 |
| Tabla 16: “Centro de Masa y Rigidez del Modelo 2”                           | 54 |

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 17: “Resultado de Coeficiente Sísmico Mínimo, y Máximo, además de Corte para Modelo 1” .             | 56 |
| Tabla 18: “Coeficientes Sísmicos de Modelo 1” .                                                            | 56 |
| Tabla 19: “Resultado de Coeficiente Sísmico Mínimo, y Máximo, además de Corte para Modelo 2” .             | 58 |
| Tabla 20: “Coeficientes Sísmicos de Modelo 2” .                                                            | 58 |
| Tabla 21: “Coeficiente Sísmico Reducido para ambos Modelos” .                                              | 58 |
| Tabla 22: “Propiedades Geométricas del Panel de CLT” .                                                     | 61 |
| Tabla 23: “Cargas Actuantes sobre Panel de CLT” .                                                          | 61 |
| Tabla 24: “Propiedades Mecánicas Adoptadas para el Diseño del Panel de CLT” .                              | 62 |
| Tabla 25: “Resultados de Verificación de Fuerza Cortante” .                                                | 62 |
| Tabla 26: “Resultados de Resistencia a la Flexión según el Enfoque de Capacidad de la Fibra más Extrema” . | 62 |
| Tabla 27: “Factores de Modificación Utilizados para el Diseño” .                                           | 63 |
| Tabla 28: “Resultados de Diseño por Corte por Capacidad de la Fibra Extrema ....                           | 63 |
| Tabla 29: “Factores de Modificación para Diseño por Corte por Capacidad de la Fibra Extrema” .             | 64 |
| Tabla 30: “Dimensiones Muros de Modelo 1” .                                                                | 65 |
| Tabla 31: “Dimensiones Muros de Modelo 2” .                                                                | 65 |
| Tabla 32: “Cálculos para Verificación de Confinamiento en Elementos de Borde de Modelo 1” .                | 72 |
| Tabla 33: “Cálculos para Verificación de Confinamiento en Elementos de Borde de Modelo 2” .                | 72 |
| Tabla 34: “Verificación de Confinamiento en Elemento de Borde de Modelo 1” .                               | 73 |
| Tabla 35: “Verificación de Confinamiento en Elemento de Borde de Modelo 2” .                               | 73 |
| Tabla 36: “Verificación de Acero a Flexión y Compresión” .                                                 | 77 |
| Tabla 37: “Comprobación de Verificaciones” .                                                               | 77 |
| Tabla 38: “Iteración 1” .                                                                                  | 77 |
| Tabla 39: “Iteración 2” .                                                                                  | 78 |
| Tabla 40: “Datos de entrada para verificación a corte” .                                                   | 78 |
| Tabla 41: “Resistencia al Corte” .                                                                         | 78 |
| Tabla 42: “Verificación de Losa” .                                                                         | 79 |
| Tabla 43: “verificación de Acero en Losade Hormigón” .                                                     | 79 |
| Tabla 44: “Datos de madera 2x6” .                                                                          | 80 |
| Tabla 45: “Datos de Panel de CLT de 1m2” .                                                                 | 80 |
| Tabla 46: “Cálculo de Área Superficial para Instalar Panel de CLT” .                                       | 81 |
| Tabla 47: “Cubicación de Vigas de modelo 1” .                                                              | 81 |
| Tabla 48: “Cubicación de Muros de Modelo 1” .                                                              | 82 |
| Tabla 49: “Cubicación de Columnas de Modelo 1” .                                                           | 82 |
| Tabla 50: “Cubicación de Losa De Modelo 1” .                                                               | 82 |
| Tabla 51: “Cubicación de Vigas de Modelo 2” .                                                              | 83 |
| Tabla 52: “Cubicación de Muros de Modelo 2” .                                                              | 83 |
| Tabla 53: “Cubicación de Columnas de Modelo 2” .                                                           | 83 |
| Tabla 54: “Cubicación de Sobre Losa de Modelo 2” .                                                         | 84 |
| Tabla 55: “Cubicación Acero de Refuerzo para Muro 1 de Modelo 1” .                                         | 84 |
| Tabla 56: “Cubicación Acero de Refuerzo para Muro 2 de Modelo 1” .                                         | 85 |
| Tabla 57: “Cubicación Acero de Refuerzo para Muro 3 de Modelo 1” .                                         | 85 |
| Tabla 58: “Cubicación Acero de Refuerzo para Columna 30x30 de Modelo 1” .                                  | 85 |

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 59: “Cubicación Acero de Refuerzo para Columna L de Modelo 1” .....     | 85  |
| Tabla 60: “Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 30/50 de Modelo 1” .....    | 86  |
| Tabla 61: “Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 30/50 de Modelo 1” .....    | 86  |
| Tabla 62: “Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 45/70 de Modelo 1” .....    | 86  |
| Tabla 63: “Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 55/70 de Modelo 1” .....    | 86  |
| Tabla 64: “Costos de acero de refuerzo para losa de hormigón” .....           | 87  |
| Tabla 65: “Cubicación Acero de Refuerzo para Muro 1 de Modelo 2” .....        | 87  |
| Tabla 66: “Cubicación Acero de Refuerzo para Muro 2 de Modelo 2” .....        | 88  |
| Tabla 67: “Cubicación Acero de Refuerzo para Muro 3 de Modelo 2” .....        | 88  |
| Tabla 68: “Cubicación Acero de Refuerzo para Columna 30x30 de Modelo 2” ..... | 88  |
| Tabla 69: “Cubicación Acero de Refuerzo para Columna L de Modelo 2” .....     | 88  |
| Tabla 70: “Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 30/50 de Modelo 2” .....    | 89  |
| Tabla 71: “Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 30/70 de Modelo 2” .....    | 89  |
| Tabla 72: “Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 45/70 de Modelo 2” .....    | 89  |
| Tabla 73: “Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 55/70 de Modelo 2” .....    | 89  |
| Tabla 74: “Periodos y Participación Modal de Modelo 1” .....                  | 99  |
| Tabla 75: “Periodos y Participación Modal de Modelo 2” .....                  | 100 |
| Tabla 76: “Espectro Elástico y de Diseño de Modelo 1” .....                   | 101 |
| Tabla 77: “Espectro Elástico y de Diseño de Modelo 2” .....                   | 103 |
| Tabla 78: “Espectro de Desplazamiento y Deformaciones de Modelo 1” .....      | 106 |
| Tabla 79: “Espectro de Desplazamiento de Modelo 2” .....                      | 109 |
| Tabla 80: “Acero de Refuerzo de Modelo 1” .....                               | 112 |
| Tabla 81: “Acero de Refuerzo de Modelo 2” .....                               | 113 |

## **Resumen.**

El objetivo de esta investigación es comparar el desempeño sísmico y económico de una edificación habitacional de cinco niveles que mantiene la misma configuración estructural en ambos modelos: pórticos de hormigón armado y un núcleo de muros de hormigón armado. La diferencia radica en el material de la losa: en el Modelo 1 se utiliza losa maciza de hormigón armado, mientras que en el Modelo 2 se emplea losa de madera contralaminada (CLT) recubierta con una capa de hormigón de 3 centímetros. Esta definición permite evaluar en condiciones equivalentes el efecto del cambio de material en el desempeño integral de la estructura.

La metodología contempla el pre-dimensionamiento de los elementos estructurales más solicitados, aplicando criterios normativos nacionales e internacionales. Además, se realizarán análisis de cubicación, comparando la eficiencia estructural y económica de cada sistema.

Se espera que los resultados permitan determinar cuál de las configuraciones presenta un mejor comportamiento, considerando la respuesta sísmica, la cuantificación de materiales y los costos de los elementos estructurales.

Finalmente, la hipótesis de trabajo plantea que el sistema estructural con losas de CLT constituye una alternativa técnicamente factible, ya que reduce de manera significativa la masa sísmica y el corte basal en comparación con el sistema tradicional de hormigón armado. Desde el punto de vista económico, el modelo con CLT presenta un costo de materiales superior al de hormigón armado, por lo que su aplicación debe evaluarse mediante un análisis de costos y plazos.

## **Abstract.**

The objective of this research is to compare the seismic and economic performance of a five-story residential building that maintains the same structural configuration in both models: reinforced concrete frames and a reinforced concrete shear wall core. The difference lies in the slab material: in Model 1, a solid reinforced concrete slab is used, while in Model 2, a cross-laminated timber (CLT) slab covered with a 3-centimeter concrete topping is employed. This definition allows the evaluation, under equivalent conditions, of the effect of changing the slab material on the overall performance of the structure.

The methodology involves the preliminary design of the most demanding structural elements, applying both national and international code requirements. In addition, a quantity survey will be carried out to compare the structural and economic efficiency of each system.

The expected results aim to determine which configuration presents better performance, considering seismic response, material quantities, and structural element costs.

Finally, the working hypothesis suggests that the structural system with CLT slabs constitutes a technically feasible alternative, as it significantly reduces seismic mass and base shear compared to the traditional reinforced concrete system. From an economic perspective, the CLT model entails higher material costs than reinforced concrete; therefore, its application should be assessed through a detailed cost and scheduling analysis.

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

## 1.1 Planteamiento del problema.

En el contexto de la ingeniería estructural, la búsqueda de sistemas constructivos eficientes, sostenibles y seguros ante eventos sísmicos constituye una necesidad crítica, especialmente en regiones con alta sismicidad como Chile. Las edificaciones en altura destinadas a uso habitacional deben responder no solo a criterios de resistencia estructural, sino también a exigencias de seguridad y habitabilidad, tal como lo establecen la Norma Chilena NCh433 Of.1996 Mod.2009 sobre diseño sísmico de edificios y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). de eficiencia constructiva, reducción de la huella ambiental y optimización de recursos. En los últimos años, la incorporación de la madera contralaminada (CLT) en el ámbito constructivo ha cobrado relevancia debido a su capacidad para combinar ligereza estructural, resistencia y beneficios medioambientales. Sin embargo, el desempeño sísmico de edificaciones en CLT aún presenta desafíos relacionados con la rigidez de los diafragmas, el diseño de conexiones y la interacción con otros materiales estructurales (Gagnon & Pirvu, 2014).

En los últimos años, la incorporación de la madera contralaminada (CLT) en el ámbito constructivo ha cobrado relevancia debido a su capacidad para combinar ligereza estructural, resistencia y beneficios medioambientales (Gagnon & Pirvu, 2014, *CLT Handbook*).

En este sentido, ante la poca información respecto al comportamiento comparativo de los sistemas estructurales tradicionales, como el hormigón armado, frente a los sistemas en madera contralaminada (CLT). Aunque el hormigón ha sido analizado a detalle y utilizado hace ya varios años en Chile, el uso del CLT es relativamente reciente, por lo que todavía existe poca información sobre su desempeño ante eventos sísmicos. Esta falta de estudios comparativos impide establecer las ventajas y limitaciones de cada sistema en relación con la normativa (NCh433.Of1996, Mod:2012, Diseño sísmico de edificios).

## **1.2 Objetivos de la investigación.**

### **1.2.1 Objetivo general.**

Realizar un análisis comparativo del desempeño sísmico, constructivo y económico de una edificación habitacional de cinco niveles, considerando dos modelos estructurales: uno con losas de hormigón armado y otro con losas de madera contralaminada CLT.

### **1.2.2 Objetivos específicos.**

- Diseñar un panel de losa de madera contralaminada (CLT) según el American Wood Council Handbook.
- Evaluar la respuesta sísmica de diseño de una edificación de cinco niveles con sistemas estructurales de muros de hormigón armado y losas de CLT, mediante análisis modal espectral en ETABS según la normativa chilena.
- Comparar el desempeño estructural y los costos de materiales entre ambos sistemas, considerando los criterios de la normativa chilena e internacional.

## **1.3 Justificación del Estudio.**

La creciente demanda por soluciones constructivas más sostenibles y resilientes ha impulsado el desarrollo de nuevos sistemas estructurales, entre los cuales la madera contra laminada CLT, que ha emergido como alternativa viable al hormigón tradicional. Este material combina resistencia estructural lo que le permite soportar las cargas propias de edificaciones. Disminuyendo el peso en la estructura, facilitando su construcción y reduciendo el consumo de recursos. (Gagnon & Pirvu, 2013).

No obstante, la implementación masiva de estas tecnologías aún enfrenta desafíos técnicos y normativos. La limitada experiencia local en el diseño y construcción con madera estructural a gran escala, junto con la nula disponibilidad de normativas nacionales específicas, evidencia la falta de análisis comparativos. Este estudio realiza un análisis técnico del comportamiento sísmico de sistemas estructurales con losas de CLT frente a sistemas tradicionales de hormigón armado, identificando sus ventajas y limitaciones. Además, incorpora una evaluación económica que considera los costos de materiales y la eficiencia de cada sistema.



#### **1.4 Alcances de la investigación.**

El presente estudio se limita a la comparación estructural de dos modelos representativos de edificios de cinco niveles con uso habitacional, los cuales comparten una configuración geométrica idéntica y condiciones de borde similares. Uno de los modelos está constituido por un sistema tradicional de hormigón armado, mientras que el otro utiliza paneles de madera contra laminada (integrando además una sobre losa de hormigón armado de 3 cm).

Para el desarrollo del análisis estructural, se emplean herramientas computacionales de elementos finitos como ETABS, con el objetivo de llevar a cabo simulaciones bajo condiciones normativas equivalentes. En ese contexto, se consideran como base de cálculo las siguientes normativas nacionales:

- NCh433.Of1996, Mod:2009 + DS61: 'Diseño sísmico de edificios', que establece los requisitos mínimos para el diseño de estructuras resistentes a sismos (NCh433.Of1996, Mod:2012)..
- NCh1537.Of2009: “Cargas permanentes y sobrecargas de uso en edificaciones”, que regula las solicitaciones gravitacionales en edificaciones.
- NCh1198.Of2024: “Madera estructural – Requisitos generales”, que proporciona directrices para la caracterización de madera estructural.
- NCh3171.Of2010: “Diseño estructural – Combinaciones de cargas – Disposiciones generales.”
- ACI 318-19: “Building Code Requirements for Structural Concrete”, que regula el diseño de estructuras de hormigón armado.
- Documentación técnica de INFOR (Instituto Forestal de Chile), utilizada para establecer propiedades mecánicas de la madera y validar parámetros de diseño.

Adicionalmente, se consideran referencias técnicas de ensayos experimentales y literatura científica para validar las propiedades físicas y mecánicas utilizadas en los modelos estructurales. No se consideran aspectos arquitectónicos, térmicos ni acústicos, ni se abordan fases post-elásticas, interacción suelo-estructura o análisis de ciclo de vida completo.

Los resultados del estudio permitirán comparar el desempeño estructural, económico y de planificación entre ambos sistemas constructivos, entregando la información

necesaria para tomar decisiones en el del diseño estructural y la construcción de sismo-resistentes.

## 1.5 Materiales Estructurales Considerados.

En el presente análisis, se consideran los materiales que forman parte fundamental del análisis estructural propuesto (NCh1198.Of2006). La correcta caracterización de cada material permite establecer parámetros coherentes con la normativa vigente y garantizar resultados confiables en las simulaciones o cálculos.

### 1.5.1 Pino Radiata.

El pino radiata es una de las especies más utilizadas en la industria forestal chilena, tanto por su rápido crecimiento como por su desempeño estructural. En el ámbito de la construcción, se emplea comúnmente como madera estructural, de acuerdo con la NCh1198, que se basa en criterios establecidos por normas internacionales como la EN 338. Esta clasificación garantiza que la madera cumple con propiedades mínimas de resistencia mecánica y rigidez, adecuadas para elementos sometidos a cargas estructurales. A continuación, en la figura 1 se muestra el proceso por el cual se somete la madera desde su cosecha hasta el despacho.

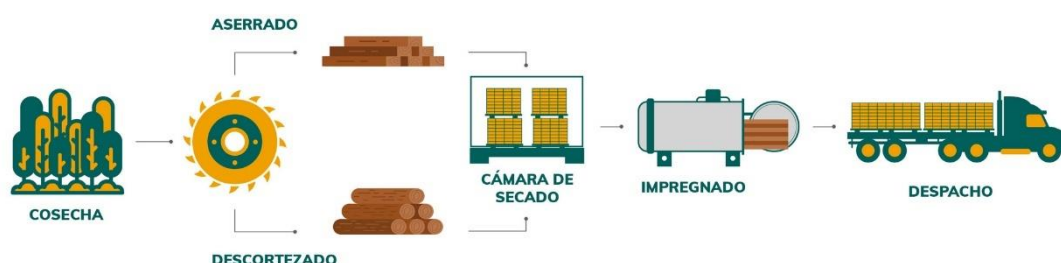


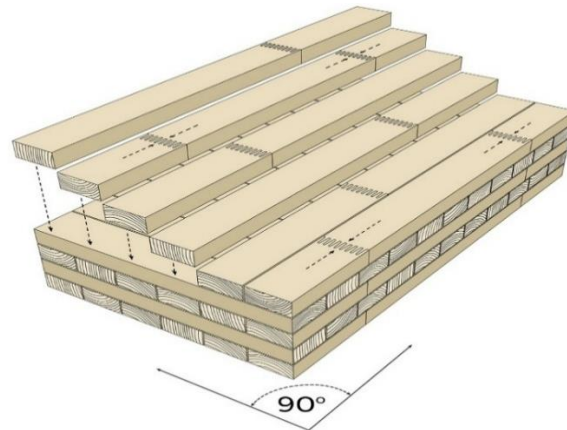
Figura 1: "Proceso de madera dimensionada. Fuente: Concon Maderas (s.f.), recuperado de <https://conconmaderas.cl/calidad/>".

Chile es uno de los principales productores de pino radiata en el hemisferio sur, con un importante desarrollo en plantaciones forestales certificadas y una industria maderera orientada a la producción de madera aserrada, tableros y productos de ingeniería.

De este material, se derivan productos estructurales industrializados que serán utilizados en este estudio, particularmente CLT.

### 1.5.1.1 Madera Contra Laminada.

El CLT es un material estructural formado por capas de madera maciza dispuestas ortogonalmente y unidas con adhesivos, lo que le proporciona rigidez en ambas direcciones y alta estabilidad dimensional. Es más liviano que el concreto o el acero, lo que facilita transporte y montaje. Al ser prefabricado, permite reducir los tiempos de construcción y, al provenir de fuentes renovables, contribuye a la sostenibilidad y almacenamiento de carbono (Eligemadera, 2022).



*Figura 2: "Panel de CLT, Fuente: Arauco".*

Estudios como Van de Lindt et al. (2020, "Seismic Performance Factors for Cross-Laminated Timber Shear Wall Systems in the United States") y Bhardwaj et al. (2021, "Experimental Performance Testing of Cantilever Cross-Laminated Timber (CLT) Diaphragm under In-Plane Shear") muestran que el CLT tiene buen desempeño frente a cargas sísmicas en muros y diafragmas. En el primer estudio se determinaron factores de modificación de respuesta ( $R$ ) de 3 para muros con relación de aspecto 2:1 o mixtos, y de 4 para paneles con relación 4:1. En el segundo, se evaluó el comportamiento a cortante en plano de diafragmas de CLT a escala real, proporcionando datos útiles para el diseño sísmico.

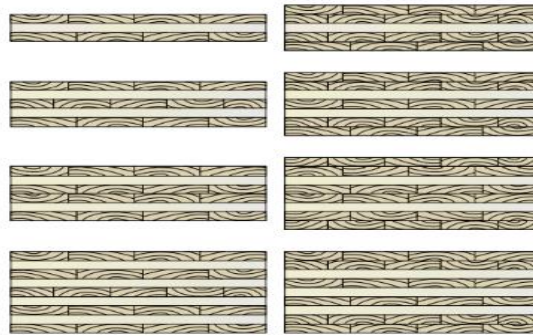


Figura 3 :”Ejemplo de secciones transversales de paneles Fuente: CLT. U.S. Edition of the CLT Handbook: cross laminated timber (2013)”.

Su uso está respaldado por normativas técnicas como el Euro código 5 (EN 1995-1-1) en Europa, y las directrices del APA y PRG-320 en Estados Unidos, que establecen criterios de diseño, fabricación y desempeño estructural.

### 1.5.2. Hormigón Armado.

El hormigón armado es el material estructural más utilizado en edificaciones de mediana y gran altura en Chile, debido a su alta resistencia a compresión, durabilidad y disponibilidad. En el diseño sísmico, su comportamiento dependerá de su sistema estructural, como también de la disposición de estos, aunque con mayor masa que el CLT, lo que implica mayores fuerzas sísmicas transmitidas a la cimentación (Chopra, 2012, *Dynamics of Structures*).

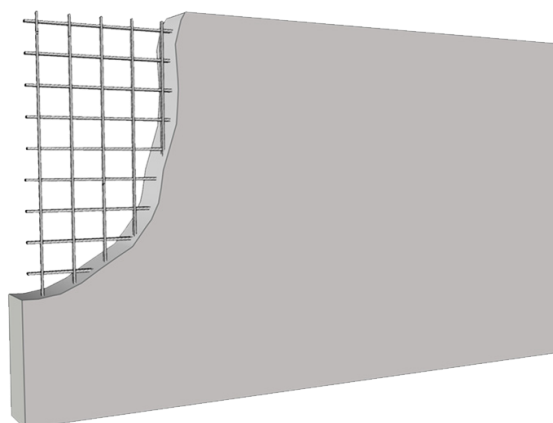


Figura 4: “representación de muro de hormigón armado, Fuente: PngWing (s.f.), recuperado de

<https://www.pngwing.com/es/free-png-mwipb>”.

A continuación, se presentan las definiciones de los materiales que lo componen: el hormigón y el acero estructural.

#### **1.5.2.1 Hormigón G25.**

El hormigón G25 es un material compuesto utilizado comúnmente en elementos estructurales de edificación como muros, fundaciones, vigas y losas. Se caracteriza por tener una resistencia característica a compresión de 25 MPa a los 28 días, medida en probetas cilíndricas de acuerdo con la normativa NCh1037. Este tipo de hormigón es considerado de resistencia media y es adecuado para edificaciones de hasta mediana altura ubicadas en zonas de alta sismicidad, como Chile.

Desde el punto de vista normativo, el diseño y control de calidad del hormigón G25 se encuentra regulado principalmente por la NCh170 (Hormigón – Requisitos generales), la NCh430 (Hormigón armado – Requisitos de diseño y cálculo), y la NCh1928 (Hormigón – Preparación y curado de probetas de ensayo). Además, para el diseño estructural en zonas sísmicas se deben considerar los criterios establecidos por la NCh433 (Diseño sísmico de edificios), los cuales afectan directamente la configuración del refuerzo y los criterios de ductilidad exigidos al material.

#### **1.5.2.2 Acero Estructural.**

El acero estructural utilizado en hormigón armado corresponde generalmente a barras corrugadas de alta adherencia y resistencia. En Chile, los tipos más comunes son A630-420H y A630-500H, cuyas resistencias a la fluencia son de 420 MPa y 500 MPa, respectivamente, según la NCh204. Estas barras son esenciales para absorber los esfuerzos de tracción y compresión que no puede resistir el hormigón por sí solo, especialmente en elementos sometidos a flexión o carga sísmica.



*Figura 5: “Varilla de acero corrugado o estriado, Fuente: ACB Constructor (s.f.), recuperado de*

*[https://www.acbconstructor.cl/shop/10003-fierro-estriado-8mm-5395#attr="](https://www.acbconstructor.cl/shop/10003-fierro-estriado-8mm-5395#attr=)”.*

Cuando no se cuenta con un diseño estructural detallado, en la etapa de predimensionamiento es común adoptar valores de cuantía de refuerzo mínimos de carácter referencial, los cuales varían en función del tipo de elemento estructural y de las demandas sísmicas. Según lo establecido en el ACI 318-19, se definen límites mínimos y máximos de cuantía para vigas, columnas, muros y losas, con el objetivo de garantizar un comportamiento dúctil, evitar fallas frágiles y proporcionar una adecuada capacidad de confinamiento.

## CAPÍTULO II: MARCO TEORICO.

### 2.1 Enfoque general.

La presente investigación se fundamenta en un enfoque comparativo y cuantitativo, el cual busca evaluar el comportamiento sísmico de dos edificaciones de cinco niveles diseñadas bajo una misma configuración arquitectónica considerándose en ambas un núcleo de muros de hormigón, pero utilizando diferentes materiales estructurales. Para llevar a cabo una evaluación comparativa, se definieron dos modelos estructurales representativos de un edificio de cinco niveles con uso habitacional.

- **Modelo 1:** Estructura de pórticos de hormigón armado con losas macizas, vigas y columnas tradicionales de hormigón armado.
- **Modelo 2:** Estructura de pórticos, y núcleo de muros de hormigón armado, además de losas compuestas por paneles de CLT como sistema de entrepiso, complementados con una sobrelosa de hormigón para rigidez adicional y diafragma rígido.

El estudio se desarrolló aplicando la técnica de análisis modal espectral, mediante el uso de software de elementos finitos. Todo el proceso se realizó de acuerdo con la normativa chilena vigente, en particular la NCh433 para diseño sísmico. Para la comparación entre ambos modelos, se consideraron las mismas cargas permanentes (peso propio de la estructura), variables (uso de los espacios) y sísmicas, lo que permitió obtener una evaluación consistente y objetiva. Los parámetros considerados incluyen derivas, esfuerzos internos, desplazamientos máximos y esfuerzos de cortantes. Las propiedades mecánicas de cada material se obtuvieron de literatura técnica y ensayos experimentales para garantizar una comparación objetiva, se asumieron las cargas de ocupación según uso residencial conforme a la normativa chilena de cargas (NCh1537.Of2009).

Este enfoque metodológico permite contrastar de forma controlada las diferencias de comportamiento y desempeño sísmico entre ambos sistemas constructivos, facilitando una interpretación técnica clara de los resultados. El carácter comparativo del estudio proporciona un marco sólido para contrastar de manera sistemática el desempeño de cada alternativa constructiva desde una perspectiva técnica, funcional y económica.

## **2.2 Etapas metodológicas.**

La metodología adoptada en esta investigación se organiza en distintas etapas sucesivas que permiten abordar el análisis estructural de forma ordenada y sistemática. Cada una de estas fases constituye un paso esencial dentro del proceso. En términos generales, la metodología comprende desde la revisión bibliográfica y normativa inicial, hasta la definición de los modelos estructurales, su análisis comparativo y la interpretación de los resultados, conformando un proceso orientado a cumplir los objetivos planteados.:

### **2.2.1. Revisión bibliográfica.**

Se realiza una búsqueda de literatura técnica, científica y normativa relacionada con los sistemas constructivos en estudio. Esta revisión incluye investigaciones previas sobre el comportamiento sísmico de estructuras en hormigón armado y CLT, así como el análisis comparativo entre estos sistemas. También se recogen datos relevantes sobre la normativa de diseño estructural, tendencias internacionales en construcción sostenible, y estudios sobre comportamiento dinámico de materiales.

### **2.2.2. Definición de parámetros estructurales.**

Se establecen los parámetros de diseño necesarios para la modelación estructural, incluyendo las dimensiones geométricas de los elementos estructurales, propiedades físicas y mecánicas de los materiales (módulo de elasticidad, resistencia a compresión, tracción y cortante), cargas gravitacionales y sísmicas, condiciones de borde y vínculos estructurales. Se busca mantener equivalencia arquitectónica entre los modelos para garantizar una comparación equitativa, siguiendo recomendaciones de estudios previos en análisis comparativo de sistemas estructurales (Chopra, 2012), con especial atención a manuales técnicos para CLT y especificaciones de madera estructural (FPInnovations, 2011; AWC, 2017).

### **2.2.3. Modelación numérica tridimensional.**

Los modelos estructurales son desarrollados en software especializado como ETABS o SAP2000, considerando una representación tridimensional completa que integre todos los elementos estructurales significativos: vigas, columnas, muros, losas, conexiones y fundaciones. Se introducen las propiedades reales de cada material, así como la distribución de masa y rigidez estructural. La modelación busca replicar de



forma precisa el comportamiento estructural esperado, aplicando criterios de mallado adecuados para garantizar la confiabilidad del análisis.

#### **2.2.4. Análisis sísmico.**

Se realizan análisis dinámicos mediante dos enfoques principales: el análisis modal espectral, que permite obtener una respuesta global ante cargas sísmicas considerando la interacción entre modos de vibración; y el análisis estático equivalente, útil para validar la respuesta estructural frente a acciones sísmicas simplificadas. Ambos enfoques se complementan para obtener una visión integral del desempeño estructural, de acuerdo con lo establecido en la NCh433.Of1996 Mod.2012. Se realizan análisis dinámicos modales-espectrales conforme a exigencias y espectros de diseño definidos por la normativa chilena, permitiendo comparaciones consistentes con referencias internacionales (NCh433.Of1996, Mod:2012).

#### **2.2.5. Evaluación de desempeño estructural.**

Se extraen los principales indicadores de desempeño estructural a partir de los resultados obtenidos: desplazamientos máximos y relativos entre pisos (drift), fuerzas internas en elementos estructurales, periodos naturales de vibración, cortantes en base y distribución de fuerzas internas. Además, se analizan parámetros asociados a la ductilidad, rigidez y estabilidad de las estructuras. Estos resultados permiten evaluar el grado de seguridad y eficiencia de cada sistema constructivo frente a cargas sísmicas.

#### **2.2.6. Análisis económico.**

En esta etapa se desarrolla un análisis comparativo de los costos de materiales, considerando valores de referencia ajustados a la localización del proyecto. Con el propósito de aislar el efecto propio del sistema estructural, el estudio excluye los costos asociados a mano de obra, transporte y arriendo de equipos. Los resultados evidencian que la alternativa en madera presenta un costo inicial superior debido a la incorporación de elementos prefabricados. No obstante, al contrastarla con la solución en hormigón armado, se advierte que dicho sobre costo puede verse compensado por beneficios indirectos, tales como la disminución del peso estructural y, en consecuencia, la reducción en los requerimientos de cimentación. De este modo, el análisis permite establecer un marco comparativo preliminar que contribuye a evaluar la conveniencia económica relativa de cada sistema estructural.

### **2.2.7. Análisis crítico y discusión técnica.**

Se elabora un análisis comparativo entre ambos modelos, contrastando los resultados obtenidos con los valores límite permitidos por las normativas. Se discuten los posibles efectos del material sobre la respuesta dinámica, así como la influencia de las propiedades mecánicas en el diseño estructural. También se reflexiona sobre la factibilidad técnica de cada sistema desde una perspectiva constructiva, económica y ambiental.

### **2.3 Justificación de la metodología.**

El enfoque metodológico adoptado se justifica por la necesidad de explorar alternativas estructurales sostenibles que permitan mejorar el desempeño sísmico de edificaciones en zonas de alta peligrosidad sísmica, como lo es el territorio chileno. La elección de un enfoque comparativo facilita la identificación de ventajas y desventajas objetivas entre los sistemas constructivos, lo que aporta valor tanto a nivel académico como profesional.

La utilización de herramientas de modelación estructural computacional permite simular escenarios complejos de carga con alto grado de precisión, y ofrece la posibilidad de estudiar múltiples configuraciones bajo condiciones controladas. Además, al seguir lineamientos normativos reconocidos a nivel internacional, los resultados obtenidos adquieren mayor validez técnica y pueden extrapolarse a contextos similares en otros países.

### **2.4 Limitaciones de la metodología.**

A pesar del rigor metodológico adoptado, es importante reconocer las limitaciones inherentes a este tipo de estudio. En primer lugar, la modelación estructural implica una idealización del comportamiento real, por lo que no se consideran efectos no lineales significativos ni degradación cíclica, por lo que las derivas y fuerzas internas corresponden a una respuesta esencialmente elástico-lineal, adecuada para comparación de alternativas, pero no sustitutiva del diseño detallado.

En segundo lugar, aunque se incorpora un análisis económico preliminar, no se realiza una evaluación detallada del ciclo de vida completo de los materiales, lo que podría proporcionar una visión más integral en términos de sostenibilidad. Asimismo, la respuesta post-elástica de las estructuras y los efectos de interacción suelo-estructura

son aspectos que, aunque relevantes, han sido excluidos debido a que se encuentran fuera del alcance definido para esta investigación.

No obstante, estas limitaciones no afectan el objetivo central de la investigación, que es comparar el desempeño sísmico de dos sistemas constructivos bajo condiciones estructurales similares.

## CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO.

En este capítulo se definen las cargas consideradas para el cálculo estructural del panel de CLT, las cuales constituyen la base para el análisis de su desempeño. Posteriormente, se presentan las verificaciones necesarias que permiten evaluar la resistencia y la rigidez del elemento, asegurando que cumpla con los requisitos. El desarrollo de estas etapas posibilita comparar el comportamiento del panel frente a las solicitaciones.

### 3.1 Propiedades geométricas panel.

$L$ : Largo panel CLT (mm).

$B$ : Ancho panel CLT (mm).

$h$ : Altura de capa individual (mm)

$n_c$ : Número de capas del panel.

### 3.2 Cargas Consideradas.

Según la NCh1537.Of2009, se consideran como cargas permanentes el peso propio y terminaciones, y como sobrecarga de uso los valores establecidos por destino de ocupación (NCh1537.Of2009).

#### 3.2.1 Cargas Permanentes.

Como carga permanente o muerta se consideró el peso propio del panel de CLT, más un recubrimiento de hormigón, además de cargas de terminaciones y tabiquería obtenidas del anexo B de la NCh1137.

$$q_D = q_{panel} + q_{recubrimiento} + q_{tabiquería} + q_{revestimeinto} [kN/m^2] \quad (1)$$

Estas cargas se desglosan de la siguiente forma:

##### 3.2.1.1 Carga de peso propio panel de CLT.

$$q_{panel} = \gamma_{Pino} * H [kN/m^2] \quad (2)$$

Donde,

$\gamma_{Pino}$ : Peso específico del pino radiata ((kN / m<sup>3</sup>), conforme a información técnica (INFOR, 2021)

$H$ : Altura total panel CLT (mm).

