



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**DISEÑO DE EDIFICIOS DE MEDIANA ALTURA TIPO PLATAFORMA EN ACERO
CONFORMADO EN FRÍO CON PANELES ESTRUCTURALES DE MADERA**

POR

Antonia Paz Rey Aguilar

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para
optar al título profesional de Ingeniera Civil

Profesor Guía
Rodrigo Silva Muñoz

Septiembre 2025
Concepción (Chile)

© 2025 Antonia Paz Rey Aguilar

© 2025 Antonia Paz Rey Aguilar

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

DEDICATORIA

Dedicado a

Mis padres, Soledad y Marcos, por ser mi guía constante, por sus enseñanzas, su apoyo incondicional y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mis hermanas, Valentina y Sofía, por su cariño, compañía y por estar presentes en cada etapa de mi vida.

A mi familia de Concepción, que me acompañó día a día, brindándome apoyo cercano y constante durante todo este proceso al estar lejos de casa.

A mis amigos de la universidad, con quienes compartí desafíos, aprendizajes y momentos que guardaré siempre con gratitud y alegría.

A mi pololo, Benjamín, por caminar a mi lado, brindarme apoyo, paciencia y ánimo en cada etapa de este largo recorrido.

Y especialmente a mi abuelo, Manuel, quien me acercó a esta carrera, confió en mis capacidades y fue parte fundamental en mis primeros aprendizajes.

Gracias a todos quienes fueron parte de este camino.

AGRADECIMIENTOS

Al culminar esta etapa tan significativa en mi formación profesional, deseo expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a quienes contribuyeron de diversas maneras a la realización de esta memoria de título.

En primer lugar, agradezco a mi profesor guía, Rodrigo Silva, por entregarme los fundamentos, la orientación y la confianza necesaria para desarrollar este trabajo. Su guía fue fundamental para abordar con claridad y estructura cada parte de este estudio.

Extiendo también mi agradecimiento al profesor Peter Dechent, por su apoyo, su disposición a resolver dudas y por compartir sus conocimientos técnicos, los cuales fueron esenciales para abordar los aspectos más complejos de este estudio.

Agradezco igualmente al profesor integrante de la comisión, Víctor Aguilar, por sus aportes y sugerencias, que contribuyeron a fortalecer y enriquecer el contenido de esta memoria.

RESUMEN

El sistema constructivo basado en perfiles de acero galvanizado conformado en frío ha adquirido relevancia en Chile debido a su bajo peso, rapidez de montaje y competitividad frente a sistemas tradicionales. Su creciente aplicación plantea la necesidad de contar con procedimientos de diseño claros que garanticen una respuesta estructural segura frente a cargas gravitacionales, de viento y, especialmente sísmicas. En este contexto, se estableció como objetivo general la definición de criterios de diseño que permitan evaluar la resistencia y deformaciones de muros y sistemas de piso, asegurando así la estabilidad global de edificaciones de mediana altura tipo plataforma conformados en dicho sistema constructivo.

Se consideró el estudio de la resistencia de los elementos estructurales del sistema, enfocándose en el aporte de los muros de corte con placas OSB y el comportamiento de los diafragmas de piso frente a cargas laterales. A partir de los parámetros normativos nacionales e internacionales, se establecieron procedimientos de verificación que incluyen la estimación de cargas gravitacionales, de viento y sísmicas, junto con el análisis de resistencia, deflexiones y la evaluación de conexiones.

Los resultados evidenciaron que la acción sísmica es la condición de diseño más crítica. Los muros de corte con placas OSB presentaron una resistencia adecuada de resistencia lateral. En cuanto al sistema de piso, los diafragmas cumplieron de manera satisfactoria la función de transferencia de esfuerzos hacia los muros, aunque es necesario controlar las deflexiones de los diafragmas para asegurar que los distintos niveles de la edificación actúen de manera compatible, garantizando una adecuada transferencia de cargas.

Los criterios y verificaciones desarrollados permitieron constatar que las edificaciones en acero conformado en frío pueden alcanzar resistencias y rigideces que cumplen con las exigencias vigentes en Chile. La correcta integración entre muros de corte, diafragmas y conexiones se presenta como clave para consolidar este sistema como una alternativa eficiente y segura dentro del ámbito de la construcción nacional.

ABSTRACT

The construction system based on cold-formed galvanized steel framing, has become highly relevant in Chile due to its light weight, quick assembly, and competitiveness compared to traditional systems. Its increasing application raises the need for clear design procedures that ensure safe structural response to gravitational, wind, and especially seismic loads. In this context, the general objective was established as the definition of design criteria that allow for the evaluation of the strength and deformation of shear walls and floor systems, thereby ensuring the global stability of medium-height platform-type buildings constructed using this building system.

The study of the resistance of the system's structural elements was considered, focusing on the contribution of shear walls with OSB panels and the behavior of floor diaphragms under lateral loads. Based on national and international regulatory parameters, verification procedures were established that include the estimation of gravitational, wind, and seismic loads, along with the analysis of strength, deflections, and the evaluation of connections.

The result demonstrated that seismic action is the most critical design condition. The shear walls with OSB panels exhibited adequate lateral resistance. Regarding the floor system, the diaphragms satisfactorily fulfilled their function of transferring forces to the walls, although it is necessary to control the deflections of the diaphragms to ensure that the different levels of the building act in a compatible manner, guaranteeing an adequate load transfer.

The developed criteria and verifications confirmed that cold-formed steel buildings can achieve strengths and stiffnesses that meet the current requirements in Chile. The correct integration between shear walls, diaphragms, and connections is presented as the key to consolidating this system as an efficient and safe alternative within the scope of national construction.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcances del estudio.....	2
1.4 Plan de trabajo.....	3
1.5 Principales resultados.....	3
1.6 Organización de la memoria de título	4
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	5
2.1 Introducción	5
2.2 Normativa y estándares de diseño.....	5
2.3 Sistema estructural de acero conformado en frío	7
2.3.1 Definición del sistema estructural.....	7
2.3.2 Elementos estructurales del sistema.....	7
2.3.3 Proceso de armado de la estructura.....	9
2.3.4 Detalles constructivos y conectores típicos.....	11
2.3.5 Muros de corte.....	13
2.3.6 Sistema de piso.....	14
2.3.7 Transmisión de cargas y estabilidad estructural.....	15
2.3.8 Interacción entre niveles y compatibilidad constructiva.....	17
2.3.9 Resistencia al momento volcante	17
2.3.10 Deformación horizontal.....	18
2.3.11 Deformación de diafragmas	18
2.4 Diseño de muros de corte.....	19
2.4.1 Consideraciones generales de diseño	19
2.4.2 Resistencia lateral de muros con OSB	19
2.4.3 Normativa sobre derivas máximas	23
2.4.4 Deformación lateral del muro	24

2.5	Diseño de anclajes.....	25
2.5.1	Rigidez al momento volcante.....	26
2.6	Diseño de sistema de piso.....	28
2.6.1	Resistencia de diafragmas.....	28
2.6.2	Deflexión de diafragma.....	30
2.7	Conclusiones.....	32
CAPÍTULO 3: PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....		33
3.1	Introducción.....	33
3.2	Edificio de mediana altura tipo plataforma.....	33
3.3	Cargas de diseño.....	34
3.3.1	Cargas muertas.....	34
3.3.2	Cargas vivas (sobrecargas de uso).....	35
3.3.3	Carga sísmica.....	35
3.3.4	Carga de viento.....	36
3.4	Método de diseño.....	36
3.5	Diseño de muros de corte.....	37
3.6	Diseño de anclaje.....	39
3.7	Diseño de sistema de piso.....	40
3.8	Conclusiones.....	41
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....		42
4.1	Introducción.....	42
4.2	Cargas sobre la estructura.....	42
4.3	Carga de sismo.....	43
4.4	Carga de viento.....	45
4.5	Muros de corte.....	46
4.6	Anclaje.....	51
4.7	Diafragmas.....	53
4.8	Idealización del diafragma flexible.....	55
4.9	Conclusiones.....	56
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....		57

REFERENCIAS	59
ANEXO 1.1: CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.....	61
ANEXO 2.1: DISEÑO DE MUROS DE CORTE	63
ANEXO 2.2: RESULTADOS DE MUROS DE CORTE.....	66
ANEXO 2.3: MUROS EN ELEVACIÓN	68
ANEXO 3.1: DISEÑO DE ANCLAJES	71
ANEXO 4.1: DISEÑO DE DIAFRAGMAS	73
ANEXO 4.2: RESULTADOS DE DIAFRAGMA	76
ANEXO 5.1: COMPARACIÓN ENTRE SISMO Y VIENTO	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Ejemplo de perfiles conformados en frio y sus aplicaciones.	9
Tabla 2.2 Resistencia nominal de corte (v_n) para muros con revestimiento OSB, para viento (N/m).	20
Tabla 2.3 Resistencia nominal de corte (v_n) para muros con revestimiento OSB, para sismo (N/m).	21
Tabla 2.4 Carga y rigidez de anclajes tipo hold-down S/HDU para perfiles metálicos en muros de corte.	27
Tabla 2.5 Resistencia nominal (v_n) para diafragmas (N/m).....	29
Tabla 3.1 Pesos propios elementos.....	35
Tabla 3.2 Muros estructurales.	38
Tabla 3.3 Paneles del diafragma.....	40
Tabla 4.1 Cargas consideradas sobre la estructura.	42
Tabla 4.2 Datos de la estructura.	43
Tabla 4.3 Coeficientes y parámetros del suelo.....	44
Tabla 4.4 Análisis sísmico.....	44
Tabla 4.5 Fuerzas sísmicas por piso.	44
Tabla 4.6 Presión básica de viento, normal a la cumbrera.	45
Tabla 4.7 Presión básica de viento, paralelo a la cumbrera.....	46
Tabla 4.8 Detalle muros primer piso.	47
Tabla 4.9 Deformaciones y drifts de entrepiso de cada muro según ASCE 7-22.	49
Tabla 4.10 Deformaciones y drifts de entrepiso de cada muro según NCh433.	50
Tabla 4.11 Detalle diseño de anclajes, piso 1.....	51
Tabla 4.12 Detalle paneles piso 1.....	53
Tabla 4.13 Deflexión de diafragmas de cada departamento.....	54
Tabla 4.14 Deformaciones de muros y diafragmas (panel 1) por piso.....	55
Tabla 4.15 Deformaciones de muros y diafragmas (panel 2) por piso.....	55
Tabla A.2.1.1 Chequeo diseño de muro M1 del piso 1.	63
Tabla A.3.1.1 Diseño de anclajes muros piso 1.....	71
Tabla A.3.1.2 Diseño de anclajes muros piso 2.....	71
Tabla A.3.1.3 Diseño de anclajes muros piso 3.....	71

Tabla A.4.1.1 Chequeo diseño diafragma piso 1.....	73
Tabla A.4.2.1 Resultados diafragma piso 1.....	76
Tabla A.4.2.2 Resultados diafragma piso 2.....	76
Tabla A.4.2.3 Resultados diafragma piso 3.....	76
Tabla A.5.1.1 Comparación de fuerzas de sismo y viento aplicadas a la estructura.....	78

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2.1 Diagrama sistema estructural.....	7
Figura 2.2 Perfil estructural tipo "C" y con perforación.....	8
Figura 2.3 Perfil estructural tipo "U".	8
Figura 2.4 Esquema sistema de muros.....	10
Figura 2.5 Conexión de entrepisos a muros.....	11
Figura 2.6 Tornillo autoperforante hexagonal.....	12
Figura 2.7 Anclaje varilla roscada.....	12
Figura 2.8 Muro del sistema.....	13
Figura 2.9 Esquema general envigado de piso.....	14
Figura 2.10 Representación diafragma bloqueado y no bloqueado.....	15
Figura 2.11 Carga lateral en muro de corte.....	16
Figura 2.12 Efectos de deformación de muro de corte revestido con placa estructural de madera. ..	25
Figura 2.13 Deformación del anclaje del muro.....	26
Figura 2.14 Vista general del hold-down tipo S/HDU y su instalación.....	27
Figura 3.1 Elevación frontal estructura (medidas en centímetros).....	33
Figura 3.2 Distribución en planta estructura (medidas en centímetros).....	34
Figura 3.3 Áreas tributarias de muros de corte, en X (izquierda) y en Y (derecha).....	38
Figura 3.4 Paneles en sistema de piso (medidas en centímetros).....	40
Figura 4.1 Fuerzas sísmicas por cada piso.....	45
Figura 4.2 Muro M1, primer piso (medidas en centímetros).....	47
Figura 4.3 Gráfico de drift de muros según ASCE 7-22.....	49
Figura 4.4 Gráfico de drift de muros según NCh 433.....	50
Figura 4.5 Distancia entre centro de esfuerzos de tracción y compresión en el muro.....	52
Figura 4.6 Instalación S/HDU de piso a piso.....	53
Figura 4.7 Disposición de diafragmas en todo los pisos (medidas en centímetros).....	54
Figura A.2.1.1 Detalle muro M1, primer piso (medidas en centímetros).....	65
Figura A.2.3.1 Elevación muros M1 y M2, respectivamente (medidas en centímetros).....	68
Figura A.2.3.2 Elevación muro M3 (medidas en centímetros).....	69
Figura A.2.3.3 Elevación muros M4 y M5, respectivamente (medidas en centímetros).....	69
Figura A.2.3.4 Elevación muros M6 y M7, respectivamente (medidas en centímetros).....	70

Figura A.4.1.1 Detalle sistema de piso.....	75
Figura A.4.2.1 Diafragma de piso con panel OSB.....	77

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

A lo largo de las últimas décadas, el uso de estructuras livianas conformadas en frío ha tenido un gran protagonismo en la industria de la construcción, utilizado comúnmente en proyectos de viviendas, ampliaciones y edificaciones de baja altura en nuestro país. Estos sistemas estructurales han destacado por su rapidez constructiva, versatilidad, bajo peso propio y su facilidad de montaje en las estructuras (Diario Financiero, 2023). Su utilización ha ido en aumento, particularmente en zonas urbanas con alta demanda de soluciones habitacionales rápidas y económicas. Sin embargo, su correcto diseño estructural aún presenta desafíos técnicos, sobre todo en su modelación y comportamiento frente a cargas sísmicas, la efectividad de sus conexiones y la interacción entre los distintos elementos que componen la estructura.

En un país como Chile, que ha sido escenario de algunos de los sismos más fuertes registrados en la historia, incluyendo el terremoto de Valdivia en 1960 con magnitud 9.5 Mw (CSN, 2023), resulta imprescindible asegurar que las estructuras livianas cumplan con los estándares de resistencia, rigidez y estabilidad exigidos por la normativa nacional vigente.

Actualmente, uno de los principales problemas que se presentan es la falta de un procedimiento de diseño estructural sistematizado y validado para sistemas estructurales de acero conformado en frío, especialmente cuando se incorporan muros de corte como parte fundamental del sistema resistente. En muchos casos, la falta de claridad en criterios de diseño, en la modelación de elementos o del comportamiento conjunto de perfiles y placas, pueden generar soluciones estructurales que no garantizan una adecuada respuesta estructural. Esta problemática se ve acentuada en el contexto chileno por la limitada disponibilidad técnica adaptada a nuestra normativa y condiciones constructivas.

Frente a esta realidad, surge la necesidad de establecer un procedimiento de diseño estructural claro y coherente para estructuras construidas con acero conformado en frío, con especial énfasis en la rigidez y resistencia de muros con placas *Oriented Strand Board* (Tablero de virutas orientadas, OSB según sus iniciales en inglés), al comportamiento integral de sistema de piso y al correcto diseño de anclajes

y conexiones. A través de una revisión detallada del sistema y sus componentes, se busca contribuir al desarrollo técnico, entregando herramientas que permitan su correcta aplicación en el contexto nacional.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

El objetivo general es desarrollar un procedimiento de diseño para edificaciones de mediana altura de acero conformado en frío con paneles estructurales de madera, que permita evaluar la resistencia, rigidez y compatibilidad constructiva de muros de corte y sistema de piso, asegurando el cumplimiento de las normativas chilenas y estándares internacionales de diseño sísmico y estructural.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la conformación del sistema estructural de acero conformado en frío.
- Comprender la respuesta de muros con placas OSB, anclaje y el sistema de piso bajo la acción de cargas laterales.
- Desarrollar un procedimiento de diseño estructural de edificaciones de mediana altura de acero conformado en frío con paneles estructurales de madera.
- Aplicar el procedimiento de diseño estructural a un estudio de caso representativo, asegurando su aplicabilidad práctica y cumplimiento normativo.

1.3 Alcances del estudio

Este trabajo se centra en edificaciones de mediana altura diseñadas con perfiles de acero conformados en frío. Se estudiaron principalmente los muros portantes con refuerzo estructural mediante placas OSB y sistemas de piso con envigado de acero conformado en frío.

1.4 Plan de trabajo

La metodología desarrollada se basó en la recopilación y análisis de antecedentes técnicos, constructivos y normativos. En una primera etapa, se realizó el estudio detallado de antecedentes técnicos y normativos relacionado con el sistema estructural de acero conformado en frío, abarcando documentos técnicos, manuales, normativa nacional e internacional. Esta revisión permitió establecer una base teórica sólida para comprender el funcionamiento del sistema y su aplicación.

Posteriormente, se realizó una caracterización del sistema, abordando los tipos de perfiles, las conexiones más comunes y como se integran ente sí para formar muros y entrepisos. Se analizó el refuerzo de los muros mediante placas OSB, analizando su rol como elementos estructurales capaces de resistir cargas laterales y contribuir a la rigidez general de la edificación.

Una parte fundamental del trabajo consistió en investigar la rigidez y resistencia de los muros estructurales recubiertos con placas OSB y sistema de piso. Se estudió su comportamiento considerando aspectos como la rigidez al corte de la placa, la rigidez por los montantes, la rigidez aportada por los conectores, y la rigidez al volcamiento en el caso de los muros. El análisis se basó en criterios normativos y resultados experimentales presente en la literatura técnica.

Finalmente, se aplicó el procedimiento de diseño estructural a un estudio de caso representativo. Esta metodología tiene como objetivo servir de guía práctica para ingenieros y profesionales del área, permitiendo un diseño más informado y seguro en edificaciones que utilicen este tipo de sistema constructivo.

1.5 Principales resultados

El desarrollo de esta memoria permitió establecer un procedimiento de diseño estructural específico para edificaciones construidas con el sistema de acero conformado en frío, integrando de manera coherente los criterios de resistencia y rigidez de los muros con placas OSB, el comportamiento de los sistemas de piso y el correcto diseño de anclajes. Se logró caracterizar la resistencia de los muros de corte frente a cargas laterales y momentos volcantes, determinando su capacidad de transferencia de carga y sus derivas según la normativa vigente.

Asimismo, se efectuaron las verificaciones de resistencia lateral de los muros y sistema de piso, el cálculo de desplazamientos y deflexiones, y la idealización de diafragma flexible conforme al procedimiento de diseño.

Finalmente, la aplicación del procedimiento a una edificación permitió evaluar su validez y utilidad práctica, demostrando que los criterios establecidos son adecuados para guiar el diseño de estructuras bajo las normativas chilenas y estándares internacionales. Los resultados obtenidos proporcionan herramientas técnicas que contribuyen al desarrollo seguro y eficiente de este tipo de edificaciones en el contexto nacional.

1.6 Organización de la memoria de título

La presente memoria se estructura en cinco capítulos, los cuales abordan de forma progresiva el estudio del sistema estructural y el desarrollo del procedimiento de diseño propuesto. El segundo capítulo describe en detalle el sistema de acero conformado en frío y los criterios necesarios para su diseño, se abordan aspectos técnicos y constructivos relevantes para comprender su funcionamiento.

A continuación, el tercer capítulo expone el procedimiento de diseño aplicado, el cual considera el análisis de cargas y elementos estructurales. Se detalla el enfoque adoptado, basado en el estudio técnico del sistema y la interpretación normativa. Posteriormente, en el cuarto capítulo se presentan los análisis realizados y los resultados obtenidos, donde se exponen las solicitaciones sobre la estructura, la respuesta de los muros de corte, los sistemas de anclaje y de piso.

Finalmente, el quinto capítulo presenta las conclusiones generales del trabajo. Se resumen los principales aportes realizados y se plantean recomendaciones para futuras investigaciones que permitan profundizar en el conocimientos y aplicación estructural del sistema.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Introducción

En el siguiente capítulo se describen los aspectos fundamentales para el diseño estructural del sistema de acero conformado en frío, considerando tanto su sistema constructivo como los criterios técnicos y normativos que rigen su aplicación. En primer lugar, se analiza el funcionamiento general del sistema, sus componentes y el proceso de armado de la estructura. Posteriormente, se aborda el procedimiento de diseño estructural, centrado en la resistencia y rigidez de los muros con placas OSB (Oriented Strand Board), el diseño de anclaje de los muros de corte y el sistema de piso (diafragmas).

2.2 Normativa y estándares de diseño

El diseño estructural del sistema debe regirse por un conjunto de normativas que establecen los requerimientos mínimos de seguridad, resistencia y comportamiento ante cargas gravitacionales y sísmicas.

A nivel nacional, las principales normas y criterios de diseño aplicables son:

- NCh433 Of.1996 Mod.2009 (Instituto Nacional de Normalización [INN], 2009): “Diseño sísmico de edificios”. Esta norma regula el análisis sísmico y define los parámetros de peligrosidad sísmica, factores de comportamiento, métodos de análisis y criterios de derivas máximas admisibles según uso, tipo de estructura y categoría de riesgo.
- Decreto Supremo N°61 (Minvu, 2011): Complementa a la NCh433, definiendo el tipo de suelo mediante categorías A a E, y entrega factores modificados para análisis sísmico.
- NCh3171 (INN, 2017): “Diseño estructural – Disposiciones generales y combinaciones de cargas”. Establece los principios generales y combinaciones de cargas para el diseño estructural de edificios y otras estructuras.

