



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO.
DOCTORADO EN ARQUITECTURA Y URBANISMO

Tesis doctoral

INTEGRACIÓN DE CRITERIOS DE DESEMPEÑOS EN EL MEJORAMIENTO ENERGÉTICO-AMBIENTAL DE VIVIENDAS EXISTENTES

Diagnóstico y análisis multifactorial en viviendas sociales del centro-sur de
Chile



Autora: Paulina Wegertseder Martínez | Prof. Guía: Maureen Trebilcock Kelly

CONCEPCIÓN, CHILE | 2014

Este trabajo llega a puerto con la ayuda de muchas personas que me han acompañado y enseñado. Para ellas mis más profundos reconocimientos.

Primero que todo, quiero agradecerle a mis padres por TANTO, pero sobre todo por el apoyo que siempre me han entregado.

A mi hermano por estar siempre presente.

A mi profesora guía Dra. Maureen Trebilcock, quien me introdujo en el tema de eficiencia energética y hábitat sustentable. Además de haberme brindado conocimiento científico y profesional, agradezco su dedicación y siempre buena disposición.

Al Dr. Rodrigo García y profesor Ricardo Hempel, quienes me han permitido trabajar en distintos proyectos de investigación con alta pertinencia a mi tema de tesis.

A la Municipalidad de Hualpén por la información brindada.

Finalmente, a la escuela de Arquitectura – UBB – por permitirme desempeñarme como docente en áreas relaciones al diseño en arquitectura.

Hoy es el sector residencial el responsable de altas demandas energéticas, equivalentes a 23% del consumo energético a nivel país. Del parque habitacional existente en Chile, 75% fue construido previo a normativas energéticas, es decir sin consideraciones térmicas y de eficiencia energética. Dicha situación provoca que el usuario asuma el costo del consumo energético que supondría mantener la vivienda en condiciones de confort. Esto afecta en mayor medida a las familias más vulnerables, quienes viven bajo la línea de la “pobreza energética”, y que habitan viviendas sociales construidas para satisfacer solo la demanda de falta de techo. Existen medidas de mejoramientos energéticos para el stock residencial construido, pero involucran solo algunos desempeños que tienen implicancia en demandas de eficiencia y confort, siendo aplicados de manera independiente uno del otro, sin considerar la relación entre ellos y los efectos que puede conllevar. Esta tesis propone cubrir una brecha de conocimiento de cómo diferentes criterios de desempeños actúan de forma integral en el mejoramiento energético-ambiental de una vivienda, ya que actualmente se carece de tal conocimiento, que bajo la filosofía prestacional, permite generar diversas estrategias de mejoramiento que persigan objetivos de desempeño. A partir del diagnóstico físico-constructivo y de confort térmico realizado en las viviendas sociales estudiadas, se determina que existe la necesidad de incorporar conceptos de habitabilidad, durabilidad y sustentabilidad ambiental para lograr un mejor estándar en la vivienda, convirtiéndola hacia la eficiencia energética, extendiendo su vida útil, y logrando un mayor confort para el usuario. La presente tesis es específica hacia tres desempeños finales: Confort Térmico, Eficiencia Energética por demanda de Calefacción y Calidad del Aire Interior. Se seleccionan cuatro casos de estudio en la comuna de Hualpén, donde 82% de las viviendas son de interés social. La metodología de diagnóstico se basó en un estudio post ocupacional, correspondiente a cálculos numéricos, mediciones *insitu* y simulaciones energéticas. En complemento se midió la percepción del usuario con una encuesta sobre confort térmico en temporada calida y fría. Con estos resultados se establecen desempeños intermedios que deben ser evaluados y mejorados para alcanzar los objetivos de desempeños. Se proponen distintas variables, cuya relevancia se analiza bajo un estudio multifactorial, permitiendo conocer que criterios de desempeños deben ser considerados para mejorar de manera integral. Finalmente, se determina que los desempeños fundamentales en un mejoramiento energético-ambiental deben ser: mejorar la transmitancia térmica de los muros, disminución de tasa de infiltraciones de aire en la envolvente y uso de un sistema de ventilación que asegure calidad de aire interior.