### 3.2.1.2 Carga de recubrimiento de hormigón.

$$q_{recubrimiento} = \gamma_{Hormigón} * e_{recubrimiento} [kN/m^2] \quad (3)$$

Donde,

$\gamma_{hormigón}$ : Peso específico hormigón (kN / m<sup>3</sup>). según valores usuales de diseño y catálogos de materiales (ACI 318-19).

$e_{recubrimiento}$ : Espesor de recubrimiento de hormigón (mm).

### 3.2.1.3 Carga de tabiquería.

La carga asociada a tabiquería se consideró como una carga lineal equivalente distribuida sobre la losa, de acuerdo con lo establecidos en el anexo C la NCh1537.Of2009.

### 3.2.1.4 Carga de Revestimiento de Losa.

La carga de revestimiento de losa corresponde al peso propio de las terminaciones de piso y capas de recubrimiento consideradas en el proyecto. Esta carga se modeló como una acción uniformemente distribuida, incorporándose dentro de las cargas permanentes, tal como lo establece la normativa nacional, y se suma al peso propio del panel para efectos de cálculo.

### 3.2.2 Carga de Uso o Carga Viva.

La sobrecarga de uso para vivienda se adopta conforme a la tabla 4 de NCh1537.Of2008.

### 3.3 Momento flector por cargas inducidas.

$$M_b = \frac{q_t * L^2}{8} [kN * mm] \quad (4)$$

Donde,

$q$ : Carga distribuida a lo largo de panel de CLT (kN/m).

La cual se calcula de la siguiente forma:

$$q_t = (q_D + q_L) * B \text{ [kN/m]} \quad (5)$$

### 3.4 Verificación panel CLT.

La verificación de propiedades mecánicas del panel CLT se realiza con el método simplificado del CLT Handbook (ediciones canadiense y estadounidense), complementado con criterios de la NDS para factores de ajuste (Gagnon & Pirvu, 2013; American Wood Council, 2018). Se ha observado que cambios en la disposición de capas —por ejemplo, alternar a 45° en lugar de 90°— pueden aumentar el módulo de ruptura (MOR) en aproximadamente un 35 % y el módulo de elasticidad (MOE) en un 15 % (Frangi & Fontana, 2017). Esta variación es significativa para asegurar que el diseño sea robusto y consistente con las condiciones reales del panel.

Este método de diseño es utilizado para calcular la resistencia a la flexión y la resistencia al corte de forma más sencilla, fórmulas resumidas que se desprenden de las teorías antes mencionadas.

#### 3.4.1 Resistencia a la Flexión.

Cuando los módulos de elasticidad de todas las capas longitudinales son iguales, la resistencia a flexión fuera del plano puede evaluarse con la expresión indicada en el CLT Handbook. (Gagnon & Pirvu, 2013):

$$M_r = \phi * F_b * \frac{I_{eff}}{0.5 * H} \text{ [kN * mm]} \quad (6)$$

Donde,

$F_b$ : Tensión por flexión (MPa).

$H$ : Altura total panel CLT (mm).

$I_{eff}$ : Momento de inercia efectivo fuera del plano del panel CLT (mm<sup>4</sup>).

Para espesores de capa iguales, el momento de inercia efectivo se evalúa con la expresión correspondiente del CLT Handbook. (Gagnon & Pirvu, 2013):

$$I_{eff} = \frac{H^3}{12} * \sum_i t_i \quad (7)$$

Donde,

$t_i$ : Espesor de las capas en dirección longitudinal a la fuerza aplicada (mm).

### 3.4.2 Resistencia al corte.

La siguiente ecuación es parte del Método Simplificado del Handbook Canadian Edition la cual propone el cálculo de una tensión de corte.

$$\tau_v = \frac{3 * V}{2 * cs * A_{gross}} [kN/mm^2] \quad (8)$$

Donde,

$$cs = \frac{I_{eff}}{I_{gross}} \quad (9)$$

$V$ : Fuerza de corte máxima.

$$V = \frac{q_t * L}{2} [kN] \quad (10)$$

$A_{gross}$ : Área transversal total del panel.

$$A_{gross} = B * L [mm^2] \quad (11)$$

$I_{gross}$ : Momento de inercia total del panel.

$$I_{gross} = \frac{L * B^3}{12} [mm^4] \quad (12)$$

### 3.4.3 Resistencia a la flexión según el enfoque de capacidad de la fibra más extrema.

Bajo el enfoque de capacidad en la fibra extrema, el módulo de sección efectivo se obtiene como:

$$S_{eff} = \frac{2 * EI_{eff}}{E_1 * H} [mm^3] \quad (13)$$

Donde,

$$EI_{eff} = \sum_{i=1}^{n_c} E_i * B * \frac{t_i^3}{12} + \sum_{i=1}^{n_c} E_i * B * t_i * z_i^2 [N * mm^2] \quad (14)$$

Donde,

$S_{eff}$ : Módulo de sección efectiva (mm<sup>3</sup>).

$EI_{eff}$ : Rigidez a la flexión efectiva (N\* mm<sup>2</sup>).

$E_1$ : Módulo de elasticidad de la capa exterior (kN/mm<sup>2</sup>).

$z_i$ : Es la distancia desde el centroide de la sección transversal del panel hasta el centroide de cada una de sus capas (Gagnon & Pirvu, 2013).

Para el diseño se debe considerar que el momento flector por cargas inducidas debe ser menor a resistencia a la flexión por capacidad de la fibra más extrema, dejando la siguiente inecuación:

$$M_b \leq F'_b S_{eff}$$

Además, para el cálculo de la resistencia a la flexión por capacidad de la fibra más extrema según la metodología LRFD, según la siguiente tabla extraída de a NDS:



Tabla 1: "Factores de ajuste para la madera contralaminada CLT".

|                                            |   | Solo para ASD               | Para ASD y LRFD               |                       |                               |                                  |                         | Solo para LRFD                |                              |                                           |
|--------------------------------------------|---|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|
|                                            |   | Factor de Duración de Carga | Factor de Humedad de Servicio | Factor de Temperatura | Factor de Estabilidad de Viga | Factor de Estabilidad de Columna | Factor de Área de Apoyo | Factor de Conversión de Forma | Factor de Resistencia $\phi$ | Factor por efecto de duración de la carga |
| $F'_b (S_{eff}) = F_b (S_{eff})$           | X | $C_D$                       | $C_M$                         | $C_t$                 | $C_L$                         | -                                | -                       | 2.54                          | 0.85                         | I                                         |
| $F'_r (A_{parallel}) = F_r (A_{parallel})$ | X | $C_D$                       | $C_M$                         | $C_t$                 | -                             | -                                | -                       | 2.70                          | 0.80                         | I                                         |
| $F'_v(t_v) = F_v(t_v)$                     | X | $C_D$                       | $C_M$                         | $C_t$                 | -                             | -                                | -                       | 2.88                          | 0.75                         | I                                         |
| $F'_s (lb / Q)_{eff} = F_s (lb / Q)_{eff}$ | X | -                           | $C_M$                         | $C_t$                 | -                             | -                                | -                       | 2.00                          | 0.75                         | -                                         |
| $F'_c (A_{parallel}) = F_c (A_{parallel})$ | X | $C_D$                       | $C_M$                         | $C_t$                 | -                             | $C_P$                            | -                       | 2.40                          | 0.90                         | I                                         |
| $F'_{c\perp}(A) = F_{c\perp}(A)$           | X | -                           | $C_M$                         | $C_t$                 | -                             | -                                | $C_b$                   | 1.67                          | 0.90                         | -                                         |
| $(EI)_{app'} = (EI)_{app}$                 | X | -                           | $C_M$                         | $C_t$                 | -                             | -                                | -                       | -                             | -                            | -                                         |
| $(EI)_{app-min'} = (EI)_{app-min}$         | X | -                           | $C_M$                         | $C_t$                 | -                             | -                                | -                       | 1.76                          | 0.85                         | -                                         |

De la tabla anterior, para el cálculo de la resistencia a flexión por capacidad de la fibra más se desprende la ecuación

$$F'_b S_{eff} = F_b * S_{eff} * C_M * C_t * C_L * 2.54 * \phi_b * \lambda_b [kN * mm] \quad (15)$$

Donde,

$F'_b S_{eff}$ : Resistencia a la flexión según el enfoque de capacidad de la fibra más extrema (kN\*mm).

$C_M$ : Factor de humedad de servicio.

$C_t$ : Factor de temperatura.

$C_L$ : Factor de estabilidad.

$\phi_b$ : Factor de Resistencia a la flexión.

$\lambda_b$ : Factor por efecto de duración de la carga.

### 3.4.4 Resistencia al corte según el enfoque de capacidad de la fibra más extrema.

Similar al procedimiento anterior, para el cálculo se utilizó la tabla 1 y se presenta en la ecuación.

$$(I_b/Q)_{eff} = \frac{EI_{eff}}{\sum_{i=1}^{n_c/2} E_i * t_i * z_i} [mm^2] \quad (16)$$

Donde,

$E_i$ : Módulo de elasticidad de capa i (kN/mm<sup>2</sup>).

$t_i$ : Espesor de la capa i excepto la capa de en medio que es la mitad de t (mm).

$z_i$ : Es la distancia desde el centroide de la sección transversal del panel hasta el centroide de cada una de sus capas, excepto la capa central (mm)

Para el diseño por corte por capacidad de la fibra extrema, se tiene la ecuación.

$$F'_s(I_b/Q)_{eff} = F'_s * (I_b/Q)_{eff} * C_M * C_t * 2.00 * \phi_s * \lambda_s [kN] \quad (17)$$

Donde,

$\phi_s$ : Factor de Resistencia al corte.

$\lambda_s$ : Factor por efecto de duración de la carga.

Para la determinación de los coeficientes, se utilizaron las siguientes argumentos y tablas para obtener su valor.

#### 3.4.4.1. Para Factor de Humedad.

Los valores de diseño de referencia para la madera contralaminada (CLT) son aplicables a condiciones de servicio secas, donde  $C_M = 1.0$ . Cuando las condiciones de servicio difieran de las condiciones especificadas, los ajustes por alta humedad deberán realizarse de acuerdo con la información proporcionada por el fabricante y lo indicado en la NCh1198.Of2006.

### 3.4.4.2. Para Factor de temperatura.

Tabla 2: "Factor de Temperatura".

| Valores de diseño de referencia | Condiciones de humedad en servicio | $C_t$                      |                                                |                                  |
|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|
|                                 |                                    | $T \leq 100^\circ\text{F}$ | $100^\circ\text{F} < T \leq 125^\circ\text{F}$ | $125^\circ\text{F} < T \leq 150$ |
| $F_t, E, E_{min}$               | Húmedo o Seco                      | 1                          | 0.9                                            | 0.9                              |
| $F_b, F_v, F_c$ y $F_{c\perp}$  | Seco                               | 1                          | 0.8                                            | 0.7                              |
|                                 | Húmedo                             | 1                          | 0.7                                            | 0.5                              |

### 3.4.4.3. Para Factor de Estabilidad.

Cuando el borde comprimido de un elemento a flexión está apoyado a lo largo de toda su longitud para prevenir desplazamientos laterales, y los extremos en los puntos de apoyo tienen soporte lateral para evitar la rotación, se considera:

$$C_L = 1.0$$

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y RESPUESTA SÍSMICA.**

### **4.1 Enfoque general del análisis estructural.**

El análisis estructural es una etapa fundamental para evaluar comparativamente el comportamiento sísmico de edificaciones con distintos materiales estructurales. En este estudio se aplican métodos de análisis estructural, tanto estáticos como dinámicos, con el objetivo de caracterizar el comportamiento de las estructuras frente a eventos sísmicos representativos. Asimismo, se cuantifican parámetros como derivas laterales, desplazamientos máximos, esfuerzos internos y distribución de fuerzas cortantes a lo largo de la altura de la edificación (NCh433.Of1996, Mod:2012, *Diseño sísmico de edificios*).

Los modelos estructurales analizados corresponden al Modelo 1 (estructura en hormigón armado) y al Modelo 2 (estructura compuesta por paneles de madera contralaminada [CLT] con sobrelosa de hormigón). Para su evaluación se utiliza software especializado en ingeniería estructural, como ETABS, que permite simular el comportamiento dinámico de la estructura ante solicitaciones sísmicas. En esta etapa, la validación del modelo se realiza verificando que las rigideces de diafragmas, propiedades de materiales y condiciones de borde representen los valores especificados en la normativa chilena de diseño sísmico NCh433.Of96 Mod.2009 y en el reglamento ACI 318-19 para hormigón armado.

Este enfoque permite reducir las variables externas al tipo de material, garantizando que las diferencias en el comportamiento estructural se puedan atribuir directamente a las propiedades mecánicas y dinámicas de los materiales. Esto se logra mediante la definición de las condiciones de borde, la geometría de los modelos y la aplicación de cargas idénticas en ambos casos, así como la utilización de los mismos criterios de modelamiento en ETABS para conexiones, rigideces de diafragmas y propiedades de los materiales. Asimismo, se verifica que los elementos estructurales cumplan con las disposiciones de diseño correspondientes a cada normativa técnica, asegurando un desempeño estructural comparable entre los modelos analizados. Esto significa que los resultados de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos del Modelo 1 y del Modelo 2.

## **4.2 Procedimiento de Cálculo Estructural de la Edificación.**

El diseño estructural de la edificación se realizó mediante una modelación tridimensional utilizando el software ETABS v22, siguiendo los requisitos establecidos por la Norma Chilena NCh433.Of1996 Modificada en 2009 + DS61, y considerando los efectos sísmicos mediante un análisis dinámico modal espectral. A continuación, se describe el procedimiento adoptado para el cálculo estructural de la edificación.

## **4.3 Análisis Dinámico.**

Para el análisis sísmico del edificio se empleó un análisis modal espectral, de acuerdo con lo establecido en la sección 6.3 de la Norma Chilena NCh433, considerando las características sísmicas del emplazamiento, el sistema estructural y el tipo de suelo.

Se realizó una revisión de los modos de vibración obtenidos, verificando la presencia de modos predominantes de traslación en las direcciones X e Y, así como de un modo asociado a torsión. Con esta información sirve para caracterizar la respuesta dinámica del edificio y evaluar la incidencia del comportamiento torsional en su desempeño sísmico.

El primer modo de vibración representa el período fundamental del edificio y la dirección más flexible del sistema estructural. Esto es importante ya que la mayor parte de la respuesta sísmica suele concentrarse en este modo.

Asimismo, se analizaron los factores de masa participativa modal, que indican cuánta masa de la estructura participa en cada modo. El valor del coeficiente de reducción de demanda sísmica  $R$  depende del período asociado al modo con mayor masa participativa traslacional, y no necesariamente del primer modo. Por lo tanto, se identificó dicho modo y se utilizó su período correspondiente para la determinación del espectro de diseño.

El valor base de  $R_0$  se obtiene de la Tabla 5.1 de la NCh433. para el caso de sistemas de pórticos de hormigón armado utilizados en un análisis dinámico. Es importante aclarar que el valor adyacente en la tabla corresponde al análisis estático, por lo que no debe confundirse.

Luego, el valor de  $R$  final se determina según la fórmula establecida en el punto 6.5.3.5 de la NCh433, que ajusta el valor de  $R_0$  dependiendo de la relación entre el período de la estructura y el período característico  $T_0$  del suelo, definido en la Tabla 6.3 de la

misma norma, según el tipo de suelo del emplazamiento. Con estos parámetros, se obtiene el valor modificado de R que se utiliza finalmente para el diseño sísmico del edificio.

El valor de R refleja el nivel de ductilidad requerido para reducir la demanda sísmica elástica a una demanda de diseño. Un valor bajo de R implica que la estructura es muy rígida y no puede deformarse de manera significativa, por lo tanto, se le asigna una mayor demanda sísmica. Esta reducción del valor de R es coherente con una estructura que tendrá una capacidad limitada de disipar energía mediante deformaciones inelásticas, y representa un ajuste normativo para tener en cuenta dicha rigidez en el diseño.

Con el valor de R determinado y considerando las características sísmicas del emplazamiento (zona sísmica y tipo de suelo), se construyó el espectro de diseño que se utilizó en el análisis dinámico.

Posteriormente, se realizaron las siguientes verificaciones normativas exigidas por la NCh433:

**a) Verificación del cortante sísmico basal mínimo (Art. 6.3.7.1).**

Se verificó que el cortante sísmico basal total (en X e Y) obtenido del análisis dinámico (de ETABS) no fuese menor al valor mínimo definido por la norma. En caso de no cumplir con este requisito, se aplicó un factor de corrección al espectro utilizado en ETABS, calculado como:

$$Fex = \frac{V_{m\acute{a}x}}{V_x}; Fey = \frac{V_{m\acute{a}x}}{V_y} \quad (18)$$

Donde:

$V_{m\acute{a}x}$ : Es el cortante mínimo exigido por norma.

$V_x, V_y$ : Son los cortantes obtenidos del análisis en las respectivas direcciones.

**b) Verificación del coeficiente sísmico máximo (Art. 6.3.7.2).**

El coeficiente sísmico C se define como la razón entre el cortante basal y el peso sísmico total:

$$C = \frac{V}{W} \quad (19)$$

Donde,

$V$ : Cortante basal (kN).

$W$ : Peso ssímico de la estructura (kN).

Se calculó el  $C_{m\acute{a}x}$  según la Tabla 3.

Tabla 3: "Factor de Valores máximos del coeficiente sísmico  $C$ "

| <b>R</b>   | <b><math>C_{m\acute{a}x}</math></b> |
|------------|-------------------------------------|
| <b>2</b>   | 0.9 S $A_0$ (g)                     |
| <b>3</b>   | 0.6 S $A_0$ (g)                     |
| <b>4</b>   | 0.55 S $A_0$ (g)                    |
| <b>5.5</b> | 0.4 S $A_0$ (g)                     |
| <b>6</b>   | 0.35 S $A_0$ (g)                    |
| <b>7</b>   | 0.35 S $A_0$ (g)                    |

Luego se verificó que los coeficientes  $C_x$  y  $C_y$  fueran menores o iguales al  $C_{m\acute{a}x}$ . En caso contrario, se aplicaron factores correctivos similares a los siguientes:

$$Fe_x = \frac{C_{m\acute{a}x}}{C_x}; Fe_y = \frac{C_{m\acute{a}x}}{C_y} \quad (20)$$

### c) Inclusión de la torsión accidental.

Se consideró la torsión accidental en el análisis mediante el desplazamiento del centro de masa en  $\pm 5\%$  de la dimensión en planta en dirección perpendicular a la acción sísmica, tal como lo establece la norma. Esto permite captar efectos torsionales que podrían no manifestarse si se considera sólo el centro de masa teórico.

### 4.4 Verificación De Desplazamientos.

Se evaluaron los desplazamientos laterales máximos por piso con el objetivo de verificar el cumplimiento de los límites de deriva establecidos por la NCh433. El desplazamiento relativo entre niveles fue calculado utilizando el método del centro de masa de cada nivel.

Según la normativa, la deriva inter-piso máxima permitida para estructuras de hormigón armado es de 0.002 veces la altura del entrepiso. En este proyecto, se verificó que todas las derivas se mantuvieran por debajo de dicho límite, asegurando un comportamiento estructural conforme a la normativa nacional y evitando daños no estructurales significativos (como agrietamiento de tabiquería, daños en fachadas, elementos no estructurales, etc.).

En caso de que los desplazamientos no cumplan con los límites establecidos, es necesario realizar las siguientes modificaciones en el modelo estructural.

- Aumentar la rigidez mediante el rediseño o redistribución de muros estructurales, introducción de muros adicionales o aumento del espesor de los existentes.
- Optimizar la distribución de masas, evitando concentraciones que generen irregularidades en planta o elevación.
- Reducir la esbeltez del edificio o modificar la configuración estructural para lograr una respuesta más favorable.
- Ajustar la configuración de diafragmas rígidos o revisar condiciones de borde y continuidad estructural.

Estas acciones buscan aumentar la rigidez global o regularidad del sistema estructural, reduciendo las derivas excesivas y logrando un comportamiento sísmico acorde a la normativa vigente.

#### **4.5 Obtención De Esfuerzos.**

Los esfuerzos internos en los elementos estructurales se obtuvieron a partir del análisis dinámico modal espectral realizado en el software ETABS. Para cada combinación de carga definida por la norma NCh3171, se calcularon los esfuerzos cortantes, momentos flectores y axiales en los muros estructurales y las losas.

#### **4.6 Criterio de la Evaluación Estructural.**

##### **4.6.1 Hipótesis de Análisis.**

Las hipótesis adoptadas para el análisis estructural consideran:

- Comportamiento lineal elástico de los materiales para efectos del análisis sísmico.



- Conexión rígida entre losas y muros estructurales, permitiendo el funcionamiento como diafragmas rígidos.
- Condiciones de empotramiento en la base de los muros.
- Distribución uniforme de masas en cada nivel, concentradas en los centros de masa.

Además, se consideró el efecto de la torsión accidental desplazando el centro de masa  $\pm 5\%$  en planta, tal como establece la NCh433.

#### **4.6.2 Consideraciones de Diseño.**

La configuración estructural del edificio constituye uno de los factores más determinantes para su comportamiento frente a sollicitaciones sísmicas. Una adecuada concepción estructural desde esta etapa inicial no solo optimiza la eficiencia del diseño posterior, sino que también contribuye a mejorar la respuesta sísmica global de la edificación, reduciendo vulnerabilidades y promoviendo un comportamiento más regular y predecible.

Dado que el presente proyecto se desarrolla bajo el enfoque del Diseño Basado en Fuerzas (DBF), el análisis estructural se realiza en el régimen elástico lineal, aplicando posteriormente una reducción normativa de las fuerzas mediante el factor de comportamiento sísmico  $R$ , en concordancia con lo estipulado por la NCh433. En este contexto, el objetivo del diseño no es prever directamente el comportamiento inelástico, sino asegurar que la estructura sea capaz de resistir las fuerzas reducidas de diseño con niveles aceptables de deformación elástica y sin colapsar.

Entre los principales criterios adoptados en la configuración estructural destacan la ubicación estratégica y orientación de los muros estructurales del núcleo, procurando disponer aquellos de mayor longitud en la dirección donde se espera mayor masa movilizada. Esta disposición favorece la obtención de periodos similares en ambas direcciones principales, lo cual mejora la distribución de esfuerzos y equilibra el comportamiento dinámico general del sistema.

Asimismo, se cuidó la alineación del centro de rigidez con el centro de masa, minimizando excentricidades que puedan inducir efectos torsionales indeseados. A través del análisis modal, se verificó que los modos fueran predominantemente traslacionales, condición considerada indicativa de un sistema estructural bien configurado.

En cuanto al soporte estructural, se evitó dejar zonas de losas sin apoyo, incorporando elementos verticales (muros y/o columnas) y horizontales (vigas) que aseguran la continuidad estructural y mejoran la distribución de cargas.

Para el dimensionamiento de los elementos se empleó el enfoque del diseño por resistencia, consistente en aplicar factores de mayoración a las cargas y factores de reducción a la resistencia de los materiales, según lo establecido en la NCh3171 y el ACI 318-19. Este método permite asegurar niveles adecuados de seguridad estructural frente a las cargas gravitacionales y sísmicas de diseño, que han sido previamente reducidas desde su valor elástico mediante el uso del factor R.

Los muros de hormigón armado fueron diseñados considerando su solicitación principal por flexo compresión, asociada al comportamiento típico durante un evento sísmico. Las losas macizas fueron modeladas como elementos planos apoyados directamente sobre los muros, comportándose como diafragmas rígidos que distribuyen las cargas horizontales hacia los sistemas resistentes.

Todos los elementos estructurales fueron verificados frente a los estados límite último y de servicio, considerando resistencia a corte, flexión y punzonamiento, según corresponda. Estas verificaciones permiten asegurar un desempeño estructural adecuado dentro del marco del análisis elástico, garantizando que, aun bajo acciones sísmicas severas, la estructura conserve su estabilidad y funcionalidad, con niveles de deformación admisibles y sin comprometer su integridad global.

#### **4.7 Consideraciones Sísmicas.**

La caracterización del sitio mediante la zona sísmica correspondiente y la categoría de la edificación, junto con la elección adecuada del sistema estructural y el método de análisis, permiten definir las fuerzas sísmicas de diseño. Estos factores se traducen en una serie de parámetros que afectan directamente la magnitud de las solicitaciones y las exigencias de resistencia de los elementos estructurales.

En esta sección se presentan y justifican los valores adoptados conforme a lo establecido en la normativa vigente: NCh433 Of.2011, NCh3171 Of.2017 y el DS N°61 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

#### 4.7.1 Zonificación.

La ubicación de la edificación se propone en la ciudad de Concepción, la cual, de acuerdo con la Figura 6, extraída de la NCh433.mod:2012 y el DS N°61, pertenece a la Zona Sísmica 3, lo que implica una alta amenaza sísmica.

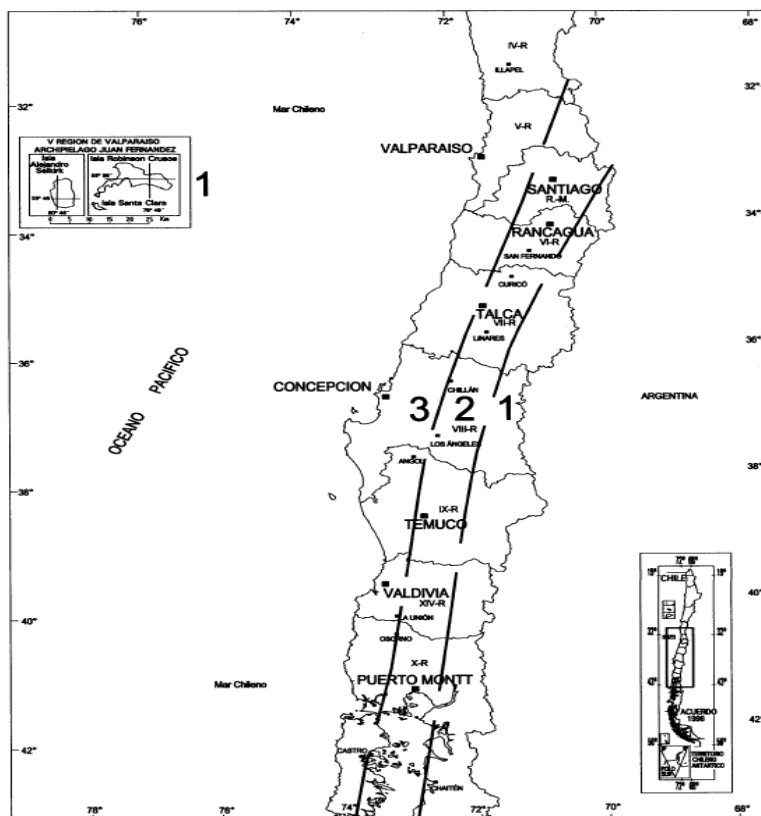


Figura 6: "Zonificación sísmica".

Una vez determinada la zona sísmica, mediante la tabla 4 obtendremos el valor de la aceleración efectiva  $A_0$ .

Tabla 4: "Valor de la aceleración efectiva"

| Zona sísmica | $A_0$   |
|--------------|---------|
| 1            | 0.2 (g) |
| 2            | 0.3 (g) |
| 3            | 0.4 (g) |

Obteniendo un valor de  $A_0 = 0.4 (g)$ .

#### 4.7.2 Parámetros de Suelo.

Se estableció un tipo de suelo D, conforme con la tabla 5. Este tipo de suelo corresponde a un suelo medianamente denso, o firme.

Tabla 5: "Clasificación sísmica del terreno de fundación".

| Tipo Suelo | Descripción                                       |
|------------|---------------------------------------------------|
| A          | Roca, Suelo Cementado                             |
| B          | Roca Blanda o Fracturada, Suelo muy Denso o Firme |
| C          | Suelo Denso o Firme                               |
| D          | Suelo Medianamente Denso, o Firme                 |
| E          | Suelo de Compacidad, o Consistencia Mediana       |
| F          | Suelos Especiales                                 |

#### 4.7.3 Factor de Amplificación Sísmica.

De acuerdo con la Tabla 6, para un suelo Tipo D, se adoptan los siguientes parámetros para la función de espectro:

Tabla 6: "Valor de los parámetros que dependen del tipo de suelo".

| Tipo de suelo | S    | T <sub>0</sub> | T'   | n    | p   |
|---------------|------|----------------|------|------|-----|
| A             | 0.9  | 0.15           | 0.2  | 1    | 2   |
| B             | 1    | 0.3            | 0.35 | 1.33 | 1.5 |
| C             | 1.05 | 0.4            | 0.45 | 1.4  | 1.6 |
| D             | 1.2  | 0.75           | 0.85 | 1.8  | 1   |
| E             | 1.3  | 1.2            | 1.35 | 1.8  | 1   |
| F             | -    | -              | -    | -    | -   |

- a) Amplificación del Espectro de Respuesta (S)=1.2
- b) Periodo en el cual el Espectro alcanza su valor Máximo (T<sub>0</sub>) =0.75
- c) Periodo a partir del cual el Espectro decae (T') =0.85
- d) Exponentes de la Función de espectro (n)= 1.8 y (p)=1

#### 4.7.4 Categoría de las Edificaciones.

La edificación tiene uso residencial y una altura de 5 niveles, por lo que se clasifica como Categoría II, conforme a la Tabla de Clasificación del DS N°61 y la NCh3171 Of.2017. Esta categoría corresponde a edificaciones comunes sin uso estratégico o riesgo especial, como lo indica la tabla 7.

Tabla 7: "Valor del coeficiente de importancia".

| Categoría del edificio | I   |
|------------------------|-----|
| I                      | 0.6 |
| II                     | 1.0 |
| III                    | 1.2 |
| IV                     | 1.2 |

El cual nos da un coeficiente de importancia (I) = 1.0

#### 4.7.5 Sistemas Estructurales.

El sistema estructural está compuesto por vigas y columnas de hormigón armado resistentes a cargas laterales, lo que se clasifica como un sistema estructural de pórticos, al que la Tabla 8.

Tabla 8: "Valores máximos de los factores de modificación de la respuesta".

| Sistema estructural                                                                                             | Material estructural                                                                                                                                                       | R   | R <sub>0</sub> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------|
| <b>Pórticos</b>                                                                                                 | <b>Acero Estructural</b>                                                                                                                                                   |     |                |
|                                                                                                                 | a) Marcos corrientes (OMF)                                                                                                                                                 | 4   | 5              |
|                                                                                                                 | b) Marcos intermedios (IMF)                                                                                                                                                | 5   | 6              |
|                                                                                                                 | c) Marcos especiales (SMF)                                                                                                                                                 | 7   | 11             |
|                                                                                                                 | d) Marco de vigas enrejadas (STMF)                                                                                                                                         | 6   | 10             |
|                                                                                                                 | <b>Hormigón armado</b>                                                                                                                                                     | 7   | 11             |
| <b>Muros y sistemas arriostrados</b>                                                                            | <b>Acero Estructural</b>                                                                                                                                                   |     |                |
|                                                                                                                 | a) Marcos concéntricos corrientes (OCBF)                                                                                                                                   | 3   | 5              |
|                                                                                                                 | b) Marcos concéntricos especiales (SCBF)                                                                                                                                   | 5.5 | 8              |
|                                                                                                                 | c) Marcos excéntricos (EBF)                                                                                                                                                | 6   | 10             |
|                                                                                                                 | <b>Hormigón armado</b>                                                                                                                                                     | 7   | 11             |
|                                                                                                                 | <b>Hormigón armado y albañilería confinada</b>                                                                                                                             |     |                |
|                                                                                                                 | Si se cumple el criterio de A <sup>2)</sup>                                                                                                                                | 6   | 9              |
|                                                                                                                 | Si no se cumple el criterio de A <sup>2)</sup>                                                                                                                             | 4   | 4              |
|                                                                                                                 | <b>Madera</b>                                                                                                                                                              | 5.5 | 7              |
|                                                                                                                 | <b>Albañilería confinada</b>                                                                                                                                               | 4   | 4              |
|                                                                                                                 | <b>Albañilería armada</b>                                                                                                                                                  |     |                |
|                                                                                                                 | De bloques de hormigón o unidades de geometría similar en las que se llenan todos los huecos, y albañilería de muros doble chapa.                                          | 4   | 4              |
|                                                                                                                 | De ladrillos cerámicos tipo rejilla con y sin relleno de huecos y albañilería de bloques de hormigón o unidades de geometría similar en que no se llenan todos los huecos. | 3   | 3              |
| Cualquier tipo de estructuración o material que no pueda ser clasificado en alguna de las categorías anteriores |                                                                                                                                                                            | 2   | -              |

2) Criterio A: los muros de hormigón armado deben tomar en cada piso, el 50% del esfuerzo de corte del piso, como mínimo.

3) No procede el uso del análisis modal espectral para este tipo de estructuración o material. Por lo tanto, no se establece un valor para o R<sub>0</sub>.

Los valores de los coeficientes de modificación de respuestas sísmica y el factor de sobre-resistencia extraídos de la tabla anterior son los siguientes:

$$R = 7$$

$$R_0 = 11$$

#### 4.8 Método de Análisis a Emplear.

El análisis dinámico modal espectral permite entender los efectos de los modos superiores de vibración y de la torsión en edificaciones irregulares o con cierta complejidad estructural.

De acuerdo con la Norma Chilena NCh433.Of1996, Mod:2012 y las disposiciones del DS N°61, se emplea un análisis modal–espectral (NCh433.Of1996, Mod:2009; DS N°61 MINVU), con los parámetros de zonificación, suelo y amplificación definidos para la edificación.