- NCh432 (INN, 2025): “Diseño estructural – Cargas de viento”. Establece los valores de velocidad básica del viento, presiones dinámicas y factores de exposición para cálculo de cargas horizontales por viento.
- NCh1537 Of.2009 (INN, 2009): “Diseño estructural – Cargas permanentes y cargas de uso”. Determina las cargas permanentes y sobrecargas normativas según el tipo de recinto (habitacionales, circulación, comercial, etc.).
- Manual de diseño Metalcon (Cintac, 2023): Documento técnico de referencia nacional para sistema con perfiles conformados en frío. Incluye propiedades geométricas, mecánicas, y detalles constructivos.

Complementariamente, se consideran los siguientes estándares internacionales:

- ASCE/SEI 7-22 (*American Society of Civil Engineers [ASCE], 2022*): Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. Es ampliamente utilizada como referencia en códigos de construcción en todo el mundo. Se considera particularmente para aspectos relaciones con derivas, categorías de riesgo y coeficientes sísmicos de reducción y amplificación, aplicables a estructuras con sistemas livianos tipo marco o muro.
- AISI S240-20 (*American Iron and Steel Institute [AISI], 2020*): North American Standard of Cold-Formed Steel Structural Framing. Aplica específicamente a edificaciones conformadas con acero liviano en marcos estructurales, definiendo requisitos constructivos, espaciamiento, conexiones y control de calidad.
- AISI S400-20 (AISI, 2020): North American Standard for Seismic Design of Cold-Formed Steel Structural System. Enfocada en el diseño sísmico de sistemas estructurales CFS, incluyendo muros de corte y diafragmas con placas de madera estructural como OSB. Proporciona valores tabulados de resistencia, deformación y requisitos de anclajes.

2.3 Sistema estructural de acero conformado en frío

2.3.1 Definición del sistema estructural

El sistema estructural es un tipo de construcción liviana con perfiles de acero galvanizado conformados en frío, los cuales permiten construir edificaciones en seco, mediante conexiones mecánicas y sin el uso de soldaduras. También, facilita el ensamblaje en obra permitiendo una construcción rápida, precisa y adaptable a distintos tipos de proyectos. Este sistema es usualmente utilizado en viviendas, ampliaciones, edificaciones de baja altura y soluciones habitacionales industrializadas.

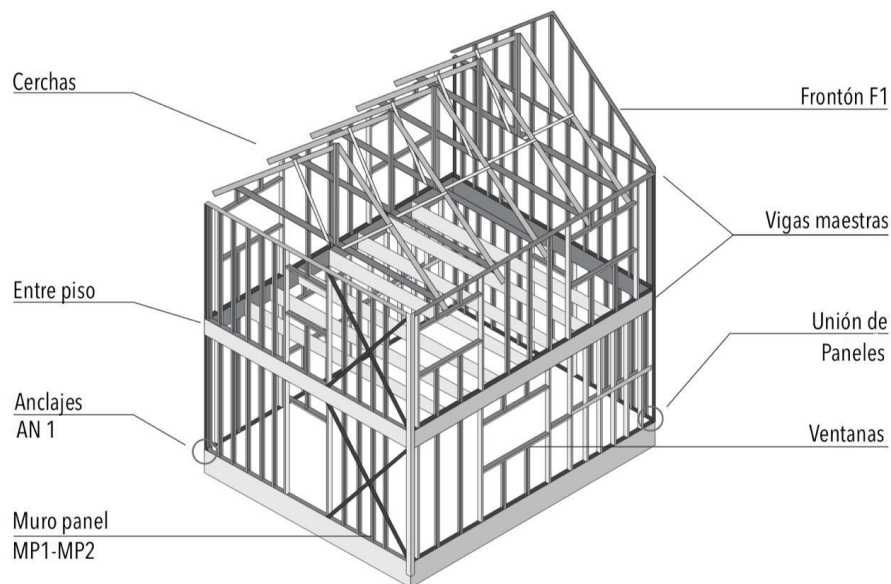


Figura 2.1 Diagrama sistema estructural.

Fuente: Manual de construcción, CINTAC.

2.3.2 Elementos estructurales del sistema

El sistema estructural está compuesto por una variedad de elementos, donde cada uno tiene funciones específicas dentro de la estructura. Los principales componentes que integran este sistema se describen a continuación.

Muros estructurales: son el soporte estructural, que está compuesto por montantes, soleras y vigas, además, cuenta con arriostramientos, refuerzos, estabilizadores y anclajes.

- Montantes: perfiles que transmiten las cargas superiores hacia la fundación. Los montantes o pie derechos, corresponden a un perfil estructural tipo “C” (canal atiesada).

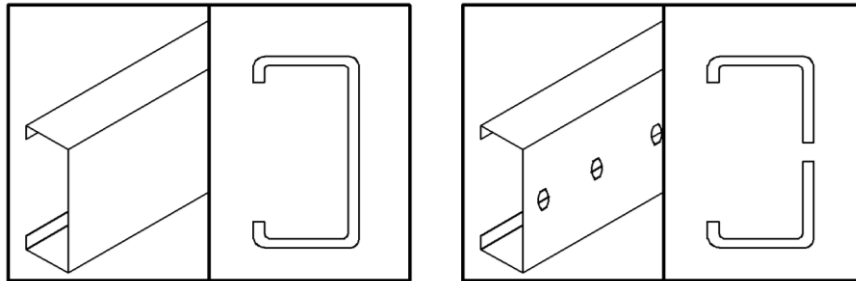


Figura 2.2 Perfil estructural tipo "C" y con perforación.

- Canal o solera: reciben a los montantes en su interior (funciona como base inferior y superior para los montantes), permite el correcto armado del muro continuo. Corresponde a un perfil estructural tipo “U” (canal no atiesada).

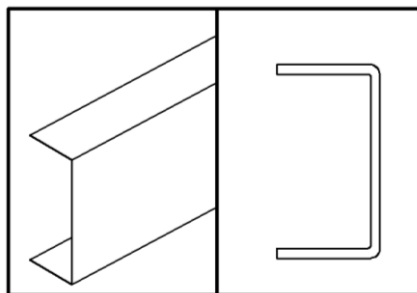
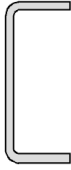

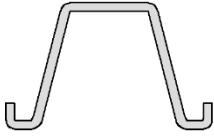
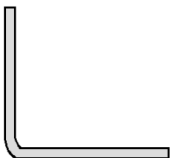



Figura 2.3 Perfil estructural tipo "U".

- Arriostramientos: son los encargados de recibir las cargas laterales que actúan sobre los muros, producto de sismos y vientos.
- Placas estructurales: absorben las cargas laterales, además estabiliza en forma continua los pie derechos. Usualmente se utilizan placas de OSB o contrachapado estructural. Se fijan a los montantes y canales mediante tornillos.

Los perfiles de acero conformado en frío se emplean en el sistema estructural según su aplicación, tal como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Ejemplo de perfiles conformados en frío y sus aplicaciones.

Perfil	Sección transversal	Aplicación
Perfil U		Solera en muros, viga perimetral de entrepisos.
Perfil C		Montante (pies derechos), viga de entrepiso o techumbre, puntales verticales, arriostramientos horizontales o diagonales.
Perfil Omega		Cerchas, refuerzo de muro, conector para rigidizar entre paneles.
Perfil Angulo		Conector como refuerzo de uniones, elemento de conexión de anclajes, conector de borde para diafragmas.
Pletina		Refuerzo de uniones entre perfiles, elemento de conexión de anclajes, soporte adicional para pernos, arriostramientos, diagonales.

2.3.3 Proceso de armado de la estructura

El montaje de la estructura se realiza mediante la conexión continua de los perfiles, formando marcos estructurales que permiten resistir cargas. La construcción de muros consiste en la instalación de la solera inferior anclada sobre la fundación o sobre el sistema de sobrecimientos. Posteriormente, se incluyen los montantes verticales (pie derechos), que se distribuyen con una distancia entre 400 mm y 600 mm según las cargas a resistir como se puede observar en la Figura 2.4, y finalmente, la solera

superior. Para reforzar zonas con mayor sollicitación, como los bordes de vanos (puertas y ventanas), se utilizan montantes dobles o perfiles adicionales, asegurando la transferencia de cargas y aumentando la rigidez de la estructura.

Para la conexión entre perfiles se utilizan tornillos autoperforantes, los cuales deben cumplir según las recomendaciones del fabricante. Empresas como Volcán y Cintac entregan esta información. En puntos críticos, se incorporan placas metálicas, perfiles adicionales o refuerzos para asegurar la continuidad estructural.

Los entrepisos están constituidos por vigas donde se instalan las placas estructurales, formando diafragmas que contribuyen al comportamiento global del sistema. Las vigas se apoyan sobre muros y se conectan mediante las soleras como se puede observar en la Figura 2.5, donde se transmiten las cargas verticales.

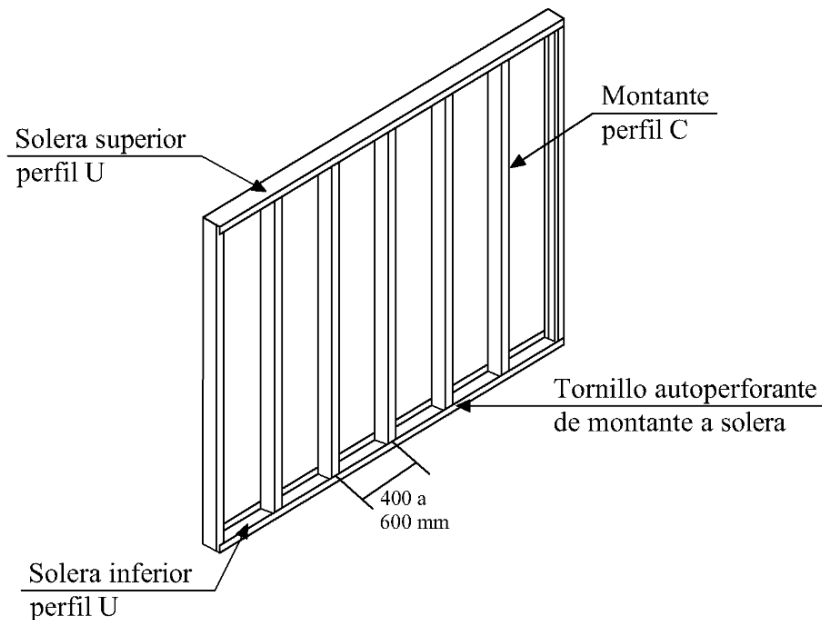


Figura 2.4 Esquema sistema de muros.

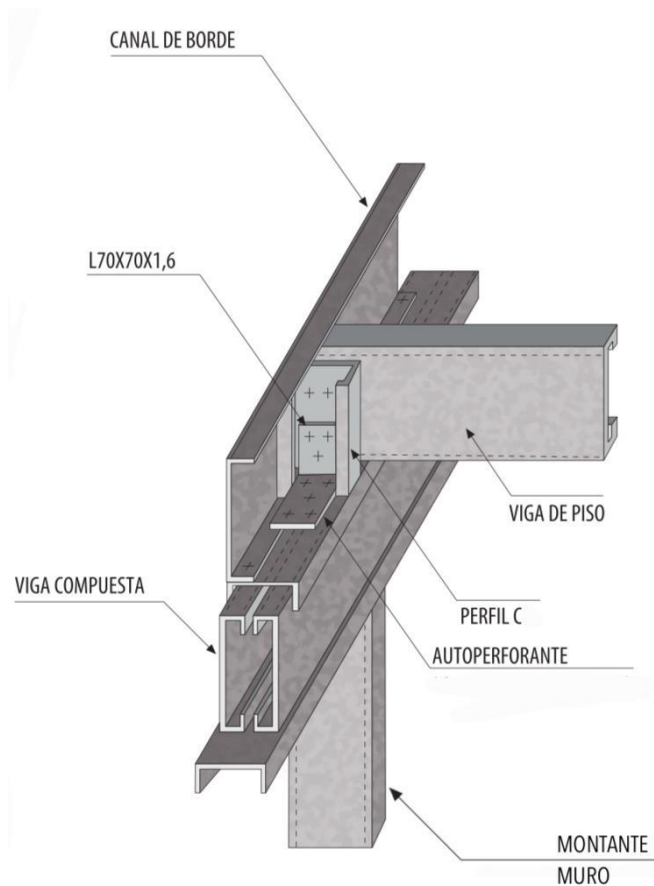


Figura 2.5 Conexión de entresijos a muros.

Fuente: Manual de construcción, CINTAC.

2.3.4 Detalles constructivos y conectores típicos

Un correcto funcionamiento del sistema estructural depende en gran parte de la eficiencia de sus uniones y detalles constructivos. Los conectores tienen un rol fundamental en la transmisión de cargas y su comportamiento estructural.

Los tornillos auto perforantes son el conector más utilizado en estructuras de acero conformado en frío. Permiten una fijación rápida entre los perfiles sin la necesidad de una previa perforación ni soldadura. Su diseño consta de una punta tipo broca que perfora el acero y una rosca que asegura la unión como se muestra en la Figura 2.6.

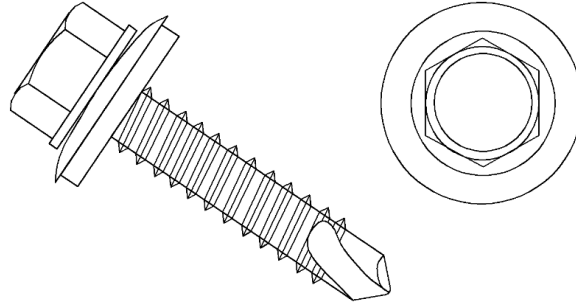


Figura 2.6 Tornillo autoperforante hexagonal.

Fuente: Alacer Mas (2025).

Existen distintos tipos de tornillos, los cuales varían según el espesor de los perfiles a unir, el tipo de conexión (perfil a perfil, perfil a OSB, perfil a placa metálica, etc.) y el esfuerzo que deben resistir. La disposición de tornillos debe respetar las distancias mínimas establecidas, con el fin de evitar concentraciones de esfuerzo o deformaciones locales que comprometan al sistema estructural.

Los anclajes tienen la función de fijar el sistema estructural a la fundación o sobrecimientos. Se utilizan pernos de anclaje metálicos o químicos que aseguran la solera inferior a la losa de hormigón como se muestra en la Figura 2.7. La elección del tipo de anclaje depende del tipo de carga.

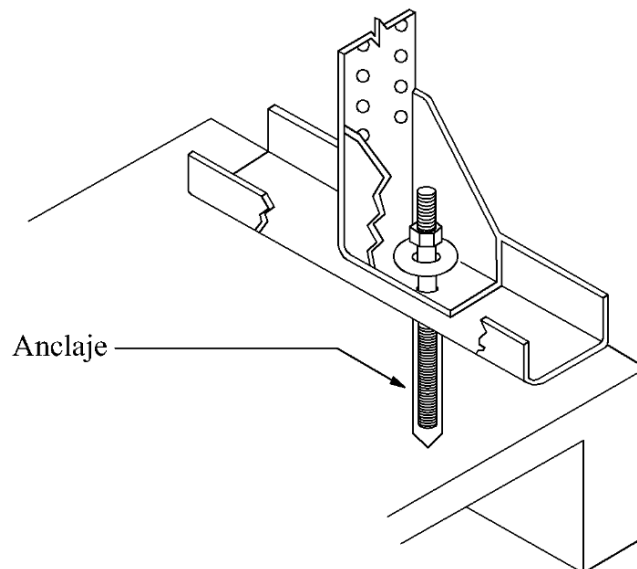


Figura 2.7 Anclaje varilla roscada.

Fuente: Manual de construcción, CINTAC.

Las placas metálicas se utilizan en uniones donde se requiere reforzar la continuidad de elementos estructurales, usualmente entre muros y vigas, esquinas o empalmes entre perfiles. Se fijan mediante tornillos autoperforantes según el espesor de los perfiles.

2.3.5 Muros de corte

Los muros de corte o diafragmas verticales están conformados principalmente por montantes (pie derechos) y soleras, y son revestidos con placas rígidas que actúan como diafragmas estructurales. En Chile, el uso más común de placas estructurales para este propósito son las placas de OSB, dado su bajo costo, rigidez y facilidad de instalación.

Las placas OSB fijadas a los pie derechos generan una acción de diafragma que permite transmitir las fuerzas de corte al sistema de fundación. Las placas se fijan mediante tornillos distribuidos en el perímetro y en pie derechos.

En la Figura 2.8 se puede observar un esquema típico de muros estructurales de acero conformado en frío revestidos por placas de madera.

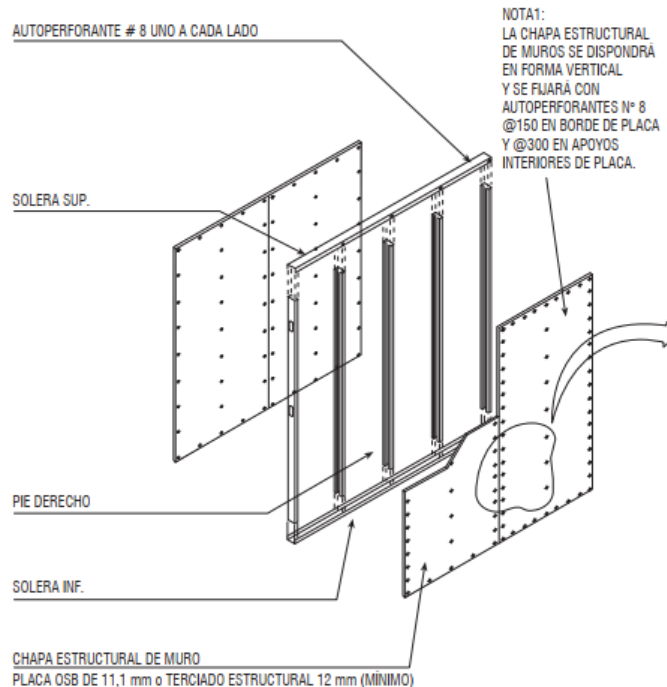


Figura 2.8 Muro del sistema.

Fuente: Manual de diseño, CINTAC (2023).

2.3.6 Sistema de piso

El sistema de piso está conformado por una combinación de elementos que trabajan en conjunto para resistir y transmitir las cargas laterales hacia los muros.

Este sistema incluye el envigado de piso, la placa estructural, vigas maestras y arriostramientos horizontales. El envigado de piso está compuesto por perfiles de acero galvanizado conformados en frío, generalmente del tipo “C” y “U”, instalados de forma paralela con separación constante (entre 400 y 600 mm). Se apoyan sobre las soleras de los muros y tiene la función de soportar y distribuir las cargas laterales hacia los elementos verticales como muros de corte o vigas maestras.

Sobre el envigado se dispone una placa estructural, generalmente con tableros de terciado estructural o placas OSB de espesor adecuado (15 mm o 18 mm), los cuales actúan como diafragma horizontal. Esta placa se fija a los perfiles mediante tornillos autoperforantes.

En ciertos casos, se utilizan vigas maestras, que pueden ser perfiles “C” de mayor espesor o perfiles compuestos, para apoyar y distribuir las cargas. Además, se incorporan arriostramientos horizontales para evitar el pandeo lateral de los perfiles y asegurar la estabilidad global del sistema de piso.

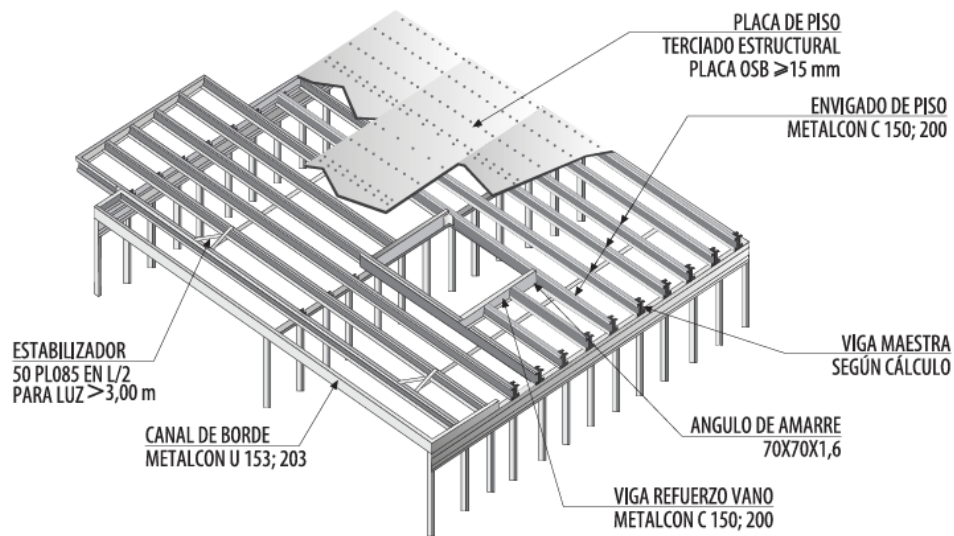


Figura 2.9 Esquema general envigado de piso.

Fuente: Manual de construcción, CINTAC.

Su comportamiento puede clasificarse como rígido o flexible, dependiendo de la rigidez relativa del diafragma respecto a los muros que lo rodean.

- Diafragma rígido: se considera rígido cuando la deformación en su plano es suficientemente pequeña en comparación a los elementos verticales, de manera que puede distribuir las cargas laterales entre los muros de corte de acuerdo con sus rigideces relativas.
- Diafragma flexible: se considera flexible cuando su deformación en el plano es significativa en comparación con la de los muros de corte, por lo que la carga lateral se distribuye entre los muros de corte en función del área tributaria. Cabe señalar que de acuerdo con el estándar ASCE 7-22 (ASCE, 2022), sección 26.2, los diafragmas de paneles estructurales de madera se pueden idealizar como flexibles.

Cuando los diafragmas se diseñan como bloqueados, todos los bordes del panel se fijan a los elementos estructurales.

