UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Técnico Universitario de acceso ABIERTO

2020

ANALISIS COMPARATIVO ENTRE MURO DE PANEL SIP Y MURO DE TABIQUERIA DE METALCON

MARTINEZ MUQUILLAZA, MARCOS

https://hdl.handle.net/11673/49387

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MURO DE PANEL SIP Y MURO DE TABIQUERÍA DE METALCON

TRABAJO DE TITULO PARA OPTAR AL TITULO DE TECNICO NIVERSITARIO EN CONSTRUCCIÓN

Marcos Martínez Muquillaza

Profesor Guía: Marco Howes Herrera

2020

RESUMEN

Keywords: tabiques, acero galvanizado, panel SIP

El presente estudio, tiene como finalidad comprar dos tipos de muros estructurales utilizados en construcción ligeras hoy día, como son casas de uno o dos pisos de material livianos, o por lo general utilizados en los segundos pisos de casas cuyo primer piso es ladrillo u hormigón. El primero de ellos es: el muro que está construido con acero galvanizado, un sistema de tabiquería que cuenta con algún tipo aislación térmica, como aislan glass, poliestireno, lana mineral, etc. En el caso de este estudio seria aislan glass o lana de vidrio, y revestimiento interior e interior; y el otro tipo de muro, utilizado más recientemente, son los paneles SIP un sistema de paneles amados, con un interior de poliestireno expandido, que se ensamblan para construir.

El objetivo del análisis es comprar ambos tipos de muros en los siguientes puntos: metodología contructiva, es decir el proceso de construcción para el perímetro estructural de una vivienda, comportamiento estructural, que se refiere a las cargas a compresión y tracción que soportan , también la eficiencia energética que tiene que ver con la transmitancia térmica del muro en sí, es decir la cantidad de calor que deja pasar a través de sí mismo, lo cual está muy ligado con la Nch 801 la cual será explicada en el trabajo y por ultimo costos asociados a cada material para llevar a cabo la construcción pero sin considerar la mano de obra ni el tiempo de ejecución.

ABSTRACT

The purpose of this study is to buy two types of structural walls used in light construction today, such as one or two-story houses made of light material, or generally used on the second floors of houses whose first floor is brick or concrete. The first of them is: the wall that is built with galvanized steel, a partitioning system that has some type of thermal insulation, such as aislanglass, polystyrene, mineral wool, etc. In the case of this study, they would isolate aislanglass, and interior and interior lining; and the other type of wall, most recently used, are SIP panels, a beloved panel system, with an expanded polystyrene interior, which are assembled to build.

The objective of the analysis is to buy both types of walls at the following points: contructive methodology, that is, the construction process for the structural perimeter of a dwelling, structural behavior, which refers to the compressive and tensile loads they bear, also the energy efficiency that has to do with the thermal transmittance of the wall itself, that is, the amount of heat that it passes through itself, which is closely linked to the Nch 801 which will be explained in the work and lastly costs associated with each material to carry out the construction but without considering labor or execution time.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN 2
INDICE DE FIGURAS 6
INDICE DE TABLAS 8
SIGLA Y SIMBOLOGIA 8
INTRODUCCIÓN 10
1. OBJETIVOS DEL PROYECTO 12
2.1. OBJETIVO GENERAL 12
2.2. OBJETIVO ESPECIFICOS 12
CAPITULO I: METODOLOGIA DEL PROYECTO 13
2.3. MATERIALES PARA COMPARAR 14
2.4. EFICIENCIA ENERGÉTICA 14
2.4.1. REGLAMENTACIÓN TÉRMICA 15
2.4.2. CALCULO TRANSMITANCIA Y RESISTENCIA TERMICA 18
2.4.3. COMPARACION ENTRE MUROS 22
2.5. COMPARACION DE COSTOS 26
3. CAPITULO II: PANEL SIP 28
3.1. PANEL SIP 29
3.1.1. FABRICACIÓN PANEL SIP 29
3.2. METODOLOGIA CONSTRUCTIVA PANEL SIP 32
3.3. COMPORTAMIENTO ESTRUCTUAL 37
3.3.1. DESCRIPCION DEL PANEL 37
3.3.2. MONTAJE E INSTRUMENTACIÓN 38
3.3.3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO 39
3.3.4. RESULTADOS 39
3.4. EFICIENCIA ENERGÉTICA 41
3.4.1. CALCULOS DE TRANSMITACIA TERMICA MURO SIP 42
3.5. PESUPUESTO PANEL SIP 47
4. CAPITULO III: ACERO GALVANIZADO 52
4.1. ACERO GALVANIZADO ..... **¡Error! Marcador no definido.**
4.2. METODOLOGIA CONSTRUCTIVA ACERO GALVANIZADO 56
4.3. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL 67
4.4. EFICIENCIA ENERGETICA 75
4.4.1. CALCULOS DE TRANSMITACIA TERMICA MURO ACERO GALVANIZADO 75
4.5. CUBICACIÓN Y PRESUPUESTO MURO DE ACERO GALVANIZADO 80
CONCLUSIONES 84
4.5.1. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL 84
4.5.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA 84
4.5.3. COMPARACIÓN DE COSTOS 84

5. BIBLIOGRAFIA 86
6. ANEXOS ..... **¡Error! Marcador no definido.**
6.1. ANEXO 1: PANEL SIP 87
7.1.1 MEMORIA DE CALCULO TRANSMITANCIA TÉRMICA 87
6.1.2. MEMORIA DE CALCULO CUBICACIÓN 89
6.2. ANEXO 2: ACERO GALVANIZADO 90
6.2.2. MEMORIA DE CALCULO TRANSMITANCIA TERMICA 90
6.2.3. MEMORIA DE CALCULO CUBICACIÓN 91
6.2.4. PLANO ESTRUCTURA ACERO GALVANIZADO 94

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Chile sub-dividido por zonas térmicas. 16
FIgura 2: Mapa de la V región subdivido en zonas termicas. 17
Figura 3: Elementos con heterogeneidades según Nch 853 21
Figura 4: Planta Plano Esquemático vivienda habitacional Para realización de cálculos. 23
Figura 5: Isometría Plano Esquemático vivienda habitacional Para realización de cálculos. 24
Figura 6: División de muros de la envolvente térmica de panel SIP para cálculo. 24
Figura 7: División de muros de la envolvente térmica de Acero galvanizado para cálculo. 25
Figura 8: Propuesta Transmitancia térmica máxima de muros según zona geográfica. .. 26
Figura 9: Encolado tablero OSB 30
Figura 10: Instalación en jaula de armado 31
Figura 11: Prensado 31
Figura 12: Anclaje de soleras. 32
Figura 13: Vista de planta, detalle de unión esquina panel SIP. 33
Figura 14: Vista de planta, detalle de unión longitudinal panel SIP. 34
Figura 15: Vista isométrica, detalle de unión longitudinal panel SIP y colocación solera superior. 34
Figura 16: Vista de planta, detalle unión T de paneles SIP. 35
Figura 17: Vista isométrica, detalle unión T de paneles SIP. 35
Figura 18: Isometría esquema de premarcos de puertas y ventanas. 36
Figura 19: Colocación de panel en solera y longitud de los tornillos. 37
Figura 20: Panel SIP instalado. 38
Figura 21: Imagen de resultados durante y después del ensayo. 39
Figura 22: Corte muro panel SIP con revestimiento interior. 42
Figura 23: Detalle compra materiales en Sodimac 48
Figura 24: Resumen compra materiales en Sodimac 48
Figura 25: Detalle compra materiales en Sodimac 49
Figura 26: Resumen compra materiales en Sodimac 49
Figura 27: Detalles compra materiales en Prosip 50
Figura 28: Resumen compra materiales en Prosip 50
Figura 29: Diagrama estructural vivienda construida con acero galvanizado. 54
Figura 30: Vista transversal, Perfil C o CA 55
Figura 31: Dimensiones del perfil C 55

Figura 32: Vista transversal, Perfil U o C 55
Figura 33: Dimensiones del perfil U 56
Figura 34: Vista transversal, Tirante 56
Figura 35: Dimensiones del Tirantes 56
Figura 36: Tabique estructural con perfilería de Acero galvanizado 57
Figura 37: Vista Isométrica, diagramas estabilizadores laterales. 59
Figura 38: Tipos de anclajes AN 59
Figura 39: Isometría anclaje AN1 60
Figura 40: Imagen real Anclaje AN1 60
Figura 41: Isometría anclaje distribuido AN2. 61
Figura 42: Isometría anclaje distribuido AN2 barra. 62
Figura 43: Vista planta encuentro T de muros 63
Figura 44: Vista planta unión esquinas de muros. 63
Figura 45: Esquema típico de vanos. 64
Figura 46: Empalme Soleras Inferiores 65
Figura 47: Empalme Soleras Superiores 65
Figura 48: Esquema típico de muro Revestido con contrachapado 66
Figura 49: Esquema de revestimiento 66
Figura 50: Esquema típico de muro estructural con estabilizados. 67
Figura 51: Tabla de Carga axial admisible a la compresión de acuerdo a estabilizadores en muros interiores. 70
Figura 52: Tabla de Carga axial admisible a la compresión de acuerdo a la separación de los montantes y el esfuerzo generado por el viento. 71
Figura 53: Tabla de Carga axial admisible a la compresión de acuerdo a la separación de los montantes y el esfuerzo generado por el viento. 72
Figura 54: Tabla de Carga axial admisible a la compresión de acuerdo a la separación de los montantes y el esfuerzo generado por el viento. 73
Figura 55: Altura máxima en muros exteriores de acuerdo al tipo de perfil, espaciamiento de los montantes, y la deformación admisible, ya sea h/200, h/300 o h/500. 74
Figura 56: Detalle compra materiales en Sodimac 81
Figura 57: Detalle compra materiales en Sodimac 81
Figura 58: Detalle compra materiales en Sodimac 82
Figura 59: Resumen compra materiales en Sodimac 82
Figura 60: Cotización de perfiles en CINTAC. 83

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Limites de transmitancia y resistencia térmica según zona geográfica. 16
Tabla 2: Resistencia térmica R100 mínima por zonas geográficas.....18
Tabla 3: Resistencias térmicas superficiales según Nch 853.....19
Tabla 4: Resistencia cámara de aire de acuerdo con la Emisividad total.....21
Tabla 5: Datos de resultados del ensayo. 40
Tabla 6: Resistencia térmica de los elementos individuales que conformaran el muro...42
Tabla 7: Disposición de las superficies por muros.....43
Tabla 8: Superficies según tipo de vano 43
Tabla 9: Resumen de datos muro A. 44
Tabla 10: Resumen de datos muro B. 45
Tabla 11: Resumen de datos muro C. 45
Tabla 12: Resumen de datos muro D. 45
Tabla 13: Resumen de datos de la Envolvente Completa. 46
Tabla 14: Resumen costos materiales para anclaje. 51
Tabla 15: Tabla comparativa materiales, Sodimac y ProSIP. 51
Tabla 16: Resumen costos ProSIP con IVA incluido. 51
Tabla 17: Resistencia térmica individual componentes del muro.....76
Tabla 18: Resumen de distribucion de vanos y puentes termicos por muro. 76
Tabla 19: Resumen tipo de vano por muro. 77
Tabla 20: Resumen de datos muro A. 77
Tabla 21: Resumen de datos muro B. 78
Tabla 22: Resumen de datos muro C. 78
Tabla 23: Resumen de datos muro D. 78
Tabla 24: Resumen de datos de la Envolvente Completa. 79
Tabla 25: Tabla comparativa materiales, Sodimac y CINTAC. 83

SIGLA Y SIMBOLOGIA

SIGLA

SIP : Structural Insullated Panel (Panel Estructural Aislado)

Nch	:	Norma Chilena
MINVU	:	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
OGUC	:	Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones
OSB	:	Oriented Strand Board (Tablero de Virutas Orientadas)
PUR	:	Poliuterano
EPS	:	Poliestieno Expandido

SIMBOLOGIA

W	:	Watts o Vatio
m	:	Metros
K	:	Kelvin
U	:	Transmitancia Termica
Rt	:	Resistencia Termica
Rsi	:	Resistencia Termica Superficial Interior
Rse	:	Resistencia Termica Superficial Exterior
mm	:	Milímetros
kgf	:	Kilogramos de Fuerza

INTRODUCCIÓN

La construcción, dentro de los campos de la arquitectura e ingeniería es un rubro que está constantemente evolucionando, son muchos los factores que están involucrados, el tiempo, el dinero, la seguridad, el cuidado del medio ambiente, el aprovechamiento energético, incluso la comodidad.

Bien es sabido hoy que el dinero es un factor determinante en la realización de un proyecto de construcción, el cual está ligado ineludiblemente al tiempo de realización del proyecto. En una obra cualquiera, ya sea un proyecto vial, de edificación o cualquier tipo de proyecto de construcción, es vital cumplir con los plazos, por eso la carta gantt; que permite visualizar la secuencia de partidas ligadas unas con otras, que culminan en la finalización exitosa del proyecto, contiene la ruta crítica: una cadena lineal de partidas cuya holgura de trabajo es 0, es decir, no se puede atrasar, de lo contrario afectaría al tiempo de realización de toda la obra, gracias a esta se puede llevar una buen control de la obra sin retrasos innecesarios e inoportunos.

También algo que se ha dado mucho énfasis sobre todo en la última década más que antes es el aprovechamiento energético. En la actualidad, es muy importante conservar la energía térmica en las viviendas, esto ya que es cada vez más costosa y a la vez escasa con el paso del tiempo. Lo que se busca principalmente al hablar de eficiencia energética es generar un confort térmico para los habitantes de la vivienda, optimizando el uso de la energía térmica ya que se generan menos pérdidas de calor al exterior de la misma lo cual es clave al momento de reducir los costos en calefacción ya que al existir menos pérdidas de calor es menos el combustible que se utiliza para lograr una temperatura agradable dentro de la vivienda.

Es debido a estos factores anteriormente mencionados que la construcción evoluciona, se crean nuevos materiales de construcción que sean más fáciles de trabajar, que implique menor costo sobre todo en la mano de obra. También las normativas van modificándose y son más estrictas cada vez, para garantizar la seguridad general de un proyecto. Organizaciones como el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) regulan los estándares mínimos de la normativa en cuanto a eficiencia térmica se refiere entregando las herramientas de análisis para una buena elección de material y solución constructiva.

Los materiales para utilizar en la construcción de muros estructurales livianos han ido siendo remplazados con el pasar de los años, por nuevos materiales y métodos constructivos que ofrecen, por ejemplo: mayor simpleza de trabajar y ahorro de tiempo, con el objetivo de ir optimizando la forma en que se llevan a cabo las construcciones.

Uno de esto casos es la madera; recurso natural que ha sido desde siempre uno de los materiales más utilizados por el hombre con fines estructurales y arquitectónicos, siendo en nuestro país masivamente utilizada en las construcciones habitacionales, obteniendo como resultado excelentes propiedades mecánicas debido a que este sistema es capaz de absorber mucha energía por deformación. Sin embargo; en los últimos tiempos, han aparecido productos innovadores en el mercado, como lo es el Acero galvanizado, el cual es un sistema constructivo, que cuenta con una serie de perfiles de acero galvanizados con el que se pueden realizar las tabiquerías para construcciones habitacionales de hasta dos pisos de altura, el cual ha visto masificado su uso debido a que es un material de gran resistencia y versatilidad, obteniendo construcciones más livianas y duraderas.

Otro material que ha sido usado con más frecuencia en los últimos años son los paneles SIP (Structural Insulated Panel), son paneles prefabricados hechos de dos planchas de OSB con poliestireno expandido de alta densidad entre medio, útil para construcciones habitacionales de hasta dos pisos de altura y de fácil transporte debido a su baja densidad. Vale la pena analizar este último material, que se ha crecido su utilización bastante en los últimos años, en especial en países desarrollados como Estados Unidos, España y otros países de Europa; debido a esto los materiales a analizar y posteriormente comparar en este trabajo son la tabiquería hecha de Acero galvanizado y los paneles SIP.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Dentro del campo de la construcción, en específico de muros estructurales livianos, como de viviendas de 1 o 2 pisos, se busca saber que material es más eficiente, cual es más barato, cual es más rápido de trabajar, cual es mejor si se busca eficiencia energética, si se busca costos baratos, o un tiempo de trabajo más rápido, etc.

El presenta trabajo de investigación, tiene como objetivo analizar dos métodos de construcción de muros tanto estructurales como divisorios, tomando como punto de comparación los elementos antes mencionados, a saber, el tiempo de trabajo bajo condiciones similares; el costo; la seguridad estructural que ofrece, por ende, conocer su comportamiento bajo esfuerzos de compresión y/o flexo tracción; y por último la eficiencia energética.

OBJETIVO GENERAL

Hacer un análisis comparativo, entre el panel SIP y la tabiquería de Acero galvanizado, tomando como puntos de comparación, la capacidad estructural, el costo, la trabajabilidad y la eficiencia energética.

OBJETIVO ESPECIFICOS

- Explicar la composición de cada uno de los materiales a estudiar.
- Describir metodología de trabajo de cada uno de los materiales.
- Analizar el comportamiento estructural de cada uno de los materiales.
- Calcular la transmitancia térmica de ambos materiales; a saber, estructura de acero galvanizado con solera de 92 mm y panel sim de espesor de 114 mm; para saber su eficiencia energética.
- Concluir las diferencias de ambos materiales, la superioridad de uno sobre otro en los diferentes campos a comparar y cual es recomendable para cierto tipo de trabajo y condiciones, que se puedan requerir en cualquier obra las cuales son difícilmente inalterables.

CAPITULO I: METODOLOGIA DEL PROYECTO

1.1. MATERIALES PARA COMPARAR

El primer paso para iniciar esta investigación es decidir cuáles serán los materiales para comparar, estudiar y analizar. Una vez determinados para su comparación, Panel SIP de OSB (conformado de dos placas de OSB con un interior de poliestireno expandido de alta densidad, el capítulo 2 profundiza más al respecto) de 11,4 cm revestido interiormente con planchas de yeso cartón de 10 mm de espesor y Muro ACERO GALVANIZADO con soleras de 90 mm (C 2x4x1,0p y C 2x4x0,85) de espesor y revestido con planchas OSB de 11,1 mm exteriormente y planchas de yeso cartón de 10 mm de espesor interiormente, será necesario conocer las propiedades, usos, instalación y cualquier dato relevante para el análisis de estos materiales.

Ambos materiales de construcción llevan años siendo empleados en el mundo, así como también en Chile, con excelentes resultados. Este trabajo compara a nivel local cada uno de estos materiales, es decir en un muro estructural, en este caso correspondiente a un muro perimetral de una construcción ubicada en la V región.

Según el informe N°1/2008 (01/01/2008), de evaluación del sistema constructivo del panel SIP, este sistema está aprobado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile para ser aplicado en todo el país.

La Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción le otorgó el Sello de Verificación de la Información Técnica para la ficha de Acero galvanizado Estructural de la empresa CINTAC.

Ambos materiales de construcción están certificados para funcionar aquí en chile.

1.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA

Para comparar la eficiencia energética de ambos materiales, se debe conocer los siguientes conceptos.

ENVOLVENTE TERMICA

La envolvente térmica de un edificio es el conjunto de cerramientos (suelos, cubiertas, fachadas, etc.) que separan los espacios habitables con el exterior (terreno, aire y otros edificios) y las particiones interiores que separan los espacios habitables de los no habitables que a su vez están en contacto con el exterior. En el presente trabajo cuando se

hable de envolvente térmica se referirá a los muros perimetrales que envuelven una vivienda.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras, la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que está en contacto. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en W/(m·K)

RESISTENCIA TÉRMICA

La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del temperatura. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en $(m^2 \cdot K)/W$

TRANSMITANCIA TÉRMICA

La transmitancia térmica en la envolvente constructiva (muros estructurales perimetrales) es la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie, transferido a través de un sistema constructivo, formado por una o más capas de material, de caras plano-paralelas, cuando hay un gradiente térmico de 1°C (1 K) de temperatura entre los dos ambientes que éste separa. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en $W/(m^2 \cdot K)$

Este valor se puede calcular y dependiendo de la zona geografía de donde se dese construir este valor no puede ser mayor de lo estipulado por la norma.

1.2.1. REGLAMENTACIÓN TÉRMICA

En Santiago el 11 de noviembre de 2005 se firmó y autorizo el decreto N° 192 que modifica Decreto N°47, de 1992, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), cuyo decreto entro en vigencia el 4 de enero del 2007.

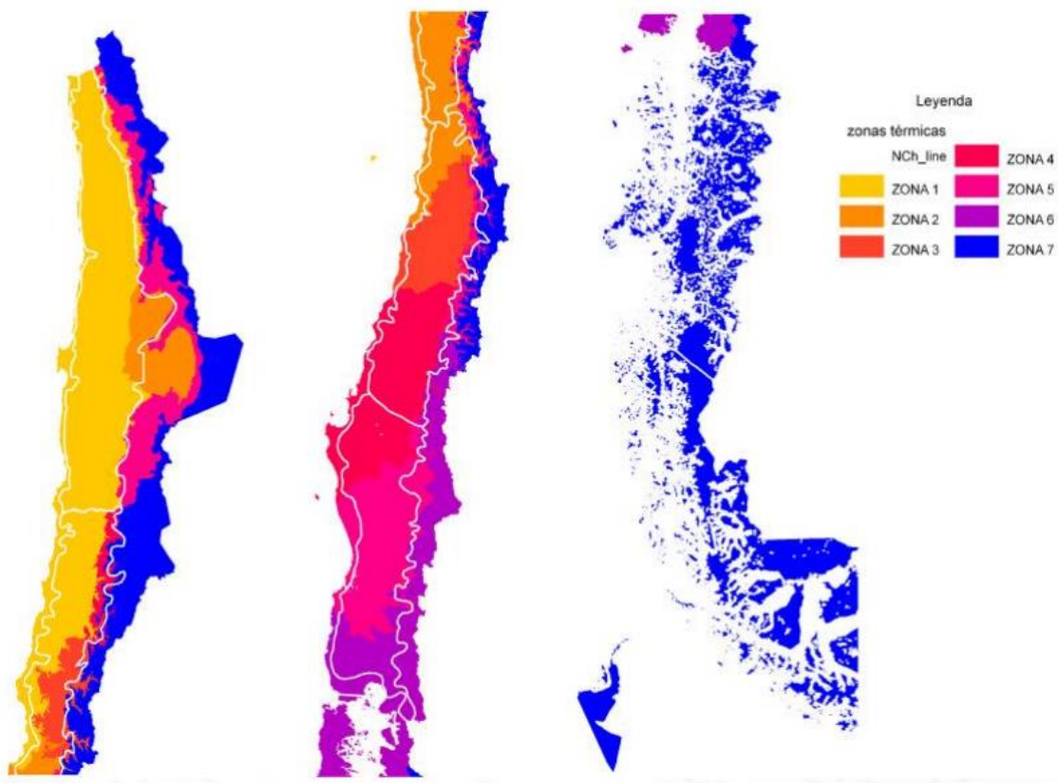
De acuerdo a este decreto, el artículo 4.1.10 todas las viviendas deberán cumplir con las exigencias de acondicionamiento térmico que se señalan a continuación.

Los complejos de techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados, entendidos como elementos que constituyen la envolvente de la vivienda, deberán tener una transmitancia térmica “U” igual o menor, o una resistencia térmica total “Rt” igual o superior, a la señalada para la zona que le corresponda al proyecto de arquitectura, de acuerdo con los planos de zonificación térmica aprobados por resoluciones del Ministro de Vivienda y Urbanismo y a la siguiente tabla:

Tabla 1: Limites de transmitancia y resistencia térmica según zona geográfica.