RESUMEN

Palabras clave: mejoramiento energético-ambiental, criterios de desempeños prestacionales, eficiencia energética, confort térmico, calidad del aire interior.

Today the residential sector is responsible for high energy demands, which are equivalent to 23% of energy consumption at the country level. 75% of the existing housing stock in Chile were built before energy standards, ie without thermal considerations and energy efficiency. This situation causes the user has to assume the cost of energy consumption that would keep the house in comfort conditions. This situation mainly affects the most vulnerable families, who live under the line of "energy poverty". As well as the live in social housing, that was built only to meet the demand for homelessness. There exist measures for residential energy retrofit, but involve only a few performances that have implications on demands for efficiency and comfort. These performance are being applied independently of each other, regardless of the relationship between them and the effects that may result. This thesis aims to cover a knowledge gap of how different criteria of performance act comprehensively in the energy-environmental refurbishment of a house. Currently it is a lack of such knowledge, that under the performance based philosophy, can generate various improvement strategies pursue performance goals. From the physical and thermal comfort constructive diagnosis made in the case studied, it is determined that it is necessary to incorporate livability, durability and environmental sustainability to achieve a better standard housing, turning towards energy efficiency, extending life, and achieving greater user comfort. This research is specific to three final performances: Thermal Comfort, Energy Efficiency for heating demand and Indoor Air Quality. Four case studies are selected in Hualpén, where 82% of the houses are of social interest. The diagnostic methodology was based on a post occupational evaluation, corresponding to numerical calculations, energy simulation and insitu monitoring. This evaluation was complemented with the study of user perception, which was measured with a survey of thermal comfort in warm and cold season. With these results, it was possible to know the performance that have to be evaluated and improved to meet the established performance objectives. It was proposed different variables, whose relevance was analyzed under a multivariate study, for allowing knowledge to performance criteria should be considered to improve in a holistically way. Finally, it is determined that the fundamental performance to make an energy-environmental retrofit of housing, should be to improve the thermal transmittance of walls, reduce the air infiltration rate in the envelope and to use a ventilation system to ensure indoor air quality.

Keywords: energy-environmental retrofitting, performance based, energy efficiency, thermal comfort, indoor air quality.

