



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA MADERA

**BIENESTAR HABITACIONAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE
VIVIENDAS SOCIALES INDUSTRIALIZADAS ESTRUCTURADAS
CON MADERA DE PINO RADIATA**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero de la Madera

MARCELO N. GONZÁLEZ RETAMAL

Profesor Guía: J. Tomás Karsulovic Carrasco
Ingeniero Civil Mecánico, UTE
Ingeniero de la Escuela Superior de la Madera, Francia

Santiago, Chile

2008

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA MADERA

**BIENESTAR HABITACIONAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE
VIVIENDAS SOCIALES INDUSTRIALIZADAS ESTRUCTURADAS
CON MADERA DE PINO RADIATA**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero de la Madera

MARCELO N. GONZÁLEZ RETAMAL

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. J. Tomás Karsulovic Carrasco	7,0
Prof. Consejero Sr. Gabriel Rodríguez Jaque	6,4
Prof. Consejero Sr. Alejandro Bozo González	7,0

A mi familia

*Mis padres y mamita^ψ
Magdalena, Pedro y Ana Delia*

*Mis hermanos
Ignacio, Andrea y Pablo*

Todas las cosas que he logrado en mi vida han sido gracias al amor, fe y esfuerzo que aprendí dentro de mi hogar, y agradezco a mi Padre Celestial por ello. Es por esta razón que comparto la siguiente cita:

*“Hacemos un llamado a los ciudadanos responsables y a los representantes de los gobiernos de todo el mundo a fin de que ayuden a promover medidas destinadas a fortalecer la familia y mantenerla como base fundamental de la sociedad”
(Gordon B. Hinckley)*

^ψ Mamita ≡ Abuelita

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a mi familia que son el apoyo más grande que he tenido en mi vida y son las personas a quienes más amo; y en especial a mi madre, Magdalena, ya que los sacrificios que ella ha hecho por largo tiempo son la causa fundamental de que mis hermanos y yo hayamos tenido la oportunidad de estudiar en la Universidad, y eso es algo que nunca olvidaré. Además agradezco a mi novia Narriman, el amor de mi vida, por su compañía y apoyo; lo que hizo más feliz mi estadía en la Universidad. También a mis amigos, que siempre estuvieron apoyándome y animándome para poder alcanzar mis metas personales.

Agradezco al Profesor Aldo Cisternas que colaboró con este trabajo de principio a fin, ayudándome a elaborar el proyecto de memoria y dedicando tiempo valioso en correcciones y observaciones sobre el trabajo realizado. Además por la excelente calidad docente y humana que posee.

Al profesor Gabriel Rodríguez, ya que no hay dudas de que este estudio tuvo su génesis en el curso de Física de la Construcción que dicta en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile y que tuve la oportunidad de tomar. Además por el valioso conocimiento y experiencia que compartió conmigo, dándome indicaciones que fueron fundamentales para la realización de esta memoria.

Al Profesor Tomás Karsulovic por el apoyo que me brindó durante el tiempo de realización de la memoria, orientándome, aconsejándome y dándome indicaciones para poder terminar de buena manera, pero por sobre todo por su gran calidad como persona.

Al profesor Alejandro Bozo que siempre estuvo dispuesto a escuchar y a dedicarme tiempo ante cualquier consulta que tuve durante todo mi tiempo como estudiante en el Departamento.

Quisiera agradecer además a Don Emilio Moreno, Ingeniero de Fundación Chile, por la valiosa ayuda que me dio al compartir conmigo tiempo, materiales, conocimiento e indicaciones que fueron de excelente ayuda para la orientación que se le dio a este estudio; destacando además la buenísima disposición que tuvo para ayudarme y su calidad humana.

También quisiera mencionar a Don Rodrigo Pinto, Gerente de Tecno Truss S. A., por su siempre buena disposición para recibirme en su empresa y poder obtener la información que necesitaba sobre las viviendas sociales que trata esta memoria.

A Don Carlos Contador, Arquitecto del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que compartió conmigo su experiencia sobre el uso de la madera en la construcción de viviendas.

Y finalmente al Centro de Investigación Social de la Fundación Un Techo Para Chile, que permitió que este trabajo forme parte de las tesis que guían para levantar datos relevantes, que sirven como base para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas que viven en campamentos y que necesitan una vivienda y espacios dignos para vivir.

RESUMEN

Esta memoria evaluó el bienestar habitacional y eficiencia energética de un conjunto de viviendas sociales construidas el año 2003 en la comuna de Buín, Región Metropolitana. Estas viviendas fueron construidas utilizando un sistema de construcción modular industrializado (SCMI), siendo el primer proyecto de su tipo en nuestro país. El bienestar habitacional que entrega este tipo de vivienda después de cuatro años de residencia y la eficiencia energética en comparación con una vivienda social de albañilería de ladrillo fueron los puntos centrales de este estudio.

El bienestar habitacional se evaluó a través de la percepción de los moradores, a través de la aplicación de una encuesta en una muestra aleatoria del 20% de las viviendas, donde los jefes de hogar encuestados manifestaron sus reacciones frente a un conjunto de preguntas utilizando un escalamiento tipo Likert. Se comparó la eficiencia energética de la vivienda social industrializada de madera con una vivienda alternativa de ladrillo de similares características, mediante cálculos térmicos basados en la normativa nacional existente, y ampliando el análisis a diferentes localidades del país.

Por medio de la encuesta de percepción se obtuvo que el factor térmico de las viviendas sociales SCMI fue evaluado como regular, la iluminación natural fue considerada buena, y la aislación acústica deficiente según los jefes de hogar; además la seguridad frente al fuego y termitas fueron consideradas como deficientes, mientras que el comportamiento de las viviendas sociales frente a la lluvia y a sismos fueron bien evaluados. Una adecuada terminación del segundo piso de la vivienda industrializada de madera mejora considerablemente el comportamiento térmico, aumenta la resistencia al fuego dando cumplimiento a los requerimientos exigidos por la normativa nacional, y mejora la aislación acústica frente a ruidos externos. Ninguna de las viviendas encuestadas evidenció ataques de termitas después de cuatro años de su construcción y las estrategias de prevención son consideradas como suficientes. Finalmente las familias manifiestan que sus viviendas sociales SCMI son de buena calidad, y se sienten satisfechas con ellas.

La vivienda social SCMI con la condición cuasi habitable del segundo piso presenta la misma cantidad de pérdidas térmicas que una vivienda de ladrillo, sin embargo al realizar una terminación adecuada presenta un ahorro energético del 30% respecto a la alternativa de ladrillo. Las principales diferencias de pérdidas térmicas entre la vivienda industrializada de madera y la de ladrillo se producen a través de los muros perimetrales. El riesgo de condensación de agua es menor en la vivienda social SCMI terminada. La terminación del segundo piso por parte de las familias que viven en el conjunto habitacional de Buín se convierte en una inversión y no en un costo, ya que el dinero requerido para la compra de materiales y mano de obra necesaria se puede recuperar en poco más de cuatro años; además se generan externalidades positivas que favorecen la salud de los habitantes. La vivienda social SCMI cumple con la reglamentación térmica actual en las siete zonas térmicas del país, mientras que la alternativa de ladrillo sólo cumple con la exigencia en dos zonas térmicas. La vivienda social SCMI con el mínimo de material aislante requerido para cada zona térmica presenta ahorros de gasto energético que varían entre 16% y 37% respecto a la vivienda de ladrillo.

PALABRAS CLAVES

- Viviendas sociales
- Construcción en madera
- Habitabilidad
- Comportamiento térmico
- Consumo de energía.

ABSTRACT

This work evaluates the habitability and energy efficiency of a group of wood-framed social houses built in the year 2003 in the county of Buín, Metropolitan Region. These houses were constructed using a wood industrialized modular construction system (SCMI), being the first project of their type in our country. The habitability of this type of houses after four years of occupancy and the energy efficiency in comparison with a masonry-based social house are the central points of this study.

The habitability is evaluated by the perception of the owners, through the application of a survey in a random sample of 20% of the houses, where the owners show their reactions to a set of questions using a likert-type scale. The energy efficiency of the industrialized social wooden house is compared with an alternative masonry house of similar characteristic, using thermal calculations based on national standards, and extending the analysis to different geographical zones of the country.

From the perception survey, it is obtained that the thermal factor of wooden social houses SCMI is evaluated as regular, the natural illumination is considered good, and the acoustical isolation is poor according to the owners. In addition, security against fire and termites are considered deficient, whereas the behaviour to rain and earthquakes is well evaluated. A suitable completion of the second floor of the industrialized wooden house improves the thermal behaviour considerably, it increases the fire resistance fulfilling national fire standard, and improves the acoustical isolation to external noises. None of the surveyed houses present attacks from termites after four years since their construction, and strategies of prevention are considered sufficient. Finally, families show that their wooden social houses SCMI have good quality, and they feel satisfied with them.

Social house SCMI with the non-complete-finished second floor shows the same amount of thermal losses that a masonry house. Nevertheless, when the second floor is completed, an energy saving of 30% respect to the masonry house is obtained. The main differences in thermal losses between the industrialized wooden house and the masonry house, take place through the perimetral walls. The risk of water condensation is smaller in the finished SCMI social house. The completion of the second floor becomes an investment and not a cost, since the money required for the purchase of materials and manpower, can be recovered in slightly more than four years. In addition, positive externalities that favour health of the inhabitants are generated. Wooden social house SCMI fulfills thermal requirements in the seven thermal zones of the country, whereas the masonry alternative only fulfills requirements in two thermal zones. Wooden social house SCMI with the minimum of required insulating material for each thermal zone, shows energy cost savings that vary between 16% and 37% with respect to the masonry house.

KEY WORDS

- Social houses
- Wood Construction
- Habitability
- Thermal behaviour
- Consumption of energy.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
2.1. Materiales	5
2.1.1 Plano de loteo de la sexta etapa de la Población Bajos del Matte	5
2.1.2 Planos de planta y elevaciones de las viviendas sociales construidas con el SCMI	5
2.1.3 Especificaciones técnicas de las viviendas construidas con el SCMI	9
2.2. Métodos	12
2.2.1. Evaluación del bienestar habitacional.....	12
2.2.1.1. Confección del instrumento de medición.....	12
2.2.1.2 Selección de la muestra para el estudio y recolección de datos.....	13
2.2.1.3. Análisis de los datos.....	15
2.2.2. Evaluación térmica y energética de las viviendas	16
2.2.2.1 Cálculo de resistencias térmicas totales y transmitancias térmicas	16
2.2.2.2 Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas y flujos térmicos	20
2.2.2.3 Cálculo del gasto energético debido a calefacción	22
2.2.2.4 Comparación del gasto energético debido a calefacción	23
2.2.2.5 Comportamiento higrotérmico	26
2.2.2.6 Consideraciones económicas basadas en el comportamiento térmico.....	28
2.2.2.7 Comportamiento térmico y energético en diferentes localidades de Chile...	30
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
3.1. Evaluación del bienestar habitacional de las viviendas.....	33
3.1.1. Factor térmico	35
3.1.2 Factor iluminación natural	42
3.1.3. Factor acústico	44
3.1.4 Factor seguridad de la edificación	51
3.1.4.1 Seguridad de la vivienda frente al fuego.....	51
3.1.4.2 Seguridad de la vivienda frente a un sismo.....	55

3.1.4.3 Seguridad de la vivienda frente a la lluvia	56
3.1.4.4 Seguridad de la vivienda frente a las termitas.....	58
3.1.5 Nivel de satisfacción.....	61
3.2. Eficiencia energética de los tipos de vivienda en estudio	65
3.2.1 Comportamiento térmico de los tipos de vivienda en estudio.....	65
3.2.2 Gasto energético debido a calefacción obtenido para los tipos de vivienda en estudio.....	72
3.2.3 Riesgo de condensación.....	75
3.2.4 Consideraciones económicas	78
3.2.5 Comportamiento térmico y energético en diferentes localidades de Chile	82
4. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....	86
5. BIBLIOGRAFÍA	89
ANEXO I: MEMORIA DESCRIPTIVA SISTEMA CONSTRUCTIVO MODULAR INDUSTRIALIZADO DISEÑADO POR FUNDACIÓN CHILE.....	93
ANEXO II: PLANO DE LOTEO CONJUNTO DE VIVIENDAS SOCIALES SCMI, SEXTA ETAPA POBLACIÓN BAJOS DEL MATTE, COMUNA DE BUÍN	100
ANEXO III: ARTÍCULO 4.1.10 DE LA ORDENANZA DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES	102
ANEXO IV: DIEZ REGLAS DE HAMARTHY DE RESISTENCIA AL FUEGO.....	111
APÉNDICE I: ENCUESTA DE PERCEPCIÓN SOBRE BIENESTAR HABITACIONAL	117
APÉNDICE II: ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA DE PERCEPCIÓN SOBRE BIENESTAR HABITACIONAL.....	120
APÉNDICE III: DETALLE CÁLCULO DE RESISTENCIA AL FUEGO SEGÚN METODOLOGÍA CAM	122
APÉNDICE IV: DETALLE CÁLCULOS TÉRMICOS Y ENERGÉTICOS	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Cantidad de preguntas de la encuesta según variable de estudio.....	13
Tabla 2.2: Escala Likert utilizada para evaluar los ítems de la encuesta de bienestar habitacional	13
Tabla 2.3: Total de viviendas por sector y por orientación del frontis. Sexta etapa población Bajos del Matte, comuna de Buín.	15
Tabla 2.4: Total de viviendas muestreadas por sector y por orientación del frontis. Sexta etapa población Bajos del Matte, comuna de Buín.	15
Tabla 2.5: Detalle de materiales que componen el complejo de techumbre de las viviendas sociales SCMI	17
Tabla 2.6: Detalle de materiales que componen el complejo de muros de las viviendas sociales SCMI	18
Tabla 2.7: Detalle de materiales que componen los elementos de ventanas y puertas perimetrales	20
Tabla 2.8: Detalle de materiales que componen el complejo de muros y techumbre de la vivienda de ladrillo.....	24
Tabla 2.9: Detalle de materiales que componen el complejo de techumbre de la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación del segundo piso.....	25
Tabla 2.10: Detalle de materiales que componen el complejo de muros de la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación del segundo piso	25
Tabla 2.11: Producción de vapor de agua de una persona según actividad y temperatura ambiente	28
Tabla 2.12: Producción de vapor de actividades dentro de la vivienda.....	28
Tabla 2.13: Poder calorífico por unidad de combustible	29
Tabla 2.14: Precio promedio al consumidor de los combustibles en la Región Metropolitana	30
Tabla 2.15: Transmitancia térmica máxima o Resistencia térmica total mínima para la envolvente de una vivienda según artículo 4.1.10 de la OGUC	30
Tabla 2.16: Valores R100 mínimo para el material aislante según zona térmica	31
Tabla 2.17: Localidades de Chile considerados como lugares de emplazamiento de la vivienda social SCMI.....	32

Tabla 3.1: Requisitos de aislación acústica para edificios habitacionales según norma chilena NCh 352/1.Of2000.	46
Tabla 3.2: Soluciones constructivas para aislamiento acústico muro medianero	50
Tabla 3.3: Clasificación de resistencia al fuego de elementos de construcción según norma chilena NCh 935/1.Of97	52
Tabla 3.4: Tiempo asignado a revestimientos que actúan como membranas protectoras....	53
Tabla 3.5: Tiempo asignado a componentes estructurales de madera	53
Tabla 3.6: Resistencia al fuego de los elementos constructivos de las viviendas sociales SCMI de Buín.	54
Tabla 3.7: Resistencias térmicas totales y transmitancias térmicas de la vivienda social SCMI en su diseño original.....	66
Tabla 3.8: Coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas de la vivienda social SCMI en su diseño original.....	66
Tabla 3.9: Flujos térmicos por transmisión, convección y totales de la vivienda social SCMI en su diseño original.....	66
Tabla 3.10: Resistencias térmicas totales y transmitancias térmicas de la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación del 2° piso.....	67
Tabla 3.11: Coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas de la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación del 2° piso.....	67
Tabla 3.12: Flujos térmicos por transmisión, convección y totales de la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación del 2° piso.....	67
Tabla 3.13: Resistencias térmicas totales y transmitancias térmicas de la alternativa de vivienda de ladrillo.....	68
Tabla 3.14: Coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas de la alternativa de vivienda de ladrillo.....	68
Tabla 3.15: Flujos térmicos por transmisión, convección y totales de la alternativa de vivienda de ladrillo.....	68
Tabla 3.16: Nivel de aislación de una edificación según el coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas $Gv1$	69
Tabla 3.17: Ahorro de energía requerida para calefaccionar entre los tres tipos de vivienda en estudio	74
Tabla 3.18: Energía solar captada por las viviendas sociales SCMI a través de las ventanas según orientación	75
Tabla 3.19: Temperatura de rocío interior y temperatura superficial interior de los elementos constructivos de la vivienda social SCMI en su diseño original	75

Tabla 3.20: Temperatura de rocío interior y temperatura superficial interior de los elementos constructivos de la propuesta de terminación del segundo piso de la vivienda social SCMI.....	76
Tabla 3.21: Temperatura de rocío interior y temperatura superficial interior de los elementos constructivos de la vivienda tradicional de ladrillo.	76
Tabla 3.22: Secuencia de actividades dentro de una vivienda y cantidad de vapor de agua que producen	77
Tabla 3.23: Combustible requerido en calefacción para tres tipos de vivienda en estudio .	78
Tabla 3.24: Gasto económico requerido en calefacción para los tres tipos de vivienda en estudio debido al uso de kerosene doméstico como combustible.....	78
Tabla 3.25: Gasto económico requerido en calefacción para los tres tipos de vivienda en estudio debido al uso de gas licuado como combustible	78
Tabla 3.26: Valoración de materiales y mano de obra necesarios para la terminación del segundo piso de la vivienda social SCMI en el año 2008.....	81
Tabla 3.27: Espesores mínimos R100 y comerciales de poliestireno expandido para cada zona térmica	82
Tabla 3.28: Transmitancias térmicas para techumbre y muros, y factores Gv1 y Gv2 para la vivienda social SCMI y la alternativa de ladrillo para cada zona térmica del país.....	82
Tabla 3.29: Ahorro energético en calefacción de la vivienda social SCMI respecto a la vivienda de ladrillo.....	84
Tabla 3.30: Energía requerida en calefacción de la vivienda social SCMI y de la alternativa de ladrillo en distintas localidades del país.	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Proceso de ensamblaje de paneles estructurales de madera de las viviendas sociales SCMI	4
Figura 2.2: Montaje de los elementos industrializados de las viviendas sociales SCMI en el lugar de emplazamiento	5
Figura 2.3: Planta primer piso vivienda social SCMI	6
Figura 2.4: Planta segundo Piso vivienda social SCMI	7
Figura 2.5: Elevación Frontal vivienda social SCMI.....	8
Figura 2.6: Corte A-A vivienda social SCMI	8
Figura 2.7: Corte B-B vivienda social SCMI.....	9
Figura 2.8: Sectorización sexta etapa Población Bajos del Matte, comuna de Buín	14
Figura 2.9: Diagrama de aire húmedo.....	27
Figura 3.1: Histograma de la cantidad de habitantes por vivienda social SCMI	33
Figura 3.2: Distribución de la muestra de viviendas sociales SCMI encuestadas.	34
Figura 3.3: Puntaje promedio obtenido para cada pregunta de la encuesta de bienestar habitacional de las viviendas sociales SCMI	35
Figura 3.4: Tipo de combustible utilizado para calefaccionar las viviendas sociales SCMI	38
Figura 3.5: Control provisional del exceso de renovaciones de aire en el segundo piso de las viviendas sociales SCMI	39
Figura 3.6: Gráfica circular de los resultados de la primera pregunta relacionada al factor térmico.....	40
Figura 3.7: Gráfica circular de los resultados de la segunda pregunta relacionada al factor térmico.....	40
Figura 3.8: Gráfica circular de los resultados de la tercera pregunta relacionada al factor térmico.....	41
Figura 3.9: Gráfica circular de los resultados de la cuarta pregunta relacionada al factor térmico.....	41
Figura 3.10: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada al factor iluminación natural.....	43
Figura 3.11: Iluminación natural interior de una vivienda social SCMI de Buín	44
Figura 3.12: Ejemplo de aislación acústica de la envolvente.....	45

Figura 3.13: Gráfica circular de los resultados de la primera pregunta relacionada al factor acústico.....	46
Figura 3.14: Gráfica circular de los resultados de la segunda pregunta relacionada al factor acústico.....	47
Figura 3.15: Gráfica circular de los resultados de la primera pregunta relacionada al factor acústico.....	48
Figura: 3.16: Aislación acústica de elementos constructivos simples al ruido aéreo	49
Figura 3.17: Soluciones constructivas para aislamiento acústico muro medianero.....	51
Figura 3.18: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada al factor seguridad de la vivienda frente al fuego.....	54
Figura 3.19: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada al factor seguridad de la vivienda frente a un sismo.....	55
Figura 3.20: Detalle encuentro de muros perimetrales del primer y segundo piso.....	57
Figura 3.21: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada al factor seguridad de la vivienda frente a la lluvia.....	57
Figura 3.22: Termitas subterráneas (<i>Reticulitermes flavipes</i>) en estado no alado y alado ..	58
Figura 3.23: Lámina metálica como protección ante las termitas.....	59
Figura 3.24: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada al factor seguridad de la vivienda frente a las termitas.....	61
Figura 3.25: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada a la calidad de la vivienda.....	62
Figura 3.26: Organigrama del Sistema de Gestión de Calidad utilizado en la fabricación de las viviendas sociales SCMI de Buín.....	62
Figura 3.27: Inspección de calidad de los elementos industrializados de las viviendas sociales SCMI	64
Figura 3.28: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada al nivel de satisfacción de la vivienda	65
Figura 3.29: Coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas obtenidos para los tipos de vivienda en estudio	69
Figura 3.30: Flujos térmicos a través de los elementos de la envolvente obtenidos para los tipos de vivienda en estudio	71
Figura 3.31: Transmitancias térmicas obtenidas para el complejo de muros para los tipos de vivienda en estudio.....	72
Figura 3.32: Energía requerida en calefacción por unidad de superficie para las viviendas en estudios emplazadas en la comuna de Buín	73

Figura 3.33: Energía requerida en calefacción total para las viviendas en estudios emplazadas en la comuna de Buín	73
Figura 3.34: Gasto económico requerido en calefacción para los tres tipos de vivienda entre los años 2004 y 2008 utilizando kerossene doméstico y gas licuado como combustible	79
Figura 3.35: Ahorro en el gasto económico requerido en calefacción para los tres tipos de vivienda entre los años 2004 y 2008 utilizando kerossene doméstico y gas licuado como combustible	80
Figura 3.36: Transmitancia térmica máxima por reglamentación y transmitancias calculadas para el complejo de techumbre de la vivienda social SCMI y la alternativa de ladrillo en cada zona térmica	83
Figura 3.37: Transmitancia térmica máxima por reglamentación y transmitancias calculadas para el complejo de muros de la vivienda social SCMI y la alternativa de ladrillo en cada zona térmica	84

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en Chile la construcción de viviendas con madera se asocia a soluciones habitacionales transitorias que presentan bajos estándares de bienestar habitacional, lo que ha generado una suerte de rechazo por parte de las personas a adquirir este tipo de viviendas, no obstante presentan buenas bondades cuando son construidas en forma industrial bajo un buen diseño, lo que puede llevar a obtener viviendas de excelente calidad a un bajo costo.

En Chile existe el Sistema Constructivo Modular Industrializado (SCMI), inscrito en el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que permite construir viviendas con estructura de madera en forma industrializada. Este Sistema Constructivo asegura altos niveles de calidad, facilidad y rapidez de construcción, una menor emisión de gases de efecto invernadero, buen comportamiento acústico y de resistencia al fuego, y un excelente comportamiento sísmico debido a su menor peso estructural (CORMA, 2007). Además, experiencias realizadas por Fundación Chile y la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, como las descritas por Rodríguez (2000) y Galdames (2001), resaltan las bondades de este tipo de construcción industrializada de viviendas, donde se destaca el buen comportamiento térmico que presentan por sobre las viviendas tradicionales de ladrillo y hormigón, lo que genera un importante ahorro energético y un muy buen confort térmico.

En cuanto al comportamiento térmico de edificios habitacionales en nuestro país se ha incorporado en los últimos años dos modificaciones en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, denominadas primera y segunda etapa de reglamentación térmica, mediante las cuales se han fijado requisitos de acondicionamiento térmico a las viviendas. Se han determinado exigencias para los complejos de techumbre en la primera etapa, para luego continuar con los muros, pisos ventilados y superficie máxima de ventanas en la segunda etapa, que entró en vigencia el día 4 de enero de 2007 y se encuentra descrita en el Artículo N° 4.1.10 de la Ordenanza (MINVU; IC, 2006).

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo entrega anualmente subsidios habitacionales a familias que se encuentran en condición de pobreza para adquirir viviendas económicas de interés social, las cuales generalmente presentan una superficie edificada de 36 a 45 m² a un costo cercano a 340 UF (MINVU, 2007a). Se ha demostrado que es posible construir viviendas industrializadas de madera a un bajo costo y que cumplan los estándares establecidos por el Ministerio, ya que en los últimos años se han realizado proyectos de este tipo en la Región Metropolitana y en el sur del país. El año 2002 la empresa Tecno Truss construyó el primer proyecto de viviendas sociales construidas bajo el SCMI con madera de Pino radiata, el cuál consistió en un conjunto de 225 viviendas ubicadas en la comuna de Buín.

Debido a que ya se han construido viviendas sociales en forma industrializada, es de interés poder evaluar el bienestar habitacional que entregan a sus habitantes, conociendo la

percepción de ellos y revisando los aspectos técnicos de éstas. Además se puede evaluar, según la nueva exigencia, el comportamiento térmico de este tipo de viviendas, medir el gasto energético de calefacción necesario para poder obtener confort y compararlo con una vivienda de albañilería. Este análisis ayudará a comprobar que la construcción industrializada de viviendas con estructura de madera pueden entregar un excelente confort habitacional, y transformarse en un aporte importante para poder dignificar la vivienda de interés social en nuestro país, lo que se transforma en un aporte directo para las familias de menores recursos.

El objetivo general de este estudio es poder evaluar bienestar habitacional y eficiencia energética de viviendas sociales estructuradas con madera de Pino radiata, utilizando el Sistema Constructivo Modular Industrializado; esto mediante el cumplimiento de dos objetivos específicos:

1. Evaluar los estándares de bienestar habitacional de un conjunto de viviendas sociales construidas con el Sistema Constructivo Modular Industrializado
2. Comparar el gasto energético debido a calefacción de una vivienda social construida con el Sistema Constructivo Modular Industrializado frente a una vivienda similar de albañilería.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las viviendas en las cuales se basa este estudio, corresponden al conjunto habitacional de la sexta etapa de la población Bajos del Matte, comuna de Buín, Región Metropolitana. Este conjunto habitacional se compone de 225 viviendas sociales construidas el año 2003, y que fueron financiadas por medio de un programa habitacional entregado por el Gobierno denominado “Vivienda Social Dinámica sin Deuda” a un precio de 290 UF por vivienda, el cual incluye un aporte de cada familia beneficiada de 10 UF. El objetivo de este programa habitacional era la entrega de una vivienda nueva con una superficie mínima habitable de 25 m² incorporando en el diseño arquitectónico y estructural una proyección de crecimiento de 50 m² en total (SERVIU, 2008)

Para la construcción de estas viviendas sociales se utilizó el Sistema Constructivo Modular Industrializado de viviendas con estructura de madera (SCMI^a), el cuál es una forma de construir usando estructuras de madera y otros materiales, que en conjunto y a través de un proceso industrial, permite construir todo o parte de la construcción en uno, dos o tres pisos, de edificios habitacionales, campamentos, establecimientos educacionales, hospitalarios y otros (FUNDACIÓN CHILE, 2000). La memoria descriptiva completa del SCMI se encuentra en el anexo I.

La fabricación de los elementos industrializados fue realizada por la empresa “Tecno Truss S.A.” en su planta industrial ubicada en la zona norte de la Región Metropolitana. Esta empresa fabricó los paneles para los muros perimetrales de las viviendas, los casetones para las estructuras de piso y techumbre, y las cerchas mediante un proceso productivo controlado y repetitivo consistente en tres etapas: diseño estructural de los elementos, proceso de corte y proceso de ensamblaje.

En base a los planos de arquitectura del proyecto de las viviendas de Buín, se realizó el diseño estructural y la ingeniería de los detalles constructivos de los elementos estructurales a fabricar; el cuál fue realizado por el área de ingeniería de la empresa, mediante la utilización del Software “Mitek 2000”. Este software ayudó a lograr un diseño estructural eficiente de los elementos de madera basado en las normas NCh 1198.0f2006 para cálculo de construcciones en madera y TPI 1-1995 del “Truss Plate Institute” para el diseño de estructuras de techumbre. Una de las salidas que genera el software son hojas de corte, en las cuales se basa el proceso productivo. Estas hojas señalan las dimensiones de las piezas de madera y su ubicación dentro de la estructura, los ángulos de corte, y la ubicación y tamaño de las uniones (clavos helicoidales o placas dentadas según corresponda).

El proceso de corte de las piezas de madera se realizó mediante una maquina sierra circular múltiple de cinco cabezales, capaz de realizar los cortes según lo especificado en las hojas de corte. En esta etapa hay un encargado del proceso de corte que maneja la sierra y tres

^a El SCMI fue diseñado en su totalidad e inscrito en el Ministerio de Vivienda y Urbanismo por la Fundación Chile el año 2000 como resultado de un proyecto de investigación que tuvo por objetivo principal fomentar el uso de la madera en la construcción de viviendas.

operarios que ayudan al ingreso de la madera a la sierra y a acopiar en orden las piezas cortadas.

Finalmente el proceso de ensamblaje de los elementos industrializados se realizó en ocho estaciones o mesas de trabajo, niveladas, de dimensiones apropiadas y equipadas con prensas electrohidráulicas y martillos neumáticos para realizar la fijación de las uniones a las estructuras (Placas dentadas de acero y clavos helicoidales). Cada estación de trabajo está compuesta por un maestro carpintero junto a dos ayudantes, los cuales realizan el proceso en base a la información entregada en la hoja de corte. En la figura 2.1 se ve a un operario realizando el clavado de los paneles para los muros perimetrales de las viviendas sociales SCMI.

Figura 2.1: Proceso de ensamblaje de paneles estructurales de madera de las viviendas sociales SCMI



Fuente: Tecno Truss S.A.

Algo importante a destacar es que durante la producción de los elementos industrializados de las viviendas sociales de Buín se aplicó un Sistema de Gestión de Calidad por parte de la empresa Tecno Truss junto a la Fundación Chile como certificador, el cual se detallará más adelante en este trabajo. La obra gruesa de construcción, el montaje de los elementos industrializados y las terminaciones de las viviendas industrializadas fueron realizados por la constructora “CR Ingeniería y Construcción Ltda.”. La figura 2.2 muestra el montaje de los elementos industrializados para la construcción de las viviendas sociales SCMI de Buín.

Figura 2.2: Montaje de los elementos industrializados de las viviendas sociales SCMI en el lugar de emplazamiento



Fuente: Tecno Truss S.A.

2.1. Materiales

Se trabajó con los materiales que se mencionan en los apartados 2.1.1 al 2.1.3

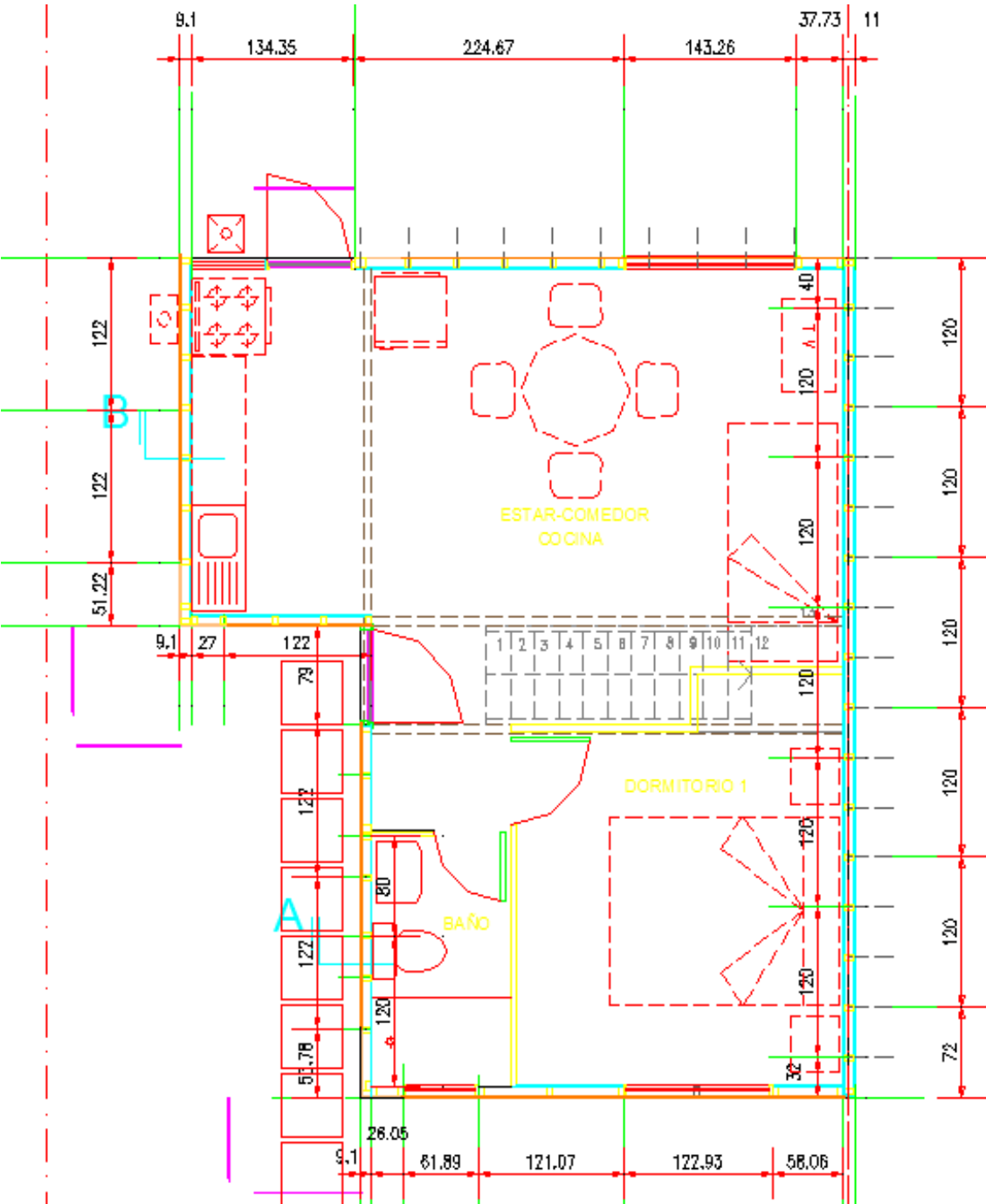
2.1.1 Plano de loteo de la sexta etapa de la Población Bajos del Matte

El plano de loteo de la sexta etapa de la Población Bajos del Matte se obtuvo de la dirección de obras de la Ilustre Municipalidad de Buín y se encuentra en el anexo II

2.1.2 Planos de planta y elevaciones de las viviendas sociales construidas con el SCMI

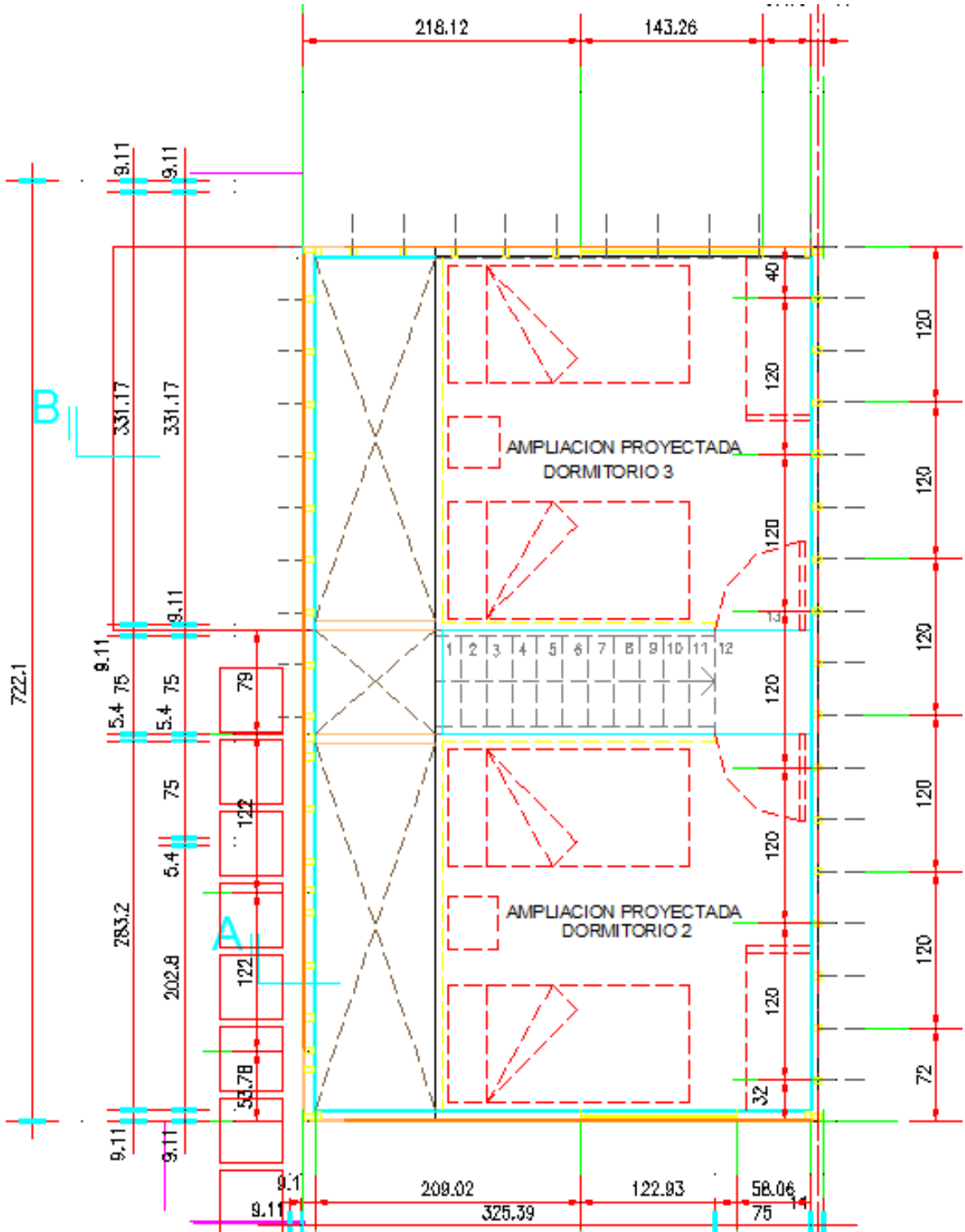
Los planos se obtuvieron de la empresa Tecno Truss S. A. En ellos se detalla que el primer piso de las viviendas sociales tiene una superficie de 31,26 m² y está constituido por un estar-comedor, un baño, una cocina y un dormitorio. El segundo piso tiene una superficie habitable de 20,85 m², el cual se entregó a los propietarios en condiciones “cuasi habitables”, contempla la ubicación de dos dormitorios. Los planos de arquitectura se observan en las figuras 2.3 a 2.7

Figura 2.3: Planta primer piso vivienda social SCMI



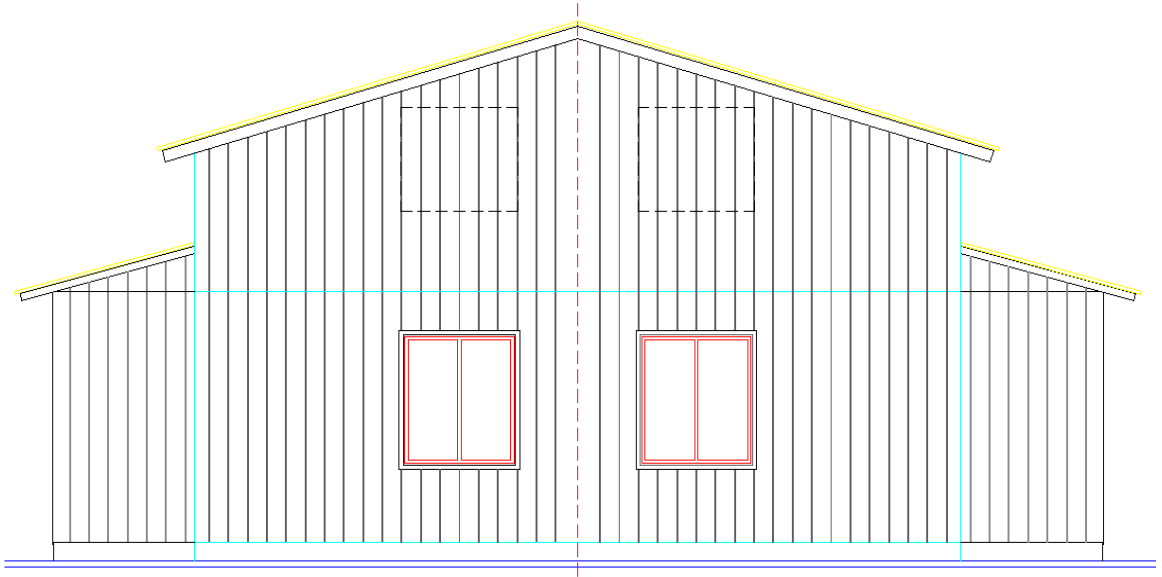
Fuente: Tecno Truss S.A. Dimensiones en centímetros