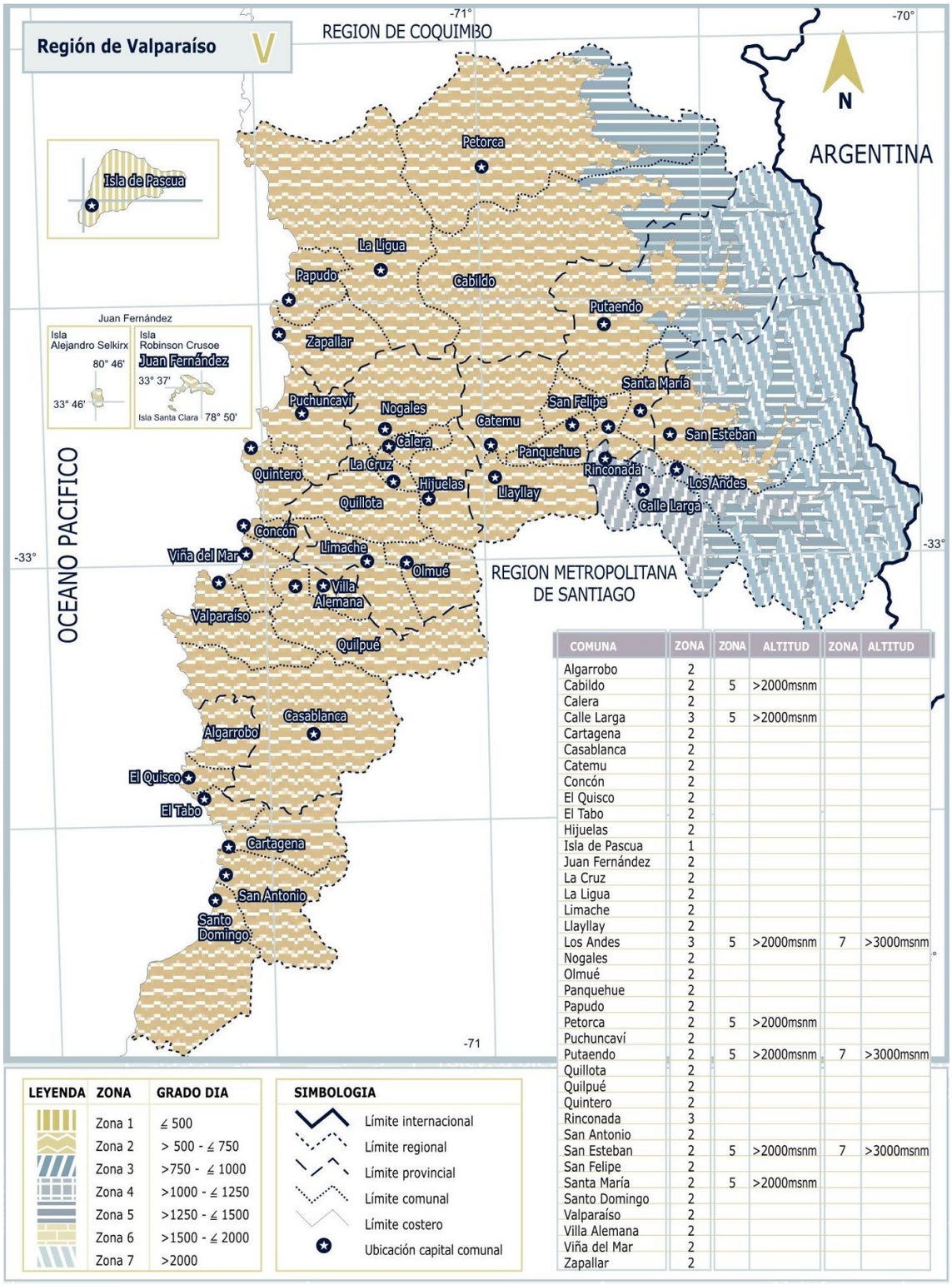
ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U W/m²K	Rt m²K/W	U W/m²K	Rt m²K/W	U W/m²K	Rt m²K/W
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

Fuente: Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica del MINVU.



Fuente: REGLAMENTACIÓN TÉRMICA EN LA EDIFICACIÓN "CONDENSACIÓN - VENTILACIÓN E INFILTRACIONES"

Figura 1: Mapa de Chile sub-dividido por zonas térmicas.



COMUNA	ZONA	ZONA	ALTITUD	ZONA	ALTITUD
Algarrobo	2				
Cabildo	2	5	>2000msnm		
Calera	2				
Calle Larga	3	5	>2000msnm		
Cartagena	2				
Casablanca	2				
Catemu	2				
Concón	2				
El Quisco	2				
El Tabo	2				
Hijuelas	2				
Isla de Pascua	1				
Juan Fernández	2				
La Cruz	2				
La Ligua	2				
Limache	2				
Llayllay	2				
Los Andes	3	5	>2000msnm	7	>3000msnm
Nogales	2				
Olmué	2				
Panquehue	2				
Papudo	2				
Petorca	2	5	>2000msnm		
Puchuncaví	2				
Putaendo	2	5	>2000msnm	7	>3000msnm
Quillota	2				
Quilpué	2				
Quintero	2				
Rinconada	3				
San Antonio	2				
San Esteban	2	5	>2000msnm	7	>3000msnm
San Felipe	2				
Santa María	2	5	>2000msnm		
Santo Domingo	2				
Valparaíso	2				
Villa Alemana	2				
Viña del Mar	2				
Zapallar	2				

Fuente: REGLAMENTACIÓN TÉRMICA EN LA EDIFICACIÓN “CONDENSACIÓN - VENTILACIÓN E INFILTRACIONES”

FIgura 2: Mapa de la V región subdivido en zonas termicas.

Para los efectos de cumplir con las condiciones establecidas en el Tabla 1 se podrá optar entre las siguientes alternativas:

Mediante la incorporación de un material aislante etiquetado con el R100 correspondiente a la Tabla 2:

Se deberá especificar y colocar un material aislante térmico, incorporado o adosado, al complejo de techumbre, al complejo de muro, o al complejo de piso ventilado cuyo R100 mínimo, rotulado según la norma técnica NCh 2251, de conformidad a lo indicado en la Tabla 2 siguiente:

Tabla 2: Resistencia térmica R100 mínima por zonas geográficas

ZONA	TECHUMBRE R100(*)	MUROS R100(*)	PISOS VENTILADOS R100(*)
1	94	23	23
2	141	23	98
3	188	40	126
4	235	46	150
5	282	50	183
6	329	78	239
7	376	154	295

Fuente: Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica del MINVU.
(*) Según la norma NCh 2251: R100 = valor equivalente a la Resistencia térmica (m2K/W) x 100.

Mediante cálculo, el que deberá ser realizado de acuerdo a lo señalado en la norma NCh 853, demostrando el cumplimiento de la transmitancia o resistencia térmica del complejo de techumbre, muro y piso ventilado. Dicho cálculo deberá ser efectuado por un profesional competente.

La Norma Chilena NCh 853 Of.2007 está dedicada al "Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas". Los cálculos necesarios, para muros se detallan a continuación.

1.2.2. CALCULO TRANSMITANCIA Y RESISTENCIA TERMICA

La transmitancia térmica para materiales homogéneos se calcula con la siguiente formula:

$$U = \frac{1}{Rt}$$

Donde:

U es la transmitancia térmica

Rt es la resistencia térmica total del elemento compuesto por capas que corresponderá a la envolvente térmica. Rt se calcula de la siguiente manera:

$$Rt = Rsi + Rse + R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$$

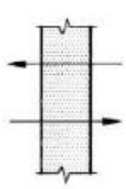
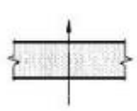
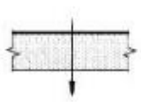
Es decir, la resistencia térmica total es la sumatoria de las resistencias de cada elemento de aislación que conforman el muro, por ejemplo, placa de yeso cartón + lana mineral + plancha OSB. Además, hay que sumar la resistencia térmica superficial interior (Rsi) y la resistencia térmica superficial exterior (Rse), cuyos valores están dados por la tabla 3, que obedece a la Nch 853 Of. 2007.

La resistencia térmica de cada elemento del muro se calcula utilizando la siguiente formula:

$$R_i = \frac{E}{A}$$

Donde, E representa el espesor en metros del material y A es la conductividad térmica del material.

Tabla 3: Resistencias térmicas superficiales según Nch 853

Resistencias térmicas de superficie en m² x K/W							
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que 60° respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Fuente: REGLAMENTACIÓN TÉRMICA EN LA EDIFICACIÓN "CONDENSACIÓN - VENTILACIÓN E INFILTRACIONES"

Los muros que contengan una cámara de aire no ventilada en su interior, se deben tener las siguientes consideraciones para el cálculo de acuerdo a lo estipulado en la Nch 853. Para el cálculo de la resistencia térmica se realiza de manera similar a la anteriormente explicada pero además hay que agregar la resistencia de la cámara de aire no ventilada, por lo tanto, la fórmula de la resistencia térmica total de muro es la siguiente:

$$Rt = Rsi + Rse + \boldsymbol{Rg} + R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$$

En la formula se agrega la resistencia de la cámara de aire (Rg) La resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada varía en función de los parámetros siguientes:

a) sentido del flujo térmico

b) espesor de la cámara de aire

c) emisividad total de la cámara, E, dada por la fórmula:

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1$$

en que:

ε_1 , ε_2 = emisividades de las superficies en contacto con la cámara considerada.

En general se distinguen cuatro casos característicos, ellos son:

a) Caso general (materiales corrientes de construcción, tales como madera, hormigón, ladrillos, vidrio, etc.): $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0{,}9$ de donde E = 0,82, (ver Tabla 4).

b) una de las superficies de la cámara es brillante, $\varepsilon_1 = 0{,}2$, la otra superficie, en cambio, corresponde a materiales corrientes de construcción, $\varepsilon_2 = 0{,}9$ de donde E = 0,20, (ver Tabla 4).

c) ambas superficies de la cámara son brillantes, $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0{,}2$ de donde E = 0,11, (ver Tabla 4).

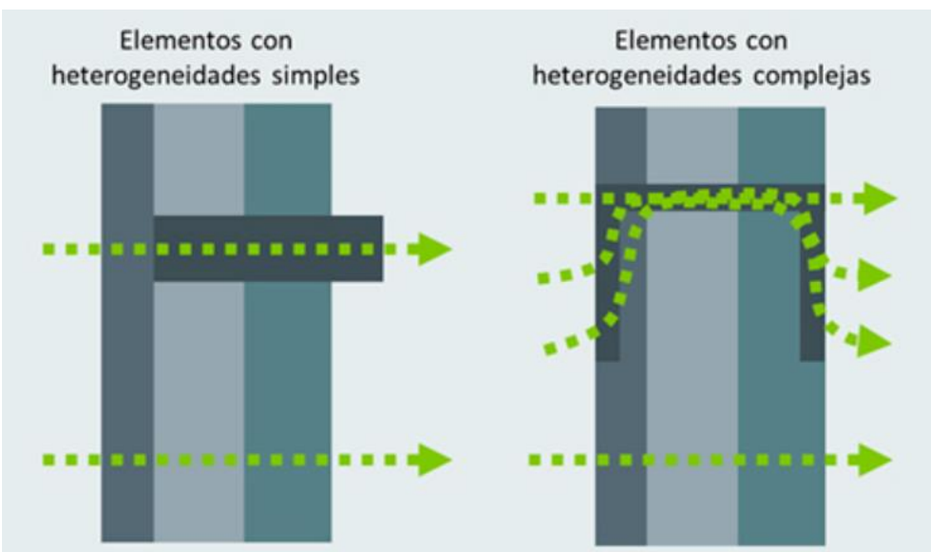
d) una de las superficies de la cámara es muy brillante, $\varepsilon_1 = 0{,}5$, la otra superficie en cambio corresponde a materiales corrientes, $\varepsilon_2 = 0{,}9$ de donde E = 0,05, (ver Tabla 4).

Tabla 4: Resistencia cámara de aire de acuerdo con la Emisividad total.

Espesor de la cámara, mm	Emisividad total, E			
	0,82	0,20	0,11	0,05
	Resistencia térmica, R_g, m² x K/W			
5	0,105	0,17	0,20	0,20
10	0,140	0,28	0,32	0,38
15	0,155	0,35	0,43	0,51
20	0,165	0,37	0,46	0,55
25	0,165	0,37	0,46	0,55
30	0,165	0,37	0,46	0,55
35	0,165	0,37	0,46	0,55
e ≥ 40	0,165	0,37	0,46	0,55

Fuente: Anexo C, Nch 853.

Para elementos que presenten heterogeneidades (ver figura 1), el cálculo es un poco diferente. En este caso se pondera las transmitancias térmicas de los diferentes sectores de la superficie.



Fuente: http://www.arquitecturayenergia.cl/home/nch-853/

Figura 3: Elementos con heterogeneidades según Nch 853

Muros que contengan elementos con heterogeneidades, son aquellos donde, ciertas superficies del muro contengan un revestimiento diferente, o un elemento aislante o no necesariamente aislante diferente, o un espesor diferente. Por ejemplo: un muro estructural de tabiquería, cuyos tabiques son de madera, aislado entre pies derechos y caneos con algún material aislante, presentaría heterogeneidades, pues en el sector donde están las

piezas de madera utilizadas como Montantes y caneos, se generan puentes térmicos En realidad, todos los muros que contengan ventanas y puertas o algún otro vano se pueden considerar heterogéneos.

El cálculo de transmitancia térmica para muros con heterogeneidades se realiza con la siguiente formula.

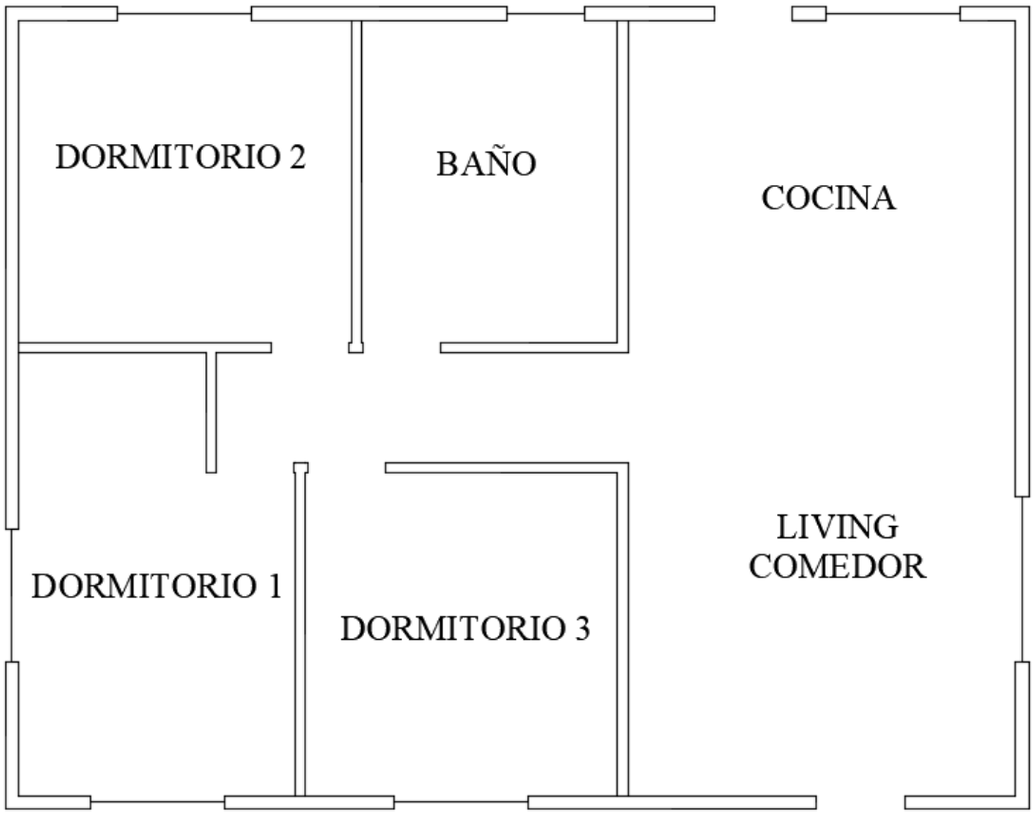
$$\bar{U} = \sum \frac{U_i \cdot A_i}{A_i}$$

Donde $\bar{U}$ es la transmitancia térmica media del muro, *Ui* es la transmitancia térmica, y *Ai* es el área correspondiente a *"Ui"*. La transmitancia térmica *"Ui"* se calcula de la misma manera anteriormente mostrada.

1.2.3. COMPARACION ENTRE MUROS

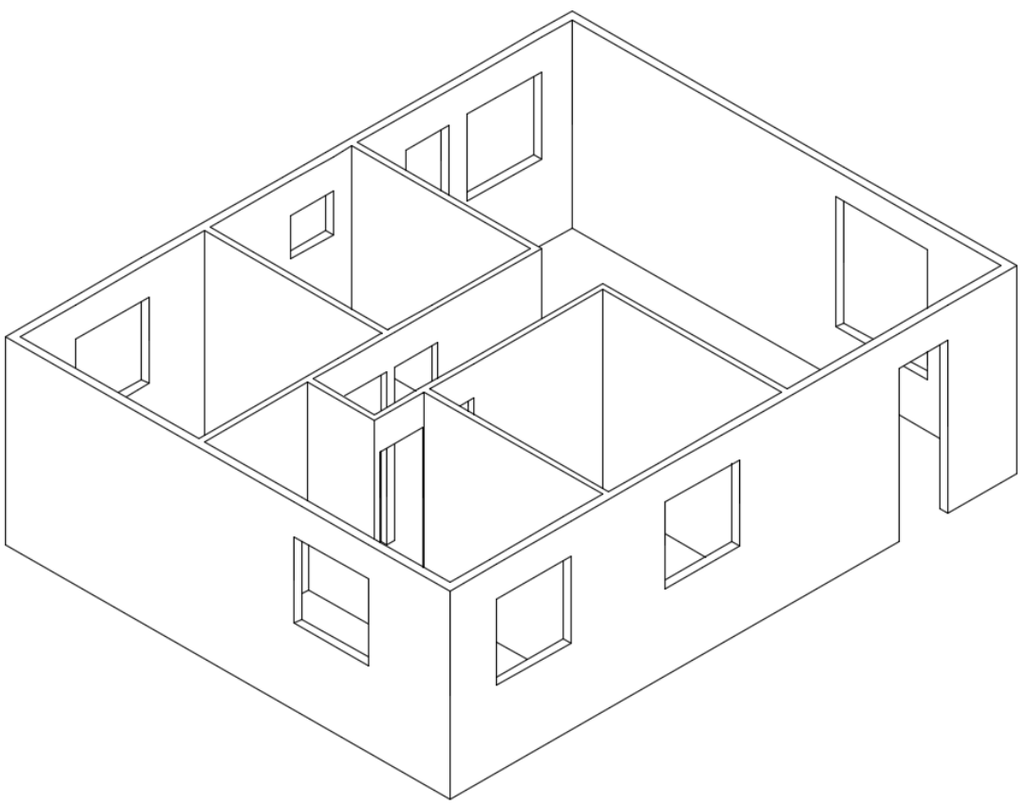
Estos cálculos de transmitancia y resistencia térmica se realizarán para los dos tipos de muros a comparar, a saber, un muro de perfilaría galvanizada (Metalcon), aislado interiormente con lana mineral y revestido interiormente con yeso-cartón y exteriormente con OSB, y un Muro con panel SIP revestido interiormente con yeso- cartón. El muro de acero galvanizado para efectos de cálculos según la Nch 853 es homogéneo y el muro con panel SIP es heterogéneo, los cálculos se detallarán en el desarrollo de la tesis.

Para hacer la comparación se calculará la transmitancia térmica media de la envolvente térmica de una vivienda habitacional de 61,276 m² útiles mostrada en las figuras 3 y 4.



Fuente: Dibujo Hecho para cálculo de Transmitancia térmica y de costos

Figura 4: Planta Plano Esquemático vivienda habitacional Para realización de cálculos.



Fuente: Dibujo Hecho para cálculo de Transmitancia térmica y de costos

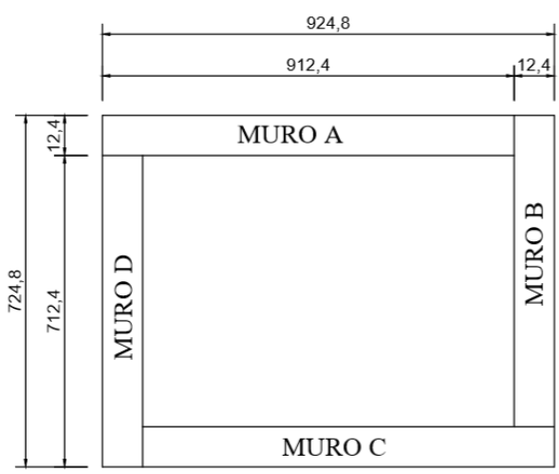
Figura 5: Isometría Plano Esquemático vivienda habitacional Para realización de cálculos.

Para efectos de cálculo la perimetral estructural se dividirá en cuatro muros de 2,44 [m] de altura para la vivienda con Panel SIP, ya que esa es la altura del panel por defecto y 2,4 [m] de altura para la vivienda con Acero galvanizado estructural, los muros son: Muro A, Muro B, Muro C y Muro D, (ver figura 5a y 5b), a los cuales se les calcularan las transmitancia térmicas medias considerando las ventanas y puertas para obtener el valor de U, de la envolvente completa.

Para realizar el cálculo, se considerarán ventana de 3 mm de espesor, ya que es el mínimo espesor de fabricación por ende utilizar el mínimo valor, asegura que cualquier otro tipo de ventana ofrecerá una mejor aislación térmica que la obtenida en los cálculos. Las puertas serán 1 puerta de entrada de pino Oregón, y la puerta de cocina de terciado de 3 mm; ambas puertas de 45 mm de espesor total; ya que son las que ofrecen menor resistencia térmica, lo cual de manera similar a la elección de la ventana asegura que cualquier otro tipo de puerta ofrecerá una mejor aislación térmica que la obtenida en los cálculos.

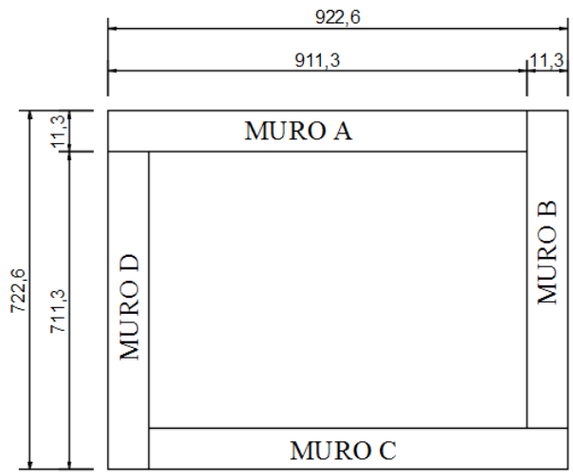
Por lo tanto, el aporte final al cálculo de la transmitancia térmica será: de las ventanas 5,80 W/(m²·K); de la puerta principal 2,3 W/(m²·K) y de la puerta de cocina 3,35 W/(m²·K).

Para calcular la transmitancia térmica de la envolvente, considerando las ventanas y puertas se utiliza la fórmula de dada para elementos con heterogeneidades (ver pág. 21).



Fuente: Dibujo Hecho para cálculo de Transmitancia térmica y de costos

Figura 6: División de muros de la envolvente térmica de panel SIP para cálculo.



Fuente: Dibujo Hecho para cálculo de Transmitancia térmica y de costos

Figura 7: División de muros de la envolvente térmica de Acero galvanizado para cálculo.

Los muros cuentan con los siguientes vanos de puertas y/o ventanas:

Muro A

- Un vano de puerta de 70 x 200 cm. perteneciente a la cocina.
- Dos vanos de ventanas de 121 x 100 cm. pertenecientes al dormitorio 3 y a la cocina.
- Un vano de ventana de 70 x 50 cm. perteneciente al baño.

Muro B

- Un vano de ventana de 150 x 150 cm. perteneciente al living comedor.

Muro C

- Un vano de puerta de 80 x 200 cm. perteneciente al living comedor.
- Dos vanos de ventana de 121 x 100 cm. pertenecientes a los dormitorios 1 y 2.

Muro D

- Un vano de ventana de 121 x 100 cm. perteneciente al dormitorio 1.

Los resultados se compararán de acuerdo con la tabla 1 , de transmitancias y resistencias térmicas por zona geográficas, además también se comprarán los resultados con la figura 7, que se muestra a continuación, cuya tabla ofrece una propuesta de actualización de la normativa actual que rige desde el 2007, es importante saber que tan eficiente pueden llegar a ser estos materiales en el futuro. Es muy probable que en un futuro haya una actualización de la normativa considerando esta propuesta debido a la gran importancia que se le está dando hoy al uso eficiente de la energía.