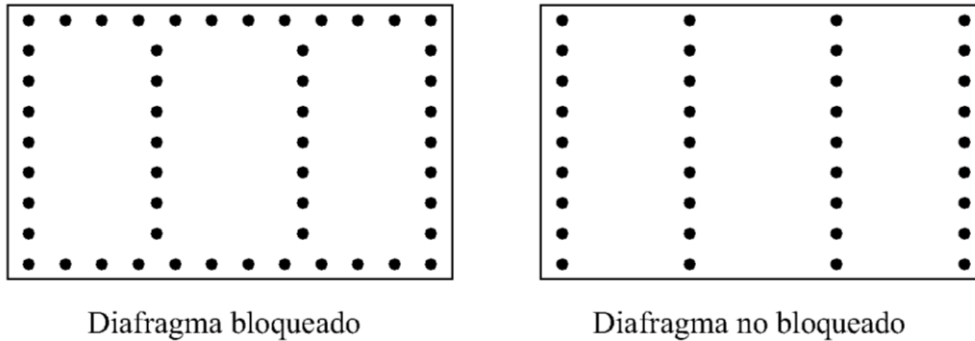


Figura 2.10 Representación diafragma bloqueado y no bloqueado.

2.3.7 Transmisión de cargas y estabilidad estructural

Se debe garantizar no solo la resistencia ante cargas verticales, sino también un adecuado comportamiento frente a cargas laterales, especialmente en zonas sísmicas como lo es Chile. Las cargas gravitacionales dado el peso propio de la estructura, sobrecargas de uso de techumbre y piso, son transmitidas desde los niveles superiores hacia la fundación a través de montantes, vigas y soleras.

En primer lugar, las cargas actúan sobre la cubierta o entrepisos (vigas principales o costaneras), luego se transmiten hacia los pie derechos y soleras inferiores, las cuales finalmente transfieren los esfuerzos hacia el sobrecimiento o fundación mediante los anclajes.

Las cargas horizontales, principalmente de origen sísmico o por acción del viento, son resistidas por los elementos dentro de los marcos estructurales. En el sistema estructural, el refuerzo de placas estructurales de OSB fijadas a los montantes mediante tornillos autoperforantes es una de las estrategias más utilizadas. Estas placas cumplen la función de muros de corte, contribuyendo de manera importante a la estabilidad global del edificio.

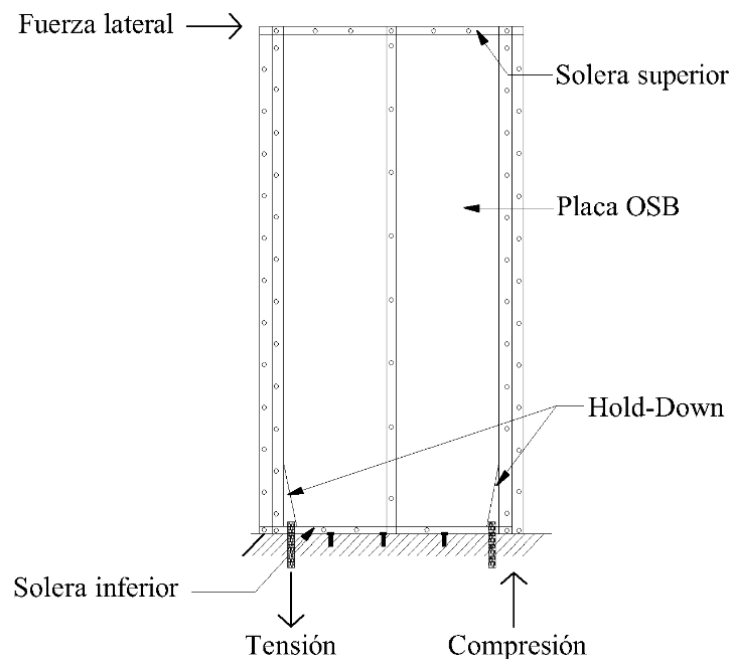


Figura 2.11 Carga lateral en muro de corte.

Fuente: Cold-formed steel shear wall design guide, AISI (2019).

La rigidez del sistema para los esfuerzos laterales depende del espesor de la placa, la fijación de tornillos, distancia entre los montantes o pie derechos y la rigidez de los conectores. Según las investigaciones de Dolan y Foschi (1991), las placas OSB aportan una rigidez efectiva si se encuentran bien fijadas en sus bordes y presentan continuidad.

Los entrepisos y techumbres actúan como diafragmas horizontales que distribuyen las cargas laterales hacia los muros portantes o elementos de corte. Los diafragmas permiten una distribución uniforme

de las cargas laterales, lo que reduce las excentricidades y previene el colapso torsional en edificaciones con geometrías irregulares.

La combinación de una correcta transmisión de cargas verticales, el uso de muros de corte con placas OSB, la presencia de diafragmas horizontales y una adecuada conexión entre elementos estructurales, son fundamentales para contribuir a la estabilidad global del sistema.

2.3.8 Interacción entre niveles y compatibilidad constructiva

La interacción entre niveles es fundamental para asegurar la continuidad estructural y la compatibilidad constructiva. Esta interacción se refiere a cómo el entrepiso se conecta con los muros del nivel superior, garantizando una transmisión eficiente de cargas tanto verticales como laterales.

Desde el punto de vista estructural, para la conexión entre niveles habitualmente se instala una doble solera superior sobre los montantes del muro, que funciona como base para el sistema de entrepiso. Generalmente está compuesto por vigas de perfiles galvanizados tipo C, los cuales reciben las cargas distribuidas por un diafragma horizontal constituido por placas OSB o algún panel equivalente.

En términos constructivos, se busca que los muros del nivel superior estén alineados verticalmente con los del nivel inferior. Asimismo, la compatibilidad entre niveles implica que los distintos elementos estructurales deben estar correctamente conectados mediante tornillos estructurales, anclajes y conectores metálicos, asegurando el funcionamiento conjunto del sistema.

2.3.9 Resistencia al momento volcante

La resistencia al momento volcante es un aspecto fundamental en el diseño estructural debido a que refiere a la capacidad de la estructura para oponerse al giro o volcamiento inducido por cargas horizontales o un momento. La resistencia al momento volcante está determinada principalmente por:

- La rigidez y anclaje de los muros de corte.
- La disposición y fijación de los conectores en los extremos de los muros (hold down o anclajes de amarre).
- La magnitud y distribución del peso propio y sobrecargas.

Las fuerzas generadas por el momento volcante son resistidas por elementos de amarre en los extremos inferiores de los muros, los cuales transfieren estas solicitaciones a la fundación. Por lo tanto, deben ser capaces de soportar tanto tracción como compresión. Además, investigaciones como las de Filiatrault y Folz (2002), y Dolan y Foschi (1991) han demostrado que el diseño de una adecuada conexión en los extremos de muros puede mejorar significativamente la resistencia de la estructura, evitando fallas por volcamiento.

2.3.10 Deformación horizontal

La deformación horizontal corresponde al desplazamiento lateral que se produce ante la acción de cargas horizontales. Este tipo de deformación afecta la estabilidad global del edificio, por lo que se debe considerar en el diseño estructural.

En estructuras con muros de corte revestidos con placas OSB, la deformación horizontal se debe a una combinación de mecanismos estructurales: flexión de montantes, deformación por volcamiento, deformación por corte del panel y el deslizamiento o deformación en las conexiones (tornillos). Por lo tanto, la correcta evaluación de este comportamiento requiere considerar tanto la rigidez del muro como la eficiencia de los conectores y la configuración geométrica del sistema.

Los estándares internacionales, como el ASCE (ASCE, 2022), referida por el IBC 2024, establecen límites permisibles para la deriva entrepiso en función de la categoría de riesgo del edificio. Estos límites tienen por objetivo proteger tanto la estructura como los elementos no estructurales y evitar la pérdida de estabilidad o colapso.

2.3.11 Deformación de diafragmas

La deformación por cargas gravitacionales depende de las propiedades del material, de la geometría del elemento y la magnitud de la carga aplicada. Los límites de deformaciones extraídos del IBC 2024, sección 1604.3, corresponden a:

- Para SC (sobrecarga de piso): $L/360$.
- Para D + L: $L/240$.

La deformación de un diafragma por cargas laterales se debe principalmente a cuatro mecanismos, corte del panel, deslizamiento de las conexiones, flexión de los perfiles del envigado y empalme de los perfiles.

2.4 Diseño de muros de corte

2.4.1 Consideraciones generales de diseño

Para el diseño estructural del sistema, es necesario abordar una serie de consideraciones que garanticen el comportamiento adecuado de la estructura frente a distintos escenarios. Se debe garantizar la resistencia y rigidez de los elementos verticales y horizontales para transmitir adecuadamente las cargas hacia la fundación. Para esto, se requiere evaluar tanto la capacidad resistente de los perfiles metálicos como la resistencia del sistema cuando estos están revestidos con placas OSB u otro tipo de tablero estructural.

Los muros de corte revestidos con placas OSB son un componente fundamental en la resistencia lateral de las estructuras tipo plataforma de acero conformado en frío. Estos muros trabajan como sistemas de diafragma o elementos tipo panel, cuya resistencia depende tanto de la resistencia del tablero como de las conexiones a los perfiles.

2.4.2 Resistencia lateral de muros con OSB

La resistencia última al corte de un muro con panel OSB se determina con base en ensayos experimentales o en valores tabulados, proporcionados por estándares como:

- AISI S240-20 (AISI, 2020), *North American Standard for Cold-Formed Steel Framing* (Norma norteamericana para estructuras de acero conformado en frío). Es la norma base para diseño de estructuras de acero liviano.
- AISI S400-20 (AISI, 2020), *North American Standard for Seismic Design of Cold-Formed Steel Structural Systems* (Norma norteamericana para el diseño sísmico de sistemas estructurales de acero conformado en frío). Proporciona los requisitos de diseño sísmico para muros y sistemas estructurales en acero liviano.

La resistencia última al corte (V_n) de un muro se puede estimar según las recomendaciones del estándar AISI S240-20 (AISI, 2020), sección B5.2.2, como:

$$V_n = v_n \cdot L \quad (2.1)$$

Donde V_n es la resistencia última al corte del muro (N), v_n corresponde a la resistencia por unidad de longitud del muro (N/m), obtenida de tablas normativas dependiendo del tipo de revestimiento y configuración del muro, y L longitud efectiva del panel OSB (m).

Los valores normativos de resistencia nominal al corte (v_n) extraídos de los estándares AISI S240-20 (AISI, 2020) y AISI S400-20 (AISI, 2020), consideran el tipo de placa estructural, espesor, fijaciones y separación entre tornillos. A continuación, se presenta una versión adaptada al Sistema Internacional de Unidades (N/m):

Tabla 2.2 Resistencia nominal de corte (v_n) para muros con revestimiento OSB, para viento (N/m).

Descripción panel	Relación aspecto máxima (h/w)	Espaciado tornillos en los borde del panel				Designación del grosor del montante (mm)
		152.4 mm	101.6 mm	76.2 mm	50.8 mm	
Contrachapado de 15/32", un lado	2:1	15542	20577	25320	27874	1.09 (mínimo)
OSB 7/16", un lado	2:1	13280	20577	25320	27874	0.84 (mínimo)
OSB 7/16", un lado, orientado perpendicularmente a la estructura	2:1	14886	-	-	-	0.84 (mínimo)
OSB 7/16", un lado	4:1	-	14959	20796	26634	0.84 (mínimo)

Fuente: AISI S240; American Iron and Steel Institute (2020).

La resistencia de diseño se determina a partir de la resistencia nominal (V_n) utilizando los factores de seguridad y factores de resistencia aplicables según el método de diseño:

- LRFD (*Load and Resistance Factor Design*): $\phi_v V_n$, con $\phi_v = 0.65$.
- ASD (*Allowable Stress Design*): V_n/Ω_v , con $\Omega_v = 2.00$.

La Tabla 2.2 adaptada del estándar AISI S240-20 (AISI, 2020) está destinada al diseño general de muros con placas estructurales, como en el caso de cargas de viento o acciones laterales moderadas. En cambio, la Tabla 2.3 adaptada del AISI S400-20 (AISI, 2020) se utiliza en diseños sísmicos. Por lo tanto, la elección entre ambas está determinada por las solicitaciones que gobiernan al diseño estructural.

Tabla 2.3 Resistencia nominal de corte (v_n) para muros con revestimiento OSB, para sismo (N/m).

Descripción panel	Relación de aspecto máxima (h/w)	Espaciado de tornillos en los bordes del panel				Grosor para montantes	Tamaño tornillos de revestimientos
		152.4 mm	101.6 mm	76.2 mm	50.8 mm		
Contrachapado de 15/32", un lado	4:1	11383	14448	-	-	0.84 mm o 1.09 mm	8
	2:1	12989	19410	25904	31960	1.09 mm o 1.37 mm	8
						1.73 mm	10
OSB 7/16", un lado	4:1	10216	13353	-	-	0.84 mm	8
	4:1	12040	18023	22547	30063	1.09 mm o 1.37 mm	8
	2:1	13718	20577	25685	34296	1.37 mm	8
	2:1	17980	26969	33712	44949	1.73 mm	10

Fuente: AISI S400; American Iron and Steel Institute (2020).

La resistencia de diseño se determina a partir de la resistencia nominal (V_n) utilizando los factores de seguridad y factores de resistencia aplicables según el método de diseño:

- LRFD (*Load and Resistance Factor Design*): $\phi_v V_n$, con $\phi_v = 0.60$.
- ASD (*Allowable Stress Design*): V_n/Ω_v , con $\Omega_v = 2.50$.

La resistencia nominal al corte (v_n) puede verse influenciada por diversos parámetros constructivos. Una menor relación de aspecto del panel OSB tiende a incrementar su valor, al igual que una menor separación entre fijaciones. Cuando se dispone de revestimiento en ambas caras, la resistencia puede aumentar de manera significativa, llegando incluso a duplicarse.

El sistema debe cumplir con los siguientes requisitos para poder aplicar los valores de resistencia nominal (v_n):

1. Los montantes deben ser perfiles tipo C, con un ancho de ala mínimo de 38 mm y una profundidad mínima de alma de 89 mm.
2. Las soleras deben tener un ancho de ala mínimo de 30 mm y una profundidad mínima de alma de 89 mm.
3. Los tornillos para elementos estructurales deben ser como mínimo del número 8.
4. Los tornillos al largo de los bordes del panel se deben colocar desde los bordes a una distancia máxima de 9.5 mm.
5. Los tornillos en el campo del panel se deben instalar a 305 mm entre centros, a menos que se especifique lo contrario.
6. No se permiten paneles menores a 305 mm de ancho.
7. La separación máxima entre montantes es de 610 mm entre centros.
8. Todos los bordes del revestimiento deben estar unidos a los elementos estructurales.
9. Los paneles de madera se deben fijar a los elementos estructurales de acero conformados en frío con tornillos autoperforantes del n°8 con un diámetro mínimo de cabeza de 7.24 mm o tornillos autoperforantes del n°10 con un diámetro mínimo de cabeza de 8.46 mm.

En el estándar AISI S400-20 (AISI, 2020), sección E1.3.3, explica que la resistencia esperada de un SFRS (sistema resistente a fuerzas sísmicas) es una medida de la fuerza necesaria para activar el mecanismo de disipación de energía. Se determina a partir de la resistencia nominal amplificada por un factor de resistencia esperado, para paneles estructurales de madera $\Omega_E = 1.8$.

Como alternativa al uso de resistencia esperada de un SFRS, se puede multiplicar por un factor de sobrerresistencia, Ω_o , para garantizar que el mecanismo de disipación de energía se active antes que fallen otros elementos críticos por carga sísmica. De la tabla 12.2-1 del ASCE 7-22 (ASCE, 2022),

para sistema de muros de corte de CFS (acero conformado en frío) con paneles estructurales de madera se considera un factor de $\Omega_0 = 3$. En adición, según la nota de pie (a) de la tabla del ASCE 7-22 (ASCE, 2022), Ω_0 puede reducirse a 2.5 para estructuras con diafragmas flexibles.

2.4.3 Normativa sobre derivas máximas

La deriva de una estructura representa la diferencia de desplazamiento lateral entre dos niveles consecutivos bajo la acción de cargas laterales. La normativa vigente establece límites máximos de deriva para estructuras que utilizan muros de cortes con placas OSB sobre perfiles de acero conformados en frío, dichos límites adquieren especial relevancia, dado que se trata de sistemas livianos susceptibles a desplazamientos significativos.

El estándar estadounidense ASCE 7-22 (ASCE, 2022) en su sección 12.12.1 establece un límite de deriva de:

$$\theta_{m\acute{a}x} = \frac{\Delta}{h} = 0.025 \quad (2.2)$$

Este límite corresponde a un 2.5% de la altura del piso y es válido para edificaciones comunes. Sin embargo, en edificaciones esenciales o de importancia (como hospitales o centro de operaciones de emergencia), se recomienda utilizar límites más estrictos.

De acuerdo con la norma chilena NCh433.Of1996 mod. 2009 y DS61 se establece que la deriva máxima permisible en estado límite último es de:

$$\theta_{m\acute{a}x} = \frac{\Delta}{h} = 0.002 \quad (2.3)$$

Donde Δ es el desplazamiento lateral relativo entre dos niveles consecutivos (mm), h es la altura entre pisos (mm), y θ corresponde a la deriva interstory o interpiso (adimensional).

2.4.4 Deformación lateral del muro

La rigidez conjunta del sistema placa y tornillos autoperforantes, lo que se conoce como rigidez del panel estructural puede expresarse como:

$$k_s = \frac{V}{\Delta} \quad (2.4)$$

Donde V es la carga lateral aplicada (kN) y Δ es la deformación lateral del muro (mm).

La sección B5.2.5 del estándar AISI S240-20 (AISII, 2020), establece que la deformación total del muro estructural (Δ) se formula de la siguiente manera:

$$\Delta = \frac{2 \cdot v \cdot h^3}{3 \cdot E_s \cdot A_c \cdot b} + \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot \frac{v \cdot h}{\rho \cdot G \cdot t_{corte}} + \omega_1^{5/4} \cdot \omega_2 \cdot \omega_3 \cdot \omega_4 \cdot \left(\frac{v}{\beta}\right)^2 + \frac{h}{b} \cdot \delta_v \quad (2.5)$$

$$\omega_1 = \frac{s}{152.4} \quad \omega_2 = \frac{0.838}{t_{montante}} \quad \omega_3 = \sqrt{\frac{(h/b)}{2}} \quad (2.6)$$

Donde:

- $v = V/b$ (N/mm). (2.7)
- V : carga lateral total aplicada al muro (N).
- b : longitud del muro (mm).
- h : altura del muro (mm).
- E_s : módulo elástico del acero (203000 MPa).
- A_c : área de la sección transversal bruta del montante (mm²).
- ρ : 1.85 para madera contrachapada, 1.05 para OSB.
- G : módulo de corte del material de revestimiento (MPa).
- t_{corte} : espesor nominal del panel (mm).
- $t_{montante}$: espesor nominal del montante (mm).
- s : espaciado de los tornillos en los bordes del panel (mm).
- ω_4 : 1 para paneles estructurales de madera.
- β : 2.35 para madera contrachapada, 1.91 para OSB (N/mm^{1.5}).
- δ_v : deformación vertical de anclaje/fijación (mm).

De esta manera, la deformación total del muro incorpora la deformación por flexión de los montantes, por volcamiento, por corte del panel OSB y deformación por deslizamiento de los tornillos (inelástico).

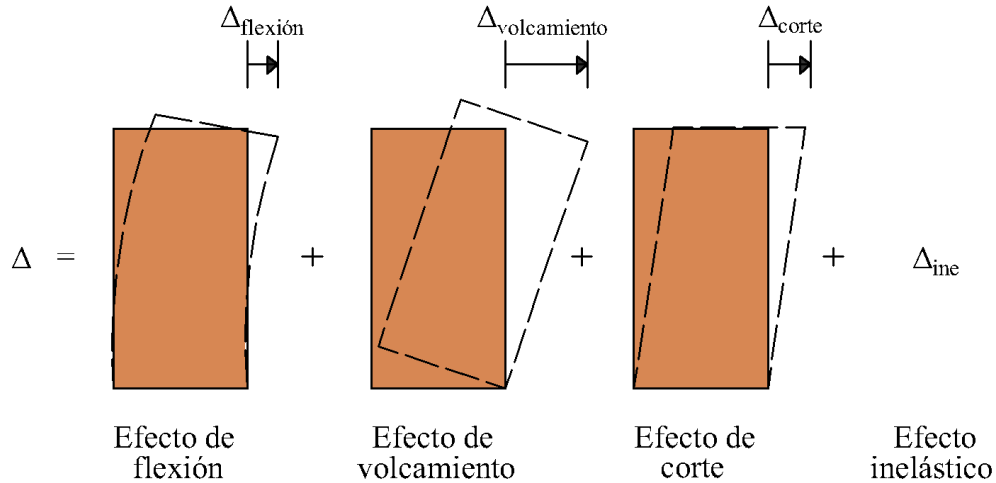


Figura 2.12 Efectos de deformación de muro de corte revestido con placa estructural de madera.

Fuente: Serrette y Chau (2019).

2.5 Diseño de anclajes

El adecuado funcionamiento de los muros de corte depende no solo de su resistencia, sino también la correcta transmisión y disipación de las fuerzas que actúan sobre ellos. Según lo indicado en la sección B5.2.4 del estándar AISI S240-20 (AISII, 2020), se establece que los elementos colectores y los sistemas de anclaje deben diseñarse para asegurar una transferencia completa y eficiente de las fuerzas laterales que llegan al muro.

Los extremos del muro deben contar con un sistema de anclaje capaz de resistir las fuerzas de tracción vertical generada por los efectos de volcamiento debido a la acción de cargas laterales. La fuerza del anclaje de elevación o resistencia al volcamiento requerida ($C = T$) se determina según:

$$C = \frac{V \cdot h}{b} \quad (2.8)$$

Donde V es la fuerza cortante determinada de acuerdo con las combinaciones de carga ASD o LRFD aplicables en el muro de corte (kN), h la altura del muro de corte (m) y b es la longitud del muro de corte, incluyendo los desplazamientos de los anclajes (m).