Figura 2.4: Planta segundo Piso vivienda social SCMI



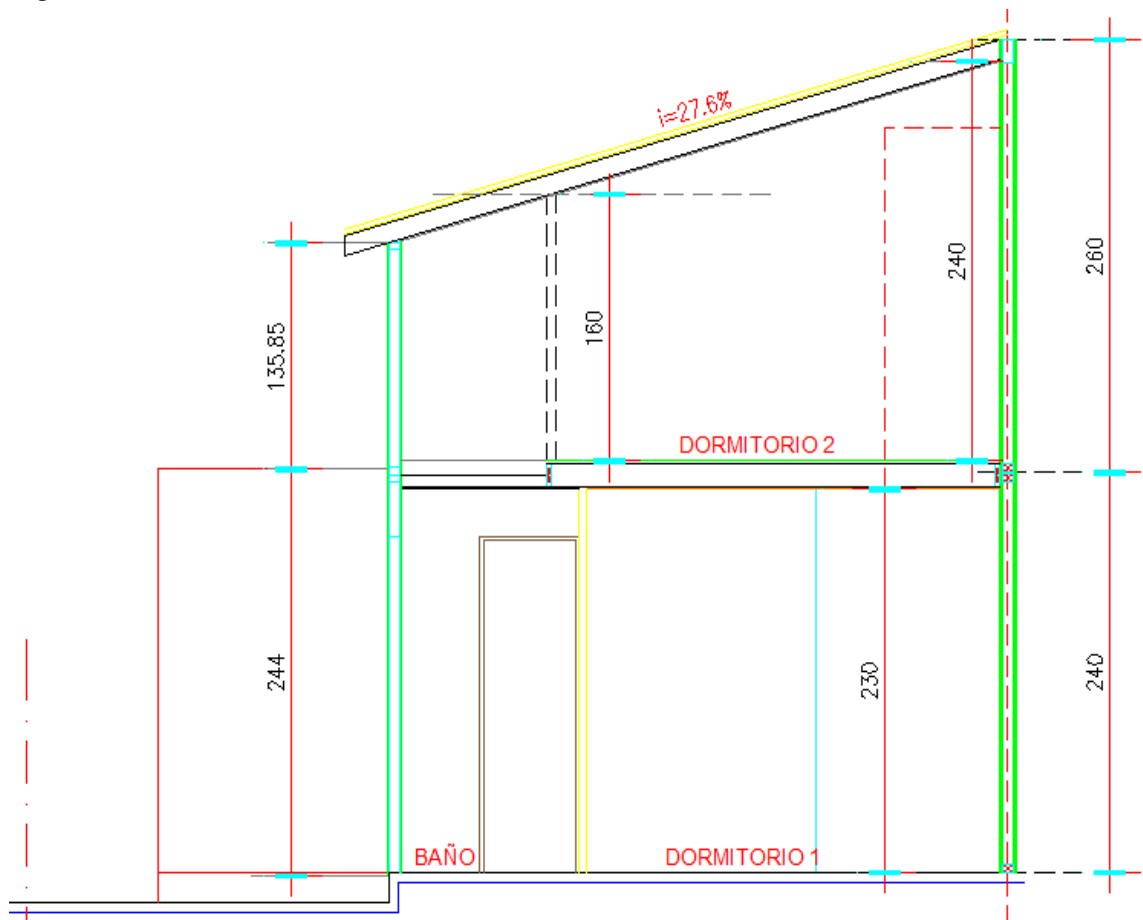
Fuente: Tecno Truss S.A. Dimensiones en centímetros

Figura 2.5: Elevación Frontal vivienda social SCMI



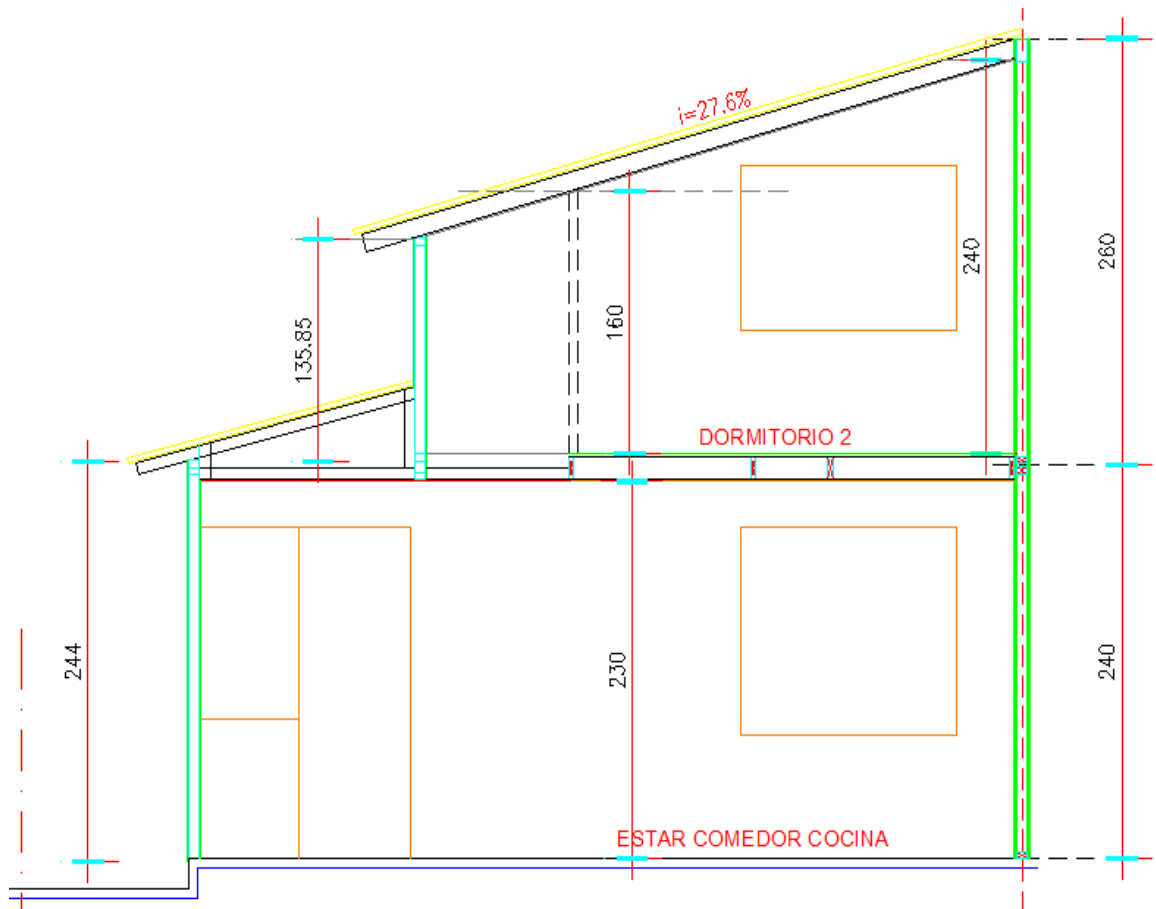
Fuente: Tecno Truss S.A.

Figura 2.6: Corte A-A vivienda social SCMI



Fuente: Tecno Truss S.A. Dimensiones en centímetros

Figura 2.7: Corte B-B vivienda social SCMI



Fuente: Tecno Truss S.A. Dimensiones en centímetros

2.1.3 Especificaciones técnicas de las viviendas construidas con el SCMI

Las especificaciones técnicas de las viviendas se obtuvieron de la Dirección de Obras de la Ilustre Municipalidad de Buín, y son las siguientes:

- Base de pavimentos y radier: Se utilizó relleno estabilizado según plano de cálculo, compactado mecánicamente y nivelado. Sobre este se procedió a colocar una lámina de polietileno de 0.2 mm de espesor, la que se instaló de acuerdo a las instrucciones del ingeniero mecánico de suelos. El radier se ejecutó en hormigón de H-20 de 10 cm de espesor afinado en fresco, terminación a llana.
- Tabiques perimetrales: Están conformados por estructura de Pino Radiata impregnado de 45 x 70 mm según plano de cálculo. Por su cara exterior se encuentran revestidos con planchas de aglomerado estructural tipo OSB de 11,1 mm de espesor, impregnado con borato de zinc, acabado de superficie exterior impermeabilizado y texturado, imitación madera, instalados verticalmente. Por su cara interior, sólo en el primer piso, se revistieron, en zonas secas, con plancha de

yeso-cartón de 10 mm de espesor clavados en la estructura y con plancha fibrocemento de 4 mm en zonas húmedas fijadas a la estructura con tornillos autoperforantes. En el segundo piso no se consulta revestimiento interior.

- Tabiques interiores: La estructura se ejecutó con perfiles de fierro galvanizado de 38 mm de ancho y de 0.5 mm de espesor, tipo Tabigal o similar. El revestimiento en las zonas húmedas, de baño y cocina, se realizó con planchas fibrocemento de 4 mm fijada a la estructura mediante tornillos autoperforantes. En las zonas secas, dormitorios y otros, se revistió con planchas de yeso-cartón de 8 mm de espesor, las que se fijaron a la estructura con tornillos autoperforantes.
- Tabique medianero: La estructura se realizó con Pino Radiata impregnado de 45 x 70 mm de espesor y se revestirá por ambas caras con dos planchas de yeso-cartón de 10 mm que se instalarán traslapadas y pegadas entre sí
- Estructura de techumbre: En el segundo piso, está conformada por casetones prefabricados con Pino Radiata impregnado de escuadría y distanciamientos, según plano de cálculo. En el primer piso, sobre la cocina se consultan cerchas prefabricadas con conectores metálicos tipo Gang nail y costaneras de pino de 2" x 2" según cálculo. La cubierta consiste en planchas de fierro galvanizado o zincalum de 0.4 mm de espesor onda estandar, atornilladas directamente a las cadenetras de los casetones. Previo a la instalación de las planchas se instaló fieltro asfáltico para evitar condensación. La cumbrera es de fierro galvanizado o Zincalum de 0.4 mm de espesor, fijado a la última costanera mediante tornillos galvanizados de 2, 5 x 12" con golilla plana y golilla de neopreno. Deberá traslapar 20 cm mínimo con la última hilera de planchas.
- Canales y bajadas: Estos son de fierro galvanizado o Zincalum de 0,4 mm de espesor
- Aleros: Están formados por la prolongación de los casetones de la techumbre y tendrán 40 cm hasta el borde de la plancha de cubierta. Los tapacanes, en el segundo piso, están formados por la continuidad de la pieza de cierre de los casetones. En el primer piso, que lleva cerchas, se consulta tapacán de pino impregnado de 1,5" x 4"
- Frontones: En el segundo piso están formados por la prolongación de los paramentos que conforman las fachadas anterior y posterior. En el primer piso, se consulta sobretabique de Pino de 2" x 2" revestido con plancha de fibrocemento de 4 mm de espesor.
- Alféizar: Se ejecutarán con perfil metálico según detalle de arquitectura
- Evacuación de gases: Consiste en ductos individuales de fierro galvanizado de 0,4 mm de espesor, y 4" de diámetro, para conectar ventilación de calefones.

En cuanto a las terminaciones se especifica lo siguiente:

- Aislación térmica: En los tabiques perimetrales, sólo del primer piso, se consulta la colocación de plancha de poliestireno expandido de 26 mm de espesor, densidad 10 kg/m³, colocado entre la estructura de los paneles. En el cielo del primer piso, solamente en la zona de un piso, se consulta la colocación de plancha de poliestireno expandido de 80 mm de espesor, densidad 10 kg/m³. El mismo material se consulta en el segundo piso, colocado directamente bajo la cubierta.
- Revestimiento interior: Revestimiento de linóleo de 0,7 mm de espesor en los paramentos que conforman el nicho de la ducha
- Cielos: En el primer piso, solamente sobre la zona no cubierta por los casetones de entrepiso, se ubican planchas de yeso-cartón de 10 mm de espesor, clavada a suplido de Pino de 1,5" x 2". El resto de los recintos (estar-comedor y dormitorio) consultan el envigado de los casetones a la vista y sobre ellos la plancha de aglomerado OSB que constituye el piso del segundo nivel. En el segundo piso, bajo la cubierta no se consulta cielo.
- Entramado de entrepiso: Están formados por casetones de Pino Radiata impregnado de acuerdo a plano de cálculo, revestidos por su cara superior con plancha de aglomerado OSB de 15 mm de espesor como base de pavimento para la futura habitación del segundo piso. Se deberá consultar únicamente pavimento flexible tales como flexit, linóleo para piso o cubre pisos (alfombra).
- Terminaciones de pisos: En todos los recintos del primer piso con la excepción de la zona de ducha, se consulta la instalación de piso vinílico de 1,4 mm de espesor.
- Puertas: Los marcos interiores y exteriores se ejecutaron con perfiles metálicos de tipo económico, de 1,2 mm de espesor, según detalle de arquitectura. Las hojas están revestidas con madera prensada corriente de 3,2 mm de espesor, con bastidor de Pino Radiata, humedad máxima 15%. Espesor total 45 mm. La puerta de ingreso presenta un ancho de 0,75 m, el baño de 0,60 m, la salida de la cocina al patio de 0,70 m, y el dormitorio del primer piso también de 0,70 m.
- Ventanas: Se ejecutaron con perfiles de aluminio de tipo económico, conforme a plano de detalles. Son de corredera salvo baño y cocina que llevarán celosías de 3 aspas.
- Vidrios: De espesor conforme a normas, transparente en todos los recintos excepto baño que lleva vidrio catedral. Se encuentran fijados a las ventanas de aluminio mediante junquillos o cinta de doble contacto según especificaciones del fabricante.
- Guardapolvos: En todos los encuentros de paramentos y pisos se encuentran guardapolvos de pino cepillado de 14 x 45 mm.

- Junquillos: En la unión de planchas fibrocemento, en el revestimiento de frontones, se encuentran cubrejuntas del mismo material. Los extremos de los tabiques que no llevan puerta consultan tablilla de remate, de pino cepillado de 9 x 60 mm
- Cornizas: Se consulta la colocación de cornisas de 1” en todos los encuentros de paramentos y cielos
- Pinturas: En todos los elementos metálicos, se aplicaron dos manos de antióxido de diferente color. Se aplicó óleo Brillante en las puertas exteriores por sus caras y cantos, en paramentos de baño y cocina, tapacanes y el cielo de zonas húmedas; y en todos los elementos tratados con antióxido. Los paramentos exteriores fueron recubiertos con látex acrílico. Finalmente se utilizó aceite de linaza en todos los elementos de madera a la vista interior, exceptuando los elementos de madera aglomerada (OSB)

2.2. Métodos

2.2.1. Evaluación del bienestar habitacional

Para evaluar el bienestar habitacional que entregan las viviendas sociales SCMI primero se confeccionó un instrumento de medición o encuesta para observar la actitud de los propios habitantes de las viviendas después de cuatro años de uso; luego se seleccionó una muestra apropiada para la investigación; se recolectaron los datos aplicando la encuesta a los propietarios de las viviendas; y se realizó un análisis estadístico de los datos obtenidos (HERNANDEZ, 2006). Finalmente se realizó una discusión de los resultados obtenidos en base a criterios técnicos de la construcción.

2.2.1.1. Confección del instrumento de medición

La encuesta, dirigida a los jefes y jefas de hogar, consistió en un conjunto de catorce preguntas o ítems relativos al bienestar habitacional que entregan las viviendas a sus habitantes. La confección de las preguntas se basó en los factores de bienestar habitacional que se encuentran definidos por la “Guía de diseño para un hábitat residencial sustentable” elaborado por Fundación Chile como resultado del proyecto de investigación FONDEF/CONICYT N° D00I1039, y que se mencionan a continuación (FUNDACIÓN CHILE *et al.*, 2004):

- Factor térmico
- Factor acústico
- Factor lumínico
- Factor seguridad de la edificación

Además fue de interés averiguar el nivel de satisfacción de los habitantes con sus viviendas, por lo que las variables de estudio que se consideraron dentro de la encuesta fueron los que aparecen en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Cantidad de preguntas de la encuesta según variable de estudio

Variable de estudio	N° de preguntas
Factor térmico	4
Factor iluminación natural	1
Factor acústico	3
Factor seguridad de la edificación	4
Factor satisfacción	2

Se consideró, además para cada variable de estudio, el número de preguntas necesarias para describir de forma completa el efecto de estas variables en el bienestar de los habitantes, según también aparece en la tabla 2.1.

Para responder las preguntas se confeccionó un escalamiento tipo Likert, el cual consiste en un conjunto de ítems ante los cuales se pide la reacción de la persona a la cual se está aplicando la encuesta (HERNANDEZ *et al.*, 2006). En cada pregunta el encuestado manifestó su reacción eligiendo uno de los cinco puntos o categorías de la escala según aparece en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Escala Likert utilizada para evaluar los ítems de la encuesta de bienestar habitacional

Puntaje	Escala de respuesta
1	Muy mala
2	Mala
3	Regular
4	Buena
5	Muy buena

Entonces según la escala de la tabla 2.2, si la persona encuestada, al presentarle una pregunta su actitud fue “muy mala” entonces el puntaje asignado a esa respuesta fue de un punto. De igual forma, si al contestar el propietario consideró que la respuesta es “muy buena” entonces se asignaron cinco puntos en ese ítem. Es decir mientras más favorable fue la actitud de la persona encuestada frente a una pregunta, mayor fue el puntaje que se le asignó.

La encuesta de percepción del bienestar habitacional de las viviendas sociales SCMI se encuentra en forma completa en el Apéndice I.

2.2.1.2 Selección de la muestra para el estudio y recolección de datos

Para evaluar el bienestar habitacional de las viviendas sociales SCMI, se seleccionó una muestra aleatoria del 20% correspondiente a 45 viviendas de un total de 225 del conjunto

habitacional en estudio. Según Moreno^b, para obtener conclusiones estadísticamente válidas en estudios de este tipo, es suficiente trabajar con una muestra que varíe entre 10% y 12% de un conjunto habitacional cualquiera. Se decidió trabajar con una muestra del 20% debido a que es una cantidad totalmente factible de encuestar y además para obtener una mayor validez estadística en las conclusiones.

Para la selección de las viviendas sólo se tomó en cuenta el factor exposición del frontis de las viviendas, ya que este condiciona en forma considerable la cantidad de luz natural y la temperatura al interior de una vivienda durante el día (RODRIGUEZ, 2007). Para tomar una muestra representativa de toda la población, se dividió el área de estudio en cinco sectores. La figura 2.8 muestra como se realizó la sectorización, mientras que la tabla 2.3 detalla el total de viviendas por sector y por orientación del frontis de cada vivienda del conjunto habitacional en estudio.

Figura 2.8: Sectorización sexta etapa Población Bajos del Matte, comuna de Buín



Fuente: Google Earth 2007

b Comunicación personal con Emilio Moreno Hozven. Director del proyecto de investigación FONDEF/CONICYT N°D0011039: Determinación de los estándares de bienestar habitacional para mejorar la calidad de la construcción de viviendas en Chile. Ingeniero Civil - Consultor de Fundación Chile.

Tabla 2.3: Total de viviendas por sector y por orientación del frontis. Sexta etapa población Bajos del Matte, comuna de Buín.

ORIENTACIÓN	SECTOR					Total
	1	2	3	4	5	
Noreste	0	0	0	0	7	7
Sureste	19	17	18	20	16	90
Suroeste	6	8	8	8	13	43
Noroeste	20	18	20	22	5	85
Total	45	43	46	50	41	225

De cada sector se seleccionaron nueve viviendas en forma aleatoria, cuidando que la cantidad de viviendas por orientación en cada sector correspondiera aproximadamente al 20% del total correspondiente. El detalle de las viviendas muestreadas en la población se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4: Total de viviendas muestreadas por sector y por orientación del frontis. Sexta etapa población Bajos del Matte, comuna de Buín.

ORIENTACIÓN	SECTOR					Total
	1	2	3	4	5	
Noreste	0	0	0	0	2	2
Sureste	4	3	3	3	4	17
Suroeste	1	2	2	2	2	9
Noroeste	4	4	4	4	1	17
Total	9	9	9	9	9	45

En cada vivienda muestreada se aplicó la encuesta de percepción al jefe o jefa de hogar por medio de una entrevista, donde el entrevistador leyó las afirmaciones y las alternativas de respuesta a la persona encuestada para que esta manifestara su percepción.

2.2.1.3. Análisis de los datos

Para cada una de las cinco variables de estudio (ver tabla 2.1), se realizó estadística descriptiva consistente en distribuciones de frecuencia presentadas mediante gráficas circulares y cálculo de medidas de tendencia central y de dispersión como lo son: media, desviación estándar, máximo y mínimo.

La confiabilidad de un instrumento de medición es el grado en que el instrumento produce resultados consistentes y coherentes, es decir que la aplicación repetida de una encuesta al mismo sujeto produce resultados iguales; por lo que para la encuesta aplicada para este estudio se calculó la confiabilidad del instrumento mediante el coeficiente Alfa-Cronbach mediante la utilización del programa de análisis estadístico SPSS. Una de las forma de obtener este coeficiente de confiabilidad es sobre la base de la varianza de los ítems, utilizando la fórmula (2.1) (HERNÁNDEZ, 2006).

$$\alpha = \frac{n \cdot r}{1 + r \cdot (n - 1)} \quad (2.1)$$

Donde:

- α : Coeficiente de confiabilidad Alfa-Cronbach
- n : Número de ítems de la escala
- r : Correlación promedio de los ítems

El coeficiente Alfa-Cronbach toma valores entre 0 y 1, y no hay una escala clara sobre cuáles son los estratos de confiabilidad que arroja. Sin embargo se puede decir que para valores menores a 0,5 la confiabilidad de un instrumento de medición es baja; y si toma ese valor se considera media; además para valores de α entre 0,75 y 0,9 se considera aceptable, y cuando el coeficiente sobrepasa el valor 0,9 entonces la confiabilidad del instrumento es alta (HERNÁNDEZ, 2006).

2.2.2. Evaluación térmica y energética de las viviendas

Se analizó el comportamiento térmico de las viviendas sociales de Buín construidas con el Sistema Constructivo Modular Industrializado de viviendas de madera, utilizando los planos y las especificaciones técnicas como base para los cálculos térmicos que se realizaron.

Para obtener las características térmicas de las viviendas en estudio se determinaron las resistencias y transmitancias térmicas de la envolvente, y los coeficientes globales de pérdidas térmicas de acuerdo a la normativa nacional existente.

Se considera como envolvente de las viviendas o de cualquier edificación a los elementos constructivos a través de los cuales se produce un flujo térmico entre el ambiente interior y el ambiente exterior de la edificación. La envolvente está compuesta por los complejos de techumbre, muros y pisos ventilados (MINVU; IC, 2006). Para el caso de las viviendas sociales en estudio se obtuvieron las resistencias y transmitancias térmicas para los complejos de techumbre y muros. El complejo de piso no se considera como ventilado, según aparece en las especificaciones técnicas descritas anteriormente, por lo que no se realizaron los cálculos térmicos para ese complejo.

2.2.2.1 Cálculo de resistencias térmicas totales y transmitancias térmicas

Los cálculos térmicos se basaron en la norma NCh 853.Of91: “Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas”.

Como se detalla en las especificaciones técnicas de las viviendas en estudio, se describen que los complejos de techumbre y muros están compuestos por capas de materiales. Las diferentes zonas de estos complejos presentan configuraciones que varían en los materiales que los componen, por lo que se detallaron los cálculos para cada zona.

Para el caso del complejo de techumbre se diferenci6 entre la techumbre del primer piso y la techumbre del segundo piso. Y para el caso del complejo de muros se consideraron tres configuraciones diferentes: muros zona seca primer piso, muros zona h6meda primer piso y muros segundo piso.

Para obtener las resistencias t6rmicas de las capas de materiales que componen los complejos de techumbre y muros se utiliz6 la ecuaci6n (2.2), que entrega la resistencia t6rmica de una capa de material homog6neo de caras planas y paralelas.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (2.2)$$

Donde:

- R : Resistencia t6rmica de la capa de material homog6neo [$m^2\text{C}/W$]
- e : Espesor de la capa de material homog6neo [m]
- λ : Conductividad t6rmica del material [$W/m^{\circ}C$]

Las conductividades t6rmicas de los materiales que se utilizaron en la construcci6n de las viviendas sociales se obtuvieron de los valores entregados por la norma NCh 853.Of91 y por el Manual de Aplicaci6n Reglamentaci6n t6rmica (MART).

Las tablas 2.5 y 2.6 muestran los materiales, con sus respectivos espesores y conductividades t6rmicas, que componen los complejos de techumbre y muros de las viviendas sociales SCMI.

Tabla 2.5: Detalle de materiales que componen el complejo de techumbre de las viviendas sociales SCMI

Complejo de techumbre	Zona	Material	espesor [m]	Cond. t6rmica [$W/m^{\circ}C$]
1° Piso	Aislaci6n	Poliestireno expandido	0,08	0,043
		Yeso-cart6n	0,01	0,24
2° Piso	Aislaci6n	Poliestireno expandido	0,08	0,043
	Puente t6rmico	Pino Radiata	0,15	0,104

Tabla 2.6: Detalle de materiales que componen el complejo de muros de las viviendas sociales SCMI

Complejo de Muros	Zona	Material	espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]
1° piso zona seca	Aislación	OSB	0,011	0,106
		Poliestireno expandido	0,026	0,043
		Cámara de aire	0,044	-
		Yeso-cartón	0,01	0,24
	Puente térmico	OSB	0,011	0,106
		Pino Radiata	0,07	0,104
Yeso-cartón		0,01	0,24	
1° piso zona húmeda	Aislación	OSB	0,011	0,106
		Poliestireno expandido	0,026	0,043
		Cámara de aire	0,044	-
		Fibroemento	0,004	0,22
	Puente térmico	OSB	0,011	0,106
		Pino Radiata	0,07	0,104
Fibroemento		0,004	0,22	
2° piso	Aislación	OSB	0,011	0,106
	Puente térmico	OSB	0,011	0,106
		Pino Radiata	0,07	0,104

Como se aprecia en las tablas 2.5 y 2.6, cada complejo contempla sectores con aislamiento y sectores con puentes térmicos. Los sectores con aislamiento corresponden a donde se encuentra instalado, o donde está el espacio físico para instalar, el material que actúa como aislante térmico (poliestireno expandido). Las zonas con puentes térmicos^c corresponden a las partes donde las capas de materiales están conectadas entre sí en forma continua, sin la presencia de material aislante térmico y cámaras de aire.

Para los sectores con aislamiento se obtuvo la resistencia térmica total y la transmitancia térmica de elementos compuestos por varias capas de materiales homogéneos de capas planas y paralelas, y con cámara de aire no ventilada, utilizando la ecuación (2.3).

$$R_{T,ais} = \frac{1}{U_{T,ais}} = R_{si} + \sum R_i + R_g + R_{se} \quad (2.3)$$

Donde:

$R_{T,ais}$: Resistencia térmica total del sector con aislamiento [m²°C/W]

^c Se entiende por “Puente térmico” a una interrupción en la continuidad del aislamiento térmico por un material de alta conductividad térmica, generalmente metal, en alguna parte de la envolvente que facilita el flujo de calor a través de él (SARMIENTO, 2007). La madera está lejos de considerarse un material que genere puentes térmicos, sin embargo se utilizó esta notación en esta parte del informe para denotar las zonas con continuidad de materiales en el espesor de los muros de la envolvente.

- $U_{T,ais}$: Transmitancia térmica del sector con aislación [W/ m²°C]
 R_{si} : Resistencia térmica de la superficie al interior del edificio [m²°C/W]
 $\sum R_i$: Suma de las resistencias térmicas de todas las capas de materiales que conforman el elemento constructivo [m²°C/W]
 R_g : Resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada [m²°C/W]
 R_{se} : Resistencia térmica de la superficie al exterior del edificio [m²°C/W]

Los valores para las resistencias superficiales interiores y exteriores de elementos verticales y horizontales que forman parte de la envolvente se obtuvieron de la norma NCh 853.Of91. De igual forma los valores para cámaras de aire no ventiladas de diferentes espesores en disposición horizontal y vertical se obtienen de la norma recién mencionada.

Para los sectores con puentes térmicos se determinó la resistencia térmica total y la transmitancia térmica de elementos compuestos por varias capas de materiales homogéneos de capas planas y paralelas, utilizando la ecuación (2.4).

$$R_{T,pter} = \frac{1}{U_{T,pter}} = R_{si} + \sum R_i + R_{se} \quad (2.4)$$

Donde:

- $R_{T,pter}$: Resistencia térmica total del sector con puente térmico [m²°C/W]
 $U_{T,pter}$: Transmitancia térmica del sector con puente térmico [W/ m²°C]
 R_{si} : Resistencia térmica de la superficie al interior del edificio [m²°C/W]
 $\sum R_i$: Suma de las resistencias térmicas de todas las capas de materiales que conforman el elemento constructivo [m²°C/W]
 R_{se} : Resistencia térmica de la superficie al exterior del edificio [m²°C/W]

Finalmente la resistencia térmica total y la transmitancia térmica de cada zona de los complejos de techumbre y muros, se obtuvo de la ecuación (2.5).

$$R_T = \frac{1}{U_T} = \frac{R_{t,ais} \cdot S_{ais} + R_{t,pter} \cdot S_{pter}}{S_{total}} \quad (2.5)$$

Donde:

- R_T : Resistencia térmica total de la zona del complejo
 U_T : Transmitancia térmica total de la zona del complejo
 $R_{T,ais}$: Resistencia térmica total del sector con aislación [m²°C/W]
 S_{ais} : Superficie del sector con aislación de la zona del complejo [m²]

$R_{T,pter}$: Resistencia térmica total del sector con puente térmico [m^2C/W]

S_{pter} : Superficie del sector con puente térmico de la zona del complejo [m^2]

S_{total} : Superficie total de la zona del complejo [m^2]

Para los elementos de ventanas, se consideró como un vidrio monolítico de espesor 4 mm y de superficie igual a la superficie de los vanos para las ventanas especificados en los planos de las viviendas sociales SCMI. Se despreció la resistencia térmica de los marcos de aluminio debido al bajo porcentaje de superficie que representa respecto al vano total de las ventanas, teniendo poca influencia en el cálculo. Las hojas de las puertas que forman parte de la envolvente de las viviendas, según como se detalla en las especificaciones técnicas, están conformadas por bastidores de madera y revestidos por un tablero de madera aglomerada de alta densidad. El detalle de ventanas y puertas se muestra en la tabla 2.7.

Tabla 2.7: Detalle de materiales que componen los elementos de ventanas y puertas perimetrales

Elemento constructivo	Zona	Material	espesor [m]	Cond. térmica [W/m^2C]
Ventana	-	Vidrio plano	0,004	1,2
Puerta	Aislación	Tablero fibra madera	0,0032	0,28
		Cámara de aire	0,044	-
		Tablero fibra madera	0,0032	0,28
	Puente térmico	Tablero fibra madera	0,0032	0,28
		Pino Radiata	0,07	0,104
Tablero fibra madera		0,0032	0,28	

Para las ventanas se determinó la resistencia térmica de una capa de material homogéneo utilizando la ecuación (2.2), para luego obtener la resistencia térmica total y la transmitancia térmica utilizando la ecuación (2.4). La resistencia térmica total y la transmitancia térmica de las puertas se obtuvo de utilizando las ecuaciones (2.2), (2.3) y (2.4) debido a la configuración de sus capas de materiales. Se despreció la resistencia de los marcos metálicos de las puertas.

2.2.2.2 Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas y flujos térmicos

Obtenidas las resistencias térmicas totales de todos los elementos que componen la envolvente: complejo de techumbre, complejo de muros, ventanas y puertas; se procedió al cálculo de los coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas o factores G, según se señala en la norma NCh 1960.Of60: "Aislación térmica – Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas". Se obtuvieron entonces los valores de los factores definidos en la norma:

- Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por transmisión de la envolvente: es la razón entre los flujos térmicos a través de la envolvente de la

edificación y el producto de su volumen interior y la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Se obtiene mediante la ecuación (2.6).

$$Gv1 = \frac{\sum U_i \cdot S_i}{V} \quad (2.6)$$

Donde:

- $Gv1$: Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por transmisión de la envolvente [$W/m^3\text{°C}$]
- U_i : Transmitancia térmica de un elemento constructivo de la envolvente de la vivienda [$W/m^2\text{°C}$]
- S_i : Superficie total de un elemento constructivo de la envolvente del recinto [m^2]
- V : Volumen total encerrado por la envolvente sin considerar el volumen ocupado por los muros, pilares u otros elementos constructivos

Se obtuvieron los factores $Gv1$ para el primer y segundo piso de los tres tipos de vivienda en estudio, además de un valor general para toda la vivienda obtenido como la suma ponderada de los valores de $Gv1$ de cada piso por sus volúmenes. Las superficies de cada elemento constructivo que forma parte de la envolvente, y el volumen interior de las viviendas sociales SCMI de Buín se obtuvieron de los planos de planta y elevaciones. Para la alternativa de vivienda de ladrillo y para la propuesta de terminación, las superficies de los elementos constructivos y el volumen interior de vivienda se consideraron iguales al del diseño original de las viviendas SCMI en su diseño original.

- Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales: es la razón entre los flujos térmicos totales de un edificio a través de la envolvente considerando la ventilación e infiltraciones de aire, y el producto de su volumen y la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Se obtiene mediante la ecuación (2.7).

$$Gv2 = Gv1 + n \cdot C_{ev} \quad (2.7)$$

Donde:

- $Gv2$: Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales [$W/m^3\text{°C}$]
- $Gv1$: Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por transmisión de la envolvente [$W/m^3\text{°C}$]
- n : Número de renovaciones de aire por hora [$1/h$]
- C_{ev} : Calor específico volumétrico del aire [$Wh/m^3\text{°C}$]

Para el cálculo de las infiltraciones se utilizó el método de las renovaciones de aire, considerando habitaciones con ventanas o puertas exteriores en dos lados, por lo que el número de renovaciones de aire es igual a 1,5 [$1/h$] en forma general para toda la vivienda (ANABALON, 1999), exceptuando el segundo piso de la vivienda social SCMI en su

diseño original, ya que debido a la cantidad de rendijas y cavidades en los encuentros entre el muro y la techumbre se utilizó un número de renovaciones de aire igual a 3 [1/h]^d. El calor específico volumétrico del aire es de 0,35 [Wh/m³°C].

También se obtuvieron los flujos térmicos por transmisión para cada elemento constructivo de la envolvente, para así poder identificar las zonas de las viviendas sociales por las que estos son mayores. El flujo térmico de un elemento se obtuvo multiplicando la transmitancia térmica [W/ m²°C] del elemento constructivo de la envolvente por su respectiva superficie [m²].

El flujo térmico total por transmisión se obtuvo como la suma de los flujos térmicos de todos los elementos de la envolvente. El flujo térmico total de las viviendas se obtuvo multiplicando el factor $Gv2$ [W/m³°C] por el volumen interior de las viviendas. Finalmente el flujo térmico total por convección (ventilación e infiltraciones de aire) se obtuvo como la diferencia entre el flujo térmico total y el flujo térmico total por convección.

2.2.2.3 Cálculo del gasto energético debido a calefacción

El gasto energético debido a calefacción o energía requerida en calefacción por unidad de superficie y total de las viviendas se obtuvieron mediante las ecuaciones (2.8) y (2.9) respectivamente (RODRIGUEZ, 2007).

$$ERC = \left(\frac{24}{1000} \right) \cdot Gv2 \cdot h \cdot GD \quad (2.8)$$

Donde:

- ERC : Energía requerida en calefacción [kW-h/ m²año]
- $Gv2$: Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales [W/m³°C]
- h : Altura de los muros perimetrales por el interior de la vivienda [m]
- GD : Grados/día anuales [°C/año].

$$ERC_{total} = \left(\frac{24}{1000} \right) \cdot Gv2 \cdot V \cdot GD \quad (2.9)$$

Donde:

- ERC_{total} : Energía requerida en calefacción [kW-h/año]
- $Gv2$: Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales [W/m³°C]
- V : Volumen interior de la vivienda [m³]
- GD : Grados/día anuales [°C/año].

Se entiende por grados/día anuales a la sumatoria de las diferencias entre una temperatura base y la temperatura media diaria inferior a la base durante un año. Y la temperatura base

^d Comunicación personal con Gabriel Rodríguez Jaque. Experto en habitabilidad de edificios del IDIEM y Académico del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

es la que se toma como parámetro para el cálculo de confort o requerimientos de calefacción (MINVU y IC, 2006). Para este estudio se consideró una temperatura de 20°C, como la de confort al interior de la vivienda.

El Manual de aplicación reglamentación térmica (MART) entrega rangos de valores para los grados día anuales para siete zonas térmicas del país, valores que son bastante buenos para obtener espesores de aislante requeridos en un elemento constructivo, pero no son exactos para cálculos de energía requerida en calefacción (ERC). Por esta razón se utilizaron los valores de grados día anuales entregados por SARMIENTO (2007), donde se entregan valores precisos para calcular ERC en diferentes localidades de Chile para alcanzar una temperatura de 18,3°C, la diferencia para alcanzar la temperatura de confort de 20°C se logra gracias radiación solar de los interiores de la vivienda que se estima eleva la temperatura entre 2 a 3°C (RODRIGUEZ, 2007).

Para la comuna de Buín, lugar de emplazamiento de las viviendas en estudio, se tomó el valor entregado por SARMIENTO (2007) para la ciudad de Santiago, que corresponde a 1641 grados días anuales, tomando como período de calefacción los meses de abril a octubre.

2.2.2.4 Comparación del gasto energético debido a calefacción

Para cumplir a cabalidad con el segundo objetivo específico de este estudio, se compararon los resultados obtenidos de energía requerida en calefacción (ERC) de las viviendas sociales con una vivienda tradicional de ladrillo. Además se consideró de interés ampliar la comparación a una tercera alternativa consistente en una propuesta de terminación de las viviendas sociales SCMI en estudio.

La vivienda de ladrillo considera una edificación con igual arquitectura al de las viviendas sociales industrializadas de madera. Los únicos cambios considerados son los siguientes:

- El complejo de muros perimetrales se cambia a muros de ladrillo de 15 cm de espesor en todos los sectores de la vivienda.
- El complejo de techumbre del segundo piso considera la instalación de planchas de yeso-cartón de 10 mm de espesor como cielo del techo

Las demás especificaciones técnicas para pisos, muros interiores, ventanas y puertas se mantienen iguales a las de las viviendas sociales industrializadas de Buín. El detalle de los materiales que forman parte total de la envolvente de la vivienda de tradicional de ladrillo, con sus respectivos espesores y conductividades térmicas se presentan en la tabla 2.8.

Tabla 2.8: Detalle de materiales que componen el complejo de muros y techumbre de la vivienda de ladrillo

Complejo	Zona	Material	espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]
Muros	-	Ladrillo	0,15	0,46
Techumbre 1° piso	Aislación	Poliestireno expandido	0,08	0,043
		Yeso-cartón	0,01	0,24
Techumbre 2° piso	Aislación	Poliestireno expandido	0,08	0,043
		Yeso-cartón	0,01	0,24
	Puente térmico	Pino Radiata	0,15	0,104
		Yeso-cartón	0,01	0,24

El detalle de los elementos de ventanas y puertas se mantiene tal como aparece en la tabla 2.7.

La propuesta de terminación para los muros perimetrales y techumbre del segundo piso de las viviendas sociales SCMI se tomó en cuenta debido a que estas zonas de la envolvente no consideraron la instalación de aislación térmica al momento de entregar las viviendas a los propietarios, y que además se puede convertir en una opción importante de ahorro energético realizando una inversión baja por parte de las actuales familias que viven en las viviendas en estudio. Las especificaciones de la propuesta de terminación son:

- Los muros perimetrales del segundo piso consideran la instalación de planchas de poliestireno expandido (densidad 10 kg/m^3) de 50 mm de espesor, ajustado a la estructura de los paneles compuestos por bastidores de madera. El revestimiento interior consiste en planchas de yeso-cartón de 10 mm de espesor clavadas a la estructura
- Para el revestimiento de cielos en el complejo de techumbre del segundo piso se consideran planchas de yeso-cartón de 10 mm de espesor clavadas directamente a la estructura (El diseño original de la viviendas sociales ya consideró la instalación de aislante térmico)

El detalle de los materiales que forman parte total de la envolvente de la propuesta de terminación de las viviendas sociales SCMI, con sus respectivos espesores y conductividades térmicas se presentan en las tablas 2.9 y 2.10.