Requisitos - Muros

Transmitancia Térmica Máxima de envolvente vertical opaca [U]				
RT 2007			Propuesta Actualización RT	
Ciudad	Zona	U	Zona	U Propuesta final
Arica	1	4	A	2,1
Iquique		4		2,1
Antofagasta		4		2,1
Copiapó		4	B	0,8
La Serena		4	C	0,8
Valparaíso	2	3		0,8
Santiago	3	1,9	D	0,8
Rancagua		1,9		0,8
Talca	4	1,7		0,8
Concepción		1,7	E	0,6
Temuco	5	1,6	F	0,45
Valdivia		1,6	G	0,4
Puerto Montt	6	1,1		0,4
Coyhaique	7	0,6	I	0,35
Punta Arenas		0,6		0,35

Nota: Valores en rojo representan ajustes generados por la mesa de calibración y/o ajustes realizados por la Ditec.

Actualización RT

Ministerio de Vivienda y Urbanismo

Fuente: REGLAMENTACIÓN TÉRMICA EN LA EDIFICACIÓN "CONDENSACIÓN - VENTILACIÓN E INFILTRACIONES"

Figura 8: Propuesta Transmitancia térmica máxima de muros según zona geográfica.

1.3. COMPARACION DE COSTOS

Para comparar los costos entra cada material se hará una cubicación y presupuesto de los muros estructurales de la vivienda tipo que se utilizó para el cálculo de la transmitancia térmica (ver figura 3). Para el cálculo de las cubicaciones y principalmente del presupuesto se tomará en consideración la misma distribución de muros estructurales que se utiliza para el cálculo de transmitancia térmica (ver figura 5 y 6).

El cálculo de los muros estructurales en base a acero galvanizado, incluye el revestimiento interior y exterior, yeso cartón y OSB respectivamente, más la aislación de lana de vidrio, o aislanglass, los previos serán sacados en su mayoría de Sodimac y también a modo de comparación, se utilizarán los precios de los perfiles dados por CINTAC.

De forma similar los muros de panel SIP, incluirán el revestimiento interior, a saber, yeso cartón, y los materiales necesarios para los anclajes de igual modo el muro de acero galvanizado, los valores del precio de los materiales serán sacados igualmente de Sodimac en su mayoría, y con respecto a los paneles SIP y sus tornillos, se sacarán algunos precios

de ProSIP, una empresa dedicada a la fabricación y venta de este material, de manera similar como lo hace la empresa CINTAC con el Acero galvanizado y el acero.

CAPITULO II: PANEL SIP

2.1. PANEL SIP

"Los Paneles SIP corresponden al concepto SIP (Structural Insulated Panels – Panel Estructural Aislado) y son elementos modulares conformados por dos placas que pueden ser de OSB (Oriented-Strand-Board), contrachapado u otro material similar, las cuales están firmemente adheridas mediante presión a un núcleo de Poliestireno Expandido de Alta Densidad (EPS HD), componentes que a través de un proceso industrial de fabricación bajo condiciones de estricto control y severas normas, se transforman en un elemento estructural de alta resistencia mecánica y gran capacidad de aislación térmica." (Winter Panel, 2007)

El adhesivo utilizado para pegar el poliestireno expandido es El poliuretano (PUR), que es un compuesto polimérico duroplástico indicado para uniones estructurales que posee ventajas como una elevada fiabilidad de proceso, indicado para temperaturas altas y muy bajas, elevada velocidad de proceso para mayor productividad, gran diversidad de métodos de aplicación.

Los espesores de aislación del Poliestireno expandido (EPS) generalmente son de 56mm, 68mm y 94mm. Las dimensiones de cada panel son dependientes de las placas; generalmente se usan de 122 cm de ancho, en largos de 244 o 488 cm de largo.

El espesor de las placas de OSB que generalmente se utiliza es de 11,1 mm y el contrachapado de 9,5 mm. Por ejemplo, con OSB, el muro estructural resultante es de 11,4 cm. de espesor nominal. Por otro lado, el espesor de cada panel dependerá del uso específico (muro, piso o techo) y de la zona geográfico-térmica donde será instalada la vivienda. Peso Aproximado: - Panel SIP 75 mm:48kg - Panel SIP 87 mm: 48,5kg - Panel SIP 114 mm: 49kg.

Usos de Panel SIP.

El panel SIP puede ser usado en múltiples complejos de construcción, tales como:

- Muros perimetrales.
- Muros divisorios
- Cubiertas
- Entrepisos

2.1.1. FABRICACIÓN PANEL SIP

El armado de paneles se debe hacer en una mesa de trabajo de dimensiones ligeramente superiores al tamaño del panel, de manera que lo sobrepase en al menos 0,20 m por lado.

Este mesón de armado (cuyas dimensiones mínimas son 1,60m x 2,8m) deberá tener fijados dos bordes cantoneros perfectamente a escuadra que sirvan de guía para el montaje de las planchas que conforman el panel. Para los paneles OSB es necesario contar con una sierra panelera que permita el dimensionado al largo y ancho de estos tableros, así como realizar cortes de ajuste dimensional en planchas de poliestireno expandido.

El procedimiento de fabricación es el siguiente:

Se pone un OSB en la mesa de trabajo con la cara rugosa hacia arriba (Figura 8), se marca en la cara que quedará hacia el interior del panel las líneas de instalación del poliestireno expandido. Se aplica el adhesivo (poliuretano) con una llana lisa, luego fijar los pies derechos mediante tornillo. Colocar la plancha encolada en posición en la jaula de armado (Figura 9) y poner sobre ésta la plancha de poliestireno preocupándose de ubicarla en posición centrada correctamente. Se debe cuidar no traspasar las líneas demarcadas para evitar que el adhesivo dificulte el calce del panel contiguo o de las soleras y vigas.

Volver a la mesa de encolado para encolar la otra plancha de OSB, repetir el procedimiento de marcaje y encolado y cubrir el panel en fabricación que se encuentra en la jaula de armado. Presionar con rodillo y golpes de martillo de goma para asegurarse el completo contacto entre los elementos a pegar y el adhesivo. Proporcionar algún sistema intermedio de prensado como se muestra en la figura 10.

Fuente: http://www.forestal.uchile.cl/documentos/manual-1-pdf-565-mb_114518_0_5636.pdf

Figura 9: Encolado tablero OSB

Fuente: http://www.forestal.uchile.cl/documentos/manual-1-pdf-565-mb_114518_0_5636.pdf

Figura 10: Instalación en jaula de armado

Fuente: http://www.forestal.uchile.cl/documentos/manual-1-pdf-565-mb_114518_0_5636.pdf

Figura 11: Prensado

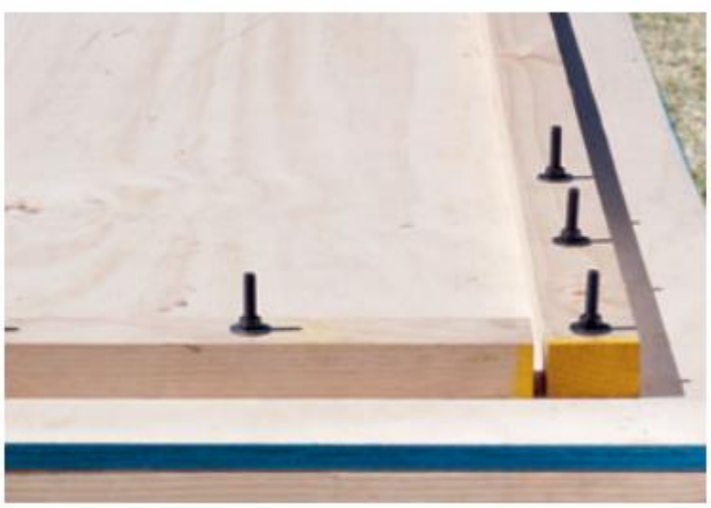
Se repite el procedimiento las veces que pueda cuidando de no sobrepasar la altura útil de la jaula de armado que se haya implementado, considerando una altura que permita una manipulación cómoda, altura máxima recomendada 1,4m. es importante evitar los tiempos muertos en este procedimiento, puesto que el adhesivo preparado mantiene la viscosidad adecuada sólo por 1,5 horas como máximo por lo que sólo debe preparar la cantidad que pueda ejecutar en ese tiempo, procurando no sobrepasar una altura de 1,4m, si es necesario se puede instalar otra jaula de armado y repetir la preparación de adhesivo para fabricar mayor número de paneles por día.

2.2.METODOLOGIA CONSTRUCTIVA PANEL SIP

La metodología constructiva de un muro utilizando paneles SIP se hace de la siguiente manera:

Se procede a trazar la solera inferior del panel SIP, se debe tener especial cuidado con la línea de dicha solera, ya que esta dará la ubicación definitiva a los paneles que se instalarán. Se debe tener especial cuidado con las esquinas, para asegurar que las esquinas tienen un ángulo de 90° muchas veces se realiza una verificación con una amplificación de un trio pitagórico conocido (un tiro pitagórico son 3 números enteros que verifiquen el teorema de Pitágoras), el más utilizado es 3, 4 y 5. A continuación, se instalan las soleras inferiores, que son piezas de madera de 2x4”. Esta escuadría estará dada por el espesor del relleno del panel, en este caso un panel de 114 mm de espesor con un relleno de 92 mm.

Dicha solera queda afianzada a la losa, mediante pernos de anclaje o varillas roscadas, para realizar el anclaje se realizan perforaciones cada 60 cm como máximo en la solera y en la losa, luego se coloca el perno o la varilla con un adhesivo epóxico haciendo que traspase la perforación de la pieza de madera hasta la losa, una vez que haya fraguado se coloca la tuerca con su golilla correspondiente (el diámetro de la varilla puede ser 3/8” o 1/2" de acuerdo a diseño).

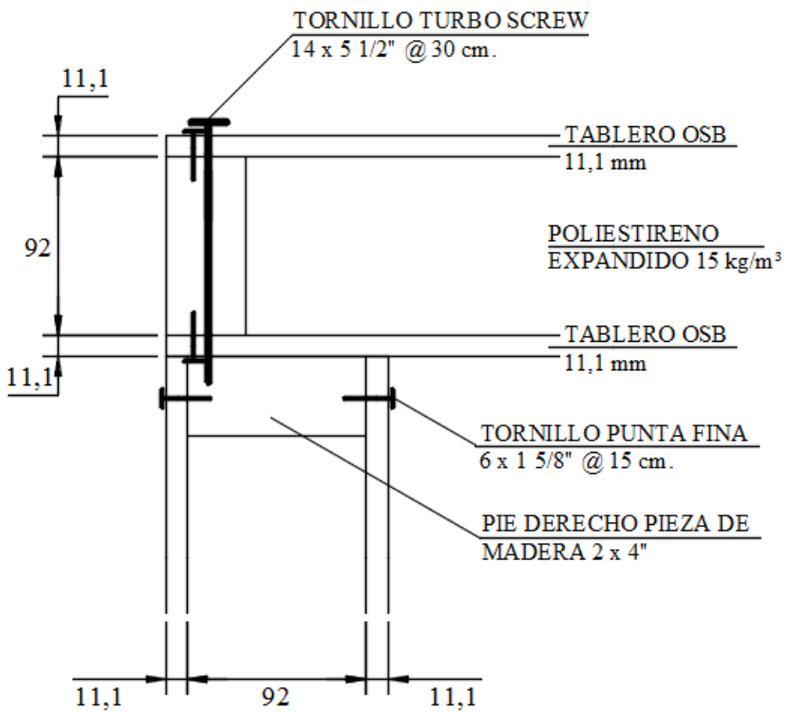


Fuente: Sodimac.cl

Figura 12: Anclaje de soleras.

Una vez instaladas las soleras se proceda a instala el primer panel SIP, que se atornilla a la solera inferior con tornillos punta fina de 6 x 1 5/8” cada 15 cm, luego se instala el

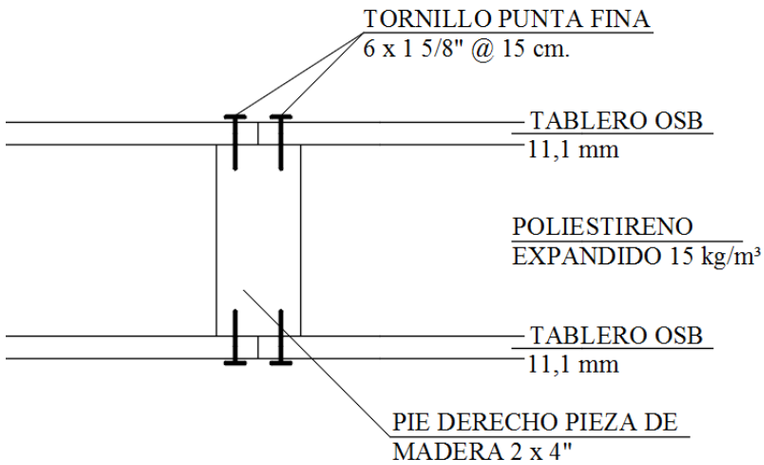
segundo panel formando una esquina con el primero, se parte formando la esquinas para que se estabilicen momentáneamente mientras se prosigue con la instalación de paneles. Al panel ya instalado se le instala un pie derecho el costado con tornillos de 6 x 1 5/8” cada 15 cm, el otro panel también se le pondrá un pie derecho atornilladlo con tornillo de 6 x 1 5/8” cada 15 cm, y ambos paneles serán marrados en la esquina con tornillos turbo screw de 5 1/2" cada 30 cm (ver figura 8).



Fuente: Constructora xxxxxx (2019)

Figura 13: Vista de planta, detalle de unión esquina panel SIP.

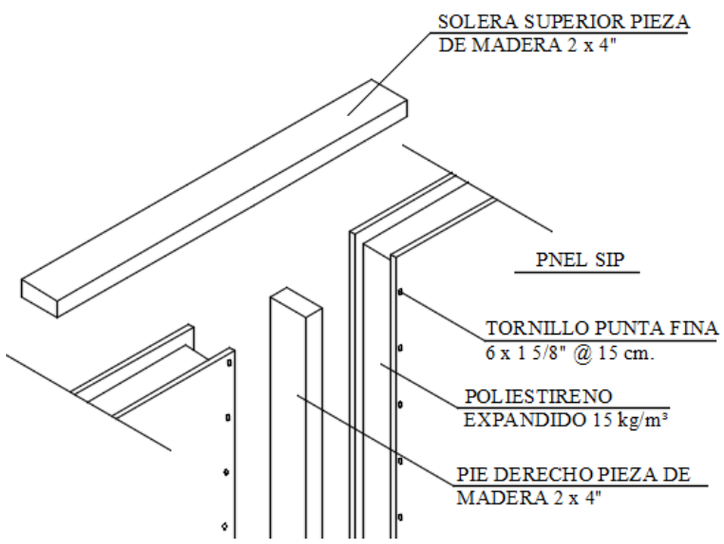
Para la unión longitudinal de los penales SIP, se utiliza un pie derecho, que es una pieza de madera de 2 x 4” cepillada, la cual va instalada entre dos paneles (ver figura 9a), los paneles van atornillados al pie derecho cada 15 cm cada tornillo, no deben quedar dos tornillos uno al lado del otro, por lo tanto, los tornillos de un panel con el otro deben quedar desfasados al menos por 5 cm. Una vez que los paneles están instalados se amarran con una solera superior procurando que no calce una unión de solera con una unión de paneles (ver figura 9b).



Fuente: Constructora xxxxxxx (2019)

Figura 14: Vista de planta, detalle de unión longitudinal panel SIP.

.

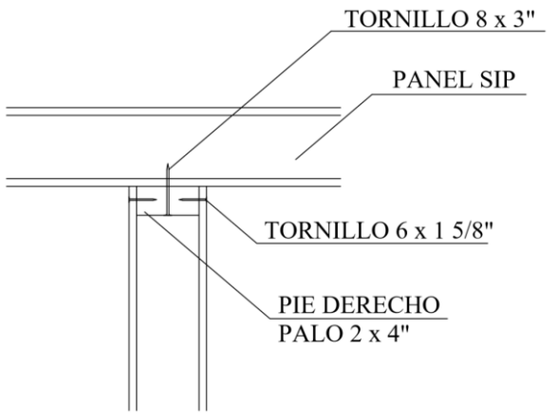


Fuente: Constructora xxxxxxx (2019)

Figura 15: Vista isométrica, detalle de unión longitudinal panel SIP y colocación solera superior.

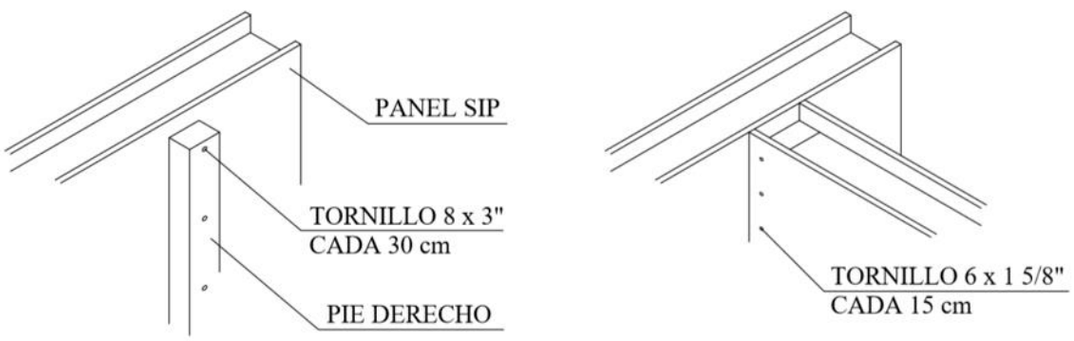
Para los encuentros de un muro con otro en forma de T (ver figura 15 y 16), primero se atornilla un pie derecho al muro que ya está en pie utilizando tornillos de 3 x 8” cada 30 cm, la escuadría de este pie derecho estar dada por el tipo de panel SIP a utilizar, por ejemplo: si el panel es de 114 mm se utilizara una pieza de madera de 2 x 4” ahora bien, si el panel es de 87 mm se utilizara una pieza de madera de 2 x 3”, que es la escuadría correspondiente a este panel. Finalmente, una vez instalado el pie derecho se procede a instalar e panel SIP, el procedimiento para la instalación, es el mismo que anteriormente,

primero se coloca la solera inferior, siempre cuidando que el ángulo formado por los muros sea de 90°, a menos que el diseño de arquitectura especifique otro ángulo, luego se instala el panel atornillándolo con tornillos 6 x 1 5/8” y se finaliza instalando la solera superior.



Fuente: Constructora xxxxxxx (2019)

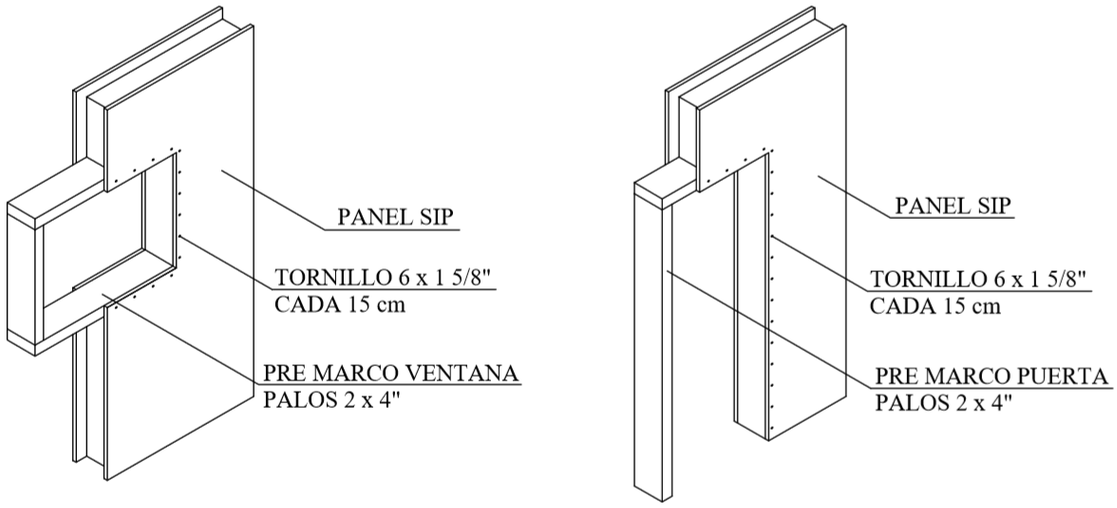
Figura 16: Vista de planta, detalle unión T de paneles SIP.



Fuente: Constructora xxxxxxx (2019)

Figura 17: Vista isométrica, detalle unión T de paneles SIP.

Para los vanos, de los muros, ya sea de ventana o puerta, o cualquier tipo de vano en general, el procedimiento es siempre el mismo, se corta el espacio en el panel o entre los paneles donde ira, la ventana, puerta o el espacio que se quiera dejar, y se instala un pre marco con piezas de madera de 2 x 4”, se hace esto, pues si se necesita instala un marco de ventana o puerta, su puede atornillar a la madera. Estas piezas se atornillan al panel por ambos lados con tornillos de 6 x 1 5/8” cada 15 cm.



Fuente: Constructora (2019)

Figura 18: Isometría esquema de premarcos de puertas y ventanas.

Este es el procedimiento constructivo, a seguir para construir una vivienda, cuyos muros estructurales, están hechos en base a paneles SIP. Las piezas de madera son utilizadas, para la construcción, son de pino radiata cuyas características física y mecánicas deben cumplir con lo estipulado en la Nch 1198 Of. 2014 madera - construcciones en madera – cálculo.

2.3. COMPORTAMIENTO ESTRUCTUAL

A continuación, se presenta un ensayo de compresión realizado por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile (FCFM)

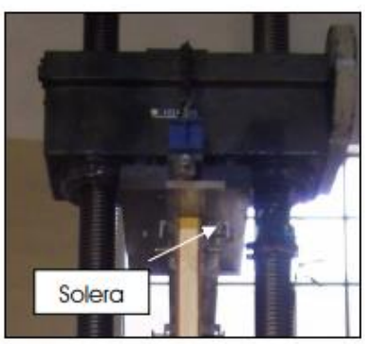
2.3.1. DESCRIPCION DEL PANEL

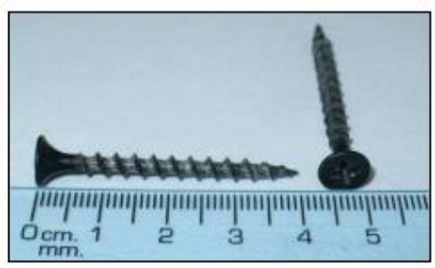
Se ensayan tres muestras de un panel de muro (estructural), termo-aislante, correspondientes a un módulo de 1.22 m de largo x 2.44 m de alto x 114 mm de espesor1 y masa de 48 kg, denominado comercialmente como “VASPANEL 114 mm”, conformado por:

Estructura interna: Poliestireno expandido (EPS) de densidad nominal de 15 kg/m3 y dimensiones nominales de 92 mm de espesor, 1.22 m de largo y de 2.36 m de alto. En los extremos superior e inferior del panel se incorporan las soleras, materializadas por medio de un listón de madera de 90 mm x 41 mm (escuadría de 2 x 4” cepillada)

Revestimientos exterior e interior: Tablero estructural de OSB (tablero de hojuelas de madera orientadas) para uso exterior, denominado comercialmente como “LP 11 mm”, de dimensiones nominales de 1.22 m de largo, 2.44 m de alto y 11.1 mm de espesor.

Las soleras de madera son fijadas a los tableros de OSB por medio de tornillos autorroscantes de cabeza avellanada de 6 x 1 5/8” (40 mm de largo), espaciados nominalmente cada 150 mm, por ambas caras del panel.





Fuente: http://vaspanel.cl/wp-content/uploads/2015/06/ENSAYO-COMPRESION-VASPANEL.pdf

Figura 19: Colocación de panel en solera y longitud de los tornillos.

2.3.2. MONTAJE E INSTRUMENTACIÓN

El panel se monta en forma vertical, apoyándolo entre los platos de la Máquina de Ensayo. La distribución de la carga sobre las caras de apoyo del panel se materializa por medio de placas de acero que abarcan toda la longitud de la cara de apoyo del panel. La excentricidad de la carga se logra por medio de una placa de acero con apoyo excéntrico. La instrumentación utilizada se define de acuerdo con lo especificado en la norma NCh801. Se emplean cuatro transductores de desplazamiento para medir la deformación longitudinal del panel, dos transductores de desplazamiento para medir la deflexión a media altura del panel y un sensor de presión para medir la carga aplicada.