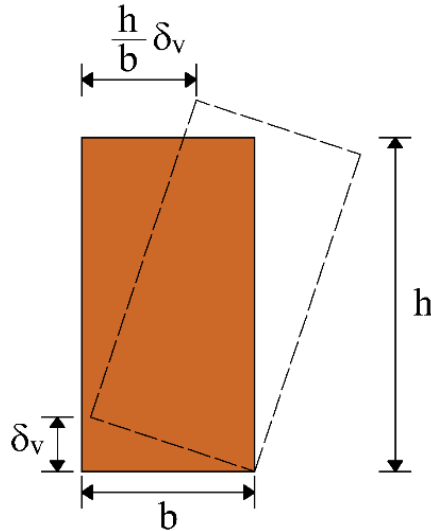


Figura 2.13 Deformación del anclaje del muro.

Fuente: Cold-formed Steel shear wall design guide, AISI (2019).

2.5.1 Rigidez al momento volcante

Para resistir el volcamiento el sistema estructural debe disponer de elementos que proporcionen una reacción de anclaje en los extremos del muro, usualmente mediante hold-down o conectores especiales que transmitan las fuerzas de tracción generadas por la rotación del panel.

Sin embargo, además de la resistencia de estos elementos, es necesario considerar su rigidez, ya que su deformación influye directamente en la respuesta del sistema frente a desplazamientos laterales.

$$\delta_v = \frac{T}{k_{H-D}} \quad (2.9)$$

Donde δ_v es la deformación del anclaje extremo por momento volcante, k_{H-D} corresponde a la rigidez del hold-down (N/mm) y T es la tracción en hold-down inducida por el momento de volcamiento.

Dado que ni la normativa chilena vigente ni los manuales locales entregan valores tabulados de rigidez para anclajes tipo hold-down, se recurre a fuentes internacional como el catálogo técnico *Connectors for Cold-Formed Steel Construction* (Conectores para construcción de acero conformado en frío; C-CF-2023 según sus iniciales en inglés) de Simpson Strong-Tie (2023). En él, se indican rigideces para dispositivos diseñados específicamente para resistir esfuerzos de volcamiento.

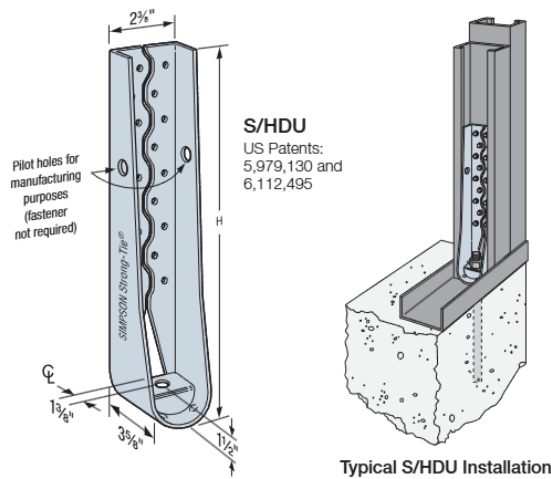


Figura 2.14 Vista general del hold-down tipo S/HDU y su instalación.

Fuente: Simpson Strong-Tie (2023).

Se entregan datos de diseño para distintos modelos de la familia S/HDU, la cual está especialmente diseñada para estructuras de acero conformado en frío (CFS). Algunos de estos modelos se presentan en la Tabla 2.5.

Tabla 2.4 Carga y rigidez de anclajes tipo hold-down S/HDU para perfiles metálicos en muros de corte.

Modelo	H (mm)	Sujetadores		Espesor del montante (mm)	ASD		Nominal	Rigidez k_{HD} (kN/mm)
		Diámetro perno de anclaje (mm)	Sujetadores de perno		Carga de tensión (kN)	Deflexión (mm)	Carga de tensión (kN)	
S/HDU6	264	15.875	(12) #14	0.838	10.631	1.626	29.314	6.540
				2 – 1.092	27.245	3.023	68.769	9.014
				3/16" A36	31.138	1.753	65.367	17.766

S/HDU9	327	22.225	(18) #14	0.838	12.700	0.737	34.385	17.241
				2 – 1.092	41.168	3.175	97.016	12.966
				3/16" A36	65.055	3.454	139.919	18.833
S/HDU11	422	22.225	(27) #14	1.092	18.794	0.991	50.888	18.972
				2 – 1.092	42.681	2.438	104.600	17.504
				3/16" A36	71.216	3.226	141.075	22.077

Fuente: Simpson Strong-Tie (2023).

2.6 Diseño de sistema de piso

El sistema de piso de una edificación liviana con perfiles de acero conformado en frío y OSB, debe cumplir con diversas exigencias estructurales. Estas verificaciones se realizan según lo establecido en normas nacionales e internacionales.

2.6.1 Resistencia de diafragmas

La resistencia última al corte de los diafragmas se determina en base a los valores tabulados, proporcionados por el estándar AISI S400-20 (AISI, 2020). Al igual que para el diseño de muros de corte, se define la resistencia nominal de diafragma (V_n) como la Ecuación 2.1.

Los valores normativos de resistencia nominal al corte (v_n) extraídos de la norma AISI S240-20 (AISI, 2020), consideran el tipo de placa estructural, espesor y separación entre tornillos.

A continuación, se presenta una versión adaptada al Sistema Internacional de Unidades (N/m):

Tabla 2.5 Resistencia nominal (v_n) para diafragmas (N/m).

Revestimiento	Espesor mínimo (mm)	Bloqueado				Sin bloquear	
		Espaciado de tornillos en los bordes del límite del diafragma y en todos los bordes continuos del panel (mm)				Tornillos espaciados a un máximo de 152.4 mm en todos los bordes soportados	
		152.4	101.6	63.5	50.8	Carga perpendicular a los bordes sin bloquear y a las juntas continuas del panel	Todas las demás configuraciones
		Espaciado de tornillos en todos los demás bordes del panel (mm)					
	152.4	152.4	101.6	76.2			
Estructural I	9.53	11208	14915	24226	29844	9997	7443
	11.11	11208	16447	26269	32909	11018	8246
	11.91	13499	17980	28750	35974	12040	8975

Fuente: AISI S240-20; American Iron and Steel Institute (2020).

La resistencia de diseño se determina a partir de la resistencia nominal (V_n) utilizando los factores de seguridad y factores de resistencia aplicables según el método de diseño:

- Para cargas de viento o acciones laterales moderadas, LRFD (*Load and Resistance Factor Design*): $\phi_v V_n$, con $\phi_v = 0.65$.
- Para cargas de viento o acciones laterales moderadas, ASD (*Allowable Stress Design*): V_n / Ω_v , con $\Omega_v = 2.00$.
- Para diseños sísmicos, LRFD (*Load and Resistance Factor Design*): $\phi_v V_n$, con $\phi_v = 0.60$.
- Para diseños sísmicos, ASD (*Allowable Stress Design*): V_n / Ω_v , con $\Omega_v = 2.50$.

El sistema debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. La relación de aspecto del diafragma no debe exceder 4:1 para diafragmas bloqueados y 3:1 para diafragmas no bloqueados.

2. Las vigas deben ser perfiles tipo C con un ancho de ala mínimo de 40 mm y una profundidad mínima de alma de 89 mm.
3. La viga maestra debe tener un ancho de ala mínimo de 31.8 mm y una profundidad mínima de alma de 89 mm.
4. Los tornillos para elementos estructurales deben ser como mínimo del número 8.
5. Los tornillos utilizados para fijar el panel estructural de madera deben ser como mínimo del número 8 si los elementos estructurales tienen un espesor de 1.37 mm o menor, y del número 10 cuando los elementos estructurales tienen un espesor mayor a 1.37 mm.
6. Los tornillos en el campo del panel se deben fijar con una separación máxima de 305 mm a lo largo de los elementos estructurales.
7. No se deben utilizar paneles de menos de 305 mm de ancho en el caso de que el coeficiente R sea menor o igual a 3, en el caso de que R sea mayor que 3, el ancho del panel debe tener un ancho mínimo de 310 mm.
8. La separación máxima entre viguetas es de 610 mm entre centros.
9. Cuando los diafragmas se diseñan como bloqueados, todos los bordes del panel deben estar fijados a los elementos estructurales o al bloqueo.
10. Los sujetadores a lo largo de los bordes del panel se deben colocar a no menos de 9.5 mm desde los bordes del panel.

2.6.2 Deflexión de diafragma

La deflexión del diafragma se determina mediante los principios de mecánica, considerando la deformación del revestimiento y su fijación, cordones y colectores. Se define:

$$\Delta = \frac{V}{K} \quad (2.10)$$

Donde es la Δ deformación total del diafragma (mm), V corresponde a la fuerza cortante actuante en el diafragma (N) y K la rigidez del diafragma (N/mm).

La sección B5.4.2.4 del AISI S240-20 (AISII, 2020), establece que la deformación del diafragma (Δ) se formula de la siguiente manera:

- Diafragmas bloqueados:

$$\Delta_b = \frac{0.052 \cdot v \cdot L^3}{E_s \cdot A_c \cdot b} + \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot \frac{v \cdot L}{\rho \cdot G \cdot t_{corte}} + \omega_1^{5/4} \cdot \omega_2 \cdot (\alpha) \cdot \left(\frac{v}{2 \cdot \beta}\right)^2 + \frac{\sum_{j=1}^n \Delta_{ci} \cdot X_i}{2 \cdot b} \quad (2.11)$$

$$\omega_1 = \frac{s}{152.4} \quad \omega_2 = \frac{0.838}{t_{estructura}} \quad (2.12)$$

- Diafragmas no bloqueados:

$$\Delta_{nb} = 2.50 \cdot \Delta_b \quad (2.13)$$

Donde:

- $v = V/2 \cdot b$ (N/mm). (2.14)
- V : carga lateral total aplicada al diafragma (N).
- b : profundidad del diafragma, paralela a la dirección de carga (mm).
- L : longitud del diafragma, perpendicular a la dirección de carga (mm).
- E_s : módulo elástico del acero (203000 MPa).
- A_c : área de la sección transversal bruta del cordón (mm²).
- ρ : 1.85 para madera contrachapada, 1.05 para OSB.
- G : módulo de corte del material de revestimiento (MPa).
- t_{corte} : espesor nominal del panel (mm).
- $t_{estructura}$: espesor nominal del elemento estructural (mm).
- s : espaciado de los tornillos en los bordes del panel (mm).
- n : número de empalmes de cordón del diafragma (considerando ambos cordones del diafragma).
- X_i : distancia entre empalme de la cuerda “i” y el soporte más cercano (mm).
- α : relación entre la carga promedio por sujetador basada en un patrón de sujetadores no uniforme y la carga promedio por sujetador basada en un patrón de sujetadores uniforme (1, para un diafragma fijado uniformemente).
- β : 2.35 para madera contrachapada, 1.91 para OSB (N/mm^{1.5}).
- Δ_{ci} : valor de deformación asociado con el empalme de la cuerda i (mm).
- ρ : 1.85 para madera contrachapada, 1.05 para OSB.

De esta manera, la deflexión total del diafragma incorpora la deformación por flexión de los cordones, corte del panel, deslizamiento de los tornillos y empalme de los cordones.

2.7 Conclusiones

En el Capítulo 2 se establecieron las bases conceptuales y normativas necesarias para comprender el sistema estructural de acero conformado en frío, el cual requiere consideraciones particulares en su diseño, especialmente en la resistencia lateral y la estabilidad frente a cargas laterales. Se explicó la importancia de las conexiones, la transmisión de carga y la compatibilidad constructiva entre elementos, aspectos que resultan determinantes para el diseño estructural de edificios de mediana altura de acero conformado en frío con paneles estructurales de madera.

CAPÍTULO 3: PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

3.1 Introducción

En este capítulo se desarrolla la aplicación del procedimiento de diseño estructural para edificaciones que utilizan el sistema de acero conformado en frío. Se presenta la caracterización general de la estructura de estudio, las cargas de diseño adoptadas de acuerdo con la normativa vigente en Chile, y el análisis de las solicitaciones principales. Además, se detallan los criterios para la verificación de resistencia, rigidez y derivas, y la forma en que estos se abordan mediante los parámetros extraídos de normas técnicas.

3.2 Edificio de mediana altura tipo plataforma

La estructura corresponde a un edificio de tres pisos de altura, cuya configuración original fue propuesta por Humeres (2017) y desarrollada en base a un sistema estructural de madera. En el presente trabajo, dicho modelo se adaptó para ser estructurado por perfiles de acero galvanizado conformados en frío, manteniendo la misma distribución arquitectónica y de muros de corte, los cuales están revestidos con placas OSB. Se considera un planta simétrica, con muros dispuestos en ambos sentidos principales para resistir cargas laterales.

El proyecto se ubica en zona sísmica III, de acuerdo con la clasificación establecida en la NCh 433 (INN, 2009), y es fundado en suelo tipo B, conforme al Decreto Supremo N°61 (Minvu, 2011). La Figura 3.1 muestra una elevación del sistema estructural, mientras que la Figura 3.2 presenta una vista en planta con la disposición de muros de corte (en azul).

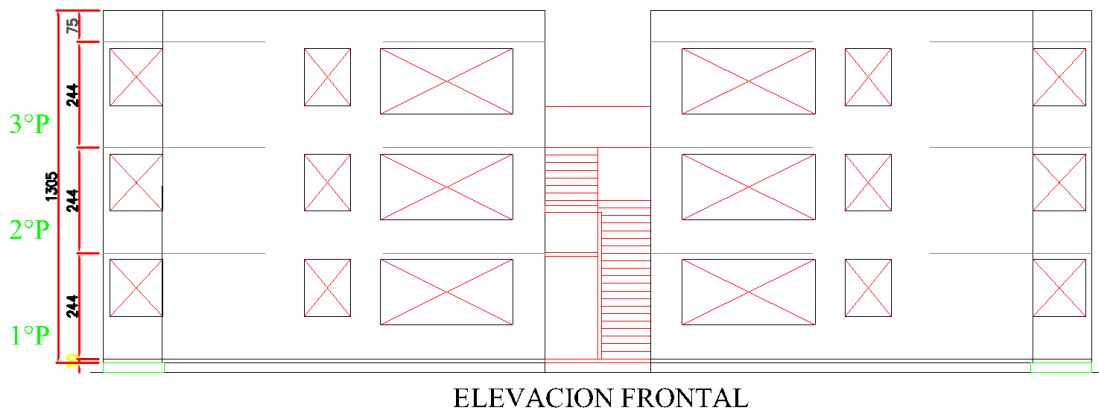


Figura 3.1 Elevación frontal estructura (medidas en centímetros).

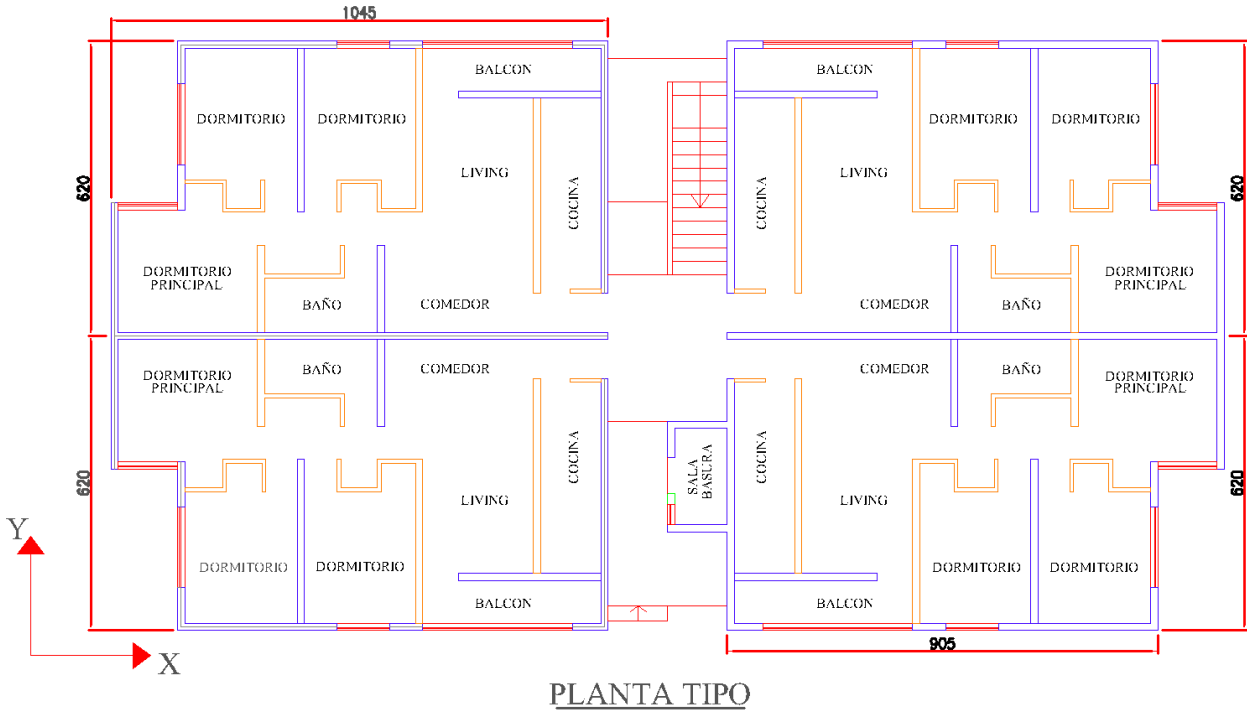


Figura 3.2 Distribución en planta estructura (medidas en centímetros).

3.3 Cargas de diseño

Las cargas de diseño para el caso de estudio se clasifican en:

- Cargas muertas (D).
- Sobrecarga de piso (L).
- Sobrecarga de techo (L_r).
- Cargas de viento (W).
- Cargas de sismo (E).

3.3.1 Cargas muertas

Las cargas muertas corresponden al peso propio de los elementos estructurales y constructivos permanentes. Para este caso se consideran los siguientes valores, extraídos de fuentes técnica y catálogos de fabricantes.

Tabla 3.1 Pesos propios elementos.

Elemento	Unidad	Valor	Fuente
Perfil montante C 2x6x1.6	N/m	30.01	Manual Técnico Metalcon (Cintac, 2023)
Solera inferior y superior U 2x6x1.0	N/m	16.18	Manual Técnico Metalcon (Cintac, 2023)
Placa OSB 11 mm (7/16")	N/m ²	79.39	Catálogo OSB APA (LP Chile, 2019)
Perfil montante C 2x6x1.0	N/m	19.02	Manual Técnico Metalcon (Cintac, 2023)
Viga U 2x6x1.0	N/m	16.18	Manual Técnico Metalcon (Cintac, 2023)
Placa OSB 15 mm	N/m ²	107.73	Catálogo OSB APA (LP Chile, 2019)

Además, como carga permanente en la estructura se considera:

- Carga de tabiques y cerámica: 0.743 kPa.
- Carga de hormigón liviano: 1 kPa.

3.3.2 Cargas vivas (sobrecargas de uso)

Las cargas de uso o sobrecargas se determinan según la norma NCh1537 Of.2009 (INN, 2009), dependiendo del tipo de recinto. Para el caso de esta edificación corresponde a:

- Piso: 2 kPa.
- Techo, con acceso solo para mantención: 1 kPa.

3.3.3 Carga sísmica

El análisis sísmico se basa en lo establecido por la NCh433 Of.1996 Mod. 2009 (INN, 2009), mediante un análisis estático equivalente según las características de la estructura, su ubicación geográfica y tipo de suelo de fundación. De esta forma, se consideran los siguientes parámetros.

- Zona sísmica III, con $A_0 = 0.4g$.
- Suelo tipo B, con $S = 1.0$.
- Categoría de ocupación II, con $I = 1.0$.
- Sistema estructural con muros de corte conformados por CFS y OSB, con reducción sísmica $R = 6.5$ según ASCE 7-22 (ASCE, 2022), tabla 12.2-1 (muros livianos con paneles estructurales).
- Coeficiente sísmico, $C_{m\acute{a}x} = 0.35 \cdot S \cdot A_0/g = 0.14$.
- Peso sísmico, $P.S. = 1.0D + 0.25L$.

Al utilizar el método de análisis equivalente con el coeficiente $C_{m\acute{a}x}$ de acuerdo a los parámetros de la zona sísmica y tipo de suelo, la estructura se diseña para la fuerza sísmica máxima requerida por la norma.

3.3.4 Carga de viento

La acción del viento se evalúa conforme a la NCh432 (INN, 2025). El análisis para las cargas de viento se realiza según lo indicado en el procedimiento direccional. A partir de ello, se consideran los siguientes parámetros para el cálculo de las presiones de viento del sistema principal resistente ante las fuerzas de viento (SPRFV):

- Velocidad básica del viento: 34 m/s.
- Categoría de exposición: C (área urbana abierta).
- Factor de direccionalidad del viento: $K_d = 0.85$.
- Factor de importancia: $I = 1.0$.
- Factor topográfico: $K_{zt} = 1.0$.

3.4 Método de diseño

El método para el diseño de la estructura corresponde al diseño por tensiones admisibles (Allowable Stress Design, ASD). A continuación se presentan las combinaciones de carga según NCh3171 (INN, 2017).

Las combinaciones con S y R, que corresponde a carga por nieve y lluvia, respectivamente, no se utilizan en el desarrollo de este trabajo.

- C1) D
- C2) D + L
- C3) D + (L_r o S o R)
- C4) D + 0.75 L + 0.75 (L_r o S o R)
- C5) D + W
- C6) D + E
- C7) D + 0.75 W + 0.75 L + 0.75 (L_r o S o R)
- C8) D + 0.75 E + 0.75 L + 0.75 S
- C9) 0.6 D + W
- C10) 0.6 D + E

3.5 Diseño de muros de corte

Los muros no estructurales (gravitacionales) son los interiores, se encargan de tomar la sobrecarga y peso propio de la estructura. Los muros estructurales de corte son los perimetrales, encargados de soportar carga gravitacional y además, dar estabilidad lateral frente a solicitaciones.