Tabla 2.9: Detalle de materiales que componen el complejo de techumbre de la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación del segundo piso

Complejo Techumbre	Zona	Material	espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]
1° piso	Aislación	Poliestireno expandido	0,08	0,043
		Yeso-cartón	0,01	0,24
2° piso	Aislación	Poliestireno expandido	0,08	0,043
		Yeso-cartón	0,01	0,24
	Puente térmico	Pino Radiata	0,15	0,104
		Yeso-cartón	0,01	0,24

Tabla 2.10: Detalle de materiales que componen el complejo de muros de la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación del segundo piso

Complejo Muros	Zona	Material	espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]
1° piso zona seca	Aislación	OSB	0,011	0,106
		Poliestireno expandido	0,026	0,043
		Cámara de aire	0,044	-
		Yeso-cartón	0,01	0,24
	Puente térmico	OSB	0,011	0,106
		Pino Radiata	0,07	0,104
Yeso-cartón		0,01	0,24	
1° piso zona húmeda	Aislación	OSB	0,011	0,106
		Poliestireno expandido	0,026	0,043
		Cámara de aire	0,044	-
		Fibrocemento	0,004	0,22
	Puente térmico	OSB	0,011	0,106
		Pino Radiata	0,07	0,104
Fibrocemento		0,004	0,22	
2° piso	Aislación	OSB	0,011	0,106
		Poliestireno expandido	0,05	0,043
		Cámara de aire	0,044	-
		Yeso-cartón	0,01	0,24
	Puente térmico	OSB	0,011	0,106
		Pino Radiata	0,07	0,104
Yeso-cartón		0,01	0,24	

El detalle de los elementos de ventanas y puertas es el que aparece en las tablas 2.7.

Para el cálculo de las resistencias térmicas totales y transmitancias térmicas para las alternativas de la vivienda de ladrillo y de la propuesta de terminación, se realizó el mismo procedimiento descrito para las viviendas sociales industrializadas en 2.2.2.1, utilizando las ecuaciones (2.2), (2.3), (2.4) y (2.5) según correspondió en función de la configuración de materiales de los elementos que conforman la envolvente.

De igual forma, el cálculo de los coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas y de el gasto energético debido a calefacción para la vivienda de ladrillo y la propuesta de terminación se obtuvieron según se especifica en 2.2.2.2 y 2.2.2.3 respectivamente.

Finalmente las comparaciones se basaron en los valores obtenidos para los factores G y en la energía requerida en calefacción obtenidos para los tres tipos de vivienda.

2.2.2.5 Comportamiento higrotérmico

Se realizó un análisis para determinar el riesgo de condensación utilizando la norma NCh 1971.Of86: “Aislación térmica – Cálculo de temperaturas en elementos de construcción.”

El riesgo de condensación al interior de una vivienda depende de la temperatura superficial por el lado interior de los elementos que conforman la envolvente y de la cantidad de vapor de agua que existe dentro de la edificación. La temperatura superficial interior de los elementos se obtuvo utilizando la ecuación (2.10) (RODRIGUEZ, 2007).

$$t_{si} = t_i - U \cdot R_{si} \cdot (t_i - t_e) \quad (2.10)$$

Donde:

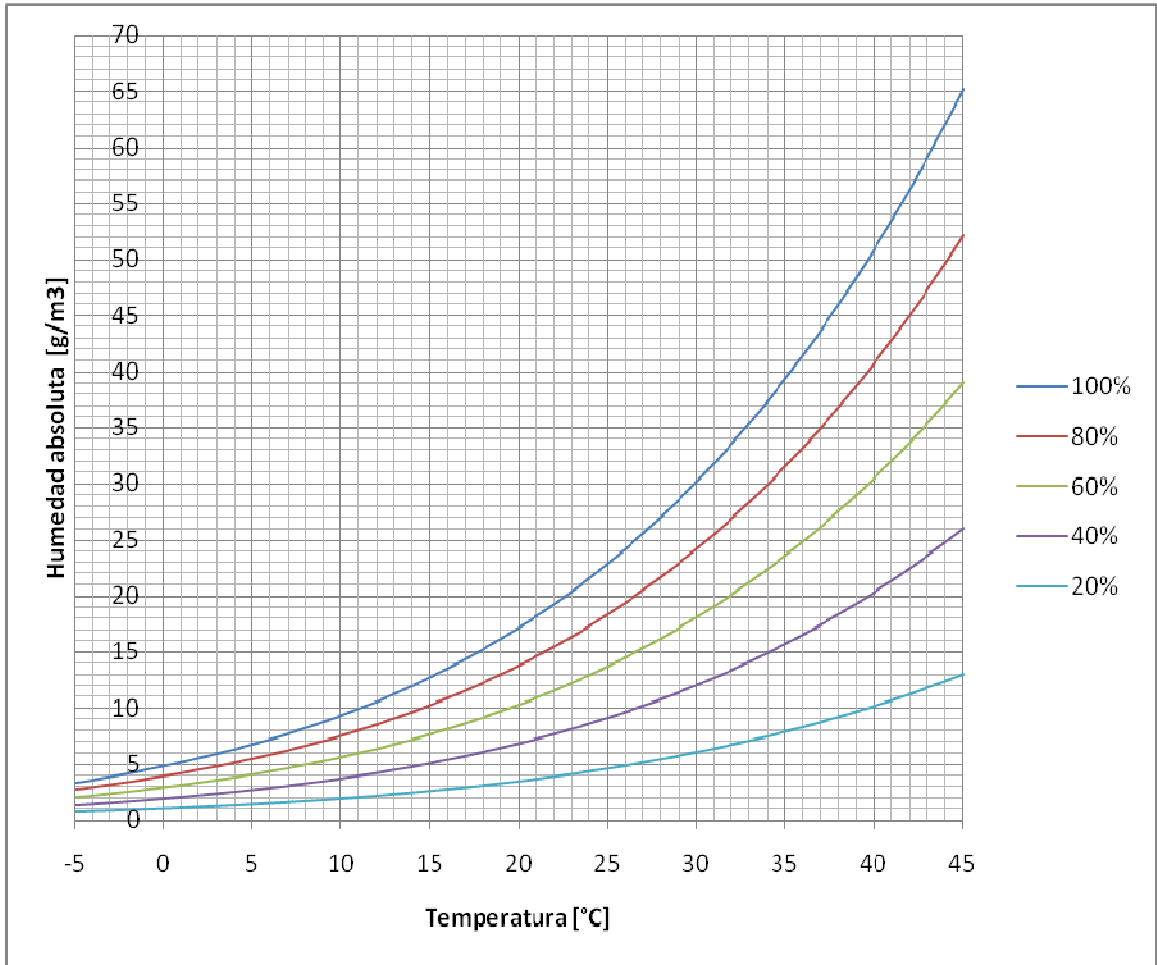
- t_{si} : Temperatura superficial interior [°C]
- t_i : Temperatura interior del recinto [°C]
- t_e : Temperatura exterior [°C]
- U : Transmitancia térmica del elemento [W/ m²°C]
- R_{si} : Resistencia superficial interior [m²°C/W]

Se tomó 20°C como temperatura interior. Además para las condiciones exteriores se tomaron los datos del mes más frío (julio) para Santiago según la norma NCh 1079.Of77, tomando una temperatura media de 7,9°C y una humedad relativa del 79%.

Obtenida la temperatura superficial interior de toda la envolvente, se comparó con la temperatura de rocío de cálculo para el aire interior, la que depende de la temperatura interior (20°C) y de la humedad relativa del aire (79%). Esta temperatura de rocío se obtuvo de un diagrama de aire húmedo (ver figura 2.9).

Si la temperatura superficial interior de un elemento constructivo es menor o igual a la temperatura de rocío, entonces existe riesgo de condensación para las condiciones ambientales consideradas.

Figura 2.9: Diagrama de aire húmedo



Fuente: Elaboración propia en base a datos de punto de rocío entregados por RODRIGUEZ

Además se cuantificó la cantidad de vapor de agua que se produce por el uso de una vivienda considerando una secuencia de actividades que realiza una familia compuesta por cinco personas (cantidad de habitantes promedio por vivienda SCMI de Buín). La idea de realizar esta cuantificación es tener una referencia de la cantidad de vapor de agua que se produce al interior de una vivienda en condiciones cotidianas de uso. La tabla 2.11 muestra los gramos de vapor de agua que produce una persona por hora de actividad, variando la intensidad de esta y la temperatura ambiente a la que se efectúa, mientras que en la tabla 2.12 se exponen los valores de producción de vapor de actividades que se realizan en forma cotidiana al interior de una vivienda.

Tabla 2.11: Producción de vapor de agua de una persona según actividad y temperatura ambiente

Actividad	Temperatura ambiente [°C]			
	10	15	20	25
	Producción de vapor [g/h]			
Reposo	36	36	45	66
Trabajo ligero	54	72	110	175
Trabajo normal	66	120	170	205
Trabajo pesado	155	215	300	350

Fuente: GALDAMES, 2001

Tabla 2.12: Producción de vapor de actividades dentro de la vivienda

Actividad	Producción de vapor [g/h]
calefacción combustión húmeda	300
Cocinar para una persona	150
Ducha una persona	150 ^e
Lavado y secado de ropa para una persona	33

Fuente: FUNDACIÓN CHILE, 2003

2.2.2.6 Consideraciones económicas basadas en el comportamiento térmico

Se realizaron algunas consideraciones económicas en base a los valores de gastos energéticos debido a calefacción que se obtuvieron para los tres tipos de viviendas.

Debido a que las viviendas sociales SCMI se construyeron durante el año 2003, estas se encuentran habitadas desde principios del año 2004. El análisis económico que se consideró realizar contempla obtener el gasto económico requerido en calefacción, expresado en pesos chilenos, que han realizado las familias que viven en las viviendas sociales industrializadas de Buín desde el año 2004 hasta el año 2007; y compararlo con los gastos económicos de la vivienda de ladrillo y de la propuesta de terminación del segundo piso.

Como es sabido, el gasto económico que se debe realizar para calefaccionar una vivienda depende del combustible que se utilice para dicho propósito. Por esta razón, para valorizar la energía necesaria en calefacción, primero se obtuvo la cantidad de combustible necesario para asegurar una temperatura de confort (18,3°C) dentro de los tres tipos de vivienda en estudio, utilizando la ecuación (2.11)^f

$$CRC = \frac{860 \cdot ERC}{PC \cdot \eta} \quad (2.11)$$

Donde:

CRC : Combustible requerido en calefacción [unidad de combustible/año]

e La unidad es gramos de vapor de agua por persona [g/persona]

f Equivalente calórico teórico internacional = 860 kcal/kW-h

ERC : Energía requerida en calefacción [kW-h/ m²año]
 PC : Poder calorífico combustible [kcal/unidad de combustible]
 η : Rendimiento del combustible

Se valorizó entonces la cantidad de energía requerida para calefaccionar las viviendas multiplicando la cantidad de combustible requerido por el precio, en pesos chilenos, por unidad de combustible, tal como aparece en la ecuación (2.12):

$$GERC = CRC \cdot Pr \quad (2.12)$$

Donde:

$GERC$: Gasto económico requerido para calefacción [\$/año]
 CRC : Combustible requerido en calefacción [unidad de combustible/año]
 Pr : Precio combustible [\$/unidad de combustible]

Los combustibles más utilizados por las familias que viven en las viviendas sociales SCMI son el kerosene doméstico y el gas licuado, por lo que se analizaron estas dos situaciones que son representativas del conjunto habitacional.

El poder calorífico, densidad y rendimiento^g de los combustibles que se utilizaron en el análisis económico aparecen en la tabla 2.13.

Tabla 2.13: Poder calorífico por unidad de combustible

Combustible	Poder calorífico [kcal/kg]	Densidad [Ton/m ³]	Rendimiento
Kerosene	11100	0,81	0,9
Gas licuado	12100	0,55	0,95

Fuente: CNE, 2008a

El rendimiento de los combustibles fue considerado para estufas corrientes (sin salida de emisiones al exterior de la vivienda) debido a que son el tipo utilizado por las familias del conjunto habitacional en estudio. Existen estufas ambientales que presentan sistemas de evacuación de emisiones contaminantes hacia el exterior, donde el rendimiento de estos calefactores es menor debido a la pérdida de calor que se produce por el contacto con el medio ambiente. Para el caso de una estufa ambiental a parafina el rendimiento es de 65%, mientras que para gas licuado varía entre 65-70%. (RODRIGUEZ, 2007)

El precio de los combustibles entre los años 2004 y 2007 se obtuvo de las estadísticas publicadas por la Comisión Nacional de Energía (CNE), tomando el precio promedio al consumidor de los combustibles en la Región Metropolitana. Estos aparecen en la tabla 2.14.

^g Los rendimientos se obtuvieron de RODRIGUEZ (2007). Cabe señalar que estos rendimientos son teóricos, es decir en condiciones ideales de uso, por lo que en la práctica los valores entregados en la tabla 2.13 van a variar (siendo menores a los expuestos) en función de las condiciones de uso y mantención de la estufa por parte de los propietarios.

Tabla 2.14: Precio promedio al consumidor de los combustibles en la Región Metropolitana

Combustible	Año			
	2004	2005	2006	2007
Precio Kerossene [\$/l]	319	395	437	458
Precio Gas licuado [\$/kg]	603	650	697	765

Fuente: CNE, 2008b.

Se compararon los gastos económicos necesarios para calefaccionar, entre los tres tipos de vivienda, para las dos situaciones de combustible.

2.2.2.7 Comportamiento térmico y energético en diferentes localidades de Chile

Se consideró interesante analizar si la vivienda social SCMI cumple con la segunda etapa de la reglamentación térmica para edificios habitacionales que comenzó a regir en enero de 2007 en nuestro país, y los resultados se compararon con una vivienda de albañilería tradicional de ladrillo.

La nueva exigencia señala que todas las viviendas deben cumplir con exigencias de acondicionamiento térmico en los complejos de techumbre, muros y pisos ventilados entendidos como elementos constituyentes de la envolvente de una vivienda. Estos elementos deberán tener una transmitancia térmica U igual o menor, o una resistencia térmica total R_t 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 (MINVU) y a lo especificado en el artículo 4.1.10 de la OGUC según aparece en la tabla 2.15 (MINVU y IC, 2006).

Tabla 2.15: Transmitancia térmica máxima o Resistencia térmica total mínima para la envolvente de una vivienda según artículo 4.1.10 de la OGUC

ZONA TÉRMICA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U	R_t	U	R_t	U	R_t
	W/m^2K	m^2K/W	W/m^2K	m^2K/W	W/m^2K	m^2K/W
1	0,84	1,19	4	0,25	3,6	0,28
2	0,6	1,67	3	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,7	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,6	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,5	2
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4	0,6	1,67	0,32	3,13

Fuente: MINVU y IC, 2006

Una de las alternativas para cumplir con lo señalado en la tabla 2.16 es la mediante la incorporación de un material aislante etiquetado con el $R100^h$. Se debe especificar y colocar un material aislante térmico, incorporado o adosado, al complejo de techumbre, al complejo

^h Según la norma NCh 2251: $R100$ = valor equivalente a la Resistencia Térmica (m^2K / W) multiplicado por 100.

de muro, o al complejo de piso ventilado cuyo R100 mínimo de conformidad a lo indicado en la tabla 2.16.

Tabla 2.16: Valores R100 mínimo para el material aislante según zona térmica

ZONA TÉRMICA	R100 TECHUMBRE	R100 MUROS	R100 PISOS VENTILADOS
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: MINVU y IC, 2006

Se compararon la vivienda social SCMI (con la terminación del segundo piso) con la alternativa de ladrillo tal como se especifica en el punto 2.2.2.4 emplazadas en cada una de las siete zonas consideradas en la OGUC y que aparecen en el “Manual de Aplicación Reglamentación Térmica (MART)”. En la vivienda social SCMI se consideró el espesor mínimo de material aislante necesario para cumplir con los valores R100 para muros y techumbre que aparecen en la tabla 2.16. El material aislante considerado fue poliestireno expandido de densidad 10 kg/m^3 .

Se obtuvieron los valores de resistencia térmica total para muros y techumbre, los valores de los factores Gv1 y Gv2, la energía requerida en calefacción, y el gasto económico requerido en calefacción usando el combustible de mayor uso en cada localidad considerada para el análisis. Se comparó el ahorro energético en términos porcentuales entre ambas viviendas.

Las localidades consideradas para el análisis son las que aparecen en la tabla 2.17, identificando la zona térmica a la cual pertenece según el MART y los grados día anuales para el período de calefacción correspondiente a cada localidad.

Tabla 2.17: Localidades de Chile considerados como lugares de emplazamiento de la vivienda social SCMI

Localidad	Zona Térmica	Grados/día anuales [°C]	Período de calefacción
Arica	1	0	Ninguno
Antofagasta	1	520	Junio - Septiembre
Copiapó	1	1084	Mayo - Octubre
Los Andes	3	1414	Abril - Octubre
Valparaíso	2	1173	Abril - Octubre
Santiago	3	1642	Abril - Octubre
Talca	4	1565	Abril - Octubre
Concepción	4	2214	Marzo - Diciembre
Temuco	5	2307	Marzo - Diciembre
Puerto Montt	6	2711	Marzo - Diciembre
Coyhaique	7	3521	Enero - Diciembre
Punta Arenas	7	4268	Enero - Diciembre

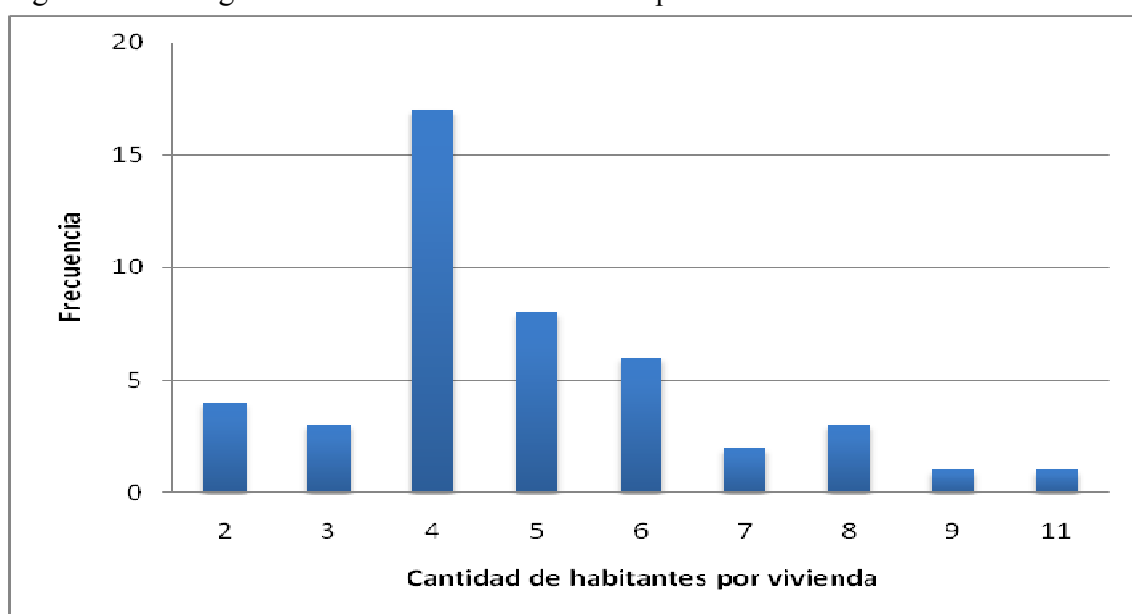
Fuente: SARMIENTO, 2007

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evaluación del bienestar habitacional de las viviendas

De los datos obtenidos mediante la aplicación de la encuesta en las 45 viviendas sociales SCMI de Buín, se obtuvo que la cantidad de habitantes promedio por vivienda fue de 4,9 personas (ver figura 3.1), mientras que el tiempo de residencia promedio de los encuestados fue de 3,7 años.

Figura 3.1: Histograma de la cantidad de habitantes por vivienda social SCMI



La distribución de la muestra correspondiente a las 45 viviendas sociales SCMI encuestadas para este estudio, se puede observar en la figura 3.2. En relación a los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la encuesta, en la figura 3.3 se pueden observar los puntajes promedio para cada una de las catorce preguntas de la encuesta de bienestar habitacional. El detalle de las estadísticas se encuentra en el Apéndice II.

Figura 3.2: Distribución de la muestra de viviendas sociales SCMI encuestadas.



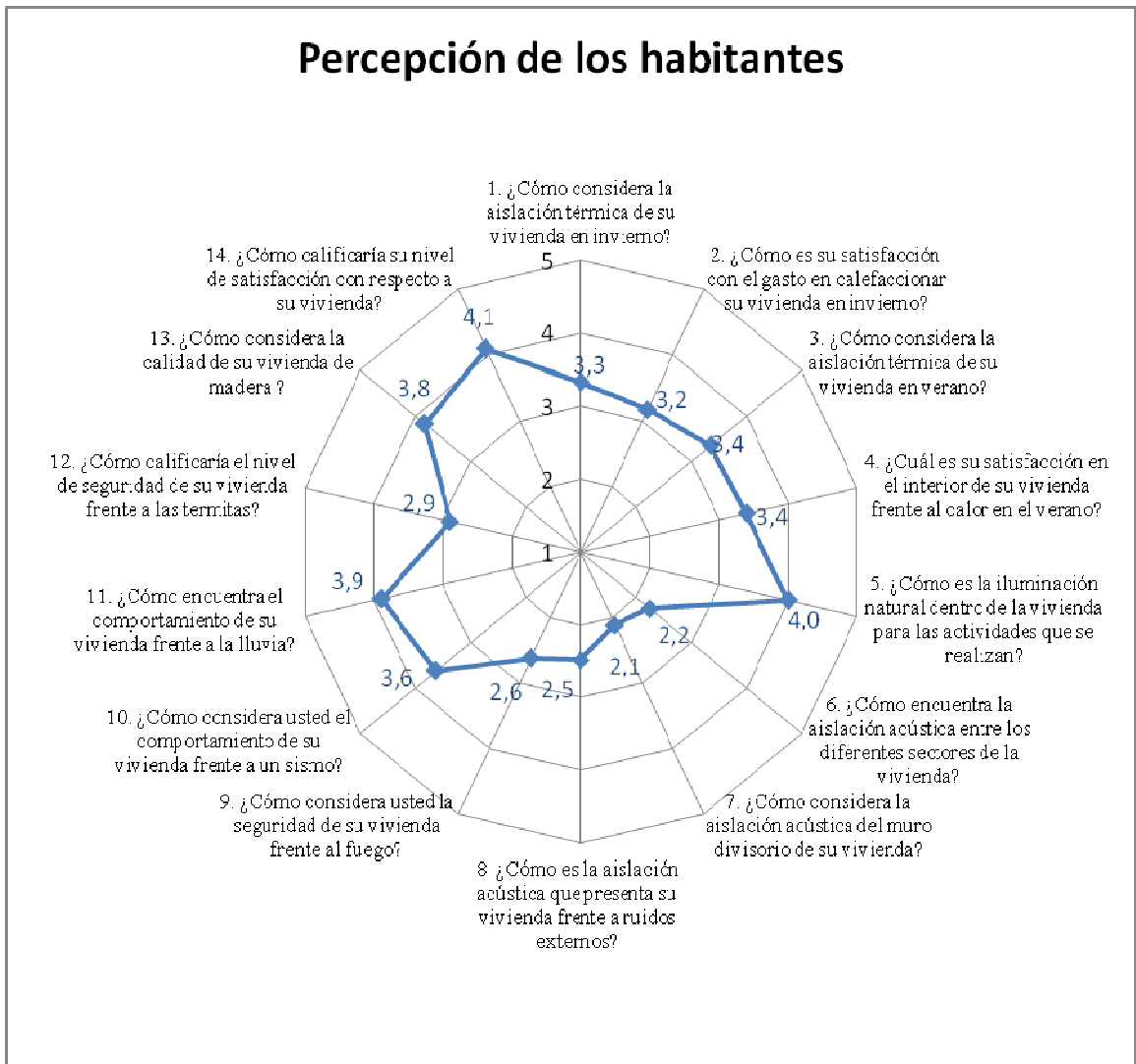
Fuente: Google Earth 2007

De los puntajes promedio para cada pregunta de bienestar habitacional obtenidos de la encuesta (ver figura 3.3), se puede apreciar la percepción de los jefes de hogar encuestados hacia los factores consultados. Las preguntas relativas al factor térmico obtuvieron puntajes promedios entre 3,2 y 3,4 puntos, lo que significa que la evaluación es entre regular y buena (Ver tabla 2.2). Mientras que la iluminación natural de las viviendas sociales SCMI es considerada como buena, ya que el puntaje promedio es de 4 puntos. Por otra parte, la percepción de los habitantes en relación a la aislación acústica de sus viviendas, en general tiende a ser mala (cercana a los 2 puntos).

En relación a la seguridad de las viviendas frente a incendios sismos y otros, se puede ver que la actitud de los encuestados a la pregunta relacionada a la seguridad frente al fuego que entregan sus viviendas es entre regular y mala, mientras que la seguridad frente a los sismos es evaluada en un punto intermedio entre regular y buena. También la seguridad de las viviendas frente a la lluvia tiende ser considerada como buena por sus habitantes. Finalmente en relación la percepción de seguridad frente a las termitas esta es evaluada sólo como regular (ver figura 3.3).

Relacionado con la satisfacción de los jefes de hogar frente a sus viviendas, se observa que la calidad de las viviendas sociales SCMI tiende a ser considerada como buena; de forma similar el nivel satisfacción de los habitantes tuvo una buena evaluación.

Figura 3.3: Puntaje promedio obtenido para cada pregunta de la encuesta de bienestar habitacional de las viviendas sociales SCMI



El coeficiente de confiabilidad obtenido para la encuesta de bienestar habitacional fue de 0,93; lo que indica una alta confiabilidad del instrumento de medición. Un análisis detallado, en cuanto a las causas de la evaluación hecha por los jefes de hogar sobre sus viviendas a través de la encuesta de bienestar habitacional se encuentra en los apartados 3.1.1 al 3.1.5.

3.1.1. Factor térmico

El confort térmico que necesitan las familias al interior de sus hogares depende de diversos factores, entre los principales se encuentra la temperatura, la humedad y la velocidad del aire al interior de la vivienda. Una persona, para estar térmicamente confortable, no debe sentir ni mucho frío ni mucho calor, es una sensación que varía ligeramente de acuerdo a

cada individuo, dependiendo de su metabolismo, de la edad, del sexo, de la contextura física, de la alimentación, del nivel de actividad física, del grado de aislamiento de la ropa, etc. Entonces el confort térmico se basa en la existencia de un equilibrio entre las ganancias y las pérdidas térmicas del cuerpo, donde la vivienda cumple la función de entregar las condiciones de confort adecuadas para el desarrollo de la actividad correspondiente. Se sabe que para lograr esto la temperatura de confort que se debe mantener al interior de la vivienda está en el rango de 17-24°C dependiendo de la humedad relativa del aire y de la velocidad del aire del recinto (RODRIGUEZ, 2006).

Los factores que se deben considerar para que la vivienda entregue condiciones de confort térmico adecuadas son los que menciona FUNDACIÓN CHILE *et al.* (2004), y que forman parte del factor térmico de bienestar habitacional:

- El clima del lugar de emplazamiento
- La orientación de la vivienda y el control de asoleamiento y radiación
- La materialidad de la envolvente de la vivienda
- La presencia de humedad al interior
- El tipo de calefacción que se utiliza al interior
- La ventilación

Como ya se mencionó, las viviendas en estudio se encuentran emplazadas en la comuna de Buín, lugar que pertenece a la zona climático habitacional Central Interior según la NCh 1079.Of77. Esta zona es de clima mediterráneo, con temperaturas templadas; los inviernos duran entre cuatro a cinco meses. Además la insolación es intensa en verano especialmente, y el viento procede del suroeste. En verano la temperatura media para el mes de enero es de 20,7°C con una oscilación diaria de 17°C, considerada como alta, y una humedad relativa del aire que alcanza el 57% ; mientras que para el invierno la temperatura media es de 7,9°C con una oscilación diaria de 11,3°C y una humedad relativa del aire del 79% (INN, 1977). Este clima hace necesario utilizar sistemas de calefacción en invierno y de refrigeración en algunas etapas del verano para alcanzar condiciones de confort al interior de las viviendas.

En cuanto a la orientación de las viviendas, en nuestro país las soluciones habitacionales repetitivas en el diseño de las viviendas no consideran la orientación como variable de diseño para optimizar la captación de energía solar, tal como ocurre con el conjunto habitacional en estudio. Esto se torna muy importante durante el período de invierno, ya que se pueden obtener importantes ganancias térmicas debido a la correcta orientación de elementos captadores y acumuladores de calor, como lo son las ventanas y los muros respectivamente (FUNDACION CHILE *et al.*, 2004). En relación al control de asoleamiento y la radiación solar, son los habitantes los que manejan esta situación por medio de diferentes elementos tales como cortinas, cobertizos y sombras verdes.

La influencia de la materialidad de la envolvente de las viviendas sociales en estudio sobre el confort térmico de sus habitantes se analiza en extenso en el apartado 3.2.

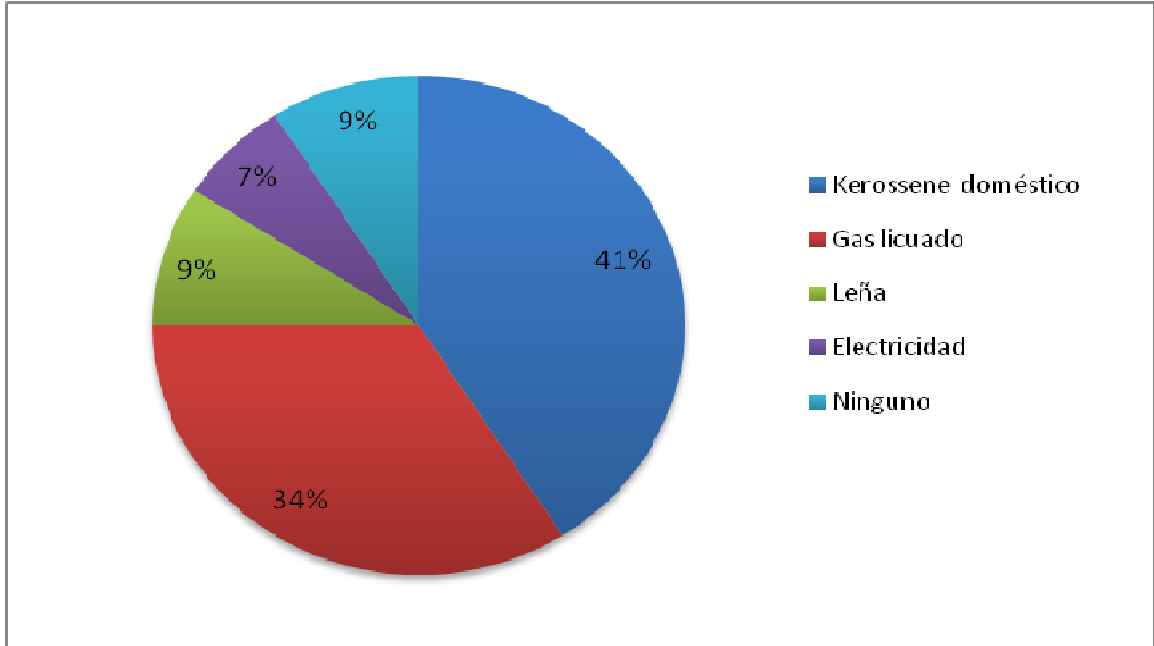
En relación a los problemas de humedad dentro de una vivienda, estos se consideran como serios ya que influyen en la durabilidad, confort y en la calidad de vida que una vivienda puede entregar a sus moradores (GALDAMES, 2001). Para el caso de las viviendas sociales SCMI, esta problemática se vuelve aún más seria, ya que con el tiempo la presencia constante de humedad puede producir severos problemas en la madera que forma parte de la estructura, tales como pudrición, deformación, hinchamiento; y un aumento de la conductividad térmica del material. Las humedades pueden clasificarse según su origen en humedad de construcción; humedad proveniente del suelo; humedades accidentales; humedades de condensación; y humedades de lluvias. Cada una de estas patologías tienen diferentes soluciones, por lo que es importante diagnosticar correctamente el problema (RODRIGUEZ, 2007).

Las humedades más frecuentes son las de condensación debido a que se producen por el uso de la vivienda en actividades como lavar, secar, planchar, cocinar, calefaccionar, etc., y son las que se analizan en detalle en el apartado 3.2.3. De los otros tipos de humedades se puede destacar que para las viviendas industrializadas de madera, la humedad de construcción no existe, ya que los componentes de las vivienda se producen en una fábrica en un ambiente seco para luego ser llevadas al lugar de emplazamiento; por el contrario de lo que ocurre en la construcción de las viviendas tradicionales de albañilería, donde la presencia de agua forma parte del proceso constructivo.

Como ya se señaló, debido al clima del lugar de emplazamiento de las viviendas sociales en estudio, es necesario el uso de calefacción durante el invierno para alcanzar una temperatura de confort. Como consecuencia de esto, el tipo de combustible que se utiliza para calefaccionar juega un rol importante en la calidad de vida de las familias. El combustible utilizado en la calefacción de una vivienda influye en forma importante en el nivel de contaminación intradomiciliaria, en la producción de vapor al interior de la vivienda, y en el presupuesto económico familiar. En relación a este tema y como parte de la encuesta se consultó sobre el tipo de calefacción que utilizan las familias en sus viviendas, obteniendo como resultado lo que se observa en la figura 3.4.

El kerosene doméstico o parafina es utilizado en el 41% de las viviendas encuestadas. Le sigue el gas licuado con un 34%, la leña con un 9% y finalmente la electricidad utilizada en un 7% de las viviendas. Además un 9% de los jefes de hogar encuestados declararon utilizar ningún tipo de combustible, ya que se sienten conformes con la temperatura al interior de sus viviendas en invierno o por temor a manipular de mala forma combustibles dentro de su hogar.

Figura 3.4: Tipo de combustible utilizado para calefaccionar las viviendas sociales SCMI



De los tipos de combustible utilizados por las familias que viven en las viviendas sociales SCMI, el 84% de los hogares encuestados utiliza combustibles contaminantes (parafina, gas licuado y leña) en la calefacción de sus hogares. Un estudio sobre contaminación intradomiciliaria realizado en un sector de extrema pobreza de la zona sur de la Región Metropolitana, concluyó que la mayoría de las viviendas que utilizan como combustible parafina, gas licuado, leña y carbón, están expuestas a altos niveles de contaminantes generados al interior de los hogares debido a la calefacción (monóxido de carbono (CO), de material particulado respirable (PM₁₀), dióxido de azufre (SO₂) entre otros), y que la exposición a estos contaminantes pueden manifestar efectos negativos y permanentes en la salud de sus moradores (CACERES *et al.* 2001)

Por ventilación se entiende la renovación de aire de los locales ocupados por el hombre por razones de higiene. La renovación de aire implica considerar ventilación artificial por medio de aparatos especialmente diseñados para ese propósito como lo son los ventiladores; y la ventilación natural que considera la renovación del aire interior por métodos naturales que pueden corresponder a fenómenos de convección natural y a diferencias de presiones en el aire ambiente. En los dos casos se producen desplazamientos de masas de aire, que al ser consideradas en el diseño arquitectónico en forma adecuada, pueden satisfacer las necesidades de ventilación de un recinto (SARMIENTO, 2007). Las viviendas sociales SCMI presentan un adecuado número mecanismos para controlar la cantidad de renovaciones de aire. Hay ventanas en cada sector de la vivienda: piezas, estar-comedor, baño y cocina; lo que permite una buena ventilación del interior en forma controlada. Sin embargo en el segundo piso la ventilación resulta excesiva debido a los intersticios presentes en los encuentros entre techumbre y los paneles perimetrales, zonas por las cuales no se puede controlar la cantidad de renovaciones de aire. La figura 3.5 muestra como una familia utilizó papel para controlar el exceso de ventilación producida

por los intersticios entre techumbre y paneles perimetrales

Este problema de exceso de ventilación que ocurre en el segundo piso, se puede subsanar en forma simple instalando como cielo planchas de yeso-cartón clavadas a la estructura de techumbre, sellando los intersticios que provocan el problema.

Figura 3.5: Control provisional del exceso de renovaciones de aire en el segundo piso de las viviendas sociales SCMI



En relación a la percepción de los jefes de hogar encuestados sobre lo relacionado al confort térmico que entregan las viviendas sociales SCMI de Buín, esta se puede observar en la figuras 3.6 a la 3.9.

De la figura 3.6 se puede observar que un poco más de la mitad de los jefes de hogar considera como buena y muy buena la aislación térmica de su vivienda en invierno, mientras que el 24% la considera sólo como regular; y los que la consideran mala y muy mala alcanzan a un 25%. Por otra parte el gasto en calefacción de la vivienda durante el invierno es considerado como bueno y muy bueno por el 43% de los encuestados, y calificado como malo y muy malo por el 26%; mientras que el restante 31% de los jefes de hogar lo considera como regular (ver figura 3.7).

Figura 3.6: Gráfica circular de los resultados de la primera pregunta relacionada al factor térmico

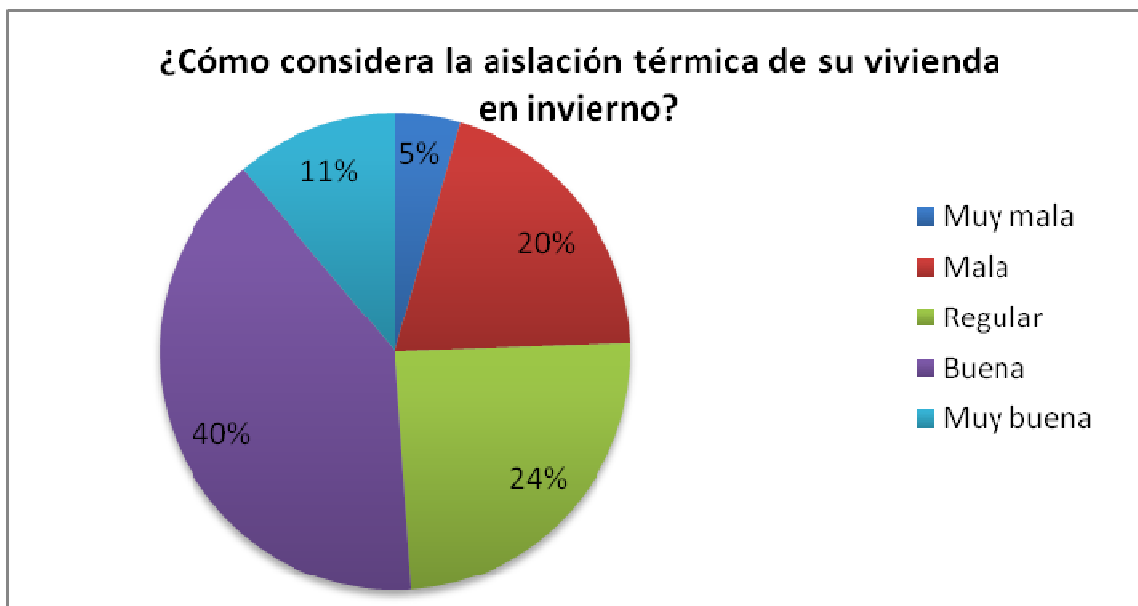


Figura 3.7: Gráfica circular de los resultados de la segunda pregunta relacionada al factor térmico



Para la condición de verano, la cantidad de habitantes que considera la aislación térmica de las viviendas como buena y muy buena es un 49%, semejante a la percepción para la condición de invierno; mientras que los que la consideran mala y muy mala baja de un 25% a un 15% realizando la misma comparación. Sin embargo la cantidad de jefes de hogar que considera regular la aislación térmica en verano es de un 36%, doce puntos porcentuales más que para la condición de invierno (ver figuras 3.6 y 3.8). La satisfacción en el interior

de la vivienda frente al calor en el verano, es una pregunta similar a la referida a la aislación térmica en verano; en ambas preguntas la percepción de los encuestados fue semejante, destacando que ninguno de los jefes de hogar consideró como muy mala la satisfacción en el interior de la vivienda frente al calor en el verano (ver figura 3.9)

Figura 3.8: Gráfica circular de los resultados de la tercera pregunta relacionada al factor térmico



Figura 3.9: Gráfica circular de los resultados de la cuarta pregunta relacionada al factor térmico



En general se puede apreciar, al analizar la percepción de los habitantes frente a las cuatro preguntas relativas al factor térmico del bienestar habitacional, que la proporción que calificó como buena y muy buena fue mayor a la proporción que consideró como mala y muy mala en cada una de las preguntas; sin embargo el porcentaje que calificó como regular siempre fue bastante significativo en todas las preguntas.