Fuente: http://vaspanel.cl/wp-content/uploads/2015/06/ENSAYO-COMPRESION-VASPANEL.pdf

Figura 20: Panel SIP instalado.

2.3.3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El procedimiento de ensayo consiste, básicamente, en: Fijar el panel en la Máquina de Compresión y colocar la instrumentación.

A continuación, se aplica la carga de forma incremental, mediante ciclos de carga – descarga, aumentando progresivamente la carga máxima aplicada. El incremento de carga para la muestra N°1 es de 5.9 kN hasta los 31.4 kN, de 9.8 kN hasta los 129.5 kN y de 19.6 kN en adelante. En el caso de las muestras N° 2 y Nº 3, el incremento de carga es de 9.8 kN hasta los 70.6 kN y de 19.6 kN en adelante. En cada ciclo de carga se mide la deformación longitudinal y la deflexión transversal del panel bajo carga máxima y al descargar. El ensayo se inicia con una carga básica de 2.0 kN.

Terminado el ensayo, se observan el modo de falla del panel y los daños locales presentados.

Fuente: http://vaspanel.cl/wp-content/uploads/2015/06/ENSAYO-COMPRESION-VASPANEL.pdf

Figura 21: Imagen de resultados durante y después del ensayo.

2.3.4. RESULTADOS

En la Tabla 5, se presentan los resultados globales obtenidos en el ensayo de compresión excéntrica.

Tabla 5: Datos de resultados del ensayo.

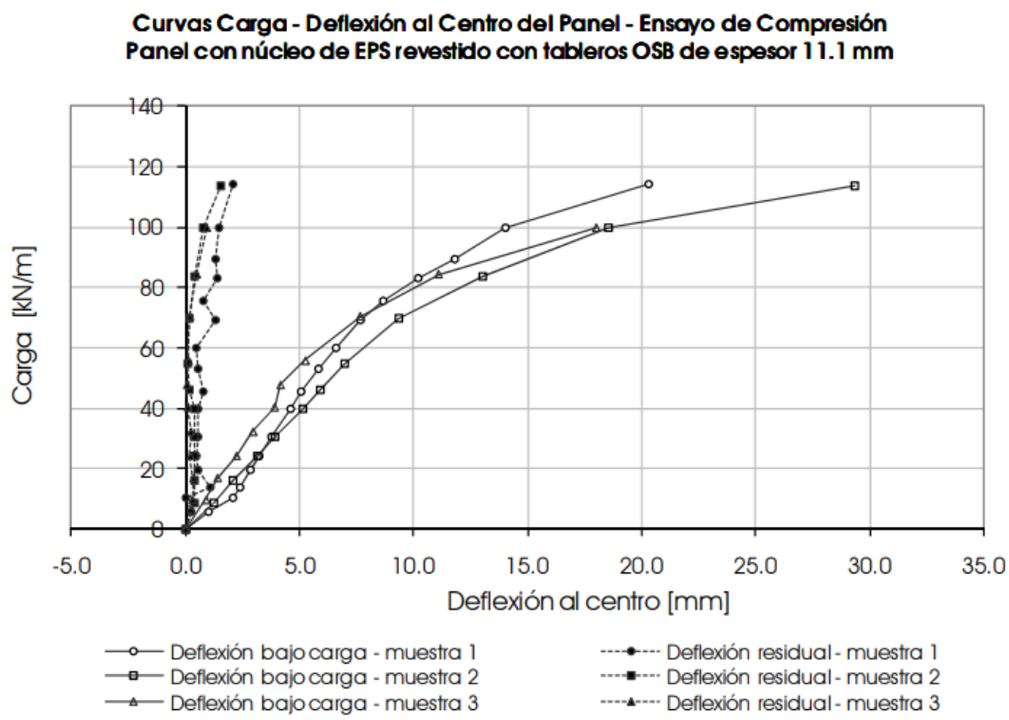
Muestra del panel (Nº)	Pérdida de proporcionalidad (1)				Resistencia máxima	
	Carga aplicada (kN)	Carga normalizada(2) (kN/m)	Deflexión central (mm)	Deformación axial (mm)	Carga aplicada (kN)	Carga normalizada(2) (kN/m)
1	37.6	30.8	3.79	0.49	168.7	138.3
2	67.1	55.0	6.96	1.05	162.8	133.4
3	39.3	32.2	2.96	0.52	149.1	122.2

Notas:

(1) Corresponde al momento donde la curva carga – deflexión del ensayo de compresión excéntrica deja de ser cuasi-lineal (se descarta el tramo inicial de acomodo del sistema).

(2) Corresponde a la carga aplicada dividida por el largo del panel (1.22 m).

Fuente: http://vaspanel.cl/wp-content/uploads/2015/06/ENSAYO-COMPRESION-VASPANEL.pdf



Fuente: http://vaspanel.cl/wp-content/uploads/2015/06/ENSAYO-COMPRESION-VASPANEL.pdf

Gráfico 1: Curvas Carga (Normalizada) – Deflexión central.

Los resultados de los paneles SIP nos dan una idea de la capacidad de soporte estructural que posee un muro estructural en base a este método constructivo.

Para una deformación máxima de 1 mm, se pude inferir del gráfico, las cargas aplicadas a las muestras a 1 mm de deformación central. De acuerdo con el grafico las cargas aplicadas a las muestras 1, 2 y 3 al momento en que la deformación central es de 1 mm, son respectivamente 5691,432 (N/m), 7021,933 (N/m) y 11878,525 (N/m). Calculando el

promedio de estos tres valores obtenemos una carga media de 8197,297(N/m). Por lo tanto, la carga promedio que podría soportar los muros estructurales es 8197,297 (Newton) por metro lineal de muro perimetral. Este valor se puede transformar a kg o kgf (Kilogramos de Fuerza).

El newton (N) equivale a la unidad para medir la fuerza según el Sistema Internacional de Unidades, en este caso la fuerza peso provocada por la gravedad, la cual equivale a la masa del objeto por la aceleración de gravedad, que se denota con una letra "g" y tiene un valor de 9,81 m/s2; desarrollando esta fórmula: $F = m * g$

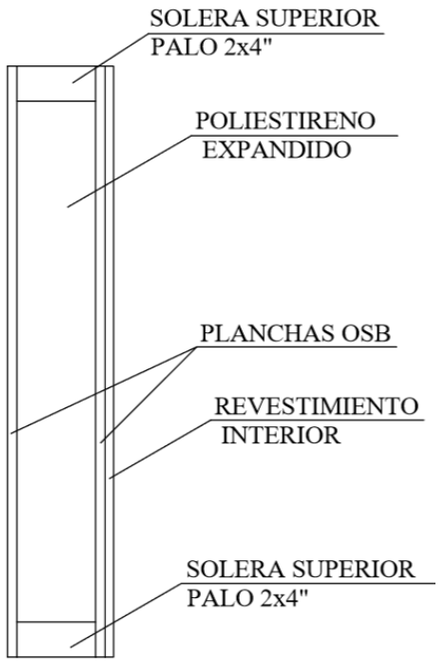
Donde F es fuerza; m es masa y g es aceleración de gravedad.

Al despejar la masa queda $\frac{F}{g} = m$; entonces ; $\frac{8197{,}297(N)}{9{,}81\ (\frac{m}{s2})} = m$

Tenemos un valor para la masa de 835,606 kgf; es decir que por cada metro lineal de construcción soportaría 835,606 kgf de masa sobre el muro sin ningún problema del tipo estructural. Si tomamos como ejemplo un muro perimetral de una vivienda de 7 x 9 m cuyo perímetro es de 32 m, la carga en kilogramos que podría soportar seria de 853,606 kg x 32 metros que da un total de 26739 kg. Son valores a los que los muros de una casa difícilmente estarían sometidos. Suponiendo que sobre estos muros se armara un segundo piso de material liviano, la carga otorgada por la misma estructura del segundo piso, más los muebles y las personas que lo habitan tendría una masa de alrededor de 5000 kg a 10000 kg, muy por debajo de los valores obtenidos, lo cual comprueba la estabilidad y seguridad que ofrece el material, como elemento estructural.

2.4. EFICIENCIA ENERGÉTICA

El panel SIP estructural está formado por dos planchas OSB estructural de dimensiones 122 x 244 cm y 11.1 mm de espesor y un centro de poliestireno expandido de 15 kg/m3 de densidad con un espesor de 92 mm. Además, hay que considerar los túneles térmicos generados por las soleras inferiores, que son piezas de madera de 2x4" cepillado, pino radiata sobre las cuales va instalado el panel y las soleras superiores de misma dimensión que le dan estabilidad al panel, también los pies derechos que van colocados cada 122 cm y en las esquinas y las piezas de madera de 2x4" utilizados para los premarcos de ventanas y puertas. Esto hace que un muro construido con paneles SIP no sea homogéneo, por lo tanto, para calcular la transmitancia térmica media de una vivienda cuya envolvente térmica está construida principalmente con paneles SIP se ponderaran las transmitancias térmicas por superficies de acuerdo con lo estipulado en la Nch 853. La figura 21 muestra un corte transversal de un muro construido con paneles SIP revestido interiormente.



Fuente: Dibujo Hecho para cálculo de Transmitancia térmica y de costos

Figura 22: Corte muro panel SIP con revestimiento interior.

2.4.1. CALCULOS DE TRANSMITACIA TERMICA MURO SIP

Antes de calcular la transmitancia térmica, la siguiente tabla muestra los elementos que conforman la envolvente y sus propiedades.

Tabla 6: Resistencia térmica de los elementos individuales que conformaran el muro

Material	Conductividad Térmica (A)	Espesor (E)	Resistencia térmica (R=E/A)
Plancha OSB	0,13 (W/mK)	11,1 mm	0,085 (m²·K)/W
Poliestireno Expandido	0,0413 (W/mK)	92 mm	2,2276 (m²·K)/W
Madera Pino Radiata	0,104 (W/mK)	90 mm	0,8654 (m²·K)/W
Revestimiento Interior Yeso Cartón	0,26 (W/mK)	10 mm	0,0384 (m²·K)/W

El gran porcentaje del muro se compone de 2 capas de planchas de OSB, poliestireno expandido de alta densidad y el revestimiento interior de yeso cartón. La resistencia térmica total para este sector será la sumatoria de las resistencias correspondientes más las resistencias superficiales exteriores e interiores dadas por la tabla 3:

Rt = [2 x 0,085 (m²·K)/W + 2,2276 (m²·K)/W + 0,0384 (m²·K)/W) + 0,17 (m²·K)/W]

Rt = 2,606 (m²·K)/W

Y la transmitancia térmica $U = \frac{1}{Rt} \rightarrow U = \frac{1}{2{,}606 \left[\frac{\mathrm{m^2 \cdot K}}{W}\right]} \rightarrow U = 0{,}38373 \left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2 \cdot K}}\right]$

En menor proporción, pero no por eso menos importante son los sectores de la evolvente térmica donde el interior del muro es pino radiata, a saber, soleras superiores e inferiores, pies derechos de conexión de paneles y de conexiones de esquinas, y premarcos de ventanas y puertas. La resistencia térmica total para este sector será la sumatoria de las resistencias correspondientes más las resistencias superficiales exteriores e interiores dadas por la tabla 3:

Rt = [2 x 0,085 (m²·K)/W + 0,8654 (m²·K)/W + 0,0384 (m²·K)/W) + 0,17 (m²·K)/W]

Rt = 1,2438 [(m²·K)/W]

Transmitancia térmica $U = \frac{1}{Rt} \rightarrow U = \frac{1}{1{,}2438 \left[\frac{\mathrm{m^2 \cdot K}}{W}\right]} \rightarrow U = 0{,}804 \left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2 \cdot K}}\right]$

Ahora que se ha hecho el cálculo las transmitancias térmicas de las dos principales secciones que componen los muro y se sabe el valor de las transmitancias térmicas de las ventanas y puertas (ver pág. vgvgv), es necesario tener la distribución de las superficies por paramento. La tabla Qa proporciona un resumen del área ocupada por: los vanos; los puentes térmicos, los que incluyen pies derechos soleras y premarcos; y El panel SIP con poliestireno expandido en su interior. La tabla Qb muestra más detalladamente como se distribuye el área de los vanos en los muros de acuerdo con el tipo de vano, ya sea ventana, puerta principal o de terciado.

Tabla 7: Disposición de las superficies por muros

	Area Total Muro [m²]	Area Vanos [m²]	Area Puentes Termicos [mm²]	Area SIP, Poliestireno Expandido [m²]
Muro A	22,263048	4,17	2291155,4	15,8018926
Muro B	17,383048	2,25	1512072,4	13,6209756
Muro C	22,263048	4,02	2190131,4	16,0529166
Muro D	17,383048	1,21	1447792,4	14,7252556
Total	79,292192	11,65	7441151,6	60,201040
	79,292192 [m²]	11,65 [m²]	7,4411516 [m²]	60,2010404 [m²]

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Tabla 8: Superficies según tipo de vano

	Area Vanos [m²]	Area Tipo de Vano [m²]		
		Ventana	Puerta Cocina	Puerta Principal
Muro A	4,17	2,77	1,4	-
Muro B	2,25	2,25	-	-
Muro C	4,02	2,42	-	1,6
Muro D	1,21	1,21	-	-

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Una vez tenidos todos los datos necesarios para realizar el cálculo de la transmitancia térmica, se procede a realizar al cálculo. En las tablas 9, 10, 11 y 12 se muestra el resumen final por cada muro con los siguientes datos: el área del muro; el área de las diferentes secciones que lo componen, a saber, Panel SIP, puentes térmicos y vanos, diferenciando entre el tipo de vano, ya sea ventana, puerta principal o puerta de terciado; y además la transmitancia térmica ponderada del muro (utilizando ecuación de la página hh). Finalmente, la tabla 13 expone el resumen final de los datos y la transmitancia térmica media de la envolvente completa (vera memoria de cálculo Anexo 1: Panel SIP, sección 7.1.1.).

Tabla 9: Resumen de datos muro A.

Muro A	22,263 [m²]			
Tipo de sección del Muro	Area [m²]	Transmitancita termica [W/(m²·K)]	Transmitancia por Area [W/K]	Transmitancia termica Ponderada [W/(m²·K)]
Poliestireno Expandido	15,802	0,384	6,064	1,287
Puentes Termicos	2,291	0,804	1,842	
Ventanas	2,770	5,800	16,066	
Puerta Cocina	1,400	3,350	4,690	
		Total = 28,662		

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Tabla 10: Resumen de datos muro B.

Muro B	17,383 [m²]			
Tipo de sección del Muro	Area [m²]	Transmitancita termica [W/(m²·K)]	Transmitancia por Area [W/K]	Transmitancia termica Ponderada [W/(m²·K)]
Poliestireno Expandido	13,621	0,384	5,227	1,121
Puentes Termicos	1,512	0,804	1,216	
Ventanas	2,250	5,800	13,050	
		Total = 19,492		

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Tabla 11: Resumen de datos muro C.

Muro C	22,263 [m²]			
Tipo de sección del Muro	Area [m²]	Transmitancita termica [W/(m²·K)]	Transmitancia por Area [W/K]	Transmitancia termica Ponderada [W/(m²·K)]
Poliestireno Expandido	16,053	0,384	6,160	1,152
Puentes Termicos	2,190	0,804	1,761	
Ventanas	2,420	5,800	14,036	
Puerta Principal	1,600	2,300	3,680	
		Total = 25,637		

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Tabla 12: Resumen de datos muro D.

Muro D	17,383 [m²]			
Tipo de sección del Muro	Area [m²]	Transmitancita termica [W/(m²·K)]	Transmitancia por Area [W/K]	Transmitancia termica Ponderada [W/(m²·K)]
Poliestireno Expandido	14,725	0,384	5,651	0,796
Puentes Termicos	1,448	0,804	1,164	
Ventanas	1,210	5,800	7,018	
		Total = 13,833		

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Tabla 13: Resumen de datos de la Envolvente Completa.

Transmitancia termica Final de la envolvente		79,292 [m²]		
Muro	Area [m²]	Transmitancita termica [W/(m²·K)]	Transmitancia por Area [W/K]	Transmitancia termica Ponderada [W/(m²·K)]
Muro A	22,263	1,287	28,662	1,105
Muro B	17,383	1,121	19,492	
Muro C	22,263	1,152	25,637	
Muro D	17,383	0,796	13,833	
		Total = 87,624		

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

De acuerdo con los resultados obtenidos según los cálculos (ver cálculos en Anexo 1: Panel SIP, sección 7.1.1.), la transmitancia térmica ponderada de la envolvente térmica completa, que incluye en este caso solo los muros perimetrales, es de 1,105 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$.

Es apreciable que los resultados de transferencia de calor, de la envolvente están dentro de los parámetros requeridos por la Nch853 en la mayor parte de la zonas térmicas de chile, de acuerdo a la tabla 1 "Limites de transmitancia y resistencia térmica según zona geográfica", una envolvente de las características anteriormente descrita estaría dentro de los parámetros en las zonas 1,2,3,4, y 5 cuyas transmitancias térmicas máximas permitidas son respectivamente, 4,0 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 3,0 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 1,9 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 1,7 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 1,6 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$. Sin embargo, la misma envolvente no cumple con la transmitancia térmica máxima en las zonas 6 y 7 cuyas transmitancias térmicas son 1,1 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$ y 0,6 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$ respectivamente.

La gran parte de la quinta región pertenece la zona 2, por lo que no es problema llevar a cabo una construcción con características térmicas similares a la de esta envolvente en la región de Valparaíso.

Ahora bien, es interesante comparar los resultados con la figura 7 "Propuesta Transmitancia térmica máxima de muros según zona geográfica", si bien la figura 7 no es la normativa vigente, pero propone una modificación a la normativa que rige desde 2007, hay razones suficientes para pensar que en un futuro no muy lejano la Norma chilena 853 sea actualizada, pues cada vez se le da más énfasis al cuidado del planeta.

De acuerdo a la figura 7, la envolvente térmica estudiada estaría dentro de los parámetros normativos en solamente la zona A cuya transmitancia térmica máxima permitida es 2,0 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$. En las demás zonas, a saber, las zonas B, C, D, E, F, G, I no cumpliría la envolvente con la transmitncia térmica máxima, las transmitancias de dichas zonas son

respectivamente; 0,8 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 0,8 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 0,8 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 0,6 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 0,45 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 0,40 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 0,35 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$.

2.5.PRESUPUESTO PANEL SIP

Para realizar la construcción de la envolvente estructural del plano propuesto, con una estructura en base a paneles SIP, se tienen en consideración los siguientes puntos; los metros lineales de muro estructural son de 32,465 [m], por lo tanto, para la construcción de dicha envolvente, considerando los espacios dejados por los vanos se requieren los siguientes materiales (ver memoria de cálculo en Anexo 1: Panel SIP, sección 7.1.2.):

Para al anclaje:

- 14 Hilos de 1/2" de un metro
- 56 Tuercas de 1/2"
- 56 Golillas planas de 1/2"

Para la estructurara principal y revestimientos:

- 28 Paneles SIP
- 55 Piezas de madera de 2 x 4” para 173,272 metros de madera, incluidos pies derechos, soleras y premarcos de ventanas y puertas.
- 3552 Tornillos de punta fina 6 x 1 5/8”
- 40 Tornillos Turbo screw 14 x 5 1/2"
- 28 Planchas de yeso cartón 10 mm de espesor para el revestimiento interior.

A continuación, las figuras 22 y 23 muestran un resumen de las compras de los materiales necesarios para poder llevar cabo el anclaje; las figuras 24, 25, 26 y 27 muestran un resumen de las compras de los materiales necesarios para poder llevar cabo la construcción, dichos presupuestos son sacados de Sodimac y ProSIP.

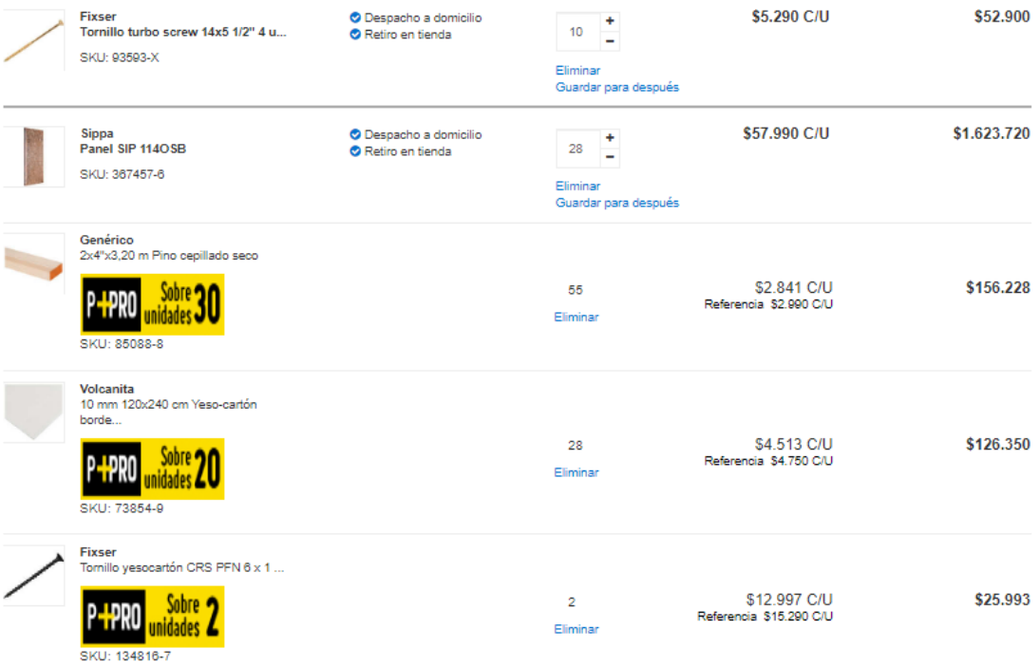
Producto	Cantidad	Precio Unitario	Total
Ferracon Golilla plana 1/2 10 unidades SKU: 368267-6	6 Eliminar Guardar para después	$2.950 C/U	$17.700
Fixser Tuerca Hexagonal G2 1/2"12 Pavonad... SKU: 86151-0	28 Eliminar Guardar para después	$1.290 C/U	$36.120
Mamut Hilo un metro 1/2-12 1 unidad SKU: 62074-2	14 Eliminar Guardar para después	$5.490 C/U	$76.860

Fuente: https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/cart/

Figura 23: Detalle compra materiales en Sodimac

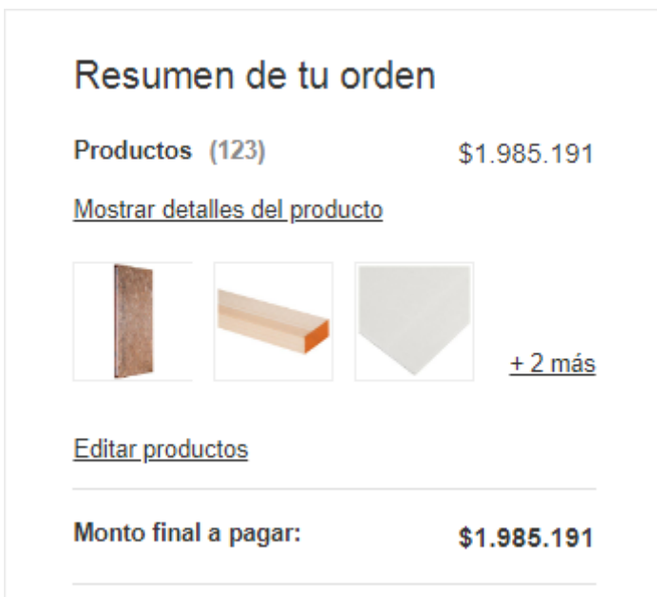
Fuente: https://secure.sodimac.cl/sodimac-cl/checkout/delivery?_frr=delivery&_requestid=208276

Figura 24: Resumen compra materiales en Sodimac



Fuente: https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/cart/

Figura 25: Detalle compra materiales en Sodimac



Fuente: https://secure.sodimac.cl/sodimac-cl/checkout/delivery?_frr=delivery&_requestid=113935

Figura 26: Resumen compra materiales en Sodimac

Imagen	Nombre del producto	Modelo	Cantidad	Precio por unidad	Total
	Panel SIP 114	PANO-05	28	$35.900	$1.005.200
	Tornillo 6 x 1 5/8"	FIJ-02	4	$10.000	$40.000
	Tornillo Turbo 5 1/2"	FIJ-05	40	$250	$10.000
	Pino cepillado 2x4"	MAD-04	55	$3.800	$209.000

Sub-Total:	$1.264.200
Iva:	$240.198
Total:	$1.504.398

Fuente: https://www.prosip.cl/tienda/index.php?route=checkout/cart

Figura 27: Detalles compra materiales en Prosip

Panel SIP 114	x 28	$1.196.188	
Tornillo 6 x 1 5/8"	x 4	$47.600	
Tornillo Turbo 5 1/2"	x 40	$11.900	
Pino cepillado 2x4"	x 55	$248.710	

Sub-Total	$1.264.200
Iva	$240.198
Total	$1.504.398

Fuente: https://www.prosip.cl/tienda/index.php?route=checkout/cart

Figura 28: Resumen compra materiales en Prosip

Finalmente, las tablas 14, 15 y 16 muestra un resumen de los materiales y su precio según lugar de compra, y el valor total de los materiales a necesitar.