El diseño de muros de corte se fundamenta en la evaluación de las solicitaciones que actúan sobre ellos, donde se considera la fuerza cortante horizontal por carga sísmica y de viento, además de los efectos de momento volcante. Estas solicitaciones se concentran principalmente en los extremos del muro, donde se desarrollan esfuerzos de tracción y compresión que deben ser adecuadamente transmitidos mediante los conectores de anclaje.

Se asume que el diafragma de entre piso actúa como un diafragma flexible, por lo tanto, la distribución de cargas laterales se realiza en función de sus áreas tributarias.

Los muros estructurales cumplen con relación de aspecto (h/w) menor o igual a 2 según Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Muros estructurales.

Muro	Dirección	Longitud (m)	h/w	Área tributaria (m ²)
M1	X	3.350	0.728	12.078
M2	X	3.000	0.813	10.816
M3	X	10.300	0.237	37.136
M4	Y	2.800	0.871	12.567
M5	Y	3.450	0.707	15.484
M6	Y	1.825	1.337	8.191
M7	Y	5.300	0.460	23.788

La Figura 3.3 muestra la disposición de los muros estructurales en la mitad de la planta y su respectiva área tributaria indicada en la Tabla 3.2.

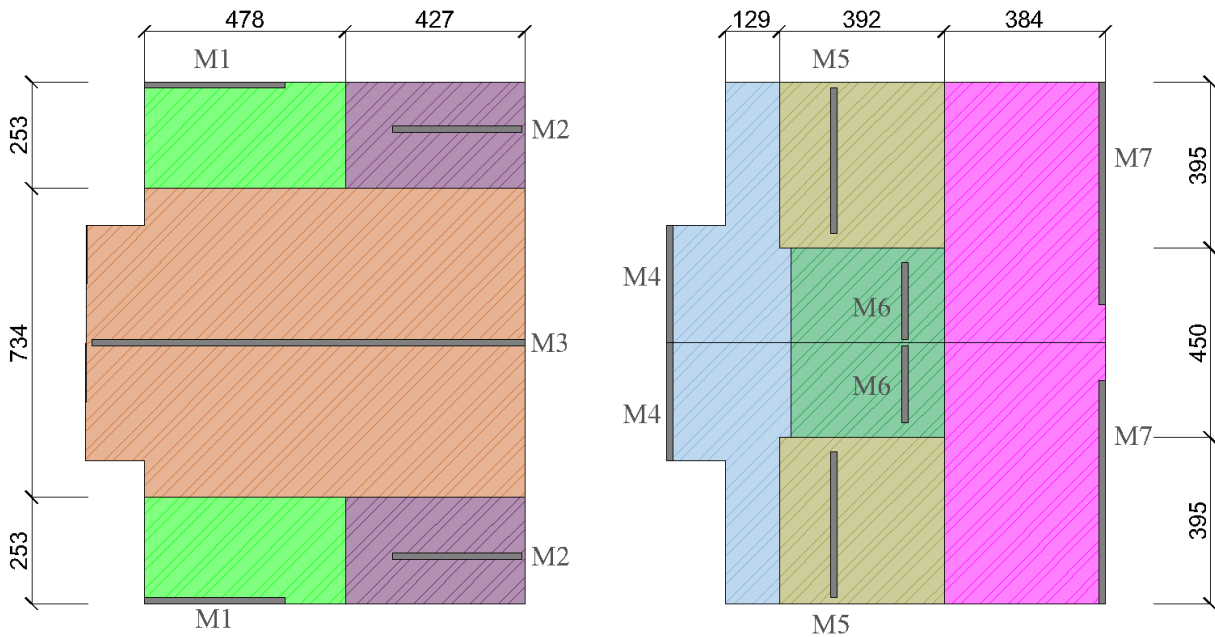


Figura 3.3 Áreas tributarias de muros de corte, en X (izquierda) y en Y (derecha).

A partir de lo anterior, se calcula la magnitud de esfuerzo cortante que absorbe cada muro como resultado de la carga lateral aplicada.

Luego, la deformación total del muro es obtenida según el corte del panel OSB, volcamiento del muro, deslizamiento relativo de los tornillos y la flexión local de la placa entre fijaciones. Este enfoque permite una representación más realista del comportamiento de los muros estructurales.

Con todos estos elementos, se determina finalmente el tipo de placa OSB, el espaciamiento de tornillos y el anclaje necesario, asegurando que cada muro cumpla con los requisitos de resistencia y rigidez establecidos por las normas nacionales vigentes e internacionales, y las recomendaciones técnicas consideradas en esta memoria. Se determina la resistencia requerida de cada muro, utilizando los valores de resistencia unitaria obtenidos de los estándares AISI S400-20 (AISI, 2020) y S240-20 (AISI, 2020), que proporcionan datos en función del OSB, tipo de tornillo y espaciamiento.

3.6 Diseño de anclaje

En complemento al diseño de muros de corte se analiza la respuesta frente al momento volcante, el cual genera esfuerzos de tracción y compresión en los extremos del muro. Para resistir las fuerzas de tracción generadas en los extremos del muros, se considera el uso del sistema de anclaje S/HDU de Simpson Strong-Tie (2023). Este sistema restringe el levantamiento del muro y controla la deformación asociada al momento volcante. La selección del modelo de anclaje se basa en los valores tabulados de capacidad a tracción para distintos espesores de perfil.

La resistencia necesaria de los anclajes se establece en función de la capacidad del muro de corte, sin superar la carga obtenida a partir de las combinaciones de carga correspondientes, considerando también la sobrerresistencia. Asimismo, la resistencia efectiva de los anclajes debe ser igual o superior a la resistencia requerida exigida.

La carga muerta actúa como un mecanismo estabilizador, disminuyendo la demanda efectiva que debe ser resistida por los hold-down. No obstante, el estándar AISI S240-20 (AISI, 2020) advierte que se debe evitar una sobreestimación de la contribución de la carga muerta, ya que no todo el peso puede ser efectivamente movilizado para equilibrar las acciones de levantamiento. Luego se determina la sollicitación de levantamiento, es decir, la combinación de carga más desfavorable, que debe ser resistida por el sistema de anclajes con el cálculo de tracción y compresión según la Ecuación 2.8.

3.7 Diseño de sistema de piso

El sistema de piso de la edificación cumple una doble función estructural, por un lado resistir las cargas gravitacionales provenientes de su peso propio, de la ocupación y de los elementos no estructurales; y por otro, comportarse como un diafragma horizontal capaz de transmitir las fuerzas laterales inducidas por el sismo o el viento hacia los muros de corte. Este comportamiento se evalúa considerando las solicitaciones en ambas direcciones del plano (X e Y), garantizando que la rigidez y resistencia del diafragma sean suficientes para mantener la integridad global de la estructura y la distribución adecuada de las cargas hacia los elementos verticales resistentes.

La Figura 3.4 presenta la división de paneles en cada departamento del edificio (muros estructurales en color azul y tabiques en color naranja). Una vez obtenida la carga por panel, se procede a definir las características del diseño, tales como el espesor del panel OSB, tamaño y espaciamiento de tornillos, y configuración del envigado de piso.

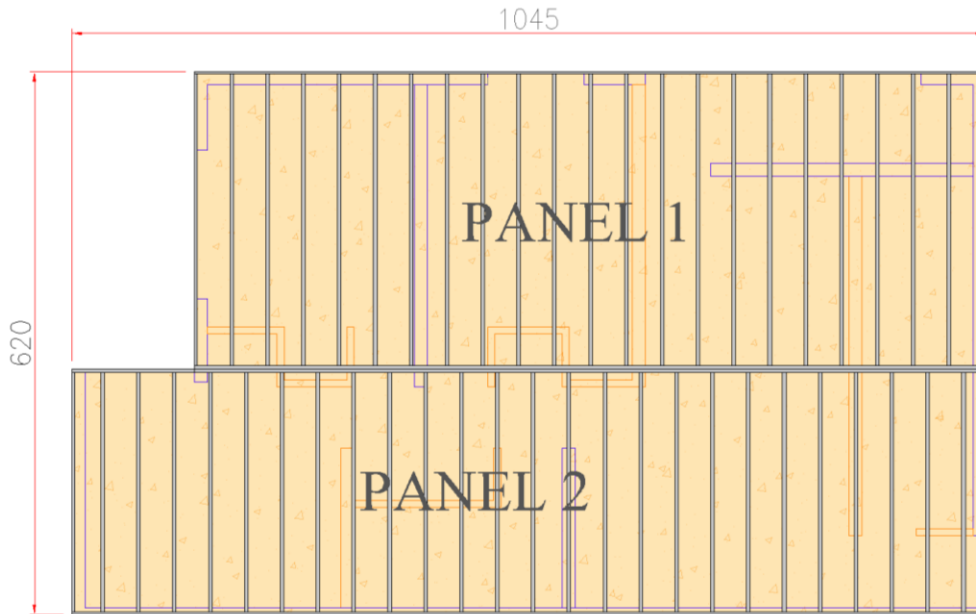


Figura 3.4 Paneles en sistema de piso (medidas en centímetros).

Tabla 3.3 Paneles del diafragma.

Panel	X (m)	Y (m)	Razón de aspecto	Área (m ²)
Panel 1	9.05	3.40	2.662	30.770
Panel 2	10.45	2.80	3.732	29.260

La Tabla 3.3 muestra las dimensiones de los paneles del diafragma, los cuales cumplen con la relación de aspecto de 4:1 para diafragmas bloqueados.

Para el análisis gravitacional se considera las características geométricas del envigado de piso, incluyendo la sección transversal de las vigas, la luz entre los apoyos y su espaciamiento.

Se debe evaluar el comportamiento frente a cargas laterales en ambas direcciones, longitudinal y transversal. Para ello, se compara la acción de la carga sísmica con la de viento, seleccionando para el diseño aquella que tenga mayor magnitud (la más desfavorable). Con este valor se calcula el corte generado, dado el ancho del diafragma se obtiene la fuerza en el nivel de piso.

3.8 Conclusiones

En este capítulo se presentó el procedimiento empleado para abordar el diseño estructural de una edificación de tres niveles conformada por perfiles de acero galvanizado en frío y placas OSB. Inicialmente, se describió la estructura analizada y sus características generales, incluyendo la distribución en planta, la vista en elevación y la disposición de los muros de corte, los cuales son objeto de verificación. Esta caracterización inicial permitió establecer una base clara para el desarrollo del análisis y la comparación con los requisitos normativos.

Posteriormente, se definieron las cargas gravitacionales y laterales aplicables de acuerdo con la normativa chilena vigente, abarcando cargas muertas, sobrecargas de uso, y acciones sísmicas y de viento. Se detalló el criterio utilizado para la obtención de estas cargas, garantizando que el modelo represente a las condiciones reales de sollicitación.

Finalmente, se expuso el procedimiento de diseño para los muros de corte y el sistema de piso, incorporando criterios esenciales relacionados con la resistencia, rigidez y estabilidad global de la estructura. Este enfoque metodológico no solo facilita la verificación del cumplimiento normativo, sino que también sienta las bases para el análisis detallado del sistema estructural que se desarrollará, asegurando que responda adecuadamente ante las sollicitaciones previstas.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Introducción

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos en el análisis estructural asociado a las cargas gravitacionales y laterales que afectan al edificio, conforme a los establecido en la normativa vigente. Asimismo, se presentan los resultados obtenidos del diseño de muros de corte, anclaje y sistema de piso, verificando su comportamiento frente a los esfuerzos actuantes. Se comprueba que el diseño propuesto cumple con las exigencias y rigideces establecidas.

4.2 Cargas sobre la estructura

En la Tabla 4.1 se detallan las cargas consideradas en la estructura, donde las cargas verticales corresponden al peso propio de los elementos estructurales, sobrecargas de uso en pisos y techumbre.

Tabla 4.1 Cargas consideradas sobre la estructura.

Muros piso 1	53339	N
Muros piso 2	51875	N
Muros piso 3	49824	N
Total muros	155038	N
Sistema de piso 1	39913	N
Sistema de piso 2	39913	N
Sistema de piso 3	39913	N
Total sistema de piso	119739	N
Carga tabiques y cerámicas	743	N/m ²
Peso total tabiques y cerámicas	600	kN
Carga hormigón liviano	1000	N/m ²
Peso total hormigón liviano	791	kN
Sobrecarga de piso	2000	N
Peso total sobrecarga de piso	1582	kN
Sobrecarga de techo	1000	N/m ²
Peso total sobrecarga de techo	264	kN
Peso edificio	1666	kN
Sobrecarga edificio	1582	kN
Peso sísmico (PP + 0.25 SC)	2061	kN
Corte basal edificio	289	kN

La Tabla 4.1 presenta un desglose detallado de los pesos propios de los distintos componentes estructurales y las cargas consideradas en el análisis. En ella se especifica el peso de los muros para cada piso, alcanzando un total de 149 kN en los tres niveles. Cabe señalar que estos valores no incluyen revestimientos de yeso ni sistemas de aislación en el muro.

En cuanto a los diafragmas, se verificó que la configuración es la misma en todos los pisos. Esto se debe a que el parámetro que condiciona el diseño es la deflexión asociada a la carga lateral de las vigas de piso y no los esfuerzos asociados a cargas gravitacionales, lo que justifica que el peso asignado sea idéntico para cada nivel.

En las siguientes secciones se presenta con mayor detalle los resultados obtenidos para ambos elementos estructurales.

La sobrecarga de uso se distribuye de forma uniforme en las plantas, y se considera la carga correspondiente a la cubierta, destinada principalmente al acceso de mantenimiento. La estimación de 0.743 kPa proviene de la carga permanente asociada a tabiques y revestimientos cerámicos, además de una carga permanente destinada a hormigón liviano sobre la planta de 1 kPa.

Con totalidad de estas cargas, se obtuvo un peso sísmico de 2061 kN, correspondiente al peso muerto más un 25% de la sobrecarga.

4.3 Carga de sismo

Según lo indicado en el capítulo anterior, en el análisis estático equivalente se concentra la acción sísmica en fuerzas laterales horizontales aplicadas en el centro de masa de cada nivel, donde se obtuvieron tres fuerzas sísmicas, una por cada piso, cuya suma total corresponde al corte basal sísmico. En las Tablas 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 se puede observar el análisis sísmico detallado.

Tabla 4.2 Datos de la estructura.

Zona sísmica	3
Tipo de suelo	B
Categoría de ocupación	II
R	6.5

Tabla 4.3 Coeficientes y parámetros del suelo.

Coeficiente I	1	
Aceleración efectiva (A0/g)	0.4	
Parámetros tipo de suelo	S	1.00
	T0 (s)	0.30
	T' (s)	0.35
	n	1.33
	p	1.50

Tabla 4.4 Análisis sísmico.

Coeficiente C mínimo	0.07	
Coeficiente C máximo	0.14	
Coeficiente C _x	0.14	
Coeficiente C _y	0.14	
Peso edificio	1660	kN
SC piso	1582	kN
25% SC piso	396	kN
P.S.	2061	kN
Q_{o,x}	289	kN
Q_{o,y}	289	kN

Tabla 4.5 Fuerzas sísmicas por piso.

Nivel	W _P (kN)	0.25W _L (kN)	W (kN)	Z _k (m)	A _k	A _k P _i	F _i (kN)
1	557	132	689	2.44	0.15	10.27	75
2	555	132	687	4.88	0.18	12.41	90
3	553	132	685	7.32	0.24	17.09	124
Totales			2061		0.57	39.77	289

Estas fuerzas se distribuyen proporcionalmente en cada piso considerando su masa y altura, lo que permite determinar el esfuerzo cortante que debe resistir cada muro de corte como se observa en la Figura 4.1.

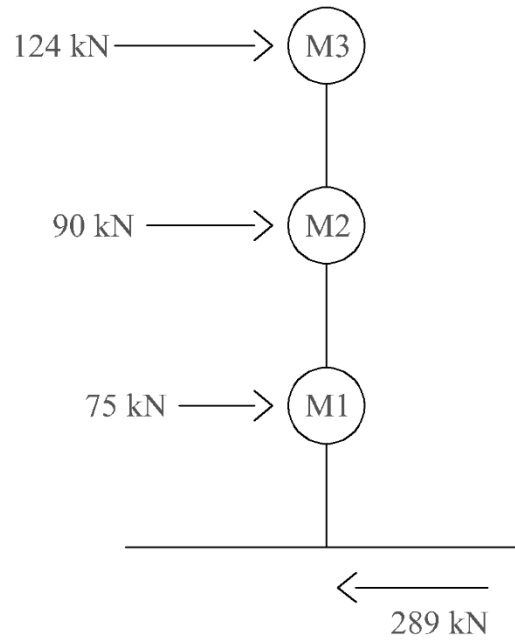


Figura 4.1 Fuerzas sísmicas por cada piso.

4.4 Carga de viento

Para la evaluación del efecto del viento sobre la estructura, se consideraron los parámetros para el cálculo de las presiones de viento del sistema principal resistente ante las fuerzas de viento (SPRFV), obteniendo así las siguientes presiones de viento para la estructura, sobre muros barlovento, sotavento, laterales y techumbre, tanto en dirección perpendicular (Tabla 4.6) como paralela a la cumbrera (Tabla 4.7).

Tabla 4.6 Presión básica de viento, normal a la cumbrera.

qv (N/m²) - Viento normal a la cumbrera				
	Cp	0 m – 4.98 m	4.98 m – 7.42 m	7.42 m - 8.17 m
Muro barlovento	0.80	459	489	496
Muro sotavento	-0.32			-262
Muros laterales	-0.70			-447
Techo 0 a h	-0.90			-545
Techo h a 2h	-0.50			-349
Techo > 2h	-0.30			-251

Tabla 4.7 Presión básica de viento, paralelo a la cumbrera.

qv (N/m²) - Viento paralelo a la cumbrera				
	Cp	0 m – 4.98 m	4.98 m – 7.42 m	7.42 m – 8.17 m
Muro barlovento	0.80	459	489	496
Muro sotavento	-0.50			-349
Muros laterales	-0.70			-447
Techo 0 a h/2	-0.94			-567
Techo > h/2	-0.84			-514

La carga mínima de viento de diseño según lo indicado en el punto 6.1.5 de la NCh432 (INN, 2025), es de 250 N/m² para muros y 130 N/m² para techos, por lo que se cumple lo solicitado por la norma.

4.5 Muros de corte

El diseño de muros de corte se realizó considerando las solicitaciones generadas por las cargas laterales provenientes de viento y sismo.

Para los muros de corte se dispusieron dos paneles OSB 11.1 mm (7/16”), uno por cada cara del muro. Los pie derechos se conformaron con perfiles tipo C 2x6x1.6, con una separación de 410 mm, mientras que las soleras se conformaron con perfiles tipo U 2x6x1.0, considerando una solera inferior y dos soleras superiores en cada muro de corte como se observa en la Figura 4.2.

En la Figura 4.2 se observa las dimensiones del muro M1 del primer piso y su composición.

En la Tabla 4.8 se muestra como están compuesto los muros del primer piso, indicando la cantidad de pies derechos en los extremos e intermedios, la configuración del muro, el corte, peso total del muro y su deformación. El detalle de los muros de la estructura se encuentra en los Anexos 2.1, 2.2 y 2.3.

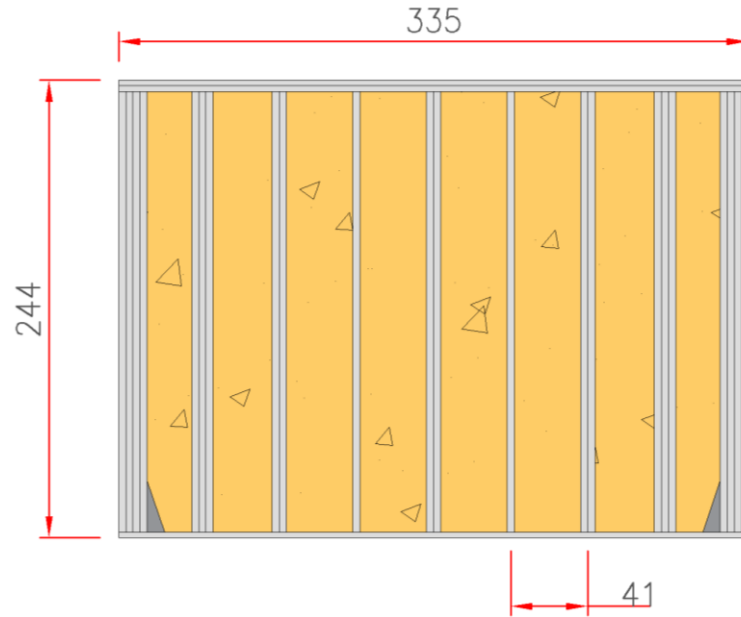


Figura 4.2 Muro M1, primer piso (medidas en centímetros).

Tabla 4.8 Detalle muros primer piso.

Muro	Pies derechos en cada extremos	Pies derechos intermedios	Cantidad de panel OSB	Tamaño tornillos (mm)	Espaciado tornillos en los bordes del panel (mm)	Peso (N)	Corte (N/m)	Deformación (mm)
M1	8	14	2	8	101.6	3071	6539	4.58
M2	8	12	2	8	101.6	2772	6542	4.84
M3	8	42	2	8	101.6	8152	8937	4.57
M4	8	12	2	8	101.6	2685	5351	4.09
M5	6	12	2	8	50.8	2822	9903	4.37
M6	4	8	2	8	50.8	1927	9301	5.60
M7	8	22	2	8	76.2	5240	9716	4.82

Dado los resultados de la Tabla 4.8, es posible relacionar la configuración constructiva de los muros con su resistencia al corte. Los muros más largos y con mayor número de pies derechos, como el muro M3, presentan un mayor peso con una capacidad de corte elevada. Por otro lado, muros de menor longitud, como muros M5 y M6, alcanzan resistencias mayores.