Además, en concordancia con lo establecido en el Decreto Supremo N°61 (DS61) del MINVU, que reglamenta el diseño sísmico de edificaciones en Chile, el análisis dinámico debe ser considerado para edificaciones de importancia mayor, o para aquellas cuya respuesta sísmica no pueda ser adecuadamente representada mediante un análisis estático equivalente.

#### 4.9 Análisis Sismorresistente de la Estructura.

Se utiliza la metodología de análisis modal espectral para la determinación de las cargas sísmicas. El peso utilizado en el cálculo es el peso propio de cada elemento permanente sobre la estructura con un 25% de la carga viva. Los parámetros de diseño calculados anteriormente se resumen en la tabla 9.

Tabla 9: “Resumen de parámetros de diseño de la estructura”.

|                                               |                |              |               |
|-----------------------------------------------|----------------|--------------|---------------|
| <b>Categoría del Edificio</b>                 | II             |              |               |
| <b>Número de Pisos</b>                        | 5              |              |               |
| <b>Zona Sísmica</b>                           | 3              |              |               |
| <b>Tipo de Suelo</b>                          | D              |              |               |
| <b>Nombre Variable</b>                        | <b>Símbolo</b> | <b>Valor</b> | <b>Unidad</b> |
| <b>Coefficiente de Importancia</b>            | <b>I</b>       | 1            | -             |
|                                               | <b>A0</b>      | 0.4          | <b>g</b>      |
| <b>Variables de Ajuste Según Tipo Suelo</b>   | <b>S</b>       | 1.2          | -             |
|                                               | <b>T0</b>      | 0.75         | <b>s</b>      |
|                                               | <b>T'</b>      | 0.85         | <b>s</b>      |
|                                               | <b>n</b>       | 1.8          | -             |
|                                               | <b>p</b>       | 1            | -             |
| <b>Factor de Modificación de la Respuesta</b> | <b>R</b>       | 7            | -             |
|                                               | <b>R0</b>      | 11           | -             |

#### 4.10 Modelo Estructural Adoptado.

Se modeló la estructura utilizando el programa de diseño estructural ETABS. A continuación, se muestra la vista en planta e isométrica del modelo como se ve en la figura.

Ambos modelos poseen condiciones idénticas en cuanto a configuración geométrica, restricciones en la base, tipo de fundación y distribución de cargas. Esta condición es indispensable para realizar una comparación objetiva.

Además, se considera una altura por nivel de 3.0 m.

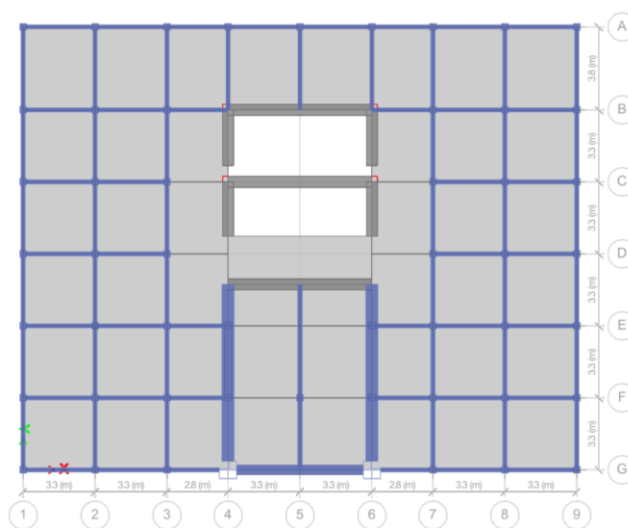


Figura 7: "Vista en planta de la estructura".

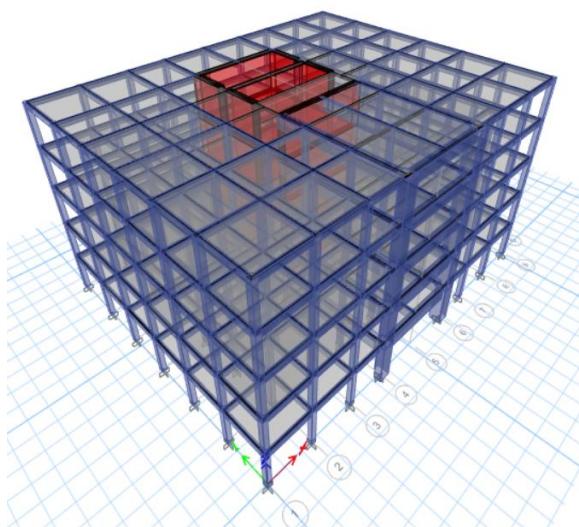


Figura 8: "Vista 3D de la estructura".

Las dimensiones de los elementos que componen el edificio del Modelo 1 y del Modelo 2 se resumen en las Tablas 10 y 11. Para las vigas de 30 × 50 cm, el peralte se presdimensionó utilizando la relación  $l/10$ , donde  $l$  corresponde a la luz de la viga, y el ancho se tomó como  $h/2$ . Las dimensiones de las demás vigas se establecieron a partir del plano de referencia utilizado en el diseño estructural, complementadas con las verificaciones necesarias para asegurar que se cumplen los criterios de resistencia y rigidez. Para las columnas se partió de una dimensión inicial de 40 × 40 cm y se realizó un proceso iterativo para determinar la sección óptima en función de los esfuerzos obtenidos. Los espesores de los muros y las losas se definieron mediante valores conservadores.

Tabla 10: “Elementos del modelo 1”.

| Tipo de Elemento     | Dimensiones<br>mm     |
|----------------------|-----------------------|
| <b>Viga</b>          | 300 x 500             |
|                      | 300 x 700             |
|                      | 450 x 700             |
|                      | 550 x 700             |
| <b>Columnas</b>      | 300 x 300             |
|                      | 800×800 <sup>1)</sup> |
| <b>Muros</b>         | 300                   |
| <b>Losa Hormigón</b> | 150                   |

1) Columna tipo L: 350 mm horiz., 450 mm vert.

Tabla 11: “Elementos del modelo 2”.

| Tipo de Elemento           | Dimensiones<br>mm     |
|----------------------------|-----------------------|
| <b>Viga</b>                | 300 x 500             |
|                            | 300 x 700             |
|                            | 450 x 700             |
|                            | 550 x 700             |
| <b>Columnas</b>            | 300 x 300             |
|                            | 800×800 <sup>1)</sup> |
| <b>Muros</b>               | 200                   |
| <b>Sobre Losa Hormigón</b> | 30                    |

1) espesor: 350 mm horiz., 450 mm vert.

Estas estructuras presentan las siguientes características principales para la estructura de hormigón armado.

- Losas modeladas como elementos tipo slab (shell thin).
- Muros modelados como wall (shell thin).
- Vigas modeladas como elemento tipo frame M3 desing only (Beams).



- Columnas modeladas como elemento tipo frame P-M2-M3 Desing (Column).

Se considera como diafragma rígido las losas de los entre pisos. El sistema de muros sismorresistente para su disposición se buscó la simetría en planta, y buscando que le centro de masa este cerca del centro de rigidez al ser una planta irregular. También se busca dar soporte a la losa mediante los muros, vigas y columnas.

#### **4.11 Cargas Producidas por Sismo.**

Las acciones sísmicas fueron incorporadas mediante un análisis dinámico modal espectral, empleando el espectro de diseño definido por la NCh433 (zona sísmica 3, suelo tipo D). El peso sísmico total del edificio fue calculado en ETABS como la suma de:

- 100% de las cargas muertas (D)
- 25% de la carga viva (L) para uso residencial según NCh433.Of1996, Mod:2012.

Las combinaciones de carga aplicadas fueron definidas según el punto 9.1.1 de la NCh1537.Of2017, considerando los siguientes casos relevantes para el diseño sísmico:

- 1)  $1.4 D$
- 2)  $1.2 D + 1.6 L + 0.5 L_r$
- 3)  $1.2 D + 1.6 L_r + L$
- 4)  $1.2 D + 1.4 E + L + 0.5 L_r$
- 5)  $0.9 D + 1.4 E$

Donde,

$D$ : Carga Muerta o Permanente.

$L$ : Carga Viva o de Sobrecarga de uso.

$L_r$ : Carga de Techo.

$E$ : Carga por acción sísmica.

Otro tipo Cargas: No se considera en este estudio las cargas por viento, nieve y lluvia, ya que el enfoque está exclusivamente orientado al análisis del comportamiento sísmico.

El espectro elástico y factor de forma es derivado de los parámetros de la tabla 4 aplicando las siguientes fórmulas de la NCh 433.

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

$$S_a = \frac{S * A_0 * \alpha}{(R^*/I)} \quad (21)$$

El factor de amplificación  $\alpha$  se determina para cada modo de vibrar  $n$ , de acuerdo con la expresión:

$$\alpha = \frac{1 + 4.5 * \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^p}{1 + \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^3} \quad (22)$$

#### 4.12 Indicadores de respuesta estructural.

Se definen los siguientes indicadores clave para evaluar el comportamiento estructural de los modelos:

- Periodo fundamental de vibración.
- Drift máximos por nivel.
- Distribución de fuerzas cortantes por nivel.
- Desplazamiento máximo.
- Reacciones en apoyos.
- Esfuerzos internos.

#### 4.13 Comparación de resultados y análisis.

La comparación entre ambos modelos se realizará tanto desde un enfoque cuantitativo como cualitativo. Se espera que el Modelo 2 (CLT) presente un periodo fundamental más prolongado, debido a su menor rigidez, pero también una menor masa sísmica, lo que podría reducir las fuerzas de inercia generadas. Este comportamiento podría traducirse en un desempeño eficiente en términos de aceleraciones y esfuerzos, aunque potencialmente más exigente en términos de control de derivas.

#### **4.14 Consideraciones específicas del modelo.**

Para mantener la objetividad del análisis comparativo, en el desarrollo de los modelos no se consideran efectos asociados a uniones o conexiones, tales como rigideces parciales o disipación adicional por fricción. Asimismo, no se modela la interacción entre la sobre losa de hormigón y los paneles CLT en el Modelo 2, asumiéndose que el diafragma actúa de forma idealmente rígida y perfectamente adherida.

Estas simplificaciones buscan mantener condiciones de análisis consistentes entre ambos modelos, evitando influencias externas que podrían distorsionar la evaluación del efecto del tipo de material estructural en el comportamiento sísmico global del edificio.

## CAPITULO V: RESULTADOS.

### 5.1 Análisis Modal Espectral.

Se ejecutó un análisis modal para identificar los modos propios de vibración del sistema estructural. El segundo y tercer modo correspondieron a traslaciones en las direcciones Y y X, respectivamente, lo que concuerda con el comportamiento esperado de una estructura con configuración regular.

Se consideraron 15 modos para alcanzar una participación modal acumulada superior al 90% en cada dirección horizontal, conforme a lo establecido en la NCh433.Of1996, Mod:2009.

Los espectros elásticos y de diseño de las estructuras, junto con sus respectivos gráficos, se presentan en el Anexo B y fueron calculados de acuerdo con las especificaciones de la normativa vigente.

#### 5.1.1. Periodos de las Estructuras.

Para el modelo 1, en el modo 8 se alcanzó el 90% de la masa participativa, mientras que para el modelo 2 este valor se alcanzó en el modo 10. Estos resultados indican que la configuración estructural cumple con los criterios establecidos en la NCh433.Of1996 Mod.2009.

Los Resultados se encuentra resumidos en la tabla 12, adicionalmente los valores en detalle de los periodos para ambos modelos se encuentran en las tablas 71 y 72 del Anexo A

Tabla 12: "Resultado de Periodos Fundamentales para ambos Modelos".

|               | Modelo 1 |          | Modelo 2 |          |
|---------------|----------|----------|----------|----------|
|               | Direc. X | Direc. Y | Direc. X | Direc. Y |
| <b>T* (s)</b> | 0.180    | 0.343    | 0.191    | 0.331    |
| <b>R*</b>     | 2.970    | 4.230    | 3.068    | 4.150    |
| <b>1/R*</b>   | 0.337    | 0.236    | 0.326    | 0.241    |

#### 5.1.2. Peso Sísmico de las Estructuras.

El peso sísmico total del modelo 1 fue de 2.599.468,67 kg, mientras que el del modelo 2 alcanzó los 2.119.568,95 kg. La distribución del peso sísmico por nivel, obtenida

directamente del modelo estructural en ETABS para cada caso y despreciando el peso sísmico de la base, se presenta en las Tablas 13 y 14.

*Tabla 13: "Peso Sísmico del Modelo 1".*

| <b>Nivel</b> | <b>UX<br/>kg</b> | <b>UY<br/>kg</b> | <b>UZ<br/>kg</b> |
|--------------|------------------|------------------|------------------|
| 5            | 456264.87        | 456264.87        | 0                |
| 4            | 535800.95        | 535800.95        | 0                |
| 3            | 535800.95        | 535800.95        | 0                |
| 2            | 535800.95        | 535800.95        | 0                |
| 1            | 535800.95        | 535800.95        | 0                |

*Tabla 14: "Peso Sísmico del Modelo 2".*

| <b>Nivel</b> | <b>UX<br/>kg</b> | <b>UY<br/>kg</b> | <b>UZ<br/>kg</b> |
|--------------|------------------|------------------|------------------|
| 5            | 388901.83        | 388901.83        | 0                |
| 4            | 432666.78        | 432666.78        | 0                |
| 3            | 432666.78        | 432666.78        | 0                |
| 2            | 432666.78        | 432666.78        | 0                |
| 1            | 432666.78        | 432666.78        | 0                |

### 5.1.3. Centro de Masa y Rigidez.

Se calcularon los centros de masa (XCM, YCM) y de rigidez (XCR, YCR) de ambos modelos, cuyos resultados se presentan en las Tablas 15 y 16. El centro de masa se obtiene sumando el producto de cada masa por su posición y dividiendo entre la masa total. El centro de rigidez se obtiene sumando el producto de la rigidez de cada elemento por su posición y dividiendo entre la rigidez total.. Los valores de  $\Delta X$  y  $\Delta Y$  representan la diferencia entre la posición del centro de masa y del centro de rigidez en los ejes X y Y, respectivamente. Valores pequeños de  $\Delta X$  y  $\Delta Y$  indican que los centros están próximos, favoreciendo un comportamiento sísmico uniforme, mientras que valores mayores pueden generar torsión estructural durante sismos. Por ejemplo, en el Modelo 1, el nivel 5 presenta  $\Delta X = 0.0114$  m, lo que indica que el centro de masa y rigidez en X están muy cercanos, y  $\Delta Y = 3.9413$  m, mostrando una diferencia mayor en Y que podría inducir un leve efecto torsional alrededor del eje X bajo carga lateral. En el Modelo 2, los valores de  $\Delta X$  y  $\Delta Y$  son ligeramente mayores en algunos niveles, evidenciando un efecto torsional más pronunciado. En general, ambos modelos muestran diferencias relativamente pequeñas en X, pero mayores en Y, lo que indica

que la dirección Y requiere especial atención en el diseño sísmico para controlar torsión.

*Tabla 15: “Centro de Masa y Rigidez del Modelo 1”.*

| Nivel | Diaphragm | XCM<br>m | YCM<br>m | XCCM<br>m | YCCM<br>m | XCR<br>m | YCR<br>m | DX<br>m | DY<br>m |
|-------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|---------|---------|
| 5     | D1        | 12.6889  | 9.7146   | 12.6889   | 9.7146    | 12.7003  | 13.6559  | 0.0114  | 3.9413  |
| 4     | D1        | 12.6903  | 9.7661   | 12.6897   | 9.7421    | 12.7001  | 13.593   | 0.0104  | 3.8509  |
| 3     | D1        | 12.6903  | 9.7661   | 12.6899   | 9.7505    | 12.6999  | 13.5172  | 0.01    | 3.7667  |
| 2     | D1        | 12.6903  | 9.7661   | 12.69     | 9.7545    | 12.6998  | 13.3404  | 0.0098  | 3.5859  |
| 1     | D1        | 12.6903  | 9.7661   | 12.6901   | 9.7569    | 12.6999  | 12.9152  | 0.0098  | 3.1583  |

*Tabla 16: “Centro de Masa y Rigidez del Modelo 2”.*

| Nivel | Diaphragm | XCM<br>m | YCM<br>m | XCCM<br>m | YCCM<br>m | XCR<br>m | YCR<br>m | DX<br>m | DY<br>m |
|-------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|---------|---------|
| 5     | D1        | 12.6871  | 9.6453   | 12.6871   | 9.6453    | 12.7003  | 13.13    | 0.0132  | 3.4847  |
| 4     | D1        | 12.6882  | 9.6622   | 12.6877   | 9.6541    | 12.7001  | 13.1656  | 0.0124  | 3.5115  |
| 3     | D1        | 12.6882  | 9.6622   | 12.6878   | 9.6569    | 12.6999  | 13.1769  | 0.0121  | 3.52    |
| 2     | D1        | 12.6882  | 9.6622   | 12.6879   | 9.6583    | 12.6999  | 13.0796  | 0.012   | 3.4213  |
| 1     | D1        | 12.6882  | 9.6622   | 12.688    | 9.6591    | 12.6999  | 12.706   | 0.0119  | 3.0469  |

#### 5.1.4. Coeficiente Sísmico y Corte.

El coeficiente sísmico y el corte basal se obtuvieron conforme al procedimiento de análisis modal–espectral y los espectros de diseño definidos por la normativa chilena (NCh433.Of1996, Mod:2009). además del análisis estructural con el software Etabs se obtuvieron los cortantes máximos en ambas direcciones como lo muestran en las figuras 9, y 10 para el modelo 1. Para el modelo 2 se pueden visualizar en las figuras 11 y 12.

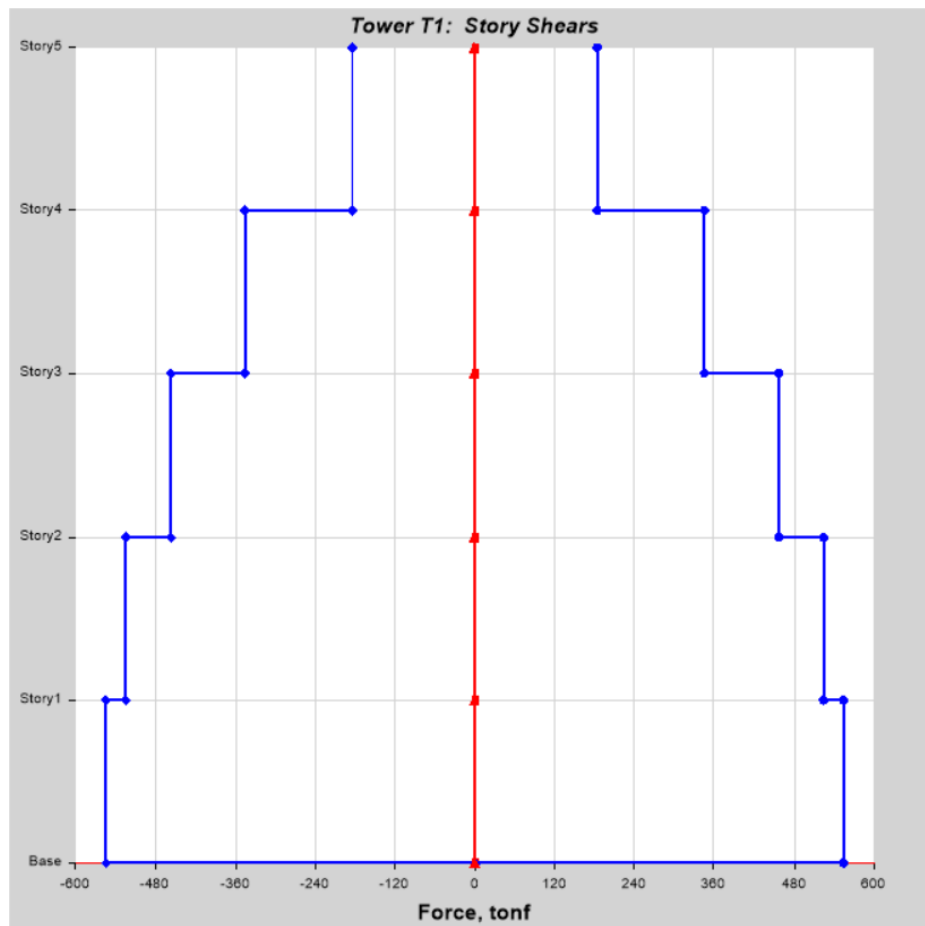


Figura 9: "Corte Máximo de Sismo en la dirección X del modelo 1".

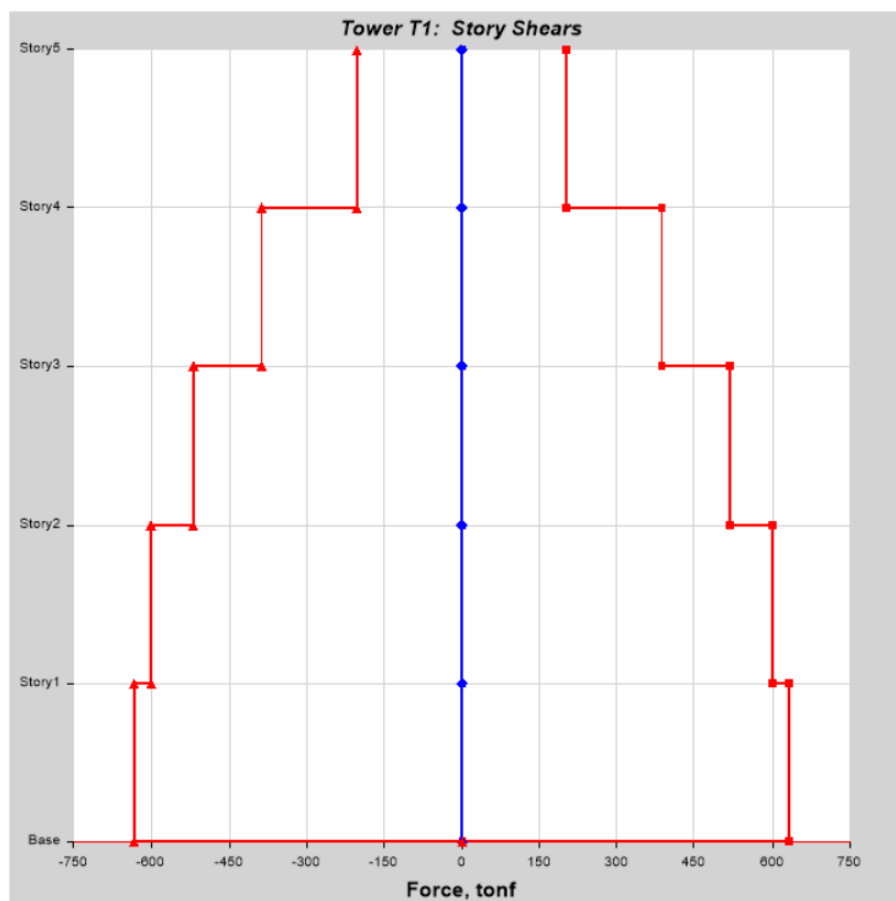


Figura 10: "Corte Máximo de Sismo en la dirección Y del modelo 1".

Tabla 17: "Resultado de Coeficiente Sísmico Mínimo, y Máximo, además de Corte para Modelo 1".

|                                       |                            |         |             |
|---------------------------------------|----------------------------|---------|-------------|
| <b>Coeficiente Sísmico Máximo</b>     | <b>C<sub>max</sub> :</b>   | 0.168   |             |
| <b>Coeficiente Sísmico Mínimo</b>     | <b>C<sub>min</sub> :</b>   | 0.080   |             |
| <b>Peso Sísmico</b>                   | <b>P<sub>Sísmico</sub></b> | 2119.57 | <b>tonf</b> |
| <b>Cortante Máximo en dirección X</b> | <b>V<sub>Máx_X</sub> :</b> | 555.19  | <b>tonf</b> |
| <b>Cortante Máximo en dirección Y</b> | <b>V<sub>Máx_Y</sub> :</b> | 632.91  | <b>tonf</b> |

Tabla 18: "Coeficientes Sísmicos de Modelo 1".

|                                           |                        |       |
|-------------------------------------------|------------------------|-------|
| <b>Coeficiente Sísmico en dirección X</b> | <b>C<sub>x</sub> :</b> | 0.214 |
| <b>Coeficiente Sísmico en dirección Y</b> | <b>C<sub>y</sub> :</b> | 0.243 |



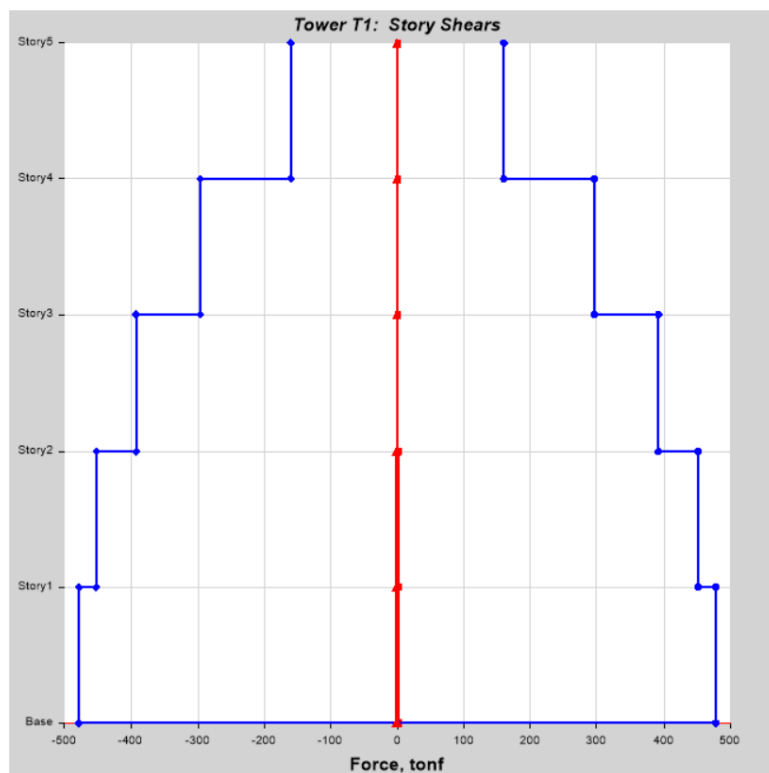


Figura 11: “Corte Máximo de Sismo en la dirección X del modelo 2”.

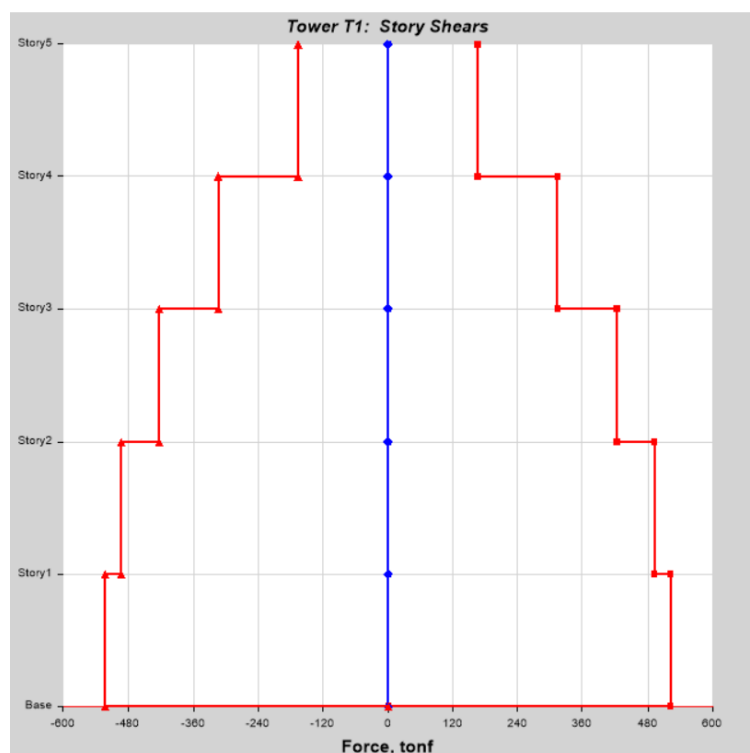


Figura 12: “Corte Máximo de Sismo en la dirección Y del modelo 2”.

Tabla 19: "Resultado de Coeficiente Sísmico Mínimo, y Máximo, además de Corte para Modelo 2".

|                                       |                            |         |             |
|---------------------------------------|----------------------------|---------|-------------|
| <b>Coeficiente Sísmico Máximo</b>     | <b>C<sub>max</sub> :</b>   | 0.168   |             |
| <b>Coeficiente Sísmico Mínimo</b>     | <b>C<sub>min</sub> :</b>   | 0.080   |             |
| <b>Peso Sísmico</b>                   | <b>P<sub>Sísmico</sub></b> | 2599.47 | <b>tonf</b> |
| <b>Cortante Máximo en dirección X</b> | <b>V<sub>Máx_X</sub> :</b> | 477.89  | <b>tonf</b> |
| <b>Cortante Máximo en dirección Y</b> | <b>V<sub>Máx_Y</sub> :</b> | 521.58  | <b>tonf</b> |

Tabla 20: "Coeficientes Sísmicos de Modelo 2".

|                                           |                        |       |
|-------------------------------------------|------------------------|-------|
| <b>Coeficiente Sísmico en dirección X</b> | <b>C<sub>x</sub> :</b> | 0.184 |
| <b>Coeficiente Sísmico en dirección Y</b> | <b>C<sub>y</sub> :</b> | 0.201 |

Como los coeficientes en ambas direcciones superan el máximo, se deben ajustar aplicando un factor de reducción. Este factor se obtiene dividiendo el coeficiente sísmico calculado en cada dirección por el valor máximo aceptado, y los resultados se presentan en la tabla 21. El motivo de que los coeficientes originales sean mayores al límite se debe a la concentración de la rigidez en el núcleo de la estructura, donde se ubican la mayoría de los muros. Esta distribución genera un comportamiento menos uniforme frente a la acción sísmica, lo que se refleja en un aumento de los coeficientes obtenidos.

Tabla 21: "Coeficiente Sísmico Reducido para ambos Modelos".

|                        | <b>Modelo 1</b> | <b>Modelo 2</b> |
|------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>R<sub>x</sub>**</b> | 0.787           | 0.914           |
| <b>R<sub>y</sub>**</b> | 0.690           | 0.837           |

#### 5.1.5. Desplazamiento Relativo.

De acuerdo con lo establecido en la normativa chilena vigente, las deformaciones producidas por acción sísmica deben mantenerse dentro de límites permisibles. Para ello, se evalúa el desplazamiento relativo máximo entre dos niveles consecutivos, considerando la medición desde el centro de masa, además de realizar la verificación correspondiente para cualquier punto de la planta del piso.

La normativa sísmica chilena establece que el desplazamiento relativo máximo entre dos niveles consecutivos, calculado en el centro de masas, no puede exceder el producto entre la altura de entrepiso y el factor 0,002, lo que impone una restricción directa al movimiento horizontal permitido entre pisos.

Para cada dirección de análisis, se establece que la separación horizontal máxima entre dos pisos adyacentes, medida en cualquier punto de la planta, en relación a la deriva del centro de masa del piso, no puede superar el resultado de multiplicar la altura de entrepiso por 0,001.

Las figuras 13, 14, 15 y 16 muestran los drift entre pisos para los modelos 1 y 2. La deriva máxima se concentra en los niveles intermedios en dirección X, mientras que en dirección Y los desplazamientos son prácticamente nulos. Todos los valores cumplen según lo establece la norma.

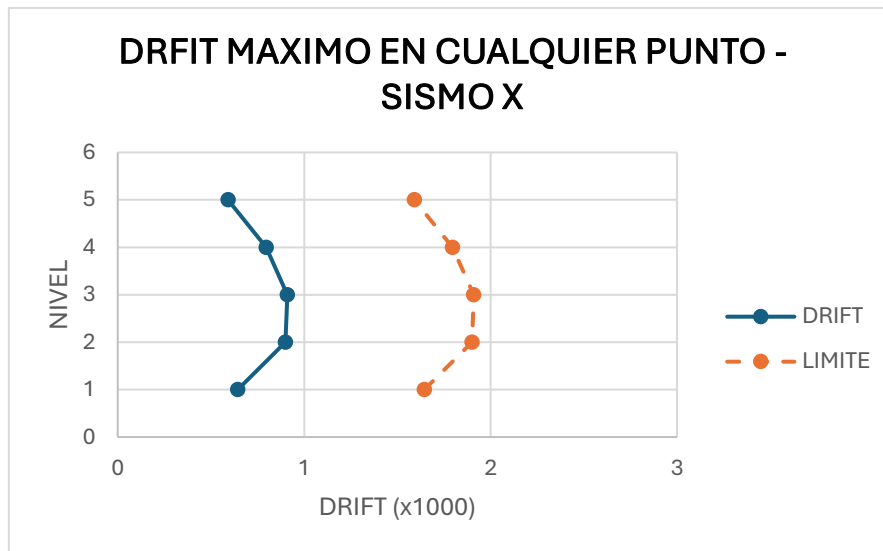


Figura 13: “Drfit Máximo en Cualquier Punto - Sismo X del Modelo 1, Fuente: Elaboración Propia”.