Tabla 14: Resumen costos materiales para anclaje.

		Sodimac	
Material	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Hilo 1/2" 1 metro	14	$ 5.490	$ 76.860
Tuerca 1/2"	56	$ 1.290	$ 36.120
Golilla Plana 1/2"	56	$ 2.950	$ 17.700
		TOTAL =	$ 130.680

Fuente: Tabla hecha para cálculo de costos.

Tabla 15: Tabla comparativa materiales, Sodimac y ProSIP.

		Sodimac		ProSIP	
Material	Cantidad	Precio Unitario	Precio total	Precio Unitario	Precio total
Panel SIP	28	$ 57.990	$ 1.623.720	$ 35.900	$ 1.005.200
Pieza de Madera 2 x 4"	55	$ 2.841	$ 156.228	$ 3.800	$ 209.000
Tornillo 6 x 1 5/8	3552	$ 12.997	$ 25.993	$ 10.000	$ 40.000
Tornillo Turbo screw 14 x 5 1/2"	40	$ 5.290	$ 52.900	$ 250	$ 10.000
Plancha Yeso Carton	28	$ 4.513	$ 126.350	-	-
		TOTAL =	$ 1.985.191	TOTAL =	$ 1.264.200

Fuente: Tabla hecha para cálculo de costos.

Tabla 16: Resumen costos ProSIP con IVA incluido.

		ProSIP	
Material	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Panel SIP	28	$ 42.721	$ 1.196.188
Pieza de Madera 2 x 4"	55	$ 4.522	$ 248.710
Tornillo 6 x 1 5/8	3552	$ 11.900	$ 47.600
Tornillo Turbo screw 14 x 5 1/2"	40	$ 298	$ 11.900
Plancha Yeso Carton	28	-	-
		TOTAL =	$ 1.504.398

Fuente: Tabla hecha para cálculo de costos.

CAPITULO III: METALCON

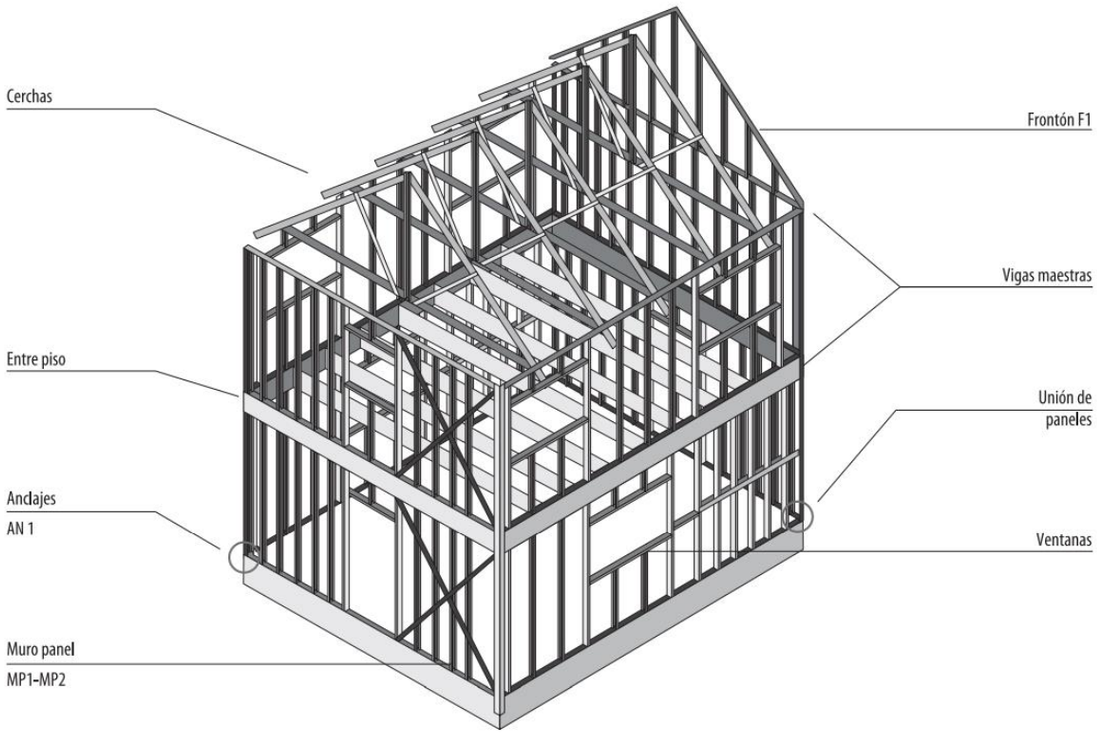
3.1.METALCON

Según CINTAC, que es la principal empresa que se dedica a la fabricación de acero estructural y Acero galvanizado, el Acero galvanizado es un sistema de construcción en base a perfiles de acero galvanizado de distintos espesores, un sistema de construcción muy similar a la madera. Permite materializar una vivienda completa en base completamente a este sistema. La clasificación de la familia de perfiles de acero galvanizado según CINTAC son de la siguiente forma: Acero galvanizado estructural, cuyos espesores oscilan entre 0,85 [mm], 1,0[mm] y 1,6 [mm]; Acero galvanizado de tabiquería, cuyo espesor es de 0,5 [mm]; y Acero galvanizado para Cielo, cuyo espesor es también de 0,5 [mm].

"La estructura de una vivienda de ACERO GALVANIZADO se conforma por:

- **Muros Estructurales:** Estructura construida base de perfiles estructurales de Acero galvanizado. Son el soporte de la vivienda. Su principal función es transmitir las cargas superiores hasta el piso y absorber las cargas laterales producto de sismos y vientos, esta estructura se compone de montantes, canales, arrostramientos, estabilizadores, vigas, refuerzos y anclajes. Esta estructura además permite agregar en su interior elementos de aislación tanto de humedad como también térmica y acústica.
- **Estructura de Entrepiso:** Nos permite generar una superficie horizontal para habilitar un 2° piso de Acero galvanizado. Su función es soportar el peso propio de la estructura más la sobrecarga de uso según la Nch 1537. Además, funciona en forma horizontal por medio de las placas estructurales, absorbiendo las cargas dinámicas de viento y sismo traspasándolas a los muros. La estructura se compone de vigas de piso, vigas maestras, conectores y placas estructurales.
- **Estructura de Techumbre:** Es la encargada de recibir la cubierta de la vivienda junto con la aislación de humedad, térmica y acústica, para luego recibir la estructura de cielo. Esta estructura se compone de varios elementos tales como: Cerchas, Frontones y Aleros.
- **Tabiques:** Es la encargada de realizar divisiones interiores, no estructurales en una vivienda además de avisar térmica u acústicamente un sector de otro. Se compones de soleras, superiores e inferiores, montantes, aislación térmica y acústica, además de los revestimientos.
- **Cielos:** Sirve para generar una estructura liviana, bajo la techumbre o entrepiso, la que se utilizara para luego recibir el revestimiento de cielo." (MANUAL DE INSTALACION Metalcon, 2019)

La figura 28, muestra el diagrama estructural de una vivienda construida completamente en base al sistema Acero galvanizado, y sus partes.

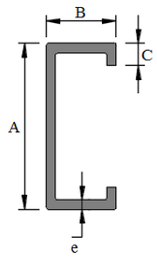


Fuente: MANUAL DE INSTALACION Metalcon, 2019

Figura 29: Diagrama estructural vivienda construida con acero galvanizado.

Los tipos de perfiles de Acero galvanizado están diseñados para cumplir diferentes funciones y se utilizan cada cual, según el tipo de estructura correspondientes, los diferentes elementos estructurales que se utilizan en los muros estructurales son los siguientes:

Perfil C o CA de acuerdo con la nomenclatura del acero galvanizado, se utiliza para los pies derechos de los muros estructurales, pero también es utilizado para las costaneras de la estructura de techumbre, y para algunos refuerzos en vanos y empalmes o conexiones.



Fuente: Dibujo hecho para explicación.

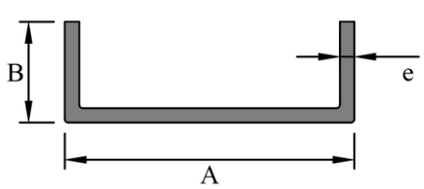
Figura 30: Vista transversal, Perfil C o CA

	Nomenclatura	Dimensiones				Peso P Kg/m	Largos (m)	Código Cintac
		A mm	B mm	C mm	e mm			
METALCON C 2x2x0,85	40CA085	40	38	8	0,85	0,83	6,00	36000011
METALCON C 2x3x0,85	60CA085	60	38	8	0,85	0,96	2,40	36000022
METALCON C 2x3x0,85	60CA085	60	38	8	0,85	0,96	4,00	36000023
METALCON C 2x3x0,85	60CA085	60	38	8	0,85	0,96	6,00	36000007
METALCON C 2x4x0,85 Perforado	90CA085	90	38	12	0,85	1,23	2,50	36000024
METALCON C 2x4x0,85 Perforado	90CA085	90	38	12	0,85	1,23	3,00	36000025
METALCON C 2x4x0,85 Perforado	90CA085	90	38	12	0,85	1,23	6,00	36000008
METALCON C 2x4x0,85	90CA085	90	38	12	0,85	1,23	4,00	36000026
METALCON C 2x4x0,85	90CA085	90	38	12	0,85	1,23	6,00	36000012
METALCON C 2x4x1,0 Perforado	90CA10	90	38	12	1,00	1,44	6,00	36000009
METALCON C 2x5x0,85 Perforado	100CA085	100	40	12	0,85	1,32	6,00	36000010
METALCON C 2x6x0,85	150CA085	150	40	12	0,85	1,64	6,00	36000013
METALCON C 2x6x1,0	150CA10	150	40	12	1,00	1,94	4,00	36000027
METALCON C 2x6x1,0	150CA10	150	40	12	1,00	1,94	6,00	36000014
METALCON C 2x6x1,6	150CA16	150	40	12	1,60	3,06	6,00	36000015
METALCON C 2x8x1,6	200CA16	200	40	12	1,60	3,67	6,00	36000109

Fuente: MANUAL DE INSTALACION Metalcon, 2019

Figura 31: Dimensiones del perfil C

Perfil U o C de acuerdo con la nomenclatura del acero galvanizado, se utiliza para las soleras supriores e inferiores de los muros estructurales, y son la estructura principal del contorno de vano.



Fuente: Dibujo hecho para explicación.

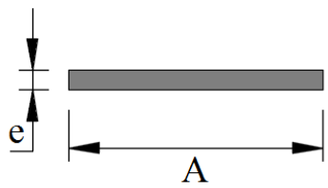
Figura 32: Vista transversal, Perfil U o C

	Nomenclatura	Dimensiones				Peso P Kg/m	Largos (m)	Código Cintac
		A mm	B mm	C mm	e mm			
METALCON U 2x2x0,85	42C085	42	25	-	0,85	0,58	6,00	36000016
METALCON U 2x3x0,85	62C085	62	25	-	0,85	0,72	3,00	36000028
METALCON U 2x3x0,85	62C085	62	25	-	0,85	0,72	6,00	36000017
METALCON U 2x4x0,85	92C085	92	30	-	0,85	1,00	3,00	36000029
METALCON U 2x4x0,85	92C085	92	30	-	0,85	1,00	6,00	36000018
METALCON U 2x4x1,0	92C10	92	30	-	1,00	1,17	6,00	36000110
METALCON U 2x5x0,85	103C085	103	30	-	0,85	1,06	6,00	36000111
METALCON U 2x5x1,0	103C10	103	30	-	1,00	1,25	6,00	36000112
METALCON U 2x6x1,0	153C10	153	30	-	1,00	1,65	6,00	36000019
METALCON U 2x6x1,0	203C10	203	30	-	1,00	2,04	6,00	36000113

Fuente: MANUAL DE INSTALACION Metalcon, 2019

Figura 33: Dimensiones del perfil U

Los tirantes, principalmente utilizados para arriostrar la estructura, y estabilizarla



Fuente: Dibujo hecho para explicación.

Figura 34: Vista transversal, Tirante

	Nomenclatura	Dimensiones				Peso P Kg/m	Largos (m)	Código Cintac
		A mm	B mm	C mm	e mm			
METALCON Tirante 50x0,85	50PL085	50	-	-	0,85	0,33	Rollos de 60m	36000347
METALCON Tirante 70x0,85	70PL085	70	-	-	0,85	0,46	Rollos de 60m	36000346
METALCON Tirante 100x0,85	100PL085	100	-	-	0,85	0,67	Rollos de 60m	36000098
METALCON Tirante 70x1,6	70PL16	70	-	-	1,60	0,88	Rollos de 60m	36000097
METALCON Tirante Gusset 1,60mm	286PL16	286	-	-	1,60	3,59	3,00	36000099

Fuente: MANUAL DE INSTALACION Metalcon, 2019

Figura 35: Dimensiones del Tirantes

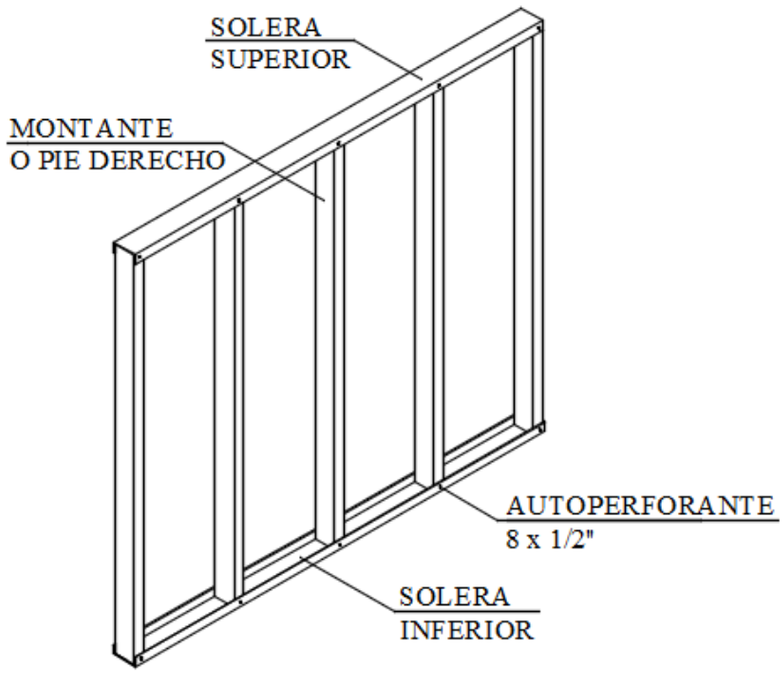
3.2.METODOLOGIA CONSTRUCTIVA ACERO GALVANIZADO

Los muros construidos con acero galvanizado son tabiquerías estructurales revestidas exterior e interiormente, cuya estructura se compones de diferentes elementos, a saber, soleras superiores e inferiores; montantes; arrostramientos; y anclajes.

Los montantes o también llamados pies derechos son los encargados de transmitir las cargas superiores hacia la fundación además recibir los revestimientos, estos corresponden a un Perfil Estructural tipo “C”. Son recibidos por las soleras superiores e inferiores, manteniéndolos en su posición original luego de ser instalados, de esta manera se logra

construir un muro continuo de Acero galvanizado. Los montanteas van dispuestas cada 30, 40 o 60 cm. según el diseño de la estructura.

Las soleras corresponden a Perfiles Estructurales “U”, y van instaladas de forma horizontal como solera superior e inferior también en vanos de puertas y ventanas recibiendo a los montantes en su interior fijados entre sí con tornillos auto perforantes cabeza de lenteja (ver figura 35).



Fuente: Dibujo hecho para explicación.

Figura 36: Tabique estructural con perfilería de Acero galvanizado

Todos los tabiques estructurales deben ser arriostrados, los arriostramientos son estructuras de sujeción y equilibrio en la construcción de edificaciones, son los encargados de absorber los esfuerzos laterales que actúan sobe el muro estructural, producto de sismos, vientos o cualquier otra carga externa a la que someta la estructura. Así evitan la deformación lateral que se produce en una estructura poligonal. Para los muros de estructura de Acero galvanizado se utilizan dos sistemas de arriostramientos: mediante pletinas de acero galvanizado y mediante placas estructurales.

La estabilización de muros mediante placa estructurales, consta de un revestimiento estructural con placas estructurales, tales como; placas de OSB de 7/16” (11.1 mm), o contrachapado estructural de 1/2” (12,7 mm), que se desponen sobre la estructura y se fijan a los montantes y soleras mediante tornillos autoperforante (cabeza de trompeta),

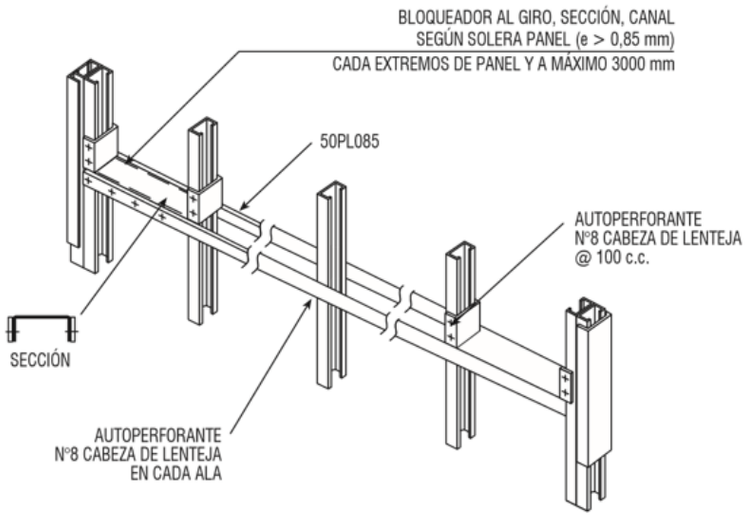
dispuestos cada 30 cm, y en los bordes de la placa cada 15 cm con un desfase de 5 cm respecto a la placa siguiente. Es importante no hace coincidir el término de la placa con el inicio de un vano.

Es importante que todos los muros posean estabilización, por eso, si el tabique estructura no llevara alguna placa estructural; por ejemplo: el revestimiento exterior es de fibrocemento y el revestimiento interior es de yeso cartón, se nota que ambos revestimientos son no estructurales, por lo tanto, en estos tipos de casos, siempre se debe aplicar un arrostramiento por medio de pletinas.

El arriostramiento por medio de pletinas consta de los siguientes elementos: pletinas estructurales de 70 mm o 100 mm de ancho con un espesor de 0,85 mm hacia arriba; pletina de Gusset de 200 x 200 x 0,85 que sirve de conexión; y un ángulo tensor de acero de 40 x 40 x 3 con una largo de 70 mm o 100 mm.

Primero se deben instalar los gusset en el muro, se instalan en los extremos por ambas caras del muro y se fijan con tronillos autoperforantes (cabeza de lenteja), luego e instalan los tirantes fijándolos en los gusset con tornillos autoperforantes (cabeza de lenteja), las pletinas o tirantes deben ser instaladas con un ángulo superior a 30° e inferior a 60° con respecto a la c solera inferior, para que cumplan adecuadamente su función. Por último, una vez levantado el panel, se procede a instalar el ángulo tensor, que permite proporcionar la tensión necesaria a la pletina, para que esta pueda absorber de manera óptima las cargas, evitando que se deforme la estructura.

Otro tipo de estabilización adicional que se le da a los muros estructurales son los estabilizadores laterales, estos impiden el giro de los montantes al reducir la longitud de pandeo producto de la altura del muro. esta consta de los siguientes elementos: un bloqueador de giro que es una sección de canal de las misma dimensiones que las soleras, que va instalada entre 2 montantes como si fuera un caneo de una tabiquería de madera, dicho bloqueo de giro se coloca en cada extremo de muro e intermedios, colocándolos como máximo cada 3,00 metros; y una pletina estructural de 50 mm de ancho o superior con un espesor de 0,85 mm o superior, dicha pletina va instalada a lo largo del muro y tensada, de esta forma se evitara el giro de los montantes. Cabe destacar que, si la estructura consta con un revestimiento estructural, tales como un terciado de madera o tablero de OSB, se podría prescindir de este tipo de estabilización del muro.

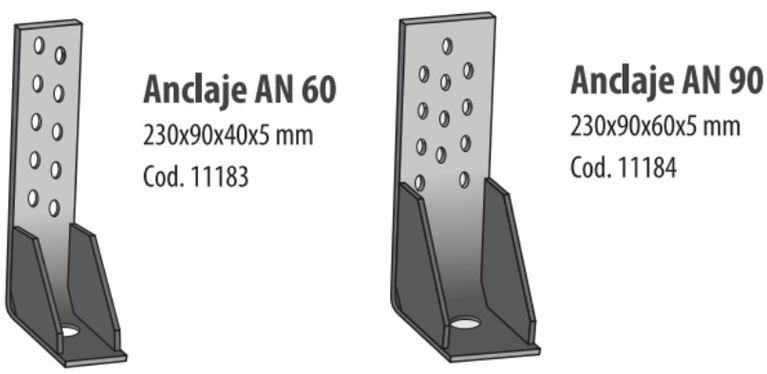


Fuente: Manual de Diseño Metalcon 2019

Figura 37: Vista Isométrica, diagramas estabilizadores laterales.

Cuando los tabiques estructurales están armados, se procede a levantar la estructura, y se fija la estructura a la losa, anclándola. Para anclar los tabiques al suelo se utilizan dos tipos de anclajes, a saber, anclaje de tracción y anclaje distribuido, cuyas funciones se complementan para conseguir tener una estructura firme y estable.

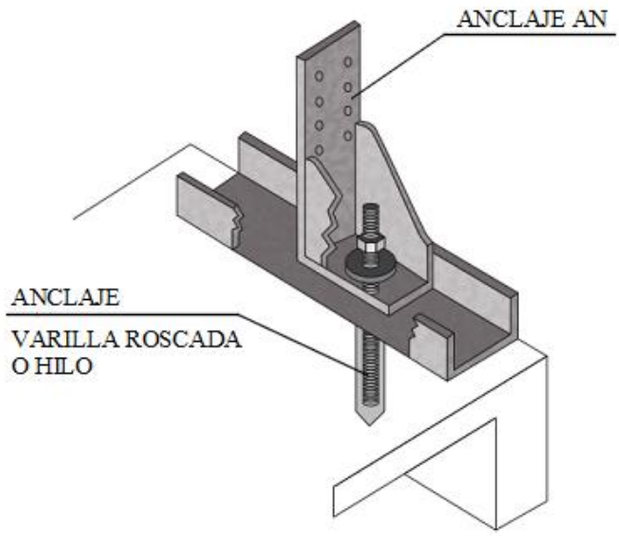
El anclaje de tracción (anclaje AN1), sirve para transmitir los esfuerzos de tracción a la fundación, se instala principalmente en los encuentros de muros y esquinas, vanos de puerta y ventana, y en los extremos de un arrostramiento con pletinas. Para realizar el anclaje se utiliza un elemento de acero de 5 mm de espesor en forma de L que contiene una perforación en la base (ver figura 37), además cuenta con una protección de galvanizado.