En general, los resultados asociados a los muros de corte demuestran que no sólo el peso del muro, sino también la relación entre largo y altura, y la disposición de pies derechos, influyen para encontrar un equilibrio entre resistencia y rigidez frente a cargas sísmicas.

Luego, de la sección 12.8.6 del ASCE 7-22 (ASCE, 2022), se calculó la deflexión del nivel para calcular la deriva del piso, donde el factor C_d se obtuvo de la tabla 12.2-1 del estándar, el cual es igual a 4 al tratarse de un sistema estructural con muros de corte de acero conformado en frío revestidos con paneles estructurales de madera, y el factor de importancia es igual a 1.

$$\delta = \frac{C_d \cdot \Delta_{muro}}{I} \quad (4.1)$$

El factor C_d se emplea para ajustar los desplazamientos obtenidos a partir del análisis elástico lineal, de modo que representen de manera más realista la respuesta inelástica de la estructura frente a sollicitaciones sísmicas. Los modelos de cálculo entregan derivas bajo el supuesto de un comportamiento permanente elástico; sin embargo, en condiciones reales, los muros de corte experimentan deformaciones adicionales asociadas a la fluencia del material, la rigidez de las conexiones y el comportamiento cíclico del sistema.

La Tabla 4.9 y Figura 4.3 presentan las deformaciones y drifts para cada muro del edificio. Las deformaciones, expresadas en milímetros, corresponden al desplazamiento lateral producto de las cargas sísmicas (carga más desfavorable en comparación a la de viento), mientras que el drift, expresado en porcentaje, representa la deformación relativa en función a la altura de piso.

En el primer nivel las deformaciones varían entre 4.08 mm (M4) y 10.211 mm (M6), siendo este último el muro más flexible y con mayor drift (1.67%). En el segundo piso, las deformaciones tienden a incrementarse respecto al primer piso, alcanzando drift de hasta 1.06%, lo que se explica porque este nivel no solo experimenta su propia deformación bajo cargas laterales, sino que también recibe el desplazamiento proveniente del primer piso, el cual actúa como base flexible y amplifica la respuesta. Por último, en el tercer piso los drift son menores, con drift que no superan el 0.48%, debido a la menor acumulación de cargas laterales.

Tabla 4.9 Deformaciones y drifts de entrepiso de cada muro según ASCE 7-22.

Muro	Piso 1		Piso 2		Piso 3	
	Deformación (mm)	Drift (%)	Deformación (mm)	Drift (%)	Deformación (mm)	Drift (%)
M1	4.59	0.75	7.67	0.51	9.21	0.25
M2	4.84	0.79	8.09	0.53	9.71	0.27
M3	4.57	0.75	7.57	0.49	9.04	0.24
M4	4.09	0.67	6.88	0.46	8.28	0.23
M5	4.37	0.72	7.23	0.47	8.57	0.22
M6	5.60	0.92	9.29	0.60	11.01	0.28
M7	4.82	0.79	7.79	0.49	9.16	0.22

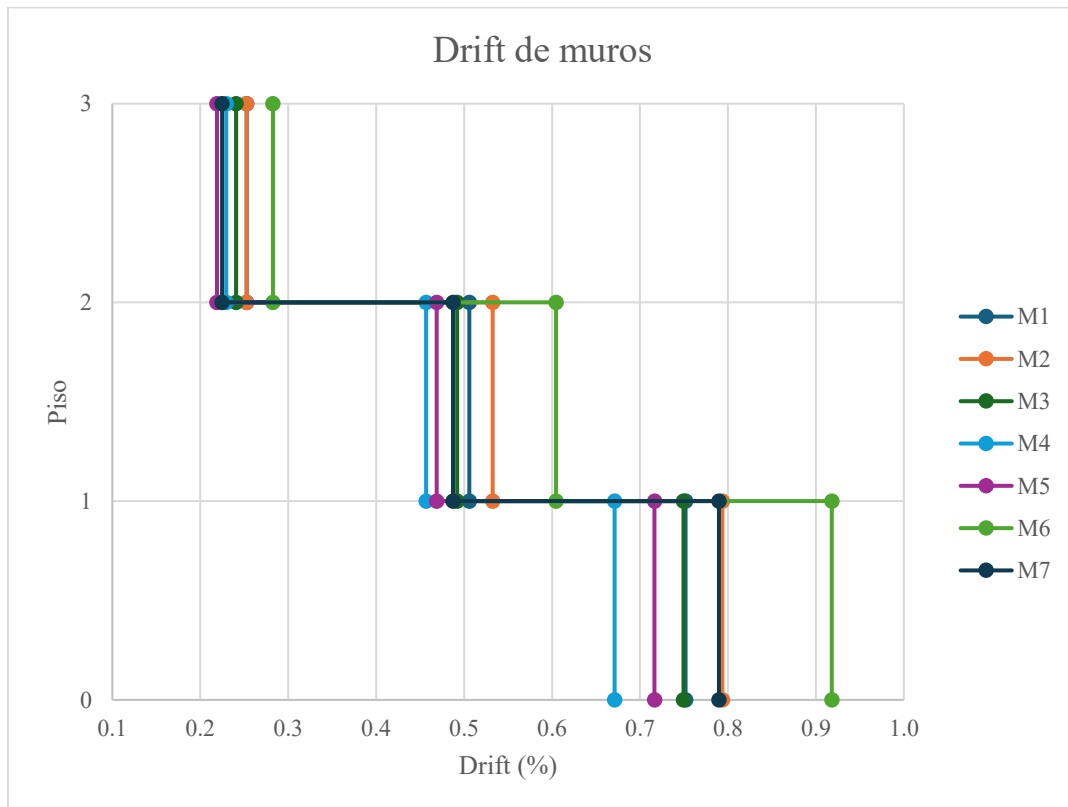


Figura 4.3 Gráfico de drift de muros según ASCE 7-22.

De esta manera, se verifica que cada muro cumple con los límites de deformación según la tabla 12.12-1 del ASCE 7-22 (ASCE, 2022), donde el límite de desplazamiento entre pisos admisible es de $0.025 = 2.5\%$ para sismo reducido por el factor R y amplificado por C_d .

Por otra parte, el cálculo de drift según la normativa chilena debe ser de acuerdo a los desplazamientos obtenidos en el análisis estructural sísmico, considerando la acción sísmica reducida por el factor R como se observa en la Tabla 4.10 y Figura 4.4.

Tabla 4.10 Deformaciones y drifts de entrepiso de cada muro según NCh433.

Muro	Piso 1		Piso 2		Piso 3	
	Deformación (mm)	Drift (%)	Deformación (mm)	Drift (%)	Deformación (mm)	Drift (%)
M1	4.59	0.19	7.67	0.13	9.21	0.06
M2	4.84	0.20	8.09	0.13	9.71	0.07
M3	4.57	0.19	7.57	0.12	9.04	0.06
M4	4.09	0.17	6.88	0.11	8.28	0.06
M5	4.37	0.18	7.23	0.12	8.57	0.05
M6	5.60	0.23	9.29	0.15	11.01	0.07
M7	4.82	0.20	7.79	0.12	9.16	0.06

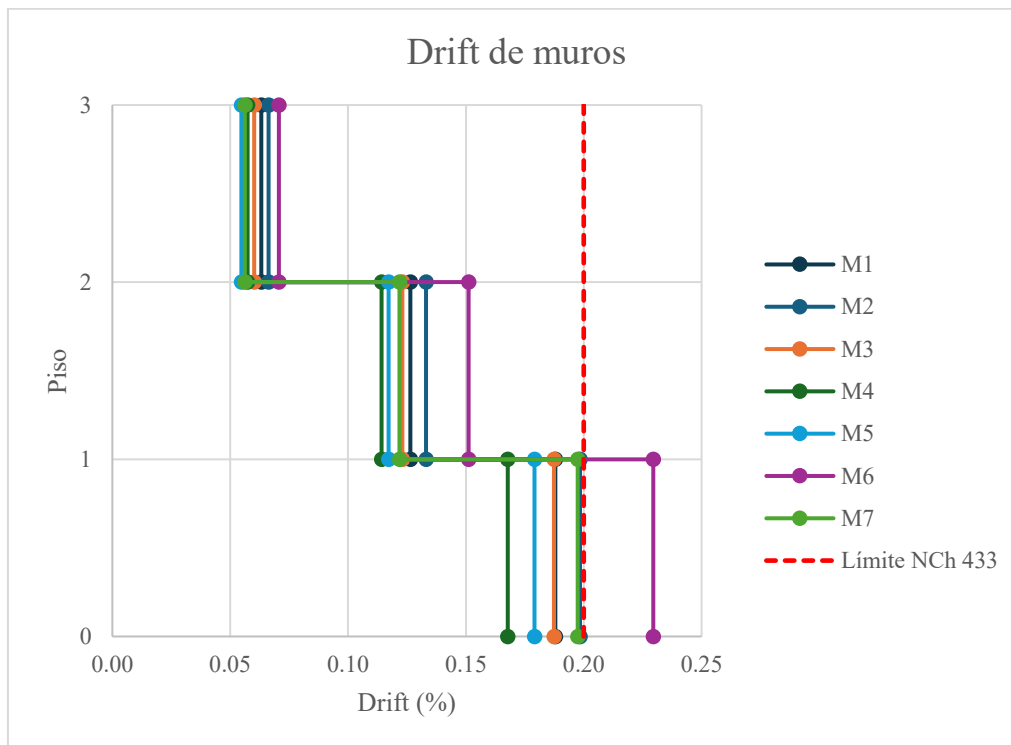


Figura 4.4 Gráfico de drift de muros según NCh 433.

Del análisis de derivas según lo establecido en la NCh433.Of1996 mod. 2009 (INN, 2009) se observa que la mayoría de los muros cumplen con la deriva máxima permisible en estado límite último de $0.002 = 2\%$.

4.6 Anclaje

Para el dimensionamiento de los anclajes se consideró la combinación de carga más desfavorable, correspondiente a la combinación 8 del Capítulo 3, dado que genera las máximas solicitaciones de levantamiento sobre los muros. La estimación de la carga de tracción sobre cada anclaje se realizó mediante la relación entre la fuerza cortante actuante en el muro, la distancia entre los centros de esfuerzos de tracción y compresión (tal como se presenta en la Figura 4.5) y el largo total del muro.

Se determinó la magnitud de la carga que cada anclaje debe resistir para garantizar la resistencia del sistema estructural frente a los esfuerzos que tienden a separar al muro de su base. De esta forma, se asegura que los elementos de conexión cumplan con los criterios estructurales.

Tabla 4.11 Detalle diseño de anclajes, piso 1.

Muro	Fuerza cortante, V (N)	d (m)	T=C (N)
M1	14014	3.076	11121
M2	12550	2.726	11238
M3	43089	10.026	10491
M4	14134	2.526	13660
M5	17415	3.233	13150
M6	9212	1.665	13508
M7	35279	5.026	17138

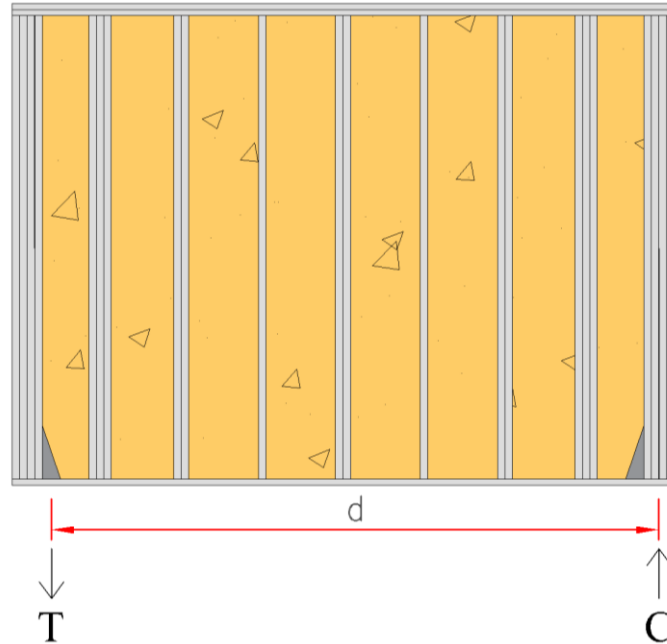


Figura 4.5 Distancia entre centro de esfuerzos de tracción y compresión en el muro.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4.11, donde la fuerza de tracción varía dependiendo del largo del muro y la magnitud de la sollicitación cortante. A medida que aumenta el largo del muro, se incrementa la distancia sobre la cual actúan los momentos de volcamiento generados por la fuerza cortante, lo que produce mayores esfuerzos de tracción en los anclajes ubicados en la base del muro. Estos resultados permiten identificar los casos críticos de diseño y que los elementos de conexión seleccionados sean capaces de resistir las fuerzas calculadas.

En función de estos valores, la selección del modelo de anclaje se realizó comparando los valores de tracción con las capacidades tabuladas de los hold-down, se optó por el modelo S/HDU 6 . De este modo, se asegura que el sistema de anclaje no solo resista las sollicitaciones de levantamiento, sino que además controle de manera adecuada de la deformación asociada al momento volcante, garantizando la resistencia global de los muros de corte.

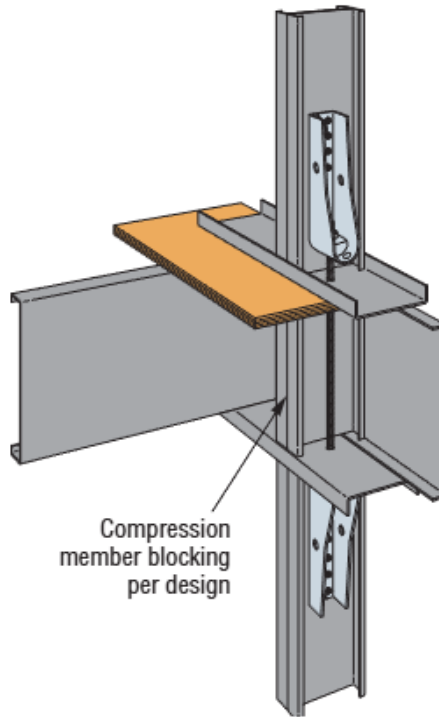


Figura 4.6 Instalación S/HDU de piso a piso.

Fuente: Simpson Stron-Tie (2023).

4.7 Diafragmas

Para el diseño y verificación de los diafragmas se determinó el corte solicitado a partir de las fuerzas laterales obtenidas del análisis estructural. El diseño de los paneles del diafragma consta de un panel OSB 19/32” (15 mm) y un espaciamiento entre vigas de 410 mm. En el diseño de envigado de piso se emplearon perfiles C 2x6x1.0 y canal de borde con perfiles U 2x6x1.0 como se muestra en la Figura 4.7.

Tabla 4.12 Detalle paneles piso 1.

Panel	Carga lateral (N/m)		Resistencia al corte (N/m)	Diámetro tornillo	Espaciamiento tornillos (mm)	Deflexión Δ_x (mm)	Deflexión Δ_y (mm)
	S_x	S_y					
Panel 1	S_x	15942	17980	10	101.6	14.540	23.340
	S_y	9000					
Panel 2	S_x	13807	17980	10	101.6	10.736	29.653
	S_y	10392					

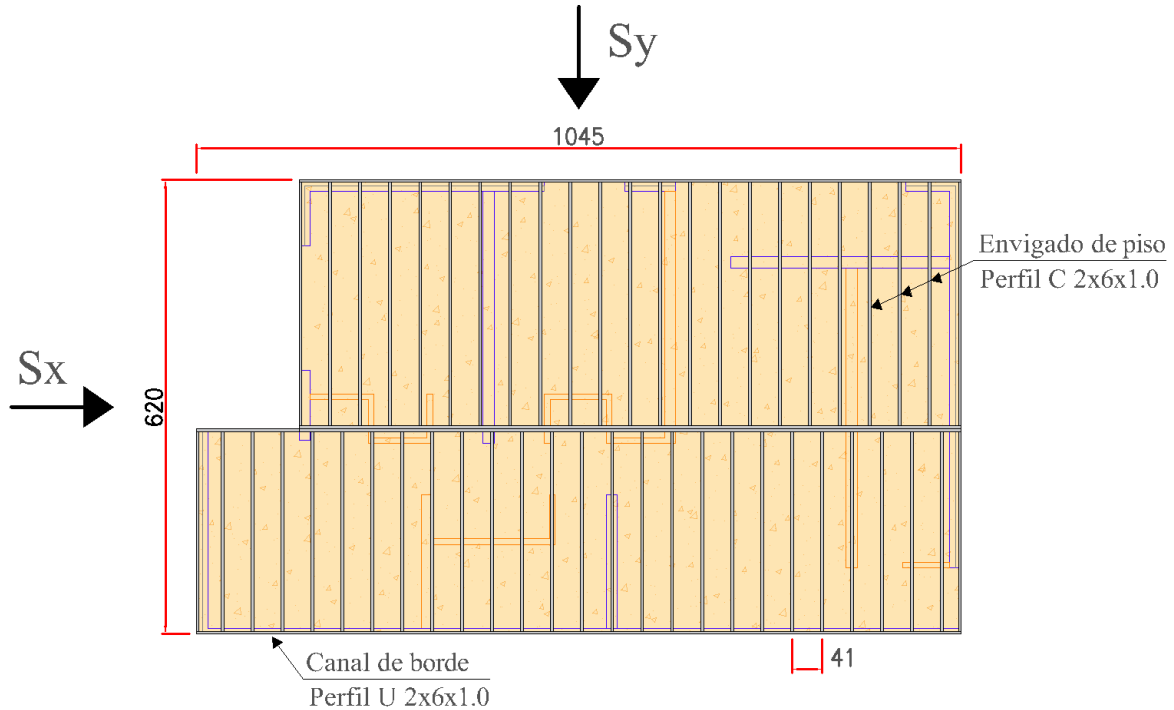


Figura 4.7 Disposición de diafragmas en todo los pisos (medidas en centímetros).

En la Tabla 4.12 se detalla las características de los paneles del primer piso frente a cargas laterales en dirección X e Y, obtenidas a partir del análisis estructural. Para cada panel se indican las cargas laterales solicitadas, la resistencia al corte disponible, el diámetro y espaciamiento de los tornillos empleados, así como las deflexiones calculadas en ambas direcciones.

Estos resultados consideran tanto la capacidad de los tornillos para transferir esfuerzos cortantes entre panel y estructura, como rigidez del conjunto. La comparación entre la carga solicitada y resistencia al corte, demuestra que el sistema de piso cumple con la resistencia requerida.

Tabla 4.13 Deflexión de diafragmas de cada departamento.

Piso	Panel 1		Panel 2	
	Deflexión Δ_x (mm)	Deflexión Δ_y (mm)	Deflexión Δ_x (mm)	Deflexión Δ_y (mm)
1	15.41	21.40	15.41	21.40
2	11.13	16.48	11.13	16.48
3	5.15	8.34	5.15	8.34

La Tabla 4.13 muestra las deflexiones para el diafragma de cada departamento en ambas direcciones para los tres niveles del edificio. En todos los casos, la deflexión en Y es mayor que en X, lo que se le atribuye la luz efectiva en Y es mayor que en X. Asimismo, se observa que las deflexiones disminuyen progresivamente desde el primer al tercer piso, lo cual es coherente dado que los niveles inferiores concentran mayores esfuerzos y, por ende, mayores deformaciones, mientras que en los pisos superiores la demanda estructural es menor.

4.8 Idealización del diafragma flexible

Con el diseño definitivo de la estructura, se procede a evaluar el cumplimiento de los criterios establecidos para idealizar el diafragma como flexible, de acuerdo con lo indicado en el apartado 2.3.6.

La Tabla 4.14 presenta las deformaciones obtenidas para los muros y diafragmas en cada dirección. Se debe considerar que la deformación del diafragma en cada piso debe ser significativamente mayor para validar el supuesto adoptado para el diseño.

Tabla 4.14 Deformaciones de muros y diafragmas (panel 1) por piso.

Piso	Dirección X		Dirección Y	
	Deformación muros (mm)	Deformación de diafragma (mm)	Deformación muros (mm)	Deformación de diafragma (mm)
1	4.84	14.54	4.82	23.34
2	3.25	10.21	2.97	19.19
3	1.62	4.25	1.37	9.45

Tabla 4.15 Deformaciones de muros y diafragmas (panel 2) por piso.

Piso	Dirección X		Dirección Y	
	Deformación muros (mm)	Deformación de diafragma (mm)	Deformación muros (mm)	Deformación de diafragma (mm)
1	4.57	10.74	5.60	29.65
2	3.00	7.66	3.69	24.21
3	1.47	3.13	1.72	11.96

Finalmente, se confirma la validez la idealización adoptada, ya que en todos los niveles se verifica que la deformación del diafragma es superior incluso al doble de deformación de los muros.

4.9 Conclusiones

Del análisis y resultados presentados en este capítulo se puede concluir que la estructura evaluada muestra una resistencia satisfactoria frente a cargas laterales, tanto sísmicas como de viento, siendo la carga sísmica la más crítica según Anexo 5.1. Esto permite enfocar el diseño de muros, anclajes y diafragmas en los escenarios de mayor sollicitación.

Los muros de corte OSB, apoyados en perfiles de acero conformado en frío, presentan rigidez y resistencias adecuadas para resistir las fuerzas laterales. La selección y dimensionamiento de los anclajes se realizó considerando la combinación de carga más desfavorable, garantizando que los esfuerzos de tracción se mantenga dentro de los límites seguros. El análisis de los diafragmas muestra una adecuada transmisión de fuerzas cortantes, manteniendo la resistencia requerida.

Finalmente, la idealización del diafragma flexible permite estimar de manera conservadora las deformaciones y la distribución de esfuerzos.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

El trabajo realizado permitió avanzar en la comprensión y el diseño estructural de edificaciones con sistema de acero conformado en frío, integrando en un procedimiento con aspectos clave como la respuesta de muros con placas OSB, la función estructural del sistema de piso y la influencia de los anclajes en la edificación. La investigación respecto al análisis sísmico y gravitacional de estas construcciones, depende de la interacción conjunta de dichos elementos, por lo que se deben considerar de manera conjunta en el proceso de diseño.