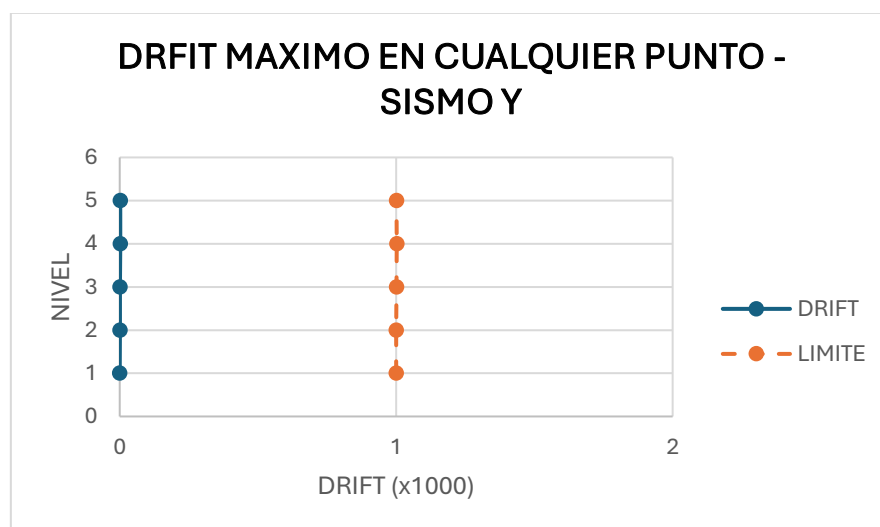


Figura 14: “Drfit Máximo en Cualquier Punto - Sismo Y del Modelo 1, Fuente: Elaboración Propia”.

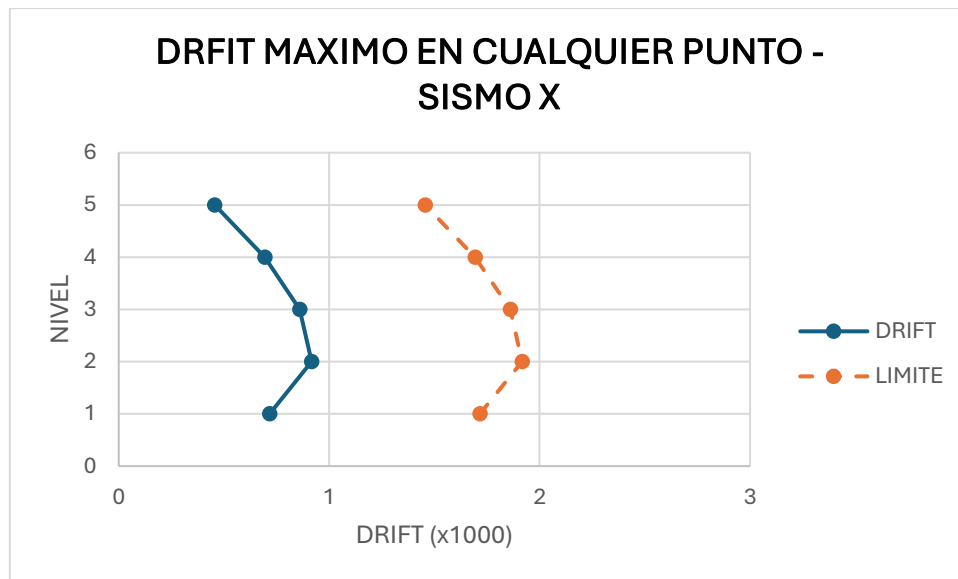


Figura 15: “Drfit Máximo en Cualquier Punto - Sismo X del Modelo 2, Fuente: Elaboración Propia”.

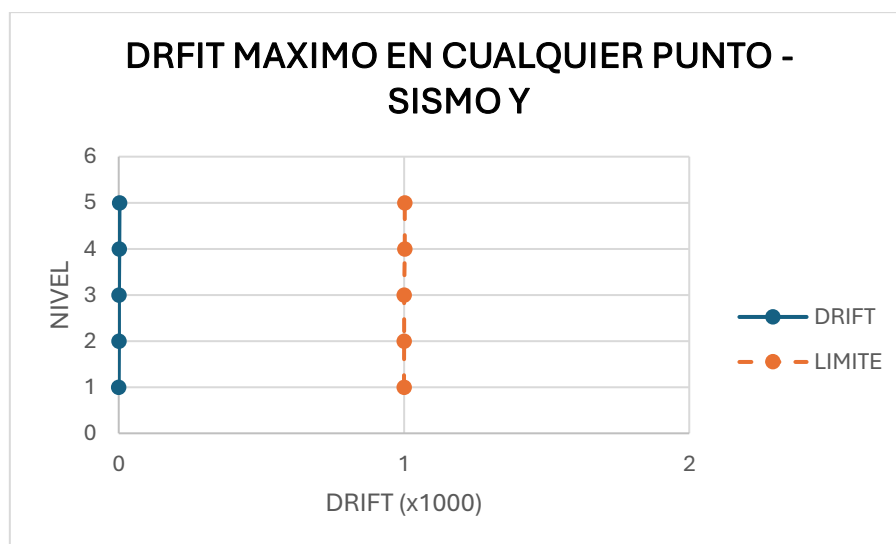


Figura 16: “Drfit Máximo en Cualquier Punto - Sismo Y del Modelo 2, Fuente: Elaboración Propia”.

## 5.2 Diseño de Panel de CLT.

Las propiedades ortótropas, factores de ajuste y criterios de configuración de capas se adoptan según manuales técnicos y guías de diseño para CLT (FPInnovations, 2011; AWC, 2017).

Para los cálculos se consideró un panel de 7 (n) capas de CLT, las propiedades geométricas se encuentran representadas en la siguiente tabla.

Tabla 22: "Propiedades Geométricas del Panel de CLT".

| Variable | Valor | Unidad |
|----------|-------|--------|
| $L$      | 3300  | mm     |
| $B$      | 1000  | mm     |
| $t_i$    | 41    | mm     |

Las cargas utilizadas, según lo indicado en el apartado 3.2, se resumen en la siguiente tabla, obteniéndose los valores para la ecuación 2 y 3. Además, se incluyeron los valores del peso específico del recubrimiento de hormigón y del pino radiata.

$$\gamma_{\text{hormigón}}: 25 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{pino}}: 4.45 \text{ kN/m}^3$$

Tabla 23: "Cargas Actuales sobre Panel de CLT".

| Variable                        | Valor | Unidad            |
|---------------------------------|-------|-------------------|
| $q_{\text{panel}}$              | 1.28  | kN/m <sup>2</sup> |
| $q_{\text{recubrimiento}}$      | 0.75  | kN/m <sup>2</sup> |
| $q_{\text{tabiquería}}$         | 1.5   | kN/m <sup>2</sup> |
| $q_{\text{revestimiento losa}}$ | 0.5   | kN/m <sup>2</sup> |

De acuerdo con la ecuación 1, se obtuvo una carga muerta total ( $q_D$ ) de  $3.03 \text{ kN/m}^2$ , A esta se le sumó una sobrecarga de uso o carga viva ( $q_L$ ) de  $2 \text{ kN/m}^2$ . En base a estos valores, se calculó la carga total ( $q_t$ ), cuyo resultado fue de  $6.03 \text{ kN/m}^2$  según lo indicado en la ecuación 5.

Posteriormente, se realizó el cálculo del momento flector máximo mediante la ecuación 4, resultando un valor de  $M_b: 27074.71 \text{ kN} \cdot \text{mm}$

Para la verificación del panel, se utilizaron propiedades mecánicas obtenidas del informe técnico desarrollado en el marco del proyecto CORFO sobre diseño

estructural sismorresistente en madera contralaminada (González Soto et al., 2018), las cuales se resumen a continuación:

Tabla 24: "Propiedades Mecánicas Adoptadas para el Diseño del Panel de CLT".

| Propiedades Mecánicas de la capa en la dirección paralela a la fibra (MPa) |                         |                                               | Propiedades Mecánicas de la capa en la dirección normal a la fibra (MPa) |                                |                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|
| Tensión admisible por flexión, $F_b$                                       | Módulo de Elasticidad E | Tensión admisible de corte por flexión, $F_s$ | Tensión admisible por flexión, $F_{b,90}$                                | Módulo de Elasticidad $E_{90}$ | Tensión admisible de corte por flexión, $F_{s,90}$ |
| 14                                                                         | 9000                    | 0.4                                           | 0.2                                                                      | 356                            | 0.2                                                |

Se determinaron los valores correspondientes a las ecuaciones 7 y 6 relacionados con la resistencia a la flexión, obteniéndose:

$F_b$ : 14 MPa

$I_{eff}$ : 323078674.33 mm<sup>4</sup>.

$M_r$ : 31519.87 kN \* mm

Para la verificación al corte según la ecuación 8, se calcularon sucesivamente mediante las ecuaciones 12, 11, 10 y 9, cuyos valores se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 25: "Resultados de Verificación de Fuerza Cortante".

| Variable    | Valor        | Unidad             |
|-------------|--------------|--------------------|
| V           | 9.94         | kN                 |
| $A_{gross}$ | 3300000      | mm <sup>2</sup>    |
| $I_{gross}$ | 275000000000 | mm <sup>4</sup>    |
| CS          | 0.001175     | -                  |
| $t_v$       | 3.85         | kN/mm <sup>2</sup> |

A partir del enfoque basado en la fibra más alejada del eje neutro, se desarrollaron los cálculos descritos en la ecuación 14, obteniéndose los siguientes valores por capa:

Tabla 26: "Resultados de Resistencia a la Flexión según el Enfoque de Capacidad de la Fibra más Extrema".

| Capa | Disposición | E<br>MPa | z<br>mm | $E * b * t^3 / 12$<br>N*mm <sup>2</sup> | $E * (b * t) * z^2$<br>N*mm <sup>2</sup> | Sum Capa<br>N*mm <sup>2</sup> |
|------|-------------|----------|---------|-----------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|
| 1    | L           | 9000     | 123     | 5.17E+10                                | 5.58E+12                                 | 5.63E+12                      |
| 2    | T           | 356      | 82      | 2.04E+09                                | 9.81E+10                                 | 1.00E+11                      |
| 3    | L           | 9000     | 41      | 5.17E+10                                | 6.20E+11                                 | 6.72E+11                      |
| 4    | T           | 356      | 0       | 2.04E+09                                | 0.00E+00                                 | 2.04E+09                      |
| 5    | L           | 9000     | 41      | 5.17E+10                                | 6.20E+11                                 | 6.72E+11                      |
| 6    | T           | 356      | 82      | 2.04E+09                                | 9.81E+10                                 | 1.00E+11                      |
| 7    | L           | 9000     | 123     | 5.17E+10                                | 5.58E+12                                 | 5.63E+12                      |

Obteniéndose como resultado,  $EI_{eff} : 1.28E+13 \text{ N} * \text{mm}^2$ .

A partir de este resultado, se obtuvo a través de la ecuación 13 con un valor de  $S_{eff} : 250850800.161 \text{ mm}^3$

Para el cálculo de la ecuación 15 se consideraron los siguientes valores de coeficientes:

Tabla 27: "Factores de Modificación Utilizados para el Diseño".

| Variable  | Valor |
|-----------|-------|
| $C_M$     | 1     |
| $C_t$     | 0.7   |
| $C_L$     | 1     |
| $\lambda$ | 0.8   |
| $\phi_b$  | 0.85  |

El resultado de la operatoria da como valor,  $F'_b S_{eff} : 4246041.1 \text{ kN} * \text{mm}$ .

Para la verificación se comparó el momento flector por cargas inducidas con la resistencia a la flexión calculada anteriormente

$$27074.71 \text{ kN} * \text{mm} \leq 4246041.1 \text{ kN} * \text{mm}$$

Se concluye que la verificación por flexión se cumple satisfactoriamente.

Para los cálculos indicados en la ecuación 17, se obtuvo la siguiente información por capa:

Tabla 28: "Resultados de Diseño por Corte por Capacidad de la Fibra Extrema

| Capa | Disposición | E<br>MPa | z<br>mm | $E_i * t_i * z_i$<br>N |
|------|-------------|----------|---------|------------------------|
| 1    | L           | 9000     | 123     | 45387000               |
| 2    | T           | 356      | 82      | 1196872                |
| 3    | L           | 9000     | 41      | 15129000               |
| 4    | T           | 356      | 0       | 0                      |

Obteniéndose el resultado de,  $(I_b/Q)_{eff} : 2.08E+05 \text{ mm}^2$ .

Luego el valor para calcular la ecuación 16 se utilizaron los siguientes coeficientes:

Tabla 29: "Factores de Modificación para Diseño por Corte por Capacidad de la Fibra Extrema".

| Variable  | Valor |
|-----------|-------|
| $C_M$     | 1     |
| $C_t$     | 0.7   |
| $\Lambda$ | 0.8   |
| $\phi_v$  | 0.75  |

Como resultado el valor es,  $F'_s(I_b/Q)_{eff}$ : 100.5 kN.

### 5.3 Diseño de Elementos de Hormigón Armado.

#### 5.3.1 Muros de Hormigón Armado.

En la vista en planta se muestra la ubicación y geometría de los tres muros principales de la estructura, todos dispuestos en la franja comprendida entre los ejes 4 y 6.

- Los dos muros tipo C se encuentran entre los ejes B y C, presentando cada uno una longitud de alma de 6.60 m. En cuanto a las alas, el muro 1 tiene una extensión de 2.55 m, mientras que el muro 2 presenta alas de 2.50 m.
- El muro 3, ubicado en el nivel de los ejes D y D', mantiene la misma longitud de alma de 6.60 m, pero sin alas, por lo que su geometría es más simple que la de los muros tipo C.

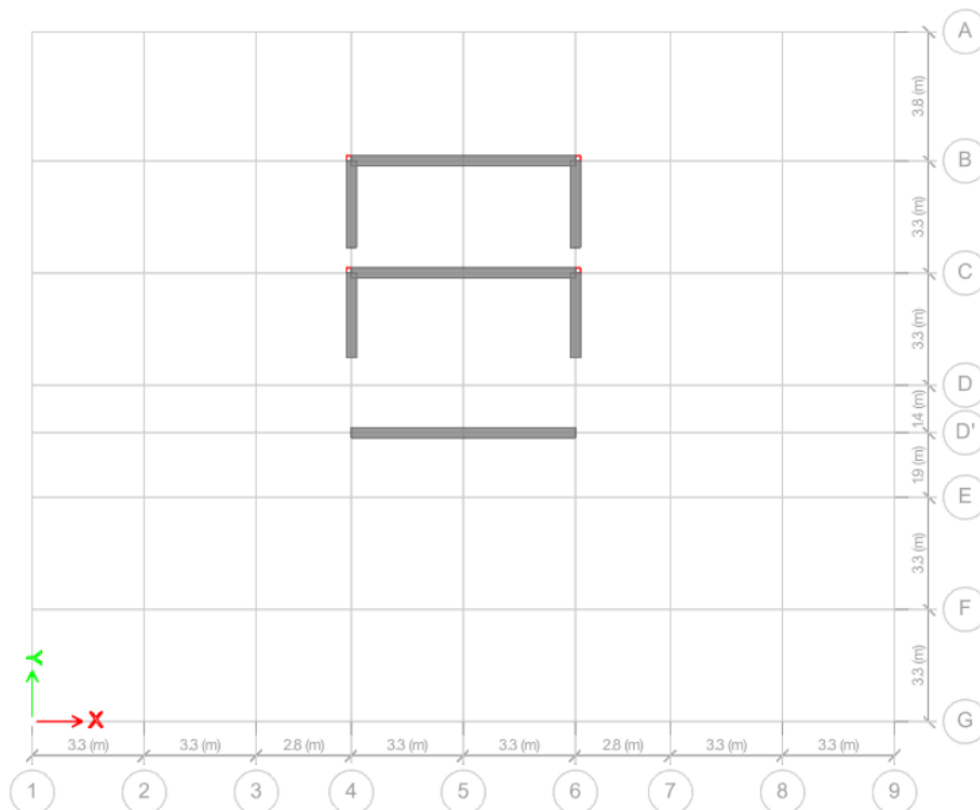


Figura 17: "Vista en Planta de Muros de Hormigón Armado".



Para el diseño de muros, para el diseño a flexo compresión de las estructuras, se realizó el análisis mediante Etabs, los cuales se verificaron mediante diagramas de interacción, lo cual en ambos modelos para los 3 muros cumplen con la solicitación de cargas correspondiente, para el diseño a corte se utilizó el ACI 318-08, debido a que el DS N°61 se basa en la versión correspondiente para requisitos sísmicos, y se adoptan las disposiciones de diseño de ACI 318-19 (DS N°61 MINVU; ACI 318-19).

Las dimensiones de los muros se muestran en las tablas 32 y 33, para los modelos 1 y 2 respectivamente.

*Tabla 30: "Dimensiones Muros de Modelo 1".*

| <b>Elemento</b> | <b>Ala 1<br/>cm</b> | <b>Ala 2<br/>cm</b> | <b>Alma<br/>cm</b> | <b>Espesor<br/>cm</b> | <b>Altura<br/>cm</b> |
|-----------------|---------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>Muro 1</b>   | 255                 | 255                 | 660                | 30                    | 300                  |
| <b>Muro 2</b>   | 250                 | 250                 | 660                | 30                    | 300                  |
| <b>Muro 3</b>   | 0                   | 0                   | 660                | 30                    | 300                  |

*Tabla 31: "Dimensiones Muros de Modelo 2".*

| <b>Elemento</b> | <b>Ala 1<br/>cm</b> | <b>Ala 2<br/>cm</b> | <b>Alma<br/>cm</b> | <b>Espesor<br/>cm</b> | <b>Altura<br/>cm</b> |
|-----------------|---------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>Muro 1</b>   | 255                 | 255                 | 660                | 20                    | 300                  |
| <b>Muro 2</b>   | 250                 | 250                 | 660                | 20                    | 300                  |
| <b>Muro 3</b>   | 0                   | 0                   | 660                | 20                    | 300                  |

#### **5.3.1.1. Diseño a Flexo-Compresión.**

Para el modelo 1 y 2, se determinó una cuantía mínima de acero de refuerzo del 2,5 %, conforme a lo establecido en la NCh430.Of2008 y el ACI 318-19 en sección 11.6.1.

Para el Modelo 1 en el primer nivel, fue necesario un incremento leve de este valor, alcanzando un 2,64 % para el muro 1 y un 2,87 % para el muro 2, mientras que el muro 3 mantuvo la cuantía mínima especificada. En cambio, para el Modelo 2, se aumentó la cuantía de acero para el muro 1 y 2 en el primer nivel a 2.77% y 2.71% respectivamente, para el muro 3 se mantuvo la cuantía mínima. Los valores y cantidades de acero a utilizar se encuentran en el Anexo C.

Todos los valores obtenidos se encuentran dentro del rango normativo permitido, comprendido entre 2,5 % y 6 %, según lo dispuesto por ambas normativas.

#### 5.3.1.1.1 Diagramas de Interacción Modelo 1

Para el Muro 1, las cargas máximas que recibe son las siguientes:

$P_U$ : 1101.62 tonf.

$M_2$ : 1924.63 tonf-m.

$M_3$ : 3790.98 tonf-m.

Los resultados diagramas de interacción para los muros del Modelo 1, tanto para el eje X ( $M_3$ ) y para el eje Y ( $M_2$ ), se muestran en las siguientes figuras.

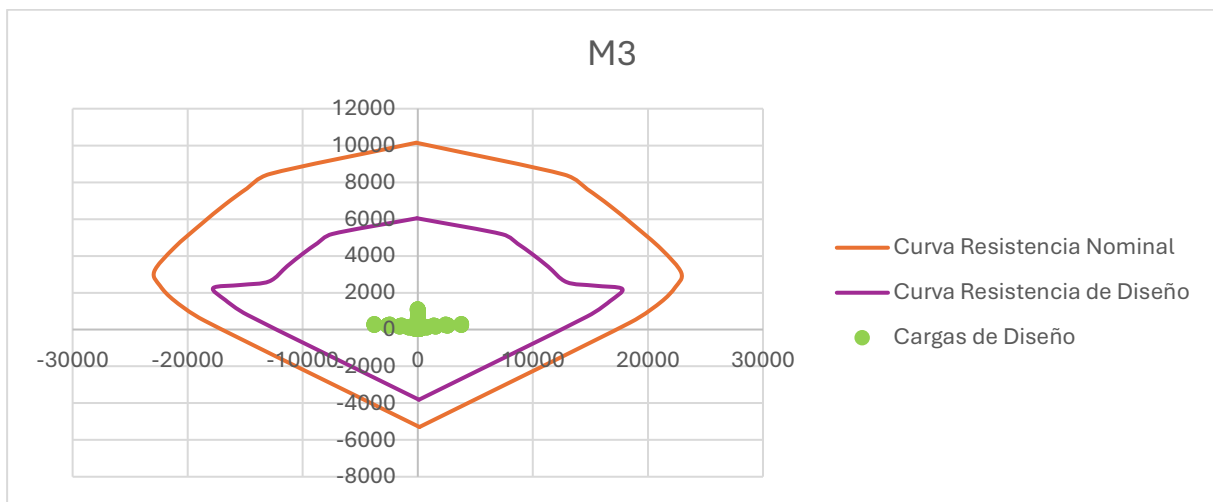


Figura 18: “Diagrama de Interacción de Muro 1 con respecto al eje X del Modelo 1”.

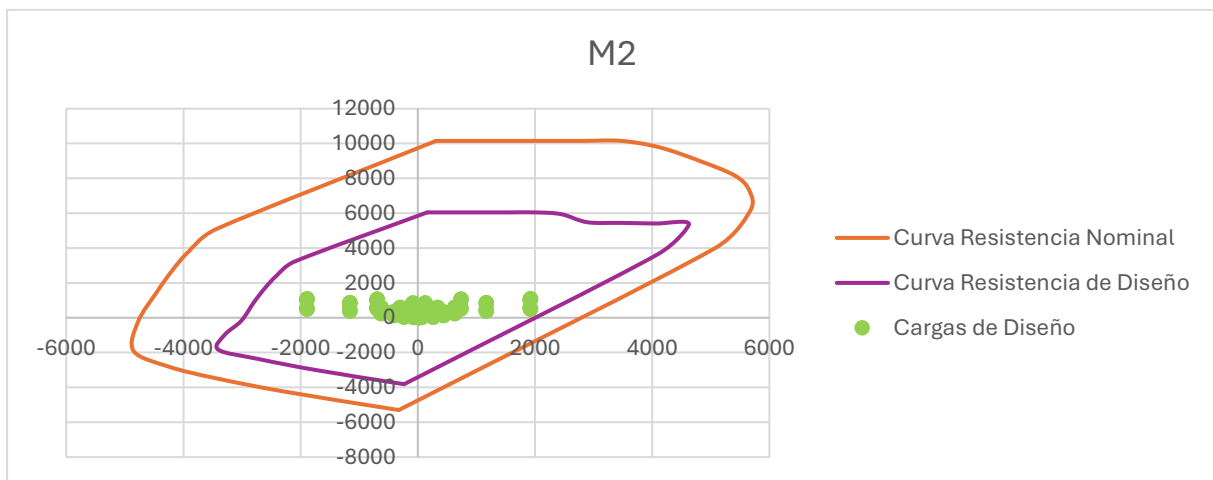


Figura 19: “Diagrama de Interacción de Muro 1 con respecto al eje Y del Modelo 1”.

Para el Muro 2, las cargas máximas que recibe son las siguientes:

$P_U$ : 909.04 tonf.

$M_2$ : 1915.84 tonf-m.

$M_3$ : 2850.99 tonf-m.

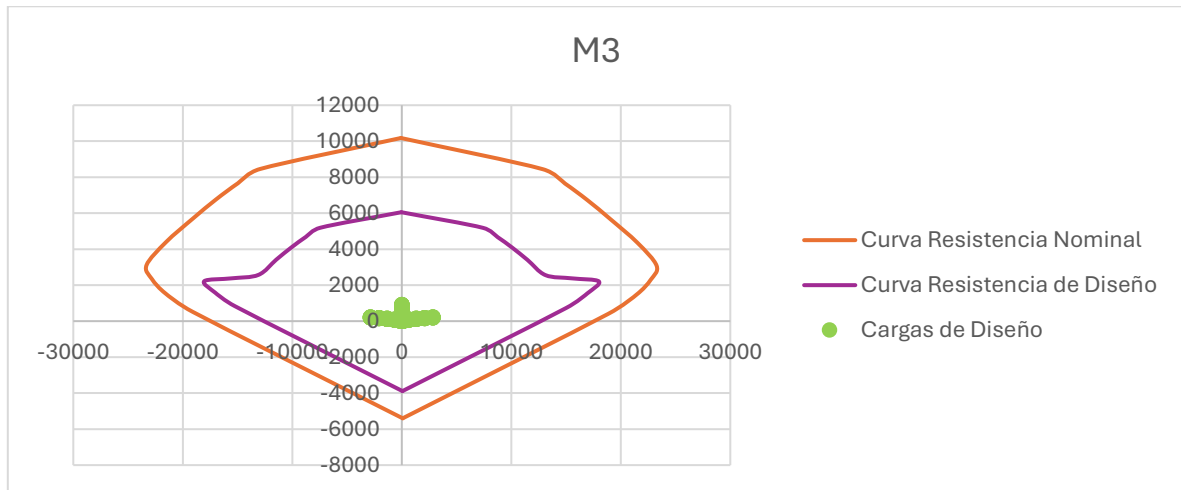


Figura 20: "Diagrama de Interacción de Muro 2 con respecto al eje X del Modelo 1".

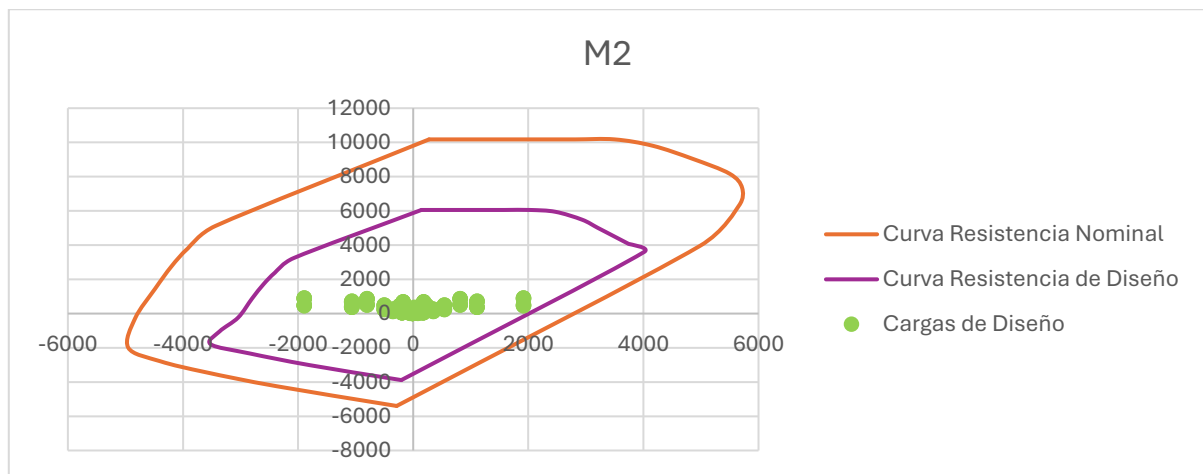


Figura 21: "Diagrama de Interacción de Muro 2 con respecto al eje Y del Modelo 1".

Para el Muro 3, las cargas máximas que recibe son las siguientes:

$P_U$ : 444.74 tonf.

$M_2$ : 45.33 tonf-m.

$M_3$ : 2970.01 tonf-m.

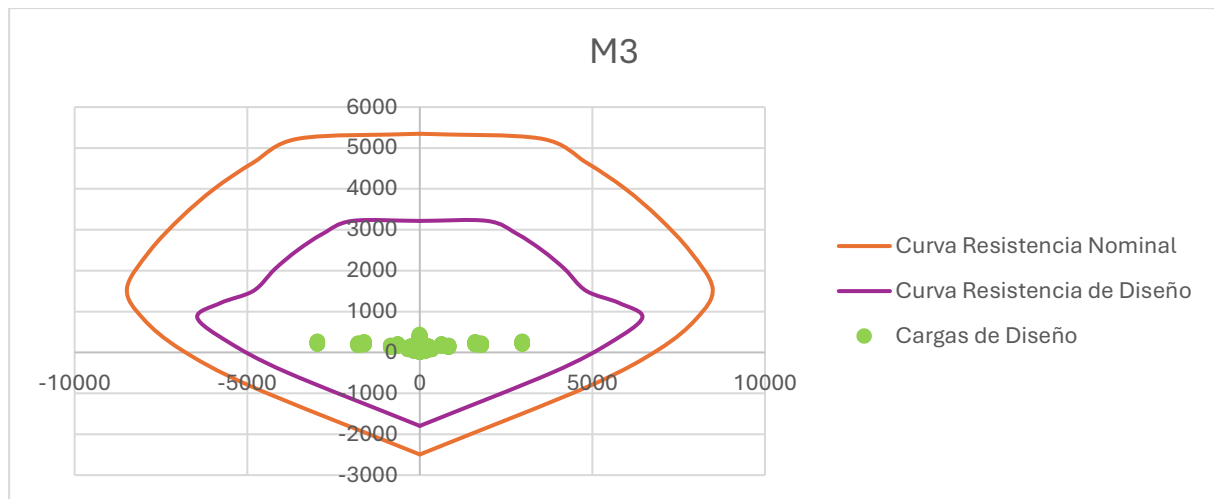


Figura 22: "Diagrama de Interacción de Muro 3 con respecto al eje X del Modelo 1".

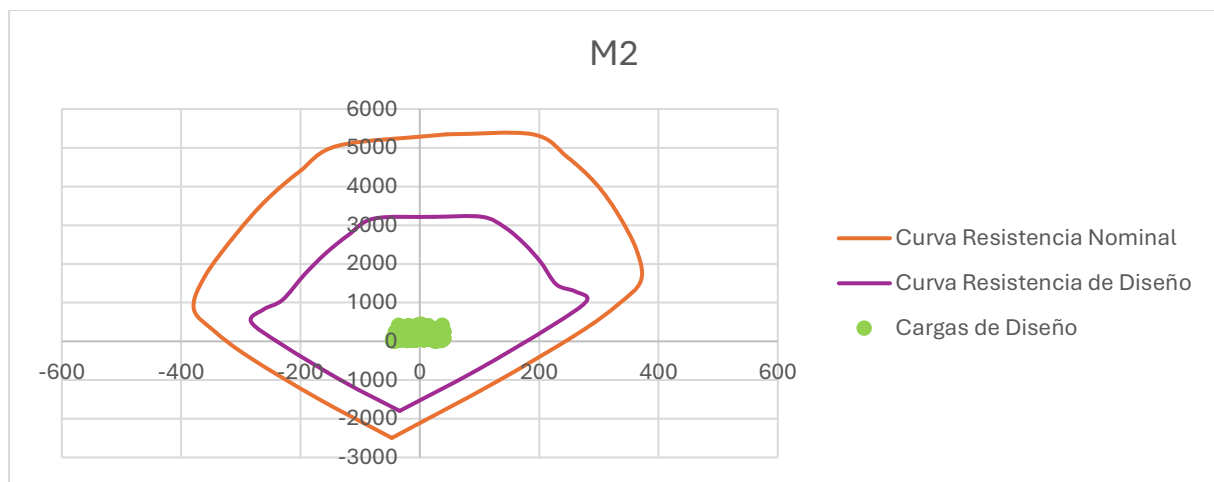


Figura 23: "Diagrama de Interacción de Muro 3 con respecto al eje Y del Modelo 1".

#### 5.3.1.1.2 Diagramas de Interacción Modelo 2.

En tanto, para el Modelo 2 las cargas máximas que recibe el Muro 1 son las siguientes:

$P_U$ : 832.11 tonf.

$M_2$ : 1265.95 tonf-m.

$M_3$ : 2787.62 tonf-m.

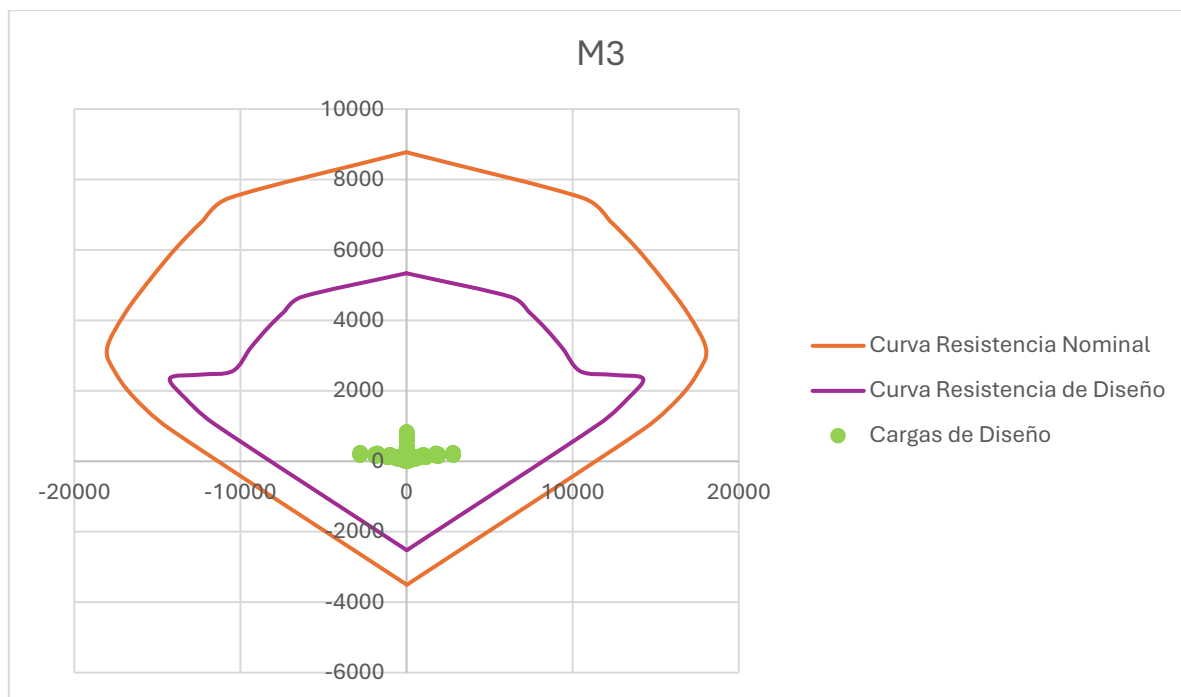


Figura 24: "Diagrama de Interacción de Muro 1 con respecto al eje X del Modelo 2".