Es evidente que la percepción de los habitantes sobre el factor térmico de sus viviendas puede mejorar al realizar una terminación adecuada del segundo piso. El apartado 3.2 analiza en forma completa los beneficios térmicos y energéticos que se obtienen de realizar una terminación del segundo piso propuesta para las viviendas sociales SCMI. De las familias encuestadas, se obtuvo que sólo tres (6.7%) han realizado una terminación adecuada, consistente en la instalación de aislante térmico y revestimiento interior de los muros perimetrales e instalación de cielo para cubrir la estructura de techumbre. De esto último podemos ver que en cuatro años de utilización de las viviendas sociales, sólo un bajo porcentaje ha podido realizar una terminación adecuada para su vivienda, lo que evidencia la falta de capacidad económica de las familias para poder acondicionar sus viviendas, recordando que este tipo de viviendas sociales son dirigidas precisamente a grupos sin capacidad ahorro por lo que es conveniente que las soluciones habitacionales que se entreguen tengan las terminaciones adecuadas para garantizar un bienestar térmico en todos los sectores de las viviendas.

3.1.2 Factor iluminación natural

La iluminación natural dentro de una vivienda tiene una gran influencia en la calidad de vida de las personas, tiene ventajas psicológicas en comparación con la iluminación artificial, y afecta en forma considerable el ahorro de energía para mantener un recinto a una temperatura confortable (SARMIENTO, 2007).

Para evaluar el factor de iluminación natural del bienestar habitacional se realizó una pregunta, cuyo resultado se observa en la figura 3.10.

La iluminación natural de las viviendas es considerada como buena y muy buena por el 85% de los habitantes encuestados, considerada como regular por el 13%; mientras que sólo el 2% consideró este factor como malo según la escala de percepción. Además ningún encuestado lo consideró como muy mala la iluminación natural, por lo que se puede apreciar que la percepción de los jefes de hogar es bastante favorable.

Figura 3.10: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada al factor iluminación natural



La iluminación es el flujo luminoso por unidad de área, su unidad de medida es el lux (lx), y depende de la radiación difusa que llega al interior de la viviendaⁱ. Los niveles de iluminación natural recomendados al interior de un recinto o vivienda varían entre 250 y 500 lx (SARMIENTO, 2007).

Según mediciones realizadas como parte del proyecto de investigación FONDEF/CONICYT “Determinación de los estándares de bienestar habitacional, para mejorar la calidad de la construcción de viviendas en Chile”, para la latitud correspondiente a la zona de las regiones Metropolitana y de Valparaíso es suficiente contar con un 10% de superficie de ventanas a fin de obtener niveles de iluminación adecuados al interior de las viviendas (FUNDACIÓN CHILE *et al.*, 2004). Las viviendas sociales en estudio presentan 10,6% de superficie de ventana en relación a la superficie del recinto, por lo que cumplen con lo recomendado. La figura 3.11 muestra la iluminación natural en el estar-comedor de una vivienda en horas de la tarde.

ⁱ Se entiende por flujo luminoso a la cantidad de luz emitida por unidad de tiempo, su unidad es el lumen (lm), y se sabe que $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/ m}^2$. Además la relación entre iluminación y radiación difusa es que $1 \text{ lx} = 106 * \text{Radiación difusa [W/ m}^2\text{]}$.

Figura 3.11: Iluminación natural interior de una vivienda social SCMI de Buín



3.1.3. Factor acústico

La contaminación acústica es uno de los problemas propios de las zonas urbanas, como es sabido las ciudades tienen un alto nivel de ruido, producido principalmente por el desplazamiento y embotellamiento de vehículos, trabajos urbanos, actividades comerciales ruidosas, actividades deportivas, de recreación e industriales. El ruido es un conjunto de sonidos inarticulados de diversa intensidad, desagradable y molesto al oído, y el sonido es un fenómeno mecánico provocado por vibraciones de objetos que hacen que las moléculas del aire oscilen con cierta amplitud o intensidad y a cierta frecuencia (número de oscilaciones por segundo). El oído es sensible a la gama de frecuencias comprendida entre 20 y 20.000 ciclos por segundo (llamados Hertz) (COLLONELLI y RODRIGUEZ, 2007).

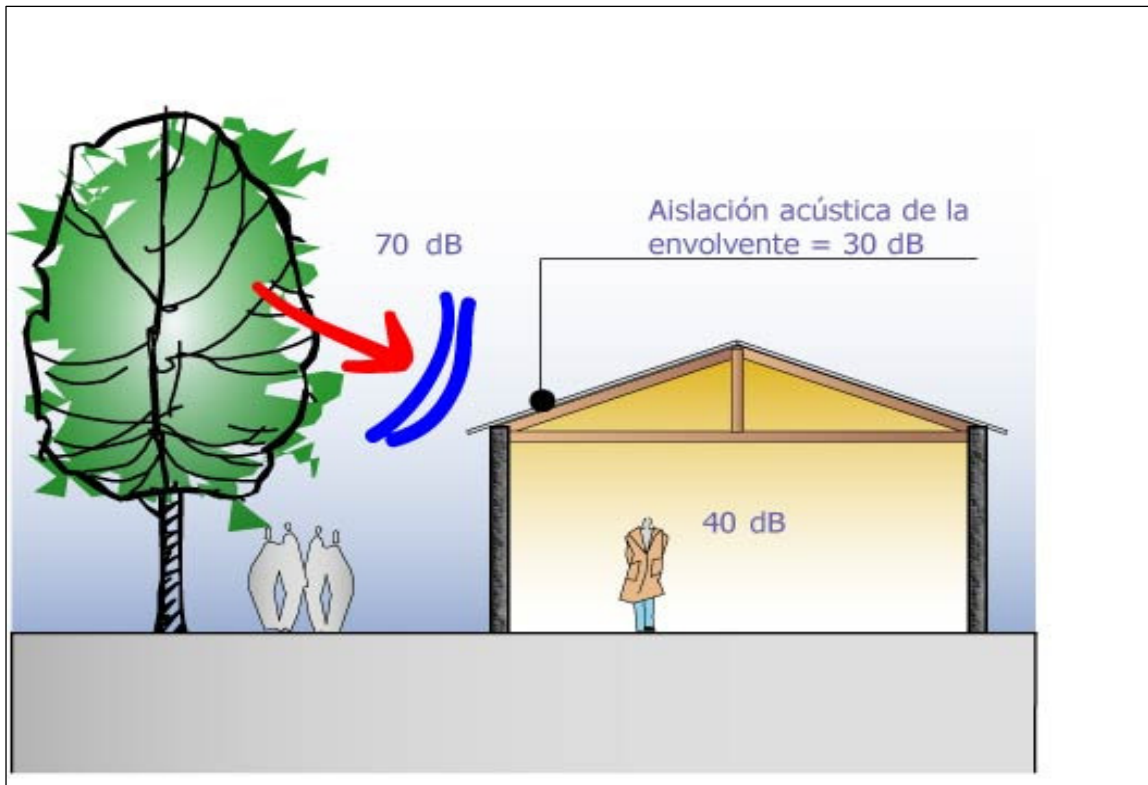
Los ruidos que afectan a las viviendas son de tres tipos: transmisión del ruido externo hacia el interior por vía aérea a través de los elementos que conforman la envolvente de la vivienda; transmisión del ruido propio por vía aérea interior; y transmisión de ruido propio del edificio por vía estructural. De estas tres formas de transmisión la primera es la más importante.

Entre las afecciones típicas que produce el ruido en la salud se encuentran el estrés, fatiga auditiva, pérdida progresiva de la audición, malestar en el aparato digestivo, impacto en el equilibrio, falta de sueño, además de problemas de memoria, aprendizaje y atención (SESMA, 2008). El ruido produce un gran impacto en la salud física y psíquica de las personas; en sus relaciones familiares y sociales; en el valor patrimonial de la vivienda afectada y en los derechos fundamentales a la intimidad (COLONELLI y RODRIGUEZ, 2004)

El ruido exterior o ruido urbano es el que produce la comunidad debido a las actividades propias de la ciudad, y está relacionada directamente con la población, además no es uniforme en el espacio y tiempo. Rodríguez (2002) explica que calles con locomoción colectiva en la Región Metropolitana pueden alcanzar intensidades de ruido que varían entre 80 a 90 dB(A); calles sin locomoción colectiva pero con circulación de autos tienen niveles de 70 -80 dB(A); y calles residenciales con bajo movimiento vehicular presentan 50 a 60 dB(A). En la noche los valores son inferiores a 60 dB(A)

El nivel de ruido al interior de la vivienda es la resultante del nivel de ruido exterior menos la aislación acústica de la envolvente, medido en decibeles (ver figura 3.12), por lo que la capacidad aislante de su envolvente juega un papel muy importante. Según la NCh 352/1.Of2000: “Aislación acústica – Parte 1: Construcciones de uso habitacional – Requisitos mínimos y ensayos” deberían cumplirse los requisitos de aislación acústica que aparecen en la tabla 3.1

Figura 3.12: Ejemplo de aislación acústica de la envolvente



Fuente: COLONELLI y RODRIGUEZ, 2007

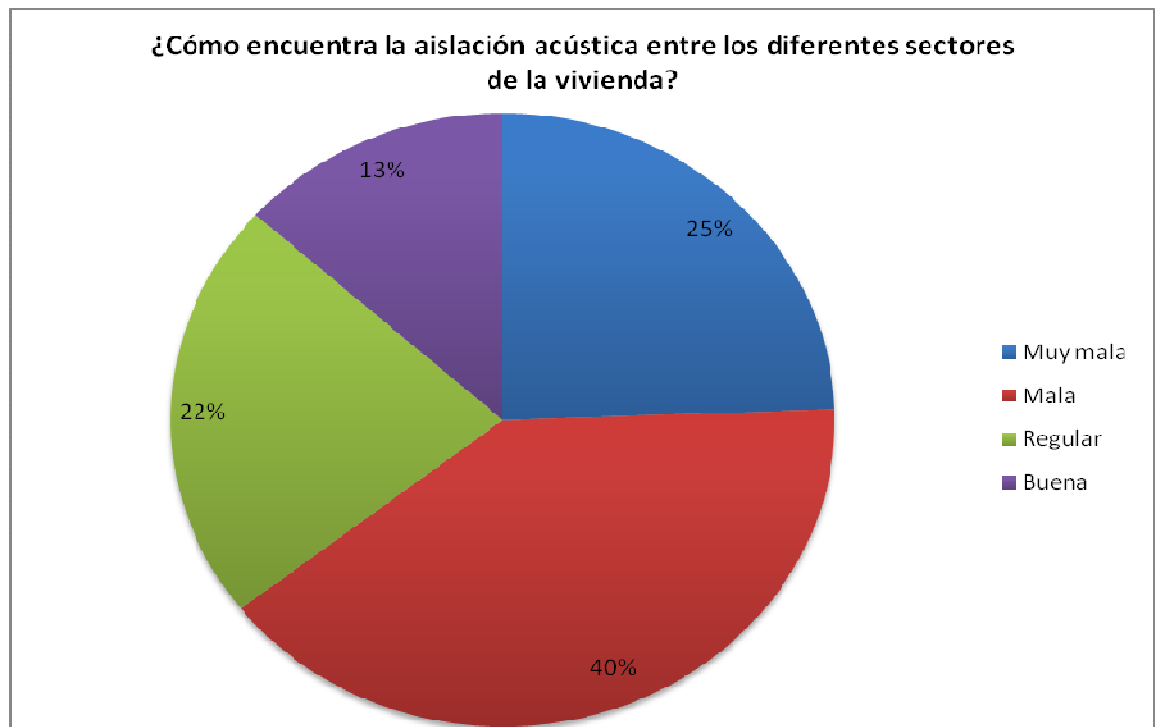
Tabla 3.1: Requisitos de aislación acústica para edificios habitacionales según norma chilena NCh 352/1.Of2000.

Emisor	Receptor	Requisito de aislación dB(A)	Nivel equivalente exterior dB(A)
Exterior	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	Aislación mínima:	
		20	< 60
		25	61-65
		35	66-70
		35	71-75
	NED - 40	> 75	
Vivienda contigua		Aislación mínima:	
		45	no aplicable
Instalaciones sanitarias y mecánicas externas		Nivel de ruido máximo:	
		40	no aplicable
Pasillos y escalera		Aislación mínima:	
		30	no aplicable

Fuente: INN, 2000

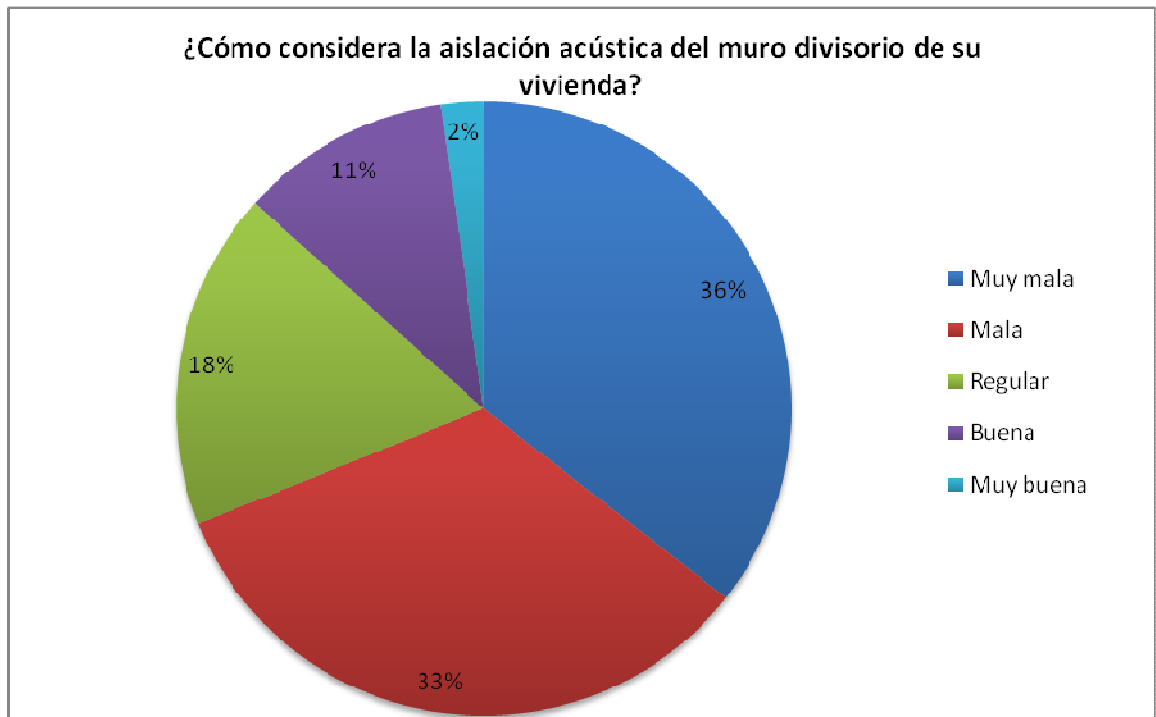
En la encuesta de bienestar habitacional aplicada en las viviendas sociales SCMI de Buín, se realizaron tres preguntas referentes al factor acústico. Los resultados de la percepción que tienen los habitantes sobre el tema se observa en la figuras 3.13 a la 3.15.

Figura 3.13: Gráfica circular de los resultados de la primera pregunta relacionada al factor acústico



La aislación acústica de los muros interiores de las viviendas sociales SCMI, son consideradas como malas y muy malas por el 65% de los jefes de hogar; como regular por el 22%; y el 13% restante la considera buena, nadie calificó como muy buena la aislación acústica entre los sectores al interior de las viviendas (ver figura 3.13).

Figura 3.14: Gráfica circular de los resultados de la segunda pregunta relacionada al factor acústico



Siete de cada diez encuestados considera como mala y muy mala la aislación acústica del muro divisorio y un 18% la considera regular. En tanto la aislación acústica de la vivienda frente ruidos externos es considerada como mala y muy mala por la mitad de los encuestados, y un 36% la considera regular (ver figuras 3.14 y 3.15)

Se puede apreciar entonces, que para las tres preguntas relacionadas con el factor acústico de bienestar habitacional de las viviendas sociales SCMI, los habitantes tienen una mala percepción. En cada pregunta el porcentaje de encuestados que consideró mala y muy mala la aislación acústica fue mayor a los que la consideraron como buena y muy buena. La aislación del muro divisorio fue la peor evaluada, mientras que la aislación acústica frente a ruidos externos fue la que obtuvo mejor puntuación; sin embargo los puntajes promedio siempre estuvieron cercanos a considerarse como malos (ver figura 3.3).

Figura 3.15: Gráfica circular de los resultados de la primera pregunta relacionada al factor acústico

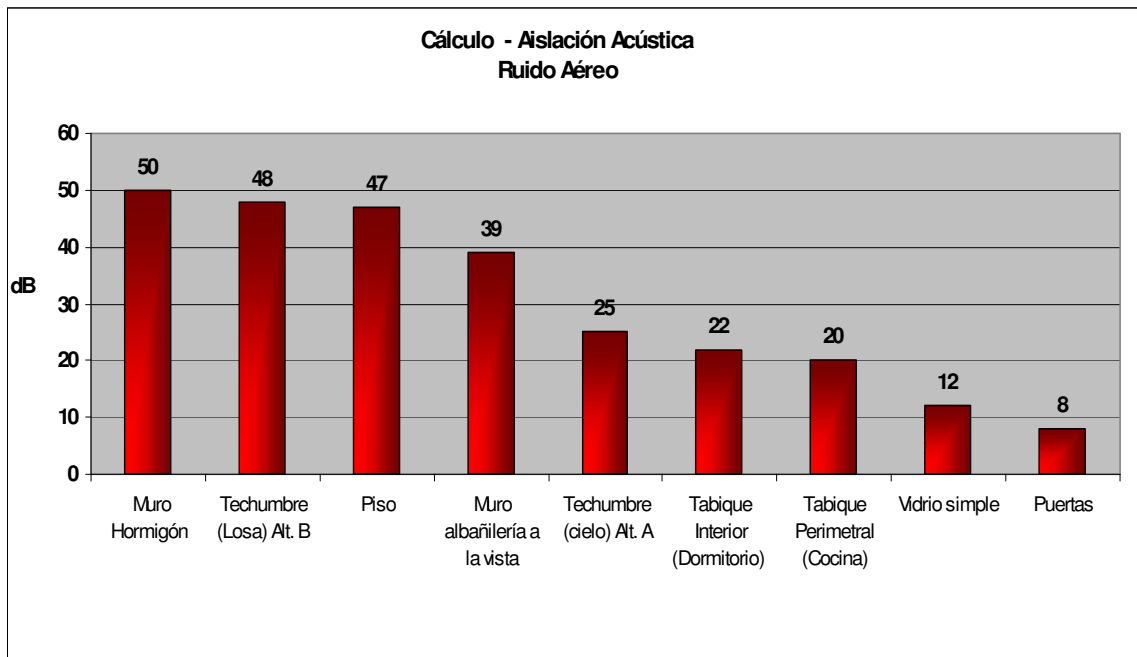


El Sistema Constructivo Modular Industrializado puede presentar un nivel de aislación sonora adecuada para lograr bienestar al interior de una vivienda, sin embargo se debe utilizar una configuración adecuada para lograrlo. La baja masa de los elementos estructurales que forman parte de este sistema constructivo y a los intersticios en su construcción provoca una baja aislación. Además se sabe que los entramados de madera son deficientes en su aislación acústica al ser comparados con elementos de hormigón armado y albañilería de ladrillo, lo que es ratificado por la “ley de masa de la acústica”, que postula que el poder aislante de un elemento, expresado en decibeles, es proporcional al logaritmo de su masa y la frecuencia. (RODRIGUEZ, 2007); es decir, a mayor masa menor transmisión acústica. Sin embargo la ley de masa sólo es aplicable en elementos de masa homogénea y no existe claridad en relación a la aplicación de esta ley en elementos compuestos como los usados como parte del SCMI o entramados de madera en general.

En relación a los entramados de madera y otros elementos compuestos, el comportamiento acústico de estos difiere de los elementos de masa homogénea debido a que interviene el principio de elasticidad, que dice que el nivel sonoro transmitido disminuye cuanto más elástico y flexible sea el material que compone el elemento divisorio, es decir, a mayor elasticidad menor transmisión acústica (GALDAMES, 2001).

En base a cálculos y ensayos de laboratorio realizados por el IDIEM de la Universidad de Chile, se obtuvieron valores de aislación acústica para diferentes elementos constructivos de viviendas, los que aparecen en la figura 3.16.

Figura 3.16: Aislación acústica de elementos constructivos simples al ruido aéreo



Fuente: COLONELLI y RODRIGUEZ, 2004

Según las especificaciones técnicas entregadas por COLONELLI y RODRIGUEZ (2004), los tabiques interior y perimetral, la ventana (vidrio) y la puerta son de similares características a los elementos que conforman las viviendas sociales SCMI de Buín, por lo que los valores que aparecen en la figura 3.18 son una buena aproximación a la aislación que presentan las viviendas en estudio. Las viviendas sociales SCMI de Buín se encuentran emplazadas en un lugar que corresponde a calles residenciales con bajo movimiento vehicular, por lo que se puede estimar que el nivel equivalente exterior de ruido es menor a 60 dB(A). Esto hace suponer que los tabiques perimetrales cumplen con el mínimo de aislación acústica, sin embargo los muros divisorios están muy por debajo del mínimo requerido (ver tabla 3.1). Esto último ayuda a entender la percepción que manifestaron los habitantes encuestados; podemos señalar entonces que las viviendas sociales SCMI presentan un deficiente comportamiento acústico del muro medianero y un suficiente nivel de asilamiento de los ruidos exteriores a la vivienda y entre los recintos de la misma.

Los resultados de comportamiento acústico arrojados por el instrumento de medición aplicado para el presente estudio, concuerda con los resultados obtenidos por instrumentos aplicados con el mismo propósito como parte del Proyecto FONDEF/CONICYT de Bienestar habitacional citado anteriormente; donde se concluye que el comportamiento acústico de viviendas sociales de las regiones Metropolitana y de Valparaíso es considerado como deficiente por sus propios habitantes. Esto se debe principalmente a la escasa preocupación por el comportamiento acústico en el diseño de las viviendas, específicamente en las terminaciones, en la solución de la envolvente, y en la relación de los recintos con las posibles actividades generadoras de ruido tanto exterior como interior (FUNDACIÓN CHILE *et al.*, 2004). Además un estudio acústico de viviendas sociales de albañilería de ladrillo realizado por FERRADA (2003) concluye que los muros medianeros,

falladas y muros interiores de este tipo de viviendas sociales no cumplen con la exigencia de la NCh 352/1.Of2000 sobre aislación acústica; por lo que para la construcción de viviendas sociales en nuestro país, este es un factor de diseño que se debe mejorar en general.

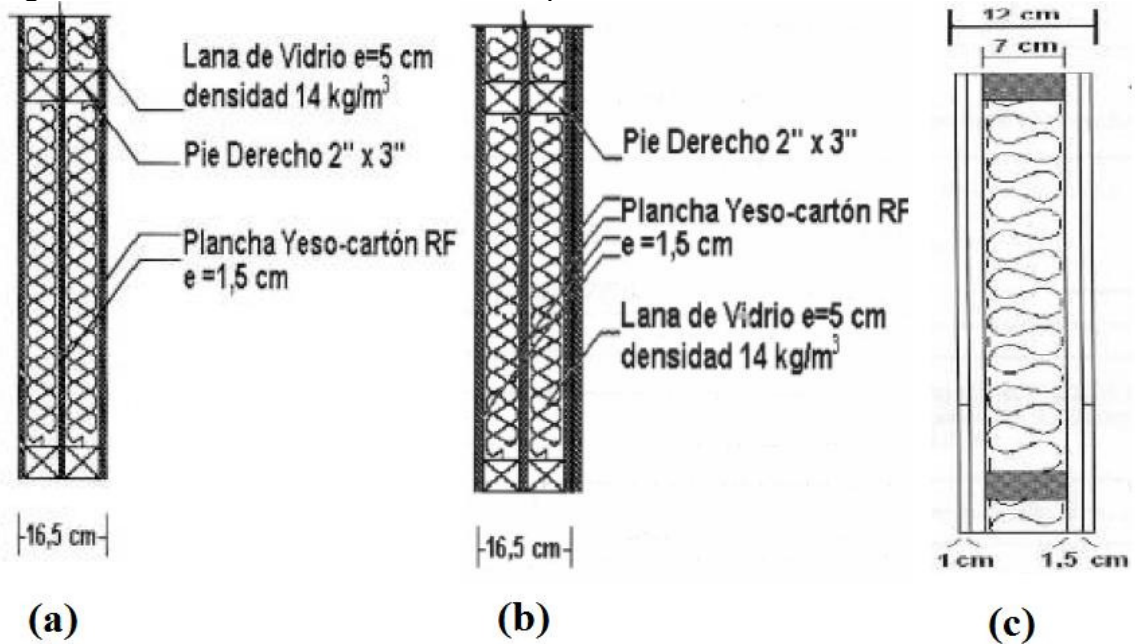
En el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Aislamiento Acústico se presentan tres soluciones de muro divisorio o medianero con estructura de madera que cumplen con la aislación mínima de 45 dB(A) y se encuentran detallados en la tabla 3.2 y figura 3.17 (MINVU, 2008)

Tabla 3.2: Soluciones constructivas para aislamiento acústico muro medianero

Solución	Descripción	Espesor total elemento [mm]	Aislación acústica [dB(A)]
(a) Muro con doble estructura de madera y recubrimiento de planchas de yeso-cartón	Planchas de yeso-cartón tipo RF de 15 mm de espesor; Cámara de aire de 60 mm de espesor con pies derechos de madera cepillada de Pino Radiata 2x3" distanciados entre ejes cada 60 cm; Plancha de yeso-cartón tipo RF de 15 mm de espesor; Cámara de aire de 60 mm de espesor con pies derechos de madera cepillada de Pino Radiata 2x3" distanciados entre ejes cada 60 cm; Plancha de yeso cartón tipo RF de 15 mm de espesor. Los espacios libres en el interior del elemento están rellenos con lana de vidrio de 50 mm de espesor (14 kg/m ³)	165	47
(b) Muro con doble estructura de madera y recubrimiento con doble planchas de yeso-cartón	Planchas de yeso-cartón tipo RF de 15 mm de espesor; Cámara de aire de 60 mm de espesor con pies derechos de madera cepillada de Pino Radiata 2x3" distanciados entre ejes cada 60 cm; Plancha de yeso-cartón tipo RF de 15 mm de espesor; Cámara de aire de 60 mm de espesor con pies derechos de madera cepillada de Pino Radiata 2x3" distanciados entre ejes cada 60 cm; Doble pancha de yeso cartón tipo RF de 15 mm de espesor. Los espacios libres en el interior del elemento están rellenos con lana de vidrio de 50 mm de espesor (14 kg/m ³). Las soleras superior e inferior han sido selladas con espuma de poliuretano y "Sikaflex A1 plus"	180	49
(c) Muro tipo tabique revestidos con doble plancha de yeso-cartón	El tabique está formado por una estructura de madera de Pino Radiata. Consta de dos soleras (superior e inferior) y pies derechos de madera 11/2x3", distanciados entre ejes cada 60 cm. Esta estructuración está forrada por cada una de sus caras con dos planchas de yeso-cartón tipo estándar de 10 y 15 mm de espesor traslapadas. Todas las planchas están clavadas a la estructura de madera con clavos distanciados cada 25 cm. Tal configuración deja espacios libres en el interior del elemento, los cuales están rellenos con lana de vidrio de 60 mm de espesor (14kg/m ³).	120	45

Fuente: MINVU, 2008

Figura 3.17: Soluciones constructivas para aislamiento acústico muro medianero



Fuente: MINVU, 2008

Se puede apreciar en la figura 3.17 que mientras mayor es la masa de la solución, como lo son los muros con doble estructura, mayor es la aislación; es importante señalar que para lograr el comportamiento acústico señalado, las soluciones constructivas deben presentar juntas lo más herméticas posible para evitar la transmisión acústica por esas zonas. Además las tres soluciones constructivas pueden ser producidas en forma industrial bajo el SCMI y pueden ser utilizadas en proyectos de viviendas sociales pareadas, dependiendo del diseño y del costo económico que involucre.

3.1.4 Factor seguridad de la edificación

3.1.4.1 Seguridad de la vivienda frente al fuego

El objetivo que persigue el diseño de edificios contra incendios es dar un tiempo suficiente a los moradores para que puedan ponerse a resguardo antes de que la estructura colapse, además se debe considerar el uso de métodos para minimizar el riesgo de incendio. Para el caso de viviendas con estructura de madera se pueden considerar los siguientes métodos (GAETE, 1993):

- Proteger la madera utilizando revestimientos interiores incombustibles o difícilmente combustibles, como lo son las planchas de yeso-cartón y fibrocemento. Además la madera puede ser protegida mediante retardantes de llama que se aplican mediante proceso de impregnación o en forma superficial

- Utilizar instalaciones y artefactos de alta seguridad contra incendio al interior de la vivienda
- Garantizar un diseño arquitectónico eficiente, considerando suficientes vías de escape en caso de incendio

Según la norma chilena NCh 933.Of97, la resistencia al fuego es la cualidad de un elemento constructivo de soportar las condiciones de un incendio durante cierta cantidad de tiempo. Se mide el tiempo, en minutos, durante el cual el elemento conserva la estabilidad mecánica, el aislamiento térmico, la estanqueidad a las llamas y la no emisión de gases inflamables. De acuerdo al tiempo alcanzado se clasifican según lo establece la norma chilena NCh 935/1.Of97: “Prevención de incendio en edificios – Ensayo de resistencia al fuego- Parte 1: Elementos de construcción en general” (ver tabla 3.3).

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) requiere que los elementos que forman parte de una vivienda alcancen una resistencia al fuego mínima. Las viviendas aisladas, pareadas o continuas, de hasta dos pisos, cuya superficie edificada sea inferior o igual a 140 m², deben tener una resistencia al fuego a lo menos F-15 en todos sus elementos y componentes soportantes, siempre que el muro de adosamiento o muro divisorio cumpla con una resistencia al fuego mínima F-60 (MINVU, 2007b)

Tabla 3.3: Clasificación de resistencia al fuego de elementos de construcción según norma chilena NCh 935/1.Of97

Duración [min]	Clase								
	F-0	F-15	F-30	F-60	F-90	F-120	F-150	F-180	F-240
Mayor o igual	0	15	30	60	90	120	150	180	240
Menor	15	30	60	90	120	150	180	240	

Fuente: INN, 1997b

Una alternativa de análisis de los elementos de una vivienda SCMI, que permite plantear una justificación analítica del comportamiento al fuego de entramados livianos de madera, es el Método Aditivo de Componentes (CAM) que consiste en una metodología para el cálculo analítico de la resistencia al fuego de elementos constructivos estructurales y no estructurales que constituyen parte de muros, pisos y techumbres. Esta metodología fue desarrollada por el Comité de Ensayos al Fuego del National Research Council (NRC) de Canadá, y se basa en una revisión detallada de informes de ensayos normalizados de elementos de tabiquería, estructuras de techumbre y envigados de pisos de madera. Este método entrega tiempos asignados a los elementos que constituyen tabiques estructurales y no estructurales, estructuras de techumbre y envigados de piso. La resistencia al fuego de un elemento constructivo completo se obtiene sumando los tiempo asignado a cada componente del mismo (WAGNER, 2003). Los tiempos asignados para diferentes componentes estructurales son los que aparecen en las tablas 3.4 y 3.5.

Además como resultado de los informes de ensayos realizados por el NRC se confeccionaron una serie de criterios de diseño que ayudan a mejorar el comportamiento de elementos constructivos frente a los incendios. Estos son conocidos como las “Diez Reglas

de Resistencia al Fuego” de Tiber Hamarty y dada su importancia se agregaron en el Anexo III.

Tabla 3.4: Tiempo asignado a revestimientos que actúan como membranas protectoras

Descripción revestimiento	Espesor [mm]	Tiempo asignado [min]
Contrachapado fenólico de Pino Oregón	9,5	5
Contrachapado fenólico de Pino Oregón	12,5	10
Contrachapado fenólico de Pino Oregón	16	15
Yeso-cartón	9,5	10
Yeso-cartón	12,5	15
Yeso-cartón	16	20
Yeso-cartón doble	9,5+9,5	25
Yeso-cartón doble	12,5+9,5	35
Yeso-cartón doble	12,5+12,5	40

Fuente: WAGNER, 2003

Tabla 3.5: Tiempo asignado a componentes estructurales de madera

Descripción estructura de madera	Tiempo asignado [min]
Pies derechos espaciados cada 41 cm	20
Vigas espaciadas cada 41 cm	10
Ensamblado de cerchas de techo y piso espaciadas cada 61 cm	5

Fuente: WAGNER, 2003

Utilizando el CAM, se obtuvo la resistencia al fuego de todos los elementos constructivos que conforman una vivienda social SCMI de Buín (Ver detalle en apéndice III). Se puede observar en la tabla 3.6 que la resistencia al fuego del muro medianero es F-60, y que todos los elementos son clasificados al menos F-15, exceptuando los muros perimetrales o exteriores y la techumbre del segundo piso. Esto se debe a las condiciones “cuasi habitables” en que se entregaron las viviendas, ya que al no estar forrados con un material difícilmente combustible, los entramados de madera pierden su capacidad estructural por el fuego en 8 a 10 minutos dependiendo de las dimensiones de la estructura^j.

Entonces las viviendas sociales SCMI no cumplen con las exigencias mínimas de resistencia al fuego según la OGUC, debido exclusivamente a las condiciones de los muros y techumbre sin terminación del segundo piso. Sin embargo al realizar una terminación similar a la del primer piso de la vivienda, la resistencia al fuego de estos elementos alcanzaría una clasificación F-15, suficiente para cumplir con los estándares requeridos.

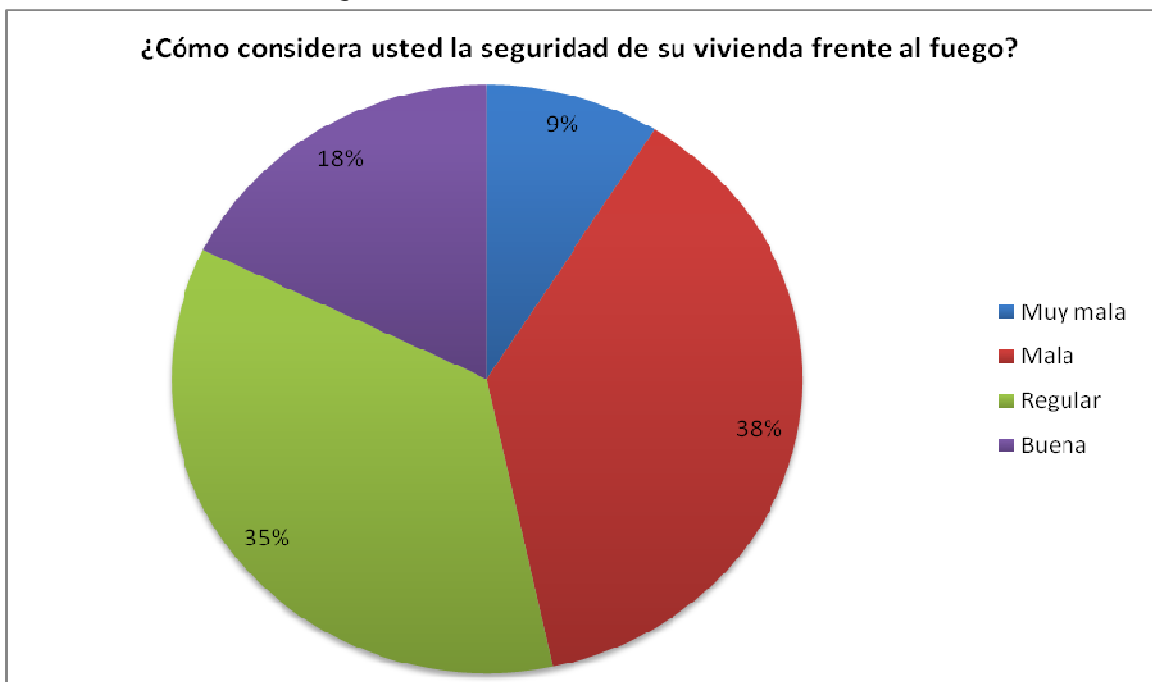
^j Comunicación personal con Gabriel Rodríguez Jaque. Experto en habitabilidad de edificios del IDIEM y Académico del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

Tabla 3.6: Resistencia al fuego de los elementos constructivos de las viviendas sociales SCMI de Buín.

Elemento constructivo	Resistencia al fuego
Panel exterior primer piso	F-30
Panel exterior segundo piso	F-0
Panel interior	F-30
Muro medianero	F-60
Plataforma piso	F-15
Techumbre primer piso	F-15
Techumbre segundo piso	F-0

En relación a la percepción de seguridad en caso de incendio de las viviendas sociales SCMI, según los jefes de hogar encuestados, fue evaluada como mala y muy mala por el 47% de las personas, como regular por el 35%, y como buena por sólo el 18% restante (ver figura 3.18), por lo que según la percepción de los habitantes, la seguridad frente al fuego es considerada como deficiente. Esta mala percepción se debe en gran medida a que al interior del segundo piso de las viviendas los elementos estructurales de madera se encuentran a la vista, lo que genera una inseguridad en sus moradores.

Figura 3.18: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada al factor seguridad de la vivienda frente al fuego



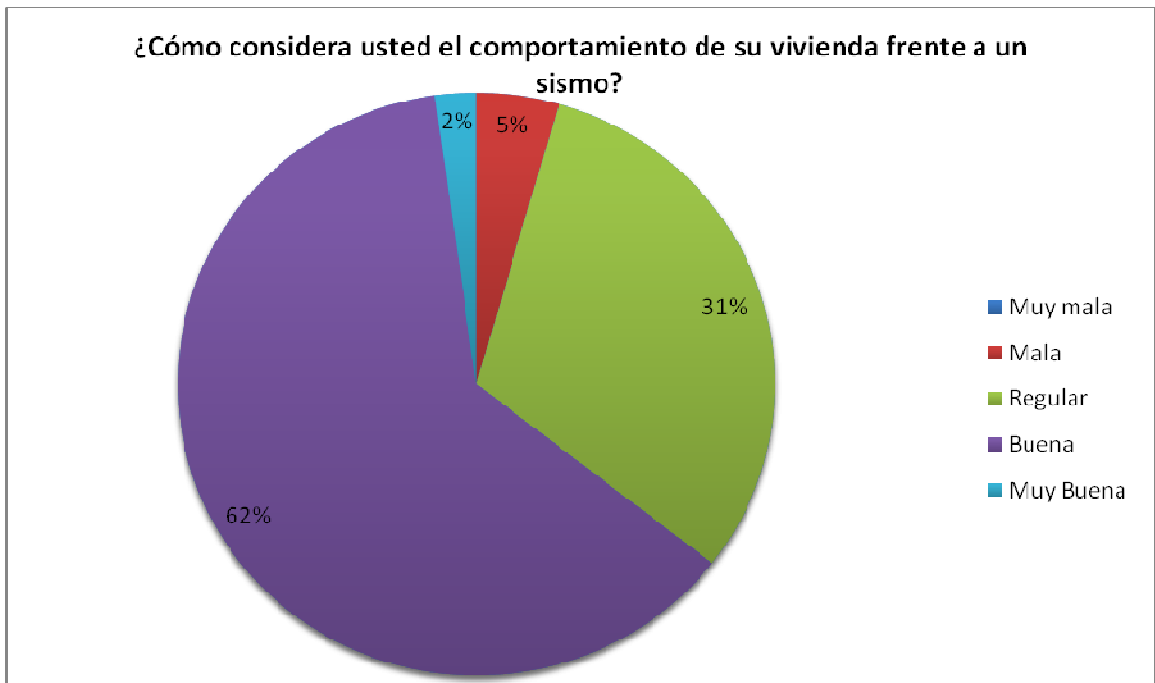
3.1.4.2 Seguridad de la vivienda frente a un sismo

La fuerza con que actúa un sismo sobre una edificación depende de la aceleración del movimiento y del peso de la estructura.