INDICE

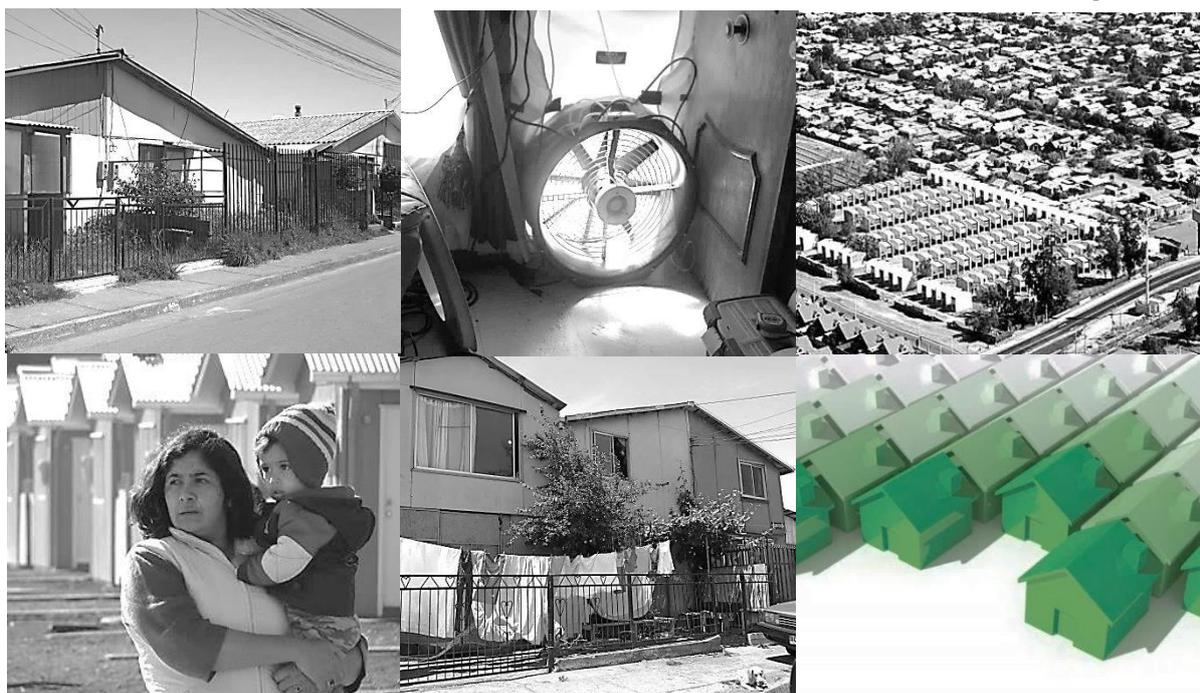
[01]	ANTECEDENTES	17
	1.1 Introducción	19
	1.2 Planteamiento del Problema	26
	1.3 Hipótesis	28
	1.4 Objetivos	29
	1.4.1 Objetivos Específicos	29
	1.5 Metodología de la Investigación	30
	1.6 Mapa de ruta para el desarrollo de la investigación	36
[02]	MARCO TEÓRICO	37
	2.1 Eficiencia Energética y la Vivienda Social en Chile	39
	2.1.1 La vivienda Social en Chile	41
	2.1.2 Confort Térmico Residencial	41
	2.1.2.1 <i>Parámetros de Confort</i>	46
	2.1.3 Eficiencia Energética en la Vivienda	47
	2.2 Mejoramiento energético-ambiental del Stock Residencial	51
	2.2.1 Motivos para implementar el mejoramiento energético-ambiental	52
	2.2.2 Mejoramiento en vivienda social a nivel mundial	59
	2.2.3 Demolición versus Mejoramiento	67
	2.2.4 Barreras hacia el mejoramiento energético ambiental	69
	2.2.4.1 <i>Barreras y oportunidades en la incorporación del estándar Passivhaus en la vivienda social chilena</i>	72
	2.3 Estándares y normativas energéticas	75
	2.3.1 Política Habitacional Chilena	76
	2.3.1.1 <i>Reglamentación Térmica: Artículo 4.1.10 O.G.U.C</i>	80
	2.3.1.2 <i>Programa de Reacondicionamiento Térmico en Vivienda Existente</i>	84
	2.3.1.3 <i>Gestión del programa de Reacondicionamiento térmico de Viviendas existentes</i>	88
	2.4 Evaluación post ocupacional	90
	2.4.1 Referentes de Evaluación Post Ocupacional	93
	2.5 Conclusiones Capítulo 02	98
[03]	ESTANDARES DE DESEMPEÑOS PRESTACIONALES	101
	3.1 Desempeños prestacionales para estrategias de mejoramiento	104
	3.2 Objetivos de Desempeños prestacionales a evaluar	109
	3.2.1 Confort Térmico y Eficiencia Energética por Demanda de Climatización	111
	3.2.1.1 <i>Desempeño Intermedio 1: Aislación Térmica de la Envolvente</i>	112
	3.2.1.2 <i>Desempeño Intermedio 2: Aislación Higrotérmica de la Envolvente</i>	114
	3.2.1.3 <i>Desempeño Intermedio 3: Hermeticidad al Aire de Envolvente</i>	117