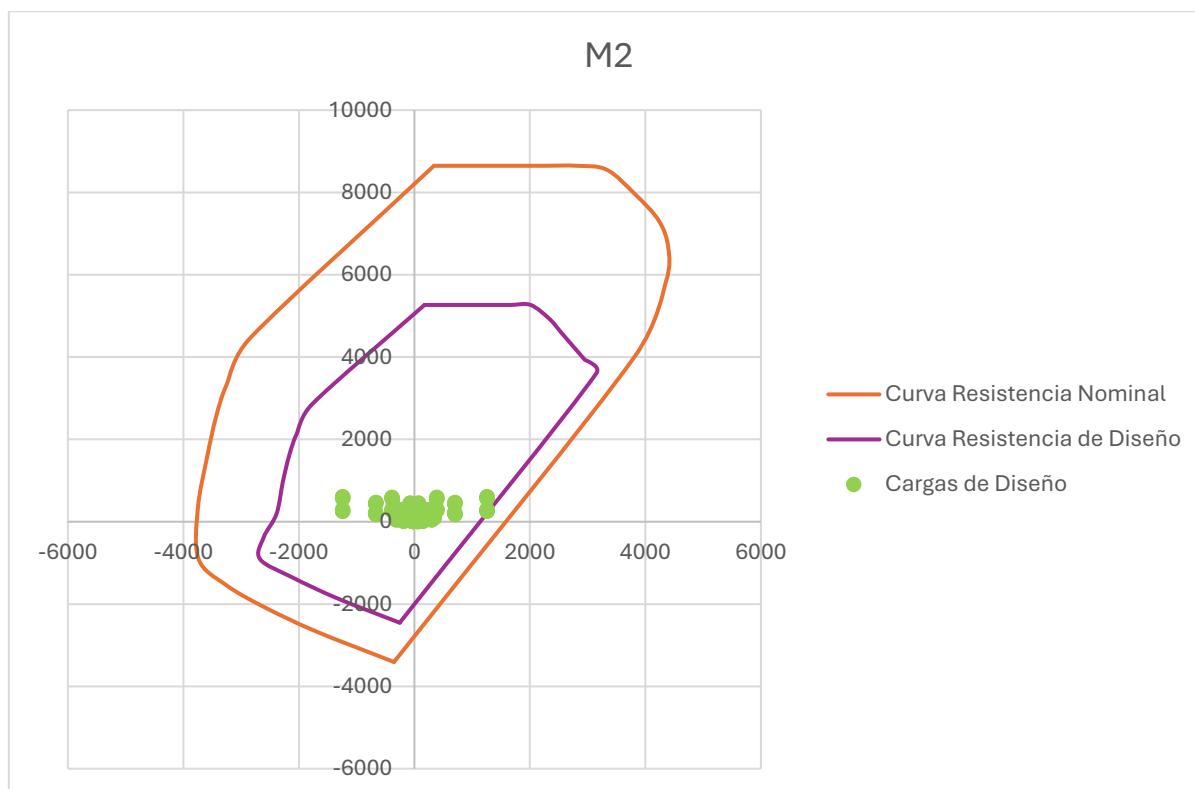


Figura 25: "Diagrama de Interacción de Muro 1 con respecto al eje Y del Modelo 2".

Para el Muro 2, las cargas máximas que recibe son las siguientes:

$P_U$ : 605.88 tonf.

$M_2$ : 1256.40 tonf-m.

$M_3$ : 2216.54 tonf-m.

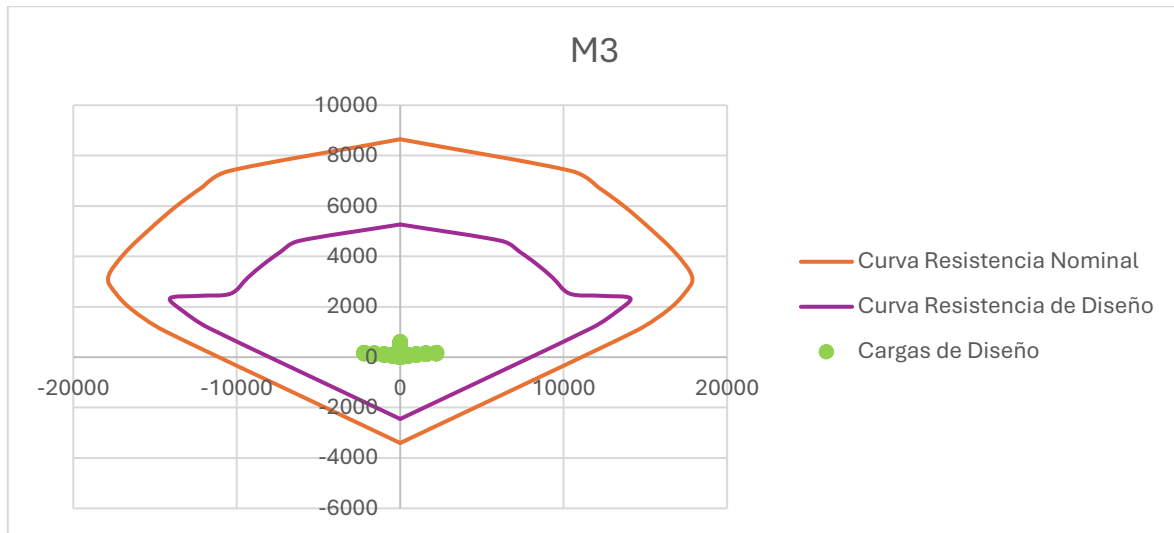


Figura 26: "Diagrama de Interacción de Muro 2 con respecto al eje X del Modelo 2".

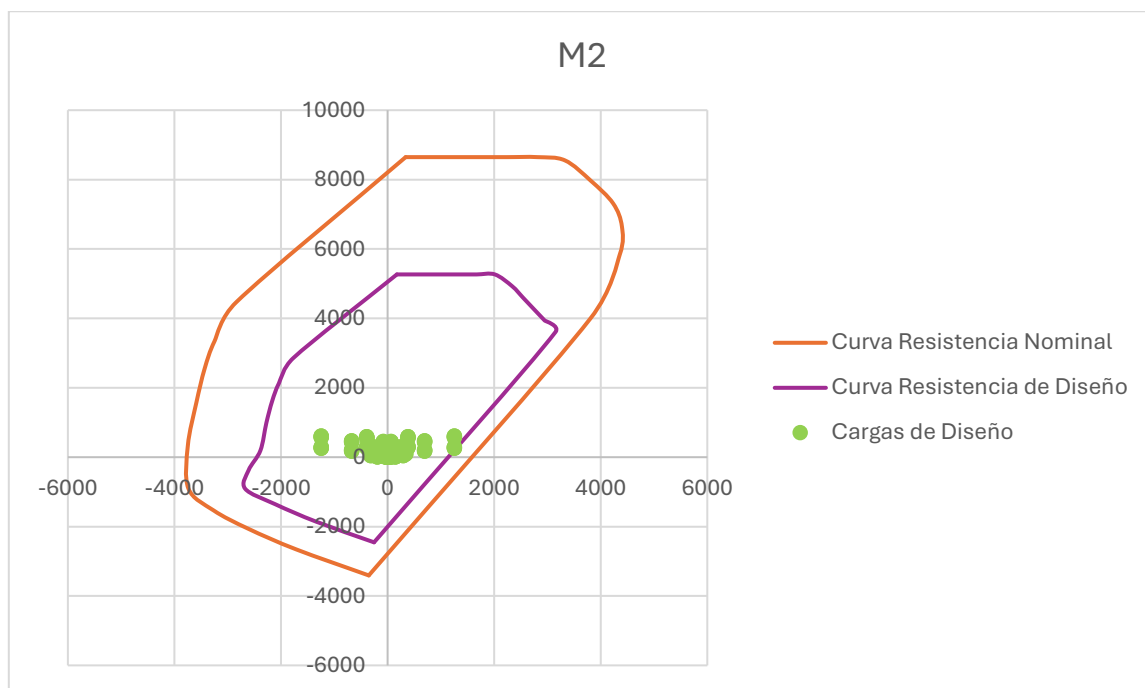


Figura 27: "Diagrama de Interacción de Muro 2 con respecto al eje Y del Modelo 2".

Para el Muro 3, las cargas máximas que recibe son las siguientes:

$P_U$ : 420.50 tonf.

$M_2$ : 33.40 tonf-m.

$M_3$ : 1809.19 tonf-m.

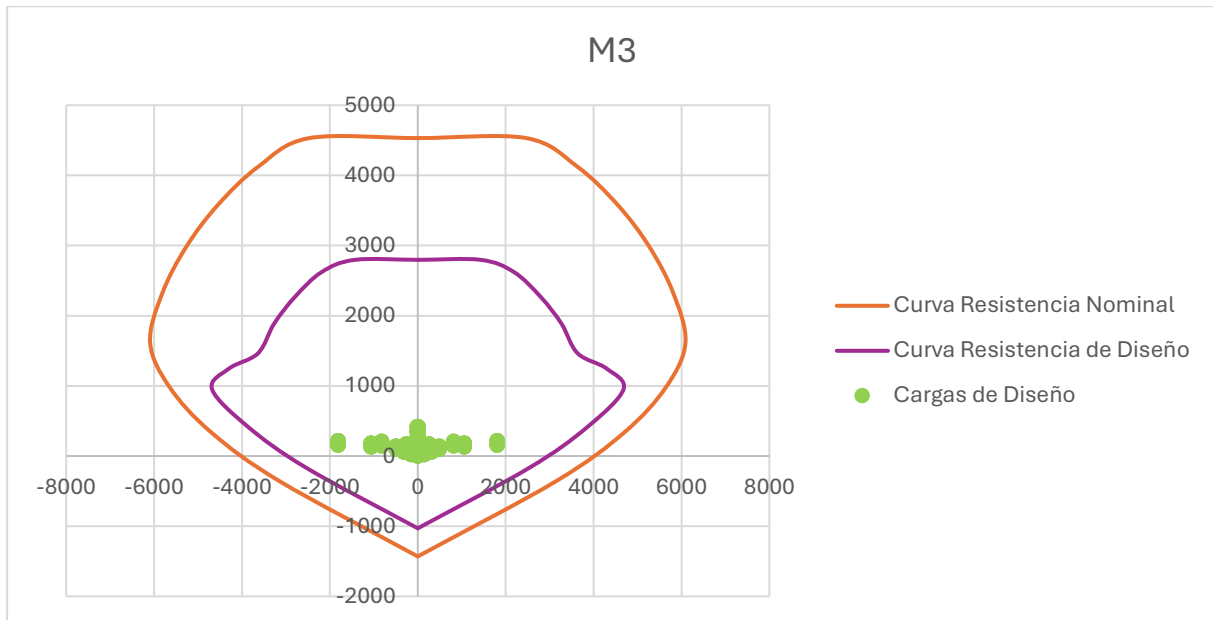


Figura 28: "Diagrama de Interacción de Muro 3 con respecto al eje X del Modelo 2".



Figura 29: "Diagrama de Interacción de Muro 3 con respecto al eje Y del Modelo 2".

### 5.3.1.2 Diseño a Corte.

Mediante el software ETABS se evaluó el porcentaje del corte basal soportado por los muros de hormigón armado que conforman el núcleo de la estructura. Para ello, se asignó una misma etiqueta a todos los muros con el fin de verificar el cumplimiento de lo establecido en el punto 21.1.1.9 del DS60, el cual exige que, en estructuras mixtas con muros y marcos, los muros deben resistir al menos un 75% del corte en la base. Los resultados obtenidos indican que los muros reciben 396,72 tonf de un total de 436,70 tonf, es decir, aproximadamente un 90% del corte basal. En consecuencia, el modelo cumple preliminarmente con lo indicado.

Para el diseño a corte, se diseñó según el capítulo 11 y 21 del ACI318-08, para lo cual se iteró hasta satisfacer que la capacidad supere la demanda.

El resultado para el muro 1, y muro 2, del modelo 1, es una triple capa de acero de refuerzo horizontal de diámetro 12 mm, espaciado cada 10 cm, además se usó el 90% de la altura efectiva. Para el Muro 3 se considera solo una triple malla con el mismo diámetro de barra y espaciamiento.

Para el Modelo 2, se utilizó para los muros 1 y 2, una triple capa de acero de refuerzo de diámetro 12 mm, espaciado cada 10 cm, no se modificó la altura útil. Para el Muro 3 solo una doble malla con el mismo diámetro de barra y espaciamiento.

Además, se verificó según el punto 21.9.5.4 del DS60:mod2011, utilizando la ecuación 21-7a.

Se determinó el periodo agrietado de cada periodo fundamental interpolando datos y el espectro elástico de desplazamiento.

Tabla 32: "Cálculos para Verificación de Confinamiento en Elementos de Borde de Modelo 1".

| Dirección<br>Sismo | Periodo de Agrietamiento<br>s | SDE( $T_{n_{agr}}$ )<br>cm | $\delta'_u$<br>Muro 1 | $\delta'_u$<br>Muro 2 | $\delta'_u$<br>Muro 3 |
|--------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| X                  | 0.234                         | 1.648                      | 3.329E-06             | 3.329E-06             | 3.329E-06             |
| Y                  | 0.446                         | 7.794                      | 4.075E-05             | 4.157E-05             | 3.464E-04             |

Tabla 33: "Cálculos para Verificación de Confinamiento en Elementos de Borde de Modelo 2".

| Dirección<br>Sismo | Periodo de Agrietamiento<br>s | SDE( $T_{n_{agr}}$ )<br>cm | $\delta'_u$<br>Muro 1 | $\delta'_u$<br>Muro 2 | $\delta'_u$<br>Muro 3 |
|--------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| X                  | 0.2483                        | 1.241                      | 2.508.E-06            | 2.508E-06             | 2.508E-06             |
| Y                  | 0.430                         | 3.157                      | 1.651E-05             | 1.684E-05             | 1.403E-04             |



Con el software SAP2000, se modelaron los muros de ambos modelos para determinar la profundidad del eje neutro. Como se muestran en las siguientes tablas.

Donde,

c: Distancia desde el centroide de la sección, en la dirección x o y, hasta el eje neutro correspondiente. En el caso de los muros 1 y 2, esta verificación se realizó en los ángulos de 0° y 180°, debido a la presencia de sus alas.

En la tabla, los términos X e Y corresponden al valor obtenido de la expresión, dependiendo de la orientación considerada.

$$\frac{I_w}{600 * (\delta'_u/h'_u)} \quad (23)$$

Tabla 34: "Verificación de Confinamiento en Elemento de Borde de Modelo 1".

|               | X       | Y      | Eje Neutro X | Eje Neutro Y 0° | Eje Neutro Y 180° | cX  | cY 0° | cY 180° |
|---------------|---------|--------|--------------|-----------------|-------------------|-----|-------|---------|
| <b>Muro 1</b> | 1775.06 | 375.28 | 81           | 42              | -19               | 249 | 140   | 163     |
| <b>Muro 2</b> | 1759.89 | 372.07 | 98           | 42              | -14               | 232 | 135   | 165     |
| <b>Muro 3</b> | 1001.32 | 211.70 | 73           | 0               | 0                 | 257 | 0     | 0       |

Como cX no superan los valores de X, entonces no requiere confinamiento en esa dirección.

Como Cy 0° y Cy 180° no superan los valores de Y, entonces no requiere confinamiento en esa dirección.

Tabla 35: "Verificación de Confinamiento en Elemento de Borde de Modelo 2".

|               | X       | Y      | Eje Neutro X | Eje Neutro Y 0° | Eje Neutro Y 180° | cX  | cY 0° | cY 180° |
|---------------|---------|--------|--------------|-----------------|-------------------|-----|-------|---------|
| <b>Muro 1</b> | 1775.06 | 375.28 | 81           | 42              | -19               | 249 | 140   | 163     |
| <b>Muro 2</b> | 1759.89 | 372.07 | 98           | 42              | -14               | 232 | 135   | 165     |
| <b>Muro 3</b> | 1001.32 | 211.70 | 73           | 0               | 0                 | 257 | 0     | 0       |

Como cX no superan los valores de X, entonces no requiere confinamiento en esa dirección.

Como Cy 0° y Cy 180° no superan los valores de Y, entonces no requiere confinamiento en esa dirección.

### 5.3.2 Marcos de Hormigón Armado.

Como los muros toman más del 75% de la carga sísmica, estos elementos de hormigón armado se diseñan como Marcos Intermedios, según lo indica el DS60:mod2011, en el punto 21.1.1.9.

#### 5.3.2.1 Columnas de Hormigón Armado.

Según lo establecido en la norma ACI 318, el área mínima de acero longitudinal para columnas debe ser al menos el 1 % del área bruta de la sección transversal ( $A_g$ ). Esta exigencia tiene como finalidad controlar deformaciones por fluencia y retracción del hormigón y prevenir que el acero alcance la fluencia bajo cargas sostenidas.

A continuación, se mostrarán los resultados para una misma columna, tanto para los modelos 1 y 2. Siendo esta la del eje D8.

Para Modelo 1 a Flexo-Compresión.

$P_U$ : 53.43 tonf.

$M_2$ : 3.77 tonf-m.

$M_3$ : 5.15 tonf-m.

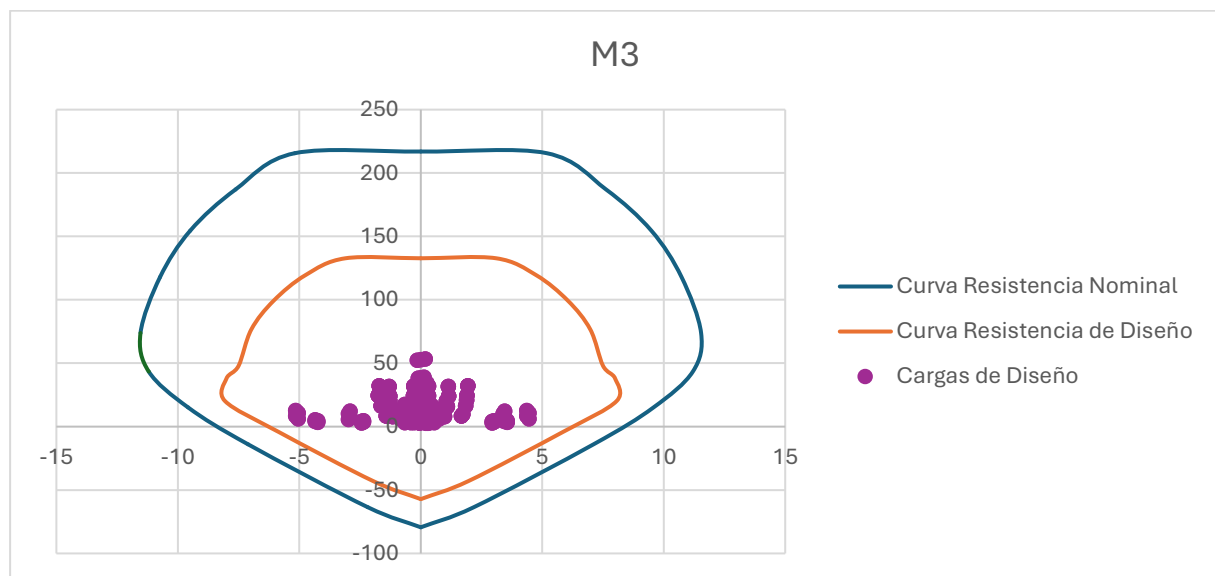


Figura 30: "Diagrama de interacción para columna D8 del modelo 1 en dirección X".

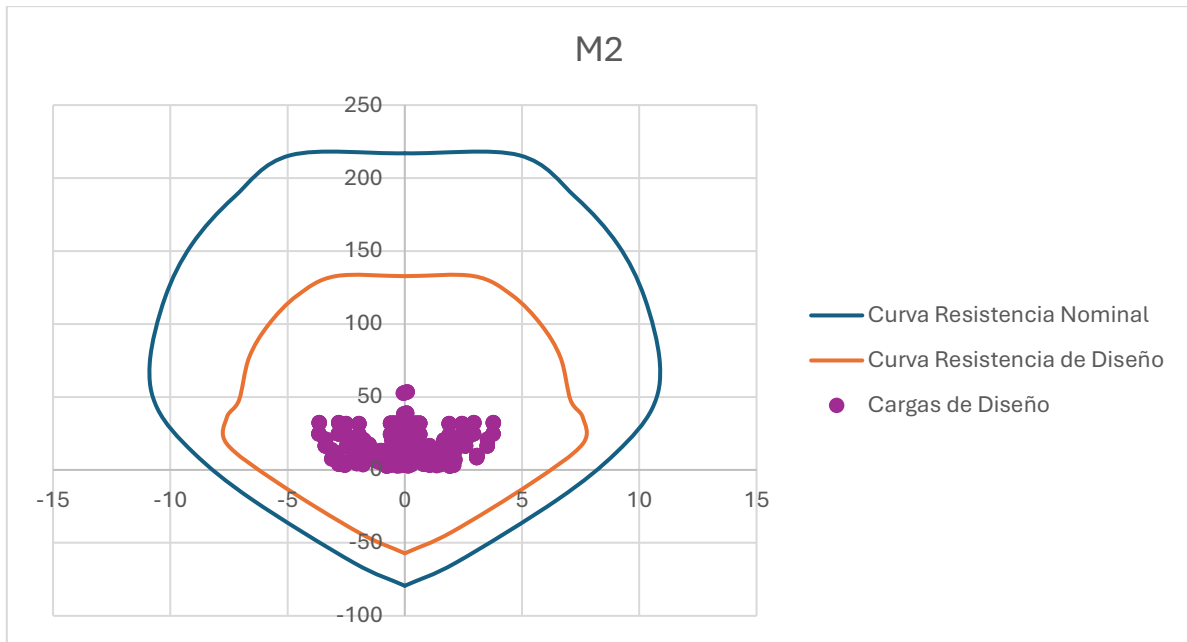


Figura 31: “Diagrama de interacción para columna D8 del modelo 1 en dirección Y”.

Para Modelo 2 a Flexo-Compresión.

$P_U$ : 78.60 tonf.

$M_2$ : 3.66 tonf-m.

$M_3$ : 1.89 tonf-m.

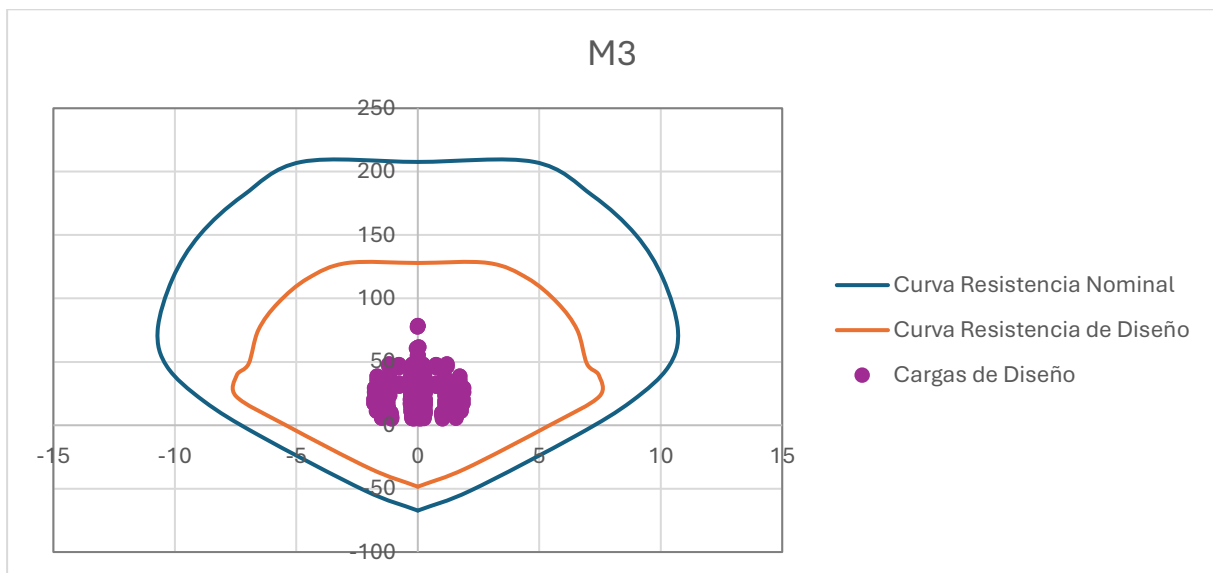


Figura 32: “Diagrama de interacción para columna D8 del modelo 2 en dirección X”.

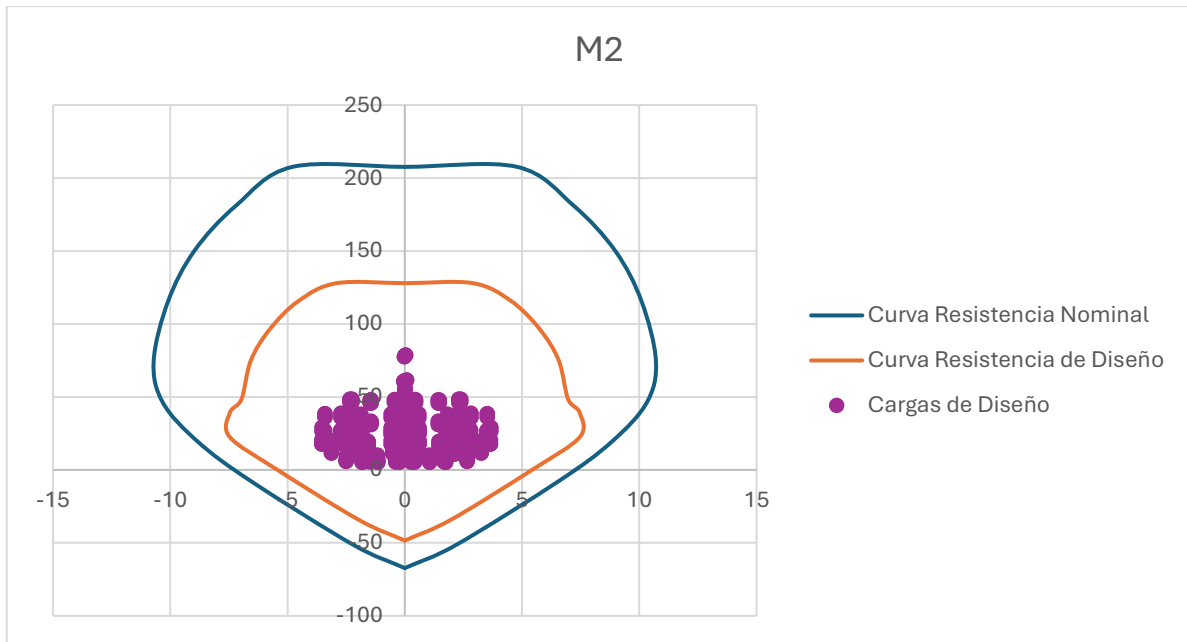


Figura 33: "Diagrama de interacción para columna D8 del modelo 2 en dirección Y".

Para el diseño a corte, en ambos modelos, al ser columnas de marcos intermedios, se diseñó con el mínimo acero de refuerzo transversal, según lo dictamina el ACI318-08, en el punto 11.4.6.3. obteniendo un área mínima de acero de refuerzo a corte de  $0.25 \text{ cm}^2$ . Para lo cual se determinó utilizar estribos de diámetro 8 mm, para el espaciamiento, en primera instancia se calculó la zona de confinamiento a través del punto 21.3.5.2, la cual fue de 50 cm y para la zona central 200 cm. Luego se determinaron los espaciamientos en cada zona, para la zona crítica es de 10 cm y para la zona central coincidentemente es igual a la zona crítica.

Con estos datos, se verificó que la capacidad es mayor que la demanda.

$V_U$ : 3.03 tonf.

$\phi V_N$ : 16.04 tonf

### 5.3.2.2 Vigas de Hormigón Armado.

Para vigas se consideró el área de acero, la mayor entre la requerida tanto para compresión como para flexión, y haciendo todas las verificaciones nos da como resultado que el diseño cumple con las solicitaciones. En las siguientes tablas

Tabla 36: "Verificación de Acero a Flexión y Compresión".

|                                                          |                |        |                 |
|----------------------------------------------------------|----------------|--------|-----------------|
| <b>Diámetro de Barra de Refuerzo Longitudinal</b>        | $\phi_L :$     | 12     | mm              |
| <b>Cantidad de Barras Longitudinales por Capa</b>        | cant :         | 5      | unidad(es)      |
| <b>Área de Acero Propiciada por el Acero de Refuerzo</b> | $A'_s = A_s :$ | 5.65   | cm <sup>2</sup> |
| <b>Cuantía de Acero de Refuerzo</b>                      | $r' = r :$     | 0.0042 |                 |
| <b>Deformación Unitaria del Acero</b>                    | $e_y :$        | 0.0021 |                 |
| <b>Deformación Unitaria del Hormigón</b>                 | $e_c :$        | 0.003  |                 |

Tabla 37: "Comprobación de Verificaciones".

|                                                                                            |            |         |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|---------------------|
| <b>Deformación Unitaria del Acero a Compresión antes de la Fluencia</b>                    | $e'_s :$   | 0.0024  |                     |
| <b>Esfuerzo del Acero a Compresión Antes de la Fluencia</b>                                | $f'_s :$   | 4866.67 | kgf/cm <sup>2</sup> |
| <b>Cuantía Balanceada Tomando en cuenta el Acero a Compresión</b>                          | $r'_b :$   | 17.618  |                     |
| <b>Cuantía Mínima de Acero a Tracción que garantiza la Fluencia del Acero a Compresión</b> | $r_{cy} :$ | 0.0201  | <b>A'S NO FLUYE</b> |

Como el Acero no fluye, se debe iterar hasta encontrar el valor que satisfaga las demandas.

Tabla 38: "Iteración 1"

|                                                                        |          |         |                     |
|------------------------------------------------------------------------|----------|---------|---------------------|
| <b>Distancia de la Fibra más Comprimida del Hormigón al Eje Neutro</b> | $c :$    | 4.73    | cm                  |
| <b>Esfuerzo del Acero a Compresión Antes de la Fluencia</b>            | $f'_s :$ | -336.67 | kgf/cm <sup>2</sup> |
| <b>Altura del Bloque de Compresión del Hormigón</b>                    | $a :$    | 4.02    | cm                  |
| <b>Momento de Diseño</b>                                               | $M_N :$  | 1026.67 | tonf-cm             |

Tabla 39: "Iteración 2"

|                                                                        |                         |         |                           |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|---------------------------|
| <b>Distancia de la Fibra más Comprimida del Hormigón al Eje Neutro</b> | <b>c :</b>              | 4.73    | <b>cm</b>                 |
| <b>Deformación Unitaria del Acero</b>                                  | <b>e<sub>s</sub> :</b>  | 0.0255  |                           |
| <b>Esfuerzo del Acero a Compresión Antes de la Fluencia</b>            | <b>f'<sub>s</sub> :</b> | -336.67 | <b>kgf/cm<sup>2</sup></b> |
| <b>Altura del Bloque de Compresión del Hormigón</b>                    | <b>a :</b>              | 4.02    | <b>cm</b>                 |
| <b>Momento de Diseño</b>                                               | <b>M<sub>N</sub> :</b>  | 1026.67 | <b>tonf-cm</b>            |

M<sub>U</sub>: 117.11 tonf-cm

ØM<sub>N</sub>: 924.00 tonf-cm

Por lo tanto, el Diseño Cumple con lo solicitado.

Para el diseño a corte, se estableció un diámetro de barra de 8 mm y una separación de estribos de 20 cm. En base a eso se precedió a hacer los cálculos respectivos, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 40: "Datos de entrada para verificación a corte".

|                                                       |                            |       |                         |
|-------------------------------------------------------|----------------------------|-------|-------------------------|
| <b>Separación max de Estribos</b>                     | <b>s :</b>                 | 20    | <b>cm</b>               |
| <b>Área Mínima de Refuerzo a Corte</b>                | <b>A<sub>v,min</sub> :</b> | 0.50  | <b>cm<sup>2</sup></b>   |
|                                                       | <b>A<sub>v,min</sub> :</b> | 0.005 | <b>cm<sup>2</sup>/m</b> |
| <b>Diámetro de Barra de Acero de Refuerzo a Corte</b> | <b>Ø :</b>                 | 8     | <b>mm</b>               |
| <b>Área de Refuerzo a Corte</b>                       | <b>A<sub>v</sub> :</b>     | 1.01  | <b>cm<sup>2</sup></b>   |

Tabla 41: "Resistencia al Corte".

|                                          |                         |        |             |
|------------------------------------------|-------------------------|--------|-------------|
| <b>Resistencia al Corte del Hormigón</b> | <b>V<sub>c</sub> :</b>  | 357.75 | <b>tonf</b> |
|                                          | <b>ØV<sub>c</sub> :</b> | 268.31 | <b>tonf</b> |
| <b>Resistencia al Corte del Acero</b>    | <b>V<sub>s</sub> :</b>  | 9.50   | <b>tonf</b> |
|                                          | <b>ØV<sub>s</sub> :</b> | 7.13   | <b>tonf</b> |
| <b>Resistencia al Corte de Diseño</b>    | <b>V<sub>N</sub> :</b>  | 367.25 | <b>tonf</b> |
|                                          | <b>ØV<sub>N</sub> :</b> | 275.44 | <b>tonf</b> |

V<sub>U</sub>: 1.23 tonf

ØV<sub>N</sub>: 543.75 tonf

Por lo tanto, el Diseño Cumple con lo solicitado.

### 5.3.3 Losa de Hormigón Armado.

Para el diseño a flexión de la losa de hormigón, primero se verificó si era unidireccional o bidireccional, como se muestra en la siguiente tabla. Según el ACI 318-14, sección 8.10.2, el Método de Diseño Directo (DDM) solo puede aplicarse en losas bidireccionales que cumplan ciertas condiciones: tener al menos tres vanos continuos en cada dirección, presentar una relación entre claro mayor y menor menor a 2.