Según la ley de Newton ($F = m \cdot a$), para iguales condiciones de aceleración de movimiento, se cumple que a menor masa de una estructura menor es la fuerza lateral del sismo sobre ella. Esta ventaja de menor masa (y por lo tanto menor peso) la presentan las viviendas estructuradas en madera que son entre seis a nueve veces más livianas en comparación a las construidas en albañilería y hormigón, por lo que la fuerza inercial que actúa sobre la estructura también será entre seis y nueve veces menor. Esto radica en que un sistema constructivo moderno en madera, como el SCMI, presentan un peso específico de construcción de $0,3 \text{ ton/m}^3$, mientras que para una vivienda de concreto es de $1,8 \text{ ton/m}^3$ (CORMA, 2007).

Además las estructuras conformadas por materiales pétreos, como el hormigón y el ladrillo, son más frágiles que las estructuras de madera ya que soportan una menor deformación durante un movimiento lateral. Gran parte de la ductibilidad de las estructuras de madera son debido a las conexiones metálicas (generalmente de acero inoxidable) que estos sistemas constructivos utilizan, lo que le da a una estructura de madera la habilidad para soportar mejor los sismos^k.

Figura 3.19: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada al factor seguridad de la vivienda frente a un sismo



^k Comunicación personal con Aldo G. Cisternas. Magister en Productos Forestales de la Universidad de Idaho, EE.UU., y Académico del Departamento de Ingeniería de la Madera de la Universidad de Chile.

En cuanto a la percepción de los jefes de hogar sobre el comportamiento de sus viviendas frente a los sismos, un 68% encuentra la seguridad frente a un sismo de la su vivienda es buena y muy buena, mientras que sólo un 5% la evaluó como mala (ver figura 3.19). En general los encuestados comprendían bastante bien que sus viviendas poseen un buen comportamiento frente a los sismos debido al bajo peso de la estructura, por lo que la percepción fue buena.

3.1.4.3 Seguridad de la vivienda frente a la lluvia

Es de vital importancia que las viviendas no presenten infiltraciones debido a la lluvia, ya que esto provoca problemas de humedad serios en la estructura y afecta en forma significativa el bienestar de sus habitantes.

Para la protección contra las aguas lluvias en los muros perimetrales, las viviendas sociales SCMI la solución de sus muros perimetrales consiste, desde el interior al exterior, en una plancha de yeso-cartón de 10 mm de espesor, poliestireno expandido como aislante, entramado de Pino radiata, fieltro asfáltico de 0.10 lbs como barrera de humedad, y un tablero OSB (Oriented Strand Board) con terminación a base de pintura en la cara exterior.

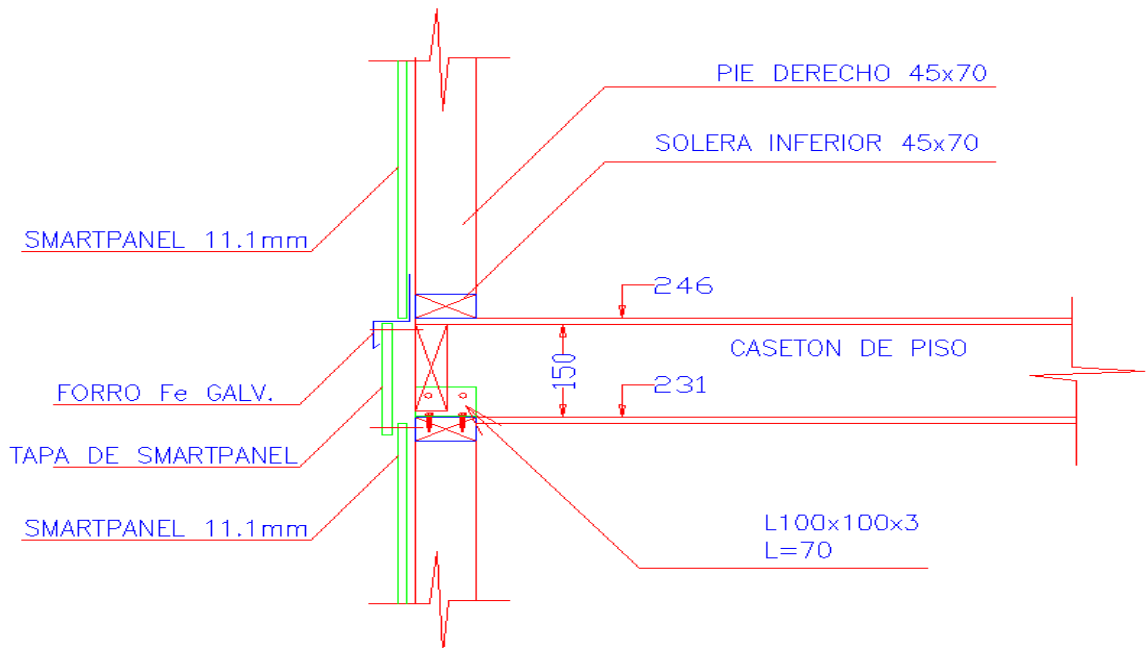
La barrera de humedad colocada por la cara exterior del tabique, cumple con la función de aislar la envolvente de la humedad y de posibles infiltraciones de agua lluvia. Esta se debe colocar en forma continua sobre toda la superficie de la placa estructural de cubierta correspondiente. Se debe comenzar en la base de la estructura de techumbres y traslapar 15 cm en el sentido contrario a la dirección del viento. Toda la vivienda debe quedar cubierta incluyendo la superficie de los vanos de puertas y ventanas.

Resulta de gran importancia considerar la aplicación de un producto impermeabilizante y resistente a la humedad sobre el revestimiento exterior de los muros perimetrales, ya que principalmente de esto dependerá el tiempo que resista a la lluvia con viento (UGARTE, 2005). La capa de pintura de la cara exterior del tablero OSB “Smart panel” cumple con esta función, aunque se debe realizar una mantención adecuada en el tiempo según las especificaciones del fabricante.

Para los encuentros entre los paneles perimetrales del primer y segundo piso se contempló la presencia de una tapa de fierro galvanizado que actúa como corta gotera, evitando cualquier tipo de infiltraciones de agua hacia el interior de los muros (ver figura 3.20). Para los encuentros verticales entre muros se ubicaron listones hechos de los propios OSB “Smart panel” para minimizar el riesgo de filtraciones de aguas lluvia en esas zonas de encuentro. Se consideró además la ubicación de tapas de fierro galvanizado en la parte superior e inferior de los vanos de las ventanas.

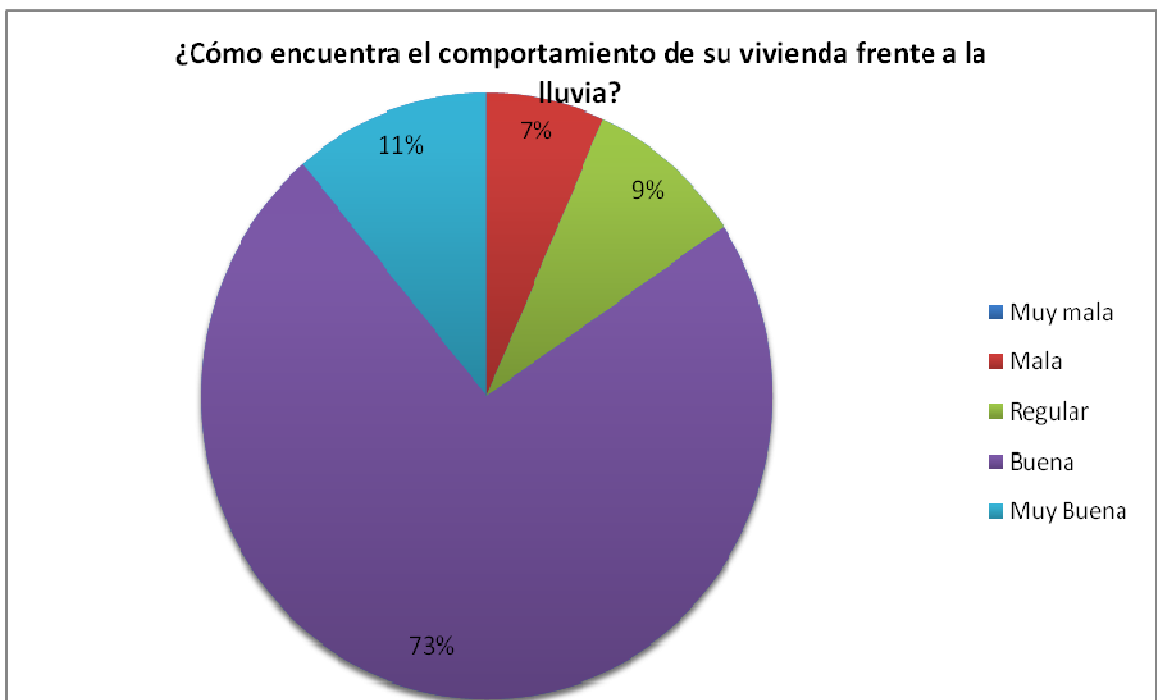
Finalmente la consideración de aleros de ancho adecuado y la correcta instalación de canaletas y caídas de agua ayudan a un buen comportamiento de las viviendas sociales SCMI de Buín frente a la lluvia. Esto se ve reflejado en el nivel de seguridad que perciben los jefes de hogar encuestados frente a este tema, ya que un 84% la considera como buena y muy buena, sólo un 9% como regular y el restante 7% como mala (ver figura 3.21)

Figura 3.20: Detalle encuentro de muros perimetrales del primer y segundo piso



Fuente: Tecno Truss S. A.

Figura 3.21: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada al factor seguridad de la vivienda frente a la lluvia



3.1.4.4 Seguridad de la vivienda frente a las termitas

Uno de los aspectos que se debe tener presente al momento de construir en madera, es que debido a su origen orgánico es un material biodegradable, y por lo tanto susceptible al ataque de hongos e insectos que se alimentan de celulosa (xilófagos), principal componente de la madera.

Las termitas son el mayor exponente dentro de los agentes bióticos que degradan la madera, siendo además un factor importante a considerar en el diseño de cualquier edificación que utilice la madera como material estructural. Estos insectos son pálidos y pequeños con una largo de no más de 10 mm los más grandes y 3 mm los más pequeños; se alimentan de celulosa presente en la madera y materiales derivados de esta; viven en colonias y dividen sus actividades esenciales en tres formas o castas especializadas: los reproductores, los soldados y los obreros; los individuos no alados son de color blanco cremoso con una mancha longitudinal central sobre el abdomen, por el contrario de los individuos alados que son de color café intenso (ver figura 3.22). En Chile a las termitas se les conoce también como termites, trintaros, chailos o vacas peladas (TEJER, 2004).

Figura 3.22: Termitas subterráneas (*Reticulitermes flavipes*) en estado no alado y alado



Fuente: CTT-CORMA, 2008a

Actualmente en Chile se encuentran tres categorías de termitas: las de madera húmeda, las de madera seca, y las subterráneas. Las termitas de madera húmeda atacan principalmente madera en procesos de pudrición, donde la eliminación de la fuente de humedad causante de la pudrición generalmente las controla. Las termitas de madera seca pueden volar hacia las construcciones y establecerse en colonias sobre madera seca, pudiendo ser combatidas mediante el uso de madera preservada y erradicadas mediante fumigación o tratamientos térmicos. Finalmente las termitas subterráneas requieren suelos húmedos para desarrollarse, ya que en ambientes secos pierden rápidamente la humedad de sus cuerpos; en Chile la única especie de termitas subterráneas conocida es la *Reticulitermes flavipes*, introducida al país en la década de los setenta (CTT-CORMA, 2008a).

Las termitas subterráneas son la causante de mayor preocupación debido a su difícil control, encontrándose principalmente en la zona central de nuestro país.

Como parte del proyecto “Código de Construcción en Madera”, el Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera de la Corporación Chilena de la Madera (CTT-CORMA) publicó una versión revisada del capítulo referido al control de termitas, el cual entrega una serie de estrategias para el manejo de las termitas en nuestro país, de entre las cuales las más elementales son las siguientes:

- Los muros de fundación y radieres de hormigón deben diseñarse de modo de inhibir la entrada de termitas a la vivienda, y además para facilitar la inspección ante la aparición de túneles. Estas deben ser monolíticas de modo de evitar grietas por donde las termitas tengan acceso al edificio. Las fundaciones y radieres deben quedar expuestos al menos unos 150 mm sobre el nivel del terreno natural, y los revestimientos exteriores no deben tener contacto con el suelo a nivel de fundaciones para prevenir la entrada no detectable de termitas escondidas tras estos materiales. Se pueden instalar barreras de láminas metálicas entre la parte superior de la fundación y la solera de la construcción, proyectando el borde exterior de la lámina hacia el exterior del edificio en 45° (como un corta goteras convencional), tal como se aprecia en la figura 3.23.

Figura 3.23: Lámina metálica como protección ante las termitas



Fuente: CORMA-CTT, 2008

- La madera y tableros estructurales de madera deben estar protegidos mediante el uso de preservantes. La OGUC estipula el uso obligatorio de madera de Pino radiata preservada según la norma chilena NCh 819: “Madera preservada - Pino radiata – Clasificación según uso y riesgo en servicio, y muestreo”.
- Las técnicas de construcción deben evitar la utilización de espaciadores, material de relleno y otros, de madera o celulosa a menos que se puedan retirar antes de

terminar la construcción. En áreas donde se hayan eliminado árboles o huertos se debe excavar y remover las raíces además de la extracción de troncos, ramas y tocones. Todo esto debido a que la presencia de madera enterrada atrae a las termitas

- La utilización de barreras físicas tales como partículas calibradas, que consiste en un estrato de arena, ripio triturado o vidrio molido de un tamaño que impida a las termitas subterráneas hacer túneles instalado bajo y alrededor de las fundaciones y sus perforaciones para instalaciones. El tamaño de partículas más efectivo se encuentra entre 1,5 mm y 2,5 mm de diámetro.

Las viviendas sociales SCMI presentan una fundación y radier de hormigón H-20 con una altura total sobre el terreno de 150 mm, sobre el cual se ubican las soleras inferiores de madera de los muros perimetrales. Esto genera una barrera física importante para prevenir ataques de termitas subterráneas tal como ya se mencionó.

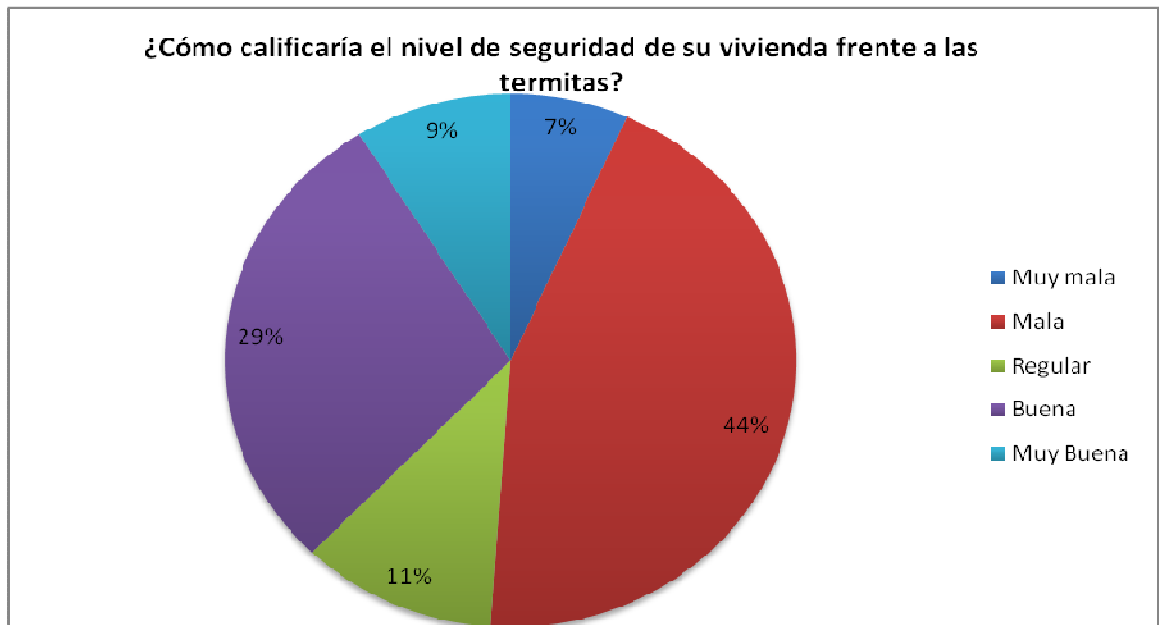
Además, toda la estructura de madera se encuentra preservada con sales CCA, según las especificaciones de retención y penetración para madera de Pino radiata de la norma chilena NCh 819.Of2003; con lo cual se asegura un nivel de protección satisfactorio frente al exceso de humedad y al ataque termitas. El panel OSB que actúa como revestimiento exterior de las viviendas, es un tablero de hojuelas de madera orientadas, donde todas la hojuelas fueron preservadas mediante un baño de borato de zinc, que es un inhibidor metabólico no tóxico que evita el ataque de termitas y la proliferación de hongos (LP, 2008)

En relación a la utilización de CCA como preservante de la madera, es importante señalar que en Europa y Japón está prohibida su utilización, y en Estados Unidos la industria restringió su uso en madera para la construcción debido a que sus componentes cobre, cromo y arsénico, pueden producir un daño ecológico importante al ser transformado en basura como despuntes, escombros, etc. La tendencia a nivel mundial es la utilización de preservante que sean amigables con el medio ambiente como los son LOSP (Light Organic Solvent Preservatives) y el AL (Aceite de linaza) entre otros, dejando atrás el uso del CCA y otros preservantes que contengan arsénico y metales (CTT-CORMA, 2008b). A pesar de la larga tradición que tiene la utilización de CCA a nivel mundial desde hace más de setenta años, es recomendable evitar que la madera tratada quede expuesta al interior de las viviendas especialmente quedando en contacto directo con alimentos y suministro de agua potable, para así prevenir cualquier problema de salud en los moradores. Por esta razón se vuelve más importante aún la terminación de muros y techumbre del segundo piso donde los elementos de madera preservada están a la vista de los habitantes, aún cuando el riesgo sea mínimo.

Se puede concluir entonces que el comportamiento que tienen las viviendas sociales SCMI frente a las termitas es suficiente, es decir, las especificaciones técnicas que tienen las viviendas ayudan en forma considerable a prevenir ataques de termitas. Sin embargo la percepción de los habitantes es negativa debido a que más de la mitad de los encuestados considera que la seguridad de sus viviendas frente a las termitas es mala y muy mala, mientras que sólo un 38% la considera como buena y muy buena (ver figura 3.24). Es importante señalar que en ninguna de las viviendas encuestadas se evidenció ataque de

termitas, además ninguno de los encuestados manifestó tener ese problema en su vivienda, por lo que la regular percepción de los jefes de hogar se puede atribuir simplemente a un factor cultural imperante en nuestro país, que califica a priori como vulnerable al ataque de termitas cualquier edificación con estructura de madera, sin conocer las consideraciones de diseño.

Figura 3.24: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada al factor seguridad de la vivienda frente a las termitas



3.1.5 Nivel de satisfacción

La calidad de las vivienda sociales SCMI es considerada como buena y muy buena por el 78% de los jefes de hogar encuestados, mientras que sólo el 11% considera la calidad como mala, el restante 11% la considera como regular. Ninguno de los encuestados considera la calidad de las viviendas como muy mala (ver figura 3.25).

Esta buena reacción por parte de los jefes de hogar, es resultado de una de las grandes fortalezas que tiene la construcción de viviendas bajo el SCMI: la calidad controlada. Durante la construcción de las viviendas sociales en estudio, la calidad de los elementos industrializados: paneles, casetones de piso y techumbre y cherchas fue garantizada por la empresa “Tecno Truss S. A.” a través de un sistema de gestión de calidad basado de una estructura definida para este proceso, la cual comprendió desde su gerente general hasta los operarios, según se puede apreciar en la figura 3.26

Figura 3.25: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada a la calidad de la vivienda

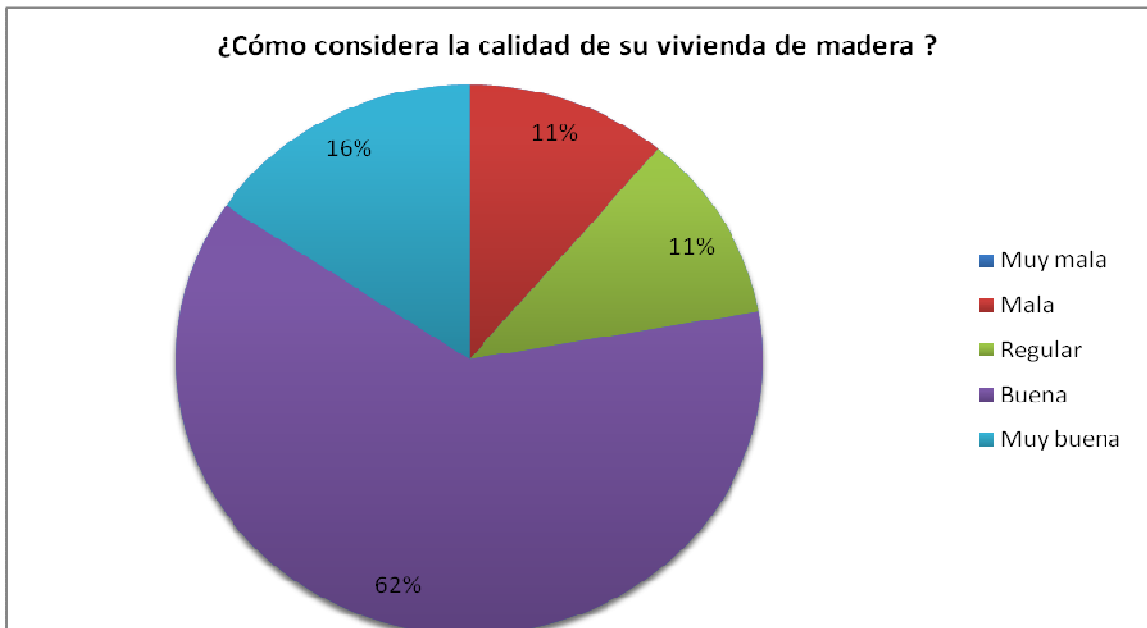
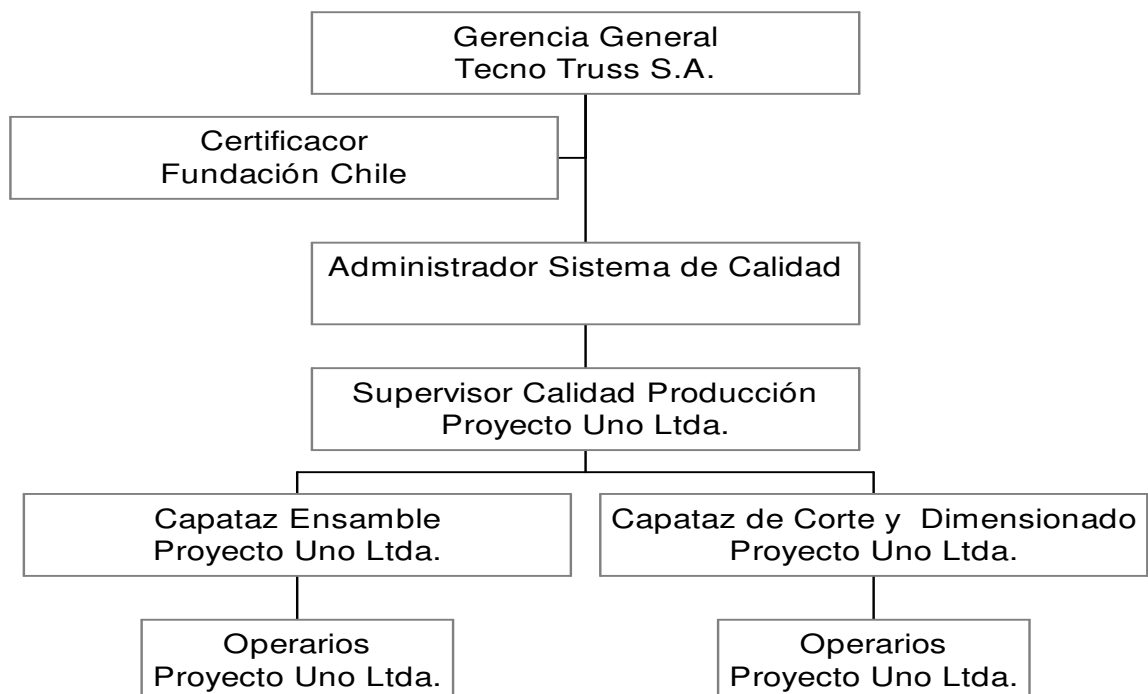


Figura 3.26: Organigrama del Sistema de Gestión de Calidad utilizado en la fabricación de las viviendas sociales SCMI de Buín



Fuente: TECNO TRUSS S. A., 2003

De acuerdo a la organización de la empresa, la mano de obra necesaria en el proceso industrial, fue subcontratada, por lo cual se exigió al subcontratista (“Proyecto Uno Ltda.”) incorporar en la gestión de calidad a los operarios, capataces y un supervisor de calidad. Por su parte la empresa fabricante designó dentro de sus profesionales de planta a un Administrador del Sistema de Calidad, el cual fue responsable de controlar la estructura de calidad del subcontratista y mantener a buen resguardo toda la documentación que se generó en el proceso, fue el interlocutor válido como representante de la empresa ante Fundación Chile

Para el control de las actividades productivas de corte y ensamblaje, se diseñaron formularios (check-list) para realizar inspecciones de calidad. En el proceso de Corte se verificaron las dimensiones de las piezas de madera cortadas, escuadría y longitud, junto con el cumplimiento del grado estructural requerido. En el proceso de ensamblaje se controlaron tres aspectos básicos, el armado de la plantilla sobre la cual se realiza la fabricación de un elemento, el ensamblaje y la colocación del tablero o revestimiento en los paneles. En cada uno de ellos se controló la geometría del elemento y la correcta ejecución de las uniones. La figura 3.27 muestra la realización de una inspección de calidad a un panel terminado del primer piso de las viviendas sociales SCMI de Buín.

Además se establecieron cantidades mínimas de inspecciones de calidad por estación o actividad, los que quedaron registrados en el formulario de check-list, y los criterios de aceptación y rechazo estuvieron especificados en las mismas fichas de control, diseñadas para cada tipo de elemento. Finalmente se determinaron procedimientos generales y específicos con los pasos a seguir en el momento de detectar una falla (TECNO TRUSS, 2003).

Todo el Sistema de Gestión de Calidad utilizado en la fabricación de los elementos constructivos es un punto de diferenciación entre la utilización del SCMI y la construcción tradicional de viviendas sociales, que debe ser considerado ya que se asegura en gran medida la calidad de las viviendas sociales.

Además del sistema de gestión de calidad realizado en la fabricación de los elementos de las viviendas, la empresa constructora tuvo que realizar, en el lugar de emplazamiento, inspecciones para asegurar la calidad del montaje de las viviendas según lo especifica la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones para realizar la entrega de la Obra en forma satisfactoria. De esta manera se logra un control de la calidad tanto de los materiales, de los elementos industrializados y del montaje de las viviendas, lo que es muy difícil de realizar en una obra tradicional de albañilería en forma tan completa. Se puede concluir entonces que las tareas de control y gestión de calidad fueron buenas, tomando como indicador la percepción de los propios habitantes de las viviendas sociales SCMI después de cuatro años de uso.

Figura 3.27: Inspección de calidad de los elementos industrializados de las viviendas sociales SCMI

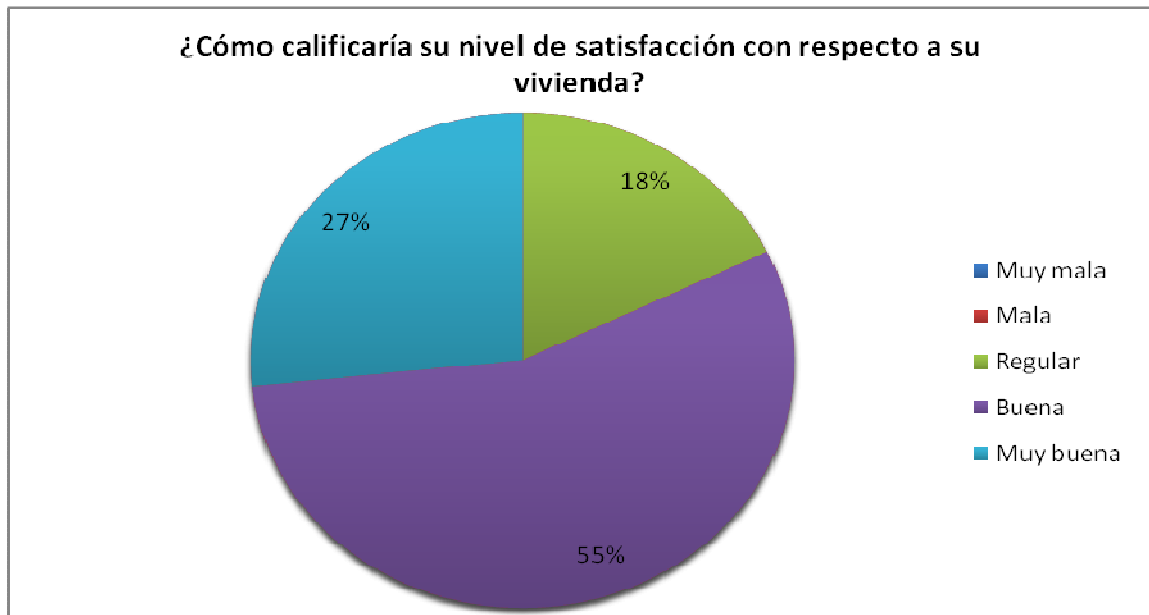


Fuente: Tecno Truss S. A.

Finalmente, y en relación a la pregunta de satisfacción de los jefes de hogar respecto de sus viviendas sociales SCMI, esta es considerada como buena y muy buena por el 82% de los encuestados, y como regular por el 18% restante. Ninguno de los encuestados considera su nivel satisfacción como malo y muy malo (ver figura 3.28). Esta pregunta fue la mejor evaluada por los encuestados, en relación a cada uno de los factores de bienestar habitacional tratados en este estudio.

Se puede explicar que la satisfacción de los jefes de hogar fue magnificada por tres factores: la ya comentada calidad de las viviendas, el bajo precio que pagaron las familias para obtenerlas, que fue de 10 UF (aproximadamente \$200.000 el año 2002) gracias al subsidio de 280 UF entregado por el gobierno, y la superficie construida que alcanza a los 50 m². En relación a este último factor mencionado, las viviendas sociales SCMI entregan una superficie por habitante de diez metros cuadrados (superficie total /cantidad promedio de habitantes por viviendas), considerada por la OMS como superficie mínima para la buena realización de actividades dentro de un hogar. Además un índice de hacinamiento es la cantidad de personas por recinto habitable que hay en una vivienda, considerando que existe hacinamiento con tres o más personas por recinto habitable (INVI, 2008). Las viviendas en estudio tienen habilitadas tres piezas (recintos habitables), por lo que el índice de hacinamiento promedio es de 1,7. Ninguno de los jefes de hogar encuestado manifestó molestia por la cantidad de superficie construida.

Figura 3.28: Gráfica circular de los resultados de la pregunta relacionada al nivel de satisfacción de la vivienda



3.2. Eficiencia energética de los tipos de vivienda en estudio

Según las fórmulas de cálculo para determinar el comportamiento térmico de las viviendas se obtuvieron los siguientes resultados para los tres tipos de vivienda en estudio: la vivienda social SCMI en su diseño original, la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación del segundo piso, y la alternativa de construcción tradicional de ladrillo.

3.2.1 Comportamiento térmico de los tipos de vivienda en estudio

Los valores obtenidos, a partir de los cálculos de resistencias térmicas totales, transmitancias térmicas, coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas $Gv1$ y $Gv2$, y flujos térmicos para la vivienda social SCMI en su diseño original se exponen en las tablas 3.7, 3.8 y 3.9

Tabla 3.7: Resistencias térmicas totales y transmitancias térmicas de la vivienda social SCMI en su diseño original

Elementos de la envolvente		Superficie [m ²]	Rt [m ² °C/W]	U [W/ m ² °C]	U ponderado [W/ m ² °C]
Muros	Muros 1° piso zona seca	34,21	1,05	0,95	1,60
	Muros 1° piso zona húmeda	5,87	1,03	0,97	
	Muros 2° piso	25,73	0,38	2,61	
Techumbre	Techumbre 1° piso	4,16	2,04	0,49	0,51
	Techumbre 2° piso	26,52	1,94	0,52	
Ventanas		6,97	0,17	5,77	
Puertas		3,12	0,43	2,31	

Tabla 3.8: Coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas de la vivienda social SCMI en su diseño original

Sector de la vivienda	Volumen [m ³]		Gv1 [W/m ³ °C]		N [1/h]	Gv2 [W/m ³ °C]	
Primer Piso	68,58	121,4	1,06	1,39	1,5	1,59	2,14
Segundo Piso	52,83		1,81		3	2,86	

Tabla 3.9: Flujos térmicos por transmisión, convección y totales de la vivienda social SCMI en su diseño original

Elementos de la envolvente		Flujos térmicos por transmisión [W/°C]		Flujo térmico total por transmisión [W/°C]	Flujo térmico total por convección [W/°C]	Flujo térmico total [W/°C]
Muros	Muros 1° piso zona seca	32,57	105,54	168,66	91,48	260,14
	Muros 1° piso zona húmeda	5,71				
	Muros 2° piso	67,25				
Techumbre	Techumbre 1° piso	2,04	15,71			
	Techumbre 2° piso	13,67				
Ventanas		40,21				
Puertas		7,21				

Para la propuesta de terminación de las viviendas sociales SCMI, los cálculos térmicos realizados obtuvieron los valores que aparecen de la tabla 3.10 a la 3.12

Tabla 3.10: Resistencias térmicas totales y transmitancias térmicas de la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación del 2° piso

Elementos de la envolvente		Superficie [m ²]	Rt [m ² °C/W]	U [W/ m ² °C]	U ponderado [W/ m ² °C]
Muros	Muros 1° piso zona seca	34,21	1,05	0,95	0,84
	Muros 1° piso zona húmeda	5,87	1,03	0,97	
	Muros 2° piso	25,73	1,52	0,66	
Techumbre	Techumbre 1° piso	4,16	2,04	0,49	0,50
	Techumbre 2° piso	26,52	1,98	0,50	
Ventanas		6,97	0,17	5,77	
Puertas		3,12	0,43	2,31	

Tabla 3.11: Coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas de la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación del 2° piso

Sector de la vivienda	Volumen [m ³]		Gv1 [W/m ³ °C]		N [1/h]	Gv2 [W/m ³ °C]	
Primer Piso	68,58	121,4	1,06	0,97	1,5	1,59	1,50
Segundo Piso	52,83		0,86			1,38	

Tabla 3.12: Flujos térmicos por transmisión, convección y totales de la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación del 2° piso

Elementos de la envolvente		Flujos térmicos por transmisión [W/°C]		Flujo térmico total por transmisión [W/°C]	Flujo térmico total por convección [W/°C]	Flujo térmico total [W/°C]
Muros	Muros 1° piso zona seca	32,57	55,25	118,09	63,74	181,84
	Muros 1° piso zona húmeda	5,71				
	Muros 2° piso	16,97				
Techumbre	Techumbre 1° piso	2,04	15,42			
	Techumbre 2° piso	13,38				
Ventanas		40,21				
Puertas		7,21				

Finalmente, para la alternativa de vivienda de ladrillo los valores obtenidos están en las tablas 3.13, 3.14 y 3.15.

Tabla 3.13: Resistencias térmicas totales y transmitancias térmicas de la alternativa de vivienda de ladrillo

Elementos de la envolvente	Superficie [m ²]	Rt [m ² °C/W]	U [W/ m ² °C]	U ponderado [W/ m ² °C]
Muros	65,81	0,50	2,02	
Techumbre 1° piso	4,16	2,04	0,49	0,50
Techumbre 2° piso	26,52	1,98	0,50	
Ventanas	6,97	0,17	5,77	
Puertas	3,12	0,43	2,31	

Tabla 3.14: Coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas de la alternativa de vivienda de ladrillo

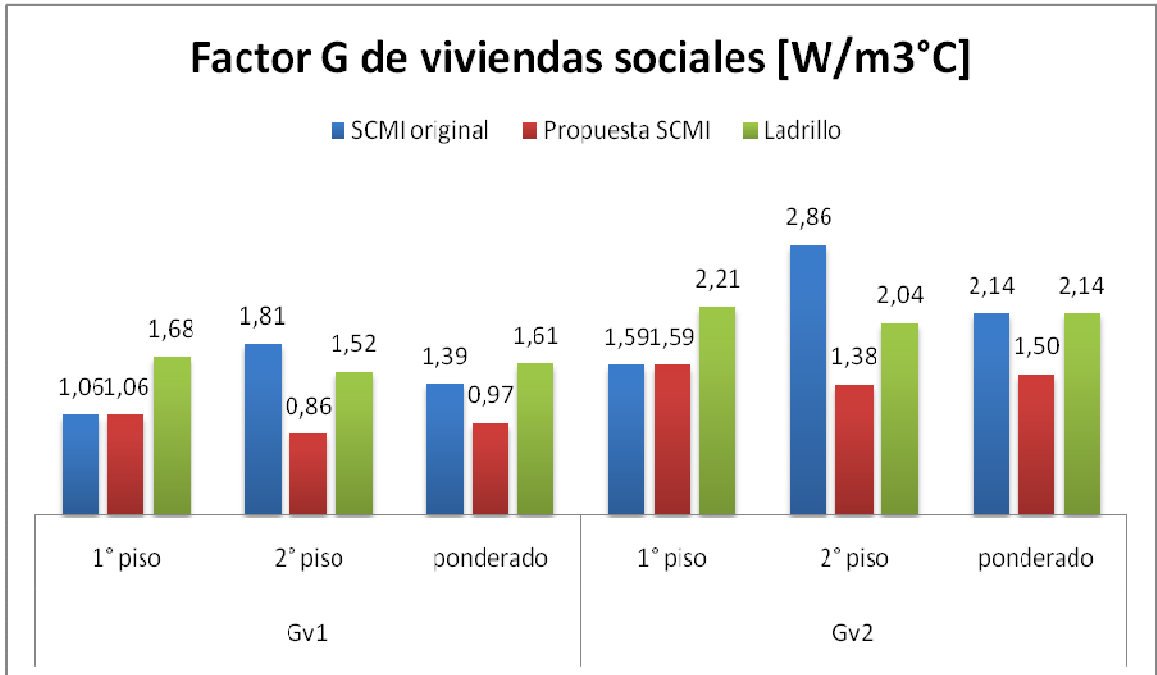
Sector de la vivienda	Volumen [m ³]		Gv1 [W/m ³ °C]	N [1/h]	Gv2 [W/m ³ °C]	
Primer Piso	68,58	121,4	1,68	1,5	2,21	2,14
Segundo Piso	52,83		1,52		1,61	

Tabla 3.15: Flujos térmicos por transmisión, convección y totales de la alternativa de vivienda de ladrillo

Elementos de la envolvente	Flujos térmicos por transmisión [W/°C]		Flujo térmico total por transmisión [W/°C]	Flujo térmico total por convección [W/°C]	Flujo térmico total [W/°C]
Muros	132,66		195,50	63,74	259,24
Techumbre 1° piso	2,04	15,42			
Techumbre 2° piso	13,38				
Ventanas	40,21				
Puertas	7,21				

De los resultados expuestos, se ve que la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación para el 2° piso es el tipo de vivienda que presenta menor cantidad de pérdidas térmicas a través de su envolvente, mientras que la vivienda social SCMI en su diseño original presenta pérdidas térmicas similares a la vivienda de ladrillo. Esto se ve reflejado en los valores de los coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas obtenidos para cada tipo de vivienda, como aparece en la figura 3.29.

Figura 3.29: Coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas obtenidos para los tipos de vivienda en estudio



El factor Gv1 entrega las pérdidas térmicas de una vivienda o edificación en función de su factor de forma (Superficie total de la envolvente/Volumen interior) y de su materialidad. El factor Gv2 agrega las pérdidas térmicas por convección o intercambio de aire entre la vivienda y el medio ambiente, dependiendo en gran medida de las costumbres de los habitantes de la vivienda y de las condiciones del viento, debido a esto, este factor es más real pero a la vez es más difícil de determinar (OLMEDO, C. 2005)

Para poder determinar el nivel de aislamiento térmico que posee una edificación, se puede comparar con la clasificación que aparece en la tabla 3.16 y que muestra tipos de aislamiento según rangos de valores para Gv1¹ (RODRIGUEZ, G. 2007).