Fuente: MANUAL DE INSTALACION Metalcon, 2019

Figura 38: Tipos de anclajes AN

Primero se realiza una perforación en la fundación que traspase la solera inferior, dicha perforación debe ser de un diámetro mayor al hilo que se utilizara para el anclaje. Una vez hecha la perforación se limpia de todo material suelto que pueda quedar adentro y se instala el hilo con un adhesivo epóxico. Una vez fraguado el epóxico se instala el elemento de anclaje AN1 sobre el hilo y se coloca la tuerca con su respectiva golilla. Se debe dar el ajuste necesario a la tuerca para que el anclaje quede completamente fijado a la fundación. Finalmente se fija el anclaje al montante con tornillos autoperforantes (hexagonales), es por esto que el elemento trae una serie de perforaciones de diámetro menor, que es por donde pasarán los tornillos.



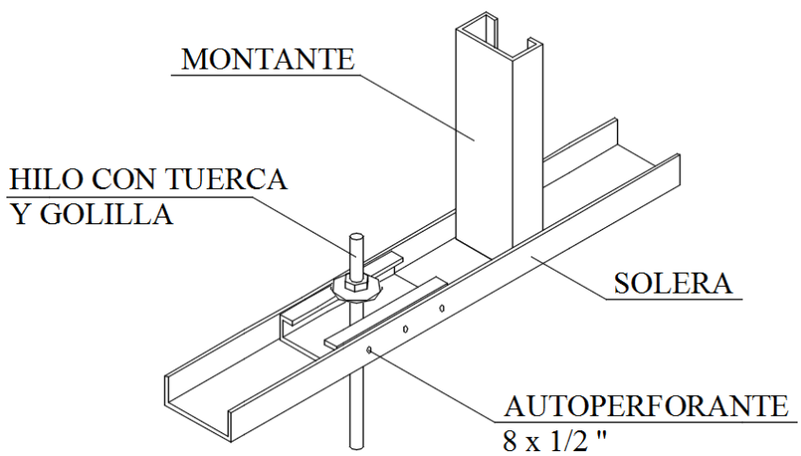
Fuente: MANUAL DE INSTALACION Metalcon, 2019

Figura 39: Isometría anclaje AN1

Fuente: Manual de Diseño Metalcon

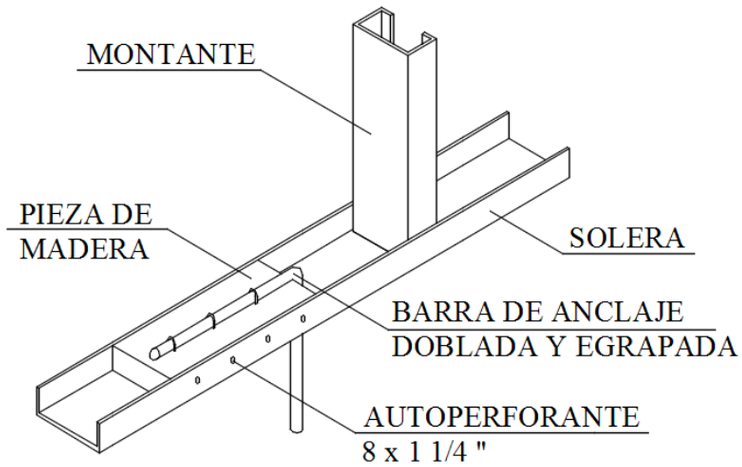
Figura 40: Imagen real Anclaje AN1

El anclaje distribuido (Anclaje AN2) soporta las cargas horizontales generadas por sismos o vientos evitado el desplazamiento del muro desde su eje. Existen dos tipos de anclaje distribuidos, ambos útiles. El primero consta de un trozo de perfil C de 10 cm anclado al suelo de manera similar al anclaje AN1 y fijado a la solera inferior con 3 tornillos autoperforantes (cabeza de lenteja 8 x 1/2") a cada lado, dispuestos continuamente por el muro cada 60 cm máximo de distancia entre perforaciones (ver figura 40). La segunda opción es utilizar una barra de anclaje de 8 mm de diámetro o mayor, realizar la perforación traspasando la solera e instalarla con adhesivo epóxico, finalmente doblar la barra y engraparla a una pieza de madera de unos 20 a 30 cm de largo, cuya pieza va fijada a la solera con 4 tornillos autoperforantes (cabeza plana 8 x 1” u 8 x 1 1/4"), igualmente las perforaciones deben ir a máximo 60 cm de distancia entre sí (ver figura 41).



Fuente: Dibujo hecho para explicación.

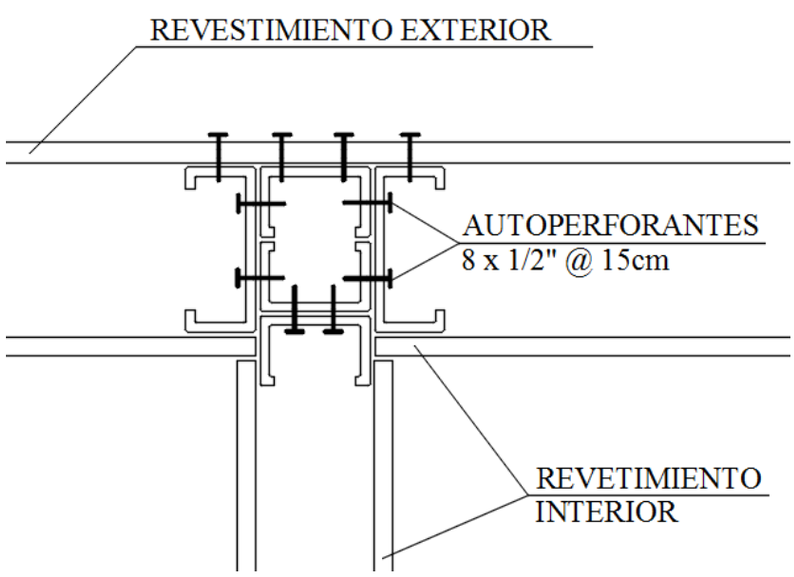
Figura 41: Isometría anclaje distribuido AN2.



Fuente: Dibujo hecho para explicación.

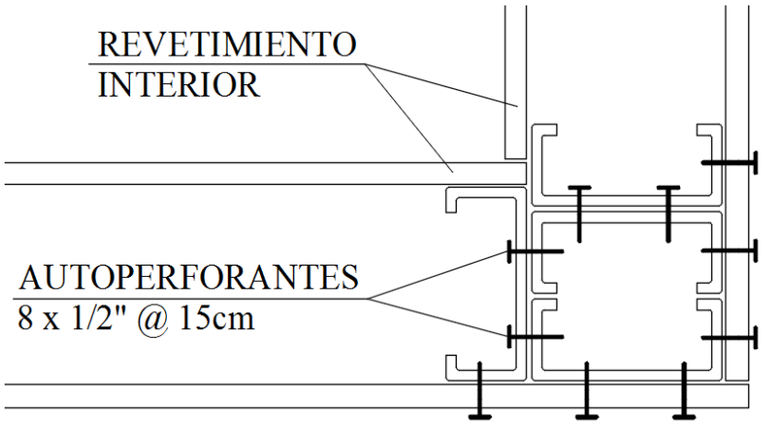
Figura 42: Isometría anclaje distribuido AN2 barra.

El correcto procedimiento para levantar la estructura es empezando por las esquinas, después de levantado la primera sección de un muro y anclada se instala el siguiente formado una esquina con lo cual se logra tener momentáneamente una estructura que pueda mantenerse en pie para proseguir con la instalación de la estructura. En las esquinas y encuentros T de los muros siempre van más elementos verticales, para una buena conexión entre los muros y además el conglomerado de pies derechos actúa en forma de pilar proveyendo un buen comportamiento estructural de los muros. En cuanto a los vanos, el perímetro del vano este hecho de perfiles U y conectados a los montantes utilizando secciones de perfiles C o CA (Ver figura 42 y 43).



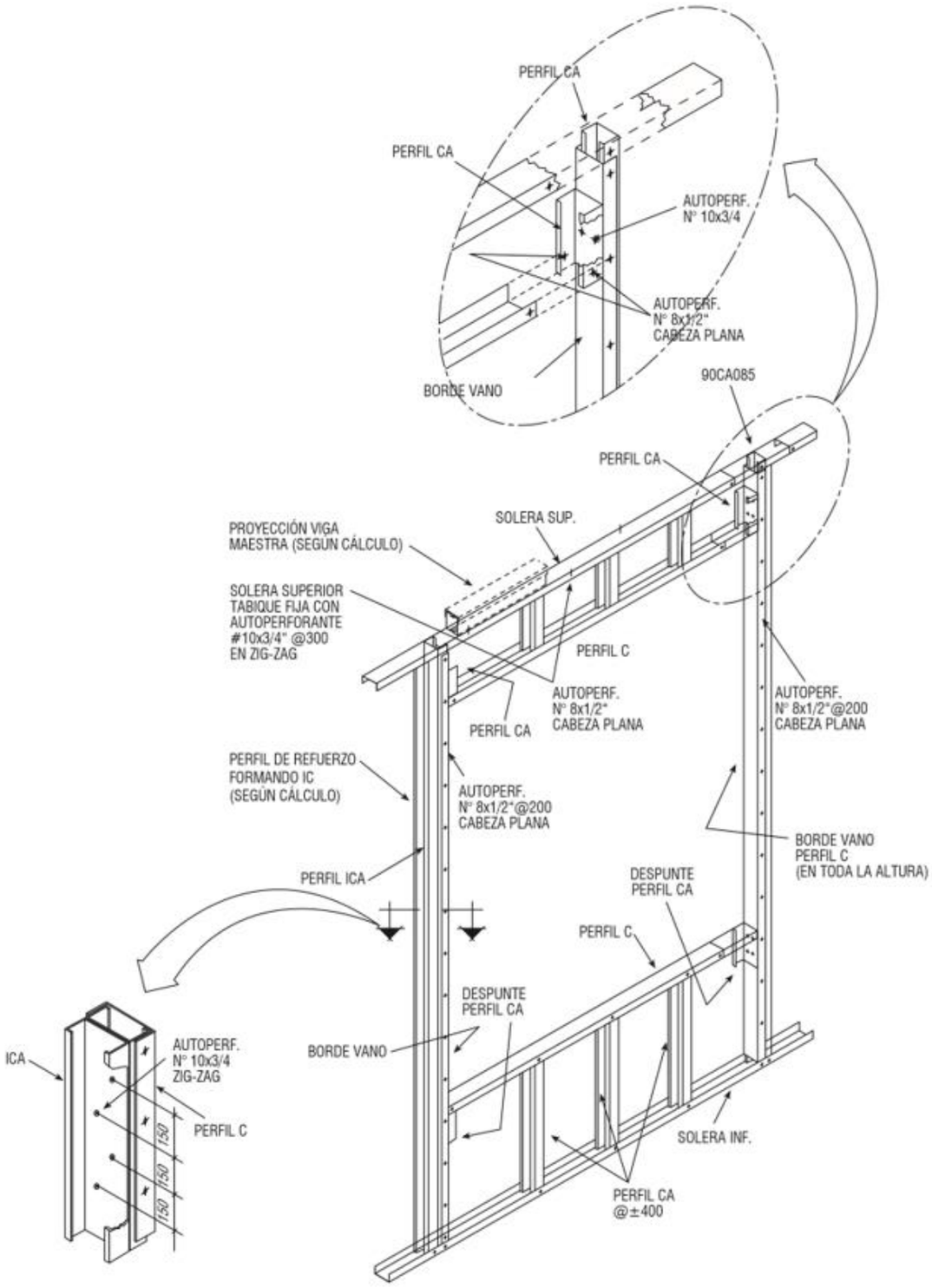
Fuente: Dibujo hecho para explicación.

Figura 43: Vista planta encuentro T de muros



Fuente: Dibujo hecho para explicación.

Figura 44: Vista planta unión esquinas de muros.

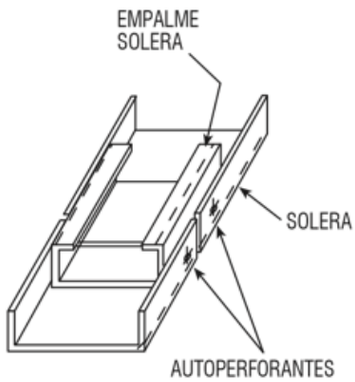


Fuente: Manual de Diseño Metalcon

Figura 45: Esquema típico de vanos.

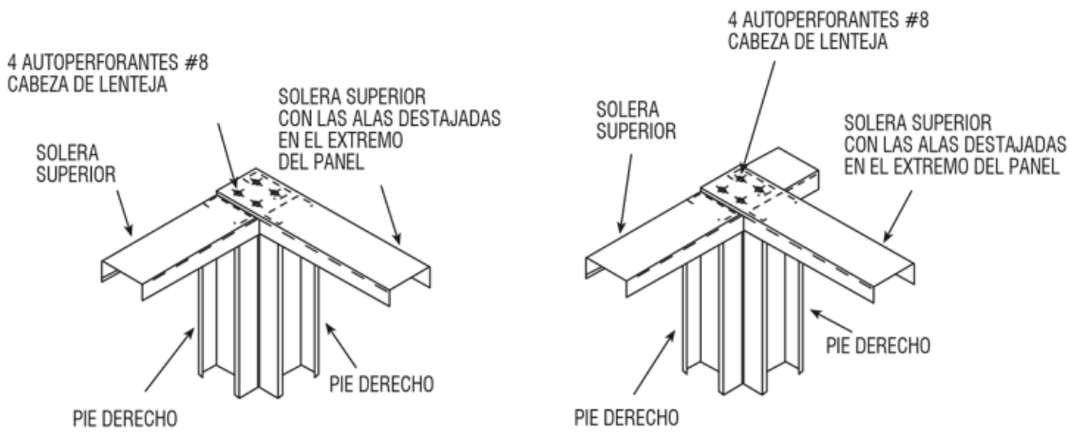
Es sabido que la longitud comercial del Acero galvanizado es máxima de 6 metros, por lo tanto, cualquier longitud de un muro superior a dicha requerirá un empalme, de soleras tanto inferiores como superiores, para realizar dicho empalme se utiliza una sección de unos 15 cm de perfil C, el mismo utilizado en los pies derechos y se sujeta con tornillos

autoperforantes uno a cada lado en ambas soleras. En los encuentros T y las esquinas, no es necesario un empalme de soleras inferiores como el anteriormente descrito pues ambas están sujetas al suelo mediante anclajes y se mantienen estables por sí mismas, basta con atornillar las soleras a las otras. Pero en el caso de las soleras superiores es diferente, se realiza un destajo de una de las soleras y queda sujeta a la otra con 4 tornillos autoperforantes.



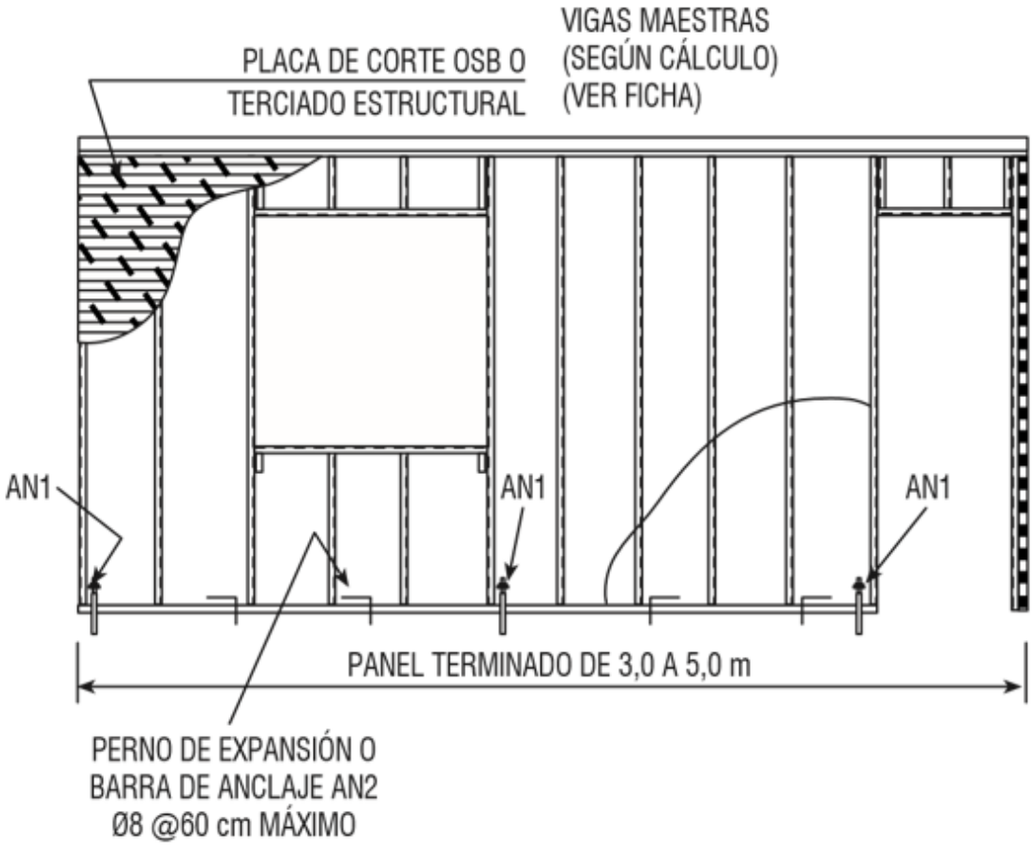
Fuente: Manual de Diseño Metalcon

Figura 46: Empalme Soleras Inferiores



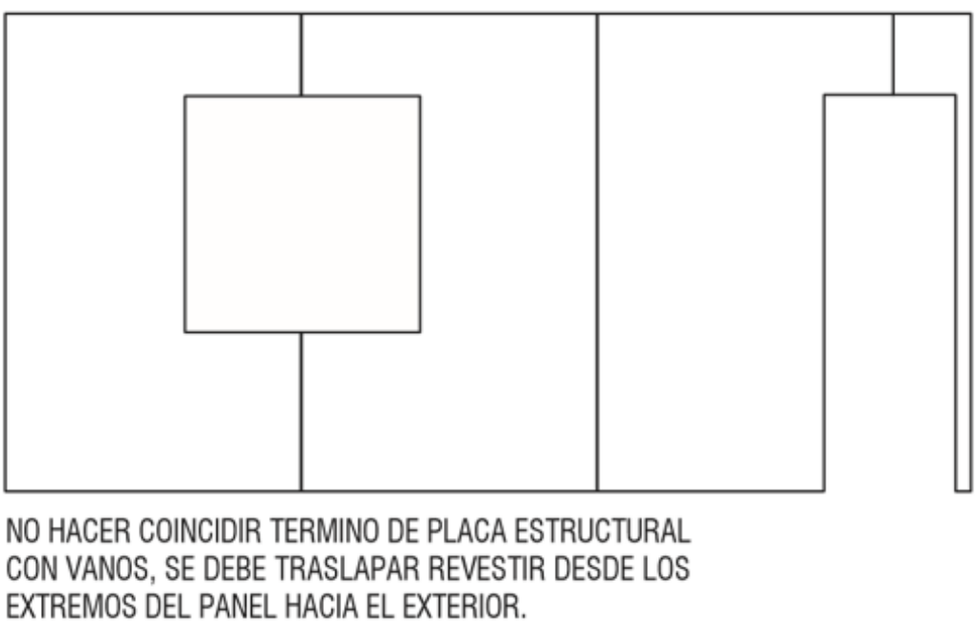
Fuente: Manual de Diseño Metalcon

Figura 47: Empalme Soleras Superiores



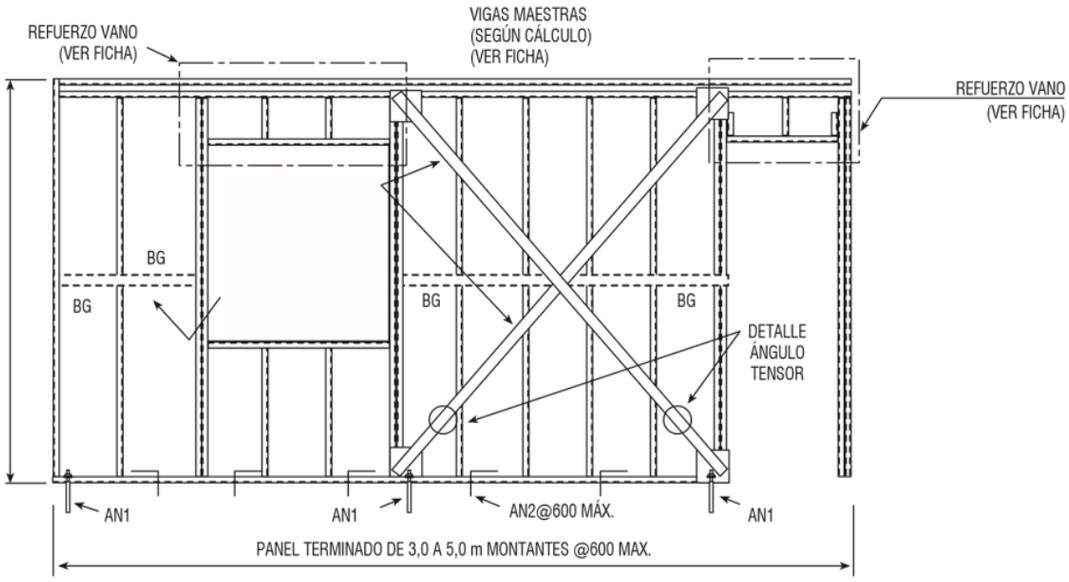
Fuente: Manual de Diseño Metalcon

Figura 48: Esquema típico de muro Revestido con contrachapado



Fuente: Manual de Diseño Metalcon

Figura 49: Esquema de revestimiento



Fuente: Manual de Diseño Metalcon

Figura 50: Esquema típico de muro estructural con estabilizados.

3.3. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Los muros o paneles estructurados en base a perfiles Metalcon, se conforman por pies derechos equidistantes, cuyos espaciamientos, en general, fluctuaran entre 300, 400 y 600 mm y por soleras superiores e inferiores. Dependiendo de la función que cumplan dentro de la edificación, éstos serán clasificados como paneles estructurales o paneles no estructurales (tabiques).

Para saber los paneles no estructurales se confeccionan a partir de las series 40 y/o 60 (38CA050 y 39C050; y 60CA050 y 61C050 respectivamente) como mínimo y son revestidos por ambas caras con placas de yeso cartón u otro material no estructural de terminación. El anclaje mínimo de los paneles no estructurales debe ser mediante un clavo Hilti con golilla, distanciados a no más de 600mm y su fijación superior debe ser tal de no inducirle cargas verticales, pero si asegurar su estabilidad lateral.

Ahora, enfocándose en los paneles estructurales, son aquellos paneles que tienen como función ser el soporte de la estructura completa, por lo tanto, esta sometidos a diferentes esfuerzos verticales y horizontales. Los paneles estructurales se pueden clasificar en dos tipos: los gravitacionales, que son aquellos que soportan cargas de peso propio (sobrecarga) y los paneles de corte, que además de soportar las cargas gravitacionales, deben proporcionar la estabilidad lateral a la edificación.

Los paneles gravitacionales, en general, son los dispuestos en el interior de la vivienda, mientras que los de corte corresponderán a los perimetrales, que además de soportar las cargas ya mencionadas, es decir, gravitaciones también deben soportar las cargas laterales debido a la acción de sismo o de viento, cargas que actúan en el plano del panel. Dependiendo de las solicitaciones a que es sometida la edificación y de su estructuración, en algunos casos particulares, se da la necesidad de disponer paneles de corte en su interior.

En general, en edificaciones de uno o dos pisos, estos paneles se construyen en base a las series 90, 100 (90CA085 y 92C085; y 100CA085 y 103C085 respectivamente) y en casos muy particulares, se utilizan las series mayores.

En el diseño de los paneles estructurales, se tienen las siguientes consideraciones básicas:

- Los pies derechos de paneles perimetrales son elementos sometidos a cargas de flexocomprensión, mientras que los paneles interiores sólo sufren el efecto de cargas axiales de compresión.
- Los pies derechos se consideran como elementos simplemente apoyados en sus extremos.
- El criterio de deformación lateral de los pies derechos de paneles perimetrales a adoptar es =L/240.

Estabilización de los pies derechos.