Tabla 42: "Verificación de Losa".

|              |        |                           |
|--------------|--------|---------------------------|
| <b>L :</b>   | 380.00 | <b>cm</b>                 |
| <b>H :</b>   | 330.00 | <b>cm</b>                 |
| <b>L/H :</b> | 1.15   | <b>LOSA BIDIRECCIONAL</b> |

Se consideraron como cargas permanentes el peso propio más las cargas de tabiquería y revestimiento de losa, para cargas vivas lo que indica la norma para uso habitacional, a continuación, se indican todas las cargas que se consideraron, además del momento solicitado y de diseño. Se considero un ancho de 1 m a fin de facilitar los cálculos.

$$P_p: 375 \text{ kgf/m}^2$$

$$q_n: 649 \text{ kgf/m}^2$$

$$q_L: 200 \text{ kgf/m}^2$$

$$q_U: 1098.80 \text{ kgf/m}^2$$

$$M_U: 1495.74 \text{ kgf/m}^2$$

Luego se procedió a verificar si el área de acero que se propuso cumplía con la restricción de ser mayor que el acero requerido.

Tabla 43: "verificación de Acero en Losa de Hormigón".

|                                   |                            |       |                         |
|-----------------------------------|----------------------------|-------|-------------------------|
| <b>Área de Acero Requerido</b>    | <b>A<sub>S,Req</sub> :</b> | 4.363 | <b>cm<sup>2</sup>/m</b> |
| <b>Área de Acero Mínimo</b>       | <b>A<sub>S,Mín</sub></b>   | 1.71  | <b>cm<sup>2</sup>/m</b> |
| <b>Diámetro de Barra de Acero</b> | <b>Ø :</b>                 | 10    | <b>Mm</b>               |
| <b>Área Acero de Refuerzo</b>     | <b>A<sub>S</sub> :</b>     | 5.24  | <b>cm<sup>2</sup>/m</b> |
| <b>Espaciamiento Propuesto</b>    | <b>s :</b>                 | 15    | <b>Cm</b>               |
| <b>Cantidad de Barras x Metro</b> | <b>n<sub>B</sub> :</b>     | 7     | <b>unidad (es)</b>      |
| <b>Espaciamiento Máximo</b>       | <b>s<sub>Máx</sub> :</b>   | 30    | <b>Cm</b>               |

El acero propuesto cumple ya que el momento de  $\phi M_N = 1661.94 \text{ tonf-m/m}$ , es mayor que el momento solicitante.

Se calculo la longitud de desarrollo conforme como lo indica el ACI318-19, obteniendo un valor de 40.25 cm. Posterior a eso se calculó la longitud empalme de las barras que como resultado dio 50 cm.

#### 5.4 Cubicación de Panel de CLT.

Como no se tiene mucha información del precio unitario del CLT se determinó a través de cálculo por tabla que compone el panel, en este caso se consideró una tabla cepillada de 2x6 de dimensión nominal y 3.2 m de largo, con un precio de \$7,990 aproximadamente. Para el cálculo se considerará un panel de 7 capas como el ya antes calculado en 4.2. con un área de superficie de 1m<sup>2</sup>. A continuación se detalla el cálculo para obtener el costo total correspondiente a los paneles de CLT.

Tabla 44: "Datos de madera 2x6".

|                             |         |            |
|-----------------------------|---------|------------|
| <b>t :</b>                  | 0.041   | <b>m</b>   |
| <b>b :</b>                  | 0.138   | <b>m</b>   |
| <b>l :</b>                  | 3.2     | <b>m</b>   |
| <b>Precio de Madera 2x6</b> | \$7,990 | <b>CLP</b> |

En primera instancia se determinó el costo por metro lineal, se dividió el precio por el largo de la tabla. Para estimar la cantidad de tablas por capa se consideró un área de 1 m<sup>2</sup>. El ancho se dividió por el ancho de la tabla, obteniendo la cantidad necesaria en esa dirección. Luego, el resultado se dividió por el largo de la tabla, determinando el número de listones por capa y el costo por metro cuadrado. Finalmente se calcularon las áreas donde se instalará el CLT y se multiplicó por el precio por metro cuadrado. Todo lo anterior se resumen en las siguientes tablas

Datos de Panel de CLT de 1m<sup>2</sup>

Tabla 45: "Datos de Panel de CLT de 1m<sup>2</sup>".

|                                          |           |                 |
|------------------------------------------|-----------|-----------------|
| <b>b :</b>                               | 1         | <b>mm</b>       |
| <b>l :</b>                               | 1         | <b>mm</b>       |
| <b>n° Capas :</b>                        | 7         | <b>Capas</b>    |
| <b>Cant de madera requerida por capa</b> | 7.2       | <b>Unidades</b> |
| <b>Cant de listones de 2x6</b>           | 2.26      | <b>Unidades</b> |
| <b>Costo por Capa de Panel</b>           | \$18,093  | <b>CLP</b>      |
| <b>Costo Panel 1m2</b>                   | \$126,653 | <b>CLP</b>      |



Tabla 46: "Cálculo de Área Superficial para Instalar Panel de CLT".

| <b>b</b><br><b>m</b> | <b>L</b><br><b>m</b> | <b>A</b><br><b>m²</b> | <b>Cantidad</b><br><b>unidades</b> | <b>A<sub>x Piso</sub></b><br><b>m²</b> | <b>Pisos</b><br><b>Cantidad</b> | <b>A<sub>T</sub></b><br><b>m²</b> |
|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 3.3                  | 3.3                  | 10.89                 | 24                                 | 261.36                                 | 5                               | 1306.8                            |
| 3.3                  | 2.8                  | 9.24                  | 10                                 | 92.4                                   | 5                               | 462                               |
| 3.8                  | 3.3                  | 12.54                 | 6                                  | 75.24                                  | 5                               | 376.2                             |
| 3.8                  | 2.8                  | 10.64                 | 2                                  | 21.28                                  | 5                               | 106.4                             |
| 1.9                  | 3.3                  | 6.27                  | 2                                  | 12.54                                  | 5                               | 62.7                              |
| 3.3                  | 2.2                  | 7.26                  | 2                                  | 14.52                                  | 5                               | 72.6                              |

Obteniéndose una cantidad de 37.833 listones de madera para abarcar un total de 2386.7 m<sup>2</sup> de superficie requerida para instalar CLT y un costo de \$ \$302,282,905 CLP.

Para calcular el costo total de construcción del panel de CLT, no se considerará costo de mano de obra y aditivos.

### 5.5 Cubicación de Elementos de Hormigón.

A continuación, se presentan las cubicaciones para determinar el volumen de hormigón a utilizar tanto para los elementos del modelo 1 y el modelo 2. Se utilizó el precio de acuerdo con lo que indica GLOBAL CTC en su página web, el valor es de \$107.966 CLP. por metro cúbico (Global GTC, 2024)..

#### 5.5.1 Cubicación de Hormigón para Modelo 1.

Tabla 47: "Cubicación de Vigas de modelo 1".

| <b>Elemento</b>   | <b>L</b><br><b>m</b> | <b>b</b><br><b>m</b> | <b>H</b><br><b>m</b> | <b>Volumen por Unidad</b><br><b>m³</b> | <b>Cantidad</b><br><b>por Nivel</b><br><b>Unidad(es)</b> | <b>Cant de</b><br><b>Niveles</b> | <b>Volumen</b><br><b>m³</b> |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| <b>Viga 30/50</b> | 3.30                 | 0.30                 | 0.50                 | 0.50                                   | 64                                                       | 5                                | 158.40                      |
| <b>Viga 30/50</b> | 3.80                 | 0.30                 | 0.50                 | 0.57                                   | 9                                                        | 5                                | 25.65                       |
| <b>Viga 30/50</b> | 2.80                 | 0.30                 | 0.50                 | 0.42                                   | 12                                                       | 5                                | 25.20                       |
| <b>Viga 30/70</b> | 8.50                 | 0.30                 | 0.70                 | 1.79                                   | 1                                                        | 5                                | 8.93                        |
| <b>Viga 45/70</b> | 6.60                 | 0.45                 | 0.70                 | 2.08                                   | 1                                                        | 5                                | 10.40                       |
| <b>Viga 55/70</b> | 8.50                 | 0.55                 | 0.70                 | 3.27                                   | 2                                                        | 5                                | 32.73                       |

**Volumen Total**  
**Vigas**

**V<sub>Vigas</sub> :** 262.00 m³

Tabla 48: "Cubicación de Muros de Modelo 1".

| Elemento | L<br>m | e<br>m | H<br>m | Volumen por<br>Unidad<br>m <sup>3</sup> | Cantidad<br>por Nivel<br>Unidad(es) | Cant de<br>Niveles | Volumen<br>m <sup>3</sup> |
|----------|--------|--------|--------|-----------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Muro 1   | 11.70  | 0.30   | 3.0    | 10.53                                   | 1                                   | 5                  | 52.65                     |
| Muro 2   | 11.60  | 0.30   | 3.0    | 10.44                                   | 1                                   | 5                  | 52.20                     |
| Muro 2   | 6.60   | 0.30   | 3.0    | 5.940                                   | 1                                   | 5                  | 29.70                     |

|                                |                            |               |                      |
|--------------------------------|----------------------------|---------------|----------------------|
| <b>Volumen Total<br/>Muros</b> | <b>V<sub>Muros</sub> :</b> | <b>135.00</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |
|--------------------------------|----------------------------|---------------|----------------------|

Tabla 49: "Cubicación de Columnas de Modelo 1".

| Elemento      | b<br>m | h<br>m | H<br>m | Volumen por Unidad<br>m <sup>3</sup> | Cantidad<br>por Nivel<br>Unidad(es) | Cant de<br>Niveles | Volumen<br>m <sup>3</sup> |
|---------------|--------|--------|--------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Columna 30x30 | 0.30   | 0.30   | 3.0    | 0.27                                 | 50                                  | 5                  | 67.5                      |
| Columna L     | 0.80   | 0.80   | 3.0    | 1.45                                 | 2                                   | 5                  | 14.48                     |

|                                   |                               |              |                      |
|-----------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------------|
| <b>Volumen Total<br/>Columnas</b> | <b>V<sub>Columnas</sub> :</b> | <b>82.00</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |
|-----------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------------|

Tabla 50: "Cubicación de Losa De Modelo 1".

| Elemento         | B<br>m | h<br>m | e<br>m | Volumen por<br>Unidad<br>m <sup>3</sup> | Cantidad<br>por Nivel<br>Unidad(es) | Cant de<br>Niveles | Volumen<br>m <sup>3</sup> |
|------------------|--------|--------|--------|-----------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Losa de Hormigón | 3.30   | 3.30   | 0.15   | 1.63                                    | 24                                  | 5                  | 196.02                    |
|                  | 3.80   | 3.30   | 0.15   | 1.88                                    | 8                                   | 5                  | 75.24                     |
|                  | 3.30   | 2.80   | 0.15   | 1.39                                    | 10                                  | 5                  | 69.30                     |
|                  | 3.80   | 2.80   | 0.15   | 1.60                                    | 2                                   | 5                  | 15.96                     |
|                  | 6.60   | 2.20   | 0.15   | 2.18                                    | 1                                   | 5                  | 10.89                     |
|                  | 6.60   | 1.90   | 0.15   | 1.88                                    | 1                                   | 5                  | 9.41                      |

|                               |                           |               |                      |
|-------------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|
| <b>Volumen<br/>Total Losa</b> | <b>V<sub>Losa</sub> :</b> | <b>377.00</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |
|-------------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|

Obteniendo un volumen total de 856 m<sup>3</sup> de Hormigón para el Modelo 1.

El costo de Hormigón para el Modelo 1 es de \$92.418896 CLP.

## 5.5.2 Cubicación de Hormigón para Modelo 2.

Tabla 51: "Cubicación de Vigas de Modelo 2":

| Elemento   | b<br>m | H<br>m | H<br>m | Volumen por Unidad<br>m <sup>3</sup> | Cantidad por Nivel<br>Unidad(es) | Cant de Niveles | Volumen<br>m <sup>3</sup> |
|------------|--------|--------|--------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------|
| Viga 30/50 | 3.30   | 0.30   | 0.50   | 0.50                                 | 64                               | 5               | 158.40                    |
| Viga 30/50 | 3.80   | 0.30   | 0.50   | 0.57                                 | 9                                | 5               | 25.65                     |
| Viga 30/50 | 2.80   | 0.30   | 0.50   | 0.42                                 | 12                               | 5               | 25.20                     |
| Viga 30/70 | 8.50   | 0.30   | 0.70   | 1.79                                 | 1                                | 5               | 8.93                      |
| Viga 45/70 | 6.60   | 0.45   | 0.70   | 2.08                                 | 1                                | 5               | 10.40                     |
| Viga 55/70 | 8.50   | 0.55   | 0.70   | 3.27                                 | 2                                | 5               | 32.73                     |

**Volumen Total Vigas**

**V<sub>Vigas</sub> :** 262.00 m<sup>3</sup>

Tabla 52: "Cubicación de Muros de Modelo 2":

| Elemento | L<br>m | e<br>m | H<br>m | Volumen por Unidad<br>m <sup>3</sup> | Cantidad por Nivel<br>Unidad(es) | Cant de Niveles | Volumen<br>m <sup>3</sup> |
|----------|--------|--------|--------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------|
| Muro 1   | 11.70  | 0.20   | 3.0    | 7.02                                 | 1                                | 5               | 35.1                      |
| Muro 2   | 11.60  | 0.20   | 3.0    | 6.96                                 | 1                                | 5               | 34.80                     |
| Muro 2   | 6.60   | 0.20   | 3.0    | 3.960                                | 1                                | 5               | 19.80                     |

**Volumen Total Muros**

**V<sub>Muros</sub> :** 90.00 m<sup>3</sup>

Tabla 53: "Cubicación de Columnas de Modelo 2":

| Elemento      | b<br>m | h<br>m | H<br>m | Volumen por Unidad<br>m <sup>3</sup> | Cantidad por Nivel<br>Unidad(es) | Cant de Niveles | Volumen<br>m <sup>3</sup> |
|---------------|--------|--------|--------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------|
| Columna 30x30 | 0.30   | 0.30   | 3.0    | 0.27                                 | 50                               | 5               | 67.5                      |
| Columna L     | 0.80   | 0.80   | 3.0    | 1.45                                 | 2                                | 5               | 14.48                     |

**Volumen Total Columnas**

**V<sub>Columnas</sub> :** 82.00 m<sup>3</sup>

Tabla 54: "Cubicación de Sobre Losa de Modelo 2".

| Elemento   | b<br>m | h<br>m | e<br>m | Volumen por<br>Unidad<br>m <sup>3</sup> | Cantidad por<br>Nivel<br>Unidad(es) | Cant de<br>Niveles | Volumen<br>m <sup>3</sup> |
|------------|--------|--------|--------|-----------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Sobre Losa | 3.30   | 3.30   | 0.03   | 0.33                                    | 24                                  | 5                  | 39.204                    |
|            | 3.80   | 3.30   | 0.03   | 0.38                                    | 8                                   | 5                  | 15.048                    |
|            | 3.30   | 2.80   | 0.03   | 0.28                                    | 10                                  | 5                  | 13.86                     |
|            | 3.80   | 2.80   | 0.03   | 0.32                                    | 2                                   | 5                  | 3.19                      |
|            | 6.60   | 2.20   | 0.03   | 0.44                                    | 1                                   | 5                  | 2.18                      |
|            | 6.60   | 1.90   | 0.03   | 0.38                                    | 1                                   | 5                  | 1.88                      |

|                                         |                                 |              |                      |
|-----------------------------------------|---------------------------------|--------------|----------------------|
| <b>Volumen<br/>Total Sobre<br/>Losa</b> | <b>V<sub>Sobre Losa</sub> :</b> | <b>76.00</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |
|-----------------------------------------|---------------------------------|--------------|----------------------|

Obteniendo un volumen total de 510 m<sup>3</sup> de Hormigón para el Modelo 2.

El costo de Hormigón para el Modelo 2 es de \$55.062.660 CLP.

## 5.6 Cubicación de Acero de Refuerzo.

Para la Cubicación del acero de refuerzo se consideraron son constantes, la primera es densidad del acero, el cual se estableció en 0.00785 kg/cm<sup>3</sup> y la altura por nivel de 300 cm. El precio por kg del acero de refuerzo que se utilizó para los cálculos son valores aproximados recolectados de distintas empresas.

A continuación, se mostrarán las tablas con las respectivas cubicaciones.

### 5.6.1 Cubicación de Acero de Refuerzo para Modelo 1.

#### Muro 1

Tabla 55: "Cubicación Acero de Refuerzo para Muro 1 de Modelo 1".

| Nivel              | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|--------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Nivel 1            | 12             | 3.393                   | 1180               | 101.788                     | 239.710    | 282857.567   |
|                    | 12             | 1.131                   | 1180               | 394.710                     | 929.541    | 1096858.79   |
|                    | 18             | 2.545                   | 1400               | 40.715                      | 95.884     | 134237.489   |
|                    | 22             | 3.801                   | 1600               | 372.530                     | 877.308    | 1403693.25   |
|                    | 25             | 4.909                   | 1850               | 117.810                     | 277.442    | 513267.517   |
| Niveles<br>2-3-4-5 | 12             | 3.393                   | 1180               | 33.929                      | 79.903     | 94285.8557   |
|                    | 12             | 1.131                   | 1180               | 394.710                     | 929.541    | 1096858.79   |
|                    | 18             | 2.545                   | 1550               | 10.179                      | 23.971     | 37155.0194   |
|                    | 22             | 3.801                   | 1600               | 395.338                     | 931.021    | 1489633.66   |
|                    | 25             | 4.909                   | 1850               | 78.540                      | 184.961    | 342178.345   |

Obteniendo un costo total para el Muro 1 de \$16.425.648 CLP.

## Muro 2

Tabla 56: "Cubicación Acero de Refuerzo para Muro 2 de Modelo 1".

| Nivel              | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>Kg | Costo<br>CLP |
|--------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Nivel 1            | 12             | 3.393                   | 1180               | 101.788                     | 239.710    | 282857.567   |
|                    | 12             | 1.131                   | 1180               | 394.710                     | 929.541    | 1096858.79   |
|                    | 18             | 2.545                   | 1550               | 0.000                       | 0.000      | 0            |
|                    | 22             | 3.801                   | 1600               | 486.570                     | 1145.872   | 1833395.27   |
|                    | 25             | 4.909                   | 1850               | 117.810                     | 277.442    | 513267.517   |
| Niveles<br>2-3-4-5 | 12             | 3.393                   | 1180               | 101.788                     | 239.710    | 282857.567   |
|                    | 12             | 1.131                   | 1180               | 394.710                     | 929.541    | 1096858.79   |
|                    | 18             | 2.545                   | 1550               | 10.179                      | 23.971     | 37155.0194   |
|                    | 22             | 3.801                   | 1600               | 395.338                     | 931.021    | 1489633.66   |
|                    | 25             | 4.909                   | 1850               | 78.540                      | 184.961    | 342178.345   |

Obteniendo un costo total para el muro 2 de \$16.721.113 CLP.

## Muro 3

Tabla 57: "Cubicación Acero de Refuerzo para Muro 3 de Modelo 1".

| Nivel                | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|----------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Niveles<br>1-2-3-4-5 | 12             | 3.393                   | 1180               | 101.788                     | 239.710    | 282857.567   |
|                      | 12             | 1.131                   | 1180               | 220.540                     | 519.371    | 612858.062   |
|                      | 22             | 3.801                   | 1600               | 273.696                     | 644.553    | 1031284.84   |

Obteniendo un costo total para el muro 3 de \$9.635.002 CLP.

## Columnas 30x30

Tabla 58: "Cubicación Acero de Refuerzo para Columna 30x30 de Modelo 1".

| Nivel                | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|----------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Niveles<br>1-2-3-4-5 | 8              | 1.005                   | 1150               | 32.1699088                  | 75.760     | 87124.1554   |
|                      | 12             | 1.131                   | 1180               | 9.04778684                  | 21.308     | 25142.8949   |
|                      | 16             | 2.011                   | 1400               | 8.04247719                  | 18.940     | 26516.0473   |

Obteniendo un costo total de \$11.796.563 CLP.

## Columnas L

Tabla 59: "Cubicación Acero de Refuerzo para Columna L de Modelo 1".

| Nivel                | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|----------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Niveles<br>1-2-3-4-5 | 10             | 1.571                   | 1240               | 50.2655                     | 118.375    | 146785.262   |
|                      | 20             | 3.142                   | 1180               | 37.6991                     | 88.781     | 104762.062   |
|                      | 22             | 3.801                   | 1400               | 30.4106                     | 71.617     | 100263.804   |

Obteniendo un costo total de \$3.518.111 CLP.

### Vigas 30/50

Tabla 60: "Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 30/50 de Modelo 1"

| Nivel                | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|----------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Niveles<br>1-2-3-4-5 | 8              | 1.005                   | 1150               | 19.1009                     | 44.983     | 51729.9673   |
|                      | 12             | 1.131                   | 1180               | 13.5717                     | 31.961     | 37714.3423   |

Obteniendo un costo total de \$38.013.832 CLP.

### Vigas 30/70

Tabla 61: "Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 30/50 de Modelo 1"

| Nivel                | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|----------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Niveles<br>1-2-3-4-5 | 10             | 1.571                   | 1240               | 67.5442                     | 159.067    | 197242.696   |
|                      | 16             | 2.011                   | 1400               | 20.1062                     | 47.350     | 66290.1183   |

Obteniendo un costo total de \$1.317.664 CLP.

### Vigas 45/70

Tabla 62: "Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 45/70 de Modelo 1"

| Nivel                | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|----------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Niveles<br>1-2-3-4-5 | 10             | 1.571                   | 1240               | 51.8363                     | 122.074    | 151372.301   |
|                      | 12             | 1.131                   | 1180               | 20.3575                     | 47.942     | 56571.5134   |
|                      | 16             | 2.011                   | 1400               | 12.0637                     | 28.410     | 39774.071    |

Obteniendo un costo total de \$1.238.589 CLP.

### Vigas 55/70

Tabla 63: "Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 55/70 de Modelo 1"

| Nivel                | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|----------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Niveles<br>1-2-3-4-5 | 10             | 1.571                   | 1240               | 70.6858                     | 166.465    | 206416.775   |
|                      | 16             | 2.011                   | 1400               | 40.2124                     | 94.700     | 132580.237   |

Obteniendo un costo total de \$3.389.970 CLP.

## Losa de Hormigón

Se estableció que el acero de refuerzo iría tanto en la dirección X como en la dirección Y, estableciendo la cantidad de 14 barras de acero por metro cuadrado. Luego de cálculo el peso en kg de 1 m de acero de 10 mm de diámetro nos da como resultado 0.6165 kg/m. Finalmente, se multiplica la cantidad de barras por el término que calculamos anteriormente dado como resultado 8.63 kgf/m<sup>2</sup>.

A continuación, en la tabla 66 se muestra el cálculo para obtener el costo de acero.

Tabla 64: "Costos de acero de refuerzo para losa de hormigón".

| Elemento | b<br>m | h<br>m | Area<br>por<br>Unidad<br>m <sup>2</sup> | Cantidad<br>por Nivel<br>Unidad(es) | Area<br>por<br>nivel<br>m <sup>2</sup> | Masa por<br>Nivel<br>kg | Cant<br>de<br>Niveles | Masa por<br>Nivel<br>kg | Costo<br>CLP |
|----------|--------|--------|-----------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------|
| Losa     | 3.30   | 3.30   | 10.89                                   | 24                                  | 1306.8                                 | 11279.67794             | 5                     | 56398.3897              | 69934003.2   |
|          | 3.80   | 3.30   | 12.54                                   | 8                                   | 501.6                                  | 4329.573349             | 5                     | 21647.8667              | 26843354.8   |
|          | 3.30   | 2.80   | 9.24                                    | 10                                  | 462.00                                 | 3987.764927             | 5                     | 19938.8246              | 24724142.5   |
|          | 3.80   | 2.80   | 10.64                                   | 2                                   | 106.40                                 | 918.3943468             | 5                     | 4591.97173              | 5694044.95   |
|          | 6.60   | 2.20   | 14.52                                   | 1                                   | 72.60                                  | 626.6487742             | 5                     | 3133.24387              | 3885222.4    |
|          | 6.60   | 1.90   | 12.54                                   | 1                                   | 62.70                                  | 541.1966686             | 5                     | 2705.98334              | 3355419.35   |

Obteniendo un costo total para la Losa de Hormigón de \$134.436.187 CLP.

La suma del costo de acero de refuerzo de todos los elementos del Modelo 1 da como total \$236.492.680 CLP.

## 5.6.2 Cubicación de Acero de Refuerzo para Modelo 2.

### Muro 1

Tabla 65: "Cubicación Acero de Refuerzo para Muro 1 de Modelo 2"

| Nivel              | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|--------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Nivel 1            | 12             | 3.393                   | 1180               | 101.788                     | 239.710    | 282857.567   |
|                    | 10             | 0.785                   | 1240               | 274.104                     | 645.515    | 800438.381   |
|                    | 18             | 2.545                   | 1400               | 40.715                      | 95.884     | 134237.489   |
|                    | 22             | 3.801                   | 1600               | 334.517                     | 787.787    | 1260459.25   |
| Niveles<br>2-3-4-5 | 12             | 3.393                   | 1180               | 101.788                     | 239.710    | 282857.567   |
|                    | 10             | 0.785                   | 1240               | 274.104                     | 645.515    | 800438.381   |
|                    | 18             | 2.545                   | 1400               | 40.715                      | 95.884     | 134237.489   |
|                    | 22             | 3.801                   | 1600               | 273.696                     | 644.553    | 1031284.84   |

Obteniendo un costo total para el Muro 1 de \$11.473.266 CLP.

## Muro 2

Tabla 66: "Cubicación Acero de Refuerzo para Muro 2 de Modelo 2".

| Nivel              | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|--------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Nivel 1            | 12             | 3.393                   | 1180               | 101.788                     | 239.710    | 282857.567   |
|                    | 10             | 0.785                   | 1240               | 269.392                     | 634.417    | 786677.263   |
|                    | 18             | 2.545                   | 1550               | 40.715                      | 95.884     | 148620.078   |
|                    | 22             | 3.801                   | 1600               | 319.311                     | 751.979    | 1203165.65   |
| Niveles<br>2-3-4-5 | 12             | 3.393                   | 1180               | 101.788                     | 239.710    | 282857.567   |
|                    | 10             | 0.785                   | 1240               | 269.392                     | 634.417    | 786677.263   |
|                    | 18             | 2.545                   | 1550               | 40.715                      | 95.884     | 148620.078   |
|                    | 22             | 3.801                   | 1600               | 273.696                     | 644.553    | 1031284.84   |

Obteniendo un costo total para el Muro 2 de \$11.419.080 CLP.

## Muro 3

Tabla 67: "Cubicación Acero de Refuerzo para Muro 3 de Modelo 2".

| Nivel                | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|----------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Niveles<br>1-2-3-4-5 | 12             | 3.393                   | 1180               | 101.788                     | 239.710    | 282857.567   |
|                      | 12             | 1.131                   | 1180               | 220.540                     | 519.371    | 612858.062   |
|                      | 18             | 2.545                   | 1550               | 111.966                     | 263.681    | 408705.214   |

Obteniendo un costo total para el Muro 2 de \$6.522.104 CLP.

## Columnas 30x30

Tabla 68: "Cubicación Acero de Refuerzo para Columna 30x30 de Modelo 2".

| Nivel                | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|----------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Niveles<br>1-2-3-4-5 | 8              | 1.005                   | 1150               | 32.1699088                  | 75.760     | 87124.1554   |
|                      | 12             | 1.131                   | 1180               | 11.3097336                  | 26.634     | 31428.6186   |

Obteniendo un costo total de \$10.076.986 CLP.

## Columnas L

Tabla 69: "Cubicación Acero de Refuerzo para Columna L de Modelo 2".

| Nivel                | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|----------------------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Niveles<br>1-2-3-4-5 | 10             | 1.571                   | 1240               | 50.2655                     | 118.375    | 146785.262   |
|                      | 20             | 3.142                   | 1180               | 37.6991                     | 88.781     | 104762.062   |
|                      | 22             | 3.801                   | 1400               | 30.4106                     | 71.617     | 100263.804   |

Obteniendo un costo total de \$3.518.111 CLP.



## Vigas 30/50

Tabla 70: "Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 30/50 de Modelo 2".

| Nivel     | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|-----------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Niveles   | 8              | 1.005                   | 1150               | 19.1009                     | 44.983     | 51729.9673   |
| 1-2-3-4-5 | 12             | 1.131                   | 1180               | 11.3097                     | 26.634     | 31428.6186   |

Obteniendo un precio total de \$35.342.399 CLP.

## Vigas 30/70

Tabla 71: "Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 30/70 de Modelo 2".

| Nivel     | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|-----------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Niveles   | 10             | 1.571                   | 1240               | 67.5442                     | 159.067    | 197242.696   |
| 1-2-3-4-5 | 12             | 1.131                   | 1400               | 11.3097                     | 26.634     | 37288.1915   |

Obteniendo un costo total de \$1.172.654 CLP.

## Vigas 45/70

Tabla 72: "Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 45/70 de Modelo 2".

| Nivel     | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|-----------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Nivel     | 10             | 1.571                   | 1240               | 51.8363                     | 122.074    | 151372.301   |
| 1-2-3-4-5 | 16             | 2.011                   | 1400               | 32.1699                     | 75.760     | 106064.189   |

Obteniendo un costo total de \$1.287.182 CLP.

## Vigas 55/70

Tabla 73: "Cubicación Acero de Refuerzo para Viga 55/70 de Modelo 2".

| Nivel     | Diámetro<br>mm | Área<br>cm <sup>2</sup> | Precio x kg<br>CLP | Área req<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>kg | Costo<br>CLP |
|-----------|----------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| Nivel     | 10             | 1.571                   | 1240               | 70.6858                     | 166.465    | 206416.775   |
| 1-2-3-4-5 | 16             | 2.011                   | 1400               | 36.1911                     | 85.230     | 119322.213   |

Obteniendo un costo total de \$3.257.390 CLP.

La suma del costo de acero de refuerzo de todos los elementos del Modelo 2 da como total \$84,069,173CLP.

### 5.7 Comparación Constructiva.

En la comparación de los dos modelos estructurales, el Modelo 1 requiere 856 m<sup>3</sup> de hormigón y 120.429 kg de acero de refuerzo, mientras que el Modelo 2 utiliza 510 m<sup>3</sup> de hormigón y 8.842 kg de acero (Figura 34 y Figura 33). Esto muestra que el Modelo 2 reduce significativamente el consumo de hormigón y acero al incorporar losas de CLT.

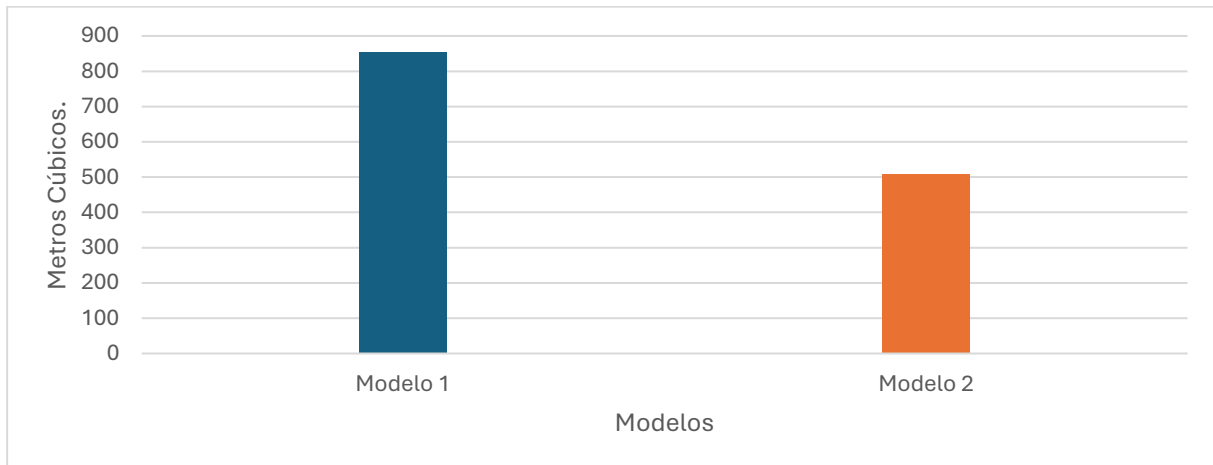


Figura 34: “Comparación de Volumen de Hormigón entre los Modelos, Fuente: Elaboración propia”.

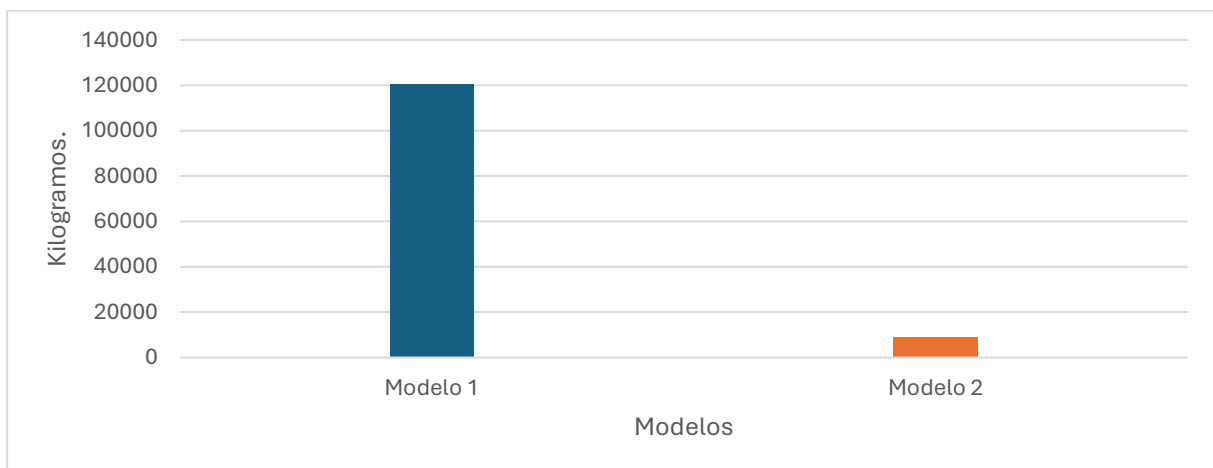


Figura 35: “Comparación de Kilogramos de Acero entre los Modelos, Fuente: Elaboración propia”.