Los resultados obtenidos mostraron que los muros de corte con OSB cumplen con la resistencia requerida frente a acciones laterales, la cual depende de la adecuada configuración de placas, conectores y anclajes. Del mismo modo, el sistema de piso cumple un rol en la transmisión de cargas laterales hacia los muros de corte y en el control de deformaciones.

El procedimiento de diseño propuesto constituye un aporte práctico para la ingeniería estructural en Chile, al reunir criterios normativos nacionales e internacionales, ofreciendo así una herramienta práctica de diseño.

La aplicación a un caso de estudio validó la pertinencia de este enfoque, demostrando que el sistema estructural diseñado correctamente, puede cumplir con los requisitos de resistencia y rigidez en edificaciones.

El desarrollo de la memoria también deja la necesidad de seguir perfeccionando los métodos de análisis y diseño. Aunque el procedimiento propuesto representa un avance significativo, persisten desafíos relacionados con la modelación no lineal, la caracterización experimental de los componentes y la integración normativa del sistema estructural de acero conformado en frío en la práctica chilena. Estas limitaciones, lejos de ser un obstáculo, constituyen una oportunidad para continuar fortaleciendo el conocimiento técnico y normativo en torno a este sistema constructivo.

En este sentido, futuras investigaciones podrían enfocarse en la validación experimental de muros, pisos y conexiones; el desarrollo de modelos numéricos avanzados; la evaluación de nuevas configuraciones arquitectónicas y materiales; y el estudio de soluciones de fundación adaptadas a

estructuras livianas. De este modo, el presente trabajo se convierte en un punto de partida para consolidar un marco técnico que respalde el uso seguro, eficiente y normativamente sustentado del sistema estructural de acero conformado en frío en el contexto nacional.

REFERENCIAS

Alacer Mas. (2025). *Autoperforante hexagonal con arandela EPDM \varnothing 16 mm DIN-7504 K*.

American Iron and Steel Institute. (2019). *Cold-Formed Steel Shear Wall Design Guide (D113-19)*.

American Iron and Steel Institute. (2020). *North American Standard for Cold-Formed Steel Structural Framing (AISI S240-20)*.

American Iron and Steel Institute. (2020). *North American Standard for Seismic Design of Cold-Formed Steel Structural Systems (AISI S400-20)*.

American Society of Civil Engineers. (2022). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-22)*.

ArchDaily. (s.f.). *Solución Constructiva con Perfiles Metálicos*. Volcometal.

CINTAC. (s.f.). *Manual de Construcción Perfiles y Estructuras*. Santiago, Chile.

CINTAC. (2023). *Manual de Diseño Metalcon*. Santiago, Chile.

CSN. (2023). *Grandes Terremotos en Chile, Mw mayor o igual a 7.0*. Centro Sismológico Nacional (CSN).

Diario Financiero. (2023). *Construcción y Sustentabilidad – Radiografía a la Industria del Acero en Chile*. Santiago, Chile.

Diario Oficial. (2011). *Decreto 61: Aprueba Reglamento que fija el Diseño Sísmico de Edificios*. Diario Oficial de la República de Chile, 13 de Diciembre de 2011. Santiago, Chile.

Dolan, J.D., & Foschi, R.O. (1991). *Structural Analysis Model for Static Loads on Timber Shear Walls*.

- Filiatrault, A., Folz, B. (2002). *Performance-Based Seismic Design of Wood Framed Buildings*. Journal of Structural Engineering, 128(1), 39-47.
- Humeres, F., E. (2017). *Diseño de un Edificio Social de Mediana Altura en Madera Mediante un Sistema Tipo Plataforma*. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción.
- Instituto Nacional de Normalización. (2009). *NCh433 Of.1996 Mod.2009: Diseño Sísmico de Edificios*. Santiago, Chile.
- Instituto Nacional de Normalización. (2009) *NCh1537 Of.2009: Diseño estructural – Cargas Permanentes y Cargas de Uso*. Santiago, Chile.
- Instituto Nacional de Normalización. (2025). *NCh432: Diseño estructural – Cargas de Viento*. Santiago, Chile.
- Instituto Nacional de Normalización. (2017). *NCh3171: Diseño estructural – Disposiciones Generales y Combinaciones de Carga*. Santiago, Chile.
- International Code Council (ICC). (2024). *International Building Code (IBC)*.
- LP Chile. (2019). *Catálogo OSB APA*.
- Serrette, R., & Chau, K. (2006). *Estimating the Response of Cold-Formed Steel Fram Shear Walls*. Center for Light Frame Structural Research, Santa Clara University.
- Simpson Strong-Tie. (2023). *Connectors for Cold-Formed Steel Construction (C-CF-2023)*.

ANEXO 1.1: Contribución a los objetivos de desarrollo sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. Seleccione a cuál o cuáles de los 17 ODS contribuye su trabajo de Memoria de Título:

- ODS-1 : Fin de la pobreza.
- ODS-2 : Hambre cero.
- ODS-3 : Salud y bienestar.
- ODS-4 : Educación de calidad.
- ODS-5 : Igualdad de género.
- ODS-6 : Agua limpia y saneamiento.
- ODS-7 : Energía asequible y no contaminante.
- ODS-8 : Trabajo decente y crecimiento económico.
- ODS-9 : Industria, innovación e infraestructura.
- ODS-10 : Reducción de las desigualdades.
- ODS-11 : Ciudades y comunidades sostenibles.
- ODS-12 : Producción y consumo responsables.
- ODS-13 : Acción por el clima.
- ODS-14 : Vida Submarina.
- ODS-15 : Vida de ecosistemas terrestres.
- ODS-16 : Paz, justicia e instituciones sólidas.
- ODS-17 : Alianzas para lograr los objetivos.

Vinculación
<p>El presente trabajo contribuye directamente a los Objetivos del Desarrollo Sostenible en el ámbito de la innovación en infraestructura y la construcción de ciudades sostenibles.</p> <p>Mediante el desarrollo de un procedimiento de diseño aplicado al sistema estructural de acero conformado en frío, se promueve la utilización eficiente de recursos constructivos, favoreciendo soluciones más livianas, seguras y adaptadas a la realidad sísmica nacional. Esta contribución responde al ODS-9, dado que impulsa la innovación técnica en sistemas constructivos y aporta herramientas que mejoran la calidad y confiabilidad de la infraestructura.</p>

Asimismo, el fortalecimiento del diseño de edificaciones en acero conformado en frío se vincula con el ODS-11, ya que favorece el desarrollo de ciudades más resilientes y sostenibles. Al tener un procedimiento de diseño estructural de viviendas y edificaciones, se contribuye a aumentar la seguridad de las comunidades frente a eventos sísmicos y a optimizar procesos constructivos de menor impacto ambiental en comparación a los sistemas tradicionales. De este modo, la memoria aporta al avance hacia una construcción más responsable, segura y que cumple con la necesidades del entorno urbano y social.

ANEXO 2.1: DISEÑO DE MUROS DE CORTE

El diseño de muros de corte se realizó según lo detallado en capítulos anteriores.

Tabla A.2.1.1 Chequeo diseño de muro M1 del piso 1.

MURO 1 - PISO 1	
b (mm)	3350
h (mm)	2440
Área muro (m ²)	8.174
Ancho tributario (m)	2.530
Largo tributario (m)	4.774
Área tributaria (m ²)	12.078
Carga D diafragma (N)	3981
Carga D muro (N)	3071
Carga D permanente (N/m ²)	1724
Carga D total (N)	25244
Sobrecarga piso (N)	23689
Sismo (N)	288558
Viento (N)	42556
Factor tributario	0.101
Carga desfavorable (N)	288558
Carga distribuida (N/m)	60439
Corte V (N/m)	6538.57
Resistencia al corte V_n/Ω (N/m)	16461.84
Verificación	Cumple.
Deformación Muro 1 - piso 1	
E_s (N/mm ²)	203000
A_c (mm ²)	390
ρ	1.05
G (MPa)	352
t_{corte} (mm)	11.1
t_{montante} (mm)	1.6
s (mm)	101.6
ω_4	1
β (N/mm ^{1.5})	1.91
Brazo de momento, d (mm)	3076
Resistencia al vuelco requerida, T=C (N)	11121
δ_v (mm)	1.041
Deformación Δ (mm)	4.586

En la Tabla A.2.1.1 se presentan los parámetros geométricos y mecánicos asociados al muro M1 en el primer piso de la edificación. El área tributaria asociada al muro es de 12.08 m^2 , a partir de la cual se determinan las cargas que actúan sobre este elemento.

Las cargas gravitacionales se descomponen en peso propio del diafragma de piso, peso propio del muro y cargas permanentes. El total de las cargas gravitacionales que recibe el muro es de 25244 N y de sobrecarga de piso es de 23689 N . Por otra parte, la acción sísmica calculada es de 288558 N , equivalente a una carga distribuida de 60439 N/m .

En términos de resistencia, el cortante demandado en el muro se encuentra por debajo de la resistencia al corte disponible, por lo tanto, la verificación indica que el muro cumple con la condición de resistencia de corte.

En cuanto al comportamiento de deformación, el muro tiene una deformación de 4.586 mm . La resistencia al volcamiento tiene un valor de 11121.46 N , valor que es satisfecho por los anclajes definidos.

En síntesis, el muro M1 del primer piso presenta una resistencia adecuada frente a las cargas gravitacionales y laterales de diseño, cumpliendo tanto en términos de resistencia al corte como en desplazamientos y volcamiento.

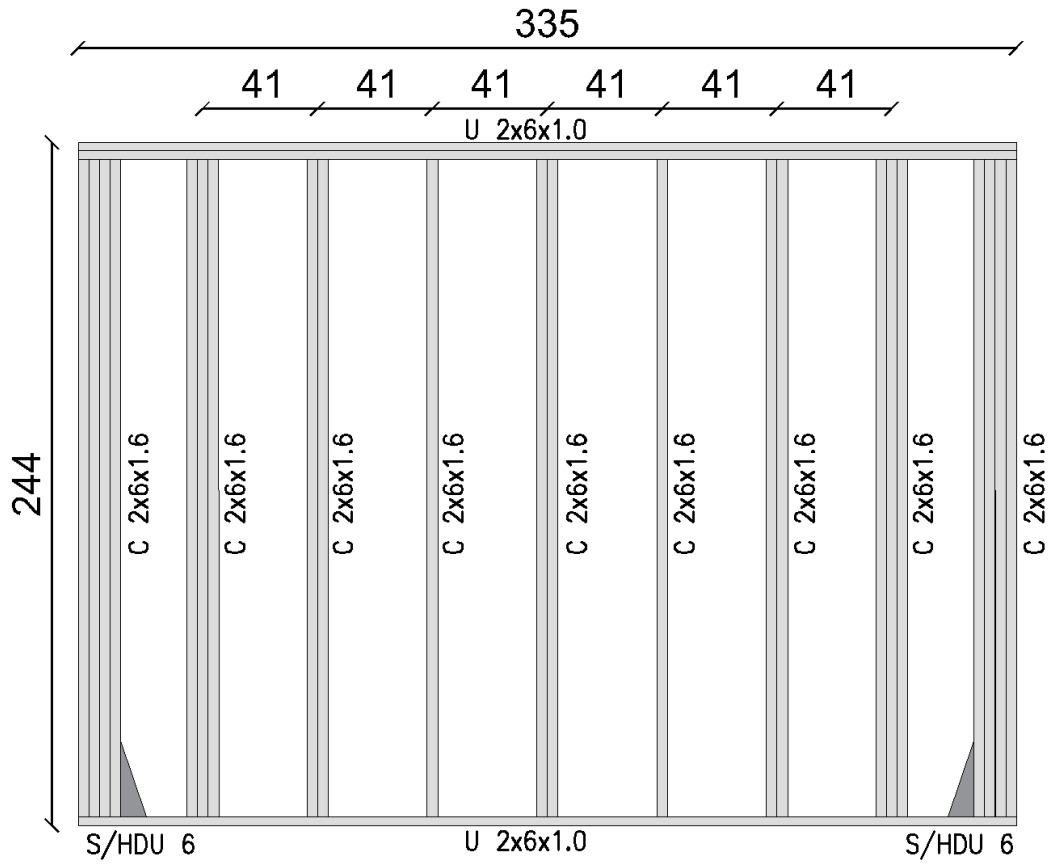


Figura A.2.1.1 Detalle muro M1, primer piso (medidas en centímetros).

ANEXO 2.2: RESULTADOS DE MUROS DE CORTE

En las siguientes tablas se muestran los resultados de cada muro de corte por nivel, considerando la cantidad de pies derechos en cada extremo, los pies derechos intermedios cada 410 mm, cantidad de paneles OSB por muro, tipo de anclaje utilizado, detalle de tornillos, el peso de cada muro, el corte asociado a cada uno y la deformación total del muro debido al corte.

Tabla A.2.2.1 Detalles muros primer piso.

Muro	Pies derechos en cada extremos	Pies derechos intermedios	Cantidad de panel OSB	Hold-down	Tamaño tornillos (mm)	Espaciado tornillos en los bordes del panel (mm)	Peso (N)	Corte (N/m)	Deformación (mm)
M1	8	14	2	S/HDU6	8	101.6	3071	6539	4.586
M2	8	12	2	S/HDU6	8	101.6	2772	6542	4.841
M3	8	42	2	S/HDU6	8	101.6	8152	8937	4.572
M4	8	12	2	S/HDU6	8	101.6	2685	5351	4.094
M5	6	12	2	S/HDU6	8	50.8	2822	9903	4.370
M6	4	8	2	S/HDU6	8	50.8	1927	9301	5.600
M7	8	22	2	S/HDU6	8	76.2	5240	9716	4.817

Tabla A.2.2.2 Detalles muros segundo piso.

Muro	Pies derechos en cada extremos	Pies derechos intermedios	Cantidad de panel OSB	Hold-down	Tamaño tornillos (mm)	Espaciado tornillos en los bordes del panel (mm)	Peso (N)	Corte (N/m)	Deformación (mm)
M1	8	13	2	S/HDU6	8	101.6	2998	4957	3.086
M2	8	10	2	S/HDU6	8	101.6	2626	4948	3.249
M3	8	40	2	S/HDU6	8	101.6	8005	6724	3.002
M4	8	11	2	S/HDU6	8	101.6	2612	4080	2.786
M5	6	11	2	S/HDU6	8	50.8	2749	7440	2.860
M6	4	6	2	S/HDU6	8	50.8	1780	6995	3.687
M7	8	21	2	S/HDU6	8	76.2	5167	7327	2.974

Tabla A.2.2.3 Detalles muros tercer piso.

Muro	Pies derechos en cada extremos	Pies derechos intermedios	Cantidad de panel OSB	Hold-down	Tamaño tornillos (mm)	Espaciado tornillos en los bordes del panel (mm)	Peso (N)	Corte (N/m)	Deformación (mm)
M1	8	11	2	S/HDU6	8	101.6	2852	3038	1.542
M2	8	8	2	S/HDU6	8	101.6	2479	3025	1.617
M3	8	38	2	S/HDU6	8	101.6	7859	4051	1.468
M4	8	9	2	S/HDU6	8	101.6	2466	2533	1.400
M5	6	9	2	S/HDU6	8	50.8	2602	4456	1.336
M6	4	4	2	S/HDU6	8	50.8	1634	4216	1.724
M7	8	19	2	S/HDU6	8	76.2	5020	4435	1.371

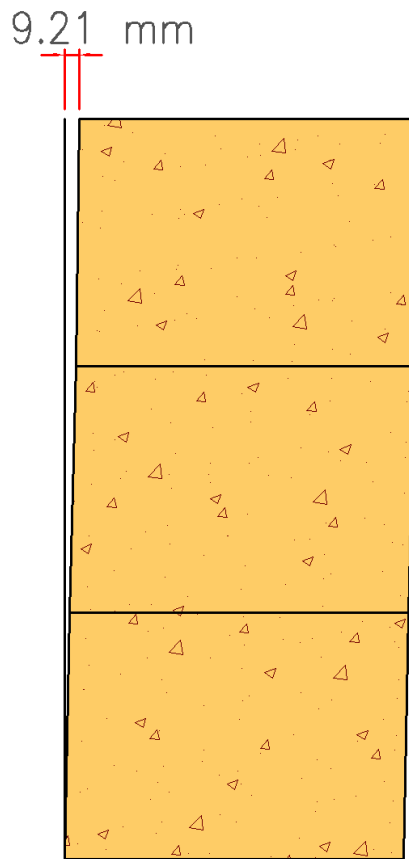


Figura A.2.2.4 Deformación en elevación del muro M1.

ANEXO 2.3: MUROS EN ELEVACIÓN

A continuación se muestran los siete muros del edificio en elevación, con el fin de apreciar cómo va variando su configuración en los pisos de la estructura.

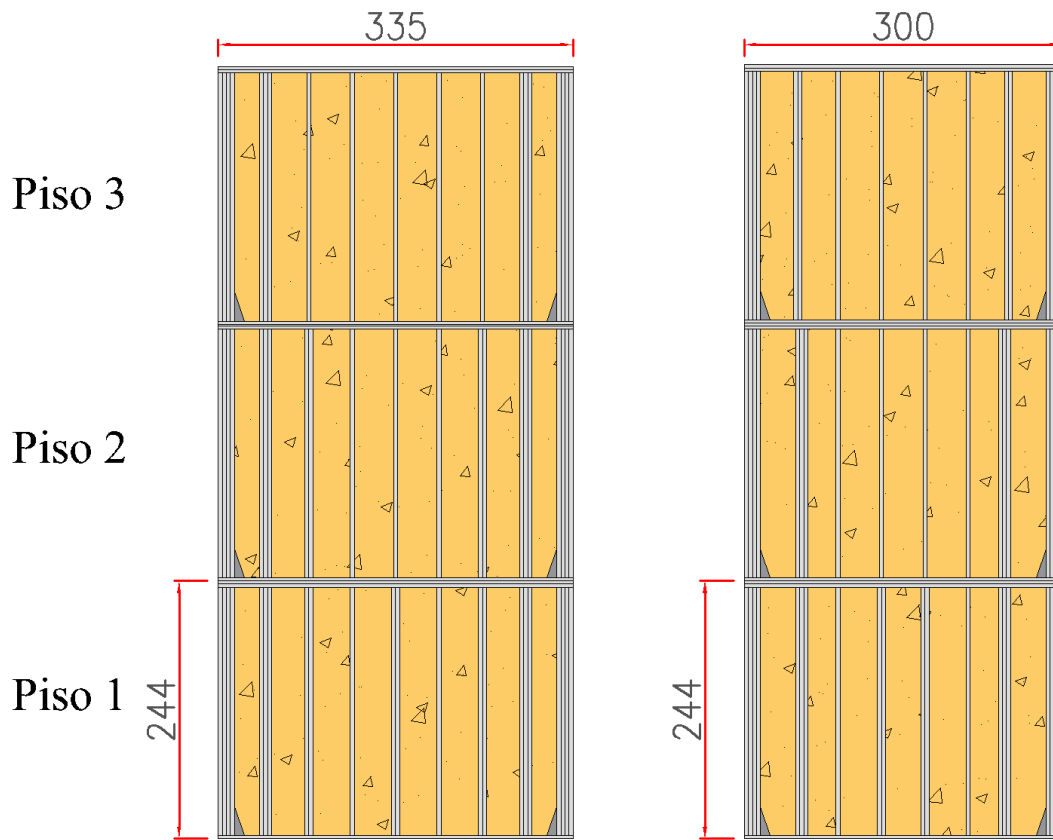


Figura A.2.3.1 Elevación muros M1 y M2, respectivamente (medidas en centímetros).

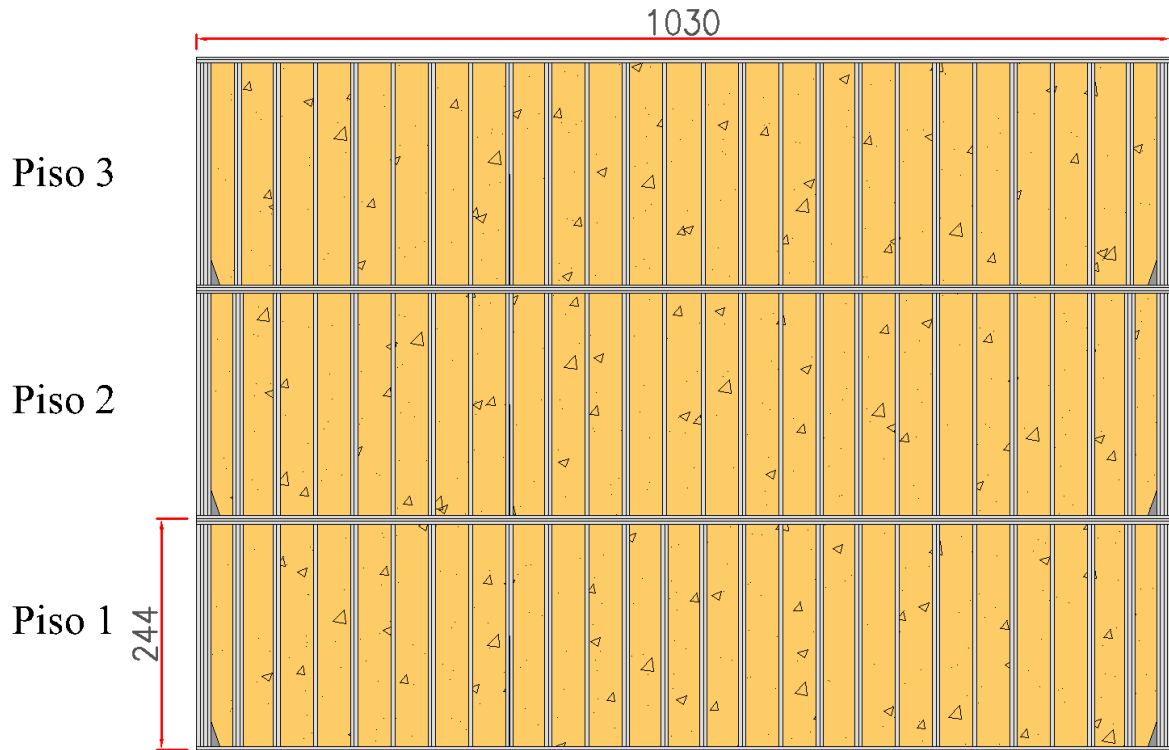


Figura A.2.3.2 Elevación muro M3 (medidas en centímetros).