Tabla 3.16: Nivel de aislamiento de una edificación según el coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas Gv1

Nivel de aislamiento	Gv1 [W/m³°C]
Edificación muy aisladas	< 1
Edificación aisladas	1- 1,5
Edificación medianamente aisladas	1,5 - 2,5
Edificación mal aisladas	2,5 – 3
Edificación sin aislación	> 3

Fuente: OLMEDO, 2005

¹ Estos valores de Gv1 son válidos sólo para recintos pequeños (50 m² aprox.) ya que para edificaciones de mayor superficie, el factor G disminuye sólo por el aumento del volumen interior y no por mejoramiento térmico de la envolvente.

Observando los resultados expuestos en la figura 3.26 para el factor Gv1 y la clasificación de la tabla 3.16, se puede clasificar el primer piso de las viviendas sociales SCMI como aislados térmicamente, mientras que la alternativa de ladrillo presenta un primer piso medianamente aislado.

Para los valores de Gv1 de los segundos pisos, las conclusiones cambian, ya que la vivienda social SCMI en su diseño original aumenta las pérdidas térmicas volumétricas a través de su envolvente en un 71% respecto del primer piso, lo que evidencia una falta de confort térmico dentro de la vivienda debido a que a condiciones iguales de calefacción en toda la vivienda, la temperatura interior será menor en el segundo piso, lo que provoca molestias en la sensación térmica de los habitantes y en casos extremos de bajas temperaturas exteriores puede provocar problemas de salud debido a diferencias de temperatura significativas al interior de la vivienda. Esto no se aplica a la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación y para la alternativa de ladrillo ya que las diferencias de Gv1 entre el primer y segundo piso son menores al 20%.

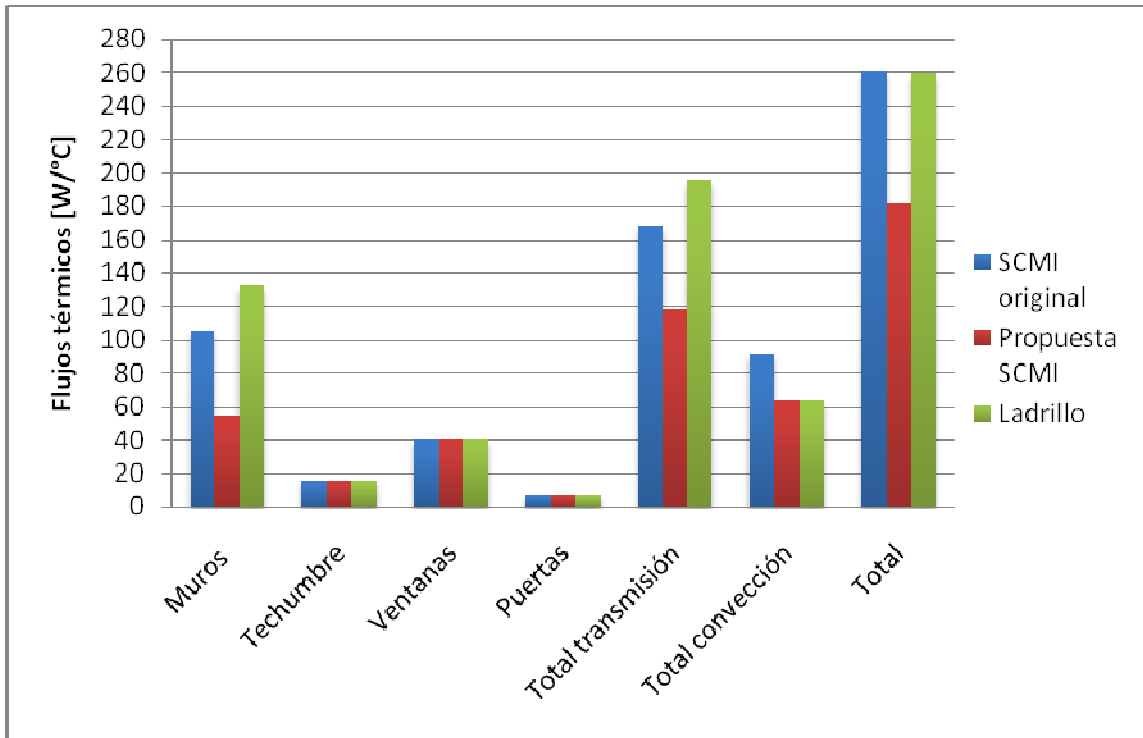
Basados en los factores Gv1 de las viviendas completas (valores ponderados), la vivienda social SCMI se considera como una edificación aislada, presentando un 14% menos de pérdidas térmicas por transmisión a través de su envolvente en comparación con la vivienda de ladrillo. La vivienda social SCMI con la propuesta de terminación del segundo piso se clasifica como una edificación muy aislada, y presenta un 40% menos de pérdidas térmicas por transmisión respecto a la alternativa de ladrillo y un 30% respecto a la vivienda social SCMI original. Finalmente la vivienda de ladrillo se clasifica como medianamente aislada térmicamente.

Las pérdidas térmicas por convección debida a las renovaciones de aire que ocurren dentro de la vivienda es lo que diferencia los valores del factor Gv2 respecto al Gv1. En este escenario las pérdidas térmicas que ocurren en el segundo piso de la vivienda SCMI original son bastante significativas debido a la cantidad de cavidades que existen en los encuentros entre los muros y la techumbre. Esto lleva a que las pérdidas térmicas totales de la vivienda social SCMI completa sean prácticamente iguales a las de la alternativa de ladrillo (2,14 [W/m³°C]), por lo que las menores pérdidas térmicas de la vivienda social SCMI original respecto a la vivienda de ladrillo debidas a la materialidad de la envolvente son anuladas por la alta cantidad de infiltraciones de aire que ocurren en el segundo piso de la primera. Sin embargo vemos que la propuesta de terminación del segundo piso soluciona este problema al forrar los muros y techumbre con planchas de yeso-cartón controlando de esta forma la cantidad de renovaciones de aire, además de lograr una mayor aislación por la instalación de poliestireno expandido de 50 mm de espesor en los muros. Es así como la propuesta de terminación de la vivienda social SCMI presenta un 30% menos de pérdidas térmicas totales respecto a la alternativa de ladrillo (ver figura 3.29).

Para explicar los valores de los factores G obtenidos y localizar por donde ocurren las mayores pérdidas térmicas, se puede apreciar en la figura 3.30 que las diferencias de flujos térmicos a través del complejo de muros son bastante significativas entre los tres tipos de viviendas, siendo menor en la vivienda SCMI con la propuesta de terminación del 2° piso. En el caso del complejo de techumbre los valores son muy similares entre los tres tipos de vivienda. Y en el caso de puertas y ventanas los flujos son iguales. Por lo que las

diferencias en los flujos térmicos totales por transmisión son condicionados principalmente por el complejo de muros.

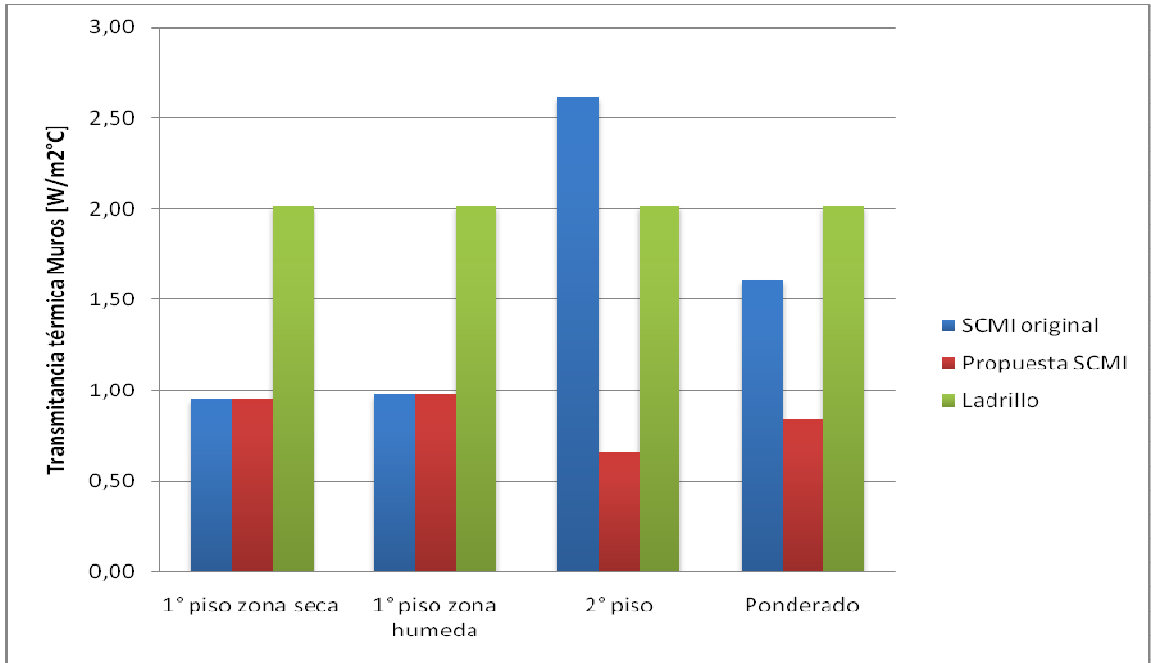
Figura 3.30: Flujos térmicos a través de los elementos de la envolvente obtenidos para los tipos de vivienda en estudio



Los flujos térmicos a través de un elemento constructivo dependen de la transmitancia térmica de los materiales que lo componen, y de la superficie del elemento que forma parte de la envolvente. Para los tres tipos de vivienda la superficie de muros que forma parte de la envolvente es igual, por lo que las diferencias entre los flujos térmicos de los complejos de muros están dadas por las transmitancias de dichos elementos. Estas diferencias se aprecian en la figura 3.31.

Comparando la vivienda social SCMI con su propuesta de terminación del segundo piso, se puede observar en la figura 3.31 que los muros del primer piso (zona seca y zona húmeda) presentan valores similares de transmitancia térmica. Por el contrario los valores de U para los muros del segundo piso presentan una diferencia de $1,95 [W/ m^2\text{°C}]$, es decir que la diferencia entre estas transmitancias térmicas equivale a 3 veces la transmitancia de la vivienda con la propuesta de terminación. O sea, durante el invierno en el segundo piso de la vivienda social SCMI se pierde un flujo de calor equivalente a tres veces más de lo que se perdería si se realizara la terminación propuesta para la envolvente del segundo piso. Para el caso de la vivienda de ladrillo la transmitancia térmica es igual en todas las zonas del complejo de muros.

Figura 3.31: Transmitancias térmicas obtenidas para el complejo de muros para los tipos de vivienda en estudio



La transmitancia térmica ponderada obtenida para el complejo de muros de la vivienda SCMI con la propuesta de terminación corresponde a un 48% de la transmitancia ponderada de la vivienda social SCMI; y a un 58% de la transmitancia ponderada de la vivienda de ladrillo. También al comparar la vivienda SCMI respecto a la vivienda de ladrillo la diferencia de transmitancia térmica ponderada, es de un 20%.

3.2.2 Gasto energético debido a calefacción obtenido para los tipos de vivienda en estudio

La energía requerida en calefacción por unidad de superficie y total obtenida para los tres tipos de vivienda emplazadas en la comuna de Buín, Región Metropolitana, considerando como período de calefacción los meses de abril hasta octubre son los que aparecen en las figuras 3.32 y 3.33 respectivamente.

Figura 3.32: Energía requerida en calefacción por unidad de superficie para las viviendas en estudios emplazadas en la comuna de Buín

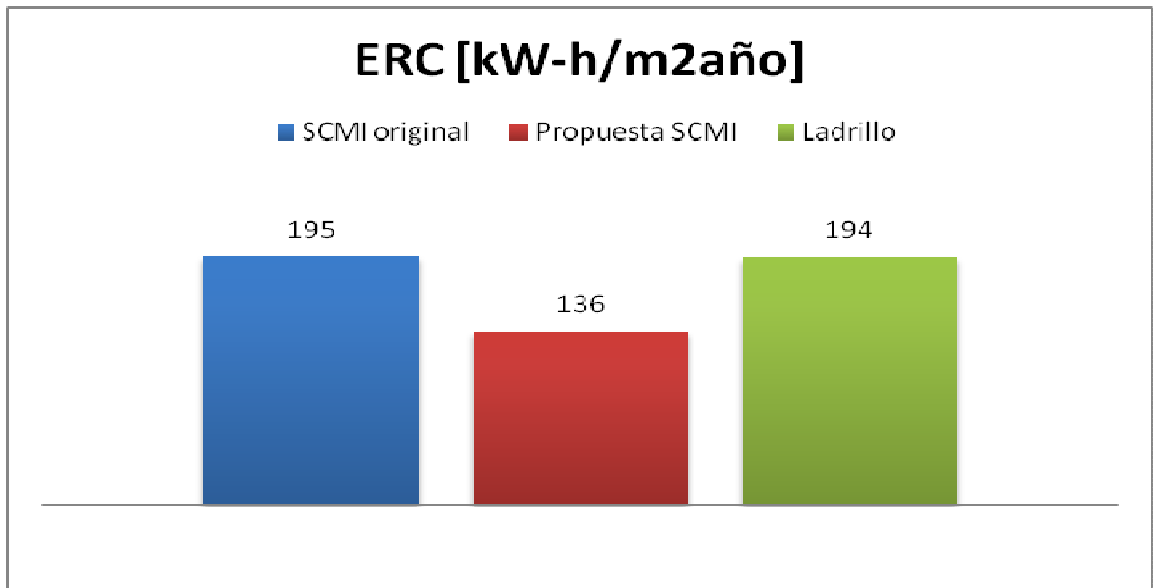
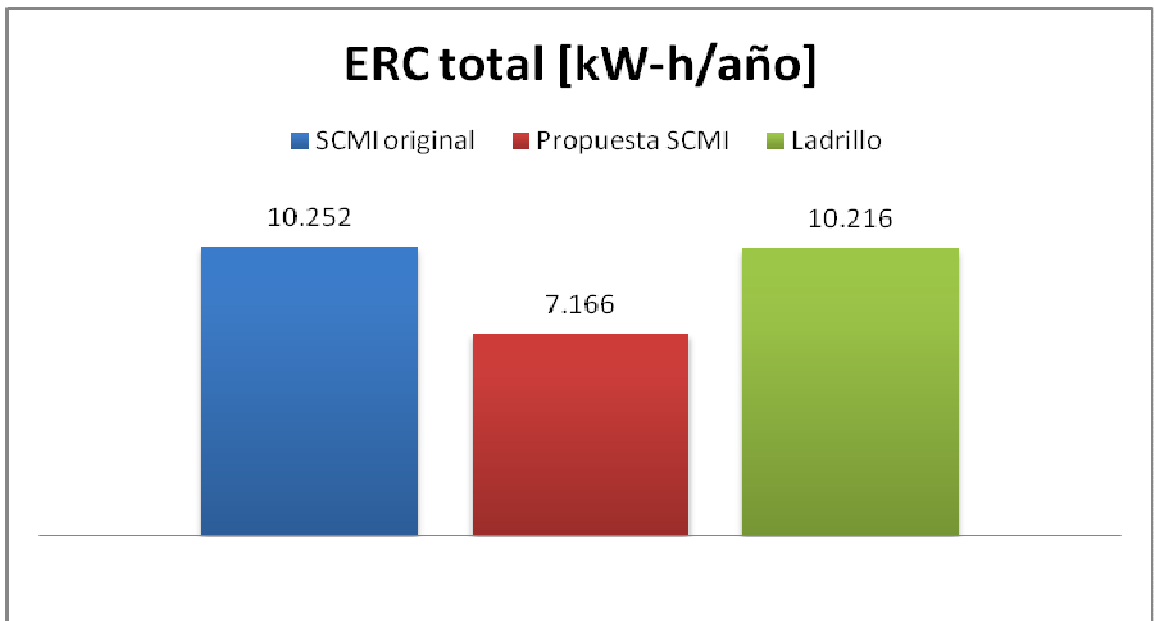


Figura 3.33: Energía requerida en calefacción total para las viviendas en estudios emplazadas en la comuna de Buín



Para el lugar de emplazamiento señalado, los valores de ERC obtenidos para los tipos de viviendas sociales en estudio, dependen exclusivamente del factor de pérdidas térmicas totales G_{v2} como se puede apreciar en las ecuaciones (2.7) y (2.8). Por lo que las diferencias porcentuales entre los valores de ERC obtenidos para las viviendas son las mismas que las entregadas por los valores de G_{v2} .

Entonces se concluye que la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación es la alternativa más eficiente térmicamente, presentando un ahorro del 30% respecto a la vivienda social SCMI original y a la alternativa de ladrillo. De la misma manera los requerimientos energéticos de la vivienda social SCMI original y de la vivienda de ladrillo son prácticamente iguales con una diferencia del 0,35% (ver tabla 3.17)

Tabla 3.17: Ahorro de energía requerida para calefaccionar entre los tres tipos de vivienda en estudio

Ahorro energético	Porcentaje
Propuesta SCMI respecto SCMI original	30,10%
Propuesta SCMI respecto ladrillo	29,86%
Ladrillo respecto SCMI original	0,35%

Es muy importante señalar que los resultados de ERC y ERC total expuestos en este apartado son comparables sólo con viviendas que presenten un factor de forma similar (superficie total de la envolvente/volumen interior) al de las viviendas en estudio, en una localidad de similares requerimientos energéticos (cantidad de grados días anuales). El factor de forma de la vivienda SCMI es de 0,88 [m²/m³].

Según resultados del CENSO del año 2002, el requerimiento de construcción de nuevas viviendas, sólo en la Región Metropolitana es de 242.971 viviendas (MINVU, 2004). Asumiendo una superficie promedio por vivienda de 50 m² y un factor de forma similar al de las viviendas en estudio, el ahorro energético que se lograría al construir la totalidad de las viviendas requeridas con el Sistema Constructivo Modular Industrializado de madera en vez de albañilería de ladrillo, alcanzaría a las 608 Teracalorías por año; ahorro energético que supera en un 18% al consumo nacional de parafina en el sector residencial^m.

Además la utilización de la madera como material constructivo en desmedro de materiales que se utilizan tradicionalmente en la construcción de viviendas en nuestro país, como lo son el ladrillo, cemento, y recientemente el acero (Sistema Metalcom), significaría también una disminución energética importante sólo por el cambio de material; como dato se sabe que en Estados Unidos la producción de madera y sus derivados corresponde a un 47% del total de producción de materias primas industriales, consumiendo sólo el 4% de la energía requerida por toda la industria (APAWOOD, 2008). Finalmente se debe recordar el concepto de sustentabilidad de la madera, al ser un material renovable y menos contaminante en su proceso de obtención en comparación con materiales como el cemento, ladrillo y los metales.

En cuanto a la energía solar, ya se mencionó que la radiación puede elevar la temperatura interior de la vivienda entre 2 a 3°C, para de esta manera alcanzar la temperatura de confort de 20°C durante el período de calefacción. Se estimó la energía que reciben las viviendas SCMI de Buín en su interior debido a la radiación solar por medio de tablas de radiación total para la latitud 32° Sur, que corresponde a la ubicación de la Región Metropolitana, en superficies verticales. Se utilizaron tablas de radiación por hora solar durante el día de la

^m El consumo nacional de kerosene doméstico del sector residencial durante el año 2006 fue de 515 Tera calorías (CNE, 2008a)

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) citadas por MENESES (2006) para los días 21 de enero y 21 de junio que corresponden a las épocas de mayor y menor intensidad respectivamente. La tabla 3.18 muestra la cantidad de energía solar captada por las viviendas sociales SCMI de Buín a través de las ventanas.

Tabla 3.18: Energía solar captada por las viviendas sociales SCMI a través de las ventanas según orientación

Orientación Frontis de la vivienda	Energía solar [kW-h/día]	
	Día de verano (21 de enero)	Día de invierno (21 de junio)
NE	10,9	12,2
SE	10,7	4,7
SO	12	14
NO	11,8	4,3

Se puede apreciar que la captación de energía solar en el verano son similares, mientras que en invierno las viviendas con la orientación del frontis hacia el Sureste y Noroeste captan entre 65-70% menos radiación que las otras dos orientaciones. En conclusión, los valores de la tabla 3.18 es la energía que se ahorra cada vivienda para poder alcanzar la temperatura de confort gracias a la captación de radiación solar; se observa además que también se pueden presentar diferencias importantes al no considerar la orientación adecuada de elementos captadores de radiación solar en el diseño de las viviendas.

3.2.3 Riesgo de condensación

Dentro del confort térmico que puede entregar una vivienda, se debe considerar el riesgo de condensación de agua que puede ocurrir en su interior. En este apartado se analiza este comportamiento para una situación específica en los tres tipos de vivienda social en estudio.

La temperatura superficial interior (tsi) obtenida para los elementos constructivos de la envolvente en los tres tipos de vivienda emplazadas en la comuna de Buín (zona climática Central Interior) y la temperatura de rocío interior calculada para las condiciones del mes de julio en la Región Metropolitana se observan en las tablas 3.19, 3.20 y 3.21.

Tabla 3.19: Temperatura de rocío interior y temperatura superficial interior de los elementos constructivos de la vivienda social SCMI en su diseño original

Elementos de la envolvente		U [W/m ² C]	Rsi [m ² C/W]	tsi [°C]	Temperatura de rocío [°C]
Muros	Muros 1° piso zona seca	0,95	0,12	18,6	16,2
	Muros 1° piso zona húmeda	0,97	0,12	18,6	
	Muros 2° piso	2,61	0,12	16,2	
Techumbre	Techumbre 1° piso	0,49	0,09	19,5	
	Techumbre 2° piso	0,52	0,09	19,4	
Ventanas		5,77	0,12	11,6	
Puertas		2,31	0,12	16,6	

Tabla 3.20: Temperatura de rocío interior y temperatura superficial interior de los elementos constructivos de la propuesta de terminación del segundo piso de la vivienda social SCMI

Elementos de la envolvente		U [W/m ² C]	Rsi [m ² C/W]	tsi [°C]	Temperatura de rocío [°C]
Muros	Muros 1° piso zona seca	0,95	0,12	18,6	16,2
	Muros 1° piso zona húmeda	0,97	0,12	18,6	
	Muros 2° piso	0,66	0,12	19,0	
Techumbre	Techumbre 1° piso	0,49	0,09	19,5	
	Techumbre 2° piso	0,50	0,09	19,5	
Ventanas		5,77	0,12	11,6	
Puertas		2,31	0,12	16,6	

Tabla 3.21: Temperatura de rocío interior y temperatura superficial interior de los elementos constructivos de la vivienda tradicional de ladrillo.

Elementos de la envolvente	U [W/m ² C]	Rsi [m ² C/W]	tsi [°C]	Temperatura de rocío [°C]
Muros	2,02	0,12	17,1	16,2
Techumbre 1° piso	0,49	0,09	19,5	
Techumbre 2° piso	0,50	0,09	19,5	
Ventanas	5,77	0,12	11,6	
Puertas	2,31	0,12	16,6	

Se puede observar claramente en las tablas 3.19, 3.20 y 3.21 que las ventanas son las que presentan mayor riesgo de condensación de agua, al ser la temperatura superficial interior menor a la temperatura de rocío. Las puertas y techumbre presentan condiciones similares para los tres tipos de vivienda, sin riesgo de condensación para las condiciones de análisis. Finalmente en los muros existen diferencias, ya que el muro del segundo piso de la vivienda SCMI con las condiciones cuasi habitables es el único que presenta riesgo de condensación, debido a su alta transmitancia térmica.

De la ecuación (2.10) se puede apreciar que para condiciones constantes de temperatura interior y exterior, la temperatura superficial interior está condicionada por la transmitancia térmica. Mientras menor sea la temperatura superficial interior mayor es la probabilidad de condensación dentro de la vivienda. Por lo que las diferencias apreciadas en los muros perimetrales de las viviendas, se deben a las diferencias en sus respectivas transmitancias térmicas.

Este pequeño análisis hace resaltar la importancia de calcular la aislación térmica suficiente (transmitancia térmica) para que no se produzca riesgo de condensación de agua al interior de un recinto habitable, tomando como parámetros la temperatura mínima y humedad relativa del aire de las condiciones más frías de la localidad de emplazamiento.

Es importante señalar que la condensación de agua al interior de una vivienda está condicionada además por las renovaciones de aire y por las actividades que producen vapor de agua al interior de esta, como lo son cocinar, calefaccionar (estufas de combustión húmeda), el lavado y secado de ropa, duchas, etc.

Para cuantificar la cantidad de vapor dentro de la vivienda, se consideró una familia compuesta por cinco personas: el padre, la madre y tres hijos estudiantes considerando la secuencia de actividades que aparece en la tabla 3.22.

Tabla 3.22: Secuencia de actividades dentro de una vivienda y cantidad de vapor de agua que producen

Hora	Actividades dentro de la vivienda	Vapor de agua producido [g]
1	5 personas en actividad de reposo a 20°C	225
2	5 personas en actividad de reposo a 20°C	225
3	5 personas en actividad de reposo a 20°C	225
4	5 personas en actividad de reposo a 20°C	225
5	5 personas en actividad de reposo a 20°C	225
6	5 personas en actividad de reposo a 20°C	225
7	5 personas en actividad de reposo a 20°C; ducha 5 personas	975
8	5 personas en actividad de reposo a 20°C; cocinar para 5 personas	975
9	1 persona realizando trabajo normal a 20°C	170
10	1 persona realizando trabajo normal a 20°C	170
11	1 persona realizando trabajo normal a 20°C	170
12	1 persona realizando trabajo normal a 20°C; cocinar para 4 personas	770
13	1 persona realizando trabajo normal a 20°C; cocinar para 4 personas	770
14	4 personas realizando trabajo ligero a 20°C	440
15	4 personas realizando trabajo ligero a 20°C	440
16	4 personas realizando trabajo ligero a 20°C	440
17	4 personas realizando trabajo ligero a 20°C; calefacción	740
18	4 personas realizando trabajo ligero a 20°C; calefacción	740
19	5 personas realizando trabajo ligero a 20°C; calefacción; cocinar para 5 personas	1600
20	5 personas realizando trabajo ligero a 20°C; calefacción; cocinar para 5 personas	1600
21	5 personas en actividad de reposo a 20°C	525
22	5 personas en actividad de reposo a 20°C	525
23	5 personas en actividad de reposo a 20°C	225
24	5 personas en actividad de reposo a 20°C	225

La producción de vapor de agua de cada hora del día no es acumulable, ya que la circulación de aire al interior de la vivienda (renovaciones de aire) hace que el vapor producido salga al exterior, igualando la humedad relativa del aire con la del medio ambiente. Durante un día normal de actividades el mayor riesgo de condensación se produce cerca de las seis de la mañana, hora en que se produce la temperatura mínima del día; mientras que para las horas de la tarde la probabilidad de que ocurra condensación es baja, debido a que la temperatura exterior alcanza los valores más altos del día, aun cuando la producción de vapor de agua al interior de la vivienda sea mayorⁿ (ver diagrama de aire húmedo en la figura 2.9)

ⁿ Comunicación personal con Gabriel Rodríguez Jaque. Experto en habitabilidad de edificios del IDIEM y Académico del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

3.2.4 Consideraciones económicas

El objetivo de este análisis es cuantificar el gasto económico en que las familias de las viviendas sociales SCMI de Buín han incurrido para poder calefaccionar sus hogares. Además de determinar la conveniencia económica de realizar la terminación propuesta del segundo piso. Estas consideraciones se realizaron tomando como combustible la parafina y el gas licuado, los que son utilizados en el 75% de las viviendas sociales SCMI de Buín. La leña utilizada en el 9% de los hogares no se consideró ya que en casi todos los casos esta es conseguida a un costo muy variable, basado prácticamente en el costo de transporte del combustible.

Basado en los valores de energía requerida en calefacción obtenidos para los tres tipos de vivienda se obtuvieron las cantidades de combustible requerido en calefacción (CRC) y el gasto económico requerido en calefacción^o (GERC), necesario para alcanzar la temperatura de confort (ver tablas 3.23 a la 3.25).

Tabla 3.23: Combustible requerido en calefacción para tres tipos de vivienda en estudio

Tipo de vivienda	Kerosene doméstico		Gas licuado	
	CRC [l/m2año]	CRC total [l/año]	CRC [kg/m2año]	CRC total [kg/año]
SCMI original	20,7	1090	14,6	767
Propuesta SCMI	14,5	762	10,2	536
Ladrillo	20,7	1086	14,5	764

Tabla 3.24: Gasto económico requerido en calefacción para los tres tipos de vivienda en estudio debido al uso de kerosene doméstico como combustible

GERC total [\$]	2004	2005	2006	2007	Total Actualizado a 2008
SCMI original	347.561	430.365	476.125	499.005	1.924.641
Propuesta SCMI	242.942	300.822	332.808	348.801	1.345.311
Ladrillo	346.358	428.876	474.477	497.278	1.917.981

Tabla 3.25: Gasto económico requerido en calefacción para los tres tipos de vivienda en estudio debido al uso de gas licuado como combustible

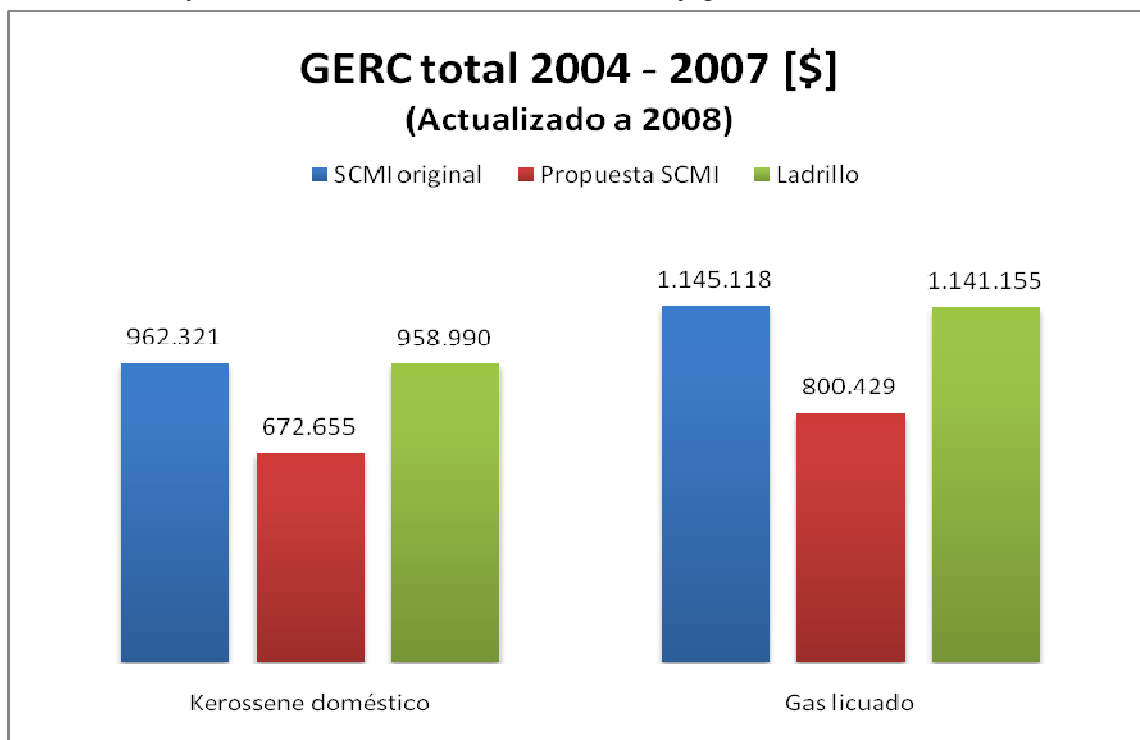
GERC total [\$]	2004	2005	2006	2007	Total Actualizado a 2008
SCMI original	462.486	498.534	534.582	586.736	2.290.235
Propuesta SCMI	323.275	348.472	373.669	410.124	1.600.858
Ladrillo	460.885	496.809	532.732	584.705	2.282.309

^o Los valores de GERC de los años 2004 a 2007 fueron actualizado al año 2008 utilizando una tasa de descuento del 4% especificada por un estudio realizado por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) (BARRERA, 2007).

Los valores de gasto económico expuestos en las tablas 3.24 y 3.25 suponen uso de calefacción durante todo el tiempo en que la temperatura interior esté bajo la temperatura de confort, por lo que estos valores se deben considerar como lo máximo que una familia pudo haber gastado para calefaccionar su hogar.

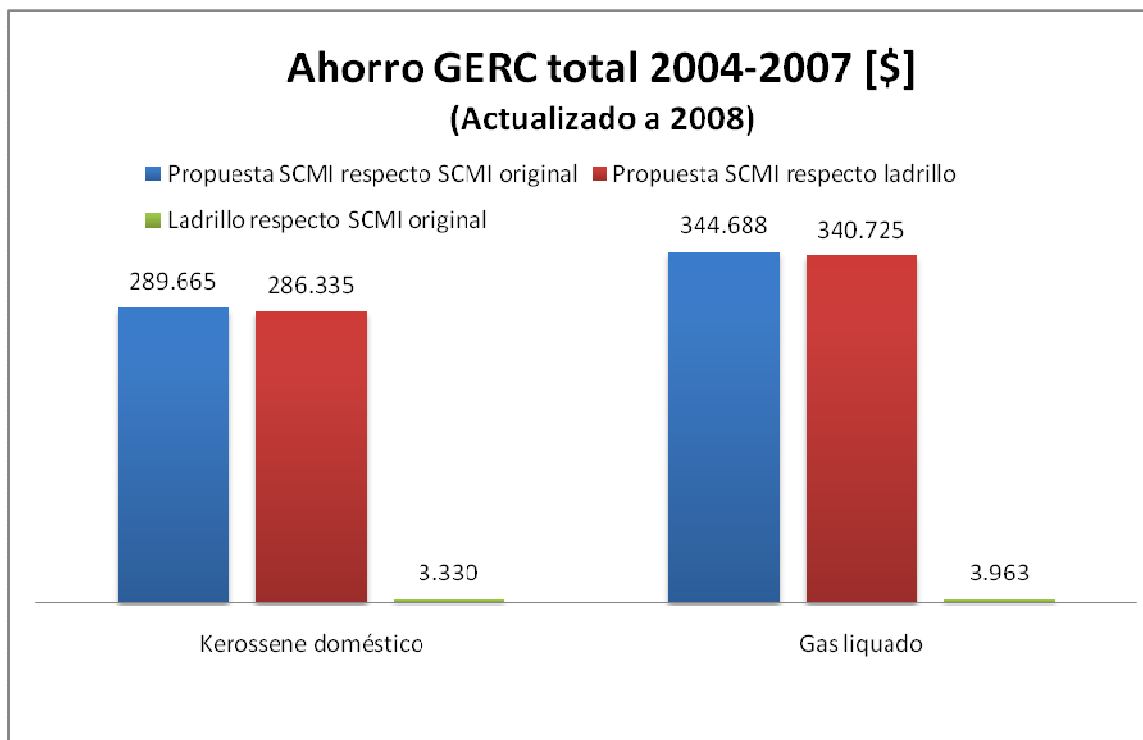
Para afinar los resultados del gasto económico en que incurrieron las familias, y hacerlos más cercanos a la realidad, se pueden multiplicar los resultados expuestos en GERC total por un factor de ocupación, que para este tipo de viviendas puede ser de 0,5; descontando de esta manera el tiempo en que los moradores no utilizan calefacción aún cuando la temperatura interior sea inferior a la temperatura de confort (20°C), siendo este estimado en 12 horas diarias tomando en cuenta el tiempo cuando no hay habitantes en la vivienda y cuando los habitantes duermen. Entonces el GERC total y ahorro en GERC obtenido (aplicado el factor de ocupación), en que se estima incurrieron las familias en los cuatro años de residencia de análisis es el que aparece en las figuras 3.34 y 3.35 respectivamente.

Figura 3.34: Gasto económico requerido en calefacción para los tres tipos de vivienda entre los años 2004 y 2008 utilizando kerosene doméstico y gas licuado como combustible



De los resultados expuestos en la figura 3.34 se puede obtener que el GERC promedio anual, en pesos chilenos actualizados al año 2008, siendo para la vivienda SCMI original y de ladrillo de un valor similar cercano a los \$240.000 al utilizar parafina y de \$286.000 en el caso del gas licuado. Para la vivienda SCMI terminada los valores son de \$168.000 y \$200.000 al utilizar parafina y gas licuado respectivamente.

Figura 3.35: Ahorro en el gasto económico requerido en calefacción para los tres tipos de vivienda entre los años 2004 y 2008 utilizando kerosene doméstico y gas licuado como combustible



El ahorro que se logra al realizar la propuesta de terminación del segundo piso en la vivienda social SCMI, es de \$289.000 en el período de análisis utilizando parafina como combustible, y de \$344.000 al utilizar gas licuado. Entonces la propuesta de terminación genera un ahorro promedio anual en calefacción de \$72.400 al utilizar parafina y de \$86.000 por año al utilizar gas licuado; esto con los precios de combustible obtenidos para los años 2004 al 2007 de estadísticas de la Comisión Nacional de Energía y actualizados al año 2008 (CNE, 2008b). Este ahorro económico promedio por año puede ser mayor en los próximos años, debido a los problemas energéticos que se están generando a nivel mundial, lo que se ha traducido actualmente en un aumento constante de los precios de los combustibles, en especial de los hidrocarburos (kerosene doméstico, gas licuado, gas natural y otros derivados del petróleo)

En cuanto al ahorro económico que genera la vivienda de ladrillo en relación a la vivienda social SCMI original durante los cuatro años de análisis es despreciable, por lo que se considera que ambos tipos de vivienda generan el mismo nivel de gasto económico en calefacción.

Desde el punto de vista de ahorro económico en calefacción, el realizar la terminación del segundo piso de las viviendas sociales de Buín por parte de las familias que las habitan, resulta ser una inversión y no un costo, ya que el dinero utilizado en los materiales y mano de obra necesario para concretar la propuesta puede ser recuperado en unos pocos años por la menor cantidad de combustible que se necesitará para calefaccionar las viviendas

terminadas. Además la menor cantidad de combustible necesario para calefaccionar (parafina, gas licuado o leña), entrega otras externalidades como la menor contaminación dentro del hogar y la menor producción de vapor de agua, disminuyendo de esta manera los riesgos asociados a contraer enfermedades respiratorias por parte de sus moradores (CACERES, 2001)

Una estimación de la valoración de los materiales y mano de obra para realizar la terminación propuesta del segundo piso de la vivienda social SCMI se encuentra en la tabla 3.26, teniendo un costo total cercano a los \$315.000 en el año 2008^p. Este costo para concretar la terminación se puede recuperar totalmente en cuatro años al utilizar gas licuado como combustible y en cinco años si el combustible utilizado es parafina.

Un aspecto importante a recordar es que el año 2002, cuando se licitó la construcción de las 225 viviendas sociales de Buín, estas fueron consideradas bajo el programa habitacional “Vivienda Social Dinámica Sin Deuda”, dejando de esta manera la ampliación y/o terminación de las viviendas en manos de las familias beneficiarias. Además este programa contempló un costo total por vivienda de 290 UF. En este contexto las viviendas sociales SCMI de Buín cumplieron con el objetivo de este programa habitacional.

En la actualidad el programa de construcción de viviendas sociales se basa en el “Fondo Solidario de la Vivienda” donde el monto contemplado para una nueva vivienda social es de 340 UF, es decir 50 UF más de lo utilizado en la construcción de las viviendas sociales SCMI de Buín. Esto último hace muy factible la entrega de viviendas sociales de similares características a las de este estudio completamente terminadas.

Tabla 3.26: Valoración de materiales y mano de obra necesarios para la terminación del segundo piso de la vivienda social SCMI en el año 2008

Material	cantidad	Costo unitario [\$]	Costo total [\$]
Planchas yeso-cartón 10 mm 1,2 x 2,4 m	18	5.586	100.548
Poliestireno expandido 50 mm (12 planchas de 1 x 0,5 m)	4	8.748	34.992
Tornillos yeso-cartón rosca gruesa 6x1 1/4" 250 unidades	3	1.768	5.304
Cinta para juntas con pasta adhesiva 75 m	1	2.480	2.480
Masilla en pasta para juntas 1kg (rinde 90 m lineales)	1	1.098	1.098
Pintura interior "látex habitacional" 1/4 galón (rinde 35 m ² y se considera la aplicación de dos manos de pintura)	3	3.490	10.470
Instalación eléctrica 2 piezas 2° piso (considerando instalaciones de enchufes, interruptores, cables 10A, tubos conduit PVC, fusible 10A)			40.000
HH mano de obra	40	3.000	120.000
Total			314.892

^p Los valores de los materiales se obtuvieron de los precios en internet de dos grandes centros de distribución de la Región Metropolitana, consultados en junio de 2008 (www.homecenter.cl y www.easy.cl)

3.2.5 Comportamiento térmico y energético en diferentes localidades de Chile

Basados en los valores R100 exigidos en la reglamentación térmica, se obtuvieron los espesores mínimos de material aislante utilizado en los complejos de techumbre y muros para cada zona térmica. En los cálculos térmicos se utilizaron los espesores comerciales de poliestireno expandido asociados a cada espesor mínimo (ver tabla 3.27).