En cuanto a la madera, para cubrir la superficie total de 2.387 m<sup>2</sup> se necesitan 37.833 listones de 2x6”, los cuales forman los paneles de CLT que constituyen el material estructural principal del Modelo 2.

Estos resultados reflejan que el uso de losas de madera permite disminuir la cantidad de hormigón y acero, manteniendo la funcionalidad estructural y contribuyendo a un diseño más eficiente en términos de materiales.

### 5.8 Comparación Económica.

Con los elementos de ambos modelos ya cubicados, se analizan los costos de cada material y componente, considerando las diferencias en hormigón, acero y paneles de CLT, para evaluar su impacto en el costo total de la estructura.

La Figura 30 presenta la comparación de costos asociados al hormigón en ambos modelos. El Modelo 1 alcanza \$92.418.896, correspondientes a 856 m<sup>3</sup> de hormigón, mientras que el Modelo 2 registra \$55.062.660 para un volumen de 510 m<sup>3</sup>. La diferencia se explica únicamente por la variación en el volumen de material requerido.

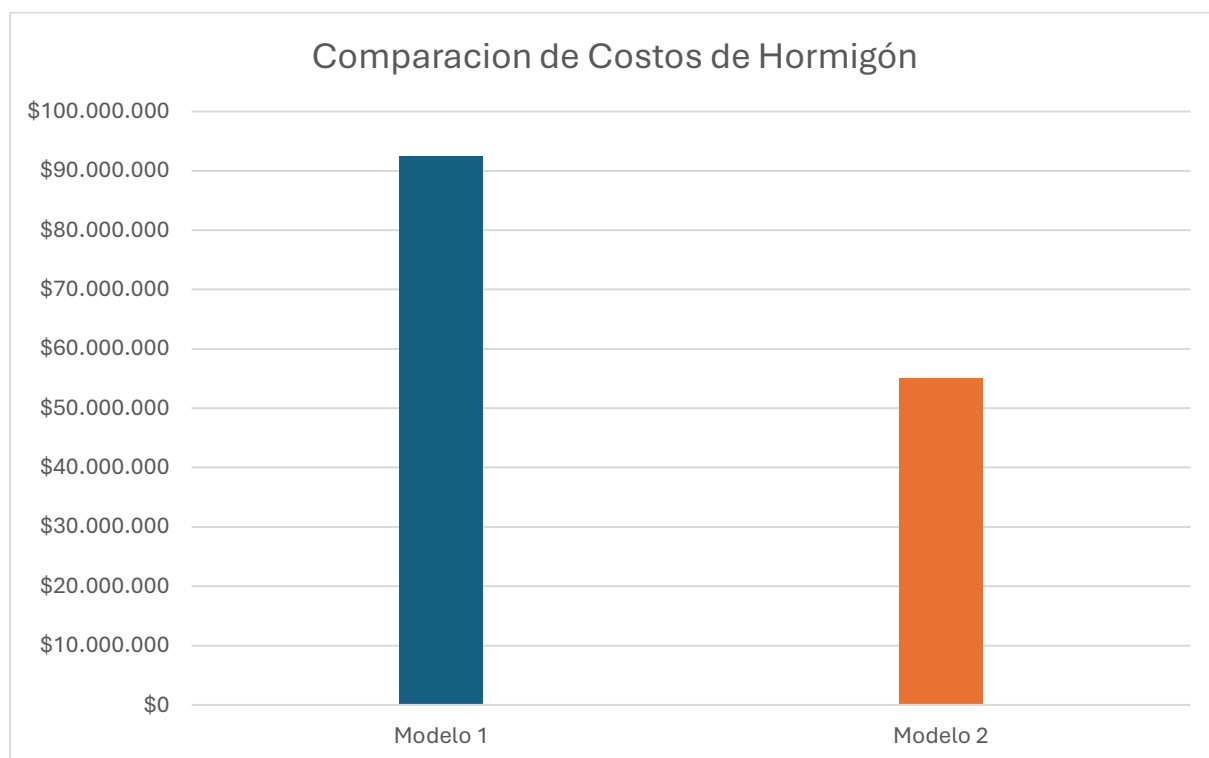


Figura 36: "Costos Asociados al Hormigón: Modelo 1 vs Modelo 2", Fuente: Elaboración propia".

La figura 31 muestra el costo del acero de refuerzo en ambos modelos. El Modelo 1 alcanza \$236.492.680, mientras que el Modelo 2 registra \$84.069.173. La diferencia se debe a que el Modelo 1 considera losas de hormigón armado, lo que requiere una mayor cuantía de acero.

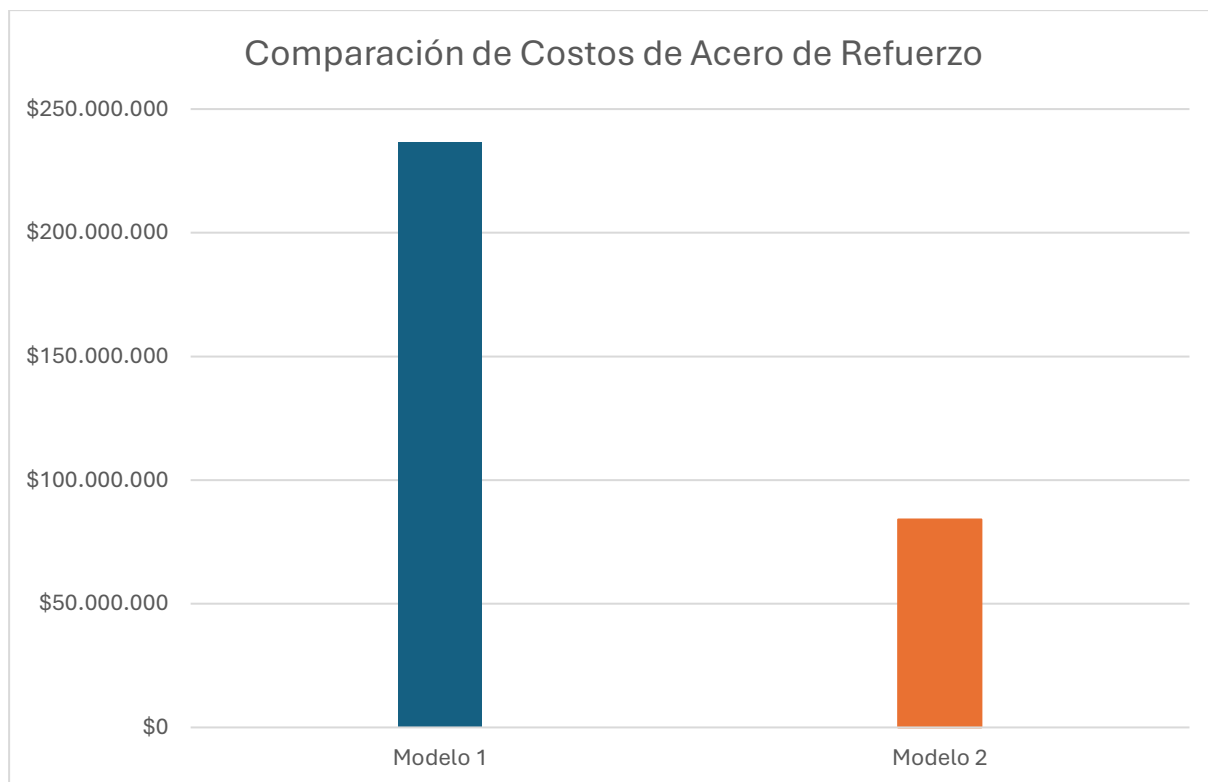
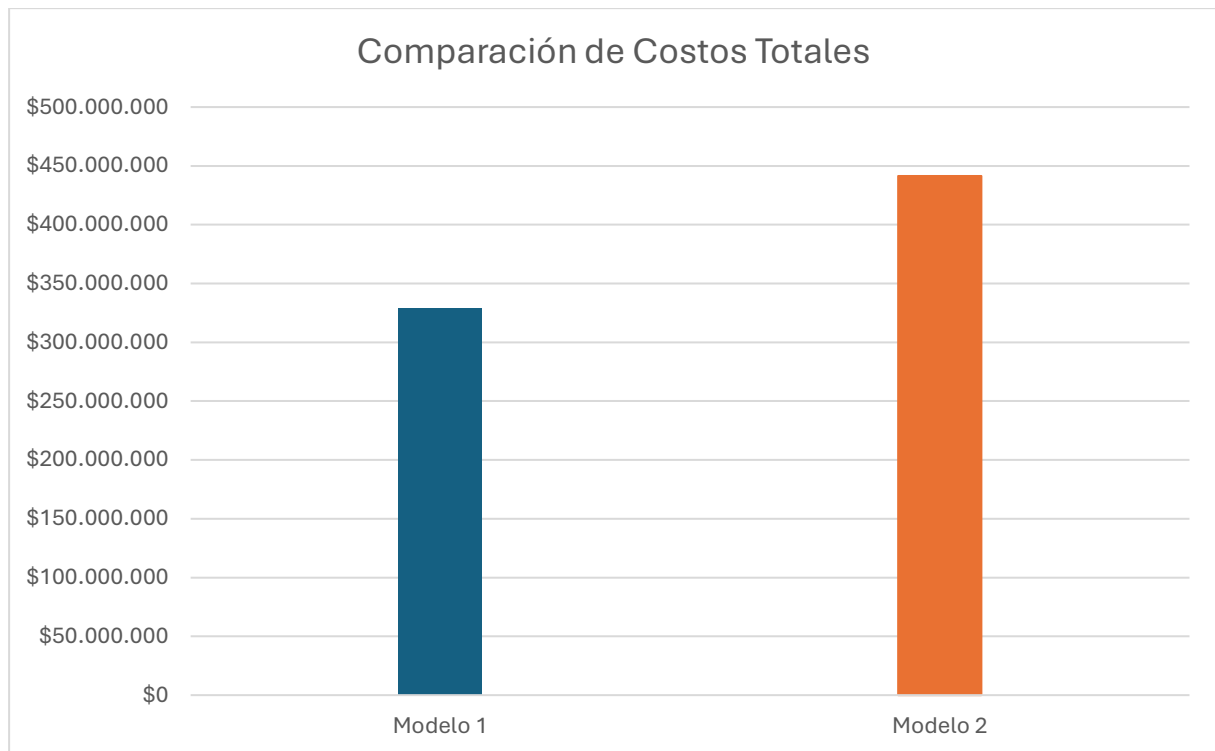


Figura 37: “Comparación de Costos de Acero de Refuerzo: Modelo 1 vs Modelo 2, Fuente: Elaboración propia”.

En el Modelo 2, al valor del hormigón y del acero se suma un costo estimado de \$302.282.905 por la construcción de los paneles de CLT, que constituyen la principal diferencia estructural con el Modelo 1. Este cálculo considera únicamente el material de los paneles y no incluye pegamento, mano de obra, transporte ni instalación, por lo que el costo total del modelo podría ser mayor. Al integrar este valor con los costos de hormigón y acero, se obtiene el costo total estimado del Modelo 2, que permite comparar directamente la inversión requerida frente al Modelo 1..

La figura 32 presenta la comparación de los costos totales de ambos modelos estructurales. El Modelo 1 alcanza \$328.911.576, mientras que el Modelo 2 asciende a \$441.414.738. La diferencia corresponde a \$112.503.162, equivalente a un 25,5 % superior en el Modelo 2. Este resultado se explica por el mayor costo asociado a los elementos de CLT en dicho modelo, que compensan el menor requerimiento de hormigón y acero respecto al Modelo 1. En consecuencia, si bien el Modelo 2 reduce volúmenes de hormigón y refuerzo, el costo de los elementos de madera contralaminada aumenta el costo final.



*Figura 38: “Comparación de Costos Totales entre Modelos, Fuente: Elaboración propia”..*

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES.

Se desarrolló un análisis comparativo del desempeño sísmico, constructivo y económico de una edificación habitacional de cinco niveles con sistema de marcos y núcleo de muros de hormigón armado. Se estudiaron dos alternativas de losas: una en hormigón armado y otra en madera contralaminada (CLT) más una sobrelosa de hormigón. El análisis se realizó mediante modelos de elementos finitos y bajo normativa chilena e internacional. Los resultados indican que el sistema con losas de hormigón armado presenta mayor rigidez, mientras que el sistema con losas de CLT reduce significativamente el peso propio, logrando una mejor respuesta frente a la acción sísmica y menores demandas en la cimentación.

Se realizó un análisis modal espectral en ETABS para comparar dos modelos de edificación de cinco niveles: uno con losas de hormigón armado (modelo 1) y otro con losas de CLT con sobrelosa de hormigón (modelo 2). El peso sísmico del modelo 1 fue 2599.47 tonf y el del modelo 2 fue 2119.57 tonf, con una reducción de 18.5%. El corte basal en el modelo 1 fue 555.19 tonf en la dirección X y 632.91 tonf en la dirección Y, mientras que en el modelo 2 fue 477.89 tonf y 521.58 tonf, lo que corresponde a reducciones de 13.9% y 17.6%, respectivamente. Sin embargo, esta reducción de masa también ocasiona un incremento en los periodos fundamentales y en las derivas, debido a la menor rigidez del diafragma de CLT frente al de hormigón armado.

Desde el punto de vista económico, al considerar únicamente la estimación de construcción de los paneles de CLT, el costo total asociado a este sistema resulta superior al del modelo de hormigón armado. Sin embargo, esta estimación no incluye pegamento, mano de obra, transporte ni instalación, y de manera similar, para la losa de hormigón tampoco se consideran elementos necesarios para su construcción, como moldajes, mano de obra o arriendo de maquinaria. Por tanto, una evaluación económica completa podría mostrar diferencias menores o incluso ventajas en ciertos escenarios. La viabilidad del sistema CLT debe analizarse considerando un estudio integral de costos, tiempos de construcción y otros beneficios asociados, como la rapidez de montaje o menor peso estructural.

En síntesis, el uso de CLT como elemento estructural en edificaciones de mediana altura es técnicamente factible y ofrece ventajas en reducción de peso y eficiencia constructiva. Esto se relaciona con el objetivo general del estudio, que consistió en analizar comparativamente el desempeño sísmico, constructivo y económico de un edificio habitacional de cinco niveles con losas de hormigón armado y losas de madera contralaminada CLT. Aunque el CLT presenta un costo de materiales mayor que el sistema tradicional, los resultados muestran que una solución híbrida (CLT + hormigón armado) puede combinar las ventajas de ambos sistemas y mejorar la respuesta sísmica y el desempeño global de la estructura.

Entre las limitaciones del estudio se encuentran el análisis económico simplificado, que no considera todos los costos de construcción, y la evaluación basada en un solo tipo de edificio y configuración estructural. Como futuras líneas de investigación, se sugiere analizar distintos tipos y alturas de edificaciones, incluir estudios más completos de costos y tiempos de construcción, así como evaluar sistemas de fundaciones, la interacción columna-viga o columna-losa, y los conectores entre paneles de CLT.

## CAPITULO VII: REFERENCIAS.

ACI (American Concrete Institute). (2009). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-09) and commentary*. American Concrete Institute.

ACI (American Concrete Institute). (2012). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-2012) and commentary*. American Concrete Institute.

ACI (American Concrete Institute). (2014). *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318SUS-14) (Versión en español y en unidades usuales en USA): Comentario a requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318RSUS-14)*. American Concrete Institute.

ACI (American Concrete Institute). (2019). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary*. American Concrete Institute.

AWC (American Wood Council). (2013). *U.S. edition of the CLT handbook: Cross-laminated timber*. American Wood Council.

AWC (American Wood Council). (2015). *National design specification (NDS) for wood construction*. American Wood Council. <https://awc.org/codes-standards/nds/>

AWC (American Wood Council). (2017). *National design specification (NDS) for wood construction (2018 ed.)*. American Wood Council.

AWC (American Wood Council). (2017). *Supplement national design specification (SNDS) for wood construction (2018 ed.)*. American Wood Council.

Bhardwaj, S., Ghosh, S., & Van de Lindt, J. W. (2021). *Experimental performance testing of cantilever cross-laminated timber (CLT) diaphragm under in-plane shear*. Forest Products Laboratory. [https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf2021/fpl\\_2021\\_bhardwaj001.pdf](https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf2021/fpl_2021_bhardwaj001.pdf).

Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering (4.<sup>a</sup> ed.)*. Prentice Hall.

CLT Handbook. (2013). *FPIInnovations CLT handbook: Cross-laminated timber (U.S. ed.)*. FPIInnovations.

Computers and Structures Inc. (2023). *ETABS – Integrated building design software*. Computers and Structures Inc. <https://www.csiamerica.com/products/etabs>



Computers and Structures Inc. (2023). SAP2000 – Structural analysis and design software. Computers and Structures Inc. <https://www.csiamerica.com/products/sap2000>

CORFO. (2018). Informe de avance N°2: Ingeniería sismorresistente para diseño estructural de edificios de mediana altura en madera contralaminada de pino radiata crecido en Chile. Gobierno de Chile, CORFO.

FPInnovations. (2011). Canadian edition of the CLT handbook: Cross-laminated timber. FPInnovations.

Fuentes, N. (2022). Comparación entre el diseño de losas de CLT y hormigón armado en sistemas estructurales sismo-resistentes: Pórticos especiales a momento [Memoria de título, Universidad San Sebastián].

Global GTC. (2024). Hormigón HN20-90%-20 C/7-8 Camión Mixer. Precio m<sup>3</sup>. Recuperado de <https://globalgtc.cl>

Gagnon, S., & Pirvu, C. (2014). CLT handbook: Cross-laminated timber. FPInnovations.

INFOR (Instituto Forestal). (2021). Manual de construcciones en madera. Instituto Forestal. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/6646>

INN (Instituto Nacional de Normalización). (2008). Hormigón – Requisitos generales (NCh430.Of2008). INN.

INN (Instituto Nacional de Normalización). (2009). Diseño estructural – Cargas permanentes y de uso (NCh1537.Of2009). INN.

INN (Instituto Nacional de Normalización). (2009). Madera – Estructuras – Diseño y cálculo (NCh1198.Of2006). INN.

INN (Instituto Nacional de Normalización). (2012). Diseño sísmico de edificios (NCh433.Of1996, Modificada 2012 + DS61). INN.

INN (Instituto Nacional de Normalización). (2014). Madera estructural – Determinación de propiedades mecánicas (NCh1137.Of2008). INN.

INN (Instituto Nacional de Normalización). (2017). Diseño estructural – Disposiciones generales y combinaciones de carga (NCh3171:2017). INN.

*MINVU. Decreto Supremo N°61: Reglamenta disposiciones para diseño sísmico de edificaciones en Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.*

*Pedraza, B. (2019). Propuesta de método de diseño estructural de elementos en CLT en base a la comparativa de normas internacionales [Memoria de título, Universidad San Sebastián].*

*Van de Lindt, J. W., Ghosh, S., & McCarter, W. J. (2020). Seismic performance factors for cross-laminated timber shear wall systems in the United States. Forest Products Laboratory. [https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf2020/fpl\\_2020\\_vandelindt001.pdf](https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf2020/fpl_2020_vandelindt001.pdf)*

## ANEXOS.

### ANEXO A - Resultados de Periodos.

Tabla 74: "Periodos y Participación Modal de Modelo 1".

| Case  | Mode | Period<br>sec | UX       | UY       | UZ | SumUX  | SumUY    | SumUZ | RX       | RY       | RZ       | SumRX    | SumRY  | SumRZ  |
|-------|------|---------------|----------|----------|----|--------|----------|-------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|
| Modal | 1    | 0.4           | 0.1568   | 9.03E-06 | 0  | 0.1568 | 9.03E-06 | 0     | 3.20E-06 | 0.0529   | 0.6412   | 3.20E-06 | 0.0529 | 0.6412 |
| Modal | 2    | 0.343         | 2.21E-06 | 0.768    | 0  | 0.1568 | 0.768    | 0     | 0.2697   | 7.31E-07 | 7.05E-06 | 0.2697   | 0.0529 | 0.6412 |
| Modal | 3    | 0.18          | 0.5882   | 0        | 0  | 0.745  | 0.768    | 0     | 0        | 0.2393   | 0.174    | 0.2697   | 0.2921 | 0.8152 |
| Modal | 4    | 0.122         | 0.0459   | 1.08E-06 | 0  | 0.7909 | 0.768    | 0     | 3.27E-06 | 0.0758   | 0.1003   | 0.2697   | 0.368  | 0.9155 |
| Modal | 5    | 0.098         | 0        | 0.1593   | 0  | 0.7909 | 0.9273   | 0     | 0.5186   | 7.16E-07 | 6.79E-07 | 0.7883   | 0.368  | 0.9155 |
| Modal | 6    | 0.067         | 0.0019   | 0        | 0  | 0.7928 | 0.9273   | 0     | 5.92E-07 | 0.0037   | 0.0408   | 0.7883   | 0.3717 | 0.9563 |
| Modal | 7    | 0.053         | 0        | 1.00E-04 | 0  | 0.7928 | 0.9273   | 0     | 0.0004   | 0        | 0        | 0.7887   | 0.3717 | 0.9563 |
| Modal | 8    | 0.052         | 0.1576   | 0        | 0  | 0.9503 | 0.9273   | 0     | 0        | 0.4663   | 0.0238   | 0.7887   | 0.838  | 0.9801 |
| Modal | 9    | 0.05          | 0        | 0.0493   | 0  | 0.9503 | 0.9767   | 0     | 0.1309   | 6.89E-07 | 0        | 0.9196   | 0.838  | 0.9801 |
| Modal | 10   | 0.048         | 0.0028   | 0.00E+00 | 0  | 0.9531 | 0.9767   | 0     | 0        | 0.0085   | 0.0113   | 0.9196   | 0.8465 | 0.9914 |
| Modal | 11   | 0.047         | 0        | 2.60E-06 | 0  | 0.9531 | 0.9767   | 0     | 2.27E-05 | 0        | 0        | 0.9196   | 0.8465 | 0.9914 |
| Modal | 12   | 0.04          | 0.0009   | 0        | 0  | 0.954  | 0.9767   | 0     | 0        | 0.0026   | 0.0024   | 0.9196   | 0.8491 | 0.9938 |
| Modal | 13   | 0.039         | 0        | 0.0014   | 0  | 0.954  | 0.978    | 0     | 0.0039   | 0        | 0        | 0.9235   | 0.8491 | 0.9938 |
| Modal | 14   | 0.034         | 0        | 0.0162   | 0  | 0.954  | 0.9943   | 0     | 0.0571   | 0        | 0        | 0.9806   | 0.8491 | 0.9938 |
| Modal | 15   | 0.031         | 0        | 0.0016   | 0  | 0.954  | 0.9959   | 0     | 0.0059   | 0        | 0        | 0.9865   | 0.8491 | 0.9938 |

Tabla 75: "Periodos y Participación Modal de Modelo 2

| Case  | Mode | Period<br>sec | UX       | UY       | UZ | SumUX  |
|-------|------|---------------|----------|----------|----|--------|
| Modal | 1    | 0.384         | 0.1512   | 1.46E-05 | 0  | 0.1512 |
| Modal | 2    | 0.331         | 3.43E-06 | 0.7893   | 0  | 0.1512 |
| Modal | 3    | 0.191         | 0.6141   | 0        | 0  | 0.7653 |
| Modal | 4    | 0.122         | 0.0329   | 1.67E-06 | 0  | 0.7982 |
| Modal | 5    | 0.1           | 0        | 0.1428   | 0  | 0.7982 |
| Modal | 6    | 0.08          | 0        | 0.0001   | 0  | 0.7982 |
| Modal | 7    | 0.07          | 0        | 2.20E-03 | 0  | 0.7982 |
| Modal | 8    | 0.069         | 0.0016   | 0        | 0  | 0.7998 |
| Modal | 9    | 0.06          | 0        | 0.0075   | 0  | 0.7998 |
| Modal | 10   | 0.057         | 0.152    | 0.00E+00 | 0  | 0.9518 |
| Modal | 11   | 0.051         | 0        | 3.83E-02 | 0  | 0.9518 |
| Modal | 12   | 0.05          | 0.0026   | 0        | 0  | 0.9544 |
| Modal | 13   | 0.047         | 0        | 0.0006   | 0  | 0.9544 |
| Modal | 14   | 0.042         | 0.0007   | 0        | 0  | 0.955  |
| Modal | 15   | 0.038         | 0        | 0.0005   | 0  | 0.955  |

## ANEXO B – Espectro Elástico y de Diseño.

Tabla 76: “Espectro Elástico y de Diseño de Modelo 1”.

| Periodo (Tn) | $\alpha$ | Aceleración<br>Elástica<br>(SAE) | Aceleración de<br>Diseño (SAD) |
|--------------|----------|----------------------------------|--------------------------------|
| s            | –        | m/s <sup>2</sup>                 | m/s <sup>2</sup>               |
| 0.00         | 1.00     | 4.71                             | 1.11                           |
| 0.05         | 1.30     | 6.12                             | 1.45                           |
| 0.10         | 1.60     | 7.52                             | 1.78                           |
| 0.15         | 1.88     | 8.88                             | 2.10                           |
| 0.20         | 2.16     | 10.17                            | 2.40                           |
| 0.25         | 2.41     | 11.35                            | 2.68                           |
| 0.30         | 2.63     | 12.39                            | 2.93                           |
| 0.35         | 2.81     | 13.25                            | 3.13                           |
| 0.40         | 2.95     | 13.90                            | 3.29                           |
| 0.45         | 3.04     | 14.33                            | 3.39                           |
| 0.50         | 3.09     | 14.53                            | 3.43                           |
| 0.55         | 3.08     | 14.52                            | 3.43                           |
| 0.60         | 3.04     | 14.33                            | 3.39                           |
| 0.65         | 2.97     | 13.98                            | 3.30                           |
| 0.70         | 2.87     | 13.51                            | 3.19                           |
| 0.75         | 2.75     | 12.95                            | 3.06                           |
| 0.80         | 2.62     | 12.34                            | 2.92                           |
| 0.85         | 2.48     | 11.70                            | 2.76                           |
| 0.90         | 2.35     | 11.05                            | 2.61                           |
| 0.95         | 2.21     | 10.40                            | 2.46                           |
| 1.00         | 2.08     | 9.78                             | 2.31                           |
| 1.05         | 1.95     | 9.18                             | 2.17                           |
| 1.10         | 1.83     | 8.61                             | 2.04                           |
| 1.15         | 1.72     | 8.08                             | 1.91                           |
| 1.20         | 1.61     | 7.58                             | 1.79                           |
| 1.25         | 1.51     | 7.11                             | 1.68                           |
| 1.30         | 1.42     | 6.68                             | 1.58                           |
| 1.35         | 1.33     | 6.27                             | 1.48                           |
| 1.40         | 1.25     | 5.90                             | 1.39                           |
| 1.45         | 1.18     | 5.55                             | 1.31                           |
| 1.50         | 1.11     | 5.23                             | 1.24                           |
| 1.55         | 1.05     | 4.94                             | 1.17                           |
| 1.60         | 0.99     | 4.66                             | 1.10                           |
| 1.65         | 0.94     | 4.41                             | 1.04                           |
| 1.70         | 0.89     | 4.17                             | 0.99                           |
| 1.72         | 0.87     | 4.08                             | 0.96                           |
| 1.80         | 0.80     | 3.75                             | 0.89                           |
| 1.85         | 0.76     | 3.56                             | 0.84                           |
| 1.90         | 0.72     | 3.38                             | 0.80                           |
| 1.95         | 0.68     | 3.22                             | 0.76                           |

|             |      |      |      |
|-------------|------|------|------|
| <b>2.00</b> | 0.65 | 3.07 | 0.72 |
| <b>2.05</b> | 0.62 | 2.92 | 0.69 |
| <b>2.10</b> | 0.59 | 2.79 | 0.66 |
| <b>2.15</b> | 0.57 | 2.67 | 0.63 |
| <b>2.20</b> | 0.54 | 2.55 | 0.60 |
| <b>2.25</b> | 0.52 | 2.44 | 0.58 |
| <b>2.30</b> | 0.50 | 2.34 | 0.55 |
| <b>2.35</b> | 0.48 | 2.24 | 0.53 |
| <b>2.40</b> | 0.46 | 2.15 | 0.51 |
| <b>2.45</b> | 0.44 | 2.06 | 0.49 |
| <b>2.50</b> | 0.42 | 1.98 | 0.47 |
| <b>2.55</b> | 0.40 | 1.90 | 0.45 |
| <b>2.60</b> | 0.39 | 1.83 | 0.43 |
| <b>2.65</b> | 0.37 | 1.76 | 0.42 |
| <b>2.70</b> | 0.36 | 1.70 | 0.40 |
| <b>2.75</b> | 0.35 | 1.64 | 0.39 |
| <b>2.80</b> | 0.34 | 1.58 | 0.37 |
| <b>2.85</b> | 0.32 | 1.53 | 0.36 |
| <b>2.90</b> | 0.31 | 1.47 | 0.35 |
| <b>2.95</b> | 0.30 | 1.42 | 0.34 |
| <b>3.00</b> | 0.29 | 1.38 | 0.33 |
| <b>3.05</b> | 0.28 | 1.33 | 0.31 |
| <b>3.10</b> | 0.27 | 1.29 | 0.30 |
| <b>3.15</b> | 0.27 | 1.25 | 0.29 |
| <b>3.20</b> | 0.26 | 1.21 | 0.29 |
| <b>3.25</b> | 0.25 | 1.17 | 0.28 |
| <b>3.30</b> | 0.24 | 1.14 | 0.27 |
| <b>3.35</b> | 0.23 | 1.10 | 0.26 |
| <b>3.40</b> | 0.23 | 1.07 | 0.25 |
| <b>3.45</b> | 0.22 | 1.04 | 0.25 |
| <b>3.50</b> | 0.21 | 1.01 | 0.24 |
| <b>3.55</b> | 0.21 | 0.98 | 0.23 |
| <b>3.60</b> | 0.20 | 0.95 | 0.23 |
| <b>3.65</b> | 0.20 | 0.93 | 0.22 |
| <b>3.70</b> | 0.19 | 0.90 | 0.21 |
| <b>3.75</b> | 0.19 | 0.88 | 0.21 |
| <b>3.80</b> | 0.18 | 0.86 | 0.20 |
| <b>3.85</b> | 0.18 | 0.83 | 0.20 |
| <b>3.90</b> | 0.17 | 0.81 | 0.19 |
| <b>3.95</b> | 0.17 | 0.79 | 0.19 |
| <b>4.00</b> | 0.16 | 0.77 | 0.18 |
| <b>4.05</b> | 0.16 | 0.75 | 0.18 |
| <b>4.10</b> | 0.16 | 0.73 | 0.17 |
| <b>4.15</b> | 0.15 | 0.72 | 0.17 |
| <b>4.20</b> | 0.15 | 0.70 | 0.17 |
| <b>4.25</b> | 0.14 | 0.68 | 0.16 |
| <b>4.30</b> | 0.14 | 0.67 | 0.16 |
| <b>4.35</b> | 0.14 | 0.65 | 0.15 |

|      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| 4.40 | 0.14 | 0.64 | 0.15 |
| 4.45 | 0.13 | 0.62 | 0.15 |
| 4.50 | 0.13 | 0.61 | 0.14 |
| 4.55 | 0.13 | 0.59 | 0.14 |
| 4.60 | 0.12 | 0.58 | 0.14 |
| 4.65 | 0.12 | 0.57 | 0.13 |
| 4.70 | 0.12 | 0.56 | 0.13 |
| 4.75 | 0.12 | 0.54 | 0.13 |
| 4.80 | 0.11 | 0.53 | 0.13 |
| 4.85 | 0.11 | 0.52 | 0.12 |
| 4.90 | 0.11 | 0.51 | 0.12 |
| 4.95 | 0.11 | 0.50 | 0.12 |
| 5.00 | 0.10 | 0.49 | 0.12 |

Tabla 77: “Espectro Elástico y de Diseño de Modelo 2”.