En los pies derechos de muros estructurales, por tratarse de elementos sometidos a cargas de flexocompresión o de compresión, se obtiene un mejor aprovechamiento de la sección al disminuir la longitud de pandeo en el eje débil de perfil, impidiendo el giro de sus alas. Esto se logra para el caso que no exista chapa estructural mediante la disposición de estabilizadores laterales, más bloqueadores al giro, los cuales han sido explicados anteriormente.

Cuando se dispone chapa estructural de madera, tales como placas de OSB de 7/16” (11,1 mm), o un contrachapado estructural de 1/2” (12,7 mm), esta estabiliza en forma continua (a 300 mm) los pie derechos al pandeo flexo-torsional y al pandeo flexional del eje débil.

A continuación, se proveen auxiliares de diseño para pie derechos de muros interiores y exteriores, de acuerdo con lo siguiente:

- **Cargas axiales admisibles para muros interiores.**

Se proveen capacidades admisibles máximas de pie derechos, de alturas totales entre 2 y 4 metros y diferentes longitudes de estabilización lateral (h/2, h/3 y 30 cm), para elementos concéntricamente comprimidos (ver figura 50).

- **Cargas axiales admisibles para muros exteriores.**

Se proveen capacidades admisibles máximas de pie derechos de alturas totales entre 2 y 4 metros, y pandeo lateral-torsional (volcamiento) cuya estabilidad lateral por pandeo flexional del eje débil y pandeo flexo-torsional es asegurada mediante la disposición de una chapa estructural vinculada a los pies derechos a 300 mm (máximo). En este caso, para muros exteriores (y como fue indicado), los pies derechos estarán sometidos a cargas verticales de compresión y a cargas laterales de viento que provocan flexión en torno a su eje fuerte.

Luego, y para una carga de viento uniformemente distribuida (presiones de viento 30 kgf/m^2, 55 kgf/m^2, 70 kgf/m^2 y 90 kgf/m^2) conocida, así como las alturas de las piezas, su espaciamiento centro a centro, condición de estabilización lateral y factor de forma (conservadoramente igual a 1,0), se obtiene la capacidad máxima de compresión del miembro a través de la ecuación de interacción correspondiente, de acuerdo con la especificación AISI para perfiles flexo-comprimidos (ver figuras 51, 52 y 53).

- **Altura Máxima Muros Exteriores.**

Se proporciona tabla con alturas máximas de pie derechos de muros en función de la carga lateral de viento aplicada y el espaciamiento entre pie derechos, de tal forma de no sobrepasar deformaciones = L/300 ó = L/500.

Altura [m]	Estabilizador	Perfiles		
		C 2x4x0,85p	C 2x4x1,0p	C 2x5x0,85p
2,00	NINGUNO	486	598	573
	@h/2	1125	1369	1209
	@h/3	1248	1555	1318
	@30cm	1306	1645	1368
2,20	NINGUNO	415	512	488
	@h/2	1054	1272	1152
	@h/3	1209	1495	1286
	@30cm	1283	1610	1349
2,40	NINGUNO	359	445	423
	@h/2	964	1165	1088
	@h/3	1165	1429	1250
	@30cm	1256	1567	1328
2,60	NINGUNO	315	392	372
	@h/2	867	1049	1012
	@h/3	1123	1357	1211
	@30cm	1226	1521	1304
2,80	NINGUNO	280	349	330
	@h/2	764	927	918
	@h/3	1062	1279	1176
	@30cm	1194	1471	1278
3,00	NINGUNO			
	@h/2	677	822	818
	@h/3	992	1195	1120
	@30cm	1158	1417	1249
3,20	NINGUNO			
	@h/2	605	735	731
	@h/3	918	1105	1073
	@30cm	1125	1359	1218
3,40	NINGUNO			
	@h/2	544	662	659
	@h/3	838	1009	1005
	@30cm	1079	1297	1185
3,60	NINGUNO			
	@h/2	493	600	597
	@h/3	757	912	932
	@30cm	1024	1231	1149
3,80	NINGUNO			
	@h/2	449	547	544
	@h/3	687	828	854
	@30cm	966	1160	1110
4,00	NINGUNO			
	@h/2	411	501	498
	@h/3	627	755	779
	@30cm	904	1086	1073

Fuente: Manual de Diseño Metalcon 2019

Figura 51: Tabla de Carga axial admisible a la compresión de acuerdo a estabilizadores en muros interiores.

Viento 79 (km/hr)				
Altura	S	Perfiles		
[m]	[cm]	C 2x4x0,85p	C 2x4x1,0p	C 2x5x0,85p
2,00	30	1306	1645	1368
	40	1306	1645	1368
	60	1306	1645	1368
2,20	30	1283	1610	1349
	40	1283	1610	1349
	60	1283	1610	1349
2,40	30	1256	1567	1328
	40	1256	1567	1328
	60	1256	1567	1328
2,60	30	1226	1521	1304
	40	1226	1521	1304
	60	1165	1512	1304
2,80	30	1194	1471	1278
	40	1194	1471	1278
	60	1048	1365	1228
3,00	30	1158	1417	1249
	40	1086	1387	1249
	60	931	1218	1119
3,20	30	1075	1351	1218
	40	982	1250	1171
	60	822	1077	1009
3,40	30	970	1220	1169
	40	875	1118	1071
	60	714	944	902
3,60	30	867	1096	1073
	40	772	994	972
	60	612	822	798
3,80	30	770	978	979
	40	677	878	876
	60	521	710	701
4,00	30	680	870	890
	40	590	772	787
	60	438	609	611

Notas:
- Viento 79 (km/hr) equivale a una presión básica de 30 (kgf/m²).
- S: Corresponde al espaciamiento entre pie derechos.
- Las longitudes máximas por deformaciones son obtenidas para vigas simplemente apoyadas y cargas uniformemente distribuidas.
- Se consideró un factor de forma = 1,0 para la aplicación de las cargas de viento.

Fuente: Manual de Diseño Metalcon 2019

Figura 52: Tabla de Carga axial admisible a la compresión de acuerdo a la separación de los montantes y el esfuerzo generado por el viento.

Viento 107 (km/hr)				
Altura	S	Perfiles		
[m]	[cm]	C 2x4x0,85p	C 2x4x1,0p	C 2x5x0,85p
2,00	30	1306	1645	1368
	40	1306	1645	1368
	60	1288	1645	1368
2,20	30	1283	1610	1349
	40	1283	1610	1349
	60	1158	1543	1314
2,40	30	1256	1567	1328
	40	1205	1567	1328
	60	1020	1373	1190
2,60	30	1197	1521	1304
	40	1083	1423	1256
	60	882	1203	1061
2,80	30	1083	1403	1261
	40	961	1269	1143
	60	748	1036	930
3,00	30	968	1258	1155
	40	840	1119	1027
	60	621	880	801
3,20	30	859	1117	1048
	40	728	976	912
	60	505	735	677
3,40	30	751	985	942
	40	620	843	802
	60	398	604	562
3,60	30	650	862	839
	40	520	722	697
	60	302	487	455
3,80	30	557	749	742
	40	430	613	599
	60	218	384	358
4,00	30	473	647	652
	40	350	515	510
	60		293	270

Notas:
- Viento 107 (km/hr) equivale a una presión básica de 55 (kgf/m²).
- S: Corresponde al espaciamiento entre pie derechos.
- Las longitudes máximas por deformaciones son obtenidas para vigas simplemente apoyadas y cargas uniformemente distribuidas.
- Se consideró un factor de forma = 1,0 para la aplicación de las cargas de viento.

Fuente: Manual de Diseño Metalcon 2019

Figura 53: Tabla de Carga axial admisible a la compresión de acuerdo a la separación de los montantes y el esfuerzo generado por el viento.

Viento 120 (km/hr)				
Altura	S	Perfiles		
[m]	[cm]	C 2x4x0,85p	C 2x4x1,0p	C 2x5x0,85p
2,00	30	1306	1645	1368
	40	1306	1645	1368
	60	1181	1584	1330
2,20	30	1283	1610	1349
	40	1230	1610	1349
	60	1034	1407	1198
2,40	30	1223	1567	1328
	40	1102	1462	1267
	60	883	1223	1058
2,60	30	1103	1445	1274
	40	970	1299	1147
	60	735	1042	915
2,80	30	982	1292	1163
	40	840	1138	1023
	60	595	870	774
3,00	30	862	1143	1049
	40	716	983	899
	60	465	710	637
3,20	30	751	1000	936
	40	602	839	779
	60	348	566	509
3,40	30	643	868	826
	40	494	707	666
	60	243	437	392
3,60	30	542	746	721
	40	396	588	559
	60		323	284
3,80	30	452	636	623
	40	309	482	462
	60		224	
4,00	30	371	537	534
	40	233	388	374

Notas:
- Viento 120 (km/hr) equivale a una presión básica de 70 (kgf/m²).
- S: Corresponde al espaciamiento entre pie derechos.
- Las longitudes máximas por deformaciones son obtenidas para vigas simplemente apoyadas y cargas uniformemente distribuidas.
- Se consideró un factor de forma = 1,0 para la aplicación de las cargas de viento.

Fuente: Manual de Diseño Metalcon 2019

Figura 54: Tabla de Carga axial admisible a la compresión de acuerdo a la separación de los montantes y el esfuerzo generado por el viento.

Viento	Nombre	S	Deformación admisible		
[kgf/m²]		[cm]	h/200	h/300	h/500
30					
	C 2x4x0,85p	30	5,63	4,92	4,15
		40	5,11	4,47	3,77
		60	4,47	3,90	3,29
	C 2x4x1,0p	30	5,92	5,17	4,36
		40	5,38	4,70	3,97
		60	4,70	4,11	3,46
	C 2x5x0,85p	30	6,18	5,40	4,55
		40	5,61	4,90	4,13
		60	4,90	4,28	3,61
55					
	C 2x4x0,85p	30	4,60	4,02	3,39
		40	4,18	3,65	3,08
		60	3,65	3,19	2,69
	C 2x4x1,0p	30	4,84	4,23	3,57
		40	4,40	3,84	3,24
		60	3,84	3,36	2,83
	C 2x5x0,85p	30	5,05	4,41	3,72
		40	4,59	4,01	3,38
		60	4,01	3,50	2,95
70					
	C 2x4x0,85p	30	4,24	3,71	3,13
		40	3,86	3,37	2,84
		60	3,37	2,94	2,48
	C 2x4x1,0p	30	4,47	3,90	3,29
		40	4,06	3,54	2,99
		60	3,54	3,10	2,61
	C 2x5x0,85p	30	4,66	4,07	3,43
		40	4,23	3,70	3,12
		60	3,70	3,23	2,72
90					
	C 2x4x0,85p	30	3,90	3,41	2,88
		40	3,55	3,10	2,61
		60	3,10	2,71	2,28
	C 2x4x1,0p	30	4,11	3,59	3,03
		40	3,73	3,26	2,75
		60	3,26	2,85	2,40
	C 2x5x0,85p	30	4,28	3,74	3,16
		40	3,89	3,40	2,87
		60	3,40	2,97	2,50

Fuente: Manual de Diseño Metalcon 2019

Figura 55: Altura máxima en muros exteriores de acuerdo al tipo de perfil, espaciamiento de los montantes, y la deformación admisible, ya sea h/200, h/300 o h/500.

3.4. EFICIENCIA ENERGETICA

El muro estructural de acero galvanizado se compone de los siguientes elementos: la estructura de acero galvanizado cuyos montantes son perfiles C 2 x 4 x 0,85 o según la nomenclatura del metalcon 90CA085, un revestimiento exterior de tablero estructural de OSB de 11,1 mm de espesor, un revestimiento interior de yeso cartón de 10 mm de espesor y lana de vidrio como aislante térmico de 80 mm de espesor.

Se podría decir que el muro es un elemento simple para el cálculo, salvo en las esquinas, las conexiones T con los muros interiores y las inicios y términos de vanos, pues debido a la forma en que se realizan las conexiones de los muros que favorece el comportamiento estructural de la estructura quedan espacios que no quedan con el elemento aislante (ver Plano 02061999, Plano de estructura acero galvanizado, Anexo 2: Metalcon.), a saber, lana de vidrio.

El muro debido al espesor de la lana mineral lleva una cámara de aire de 10 mm, que se debe tener en consideración a la hora de hacer al cálculo, pues el ancho de perfil de acero galvanizado es de 90 mm y el espesor de la lana de vidrio es de 80 mm. Ya que los materiales en contacto con la acamara de aire son corrientes, se puede clasificar en un caso general por lo que la emisividad de la cámara es de 0,82, entonces de acuerdo con lo que expone la tabla 4 la resistencia térmica otorgada por la cámara de aire es de 0,140 ($m^2 \cdot K$)/W. En el caso de los puentes térmicos que se generan en los espacios mencionados, la estructura solo consta de acero galvanizado y el revestimiento exterior, cabe destacar que esta sección debido a la forma de la estructura no lleva revestimiento interior (ver Plano 02061999, Plano de estructura metalcon, Anexo 2: Metalcon). Por lo que se forma una cámara de aire de 100 mm de ancho, por lo tanto de acuerdo con lo que expone la tabla 4 la resistencia térmica otorgada por la cámara de aire que se debe considerar en el cálculo es de 0,165 ($m^2 \cdot K$)/W.

3.4.1. CALCULOS DE TRANSMITANCIA TERMICA MURO ACERO GALVANIZADO

Antes de calcular la transmitancia térmica, la siguiente tabla muestra los elementos que conforman la envolvente y sus propiedades.

Tabla 17: Resistencia térmica individual componentes del muro.

Material	Conductividad Térmica (A)	Espesor (E)	Resistencia térmica (R=E/A)
Tablero OSB	0,13 (W/mK)	11,1 mm	0,085 (m²·K)/W
Lana de Vidrio	0,038 (W/mK)	80 mm	2,1053 (m²·K)/W
Revestimiento Interior Yeso Cartón	0,26 (W/mK)	10 mm	0,0384 (m²·K)/W

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Mayoritariamente el muro es aislado con lana de vidrio exceptuando los casos puntuales ya mencionados, por lo tanto, para el cálculo de la transmitancia térmica de esta sección mayoritaria de muro, se considera una capa de tablero de OSB de 11,1 mm de espesor, una capa de yeso cartón de 10 mm de espesor, 80 mm de lana de vidrio y una cámara de aire de 10 mm. La resistencia térmica total y la transmitancia térmica son las siguientes:

Rt = (0,085 (m²·K)/W + 2,1053 (m²·K)/W + 0,0384 (m²·K)/W + 0,17 (m²·K)/W + 0,140 (m²·K)/W)

Rt = 2,5387 (m²·K)/W

Y la transmitancia térmica $U = \frac{1}{Rt} \rightarrow U = \frac{1}{2{,}5387 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]} \rightarrow U = 0{,}3939 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

En las secciones donde se producen puentes térmicos, solo existen la capa de OSB y una cámara de aire entre ellas de 100 mm. Por la tanto el cálculo de resistencia térmica total y la transmitancia térmica es el siguiente:

Rt = (0,085 (m²·K)/W + 0,17 (m²·K)/W + 0,165 (m²·K)/W)

Rt = 0,42 (m²·K)/W

Y la transmitancia térmica $U = \frac{1}{Rt} \rightarrow U = \frac{1}{0{,}42 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]} \rightarrow U = 2{,}38 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

Tabla 18: Resumen de distribucion de vanos y puentes termicos por muro.

	Area Total Muro [m²]	Area Vanos [m²]	Area Puentes Termicos [m²]	Area Muro, Seccion Lana de Vidrio [m²]
Muro A	22,236	4,17	1,2000	16,8660
Muro B	17,356	2,25	0,3648	14,7412
Muro C	22,236	4,02	1,0176	17,1984
Muro D	17,356	1,21	0,5088	15,6372
Total	79,184	11,65	3,0912	64,4427
	79,183856 [m²]	11,65 [m²]	3,0912 [m²]	64,4427 [m²]

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Tabla 19: Resumen tipo de vano por muro.

	Area Vanos [m²]	Area Tipo de Vano [m²]		
		Ventana	Puerta Cocina	Puerta Principal
Muro A	4,17	2,77	1,4	-
Muro B	2,25	2,25	-	-
Muro C	4,02	2,42	-	1,6
Muro D	1,21	1,21	-	-

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Una vez obtenidos todos los datos necesarios para realizar el cálculo de la transmitancia térmica, se procede a realizar al cálculo. En las tablas Fa, Fb, Fc, Fd se muestra el resumen final por cada muro con los siguientes datos: el área del muro; el área de las diferentes secciones que lo componen, a saber, sección del muro que va con aislamiento de lana de vidrio, puentes térmicos y vanos diferenciando entre el tipo de este, ya sea ventana, puerta principal o puerta de terciado; y además la transmitancia térmica ponderada del muro (utilizando ecuación de la página hh). Finalmente, la tabla J expone el resumen final de los datos y la transmitancia térmica media de la envolvente completa.

Tabla 20: Resumen de datos muro A.

Muro A 22,235964 [m²]				
Tipo de sección del Muro	Area [m²]	Transmitancita termica [W/(m²·K)]	Transmitancia por Area [W/K]	Transmitancia termica Ponderada [W/(m²·K)]
Lana de Vidrio	16,866	0,394	6,644	1,361
Puentes Termicos	1,200	2,380	2,856	
Ventanas	2,770	5,800	16,066	
Puerta Cocina	1,400	3,350	4,690	
		Total = 30,256		

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Tabla 21: Resumen de datos muro B.

Muro B	17,356 [m²]			
Tipo de sección del Muro	Area [m²]	Transmitancita termica [W/(m²·K)]	Transmitancia por Area [W/K]	Transmitancia termica Ponderada [W/(m²·K)]
Lana de Vidrio	14,7412	0,394	5,807	1,136
Puentes Termicos	0,365	2,380	0,868	
Ventanas	2,250	5,800	13,050	
		Total = 19,725		

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Tabla 22: Resumen de datos muro C.

Muro C	22,235964 [m²]			
Tipo de sección del Muro	Area [m²]	Transmitancita termica [W/(m²·K)]	Transmitancia por Area [W/K]	Transmitancia termica Ponderada [W/(m²·K)]
Lana de Vidrio	17,198	0,394	6,774	1,210
Puentes Termicos	1,018	2,380	2,422	
Ventanas	2,420	5,800	14,036	
Puerta Principal	1,600	2,300	3,680	
		Total = 26,912		

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Tabla 23: Resumen de datos muro D.

Muro D	17,356 [m²]			
Tipo de sección del Muro	Area [m²]	Transmitancita termica [W/(m²·K)]	Transmitancia por Area [W/K]	Transmitancia termica Ponderada [W/(m²·K)]
Lana de Vidrio	15,637	0,394	6,159	0,829
Puentes Termicos	0,509	2,380	1,211	
Ventanas	1,210	5,800	7,018	
		Total = 14,388		

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Tabla 24: Resumen de datos de la Envolvente Completa.

Transmitancia termica Final de la		79,184 [m²]		
Muro	Area [m²]	Transmitancita termica [W/(m²·K)]	Transmitancia por Area [W/K]	Transmitancia termica Ponderada [W/(m²·K)]
Muro A	22,236	1,361	30,256	1,153
Muro B	17,356	1,136	19,725	
Muro C	22,236	1,210	26,912	
Muro D	17,356	0,829	14,388	
		Total = 91,281		

Fuente: Tabla hecha para cálculo de Transmitancia térmica.

Los cálculos arrojan que la transmitancia térmica ponderada de la presente envolvente térmica es de 1,153 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$.

Los resultados de transferencia de calor, de la envolvente están dentro de los parámetros requeridos por la Nch853 en la mayor parte de la zonas térmicas de chile, de acuerdo a la tabla 1 "Limites de transmitancia y resistencia térmica según zona geográfica", una envolvente de las características anteriormente descrita estaría dentro de los parámetros en las zonas 1,2,3,4, y 5 cuyas transmitancias térmicas máximas permitidas son respectivamente, 4,0 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 3,0 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 1,9 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 1,7 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 1,6 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$. Sin embargo, la misma envolvente no cumple con la transmitancia térmica máxima en las zonas 6 y 7 cuyas transmitancias térmicas son 1,1 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$ y 0,6 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$ respectivamente.

La gran parte de la quinta región pertenece la zona 2, por lo que no es problema llevar a cabo una construcción con características térmicas similares a la de esta envolvente en la región de Valparaíso.

Ahora bien, es interesante comparar los resultados con la figura 7"Propuesta Transmitancia térmica máxima de muros según zona geográfica", si bien la figura 7 no es la normativa vigente, pero propone una modificación a la normativa que rige desde 2007, hay razones suficientes para pensar que en un futuro no muy lejano la Norma chilena 853 sea actualizada, pues cada vez se le da más énfasis al cuidado del planeta.

De acuerdo a la figura 7, la envolvente térmica estudiada estaría dentro de los parámetros normativos en solamente la zona A cuya transmitancia térmica máxima permitida es 2,0 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$. En las demás zonas, a saber, las zonas B, C, D, E, F, G, I no cumpliría la envolvente con la transmitancia térmica máxima, las transmitancias de dichas zonas son respectivamente; 0,8 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 0,8 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 0,8 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 0,6 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 0,45 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 0,40 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$; 0,35 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$.