Es importante señalar que el cambio en el espesor del material aislante en los muros y techumbre no afecta el diseño de la vivienda social SCMI, a diferencia de lo que ocurriría con una vivienda tradicional de albañilería, en donde un aumento en el espesor del material aislante implica un cambio en el espesor de los muros, con el consecuente costo y disminución de las superficie habitable de la vivienda.

Tabla 3.27: Espesores mínimos R100 y comerciales de poliestireno expandido para cada zona térmica

Zona térmica	Techumbre		Muros	
	Espesor mínimo R100 [mm]	Espesor comercial [mm]	Espesor mínimo R100 [mm]	Espesor comercial [mm]
1	40	40	10	10
2	61	60	10	10
3	81	80	17	20
4	101	100	20	20
5	121	120	22	25
6	141	140	34	40
7	162	160	66	60

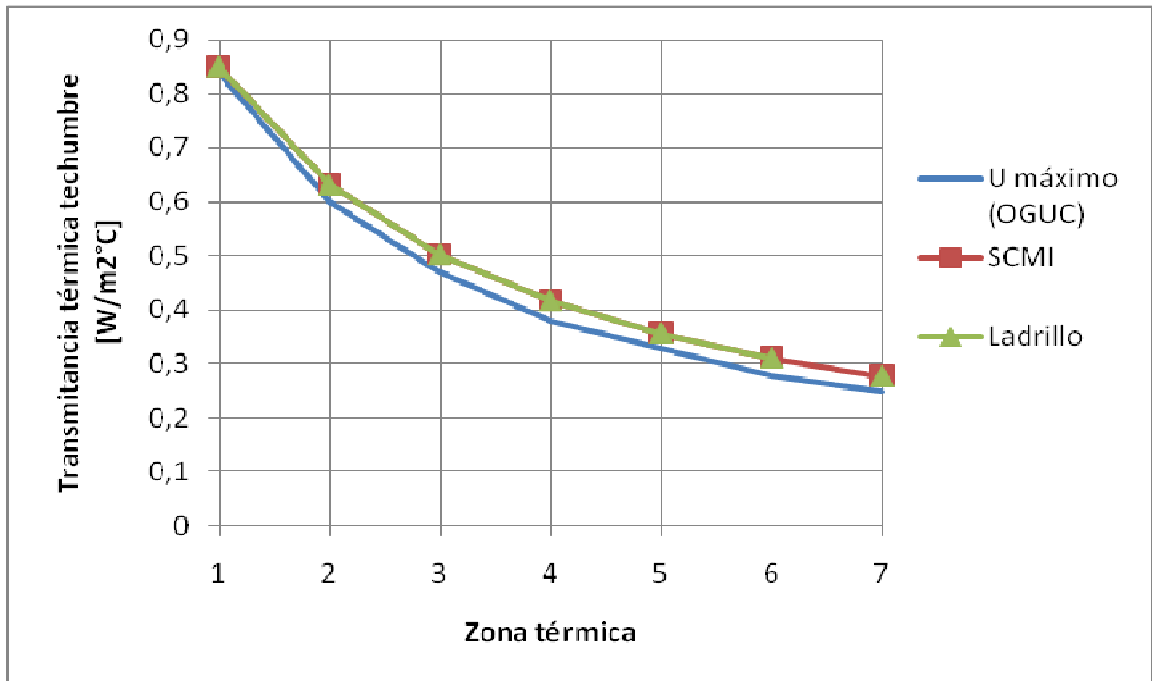
Los valores obtenidos de transmitancias térmicas para techumbre y muros, y de los factores Gv1 y Gv2 se muestran en la tabla 3.28.

Tabla 3.28: Transmitancias térmicas para techumbre y muros, y factores Gv1 y Gv2 para la vivienda social SCMI y la alternativa de ladrillo para cada zona térmica del país

Zona térmica	U techumbre [W/ m ² °C]		U muros [W/ m ² °C]		Gv1 [W/m ³ °C]		Gv2 [W/m ³ °C]	
	SCMI	Ladrillo	SCMI	Ladrillo	SCMI	Ladrillo	SCMI	Ladrillo
1	0,85	0,85	1,37	2,02	1,35	1,70	1,87	2,22
2	0,63	0,63	1,37	2,02	1,29	1,64	1,82	2,17
3	0,50	0,50	1,08	2,02	1,10	1,61	1,63	2,14
4	0,42	0,42	1,08	2,02	1,08	1,59	1,60	2,11
5	0,36	0,36	0,97	2,02	1,01	1,57	1,53	2,10
6	0,31	0,31	0,75	2,02	0,88	1,56	1,40	2,09
7	0,28	0,28	0,58	2,02	0,78	1,55	1,30	2,08

Se puede observar en la figura 3.36 que los valores de transmitancia térmica del complejo de techumbre no cumplen con las transmitancias térmicas máximas exigidas por la reglamentación, pero sí con la alternativa de cumplir con la instalación de un material aislante etiquetado R100, requerido para cada zona climática; por lo que el complejo de techumbre sí cumple con la reglamentación térmica en ambos casos.

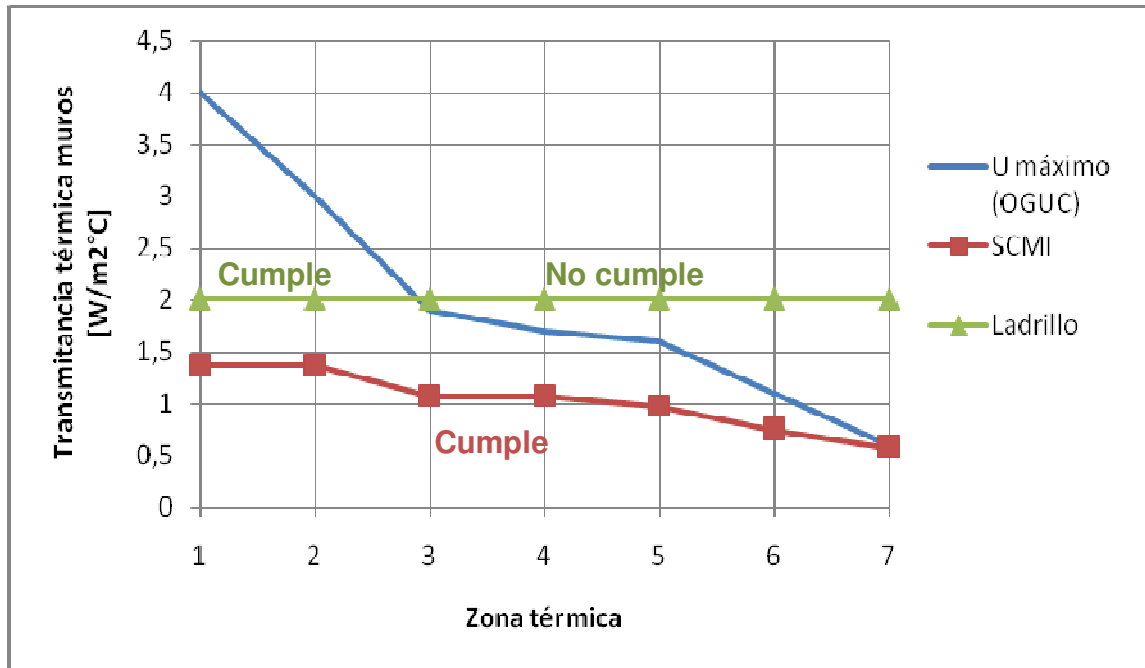
Figura 3.36: Transmitancia térmica máxima por reglamentación y transmitancias calculadas para el complejo de techumbre de la vivienda social SCMI y la alternativa de ladrillo en cada zona térmica.



En cuanto a la transmitancia térmica de los muros, la vivienda social SCMI cumple en forma satisfactoria con lo exigido por la reglamentación en cada zona térmica, contrario a lo que ocurre con el muro de ladrillo que presenta valores aceptables sólo para las zonas térmicas uno y dos (ver figura 3.37). Se puede apreciar entonces que un muro de ladrillo típicamente utilizado en la construcción de viviendas sociales, no alcanza para cumplir con la reglamentación térmica vigente en cinco de las siete zonas térmicas del país, por lo que se deberá incurrir en un costo mayor para implementar muros que térmicamente cumplan con la exigencia. Dado que la construcción de una vivienda social tiene un precio fijo (340 UF para gran parte del país), un gasto mayor en la implementación de los muros se puede traducir en la disminución de la superficie construida de una vivienda social de albañilería o en otras acciones que pueden afectar la calidad de la vivienda, influyendo negativamente el bienestar habitacional de sus moradores. El único costo que varía en la implementación de muros de una vivienda SCMI es el debido al cambio de espesor del material aislante, ya que este se puede instalar sin inconvenientes al interior del entramado de madera que acepta espesores de material aislante de hasta 7cm⁹ con la misma cantidad de mano de obra (horas hombre).

⁹ Típicamente se utilizan entramados de madera aserrada seca de 2x3'' (5 x 7cm) para muros estructurales, como es el caso de la vivienda social SCMI en estudio

Figura 3.37: Transmitancia térmica máxima por reglamentación y transmitancias calculadas para el complejo de muros de la vivienda social SCMI y la alternativa de ladrillo en cada zona térmica.



De los valores de G_{v2} obtenidos, se puede obtener el ahorro energético que entrega la vivienda social SCMI respecto a la alternativa de ladrillo para cada una de las zonas térmicas. Los valores de ahorro energético se muestran en la tabla 3. 29 y los valores de Energía requerida en calefacción se entregan en la tabla 3.30.

El gasto energético de la vivienda social industrializada de madera es siempre menor al de la alternativa de ladrillo. Los ahorros energéticos van desde 15,7% en la zona de menor requerimiento térmico, hasta 37,4% en la zona de mayor requerimiento térmico.

Tabla 3.29: Ahorro energético en calefacción de la vivienda social SCMI respecto a la vivienda de ladrillo.

Zona térmica	Ahorro Energético SCMI respecto ladrillo
1	15,7%
2	16,1%
3	23,8%
4	24,1%
5	26,9%
6	32,8%
7	37,4%

Para la zona térmica 1 no hay necesidad de calefacción, por lo que no existe un ahorro térmico efectivo entre ambas viviendas en estudio, tal como se muestra en la tabla 3.29 para

la ciudad de Arica, donde no hay un período del año en que las familias necesiten calefaccionar sus hogares. El ahorro energético se torna importante cuando mayor es la cantidad grados día, es decir cuando las condiciones climáticas mantienen temperaturas bajas durante períodos prolongados de tiempo. Por lo que se puede concluir que el ahorro energético debido a calefacción es importante desde la zona térmica tres hasta la siete, mientras que para las dos primeras zonas térmicas no se logran ahorros importantes de energía, lo que se traduce además en un bajo gasto económico en combustible. En el Apéndice IV se muestra los valores gasto económico para calefaccionar la vivienda social SCMI y la alternativa de ladrillo para todas las zonas térmicas utilizando diferentes tipos de combustible, valores que sirven como referencia de las localidades donde el ahorro energético es significativo.

Tabla 3.30: Energía requerida en calefacción de la vivienda social SCMI y de la alternativa de ladrillo en distintas localidades del país.

Localidad	ERC [kW-h/ m ² año]		ERC Total [kW-h/año]	
	Propuesta SCMI	Ladrillo	Propuesta SCMI	Ladrillo
Arica	0	0	0	0
Antofagasta	54	64	2839	3369
Copiapó	113	134	5917	7022
Los Andes	128	167	6701	8798
Valparaíso	118	141	6214	7410
Santiago	148	194	7782	10216
Talca	139	183	7319	9639
Concepción	197	259	10354	13636
Temuco	196	268	10307	14106
Puerto Montt	211	314	11085	16486
Coyhaique	254	406	13339	21321
Punta Arenas	308	492	16169	25844

Al realizar un análisis térmico, se debe tener en cuenta también el concepto de inercia térmica, que es la capacidad que presentan los materiales para absorber y entregar calor. Se sabe que el calor Q absorbido o cedido por un cuerpo depende de la masa m , calor específico C y de la diferencia entre la temperatura inicial y final ΔT del mismo ($Q = m \cdot C \cdot \Delta T$). La madera tiene una baja acumulación de calor, mientras que los materiales aislantes y el aire prácticamente no tienen inercia térmica, por el contrario el ladrillo y el concreto son buenos acumuladores de calor^r (SARMIENTO, 2007). Este fenómeno se traduce en que edificaciones con baja inercia térmica expondrán a sus habitantes a bruscas variaciones de temperatura en su interior; por lo que no es tan importante en localidades costeras donde las oscilaciones diarias de temperatura son bajas, pero sí lo es en valles y zonas cordilleranas donde las oscilaciones diarias de temperatura son altas. Para subsanar este fenómeno en viviendas de madera, se puede aumentar la inercia térmica utilizando materiales con alta capacidad de acumular calor (como el ladrillo) en los muros interiores, para de esta manera mantener condiciones térmicas más homogéneas durante el día (RODRIGUEZ, 2007).

^r El Pino Radiata (densidad 450 kg/m³) presenta un calor específico de 2,8 [kJ/kg°C], mientras que el ladrillo (densidad 1920 kg/m³) presenta un calor específico de 0,835 [kJ/kg°C] (SARMIENTO, 2007)

4. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

El Sistema Constructivo Modular Industrializado de viviendas de madera cumple con la reglamentación térmica existente en todo el país, produciendo ahorros energéticos importantes; garantiza la calidad de sus componentes por medio de un proceso industrializado; y puede cumplir con todos los requerimientos técnicos necesarios para garantizar el bienestar habitacional de los habitantes; por lo que aparece como una buena alternativa para la construcción de viviendas sociales teniendo en cuenta las variables de diseño analizadas en este estudio. Esto último ayudará a prestigiar el uso de la madera en la construcción de viviendas, y a ir eliminando con el tiempo los prejuicios que existen en nuestro país por la utilización de este material.

En general las familias se sienten satisfechas respecto de sus viviendas sociales industrializadas de madera. Sin embargo hay aspectos tecnológicos que se deben mejorar, lo cuales son factibles de realizar sujetos a la restricción presupuestaria de las viviendas sociales. El factor peor evaluado es la aislación acústica de las viviendas, debido principalmente por lo deficiente que es el muro medianero, el cual presenta una masa insuficiente y un mal sellado de las juntas. Sin embargo actualmente existen configuraciones de muros de madera ensayados acústicamente, que cumplen con los niveles exigidos por la normativa nacional.

La iluminación natural es considerada como satisfactoria debido a que la orientación y superficie de ventanas fue adecuada para las condiciones de radiación solar que presenta la localidad de emplazamiento.

La percepción regular de los habitantes sobre el factor térmico se debe a la condición cuasi habitable del segundo piso, y por lo tanto se puede mejorar al realizar la terminación propuesta de muros perimetrales y complejo de techumbre, reduciendo de esta manera las pérdidas térmicas y el uso de combustible para calefaccionar, y controlando las renovaciones de aire al interior de la vivienda. Además la terminación propuesta hace que en todos los recintos la vivienda cumpla con la exigencia nacional existente sobre resistencia al fuego, mejorando además la baja percepción que se evidenció en este ítem.

La percepción de las viviendas sociales industrializadas frente a los sismos es buena debido al bajo peso estructural de estas. La evaluación de la protección de las viviendas frente a las lluvias es satisfactoria debido principalmente a la correcta elección de los materiales que conforman la envolvente, los que aseguran una adecuada protección e impermeabilización.

La percepción de la seguridad frente a las termitas es deficiente, a pesar de que ninguna de las viviendas encuestadas evidenció ataques de estos insectos después de cuatro años de su construcción. Además las viviendas del conjunto habitacional en estudio cuentan con estrategias de diseño suficientes para prevenir este tipo de ataques. Esta mala percepción evidencia el prejuicio que existe en nuestro país de que toda estructura de madera es susceptible a ser atacada por termitas sin importar las condiciones de diseño preventivas

que se hayan tomado.

La política habitacional de entregar viviendas sociales con una superficie mínima habitable e incorporando en el diseño arquitectónico y estructural una proyección de ampliación por parte de los propietarios, no cumplió su objetivo para el conjunto habitacional en estudio, ya que menos del 7% de los encuestados pudo realizar la terminación de la vivienda en forma satisfactoria después de cuatro años de residencia, debido a la falta de capacidad de ahorro de las familias.

La vivienda social SCMI con la condición cuasi habitable del segundo piso presenta la misma cantidad de pérdidas térmicas totales que una vivienda de ladrillo, sin embargo al realizar la terminación propuesta la vivienda social SCMI presenta un ahorro energético del 30% respecto a la alternativa de ladrillo. Dentro de este análisis se evidenció que las principales diferencias entre las viviendas en estudio se presentan a través de los muros perimetrales, donde la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación presenta flujos térmicos 48% menores a la vivienda SCMI original, y 58% menores a la alternativa de ladrillo. Además la vivienda social SCMI terminada presenta menor riesgo de condensación de agua en relación una vivienda de ladrillo.

La terminación del segundo piso de las viviendas SCMI de Buín se convierte en una inversión y no en un costo, ya que el dinero requerido para la compra de materiales y mano de obra necesaria, se pueden recuperar en un período cercano a los cuatro años sólo por concepto de ahorro en calefacción al utilizar parafina o gas licuado como combustible; además se generan externalidades positivas debido a la menor cantidad de combustible necesario para alcanzar una condición de confort térmico, con la consecuente disminución de contaminación intradomiciliaria y favoreciendo de esta manera la salud de los moradores.

La vivienda social SCMI cumple con los requerimientos de aislación mínimos requeridos para complejos de techumbre y muros en todas las zonas térmicas que establece la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. En cambio la alternativa de ladrillo sólo cumple con la exigencia en dos de las siete zonas térmicas existentes, por lo que para cumplir con los requerimientos térmicos mínimos se deberá incurrir en un costo mayor para mejorar el comportamiento de los muros perimetrales. Además la vivienda social SCMI con los espesores mínimos de material aislante requeridos para cada zona térmica presenta ahorros de gasto energético respecto a una vivienda de ladrillo que varían entre 16% y 37%.

Sería muy importante dar a conocer a los futuros propietarios de viviendas sociales, las ventajas térmicas que presenta una vivienda de madera SCMI frente a una vivienda similar de albañilería, expresado por ejemplo, en la cantidad de dinero que puede ahorrar por año en calefacción. Además como las viviendas sociales SCMI cumplen con la actual exigencia térmica en todo el país, no necesitan incurrir en un gasto mayor para acondicionar la envolvente del edificio como es el caso de una vivienda de albañilería de ladrillo en las zonas térmicas 3 a 7, lo que se puede traducir en la construcción de viviendas sociales de mayor superficie con un mismo presupuesto. Este tipo de información puede ayudar en una toma de decisión más informada por parte de los potenciales propietarios y que puede incentivar la elección de una vivienda de madera.

Es importante señalar que los puntos clave del sistema constructivo que se estudió son que se realiza en forma industrializada, garantizando la calidad de sus componentes mediante un proceso controlado; y que los elementos estructurales de madera no se encuentran expuestos a la intemperie, ayudando a prolongar la vida útil de la vivienda y presentando un costo de mantención similar al de las viviendas de albañilería.

La información de las percepciones que los habitantes tienen sobre las viviendas que trató este estudio, pueden ser de gran importancia para la industria que construye viviendas de madera, ya que es un buen acercamiento a los requerimientos que tienen los usuarios; dejando bien en claro los aspectos técnicos que se deben mejorar para obtener un producto de calidad y que deje satisfecho a los futuros propietarios de este tipo de viviendas.

La metodología utilizada para este trabajo puede servir como base para realizar un estudio más ampliado sobre el tema, tomando una muestra representativa a nivel nacional y midiendo las percepciones de propietarios de viviendas de madera, quienes son los que pueden expresar una opinión sobre el tema con toda propiedad; y de esta manera diseñar tipologías de viviendas y soluciones constructivas que satisfagan en forma integral los requerimientos encontrados. Además se propone realizar mediciones experimentales, como las realizadas por OLIVARES (1991) y OLMEDO (2005), para medir y comparar el comportamiento térmico de viviendas sociales de madera SCMI y de albañilería de ladrillo, de arquitectura y condiciones climáticas similares para corroborar los resultados expuestos en este estudio.

5. BIBLIOGRAFÍA

ANABALON, M. 1999. Pérdidas de energía por infiltraciones de aire en viviendas. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 86 p.

APA- THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION (APAWOOD). 2008. Engineered Wood Construction Guide N°E30T. [En línea]. <http://www.apawood.org/level_c.cfm?content=pub_bas_libmain>. [Consulta: 1 de abril de 2008].

BARRERA, S. 2007. Etiquetado de eficiencia energética. [En línea]. <<http://www.ccs.cl/html/eventos/2007/doc/Presentación%20Etiquetado%20SEC.ppt>>. [Consulta: 1 de junio de 2008].

CACERES, D., ADONIS, M., RETAMAL, C. *et al.* 2001. Contaminación intradomiciliaria en un sector de extrema pobreza de la comuna de La Pintana. *Rev. méd. Chile*. [En línea]. <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872001000100005&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0034-9887. [Consulta: 12 de Agosto de 2008]

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DE LA MADERA DE LA CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA (CTT-CORMA). 2008a. Control de termitas. [En línea]. <http://www.cttmadera.cl/wp-content/uploads/2008/03/control-de-termitas-_rev-24-marzo-2008_.pdf>. [Consulta: 12 de agosto de 2008].

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DE LA MADERA DE LA CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA (CTT-CORMA). 2008b. Seminario: Futuro de la impregnación de Pino Radiata en Chile. [En línea]. <<http://www.cttmadera.cl/wp-content/uploads/2008/01/seminario-8-enero-08.pdf>>. [Consulta: 12 de agosto de 2008].

COLONELLI, P., RODRIGUEZ, G. 2004. Características acústicas de viviendas sociales urbanas. Proyecto Fondef D00I1039 Bienestar habitacional. Fundación Chile. Santiago, Chile. 75 p.

COLONELLI, P., RODRIGUEZ, G. 2007. Ruidos en viviendas. Proyecto Fondef D00I1039 Bienestar habitacional. Fundación Chile. Santiago, Chile. 39 p.

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). 2008a. Estadísticas: Balance nacional de energía 2006. [En línea]. <<http://www.cne.cl>>. [Consulta: 23 de mayo de 2008].

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). 2008b. Estadísticas: Hidrocarburos, precios al consumidor en Santiago según el Instituto Nacional de Estadísticas. [En línea]. <<http://www.cne.cl>>. [Consulta: 23 de mayo de 2008].

CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA (CORMA). 2007. Mailing Ejecutivo / Construcción en madera: Crecimiento sobre bases sólidas. [En línea]. <http://www.corma.cl/portal/menu/publicaciones/mailling_ejecutivo/contruccion_madera>. [Consulta: 14 de agosto de 2007].

FERRADA, J., 2003. Estudio acústico de viviendas sociales de albañilería. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 133 p.

FUNDACIÓN CHILE, 2000. Memoria descriptiva Sistema Constructivo Modular Industrializado de viviendas. Santiago, Chile. 10 p.

FUNDACIÓN CHILE, 2003. Evaluación del comportamiento térmico: Propuesta arquitectónica y técnica población Las siete hermanas, V región. Proyecto Fondef D00I1039 Bienestar habitacional. Santiago, Chile. 17 p.

FUNDACIÓN CHILE, UNIVERSIDAD DE CHILE, UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA Y CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN, 2004. Bienestar Habitacional. Guía de Diseño para un Hábitat Residencial Sustentable. Santiago, Chile. 123 p.

GAETE, C., 1993. Estudio de un sistema prefabricado en madera destinado a la vivienda económica. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 256 p.

GALDAMES, S., 2001. Física de la construcción de una vivienda industrializada estructurada en madera. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 82 p.

HERNANDEZ, R., FERNANDEZ, C., y BAPTISTA, P., 2006. Metodología de la Investigación. Cuarta Edición. McGraw-Hill. México. 850 p.

INSTITUTO DE LA VIVIENDA (INVI). 2008. Glosario del hábitat residencial. [En línea]. <<http://www.planregional.cl/info/default.asp?a=12&op=0&idinfo=27&idseccion=2>>. [Consulta: 23 de julio de 2008].

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1960. Norma chilena oficial; NCh 1960.Of60: Aislación térmica – Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1977. Norma chilena oficial; NCh 1979.Of77: Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1991. Norma chilena oficial; NCh 853.Of91: Acondicionamiento térmico – Envoltorio térmico de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1997a. Norma chilena oficial; NCh 933.Of97: Prevención de incendio en edificios – Terminología

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1997b. Norma chilena oficial; NCh 935/1.Of97: Prevención de incendio en edificios – Ensayo de resistencia al fuego- Parte 1: Elementos de construcción en general

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 2000. Norma chilena oficial; NCh 352/1.Of2000: Aislación acústica – Parte 1: Construcciones de uso habitacional – Requisitos mínimos y ensayos

LUOSIANA PACIFIC CHILE S.A. (LP). 2008. Catálogo técnico Revestimientos exteriores para la vivienda: Smart Side. [En línea]. <http://www.lpchile.cl/index.php?pag_id=9&len_id=1>. [Consulta: 12 de agosto de 2008].

MENESES, J., 2006. Ahorro de energía en viviendas: Aporte y defensa solar. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 171 p.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU). 2004. El déficit habitacional en Chile: medición de los requerimientos de vivienda y su distribución espacial. Santiago, Chile.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU). 2007a. Fondo Solidario de vivienda. [En línea]. <<http://www.minvu.cl>>. [Consulta: 3 de agosto de 2007].

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU). 2007b. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Santiago, Chile.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU). 2008. Listado Oficial de Soluciones Constructivas para aislamiento acústico. Edición 007. Santiago, Chile.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO; INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN. 2006. Manual de aplicación reglamentación térmica: Ordenanza General de Urbanismo y construcciones artículo 4.1.10. Primera edición. Editorial Edicolor. Santiago, Chile. 54 p.

OLIVARES, A., 1990. Comportamiento físico-ambiental de una “Vivienda Energitérmica”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 192 p.

OLMEDO. 2005. Necesidades de calefacción de una vivienda experimental de madera en la Región Metropolitana. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 120 p.

RODRÍGUEZ, G., 2000. Aspectos físico-ambientales Sistema Constructivo Modular Industrializado. Fundación Chile. Santiago, Chile. 36 p.

RODRÍGUEZ, G., 2006. Confort térmico. Apuntes del curso Física de la Construcción. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

RODRÍGUEZ, G., 2007. Clima y construcción habitacional: conceptos térmicos. Apuntes del curso Física de la Construcción. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

SARMIENTO, P. 2007. Energía Solar en Arquitectura y Construcción. Primera edición. Editorial Ril. Santiago, Chile. 343 p.

SERVICIO DE SALUD METROPOLITANO DEL AMBIENTE (SESMA). 2008. Información general relativa a acústica. [En línea]. <<http://www.asrm.cl/sitio/download/acustica/ANTECGERALACUSTICA.PDF>>. [Consulta: 9 de agosto de 2008].

SERVICIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (SERVIU). 2008. Programa de vivienda social dinámica sin deuda. [En línea]. <http://www.serviurm.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=60&Itemid=74>. [Consulta: 30 de agosto de 2008].

TECNO TRUSS S. A. 2003. Sistema de Gestión de Calidad Proyecto CR Ingeniería Ltda.: Memoria Explicativa. 8 p.

TEJER, B. 2004. Estudio del efecto de las ondas mecánicas sobre *Reticulitermes hesperus Banks* en madera de *Pinus radiata* (D.DON). Memoria para optar al título de Ingeniero de la Madera. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 78 p.

UGARTE, J., 2005. Protección de viviendas industrializadas de madera contra la humedad, fuego y termitas. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 292 p.

WAGNER, M. 2003. El Método Aditivo de Componentes (CAM) para el cálculo y verificación de la resistencia al fuego de entramados de paredes, pisos y techos; adaptado de "Component Additive Method for Calculating and Demonstrating Assembly Fire Endurance", serie: Design for Code Acceptance N° 4, National Forest Product Association, Washington D.C., 1991. Apuntes del curso Construcciones en Madera. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile

**ANEXO I: MEMORIA DESCRIPTIVA SISTEMA CONSTRUCTIVO MODULAR
INDUSTRIALIZADO DISEÑADO POR FUNDACIÓN CHILE**

Memoria descriptiva Sistema Constructivo Modular Industrializado (SCMI)

1. Definición

El SCMI, es una forma de construir usando estructuras de madera y otros materiales, que en conjunto y a través de un proceso industrial, permite construir todo o parte de la construcción en uno, dos o tres pisos, de edificios habitacionales, oficinas, campamentos, establecimientos educacionales, hospitalarios y otros.

2. Características

Este sistema presenta entre sus principales características lo siguiente:

- Flexible: Permite construir cualquier tipo de edificación estructurada con madera, sin límites de superficie y hasta una altura máxima de tres pisos.
- Calidad controlada: Todos los elementos y componentes constructivos, son producidos dentro de un recinto industrial, con un control de calidad permanente
- Desempeño garantizado: El proceso de producción y los productos, son sujeto de una certificación de calidad hecha por un organismo externo a la fábrica, lo que garantiza el desempeño para el que fue adquirida. Ante cualquier falla estructural del producto terminado, el fabricante responde
- Rapidez de construcción: El sistema permite la entrega en terreno de la edificación completamente hecha, lo que asegura una gran rapidez en su emplazamiento

3. Descripción

3.1. Descripción Elementos Industrializados

La descripción de los elementos industrializados es la siguiente:

Los elementos industrializados están constituidos por un bastidor de madera de Pino radiata (*Pinus radiata D.Don*), cepillado en sus cuatro caras, contenido de humedad controlado, grado estructural G2, y tratado con sales CCA.

Los paramentos perimetrales están revestidos, por su cara externa, con tableros estructurales a base de madera (contrachapados u OSB)

Interiormente se revisten con planchas de yeso-cartón que, dependiendo de su ubicación respecto del proyecto arquitectónico, serán de características ignífugas, hidrorrepelentes o normales.

Entre el revestimiento exterior y la estructura se instala un fieltro impermeable al agua, pero permeable al vapor de agua, como una barrera protectora de humedad exterior

Entre el revestimiento interior y la estructura se instala un film de polietileno como barrera

de vapor.

En el interior de cada panel perimetral, se coloca un material aislante, que puede ser lana de vidrio o mineral, poliestireno expandido o poliuretano expandido.

Los paramentos interiores se revisten por ambas caras con planchas de yeso-cartón. Sólo los muros divisorios y los entrepisos entre viviendas consideran aislamiento acústico y protección ignífuga. Del mismo modo, los muros de los recintos húmedos, se revisten con planchas hidrorrepelentes.

Los elementos industrializados llevan incorporados de fábrica, las ventanas y puertas con sus respectivos marcos y quincallería instalada.

En el proceso industrial, se producen plataformas de fundación-piso, cielo-piso (entrepiso) y cielo-cubierta, si son requeridas. En su defecto, se proporcionan los elementos planos de fábrica en caso de proyectos personalizados.

Las instalaciones de servicios, tanto sanitarios como eléctricos, se realizan en el proceso industrial, como así mismo la instalación de los aparatos correspondientes.

Todas las terminaciones, tales como revestimientos cerámicos, pinturas en muros, alfombras, vinílicos y cerámicos en pavimentos, se pueden realizar en fábrica o en obra, dependiendo del grado de industrialización requerido por el contratante.

El Sistema Constructivo tiene absolutamente definida la secuencia de montaje, por lo tanto al ser repetitivo e igual para todos los proyectos en que se emplee, permitirá que el entrenamiento de mano de obra sea muy simple y se incremente en su repetitividad. Como contrapartida, permitirá tener una mano de obra cautiva y en constante perfeccionamiento, permitiendo una capacitación programada.

3.2. Descripción del Proceso y Productos Finales Industrializados

De acuerdo a las alternativas que presenta el SCMI, se han determinado tres grados de industrialización, uno principal y dos secundarios:

3.2.1. Modular Tridimensional (Línea Principal, elementos tridimensionales)

El modular tridimensional corresponde al principal grado de industrialización, este da como resultado viviendas modulares tridimensionales.

Estos elementos tridimensionales tienen una modulación máxima de 7,2 m de largo y un alto de 2,38 m, que permite la construcción de edificios habitacionales de hasta tres pisos. Estas dimensiones están determinadas por las características de los camiones que las transportarán y los anchos de los caminos y calles.

El proceso considera dos sectores de fabricación. Uno que consiste en la línea principal de fabricación de la vivienda modular tridimensional, con seis estaciones de montaje y el otro

que comprende cinco secciones laterales de producción de componentes. Cada una de estas cinco secciones laterales, alimentan a la línea principal de montaje, en la que se van ensamblando paulatinamente los diferentes componentes de la vivienda.

Además desde estas cinco secciones laterales, el SCMI permite producir también una vivienda completa compuesta por paneles planos, los que son ensamblados in situ. Previo al proceso de producción, la fábrica dispone de una bodega para el almacenaje de la madera precortada, que se utiliza en las secciones para la fabricación equivalente a un mes, de los componentes.

Excepcionalmente, algunas fábricas pueden disponer de una sección de pre-cortado de madera. Lo habitual es que toda la madera se compre precortada a terceros, al igual que las cerchas, puertas y demás elementos integrantes de una vivienda. Todas las fábricas son básicamente armadoras de viviendas.

Las cinco secciones laterales de producción son:

- Fabricación de plataformas de piso: Para la plataforma de piso existen dos alternativas, una es plataforma en madera y la otra plataforma prefabricada en hormigón armado
 - a) Plataforma en madera: Se utiliza madera tratada, precortada, estructural estandarizada. Además se emplea tableros estructurales contrachapados u OSB, precortado. Todo este material es comprado a terceros, listo para ser utilizado. Las operaciones consisten en clavado o engrampado. No se efectúan cortes, con lo cual no existe generación de aserrín.
 - b) Plataforma prefabricada en hormigón armado: En este caso, la plataforma de fundación es un elemento prefabricado en concreto, comprado a terceros, que se recibe en fábrica como un producto terminado y que es almacenado al inicio de la línea principal de montaje.
- Preparación de las Matrices o sistemas de conducción y evacuación de las aguas servidas de cocina y baños, para su montaje en las plataformas de piso.
- Fabricación de los paneles perimetrales y paneles interiores: Se utiliza madera tratada, precortada, estructural, estandarizada. En esta sección se colocan las puertas y ventanas, a los paneles
- Fabricación de los Sistemas de redes y paneles con las instalaciones sanitarias, eléctricas y de gas
- Fabricación de las techumbres (desde cielo a cubierta): En esta sección, además de la madera estandarizada precortada que se utiliza en la fabricación de soluciones de techumbres y cielos articulados. Alternativamente, se compra a terceros las cerchas, cuando estas son requeridas

La línea principal de fabricación, tiene seis estaciones de trabajo. El proceso comienza en la estación 1, con la preparación e instalación de las plataformas de piso, que han sido previamente fabricadas en la primera sección lateral de componentes.

A través de un sistema de rodillos o similar, el piso se traslada hasta la estación 2, donde se le incorpora el sistema de instalaciones de evacuación de aguas servidas y el revestimiento de pisos.

En la estación 3, sobre la plataforma de piso, se realiza el montaje de los muros perimetrales y tabiques interiores. En la estación 4 se incorporan las redes de instalaciones eléctricas, gas y sanitarias. La estación 5 corresponde a la instalación del cielo y techumbre, incluida la cubierta. Finalmente en la estación 6, se efectúan las terminaciones interiores y exteriores, artefactos eléctricos, artefactos sanitarios, muebles de cocina y de baño, recubrimientos de muros, tabiques y cielos. Se instalan el revestimiento exterior, canaletas y bajadas de aguas lluvias.

La vivienda una vez terminada, como un solo elemento o en secciones tridimensionales parciales, es acondicionada para su despacho y colocación en los camiones, por medio de una grúa.

3.2.2 Líneas Secundarias de Producción

Los dos grados de industrialización secundaria, se elaboran en secciones laterales de producción de la fábrica. No requieren necesariamente utilizar la línea principal.

3.2.2.1 Paneles de Pequeñas Dimensiones

La unidad estándar de modulación, es de 0,4 m de ancho por 2,38 m de alto. Esta modulación se ha definido de acuerdo con el aprovechamiento óptimo de las medidas estándares de la madera, tableros, planchas de yeso cartón y aislantes térmicos ofrecidos en el mercado.

Se ha diseñado, para su construcción en fábrica, un sistema constructivo con pequeños paneles industrializados y estandarizados. De esta manera los arquitectos podrán realizar proyectos de viviendas, en estructura de madera con elementos planos industrializados que permitan una gran diversidad de diseño, con un panel estándar definido. Este sistema garantiza al comprador una calidad y entrega oportuna, con valores y cálculos conocidos, con un criterio constructivo previamente definido

La primera etapa de la línea de fabricación produce un sistema constructivo constituido por paneles soportantes, cuyo dimensionamiento base se determina por coordinación estándar, obteniéndose ésta de los elementos de uso común en el mercado nacional (por ejemplo: las dimensiones de los tableros y las escuadrías de madera que ofrece el mercado actual). En situaciones particulares, se puede recurrir a elementos importados.

Se definen los diferentes paneles, los que conforman el listado de paneles básicos. Estos se llevan desde la fábrica, estructurados, con los vanos listos para la instalación de puertas y ventanas durante su montaje in-situ.

Del mismo modo, se definen los elementos que conforman la techumbre de la edificación, la que puede estructurarse con cerchas industrializadas (gang-nail) o con estructuras, que permitan diversas alternativas, entre las que se privilegian las soluciones de elementos laminares.

Se pueden producir fundaciones industrializadas, en base a elementos de madera como alternativa a las soluciones in situ. Se experimentó con soluciones en hormigón pretensado, las que se pueden incorporar en fábrica al momento de ensamblar la vivienda tridimensionalmente.

Los arquitectos y empresas constructoras tienen dos alternativas de uso del sistema constructivo de paneles de pequeñas dimensiones:

- Entregar el proyecto de arquitectura al Departamento técnico de la industria, el que inserta el proyecto en una malla estándar, que determina los paneles en cantidad y con la tipología predeterminada (paneles llenos, paneles ventanas, paneles puertas, estructura de techumbre y, eventualmente estructura de fundaciones). Este conjunto de elementos industrializados constituye el paquete de elementos estandarizados, el que clasificado y controlado, se despacha a obra para su montaje sobre fundaciones previamente realizadas. Dependerá del grado de terminación requerida a la línea de fabricación, las faenas adicionales que, para su terminación, se realizarán en obra.
- Como alternativa, y en una situación ideal, el conocimiento del sistema constructivo de paneles pequeños por parte de los arquitectos y empresas constructoras, permite que el proyecto sea diseñado en origen por los profesionales, bastando entregar una orden de compra con un listado de los elementos que constituyen la edificación. Esta última situación permite que las industrias puedan realizar stock de elementos y eventualmente, realizar la venta de los paquetes a través de cadenas distribuidoras (home-center, Home-Depot, etc)

3.2.2.2 Paneles de Grandes Dimensiones

Estos paneles se fabrican en la sección 3. El proceso consiste en el ensamblaje de los elementos precortados de stock, tanto de la madera estandarizada como de los tableros, planchas de yeso cartón, aislantes y barreras de vapor y de humedad.

Los paneles de grandes dimensiones, permiten solucionar industrialmente la construcción de edificaciones seriadas. Constituyen los paramentos complejos exteriores e interiores de un proyecto repetitivo.

A diferencia del sistema constructivo de paneles de pequeñas dimensiones, el sistema de paneles de grandes dimensiones, si bien es cierto que conserva la coordinación estándar,

(usa los mismos elementos precortados), no permite almacenar, dado que soluciona proyectos específicos. Además por su peso, este sistema requiere ser movido por grúas.

Su fortaleza radica en que la repetitividad del proyecto permite industrializar un menor número de paneles, al agrupar en un solo elemento, toda la cantidad de paneles que el sistema de paneles de pequeñas dimensiones debería montar en obra para edificar un solo paramento. También justifica la permanencia de una grúa durante el proceso de montaje. Al igual que el sistema anterior, en este sistema se acopia en fábrica, junto con el resto de los componentes integrantes de la vivienda: plataformas de piso, estructuras de cielos y techumbre, cerchas y otros. Todos estos componentes se empaquetan para ser despachado a la obra para su posterior montaje.

También son válidas para este sistema, las alternativas de uso del sistema de paneles de pequeñas dimensiones.