| Periodo (Tn) | $\alpha$ | Aceleración<br>Elástica<br>(SAE)<br>m/s <sup>2</sup> | Aceleración de<br>Diseño (SAD)<br>m/s <sup>2</sup> |
|--------------|----------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| s            | —        |                                                      |                                                    |
| 0.00         | 1.00     | 4.71                                                 | 1.13                                               |
| 0.05         | 1.03     | 4.87                                                 | 1.17                                               |
| 0.10         | 1.12     | 5.26                                                 | 1.27                                               |
| 0.15         | 1.24     | 5.83                                                 | 1.41                                               |
| 0.20         | 1.39     | 6.55                                                 | 1.58                                               |
| 0.25         | 1.56     | 7.37                                                 | 1.78                                               |
| 0.30         | 1.75     | 8.25                                                 | 1.99                                               |
| 0.35         | 1.94     | 9.15                                                 | 2.21                                               |
| 0.40         | 2.13     | 10.02                                                | 2.42                                               |
| 0.45         | 2.30     | 10.82                                                | 2.61                                               |
| 0.50         | 2.44     | 11.51                                                | 2.77                                               |
| 0.55         | 2.56     | 12.07                                                | 2.91                                               |
| 0.60         | 2.65     | 12.49                                                | 3.01                                               |
| 0.65         | 2.71     | 12.77                                                | 3.08                                               |
| 0.70         | 2.74     | 12.92                                                | 3.11                                               |
| 0.75         | 2.75     | 12.95                                                | 3.12                                               |
| 0.80         | 2.74     | 12.88                                                | 3.10                                               |
| 0.85         | 2.70     | 12.73                                                | 3.07                                               |
| 0.90         | 2.66     | 12.51                                                | 3.01                                               |
| 0.95         | 2.60     | 12.25                                                | 2.95                                               |
| 1.00         | 2.54     | 11.95                                                | 2.88                                               |
| 1.05         | 2.47     | 11.63                                                | 2.80                                               |
| 1.10         | 2.40     | 11.29                                                | 2.72                                               |
| 1.15         | 2.33     | 10.95                                                | 2.64                                               |
| 1.20         | 2.25     | 10.61                                                | 2.56                                               |
| 1.25         | 2.18     | 10.28                                                | 2.48                                               |
| 1.30         | 2.11     | 9.95                                                 | 2.40                                               |

|             |      |      |      |
|-------------|------|------|------|
| <b>1.35</b> | 2.04 | 9.62 | 2.32 |
| <b>1.40</b> | 1.98 | 9.31 | 2.24 |
| <b>1.45</b> | 1.91 | 9.01 | 2.17 |
| <b>1.50</b> | 1.85 | 8.72 | 2.10 |
| <b>1.55</b> | 1.79 | 8.44 | 2.03 |
| <b>1.60</b> | 1.74 | 8.18 | 1.97 |
| <b>1.65</b> | 1.68 | 7.92 | 1.91 |
| <b>1.70</b> | 1.63 | 7.68 | 1.85 |
| <b>1.72</b> | 1.61 | 7.59 | 1.83 |
| <b>1.80</b> | 1.54 | 7.23 | 1.74 |
| <b>1.85</b> | 1.49 | 7.02 | 1.69 |
| <b>1.90</b> | 1.45 | 6.82 | 1.64 |
| <b>1.95</b> | 1.41 | 6.62 | 1.60 |
| <b>2.00</b> | 1.37 | 6.44 | 1.55 |
| <b>2.05</b> | 1.33 | 6.26 | 1.51 |
| <b>2.10</b> | 1.29 | 6.10 | 1.47 |
| <b>2.15</b> | 1.26 | 5.94 | 1.43 |
| <b>2.20</b> | 1.23 | 5.78 | 1.39 |
| <b>2.25</b> | 1.20 | 5.64 | 1.36 |
| <b>2.30</b> | 1.17 | 5.50 | 1.32 |
| <b>2.35</b> | 1.14 | 5.36 | 1.29 |
| <b>2.40</b> | 1.11 | 5.23 | 1.26 |
| <b>2.45</b> | 1.08 | 5.11 | 1.23 |
| <b>2.50</b> | 1.06 | 4.99 | 1.20 |
| <b>2.55</b> | 1.04 | 4.87 | 1.17 |
| <b>2.60</b> | 1.01 | 4.77 | 1.15 |
| <b>2.65</b> | 0.99 | 4.66 | 1.12 |
| <b>2.70</b> | 0.97 | 4.56 | 1.10 |
| <b>2.75</b> | 0.95 | 4.46 | 1.08 |
| <b>2.80</b> | 0.93 | 4.37 | 1.05 |
| <b>2.85</b> | 0.91 | 4.28 | 1.03 |
| <b>2.90</b> | 0.89 | 4.19 | 1.01 |
| <b>2.95</b> | 0.87 | 4.11 | 0.99 |
| <b>3.00</b> | 0.85 | 4.03 | 0.97 |
| <b>3.05</b> | 0.84 | 3.95 | 0.95 |
| <b>3.10</b> | 0.82 | 3.87 | 0.93 |
| <b>3.15</b> | 0.81 | 3.80 | 0.92 |
| <b>3.20</b> | 0.79 | 3.73 | 0.90 |
| <b>3.25</b> | 0.78 | 3.66 | 0.88 |
| <b>3.30</b> | 0.76 | 3.59 | 0.87 |
| <b>3.35</b> | 0.75 | 3.53 | 0.85 |
| <b>3.40</b> | 0.74 | 3.47 | 0.84 |
| <b>3.45</b> | 0.72 | 3.41 | 0.82 |
| <b>3.50</b> | 0.71 | 3.35 | 0.81 |
| <b>3.55</b> | 0.70 | 3.29 | 0.79 |
| <b>3.60</b> | 0.69 | 3.24 | 0.78 |
| <b>3.65</b> | 0.68 | 3.19 | 0.77 |
| <b>3.70</b> | 0.67 | 3.13 | 0.76 |



|             |      |      |      |
|-------------|------|------|------|
| <b>3.75</b> | 0.66 | 3.08 | 0.74 |
| <b>3.80</b> | 0.64 | 3.04 | 0.73 |
| <b>3.85</b> | 0.63 | 2.99 | 0.72 |
| <b>3.90</b> | 0.62 | 2.94 | 0.71 |
| <b>3.95</b> | 0.62 | 2.90 | 0.70 |
| <b>4.00</b> | 0.61 | 2.85 | 0.69 |
| <b>4.05</b> | 0.60 | 2.81 | 0.68 |
| <b>4.10</b> | 0.59 | 2.77 | 0.67 |
| <b>4.15</b> | 0.58 | 2.73 | 0.66 |
| <b>4.20</b> | 0.57 | 2.69 | 0.65 |
| <b>4.25</b> | 0.56 | 2.65 | 0.64 |
| <b>4.30</b> | 0.56 | 2.62 | 0.63 |
| <b>4.35</b> | 0.55 | 2.58 | 0.62 |
| <b>4.40</b> | 0.54 | 2.55 | 0.61 |
| <b>4.45</b> | 0.53 | 2.51 | 0.61 |
| <b>4.50</b> | 0.53 | 2.48 | 0.60 |
| <b>4.55</b> | 0.52 | 2.45 | 0.59 |
| <b>4.60</b> | 0.51 | 2.41 | 0.58 |
| <b>4.65</b> | 0.51 | 2.38 | 0.57 |
| <b>4.70</b> | 0.50 | 2.35 | 0.57 |
| <b>4.75</b> | 0.49 | 2.32 | 0.56 |
| <b>4.80</b> | 0.49 | 2.29 | 0.55 |
| <b>4.85</b> | 0.48 | 2.26 | 0.55 |
| <b>4.90</b> | 0.48 | 2.24 | 0.54 |
| <b>4.95</b> | 0.47 | 2.21 | 0.53 |
| <b>5.00</b> | 0.46 | 2.18 | 0.53 |

## ANEXO C – Espectro de Desplazamiento.

Tabla 78: "Espectro de Desplazamiento y Deformaciones de Modelo 1".

| Periodo (Tn)<br>s | $\alpha$<br>— | Sde(Tn X), s | Sde(Tn Y).<br>s | duX   | duY   |
|-------------------|---------------|--------------|-----------------|-------|-------|
| 0.00              | 1.00          | 0.5440       | 1.975           | 0.707 | 2.568 |
| 0.05              | 1.30          | 0.7070       | 2.567           | 0.919 | 3.337 |
| 0.10              | 1.60          | 0.8683       | 3.153           | 1.129 | 4.099 |
| 0.15              | 1.88          | 1.0254       | 3.723           | 1.333 | 4.840 |
| 0.20              | 2.16          | 1.1745       | 4.265           | 1.527 | 5.544 |
| 0.25              | 2.41          | 1.3114       | 4.762           | 1.705 | 6.190 |
| 0.30              | 2.63          | 1.4315       | 5.198           | 1.861 | 6.757 |
| 0.35              | 2.81          | 1.5308       | 5.558           | 1.990 | 7.226 |
| 0.40              | 2.95          | 1.6059       | 5.831           | 2.088 | 7.581 |
| 0.45              | 3.04          | 1.6552       | 6.010           | 2.152 | 7.813 |
| 0.50              | 3.09          | 1.6786       | 6.095           | 2.182 | 7.924 |
| 0.55              | 3.08          | 1.6775       | 6.091           | 2.181 | 7.919 |
| 0.60              | 3.04          | 1.6550       | 6.009           | 2.151 | 7.812 |
| 0.65              | 2.97          | 1.6145       | 5.862           | 2.099 | 7.621 |
| 0.70              | 2.87          | 1.5602       | 5.665           | 2.028 | 7.365 |
| 0.75              | 2.75          | 1.4959       | 5.432           | 1.945 | 7.062 |
| 0.80              | 2.62          | 1.4253       | 5.175           | 1.853 | 6.728 |
| 0.85              | 2.48          | 1.3512       | 4.907           | 1.757 | 6.379 |
| 0.90              | 2.35          | 1.2762       | 4.634           | 1.659 | 6.024 |
| 0.95              | 2.21          | 1.2019       | 4.364           | 1.563 | 5.674 |
| 1.00              | 2.08          | 1.1298       | 4.102           | 1.469 | 5.333 |
| 1.05              | 1.95          | 1.0606       | 3.851           | 1.379 | 5.007 |
| 1.10              | 1.83          | 0.9950       | 3.613           | 1.294 | 4.697 |
| 1.15              | 1.72          | 0.9332       | 3.389           | 1.213 | 4.405 |
| 1.20              | 1.61          | 0.8753       | 3.178           | 1.138 | 4.132 |
| 1.25              | 1.51          | 0.8213       | 2.982           | 1.068 | 3.877 |
| 1.30              | 1.42          | 0.7711       | 2.800           | 1.002 | 3.640 |
| 1.35              | 1.33          | 0.7246       | 2.631           | 0.942 | 3.420 |
| 1.40              | 1.25          | 0.6814       | 2.474           | 0.886 | 3.217 |
| 1.45              | 1.18          | 0.6414       | 2.329           | 0.834 | 3.028 |
| 1.50              | 1.11          | 0.6044       | 2.195           | 0.786 | 2.853 |
| 1.55              | 1.05          | 0.5702       | 2.070           | 0.741 | 2.691 |
| 1.60              | 0.99          | 0.5384       | 1.955           | 0.700 | 2.542 |
| 1.65              | 0.94          | 0.5090       | 1.848           | 0.662 | 2.403 |
| 1.70              | 0.89          | 0.4818       | 1.749           | 0.626 | 2.274 |
| 1.72              | 0.87          | 0.4714       | 1.712           | 0.613 | 2.225 |
| 1.80              | 0.80          | 0.4330       | 1.572           | 0.563 | 2.044 |
| 1.85              | 0.76          | 0.4112       | 1.493           | 0.535 | 1.941 |
| 1.90              | 0.72          | 0.3908       | 1.419           | 0.508 | 1.845 |
| 1.95              | 0.68          | 0.3719       | 1.350           | 0.483 | 1.756 |
| 2.00              | 0.65          | 0.3542       | 1.286           | 0.461 | 1.672 |
| 2.05              | 0.62          | 0.3377       | 1.226           | 0.439 | 1.594 |

|      |      |        |       |       |       |
|------|------|--------|-------|-------|-------|
| 2.10 | 0.59 | 0.3223 | 1.170 | 0.419 | 1.522 |
| 2.15 | 0.57 | 0.3079 | 1.118 | 0.400 | 1.453 |
| 2.20 | 0.54 | 0.2944 | 1.069 | 0.383 | 1.390 |
| 2.25 | 0.52 | 0.2817 | 1.023 | 0.366 | 1.330 |
| 2.30 | 0.50 | 0.2698 | 0.980 | 0.351 | 1.274 |
| 2.35 | 0.48 | 0.2586 | 0.939 | 0.336 | 1.221 |
| 2.40 | 0.46 | 0.2481 | 0.901 | 0.323 | 1.171 |
| 2.45 | 0.44 | 0.2382 | 0.865 | 0.310 | 1.124 |
| 2.50 | 0.42 | 0.2288 | 0.831 | 0.297 | 1.080 |
| 2.55 | 0.40 | 0.2200 | 0.799 | 0.286 | 1.038 |
| 2.60 | 0.39 | 0.2117 | 0.769 | 0.275 | 0.999 |
| 2.65 | 0.37 | 0.2038 | 0.740 | 0.265 | 0.962 |
| 2.70 | 0.36 | 0.1963 | 0.713 | 0.255 | 0.927 |
| 2.75 | 0.35 | 0.1893 | 0.687 | 0.246 | 0.893 |
| 2.80 | 0.34 | 0.1826 | 0.663 | 0.237 | 0.862 |
| 2.85 | 0.32 | 0.1762 | 0.640 | 0.229 | 0.832 |
| 2.90 | 0.31 | 0.1702 | 0.618 | 0.221 | 0.803 |
| 2.95 | 0.30 | 0.1645 | 0.597 | 0.214 | 0.776 |
| 3.00 | 0.29 | 0.1590 | 0.577 | 0.207 | 0.751 |
| 3.05 | 0.28 | 0.1538 | 0.559 | 0.200 | 0.726 |
| 3.10 | 0.27 | 0.1489 | 0.541 | 0.194 | 0.703 |
| 3.15 | 0.27 | 0.1442 | 0.523 | 0.187 | 0.681 |
| 3.20 | 0.26 | 0.1397 | 0.507 | 0.182 | 0.659 |
| 3.25 | 0.25 | 0.1354 | 0.492 | 0.176 | 0.639 |
| 3.30 | 0.24 | 0.1313 | 0.477 | 0.171 | 0.620 |
| 3.35 | 0.23 | 0.1274 | 0.462 | 0.166 | 0.601 |
| 3.40 | 0.23 | 0.1236 | 0.449 | 0.161 | 0.584 |
| 3.45 | 0.22 | 0.1200 | 0.436 | 0.156 | 0.567 |
| 3.50 | 0.21 | 0.1166 | 0.423 | 0.152 | 0.550 |
| 3.55 | 0.21 | 0.1133 | 0.411 | 0.147 | 0.535 |
| 3.60 | 0.20 | 0.1102 | 0.400 | 0.143 | 0.520 |
| 3.65 | 0.20 | 0.1071 | 0.389 | 0.139 | 0.506 |
| 3.70 | 0.19 | 0.1042 | 0.379 | 0.136 | 0.492 |
| 3.75 | 0.19 | 0.1015 | 0.368 | 0.132 | 0.479 |
| 3.80 | 0.18 | 0.0988 | 0.359 | 0.128 | 0.466 |
| 3.85 | 0.18 | 0.0962 | 0.349 | 0.125 | 0.454 |
| 3.90 | 0.17 | 0.0937 | 0.340 | 0.122 | 0.442 |
| 3.95 | 0.17 | 0.0913 | 0.332 | 0.119 | 0.431 |
| 4.00 | 0.16 | 0.0891 | 0.323 | 0.116 | 0.420 |
| 4.05 | 0.16 | 0.0868 | 0.315 | 0.113 | 0.410 |
| 4.10 | 0.16 | 0.0847 | 0.308 | 0.110 | 0.400 |
| 4.15 | 0.15 | 0.0827 | 0.300 | 0.107 | 0.390 |
| 4.20 | 0.15 | 0.0807 | 0.293 | 0.105 | 0.381 |
| 4.25 | 0.14 | 0.0788 | 0.286 | 0.102 | 0.372 |
| 4.30 | 0.14 | 0.0769 | 0.279 | 0.100 | 0.363 |
| 4.35 | 0.14 | 0.0752 | 0.273 | 0.098 | 0.355 |
| 4.40 | 0.14 | 0.0735 | 0.267 | 0.095 | 0.347 |
| 4.45 | 0.13 | 0.0718 | 0.261 | 0.093 | 0.339 |

|             |      |        |       |       |       |
|-------------|------|--------|-------|-------|-------|
| <b>4.50</b> | 0.13 | 0.0702 | 0.255 | 0.091 | 0.331 |
| <b>4.55</b> | 0.13 | 0.0686 | 0.249 | 0.089 | 0.324 |
| <b>4.60</b> | 0.12 | 0.0671 | 0.244 | 0.087 | 0.317 |
| <b>4.65</b> | 0.12 | 0.0657 | 0.239 | 0.085 | 0.310 |
| <b>4.70</b> | 0.12 | 0.0643 | 0.233 | 0.084 | 0.303 |
| <b>4.75</b> | 0.12 | 0.0629 | 0.228 | 0.082 | 0.297 |
| <b>4.80</b> | 0.11 | 0.0616 | 0.224 | 0.080 | 0.291 |
| <b>4.85</b> | 0.11 | 0.0603 | 0.219 | 0.078 | 0.285 |
| <b>4.90</b> | 0.11 | 0.0591 | 0.215 | 0.077 | 0.279 |
| <b>4.95</b> | 0.11 | 0.0579 | 0.210 | 0.075 | 0.273 |
| <b>5.00</b> | 0.10 | 0.0567 | 0.206 | 0.074 | 0.268 |

Tabla 79: "Espectro de Desplazamiento de Modelo 2".

| Periodo (Tn) | Sde(Tn X) | Sde(Tn Y) | duX    | duY    |
|--------------|-----------|-----------|--------|--------|
| s            | cm        | cm        |        |        |
| 0.00         | 0.6125    | 1.0884    | 0.7962 | 1.4150 |
| 0.05         | 0.6334    | 1.1255    | 0.8234 | 1.4632 |
| 0.10         | 0.6842    | 1.2158    | 0.8894 | 1.5806 |
| 0.15         | 0.7585    | 1.3480    | 0.9861 | 1.7524 |
| 0.20         | 0.8516    | 1.5134    | 1.1071 | 1.9675 |
| 0.25         | 0.9585    | 1.7033    | 1.2460 | 2.2143 |
| 0.30         | 1.0735    | 1.9076    | 1.3955 | 2.4799 |
| 0.35         | 1.1906    | 2.1157    | 1.5477 | 2.7504 |
| 0.40         | 1.3037    | 2.3168    | 1.6949 | 3.0119 |
| 0.45         | 1.4075    | 2.5011    | 1.8297 | 3.2515 |
| 0.50         | 1.4973    | 2.6608    | 1.9465 | 3.4591 |
| 0.55         | 1.5703    | 2.7905    | 2.0414 | 3.6277 |
| 0.60         | 1.6250    | 2.8877    | 2.1125 | 3.7540 |
| 0.65         | 1.6613    | 2.9523    | 2.1598 | 3.8380 |
| 0.70         | 1.6805    | 2.9864    | 2.1847 | 3.8823 |
| 0.75         | 1.6844    | 2.9932    | 2.1897 | 3.8912 |
| 0.80         | 1.6752    | 2.9769    | 2.1777 | 3.8700 |
| 0.85         | 1.6554    | 2.9418    | 2.1520 | 3.8243 |
| 0.90         | 1.6273    | 2.8918    | 2.1155 | 3.7594 |
| 0.95         | 1.5930    | 2.8309    | 2.0709 | 3.6801 |
| 1.00         | 1.5543    | 2.7620    | 2.0206 | 3.5906 |
| 1.05         | 1.5126    | 2.6880    | 1.9664 | 3.4943 |
| 1.10         | 1.4691    | 2.6108    | 1.9099 | 3.3940 |
| 1.15         | 1.4249    | 2.5321    | 1.8524 | 3.2918 |
| 1.20         | 1.3806    | 2.4534    | 1.7947 | 3.1894 |
| 1.25         | 1.3367    | 2.3754    | 1.7377 | 3.0880 |
| 1.30         | 1.2937    | 2.2989    | 1.6818 | 2.9886 |
| 1.35         | 1.2518    | 2.2245    | 1.6273 | 2.8918 |
| 1.40         | 1.2112    | 2.1524    | 1.5746 | 2.7981 |
| 1.45         | 1.1721    | 2.0829    | 1.5237 | 2.7077 |
| 1.50         | 1.1345    | 2.0160    | 1.4748 | 2.6208 |
| 1.55         | 1.0984    | 1.9519    | 1.4279 | 2.5375 |
| 1.60         | 1.0638    | 1.8905    | 1.3830 | 2.4576 |
| 1.65         | 1.0308    | 1.8317    | 1.3400 | 2.3813 |
| 1.70         | 0.9992    | 1.7756    | 1.2990 | 2.3083 |
| 1.72         | 0.9870    | 1.7539    | 1.2831 | 2.2801 |
| 1.80         | 0.9403    | 1.6709    | 1.2223 | 2.1722 |
| 1.85         | 0.9128    | 1.6221    | 1.1866 | 2.1087 |
| 1.90         | 0.8865    | 1.5755    | 1.1525 | 2.0481 |
| 1.95         | 0.8615    | 1.5310    | 1.1200 | 1.9902 |
| 2.00         | 0.8376    | 1.4885    | 1.0889 | 1.9350 |
| 2.05         | 0.8148    | 1.4479    | 1.0592 | 1.8823 |
| 2.10         | 0.7929    | 1.4091    | 1.0308 | 1.8319 |
| 2.15         | 0.7721    | 1.3720    | 1.0037 | 1.7837 |

|      |        |        |        |        |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 2.20 | 0.7521 | 1.3366 | 0.9778 | 1.7376 |
| 2.25 | 0.7330 | 1.3027 | 0.9530 | 1.6935 |
| 2.30 | 0.7148 | 1.2702 | 0.9292 | 1.6512 |
| 2.35 | 0.6973 | 1.2391 | 0.9064 | 1.6108 |
| 2.40 | 0.6805 | 1.2092 | 0.8846 | 1.5720 |
| 2.45 | 0.6644 | 1.1806 | 0.8637 | 1.5348 |
| 2.50 | 0.6489 | 1.1532 | 0.8436 | 1.4992 |
| 2.55 | 0.6341 | 1.1268 | 0.8243 | 1.4649 |
| 2.60 | 0.6199 | 1.1015 | 0.8058 | 1.4320 |
| 2.65 | 0.6062 | 1.0772 | 0.7880 | 1.4004 |
| 2.70 | 0.5930 | 1.0538 | 0.7709 | 1.3699 |
| 2.75 | 0.5803 | 1.0313 | 0.7544 | 1.3407 |
| 2.80 | 0.5681 | 1.0096 | 0.7386 | 1.3125 |
| 2.85 | 0.5564 | 0.9887 | 0.7233 | 1.2853 |
| 2.90 | 0.5451 | 0.9686 | 0.7086 | 1.2592 |
| 2.95 | 0.5341 | 0.9492 | 0.6944 | 1.2339 |
| 3.00 | 0.5236 | 0.9305 | 0.6807 | 1.2096 |
| 3.05 | 0.5134 | 0.9124 | 0.6674 | 1.1861 |
| 3.10 | 0.5036 | 0.8949 | 0.6547 | 1.1634 |
| 3.15 | 0.4941 | 0.8781 | 0.6423 | 1.1415 |
| 3.20 | 0.4849 | 0.8618 | 0.6304 | 1.1203 |
| 3.25 | 0.4761 | 0.8460 | 0.6189 | 1.0998 |
| 3.30 | 0.4675 | 0.8307 | 0.6077 | 1.0799 |
| 3.35 | 0.4592 | 0.8160 | 0.5969 | 1.0607 |
| 3.40 | 0.4511 | 0.8017 | 0.5864 | 1.0421 |
| 3.45 | 0.4433 | 0.7878 | 0.5763 | 1.0241 |
| 3.50 | 0.4358 | 0.7744 | 0.5665 | 1.0067 |
| 3.55 | 0.4284 | 0.7613 | 0.5570 | 0.9897 |
| 3.60 | 0.4213 | 0.7487 | 0.5477 | 0.9733 |
| 3.65 | 0.4144 | 0.7364 | 0.5387 | 0.9574 |
| 3.70 | 0.4077 | 0.7245 | 0.5300 | 0.9419 |
| 3.75 | 0.4012 | 0.7130 | 0.5216 | 0.9269 |
| 3.80 | 0.3949 | 0.7018 | 0.5134 | 0.9123 |
| 3.85 | 0.3888 | 0.6909 | 0.5054 | 0.8981 |
| 3.90 | 0.3828 | 0.6803 | 0.4976 | 0.8843 |
| 3.95 | 0.3770 | 0.6699 | 0.4901 | 0.8709 |
| 4.00 | 0.3713 | 0.6599 | 0.4827 | 0.8579 |
| 4.05 | 0.3659 | 0.6501 | 0.4756 | 0.8452 |
| 4.10 | 0.3605 | 0.6406 | 0.4687 | 0.8328 |
| 4.15 | 0.3553 | 0.6314 | 0.4619 | 0.8208 |
| 4.20 | 0.3502 | 0.6224 | 0.4553 | 0.8091 |
| 4.25 | 0.3453 | 0.6136 | 0.4489 | 0.7977 |
| 4.30 | 0.3405 | 0.6050 | 0.4426 | 0.7865 |
| 4.35 | 0.3358 | 0.5967 | 0.4365 | 0.7757 |
| 4.40 | 0.3312 | 0.5885 | 0.4305 | 0.7651 |
| 4.45 | 0.3267 | 0.5806 | 0.4247 | 0.7548 |
| 4.50 | 0.3224 | 0.5729 | 0.4191 | 0.7447 |
| 4.55 | 0.3181 | 0.5653 | 0.4135 | 0.7349 |

|             |        |        |        |        |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| <b>4.60</b> | 0.3140 | 0.5579 | 0.4081 | 0.7253 |
| <b>4.65</b> | 0.3099 | 0.5507 | 0.4029 | 0.7159 |
| <b>4.70</b> | 0.3059 | 0.5437 | 0.3977 | 0.7068 |
| <b>4.75</b> | 0.3021 | 0.5368 | 0.3927 | 0.6978 |
| <b>4.80</b> | 0.2983 | 0.5301 | 0.3878 | 0.6891 |
| <b>4.85</b> | 0.2946 | 0.5235 | 0.3830 | 0.6806 |
| <b>4.90</b> | 0.2910 | 0.5171 | 0.3783 | 0.6722 |
| <b>4.95</b> | 0.2875 | 0.5108 | 0.3737 | 0.6641 |
| <b>5.00</b> | 0.2840 | 0.5047 | 0.3692 | 0.6561 |

## ANEXO D – ACERO DE REFUERZO UTILIZADO POR ELEMENTO.

Tabla 80: “Acero de Refuerzo de Modelo 1”.

| Diámetro   |        | Ø8   | Ø10  | Ø12  | Ø16  | Ø18  | Ø20  | Ø22  | Ø25  | Ø28  | Ø32  | Ø36  | As <sub>min</sub> | As              | As <sub>max</sub> | r <sub>real</sub> |
|------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| Elemento   | Nivel  | cant | cant | cant | cant | cant | cant | cant | cant | cant | cant | cant | cm <sup>2</sup>   | cm <sup>2</sup> | cm <sup>2</sup>   | %                 |
| Muro1      | Nivel1 | 0    | 0    | 349  | 0    | 16   | 0    | 98   | 24   | 0    | 0    | 0    | 878               | 926             | 2106              | 2.64              |
|            | Nivel2 | 0    | 0    | 349  | 0    | 4    | 0    | 104  | 16   | 0    | 0    | 0    | 878               | 879             | 2106              | 2.50              |
|            | Nivel3 | 0    | 0    | 349  | 0    | 4    | 0    | 104  | 16   | 0    | 0    | 0    | 878               | 879             | 2106              | 2.50              |
|            | Nivel4 | 0    | 0    | 349  | 0    | 4    | 0    | 104  | 16   | 0    | 0    | 0    | 878               | 879             | 2106              | 2.50              |
|            | Nivel5 | 0    | 0    | 349  | 0    | 4    | 0    | 104  | 16   | 0    | 0    | 0    | 878               | 879             | 2106              | 2.50              |
| Muro2      | Nivel1 | 0    | 0    | 349  | 0    | 0    | 0    | 128  | 24   | 0    | 0    | 0    | 870               | 999             | 2088              | 2.87              |
|            | Nivel2 | 0    | 0    | 349  | 0    | 4    | 0    | 104  | 16   | 0    | 0    | 0    | 870               | 879             | 2088              | 2.87              |
|            | Nivel3 | 0    | 0    | 349  | 0    | 4    | 0    | 104  | 16   | 0    | 0    | 0    | 870               | 879             | 2088              | 2.87              |
|            | Nivel4 | 0    | 0    | 349  | 0    | 4    | 0    | 104  | 16   | 0    | 0    | 0    | 870               | 879             | 2088              | 2.87              |
|            | Nivel5 | 0    | 0    | 349  | 0    | 4    | 0    | 104  | 16   | 0    | 0    | 0    | 870               | 879             | 2088              | 2.87              |
| Muro3      | Nivel1 | 0    | 0    | 195  | 0    | 0    | 0    | 72   | 0    | 0    | 0    | 0    | 495               | 494             | 1188              | 2.50              |
|            | Nivel2 | 0    | 0    | 195  | 0    | 0    | 0    | 72   | 0    | 0    | 0    | 0    | 495               | 494             | 1188              | 2.50              |
|            | Nivel3 | 0    | 0    | 195  | 0    | 0    | 0    | 72   | 0    | 0    | 0    | 0    | 495               | 494             | 1188              | 2.50              |
|            | Nivel4 | 0    | 0    | 195  | 0    | 0    | 0    | 72   | 0    | 0    | 0    | 0    | 495               | 494             | 1188              | 2.50              |
|            | Nivel5 | 0    | 0    | 195  | 0    | 0    | 0    | 72   | 0    | 0    | 0    | 0    | 495               | 494             | 1188              | 2.50              |
| Col.30x30  |        | 0    | 0    | 8    | 4    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 9                 | 17              | 72                | 1.90              |
| Col.L      |        | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 12   | 8    | 0    | 0    | 0    | 0    | 49                | 68              | 290               | 1.39              |
| Viga_30/50 |        | 0    | 0    | 6    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 5                 | 7               | 38                | 0.45              |
| Viga_30/70 |        | 0    | 0    | 6    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 7                 | 7               | 53                | 0.32              |
| Viga_45/70 |        | 0    | 0    | 14   | 6    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 10                | 28              | 79                | 0.89              |
| Viga_55/70 |        | 0    | 0    | 12   | 6    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 12                | 26              | 97                | 0.67              |



Tabla 81: "Acero de Refuerzo de Modelo 2".

| Diámetro   |        | Ø8         | Ø10        | Ø12        | Ø16        | Ø18        | Ø20        | Ø22        | Ø25        | Ø28        | Ø32        | Ø36        | As <sub>min</sub> | As              | As <sub>max</sub> | r <sub>real</sub> |
|------------|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| Elemento   | Nivel  | unidad(es) | unidad(es) | unidad(es) | unidad(es) | unidad(es) | unidad(es) | unidad(es) | unidad(es) | unidad(es) | unidad(es) | unidad(es) | cm <sup>2</sup>   | cm <sup>2</sup> | cm <sup>2</sup>   | %                 |
| Muro1      | Nivel1 | 0          | 349        | 0          | 0          | 16         | 0          | 88         | 0          | 0          | 0          | 0          | 585               | 649             | 1404              | 2.77              |
|            | Nivel2 | 0          | 349        | 0          | 0          | 16         | 0          | 72         | 0          | 0          | 0          | 0          | 585               | 589             | 1404              | 2.52              |
|            | Nivel3 | 0          | 349        | 0          | 0          | 16         | 0          | 72         | 0          | 0          | 0          | 0          | 585               | 589             | 1404              | 2.52              |
|            | Nivel4 | 0          | 349        | 0          | 0          | 16         | 0          | 72         | 0          | 0          | 0          | 0          | 585               | 589             | 1404              | 2.52              |
|            | Nivel5 | 0          | 349        | 0          | 0          | 16         | 0          | 72         | 0          | 0          | 0          | 0          | 585               | 589             | 1404              | 2.52              |
| Muro2      | Nivel1 | 0          | 343        | 0          | 0          | 16         | 0          | 84         | 0          | 0          | 0          | 0          | 580               | 629             | 1392              | 2.71              |
|            | Nivel2 | 0          | 343        | 0          | 0          | 16         | 0          | 72         | 0          | 0          | 0          | 0          | 580               | 584             | 1392              | 2.52              |
|            | Nivel3 | 0          | 343        | 0          | 0          | 16         | 0          | 72         | 0          | 0          | 0          | 0          | 580               | 584             | 1392              | 2.52              |
|            | Nivel4 | 0          | 343        | 0          | 0          | 16         | 0          | 72         | 0          | 0          | 0          | 0          | 580               | 584             | 1392              | 2.52              |
|            | Nivel5 | 0          | 343        | 0          | 0          | 16         | 0          | 72         | 0          | 0          | 0          | 0          | 580               | 584             | 1392              | 2.52              |
| Muro3      | Nivel1 | 0          | 0          | 195        | 0          | 44         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 330               | 333             | 792               | 2.52              |
|            | Nivel2 | 0          | 0          | 195        | 0          | 44         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 330               | 333             | 792               | 2.52              |
|            | Nivel3 | 0          | 0          | 195        | 0          | 44         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 330               | 333             | 792               | 2.52              |
|            | Nivel4 | 0          | 0          | 195        | 0          | 44         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 330               | 333             | 792               | 2.52              |
|            | Nivel5 | 0          | 0          | 195        | 0          | 44         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 330               | 333             | 792               | 2.52              |
| Col30x30   |        | 0          | 0          | 10         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 9                 | 11              | 72                | 1.26              |
| Col.L      |        | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 12         | 8          | 0          | 0          | 0          | 0          | 49                | 68              | 290               | 1.39              |
| Viga_30/50 |        | 0          | 0          | 10         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 5                 | 11              | 38                | 0.75              |
| Viga_30/70 |        | 0          | 0          | 10         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 7                 | 11              | 53                | 0.54              |
| Viga_45/70 |        | 0          | 0          | 0          | 16         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 10                | 32              | 79                | 1.02              |
| Viga_55/70 |        | 0          | 0          | 0          | 18         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 12                | 36              | 97                | 0.94              |