3.5. CUBICACIÓN Y PRESUPUESTO MURO DE METALCON

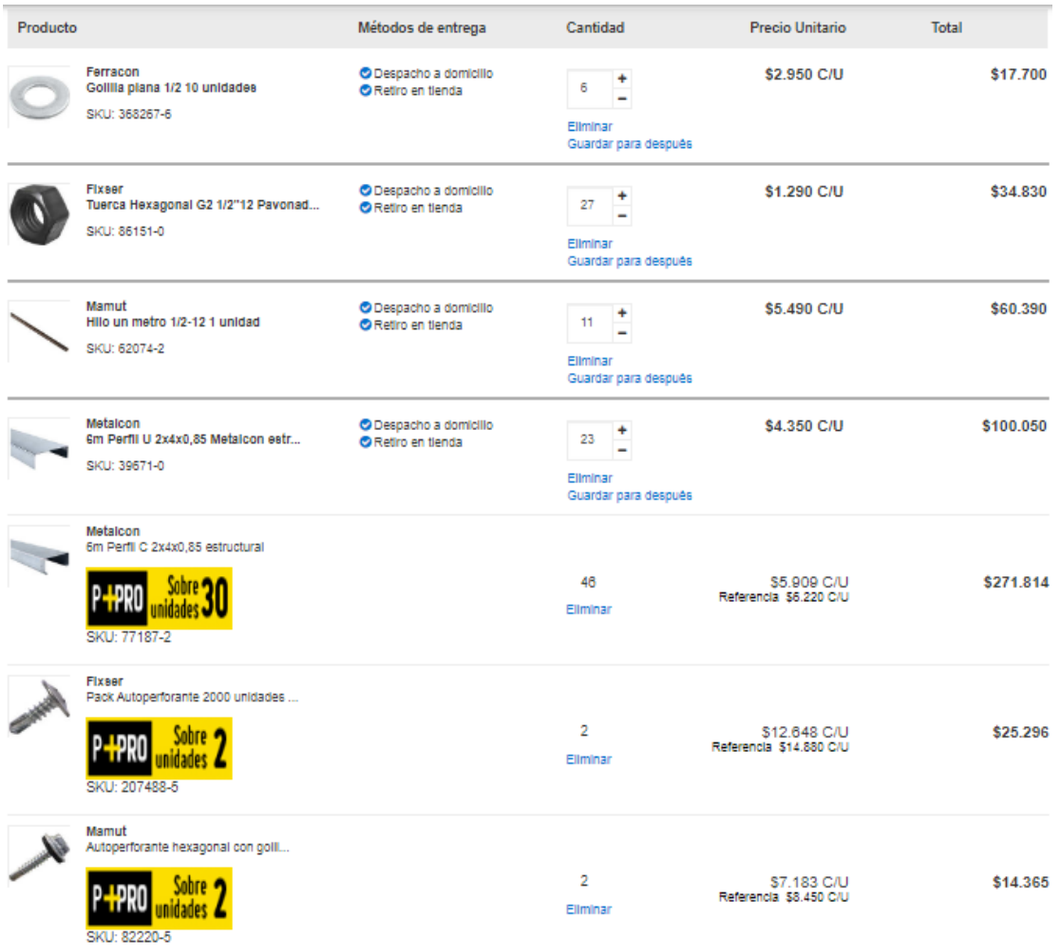
Para el cálculo de los materiales necesarios para la construcción de los muros perimetrales, de la vivienda típica, se consideran 32,448 metros lineales de muro (ver figura 6), además para el cálculo de perfilería de acero galvanizado se considerará el plano de estructura por elevación, que se encuentra en el Anexo 2, sección 7.2.3., los muros estructurales constan principalmente de tabiquería de acero galvanizado, revestido exteriormente con OSB e interiormente con yeso cartón. Los materiales y las cantidades que se necesitan son:

Para la estructura principal:

- 46 Perfiles 90CA085
- 23 Perfiles 92C085
- 13 Anclajes AN90 Codigo 11184 en CINTAC
- 11 Hilos de 1/2" de un metro, con 54 tuercas y golillas.
- 2310 Tornillos Autoperforantes 8 x 1/2 Cabeza de Lenteja
- 156 Autoperforantes 12 x 3/4" Hexagonal

Para el revestimiento y el aislamiento:

- 28 Planchas de OSB de 11,1 mm
- 28 Planchas de Yeso Carton de 10 mm
- 2170 Punta fina 6 x 1 1/4" Cabeza Trompeta para OSB
- 2170 Punta fina 6 x 1 1/4" Cabeza Trompeta para Yeso Carton
- 65,15 m² de Lana de Vidrio o Aislanglass



Producto	Métodos de entrega	Cantidad	Precio Unitario	Total
Ferracon Golilla plana 1/2 10 unidades SKU: 368267-6	Despacho a domicilio Retiro en tienda	6 Eliminar Guardar para después	$2.950 C/U	$17.700
Fixser Tuerca Hexagonal G2 1/2"12 Pavonad... SKU: 86151-0	Despacho a domicilio Retiro en tienda	27 Eliminar Guardar para después	$1.290 C/U	$34.830
Mamut Hilo un metro 1/2-12 1 unidad SKU: 62074-2	Despacho a domicilio Retiro en tienda	11 Eliminar Guardar para después	$5.490 C/U	$60.390
Metalcon 6m Perfil U 2x4x0,85 Metalcon estr... SKU: 39671-0	Despacho a domicilio Retiro en tienda	23 Eliminar Guardar para después	$4.350 C/U	$100.050
Metalcon 6m Perfil C 2x4x0,85 estructural P+PRO Sobre unidades 30 SKU: 77187-2		46 Eliminar	$5.909 C/U Referencia $6.220 C/U	$271.814
Fixser Pack Autoperforante 2000 unidades ... P+PRO Sobre unidades 2 SKU: 207488-5		2 Eliminar	$12.648 C/U Referencia $14.880 C/U	$25.296
Mamut Autoperforante hexagonal con golil... P+PRO Sobre unidades 2 SKU: 82220-5		2 Eliminar	$7.183 C/U Referencia $8.450 C/U	$14.365

Fuente: https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/cart/

Figura 56: Detalle compra materiales en Sodimac

Fuente: https://secure.sodimac.cl/sodimac-cl/checkout/delivery?_frr=delivery&_requestid=193148

Figura 57: Detalle compra materiales en Sodimac

Producto	Métodos de entrega	Cantidad	Precio Unitario	Total
Fixser Tornillo yesocartón CRS PFN 6 x 1 ... SKU: 134815-9	Despacho a domicilio Retiro en tienda	2 Eliminar Guardar para después	$19.090 C/U	$38.180
Aislanglass Lana de vidrio R188 libre 80mm 0,6... SKU: 60293-0	Despacho a domicilio Retiro en tienda	14 Eliminar Guardar para después	$34.990 C/U	$489.860
Knauf Plancha yesocartón 10 mm 1,2x2,4 m SKU: 409552-9	Despacho a domicilio Retiro en tienda	28 Eliminar Guardar para después	$4.750 Plancha	$133.000
Genérico Tablero OSB estructural 11 x 1220 ... SKU: 19987-7	Despacho a domicilio Retiro en tienda	28 Eliminar Guardar para después	$8.650 Plancha	$242.200

Fuente: https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/cart/

Figura 58: Detalle compra materiales en Sodimac

Fuente: https://secure.sodimac.cl/sodimac-cl/checkout/delivery?_frr=delivery&_requestid=196635

Figura 59: Resumen compra materiales en Sodimac

CINTAC
simplificamos tu mundo

COTIZACIÓN

Sala de ventas y Retiro :
Sepúlveda Leyton 3172, Santiago. De 08:30 a 17:00 hrs.
Chañarcillo 1201, Maipú. De 08:30 a 13:00 y 14:00 a 17:00 hrs.

RM1082

FECHA	28-10-2019
NOMB./RUT	MARCOS MARTINEZ 20.173.208-5
CONTACTO	marcox.com15@gmail.com
	9 65619770
COTIZA	RICARDO MOYANO | rmoyano@cintac.cl | 2 24849 404

- *Precios venta calzada*
- *Pago con fondos confirmados.*
- ***Valores validos en un plazo de 5 días.***
- *Productos sujetos a stock de bodega.*
- *Esta cotización NO asegura o confirma stock.*

Codigo	Producto	Cantidad	Kgs./m	Largo mt	Valor Unitario	Total
36000012	EST C 2X4X0,85 90X38X12X0,85 6000	46	1,23	6	$ 5.166	$ 237.636
36000018	EST U 2X4X0,85 92X30X0,85 6000	23	1,00	6	$ 4.200	$ 96.600
36000039	ANCLAJE AN 90 230X90X60X5,00	13	1,34	0	$ 2.721	$ 35.373

Sub-Total	$ 369.609
I.V.A.	$ 70.226
Total	**$ 439.835**

ORDENES DE COMPRAS Y TRANSFERENCIAS:
CINTAC S.A.I.C. RUT: 76.721.910-5
CAMINO MELIPILLA 8920, MAIPU
CTA.CTE. N°10586750 Banco BCI

Enviar comprobante de transferencia a : rmoyano@cintac.cl

KG. APROX.	**494,90**

Fuente: Presupuesto hecho por CINTAC.

Figura 60: Cotización de perfiles en CINTAC.

Finalmente, la tabla 25 muestra un resumen de los materiales y su precio según lugar de compra, y el valor total de los materiales a necesitar.

Tabla 25: Tabla comparativa materiales, Sodimac y CINTAC.

		Sodimac		CINTAC (IVA incluido)	
Material	Cantidad	Precio Unitario	Precio total	Precio Unitario	Precio total
Perfiles 90CA085	46	$ 5.909	$ 271.814	$ 6.148	$ 282.787
Perfiles 92C085	23	$ 4.350	$ 100.050	$ 4.998	$ 114.954
Anclaje AN90	13	$ -	$ -	$ 3.238	$ 42.094
Hilo 1/2" 1 metro	11	$ 5.490	$ 60.390	$ -	$ -
Tuerca 1/2"	54	$ 1.290	$ 34.830	$ -	$ -
Golilla Plana 1/2"	54	$ 2.950	$ 17.700	$ -	$ -
Autoperforante 8 x 1/2"	2310	$ 12.648	$ 25.926	$ -	$ -
Autoperforante 12 x 3/4"	156	$ 7.183	$ 14.365	$ -	$ -
Plancha OSB	28	$ 8.650	$ 242.200	$ -	$ -
Plancha Yeso Carton	28	$ 4.750	$ 133.000	$ -	$ -
Punta fina 6 x 1 1/4"	4340	$ 19.090	$ 38.180	$ -	$ -
Lana de Vidrio	14	$ 34.990	$ 489.860	$ -	$ -
		TOTAL =	$ 1.428.315	TOTAL =	$ 439.835

Fuente: Tabla hecha para cálculo de costos.

CONCLUSIONES

Frente a la información obtenida y los cálculos previamente expuestos, es posible hacer una comparación objetiva y numérica de ambos tipos de muros.

En cuanto a la forma de construcción de ambos tipos de muros, existen grandes diferencias, es fácil notar, que la metodología de construcción del panel SIP, es ampliamente más sencilla que la del acero galvanizado, y por lo tanto es más rápida, incluso la cubicación requerida, para una obra es más sencilla de realizar si se utilizara paneles SIP.

Ahora bien, en cuanto a los puntos destacados en este trabajo, a saber, el comportamiento estructural, la eficiencia energética, es decir, la transmitancia térmica y los precios de cada muro, se obtuvieron valores cuantitativos ordenables, por lo que son objetivamente comparables.

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Los resultados obtenidos arrojan que la resistencia a la compresión del panel SIP es de 856,606 Kgf (ver página 41), mientras que la resistencia ofrecida por la tabiquería de acero galvanizado varía entre 883 [Kgf] a 1256 [Kgf] dependiendo del viento y la separación de los montantes (ver figura 51, 52, y 53). Por lo tanto, resulta evidente que el acero galvanizado ofrece una mayor estabilidad y resistencia a la compresión.

EFICIENCIA ENERGÉTICA

De acuerdo con los cálculos realizados, los resultados obtenidos de la transmitancia térmica para ambos tipos de muro son, 1,115 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$ y 1,153 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$ para el muro con panel SIP y el muro con tabiquería estructural de acero galvanizado respectivamente. Es apreciable que el muro construido con panel SIP es más eficiente.

COMPARACIÓN DE COSTOS

Primero si tomamos los ítems de menor precio para el muro de panel SIP, obtendríamos lo siguiente: los materiales para el anclaje según Sodimac, cuyo valor es de $130.680; las piezas de madera de escuadría de 2 x 4”, los tornillos de 6 x 1 5/8” y las planchas de yeso cartón según Sodimac, que asciende a un valor de $308.571; y los paneles SIP con los tornillos Turbo screw de 14 x 5 1/2” según los valores de ProSIP, cuyo valor asciende a

$1.208.088. Por lo tanto, el presupuesto final sería de $1.647.339 el cual sería el menor valor posible de acuerdo con los datos que se poseen.

En cuanto al acero galvanizado, realizando el mismo procedimiento, casi todos los ítems corresponderían a los valores otorgados por Sodimac a excepción de el anclaje AN90, por lo tanto, el valor total ascendería a $1.470.409.

Finalmente, se obtiene que el acero galvanizado es más barato.

Ahora bien, si se realiza la comparación del presupuesto por metro cuadrado de construcción, se estaría obteniendo una comparativa más precisa. Por lo tanto, aunque la diferencia de superficie de la casa tipo para cada material es mínima es necesario hacer esta comparación.

La superficie total de cada casa, que se podrá calcular haciendo la suma de los 4 muro principales seria para el panel SIP y el acero galvanizado: 72,296 m² y 79,184 m² respectivamente. Por tanto, el costo por m² para cada material es $22.786 para el panel SIP y $18.569,5 para el acero.

Queda entonces más que confirmada la conclusión anterior, “el acero galvanizado es más barato”.

Cabe destacar que no se esta incluyendo ni la mano de obra ni la duración del proyecto, por tanto, los valores dados solo corresponden a los materiales.

CONCLUSIONES ADICIONALES

Finalmente, es posible observar las ventajas y desventajas de cada tipo de muro con respecto al otro. En cuanto a la interrogante de cual es mejor, eso dependerá de que se requiera priorizar a la hora de construir.

El acero galvanizado es indudablemente más barato, que el panel SIP, por lo tanto, si el objetivo es, abaratar costos a corto plazo, la mejor opción sería el acero galvanizado. Sin embargo, el panel SIP es mucho más eficiente, energéticamente, lo que entregaría un mayor confort a la vivienda, y ahorro a largo plazo.

Aunque, quizás el factor decisivo sea el, comportamiento estructural, es evidente que el acero galvanizado se comporta mejor a esfuerzos de compresión y flexo tracción. Por lo que al parecer la mejor opción sería el acero galvanizado, de todas maneras, ambos materiales son aptos para una vivienda, y la preferencia de uno u otro dependerá de quien construya.

BIBLIOGRAFIA

- Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica del MINVU.
- REGLAMENTACIÓN TÉRMICA EN LA EDIFICACIÓN “CONDENSACIÓN - VENTILACIÓN E INFILTRACIONES”
- Anexo C, Nch 853.
- http://www.arquitecturayenergia.cl/home/nch-853/
- http://www.forestal.uchile.cl/documentos/manual-1-pdf-565-mb_114518_0_5636.pdf
- Sodimac.cl
- http://vaspanel.cl/wp-content/uploads/2015/06/ENSAYO-COMPRESION-VASPANEL.pdf
- Manual de Instalación Metalcon, 2019
- Manual de Diseño Metalcon 2019

ANEXOS

ANEXO 1: PANEL SIP

MEMORIA DE CALCULO TRANSMITANCIA TÉRMICA

	Alto [mm]	Largo [mm]	Area [m²]
Muro A	2440	9124,2	22,263048
Muro B	2440	7124,2	17,383048
Muro C	2440	9124,2	22,263048
Muro D	2440	7124,2	17,383048

	Areas Pre Marcos Ventanas y Puertas						
	Ancho Exterior	Alto Exterior	Ancho Interior	Alto Interior	Area Exterior [mm²]	Area Interior [mm²]	Area Pre Marco [mm²]
Ventana Tipo	1292	1082	1210	1000	1397944	1210000	187944
Ventana Baño	782	582	700	500	455124	350000	105124
Ventana Living	1582	1582	1500	1500	2502724	2250000	252724
Puerta 80 x 200	882	2041	800	2000	1800162	1600000	200162
Puerta 70 x 200	782	2041	700	2000	1596062	1400000	196062

Muro A	Cantidad	Ancho [mm]	Largo [mm]	Area Total [mm²]
Pie Derechos	9*	41	2358	865897
Soleras	2	41	9124,2	748184,4
Ventana Tipo	2	-	-	375888
Ventana Baño	1	-	-	105124
Puerta 70 x 200	1	-	-	196062
			Total	2291155

(*) 2 pies derechos atraviesan ventanas, por lo tanto el largo de ellos seria 1082 [mm] menos, ademas 1 pie derecho atraviesa la puerta, por lo tanto el largo seria 2041 [mm] menos.

Muro C	Cantidad	Ancho [mm]	Largo [mm]	Area Total [mm²]
Pie Derechos	9*	41	2358	865897
Soleras	2	41	9124,2	748184,4
Ventana Tipo	2	-	-	375888
Puerta 80 x 200	1	-	-	200162
			Total	2190131

(*) 2 pies derechos atraviesan ventanas, por lo tanto el largo de ellos seria 1082 [mm] menos, ademas 1 pie derecho atraviesa la puerta, por lo tanto el largo seria 2041 [mm] menos.

Muro B	Cantidad	Ancho [mm]	Largo [mm]	Area Total [mm²]
Pie Derechos	7*	41	2358	675164
Soleras	2	41	7124,2	584184,4
Ventana Living Comedor	1	-	-	252724
			Total	1512072

(*) 1 Pie derecho atraviesa la ventana del Livin comedor por la tanto el largo de aquel pie derecho seria 1582 [mm] menos que el resto.

Muro D	Cantidad	Ancho [mm]	Largo [mm]	Area Total [mm²]
Pie Derechos	7*	41	2358	675664
Soleras	2	41	7124,2	584184,4
Ventana Tipo	1	-	-	187944
			Total	1447792

(*) 1 Pie derecho atraviesa la ventana del dormitorio 1 por la tanto el largo de aquel pie derecho seria 1082 [mm] menos que el resto.

MEMORIA DE CALCULO CUBICACIÓN

Muro Estructural	Unidad	Cantidad (C)	Largo del Panel (L) [m]	Cantidad de paneles Sip (N°P = C/L)	Pies Derechos 2,36 mts (PD = N°P + 1)
Muro A	ml	9,114	1,22	8	9
Muro B	ml	7,114		6	7
Muro C	ml	9,114		8	9
Muro D	ml	7,114		6	7
		32,456		28	29
					68,44 [m]

Solera Inferior	ml	30,956 (*)
Solera Superior	ml	32,456

(*) La Solera Inferior mide 150 centimetros menos que la Superior debido a los descuentos debido a los espacios de la puerta principal y la puerta de cocina

Vano	Unidad	Cantidad	Perimetro Premarco [m]	Largo Total
Ventana 121 x 100	uni	5	4,60	23
Ventana Baño 70 x 50	uni	1	2,57	2,57
Ventana 150 x 150	uni	1	6,17	6,17
Puerta 70 cm	uni	1	4,79	4,79
Puerta 80 cm	uni	1	4,89	4,89
			TOTAL	41,42

Largo Total Madera [m]
73,876

Cantidad Palos 2 x 4"
24

Tornillos Punta fina 6 x 1 5/8" en Solera Superior e Inferior				
Muro Estructural	Unidad	Cantidad (C)	Separacion de Tornillos (S) [cm]	Cantidad Tornillos *
Muro A	ml	9,114	15	284
Muro B	ml	7,114		224
Muro C	ml	9,114		284
Muro D	ml	7,114		224
				1016

(*) Se considera la cantidad para las soleras superior e inferior por ambas caras, la formula es:

$$Cant.Tornillos = 4 \cdot \left(\frac{C}{S} \cdot 100 + \frac{C}{1{,}22} + 2\right)$$

Tornillos Punta fina 6 x 1 5/8" en Pies Derechos				
Muro Estructural	Unidad	Cantidad (C)	Separacion de Tornillos (S) [cm]	Cantidad Tornillos *
Muro A	uni	9	15	544
Muro B	uni	7		408
Muro C	uni	9		544
Muro D	uni	7		408
				1904

(*) Se considera que cada pie derecho de union de paneles lleva dos columnas de tornillos, en cambio los pies derechos de esquinas solo una, cada muro tiene 2 pies derechos de esquinas y los demas de union de paneles, la formula es la siguiente:

$$Cant.Torillos = 4 \cdot (C - 1) \cdot \left(\frac{236}{S} + 1\right)$$

Tornillos Punta fina 6 x 1 5/8" en Pemarcos					
Vano	Unidad	Cantidad (C)	Perimetro Premarco (PP) [m]	Separacion de Tornillos (S) [cm]	Cantidad Tornillos *
Ventana 121 x 100	uni	5	4,60	15	350
Ventana Baño 70 x 50	uni	1	2,57		44
Ventana 150 x 150	uni	1	6,17		92
Puerta 70 cm	uni	1	4,79		72
Puerta 80 cm	uni	1	4,89		74
					632

(*) La formula es:

$$Cant.Torillos = 2 \cdot C \cdot \left[\left(\frac{PP}{S}\right) \cdot 100 + 4\right]$$

Total Tornillos Punta Fina 6 x 1 5/8"

3552

Tonillos Turbo Screw 5 1/2 Esquinas					
Canidad de esquinas	Unidad	Cantidad (C)	Largo (L) [m]	Separacion de Tornillos (S) [cm]	Cantidad Tornillos *
Esquinas	uni	4	2,44	30	40

(*) La formula es:

$$Cant.Torillos = C \cdot \left[\left(\frac{L}{S}\right) \cdot 100 + 1\right]$$

ANEXO 2: METALCON

MEMORIA DE CALCULO TRANSMITANCIA TERMICA

	Alto [mm]	Largo [mm]	Area [m²]
Muro A	2440	9113,1	22,235964
Muro B	2440	7113,1	17,355964
Muro C	2440	9113,1	22,235964
Muro D	2440	7113,1	17,355964

Tipo de Puente Termico	Ancho [m]	Altura [m]	Area [m²]
Esquina	0,076	2,40	0,1824
Inicio y Termino de Vano	0,038	2,40	0,0912
Encuentro T	0,060	2,40	0,144

Muro A

Tipo de Puente Termico	Cantidad	Area [m²]	Area Total [m²]
Esquina	1	0,1824	0,1824
Inicio y Termino de Vano	8	0,0912	0,7296
Encuentro T	2	0,1440	0,288
		Total =	1,2

Muro B

Tipo de Puente Termico	Cantidad	Area [m²]	Area Total [m²]
Esquina	1	0,1824	0,1824
Inicio y Termino de Vano	2	0,0912	0,1824
Encuentro T	0	0,1440	0
		Total =	0,3648

Muro C

Tipo de Puente Termico	Cantidad	Area [m²]	Area Total [m²]
Esquina	1	0,1824	0,1824
Inicio y Termino de Vano	6	0,0912	0,5472
Encuentro T	2	0,1440	0,288
		Total =	1,0176

Muro D

Tipo de Puente Termico	Cantidad	Area [m²]	Area Total [m²]
Esquina	1	0,1824	0,1824
Inicio y Termino de Vano	2	0,0912	0,1824
Encuentro T	1	0,1440	0,144
		Total =	0,5088

MEMORIA DE CALCULO CUBICACIÓN

Muro A

	Tipo de Perfil			Largo [m]	Cantidad	Largo Total [m]
Solera Inferior	92C085			8,41	1	8,41
Solera Superior	92C085			9,11	1	9,11
Montantes 2,40 [m]	90CA085			2,40	15	36,00
Montantes Inicio y Termino Vanos	Compuesto	Cant.	Largo [m]		8	
	90CA085	2	2,40			38,40
	92C085	1	2,28			18,24
Montantes entre Vanos	90CA085			0,40	6	2,40
	90CA085			1,00	4	4,00
	90CA085			1,50	1	1,50
Soleras Vanos	92C085			1,21	4	4,84
	92C085			0,70	3	2,10
Conexión soleras Horizontales Vanos	90CA085			0,10	14	1,40
Empalme Soleras Inferiores	90CA085			0,20	1	0,20
Anclaje AN2	90CA085			0,15	10	1,50
Anclaje AN1	L				5	

Tipo de Perfil	Longitud Total [m]
90CA085	85,4
92C085	42,7

Muro B

	Tipo de Perfil			Largo [m]	Cantidad	Largo Total [m]
Solera Inferior	92C085			7,11	1	7,11
Solera Superior	92C085			7,11	1	7,11
Montantes 2,40 [m]	90CA085			2,40	13	31,20
Montantes Inicio y Termino Vanos	Compuesto	Cant.	Largo [m]		2	
	90CA085	2	2,40			9,60
	92C085	1	2,28			4,56
Montantes entre Vanos	90CA085			0,30	3	0,90
	90CA085			0,60	3	1,80
Soleras Vanos	92C085			1,50	2	3,00
Conexión soleras Horizontales Vanos	90CA085			0,10	4	0,40
Empalme Soleras Inferiores	90CA085			0,20	1	0,20
Anclaje AN2	90CA085			0,15	10	1,50
Anclaje AN1	L				2	

Tipo de Perfil	Longitud Total [m]
90CA085	45,6
92C085	14,672

Muro C

	Tipo de Perfil			Largo [m]	Cantidad	Largo Total [m]
Solera Inferior	92C085			8,31	1	8,31
Solera Superior	92C085			9,11	1	9,11
Montantes 2,40 [m]	90CA085			2,40	14	33,60
Montantes Inicio y Termino Vanos	Compuesto	Cant.	Largo [m]		6	
	90CA085	2	2,40			38,40
	92C085	1	2,28			18,24
Montantes entre Vanos	90CA085			0,40	5	2,00
	90CA085			1,00	4	4,00
Soleras Vanos	92C085			1,21	4	4,84
	92C085			0,80	1	0,80
Conexión soleras Horizontales Vanos	90CA085			0,10	10	1,00
Empalme Soleras Inferiores	90CA085			0,20	1	0,20
Anclaje AN2	90CA085			0,15	11	1,65
Anclaje AN1	L				4	

Tipo de Perfil	Longitud Total [m]
90CA085	80,85
92C085	41,3

Muro D

	Tipo de Perfil			Largo [m]	Cantidad	Largo Total [m]
Solera Inferior	92C085			7,11	1	7,11
Solera Superior	92C085			7,11	1	7,11
Montantes 2,40 [m]	90CA085			2,40	13	31,20
Montantes Inicio y Termino Vanos	Compuesto	Cant.	Largo [m]		2	
	90CA085	2	2,40			9,60
	92C085	1	2,28			4,56
Montantes entre Vanos	90CA085			0,40	2	0,80
	90CA085			1,00	2	2,00
Soleras Vanos	92C085			1,21	2	2,42
Conexión soleras Horizontales Vanos	90CA085			0,10	4	0,40
Empalme Soleras Inferiores	90CA085			0,20	1	0,20
Anclaje AN2	90CA085			0,15	10	1,50
Anclaje AN1	L				2	

Tipo de Perfil	Longitud Total [m]
90CA085	45,7
92C085	21,204

PLANO ESTRUCTURAL METALCON