**ANEXO II: PLANO DE LOTEO CONJUNTO DE VIVIENDAS SOCIALES SCMI,
SEXTA ETAPA POBLACIÓN BAJOS DEL MATTE, COMUNA DE BUÍN**

PLANO DE LOTEO

PLANO DE LOTEO ACCESO AL D.F.L. 2

223 VIVIENDAS

1:1
VIVIENDAS EC



**ANEXO III: ARTÍCULO 4.1.10 DE LA ORDENANZA DE URBANISMO Y
CONSTRUCCIONES**

**MODIFICACION A DECRETO SUPREMO N° 47, DE VIVIENDA Y URBANISMO,
DE 1992, ORDENANZA GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES**

Publicada en el Diario Oficial el día miércoles 4 de enero de 2006

Decreto N° 192.- que modifica Decreto N° 47, de 1992, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

Santiago, 11 de noviembre de 2005, decreto N° 192.-

Entra en vigencia el 4 de enero de 2007

Artículo 4.1.10. Todas las viviendas deberán cumplir con las exigencias de acondicionamiento térmico que se señalan a continuación:

1. COMPLEJOS DE TECHUMBRE, MUROS PERIMETRALES Y PISOS VENTILADOS:

A. Exigencias:

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 a con los planos de zonificación térmica aprobados por resoluciones del Ministro de Vivienda y Urbanismo y a la siguiente tabla:

TABLA 1

ZONA	TECHUMBR E		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	W/m ² K	m ² K/ W	W/m ² K	m ² K/ W	W/m ² K	m ² K/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

1. Techumbres:

Para efectos del presente artículo se considerará complejo de techumbre al conjunto de elementos constructivos que lo conforman, tales como cielo, cubierta, aislación térmica, cadenas, vigas.

Las exigencias de acondicionamiento térmico para la techumbre serán las siguientes:

- a) En el caso de mansardas o paramentos inclinados, se considerará complejo de techumbre todo elemento cuyo cielo tenga una inclinación de 60° sexagesimales o menos medidos desde la horizontal.

- b) Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, sólo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales de la techumbre, tales como cerchas, vigas y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias.

- c) Los materiales aislantes térmicos o las soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, deberán cubrir el máximo de la superficie de la parte superior de los muros en su encuentro con el complejo de techumbre, tales como cadenas, vigas, soleras, conformando un elemento continuo por todo el contorno de los muros perimetrales.

- d) Para obtener una continuidad en el aislamiento térmico de la techumbre, todo muro o tabique que sea parte de ésta, tal como lucarna, antepecho, dintel, u otro elemento que interrumpa el acondicionamiento térmico de la techumbre y delimite un local habitable o no habitable, deberá cumplir con la misma exigencia que le corresponda al complejo de techumbre, de acuerdo a lo señalado en la Tabla 1 del presente artículo.

- e) Para toda ventana que forme parte del complejo techumbre de una vivienda emplazada entre la zona 3 a 7, ambas inclusive, cuyo plano tenga una inclinación de 60° sexagesimales o menos, medidos desde la horizontal, se deberá especificar una solución de doble vidrio hermético, cuya transmitancia térmica debe ser igual o menor a 3,6 W/m²K.

2. Muros:

Para la aplicación del presente artículo se considerará complejo de muro al conjunto de elementos constructivos que lo conforman y cuyo plano de terminación interior tenga una inclinación de más de 60° sexagesimales, medidos desde la horizontal.

Las exigencias de acondicionamiento térmico para muros serán las siguientes:

- a) Las exigencias señaladas en la Tabla 1 del presente artículo, serán aplicables sólo a

aquellos muros y/o tabiques, soportantes y no soportantes, que limiten los espacios interiores de la vivienda con el espacio exterior o con uno o más locales abiertos y no será aplicable a aquellos muros medianeros que separen unidades independientes de vivienda.

b) Los recintos cerrados contiguos a una vivienda tales como bodegas, leñeras, estacionamientos, invernadero, serán considerados como recintos abiertos para efectos de esta reglamentación, y sólo les será aplicable las exigencias de la Tabla 1 a los paramentos que se encuentren contiguos a la envolvente de la vivienda.

c) Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos en tabiques perimetrales, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, sólo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales, tales como pies derechos, diagonales estructurales y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias.

d) En el caso de la albañilería confinada de conformidad a la definición de la NCh 2123, no será exigible el valor de U de la Tabla 1 en los elementos estructurales, tales como pilares, cadenas y vigas.

e) En el caso de que el complejo muro incorpore materiales aislantes, la solución constructiva deberá considerar barreras de humedad y/o de vapor, según el tipo de material incorporado en la solución constructiva y/o estructura considerada.

f) En el caso de puertas vidriadas exteriores, deberá considerarse como superficie de ventana la parte correspondiente al vidrio de la misma. Las puertas al exterior de otros materiales no tienen exigencias de acondicionamiento térmico.

3. Pisos Ventilados:

Para efectos de la aplicación del presente artículo se considerará complejo de piso ventilado al conjunto de elementos constructivos que lo conforman que no están en contacto directo con el terreno. Los planos inclinados inferiores de escaleras o rampas que estén en contacto con el exterior, también se considerarán como pisos ventilados.

Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos en pisos ventilados, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, sólo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales del piso o de las instalaciones domiciliarias, tales como vigas, tuberías, ductos o cañerías.

B. Alternativas para cumplir las exigencias térmicas definidas en el presente artículo:

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

1. 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

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

(*) Según la norma NCh 2251: $R100 = \text{valor equivalente a la Resistencia Térmica } (m^2K / W) \times 100.$

2. Mediante un Certificado de Ensaye otorgado por un Laboratorio de Control Técnico de Calidad de la Construcción, demostrando el cumplimiento de la transmitancia o resistencia térmica total de la solución del complejo de techumbre, muro y piso ventilado.

3. 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.

4. Especificar una solución constructiva para el complejo de techumbre, muro y piso ventilado que corresponda a alguna de las soluciones inscritas en el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico, confeccionado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

2. EXIGENCIAS PARA VENTANAS:

Se considerará complejo de ventana, a los elementos constructivos que constituyen los vanos vidriados de la envolvente de la vivienda.

A. Porcentaje máximo superficie de ventanas respecto a paramentos verticales de la envolvente:

El complejo de ventana deberá cumplir con las exigencias establecidas en la Tabla 3, en relación al tipo de vidrio que se especifique y a la zona térmica en la cual se emplace el proyecto de arquitectura. El tipo de vidrio a utilizar en las superficies de ventanas deberá ser indicado en las especificaciones técnicas del proyecto de arquitectura.

Para determinar el porcentaje máximo de superficie de ventanas de un proyecto de arquitectura, se deberá realizar el siguiente procedimiento:

- a) Determinar la superficie de los paramentos verticales de la envolvente del proyecto de arquitectura. La superficie total a considerar para este cálculo, corresponderá a la suma de las superficies interiores de todos los muros perimetrales que considere la unidad habitacional, incluyendo los medianeros y muros divisorios.
- b) Determinar la superficie total de ventanas del proyecto de arquitectura, correspondiente a la suma de la superficie de los vanos del muro en el cual está colocada la ventana, considerando, para ello, el marco como parte de su superficie. Para el caso de ventanas salientes, se considerará como superficie de ventana aquella correspondiente al desarrollo completo de la parte vidriada.

La superficie máxima de ventanas que podrá contemplar el proyecto de arquitectura, corresponderá a la superficie que resulte de aplicar la Tabla 3, respecto de la superficie de los paramentos verticales de la unidad habitacional señalada en el punto a) precedente, considerando la zona y el tipo de vidrio que se especifique.

TABLA 3

ZONA	VENTANAS		
	% MÁXIMO DE SUPERFICIE VIDRIADA RESPECTO A PARAMENTOS VERTICALES DE LA ENVOLVENTE		
	VIDRIO MONOLÍTIC O (b)	DVH DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO (c)	
		$3.6 \text{ W/m}^2\text{K} \geq U > 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (a)	$U \leq 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

(a) La doble ventana que forme una cámara de aire, se asimila al DVH, con valor U entre 3,6 y 2,4 W/m²K

(b) Vidrio monolítico:

De acuerdo a la NCh 132, se entenderá por aquel producto inorgánico de fusión, que ha sido enfriado hasta un estado rígido sin cristalización, formado por una sola lámina de vidrio.

(c) Doble vidriado hermético (DVH):

De acuerdo a la NCh 2024, se entenderá por doble vidriado hermético el conjunto formado por dos o más vidrios paralelos, unidos entre sí, por un espaciador perimetral, que encierran en su interior una cámara con aire deshidratado o gas inerte.

En el caso que el proyecto de arquitectura considere más de un tipo de vidrio, según Tabla 3, se deberá determinar el máximo porcentaje posible para cada tipo de vidrio respecto a la superficie total de la envolvente vertical. Para ello, por cada tipo de vidrio a utilizar, se deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$\frac{TP \times MV}{100} = MSV$$

TP : Porcentaje del tipo de vidrio respecto del total de la superficie vidriada.

MV : Porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a paramentos verticales de la envolvente, según Tabla 3.

MSV : Porcentaje máximo de superficie, para tipo de vidrio, respecto de la superficie total de la envolvente.

B. Método Alternativo del U ponderado:

Sólo en las zonas térmicas: 3, 4, 5, 6 y 7, se podrá utilizar un método alternativo del U ponderado el cual sólo podrá aplicarse para el caso de vidrios monolíticos.

Para los casos previstos en el párrafo anterior, se podrá aumentar la superficie vidriada sobre los valores de Tabla 3 de este artículo, compensando el aumento de superficie vidriada con el mejoramiento de la transmitancia térmica de la solución de muros. El U ponderado deberá tener un valor igual o menor al señalado para la zona en la que se ubique el proyecto de arquitectura, de acuerdo a la Tabla 4 siguiente:

TABLA 4

ZONA	U Ponderado W/m²K
3	2.88
4	2.56
5	2.36
6	1.76
7	1.22

Para determinar la transmitancia térmica ponderada de los paramentos verticales de la envolvente del proyecto de arquitectura se deberá calcular el U ponderado del proyecto de conformidad a la fórmula que se señala, debiendo los muros perimetrales en contacto al exterior poseer una transmitancia térmica igual o menor al valor establecido, según zona térmica, en las exigencias para muros de la Tabla 1 del presente artículo:

$$\frac{(SM \times UM) + (SV \times UV)}{STE} = U \text{ Ponderado}$$

- SM : Superficie de muro
 UM : Transmitancia térmica del muro
 SV : Superficie de ventana
 UV : Transmitancia térmica ventana
 STE : Superficie total de los paramentos verticales de la envolvente del proyecto de arquitectura

Para aplicación de la fórmula del párrafo anterior, los muros que limiten con uno o más locales cerrados, deberán considerarse como parte de la envolvente para efectos de cálculo del U ponderado. Para estos muros se adoptará la transmitancia establecida para la zona térmica en la cual se emplace el proyecto de arquitectura, de acuerdo a la Tabla 1, independiente de su transmitancia térmica real.

En el caso en que los paramentos verticales del proyecto de arquitectura estén compuestos por más de una solución constructiva, determinando así, más de una transmitancia térmica para muros, se aplicará la siguiente fórmula para determinar el U ponderado:

$$\frac{(SM-1 \times U-1) + (SM-2 \times U-2) + (SM-n \times U-n) + (SV \times UV)}{STE} = U \text{ Ponderado}$$

- SM- 1 : Superficie muro 1
 U-1 : Transmitancia térmica muro 1
 SM-2 : Superficie muro 2
 U-2 : Transmitancia térmica muro 2
 SV : Superficie ventana
 UV : Transmitancia térmica ventana.
 STE : Superficie total de los paramentos verticales de la envolvente

En ambos casos si el proyecto de arquitectura contempla más de un tipo de ventana, asimilados a distintos valores de Transmitancia, según la Tabla 3, se ponderará, toda la superficie vidriada con el valor de transmitancia térmica del vidrio monolítico.

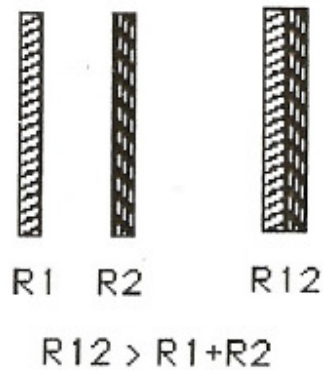
La superficie de ventana para el vidrio monolítico del cálculo del U ponderado no podrá, en ningún caso, aumentar más de un 40 % respecto al porcentaje máximo de superficie permitido para la zona térmica, según lo señalado en la Tabla 3.

ANEXO IV: DIEZ REGLAS DE HAMARTHY DE RESISTENCIA AL FUEGO

Las Reglas de Harmathy

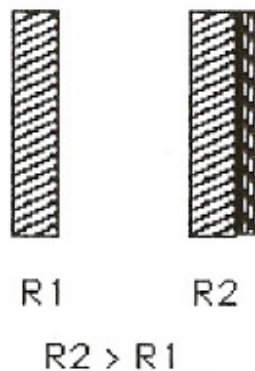
Las “Diez Reglas” brindan un método para combinar las contribuciones individuales y determinar la resistencia al fuego de una componente constructiva, y pueden resumirse en la siguiente descripción, que se complementa por medio de esquemas gráficos ilustrativos y ejemplos aclaratorios:

Regla 1. La resistencia térmica al fuego de una construcción consistente de un número de estratos paralelos es mayor que la suma de las características de resistencia térmica al fuego de los estratos individuales, al quedar estos expuestos al fuego por separado. Aquí, el concepto de resistencia térmica queda expresada como el tiempo requerido para un incremento medio de temperatura de 140°C (o un incremento puntual de temperatura de 180°C) en la superficie no expuesta al fuego.



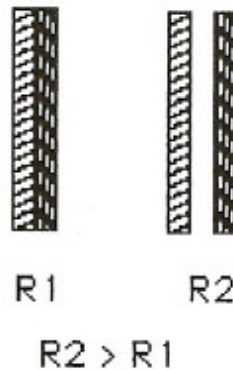
Cuando se fijan adecuadamente a los pies derechos del bastidor dos estratos de material de recubrimiento de tabiquerías, tales como tableros de yeso-cartón o de contrachapado, su efecto combinado sobre la resistencia al fuego del entramado será mayor que la suma de sus contribuciones individuales. Por ejemplo, si la resistencia al fuego asignada a un tablero de yeso-cartón de 12,5 mm de espesor es 15 minutos, dos capas de tableros de yeso-cartón de espesor 12,5 mm tendrán una resistencia al fuego superior a $15 + 15 = 30$ minutos.

Regla 2. La resistencia al fuego de una construcción no disminuye con la adición de estratos adicionales



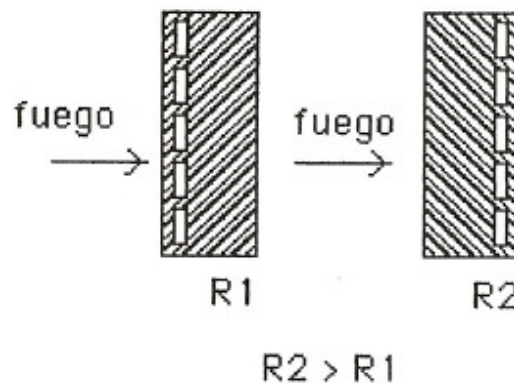
Esta regla es prácticamente recíproca de la anterior. Establece que cada vez que se agregue una capa adicional a los materiales de un tabique o entramado, se incrementará la resistencia al fuego, independientemente de la cantidad de capas que se vayan agregando.

Regla 3. La resistencia al fuego de una construcción que tiene espacios de aire continuos o cavidades interiores con aire, es mayor que la resistencia al fuego de una construcción similar del mismo peso, pero que no contiene estas separaciones o cavidades de aire.



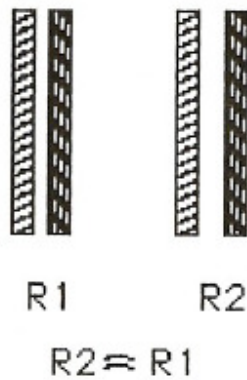
Los espacios interiores que se forman entre los pies derechos y vigas, y que quedan confinados por los revestimientos, contribuyen a incrementar la resistencia al fuego de dichos entramados.

Regla 4. Cuanto más se aleje un espacio o cavidad con aire de la superficie expuesta, mayor será el beneficio de su efecto sobre la resistencia al fuego



El efecto sobre la resistencia al fuego de las cavidades formadas por vigas, en pisos, o pies derechos, en paredes, y que se encuentren protegidas contra la exposición al fuego por materiales de 50 mm de espesor, será superior al que resultaría con la disposición de un solo tablero de yeso-cartón de espesor 12,5 mm

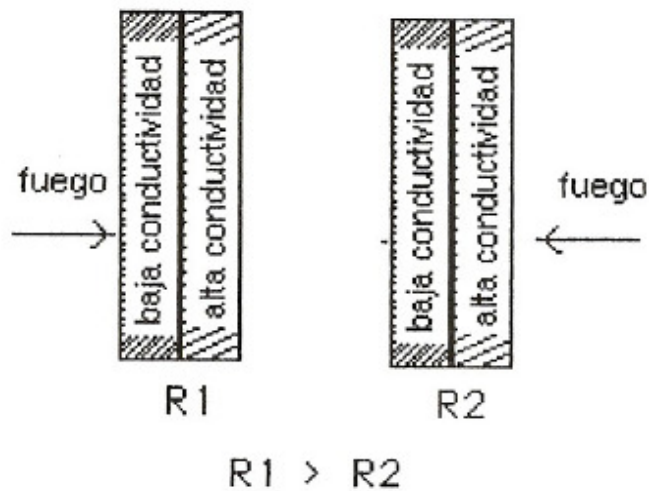
Regla 5. La resistencia al fuego de un entramado no puede incrementarse como resultado del incremento del espesor de una capa de aire completamente confinado.



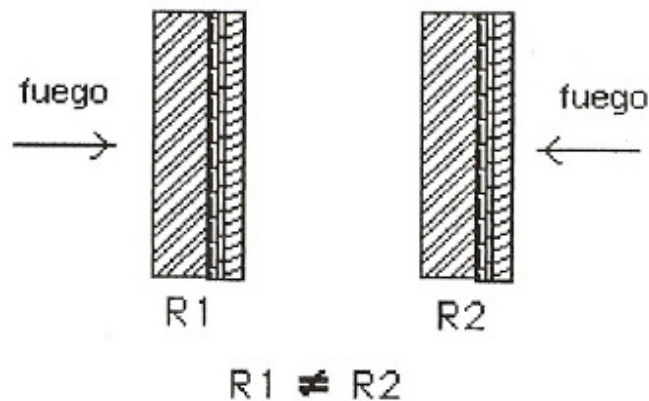
Incrementar la altura de escuadría de pies derechos de 90 mm a 140 mm, o incluso a 300 mm no incrementa el nivel de resistencia al fuego del tabique.

Regla 6. Los estratos de materiales con baja conductividad térmica se comportan mejor en la cara de la construcción sobre la que probablemente actuará el fuego.

Un material de construcción constituido de fibra de madera es más efectivo contra la transmisión de calor que un material que posea una conductividad térmica relativamente alta, tal como un metal. La madera será más efectiva como elemento de protección contra un incremento excesivo de la temperatura en la cara opuesta al fuego del entramado, dado que este incremento de temperatura puede llegar a constituirse en la causal de rechazo en un ensayo de aceptación.



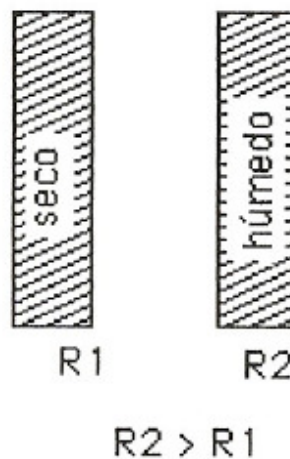
Regla 7. La resistencia al fuego de estructuraciones asimétricas depende de la dirección del flujo de calor.



Las paredes que no poseen los mismos materiales en ambas caras ofrecerán distintas resistencias al fuego, dependiendo de cual sea la cara expuesta al fuego. Esta regla resulta ser una consecuencia de las Reglas 4 y 6, y resalta la importancia de la localización de los espacios de aire y de la secuencia que se decida en la disposición de los diferentes estratos de sólidos.

Regla 8. La presencia de humedad, excepto cuando resulta en resquebrajamientos explosivos, incrementa la resistencia al fuego.

Los materiales cuyo contenido de humedad sea 15% tendrán una mayor resistencia al fuego que aquellos que tengan un contenido de humedad del 4% en el momento de quedar expuestos al fuego.



Regla 9. Los elementos estructurales, tales como vigas y costaneras, alcanzan una mayor resistencia al fuego cuando se someten a ensayos de resistencia al fuego integrando entramados de piso y de techo, que cuando se ensayan separadamente.

Una viga de piso se comporta mejor cuando se encuentra incorporada al entramado de piso que cuando se ensaya individualmente bajo la misma carga.

Regla 10. Los elementos estructurales (vigas, viguetas, costaneras) de un entramado de piso, techo o cielo pueden ser reemplazados por otros elementos estructurales que, al ser ensayados separadamente, alcancen resistencias al fuego no inferiores a la del entramado.

Una viga de un entramado de piso puede ser reemplazada por otro tipo de viga que tenga una resistencia al fuego que no sea menor que la del entramado.

**APÉNDICE I: ENCUESTA DE PERCEPCIÓN SOBRE BIENESTAR
HABITACIONAL**



ENCUESTA DE PERCEPCIÓN

Vivienda N°: _____ Sector/Orientación: _____
Fecha : _____ Hora: _____
Dirección: _____
Cantidad de Habitantes: _____ Tiempo de residencia: _____

I. Con respecto a su casa, por favor responda a las siguientes preguntas marcando la opción que mejor refleje su preferencia:

		Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala
1	¿Cómo considera la aislación térmica de su vivienda en invierno?					
2	¿Cómo es su satisfacción con el gasto en calefaccionar su vivienda en invierno?					
3	¿Cómo considera la aislación térmica de su vivienda en verano?					
4	¿Cuál es su satisfacción en el interior de su vivienda frente al calor en el verano?					
5	¿Cómo es la iluminación natural dentro de la vivienda para las actividades que se realizan?					
6	¿Cómo encuentra la aislación acústica entre los diferentes sectores de la vivienda?					
7	¿Cómo considera la aislación acústica del muro divisorio de su vivienda?					
8	¿Cómo es la aislación acústica que presenta su vivienda frente a ruidos externos?					
9	¿Cómo considera usted la seguridad de su vivienda frente al fuego?					

10	¿Cómo considera usted el comportamiento de su vivienda frente a un sismo?					
11	¿Cómo encuentra el comportamiento de su vivienda frente a la lluvia?					
12	¿Cómo calificaría el nivel de seguridad de su vivienda frente a las termitas?					
13	¿Cómo considera la calidad de su vivienda de madera?					
14	¿Cómo calificaría su nivel de satisfacción con respecto a su vivienda?					

II. ¿Qué combustible utiliza para calefaccionar su casa durante el invierno?

- () Parafina () Gas licuado () Otro
 () Leña () Electricidad () Ninguno

III. Sobre su vivienda marque “Si” o “No” en relación a las siguientes consultas:

			Si	No	
1	Muros Perimetrales 2º Piso	a.	Instalación de aislante		
		b.	Instalación de revestimiento cara interior		
2	Techumbre 2º piso	a.	Instalación de cielo		
3	Problemas	a.	Humedad interior		
		b.	Termitas		
		c.	Fuego		

**APÉNDICE II: ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LOS RESULTADOS DE LA
ENCUESTA DE PERCEPCIÓN SOBRE BIENESTAR HABITACIONAL**

**APÉNDICE III: DETALLE CÁLCULO DE RESISTENCIA AL FUEGO SEGÚN
METODOLOGÍA CAM**

Panel exterior primer piso

componente	espesor [mm]	Aporte resistencia [min]
Yeso-cartón	10	10
Pies derechos cada 41 cm	-	20
OSB	11	5
Total		35
Clasificación Resistencia al fuego		F-30

Panel exterior segundo piso

componente	espesor [mm]	Aporte resistencia [min]
Pies derechos cada 41 cm	-	20
OSB	11	5
Total		25
Clasificación Resistencia al fuego		F-15

Panel interior

componente	espesor [mm]	Aporte resistencia [min]
Yeso-cartón	10	10
Pies derechos cada 41 cm	-	20
Yeso-cartón	10	10
Total		40
Clasificación Resistencia al fuego		F-30

Muro divisorio

componente	espesor [mm]	Aporte resistencia [min]
Yeso-cartón doble	10 +10	25
Pies derechos cada 41 cm	-	20
Yeso-cartón doble	10 +10	25
Total		70
Clasificación Resistencia al fuego		F-60

Techumbre primer piso

componente	espesor [mm]	Aporte resistencia [min]
Yeso-cartón	10	10
Cerchas cada 61 cm	-	5
Total		15
Clasificación Resistencia al fuego		F-15

APÉNDICE IV: DETALLE CÁLCULOS TÉRMICOS Y ENERGÉTICOS

Resistencias y transmitancias vivienda SCMI original

Complejo Muro 1° piso zona seca		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Aislación	OSB	0,011	0,106	0,104	0,12	0,05	1,060	86,4%	1,05	0,95
	Poliestireno expandido	0,026	0,043	0,605						
	Cámara de aire	0,044	-	0,140						
	Yeso-cartón	0,01	0,24	0,042						
Puente térmico	OSB	0,011	0,106	0,104	0,12	0,05	0,989	13,6%		
	Pino Radiata	0,07	0,104	0,673						
	Yeso-cartón	0,01	0,24	0,042						

Complejo Muro 1° piso zona húmeda		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Aislación	OSB	0,011	0,106	0,104	0,12	0,05	1,037	86,4%	1,03	0,97
	Poliestireno expandido	0,026	0,043	0,605						
	Cámara de aire	0,044	-	0,140						
	Fibro cemento	0,004	0,22	0,018						
Puente térmico	OSB	0,011	0,106	0,104	0,12	0,05	0,965	13,6%		
	Pino Radiata	0,07	0,104	0,673						
	Fibro cemento	0,004	0,22	0,018						

Complejo Muro 2° piso		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Aislación	OSB	0,011	0,106	0,104	0,12	0,05	0,274	83,8%	0,38	2,61
Puente térmico	OSB	0,011	0,106	0,104	0,12	0,05	0,947	16,2%		
	Pino Radiata	0,07	0,104	0,673						

Complejo techumbre 1° piso		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Aislación	Poliestireno expandido	0,08	0,043	1,860	0,09	0,05	2,042	100,0%	2,04	0,49
		0,01	0,24	0,042						

Complejo techumbre 2° piso		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Aislación	Poliestireno expandido	0,08	0,043	1,860	0,09	0,05	2,000	85,6%	1,94	0,52
Puente térmico	Pino Radiata	0,15	0,104	1,442	0,09	0,05	1,582	14,4%		

Elemento ventana	espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Vidrio plano	0,004	1,2	0,003	0,12	0,05	0,173	100,0%	0,17	5,77

Elemento Puerta		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Aislación	Tablero fibra madera	0,0032	0,28	0,011	0,12	0,05	0,333	81,3%	0,43	2,31
	Cámara de aire	0,044	-	0,140						
	Tablero fibra madera	0,0032	0,28	0,011						
Puente térmico	Tablero fibra madera	0,0032	0,28	0,011	0,12	0,05	0,866	18,8%		
	Pino Radiata	0,07	0,104	0,673						
	Tablero fibra madera	0,0032	0,28	0,011						

Resistencias y transmitancias vivienda SCMI terminada

Complejo Muro 1° piso zona seca		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Aislación	OSB	0,011	0,106	0,104	0,12	0,05	1,060	86,4%	1,05	0,95
	Poliestireno expandido	0,026	0,043	0,605						
	Cámara de aire	0,044	-	0,140						
	Yeso-cartón	0,01	0,24	0,042						
Puente térmico	OSB	0,011	0,106	0,104	0,12	0,05	0,989	13,6%		
	Pino Radiata	0,07	0,104	0,673						
	Yeso-cartón	0,01	0,24	0,042						

Complejo Muro 1° piso zona húmeda		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Aislación	OSB	0,011	0,106	0,104					1,03	0,97
	Poliestireno expandido	0,026	0,043	0,605	0,12	0,05	1,037	86,4%		
	Cámara de aire	0,044	-	0,140						
	Fibro cemento	0,004	0,22	0,018						
Puente térmico	OSB	0,011	0,106	0,104					13,6%	
	Pino Radiata	0,07	0,104	0,673	0,12	0,05	0,965			
	Fibro cemento	0,004	0,22	0,018						

Complejo Muro 2° piso		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Aislación	OSB	0,011	0,106	0,104					1,52	0,66
	Poliestireno expandido	0,05	0,043	1,163	0,12	0,05	1,618	83,8%		
	Cámara de aire	0,044	-	0,140						
	Yeso-cartón	0,01	0,24	0,042						
Puente térmico	OSB	0,011	0,106	0,104					16,2%	
	Pino Radiata	0,07	0,104	0,673	0,12	0,05	0,989			
	Yeso-cartón	0,01	0,24	0,042						

Complejo techumbre 1° piso		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Aislación	Poliestireno expandido	0,08	0,043	1,860	0,09	0,05	2,042	100,0%	2,04	0,49
	Yeso-cartón	0,01	0,24	0,042						

Complejo techumbre 2° piso		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Aislación	Poliestireno expandido	0,08	0,043	1,860	0,09	0,05	2,042	85,6%	1,98	0,50
	Yeso-cartón	0,01	0,24	0,042						
Puente térmico	Pino Radiata	0,15	0,104	1,442	0,09	0,05	1,624	14,4%		
	Yeso-cartón	0,01	0,24	0,042						

Resistencias y transmitancias vivienda de ladrillo

Complejo Muros	espesor [m]	Cond. térmica [W/m ² C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Ladrillo	0,15	0,46	0,326	0,12	0,05	0,496	100,0%	0,50	2,02

Complejo techumbre 1° piso		espesor [m]	Cond. térmica [W/m ² C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Aislación	Poliestireno expandido	0,08	0,043	1,860	0,09	0,05	2,042	100,0%	2,04	0,49
	Yeso-cartón	0,01	0,24	0,042						

Complejo techumbre 2° piso		espesor [m]	Cond. térmica [W/m ² C]	R [m ² C/W]	Rsi [m ² C/W]	Rse [m ² C/W]	Rti [m ² C/W]	% superficie	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]
Aislación	Poliestireno expandido	0,08	0,043	1,860	0,09	0,05	2,042	85,6%	1,98	0,50
	Yeso-cartón	0,01	0,24	0,042						
Puente térmico	Pino Radiata	0,15	0,104	1,442	0,09	0,05	1,624	14,4%		
	Yeso-cartón	0,01	0,24	0,042						

ERC y GERC localidades

Combustible	Poder Calorífico	Rendimiento	Poder calorífico* Rendimiento	Precio [\$/unidad de combustible]	Precio [\$/kW-h]
Kerosene [kcal/l]	8991	0,9	8091,9	491	52
Gas liquido [Kcal/kg]	12100	0,95	11495	856	64
Leña [Kcal/kg]	3500	0,4	1400	70	43
Electricidad [kcal/kW-h]	860	1	860	75	75

Electricidad

Localidad	ERC [kW-h/m2año]		ERC Total [kW-h/año]	
	Propuesta SCMI	Ladrillo	Propuesta SCMI	Ladrillo
Arica	0	0	0	0
Antofagasta	54	64	2839	3369
Copiapó	113	134	5917	7022
Los Andes	128	167	6701	8798
Valparaiso	118	141	6214	7410
Santiago	148	194	7782	10216
Talca	139	183	7319	9639
Concepción	197	259	10354	13636
Temuco	196	268	10307	14106
Puerto Montt	211	314	11085	16486
Coyhaique	254	406	13339	21321
Punta Arenas	308	492	16169	25844

Localidad	GERC [\$/m2año]		GERC total [\$/año]		Ahorro GERC [\$/año] SCMI respecto ladrillo
	Propuesta SCMI	Ladrillo	Propuesta SCMI	Ladrillo	
Arica	0	0	0	0	0
Antofagasta	4.051	4.807	212.895	252.651	39.756
Copiapó	8.444	10.021	443.803	526.679	82.876
Los Andes	9.563	12.554	502.604	659.817	157.213
Valparaiso	8.867	10.574	466.047	555.727	89.680
Santiago	11.105	14.578	583.647	766.209	182.563
Talca	10.444	13.754	548.908	722.910	174.002
Concepción	14.775	19.458	776.539	1.022.698	246.160
Temuco	14.708	20.129	773.006	1.057.949	284.943
Puerto Montt	15.818	23.525	831.389	1.236.454	405.065
Coyhaique	19.035	30.425	1.000.446	1.599.076	598.630
Punta Arenas	23.073	36.880	1.212.696	1.938.330	725.633

Kerosene				
Localidad	ERC [kW-h/m2año]		ERC Total [kW-h/año]	
	Propuesta SCMI	Ladrillo	Propuesta SCMI	Ladrillo
Arica	0	0	0	0
Antofagasta	5,7	6,8	301,7	358,0
Copiapó	12,0	14,2	628,9	746,3
Los Andes	13,6	17,8	712,2	935,0
Valparaiso	12,6	15,0	660,4	787,5
Santiago	15,7	20,7	827,1	1085,8
Talca	14,8	19,5	777,8	1024,4
Concepción	20,9	27,6	1100,4	1449,2
Temuco	20,8	28,5	1095,4	1499,2
Puerto Montt	22,4	33,3	1178,1	1752,1
Coyhaique	27,0	43,1	1417,7	2266,0
Punta Arenas	32,7	52,3	1718,5	2746,7

Localidad	GERC [\$/m2año]		GERC total [\$/año]		Ahorro GERC [\$/año] SCMI respecto ladrillo
	Propuesta SCMI	Ladrillo	Propuesta SCMI	Ladrillo	
Arica	0	0	0	0	0
Antofagasta	2.818	3.345	148.127	175.788	27.661
Copiapó	5.875	6.972	308.787	366.450	57.663
Los Andes	6.654	8.735	349.699	459.084	109.385
Valparaiso	6.170	7.357	324.263	386.660	62.397
Santiago	7.726	10.143	406.086	533.109	127.023
Talca	7.267	9.570	381.916	502.982	121.066
Concepción	10.280	13.539	540.295	711.567	171.272
Temuco	10.233	14.005	537.837	736.093	198.256
Puerto Montt	11.006	16.368	578.459	860.292	281.834
Coyhaique	13.244	21.169	696.084	1.112.596	416.512
Punta Arenas	16.054	25.660	843.762	1.348.639	504.877

Gas licuado				
Localidad	ERC [kW-h/m2año]		ERC Total [kW-h/año]	
	Propuesta SCMI	Ladrillo	Propuesta SCMI	Ladrillo
Arica	0	0	0	0
Antofagasta	4	5	212	252
Copiapó	8	10	443	525
Los Andes	10	13	501	658
Valparaiso	9	11	465	554
Santiago	11	15	582	764
Talca	10	14	548	721
Concepción	15	19	775	1020
Temuco	15	20	771	1055
Puerto Montt	16	23	829	1233
Coyhaique	19	30	998	1595
Punta Arenas	23	37	1210	1934

Localidad	GERC [\$/m2año]		GERC total [\$/año]		Ahorro GERC [\$/año] SCMI respecto ladrillo
	Propuesta SCMI	Ladrillo	Propuesta SCMI	Ladrillo	
Arica	0	0	0	0	0
Antofagasta	3.459	4.105	181.789	215.736	33.947
Copiapó	7.210	8.557	378.959	449.726	70.767
Los Andes	8.166	10.720	429.169	563.412	134.243
Valparaiso	7.572	9.029	397.953	474.530	76.577
Santiago	9.482	12.448	498.370	654.259	155.889
Talca	8.918	11.745	468.707	617.286	148.578
Concepción	12.616	16.615	663.079	873.272	210.193
Temuco	12.559	17.188	660.062	903.372	243.310
Puerto Montt	13.507	20.088	709.915	1.055.796	345.881
Coyhaique	16.254	25.979	854.271	1.365.436	511.165
Punta Arenas	19.702	31.491	1.035.509	1.655.120	619.611

Leña

Localidad	ERC [kW-h/m2año]		ERC Total [kW-h/año]	
	Propuesta SCMI	Ladrillo	Propuesta SCMI	Ladrillo
Arica	0	0	0	0
Antofagasta	33	39	1744	2069
Copiapó	69	82	3635	4314
Los Andes	78	103	4117	5404
Valparaiso	73	87	3817	4552
Santiago	91	119	4780	6276
Talca	86	113	4496	5921
Concepción	121	159	6360	8376
Temuco	120	165	6331	8665
Puerto Montt	130	193	6809	10127
Coyhaique	156	249	8194	13097
Punta Arenas	189	302	9933	15876

Localidad	GERC [\$/m2año]		GERC total [\$/año]		Ahorro GERC [\$/año] SCMI respecto ladrillo
	Propuesta SCMI	Ladrillo	Propuesta SCMI	Ladrillo	
Arica	0	0	0	0	0
Antofagasta	2.322	2.756	122.060	144.853	22.793
Copiapó	4.841	5.745	254.447	301.963	47.516
Los Andes	5.483	7.198	288.160	378.295	90.136
Valparaiso	5.084	6.062	267.200	318.617	51.417
Santiago	6.367	8.358	334.624	439.293	104.669
Talca	5.988	7.886	314.707	414.469	99.761
Concepción	8.471	11.156	445.216	586.347	141.132
Temuco	8.432	11.541	443.190	606.557	163.367
Puerto Montt	9.069	13.488	476.663	708.900	232.237
Coyhaique	10.913	17.444	573.589	916.804	343.215
Punta Arenas	13.229	21.144	695.279	1.111.309	416.030

Energía Solar

Orientación	21-ene	21-jun
	Radiación total/día [W/m2]	Radiación total/día [W/m2]
NE	2632	3498
SE	2540	305
SO	649	256
NO	679	998

	Superficie total [m2]
Ventanas frontales	3,2
Ventanas posteriores	3,8

Orientación Frotis vivienda	Orientación Ventanas	Superficie ventanas [m2]	Radiación [kW-h/m2 día]	Radiación total día de verano [kW-h/día]	
NE	NE	3,2	2,632	8,4	10,9
	SE	0	2,54	0,0	
	SO	3,8	0,649	2,4	
	NO	0	0,679	0,0	
SE	NE	0	2,632	0,0	10,7
	SE	3,2	2,54	8,1	
	SO	0	0,649	0,0	
	NO	3,8	0,679	2,6	
SO	NE	3,8	2,632	9,9	12,0
	SE	0	2,54	0,0	
	SO	3,2	0,649	2,1	
	NO	0	0,679	0,0	
NO	NE	0	2,632	0,0	11,8
	SE	3,8	2,54	9,6	
	SO	0	0,649	0,0	
	NO	3,2	0,679	2,2	

Orientación Frotis vivienda	Orientación Ventanas	Superficie ventanas [m2]	Radiación [kW-h/m2 día]	Radiación total día de invierno [kW-h/día]	
NE	NE	3,2	3,498	11,2	12,2
	SE	0	0,305	0,0	
	SO	3,8	0,256	1,0	
	NO	0	0,998	0,0	
SE	NE	0	3,498	0,0	4,7
	SE	3,2	0,305	1,0	
	SO	0	0,256	0,0	
	NO	3,8	0,998	3,8	
SO	NE	3,8	3,498	13,2	14,0
	SE	0	0,305	0,0	
	SO	3,2	0,256	0,8	
	NO	0	0,998	0,0	
NO	NE	0	3,498	0,0	4,3
	SE	3,8	0,305	1,2	
	SO	0	0,256	0,0	
	NO	3,2	0,998	3,2	

Comportamiento térmico localidades

Zona térmica	Espesor comercial poliestireno techumbre [mm]	Espesor comercial poliestireno Muro[mm]
1	40	10
2	60	10
3	80	20
4	100	20
5	120	25
6	140	40
7	160	60

U techumbre [W/m2°C]			U muros [W/m2°C]			Gv1 [W/m3°C]		Gv2 [W/m3°C]	
OGUC	SCMI	Ladrillo	OGUC	SCMI	Ladrillo	SCMI	Ladrillo	SCMI	Ladrillo
0,84			4						
	0,85	0,85		1,37	2,02	1,35	1,70	1,87	2,22
0,6			3			1,29	1,64	1,82	2,17
	0,63	0,63		1,37	2,02				
0,47			1,9			1,10	1,61	1,63	2,14
	0,50	0,50		1,08	2,02				
0,38			1,7			1,08	1,59	1,60	2,11
	0,42	0,42		1,08	2,02				
0,33			1,6			1,01	1,57	1,53	2,10
	0,36	0,36		0,97	2,02				
0,28			1,1			0,88	1,56	1,40	2,09
	0,31	0,31		0,75	2,02				
0,25			0,6			0,78	1,55	1,30	2,08
	0,28	0,28		0,58	2,02				

Zona térmica	Ahorro Energético SCMI respecto ladrillo
1	15,7%
2	16,1%
3	23,8%
4	24,1%
5	26,9%
6	32,8%
7	37,4%