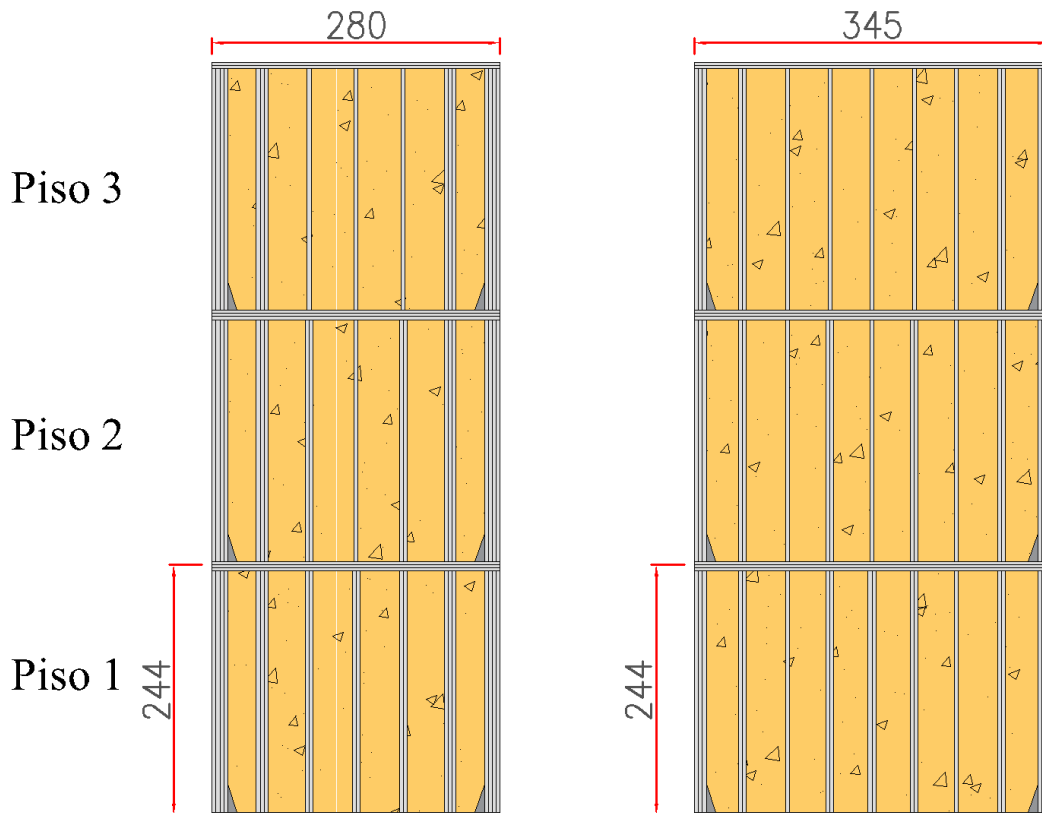


Figura A.2.3.3 Elevación muros M4 y M5, respectivamente (medidas en centímetros).

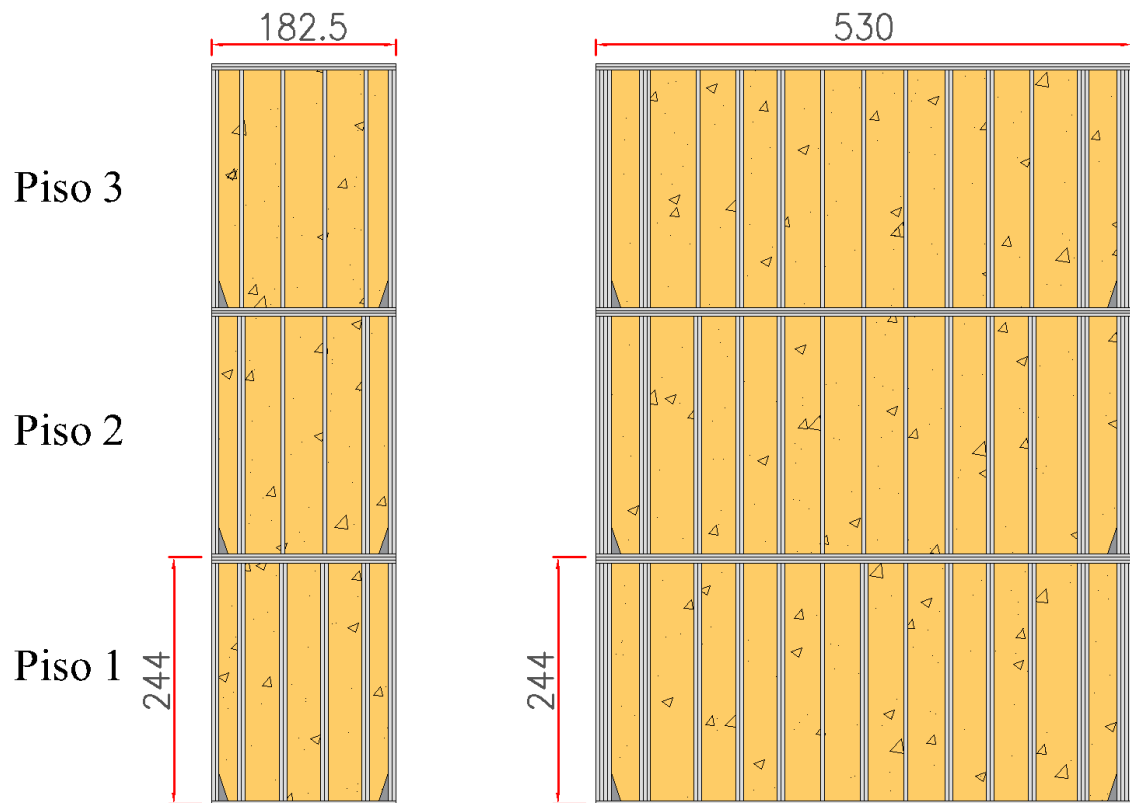


Figura A.2.3.4 Elevación muros M6 y M7, respectivamente (medidas en centímetros).

ANEXO 3.1: DISEÑO DE ANCLAJES

A continuación se presenta los criterios considerados para el diseño de anclajes.

Tabla A.3.1.1 Diseño de anclajes muros piso 1.

Muro	Combinación	Fuerza cortante, V (N)	d (m)	T=C (N)
M1	D+0,75Ex+0,75L	14014	3.076	11121
M2	D+0,75Ex+0,75L	12550	2.726	11238
M3	D+0,75Ex+0,75L	43089	10.026	10491
M4	D+0,75Ex+0,75L	14134	2.526	13660
M5	D+0,75Ex+0,75L	17415	3.233	13150
M6	D+0,75Ex+0,75L	9212	1.665	13508
M7	D+0,75Ex+0,75L	35279	5.026	17138

Tabla A.3.1.2 Diseño de anclajes muros piso 2.

Muro	Combinación	Fuerza cortante, V (N)	d (m)	T=C (N)
M1	D+0,75Ex+0,75L	10033	3.076	7961
M2	D+0,75Ex+0,75L	8949	2.726	8013
M3	D+0,75Ex+0,75L	32976	10.026	8028
M4	D+0,75Ex+0,75L	10285	2.526	9938
M5	D+0,75Ex+0,75L	13474	3.233	10173
M6	D+0,75Ex+0,75L	6828	1.665	10011
M7	D+0,75Ex+0,75L	20416	5.026	9915

Tabla A.3.1.3 Diseño de anclajes muros piso 3.

Muro	Combinación	Fuerza cortante, V (N)	d (m)	T=C (N)
M1	D+0,75Ex+0,75L	5889	3.076	4672
M2	D+0,75Ex+0,75L	5296	2.726	4741
M3	D+0,75Ex+0,75L	16816	10.026	4093
M4	D+0,75Ex+0,75L	5040	2.526	4870
M5	D+0,75Ex+0,75L	5724	3.233	4321
M6	D+0,75Ex+0,75L	3209	1.665	4704
M7	D+0,75Ex+0,75L	8965	5.026	4353

En las tablas A.3.1.1, A.3.1.2 y A.3.1.3 se muestran los resultados obtenidos del cálculo de las solicitaciones de levantamiento de los muros, de acuerdo con la fuerza cortante actuante en el muro y la distancia entre los centros de esfuerzos de tracción y compresión. Como resultado final se determina la carga que cada anclaje debe resistir.

En función de los resultados obtenidos se selecciona el modelo S/HDU 6 del catálogo de hold-down de Simpson Strong-Tie (2023).

ANEXO 4.1: DISEÑO DE DIAFRAGMAS

El diseño de diafragmas se diseñó como se explicó en los capítulos anteriores.

Tabla A.4.1.1 Chequeo diseño diafragma piso 1.

<i>Diafragma - PISO 1</i>	
Luz vigas (m)	6.2
Espaciamiento (m)	0.41
Combinación D+L (N/m ²)	3685
Carga PP (N/m)	687
Carga D + L (N/m)	1793
Carga total (N/m)	2480
Deflexión D+L (mm)	212
Deflexión SC (mm)	131
Sismo, S _x (N/m)	15942
Sismo, S _y (N/m)	9000
Viento, W _x (N/m)	2351
Viento, W _y (N/m)	1327
Carga desfavorable X (N/m)	15942
Carga desfavorable Y (N/m)	9000
Resistencia al corte V _n (N/m)	17980
Verificación	Cumple.
<i>Deflexión - piso 1</i>	
E _s (N/mm ²)	203000
A _c (mm ²)	247
ρ	1.05
G (Mpa)	351.633
t _{estructura} (mm)	1
t _{corte} (mm)	15
s (mm)	101.6
β (N/mm ^{1.5})	1.91
ω ₁	0.667
ω ₂	0.838

n	2
α	1
Deflexión Δ_x (mm)	14.54
Deflexión Δ_y (mm)	23.34

La tabla A.4.1.1 presenta el análisis del diafragma correspondiente al primer piso. En primer lugar, se definen las características geométricas básicas del sistema, como la luz de las vigas, que corresponden a 6.2 m, y el espaciamiento entre ellas de 410 mm. Estos parámetros permiten determinar la distribución de cargas del diafragma.

Posteriormente, se calculan las solicitaciones gravitacionales. La combinación de peso muerto y sobrecarga de uso (D+L) alcanza un valor de 3685 N/m², lo que equivale a una carga lineal de 1793 N/m. A este efecto se suma el peso propio del envigado de piso, que corresponde a 687 N/m, resultando una carga total de 2480 N/m aplicada sobre el sistema de piso. Bajo estas condiciones, la deflexión asociada a la combinación D+L se estima en 212 mm, mientras que la deflexión atribuible únicamente a la sobrecarga de piso alcanza 131 mm.

En cuanto a las acciones laterales, se observa que la demanda sísmica es predominante frente al efecto de viento. Las cargas sísmicas distribuidas en dirección X y Y corresponden a 15942 N/m y 9000 N/m, respectivamente, y las cargas de viento alcanzan valores de 2351 N/m en dirección X y 1327 N/m en dirección Y.

Finalmente, el cálculo de las deflexiones del piso se desarrolla a partir de las propiedades mecánicas de los perfiles y del sistema de conexiones, donde los resultados muestran que la deflexión en X del diafragma bajo la carga desfavorable es de 14,54 mm en dirección X y 23.34 mm en dirección Y. Estos desplazamientos representan la respuesta global del piso frente a las solicitaciones laterales y constituyen un parámetro fundamental para evaluar el control de derivas en el comportamiento sísmico de la estructura.

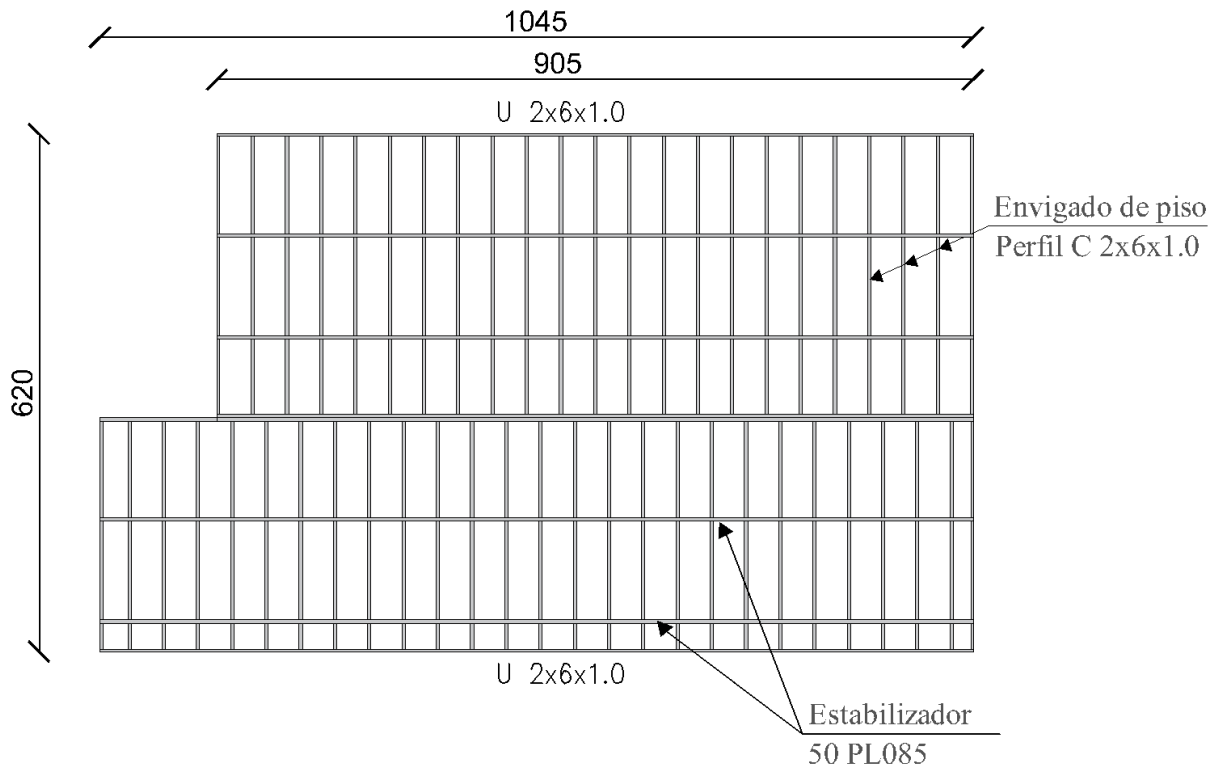


Figura A.4.1.1 Detalle sistema de piso.

ANEXO 4.2: RESULTADOS DE DIAFRAGMA

En las siguientes tablas se muestran los resultados de cada diafragma por nivel, considerando el detalle de los tornillos.

Tabla A.4.2.1 Resultados diafragma piso 1.

Panel	Carga lateral (N/m)		Resistencia al corte (N/m)	Diámetro tornillo	Espaciamiento tornillos (mm)	Deflexión Δ_x (mm)	Deflexión Δ_y (mm)
	Sx	Sy					
Panel 1	Sx	15897	17980	10	101.6	14.540	23.340
	Sy	8974	17980	10	101.6		
Panel 2	Sx	13767	17980	10	101.6	10.736	29.653
	Sy	10363	17980	10	101.6		

Tabla A.4.2.2 Resultados diafragma piso 2.

Panel	Carga lateral (N/m)		Resistencia al corte (N/m)	Diámetro tornillo	Espaciamiento tornillos (mm)	Deflexión Δ_x (mm)	Deflexión Δ_y (mm)
	Sx	Sy					
Panel 1	Sx	11825	17980	10	101.6	10.208	19.189
	Sy	6676	17980	10	101.6		
Panel 2	Sx	10241	17980	10	101.6	7.659	24.210
	Sy	7709	17980	10	101.6		

Tabla A.4.2.3 Resultados diafragma piso 3.

Panel	Carga lateral (N/m)		Resistencia al corte (N/m)	Diámetro tornillo	Espaciamiento tornillos (mm)	Deflexión Δ_x (mm)	Deflexión Δ_y (mm)
	Sx	Sy					
Panel 1	Sx	6849	17980	10	101.6	4.251	9.453
	Sy	3866	17980	10	101.6		
Panel 2	Sx	5931	17980	10	101.6	3.134	11.960
	Sy	4465	17980	10	101.6		

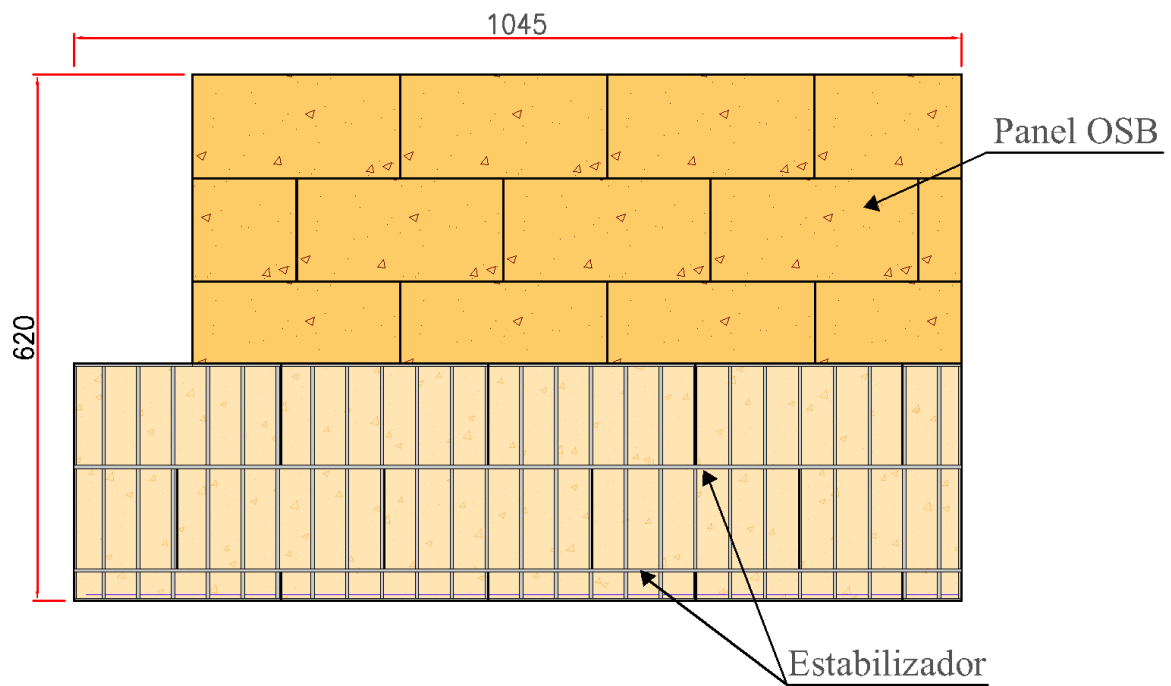


Figura A.4.2.1 Diafragma de piso con panel OSB.

ANEXO 5.1: COMPARACIÓN ENTRE SISMO Y VIENTO

En la siguiente tabla se comparan las fuerzas sísmicas con las fuerzas de viento en cada piso de la estructura, donde la carga sísmica resulta ser la más desfavorable.

Tabla A.5.1.1 Comparación de fuerzas de sismo y viento aplicadas a la estructura.

Piso	Dirección X		Dirección Y	
	Sismo X (N)	Viento X (N)	Sismo Y (N)	Viento Y (N)
Piso 1	74.52	13.88	74.52	26.20
Piso 2	90.07	13.88	90.07	26.20
Piso 3	123.97	14.79	123.97	27.90
Corte basal (N)	288.56	42.56	288.56	80.31

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA

RESUMEN DE MEMORIA DE TÍTULO

Departamento	: Departamento de Ingeniería Civil
Carrera	: Ingeniería Civil
Nombre del memorista	: Antonia Paz Rey Aguilar
Título de la memoria	: Diseño de edificios de mediana altura tipo plataforma en acero conformado en frío con paneles estructurales de madera.
Fecha de la presentación oral	:
Profesor(es) Guía	: Rodrigo Silva Muñoz.
Profesor(es) Revisor(es)	: Peter Dechent Anglada. Víctor Aguilar Vidal.
Concepto	:
Calificación	:

Resumen

El sistema constructivo basado en perfiles de acero galvanizado conformado en frío, ha adquirido relevancia en Chile por su bajo peso, rapidez de montaje y competitividad con los sistemas tradicionales. Su creciente uso en edificaciones exige procedimientos de diseño que aseguren una resistencia confiable frente a cargas gravitacionales y laterales, especialmente sísmicas.

La memoria se centró en analizar el comportamiento de los elementos estructurales del sistema, con énfasis en muros de corte con placas OSB y en diafragmas de piso. A partir de normativas nacionales e internacionales se desarrolló un procedimiento de verificación que incluyó la estimación de cargas, análisis de resistencia, deflexiones y evaluación de anclajes. Los resultados confirmaron que la acción sísmica es la condición más crítica de diseño. Los muros con OSB demostraron una adecuada resistencia lateral, mientras que los diafragmas de piso cumplieron satisfactoriamente su función de transferencia de esfuerzos.

En conclusión, los criterios propuestos permiten constatar que las edificaciones en acero conformado en frío con paneles estructurales de madera pueden lograr una resistencia adecuada bajo normativa sísmica, siendo clave la adecuada integración entre muros, conexiones y diafragmas.