3.2.1.4	<i>Desempeño Intermedio 4: Diseño de Ventanas</i>	118
3.2.2	Calidad del Aire Interior	120
3.2.3	Desempeños finales: indicadores, requisitos, variables de diseño y métodos de verificación	123
3.3	Estrategias de mejoramiento según estándares de desempeños prestacionales	125
3.3.1	Estrategias para mejorar la Aislación Térmica de la Envolvente	125
3.3.2	Estrategias para mejorar la Aislación Higrotérmica de la Envolvente	126
3.3.3	Estrategias para mejorar la Hermeticidad al Aire de la Envolvente	127
3.3.4	Estrategias para mejorar la Tasa de Aire Interior	128
3.4	Conclusiones Capítulo 03	132
[04]	DEFINICIÓN DE CASOS DE ESTUDIO	135
4.1	Lugar de Estudio	137
4.1.1	Caracterización Climática	140
4.2	Selección de Casos de Estudio	142
4.3	Caracterización de Casos de Estudio	147
4.3.1	Cabo Aroca	148
4.3.2	Peñuelas II	150
4.3.3	Presidente Patricio Aylwin	151
4.3.4	Villa el Triangulo	154
4.4	Conclusiones Capítulo 04	155
[05]	DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSTRUCTIVO DE CASOS Y DE PERCEPCIÓN DEL USUARIO	157
5.1	Predicción de desempeños térmicos de la envolvente de la vivienda mediante técnica de cálculo numérico	159
5.1.1	Definición de métodos de cálculos	159
5.1.2	Resultados	160
5.2	Mediciones desempeños térmicos de la envolvente de la vivienda mediante una técnica experimental	162
5.2.1	Herramientas y Procesos de Monitorización	162
5.2.2	Medición de Termo-Flujometría	163
5.2.3	Medición de Hermeticidad al Aire	165
5.2.4	Resultados de Monitorizaciones	168
5.2.4.1	<i>Termo-Flujometría</i>	168
5.2.4.2	<i>Hermeticidad al Aire</i>	169
5.3	Predicción de desempeños de la vivienda mediante Simulaciones Dinámicas	172
5.3.1	Selección de Software de Simulación	172
5.3.2	Determinación de Factores ambientales para simulación energética	174
5.3.2.1	<i>Infiltración</i>	174
<i>Determinación de Cambios de Aire por Hora</i>	175	
<i>Cálculo de Tasa de Infiltración</i>	175	

5.3.2.2	<i>Zona de Confort Térmico</i>	179
	<i>Modelos Adaptativos de Referencia</i>	181
	<i>Definición de Zona de Confort Térmico</i>	185
5.3.3	Procesos de Simulaciones	188
5.3.3.1	<i>Inputs</i>	188
	<i>Comportamiento de los Ocupantes</i>	188
	<i>Diseño del Edificio</i>	189
	<i>Condiciones Exteriores</i>	191
5.3.3.2	<i>Consideraciones para la Simulación</i>	191
5.3.4	Resultados de Temperatura Interior en Temporada Cálida	192
5.3.5	Resultados de Temperatura Interior en Temporada Fría	197
5.3.6	Resultados de Ganancias Solares	201
5.3.7	Resultados de Demanda Energética para Calefaccionar	203
5.4	Análisis de Percepción del Usuario	209
5.4.1	Encuesta de Percepción	211
5.4.2	Definición del Tamaño de la Muestra	213
5.4.3	Encuesta Aplicada	214
5.4.4	Resultados de Percepción del Usuario	219
	<i>5.4.4.1 Percepción de Confort en Temporada Cálida</i>	220
	<i>5.4.4.2 Percepción de Confort en Temporada Fría</i>	223
5.5	Conclusiones Capítulo 05	226
[06]	ANÁLISIS MULTIFACTORIAL DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO SEGÚN DESEMPEÑOS	229
6.1	Estudio Multifactorial y Automatización de Simulaciones Dinámicas	231
6.2	Determinación de parámetros seleccionados	235
6.2.1	Valor U Muros	236
6.2.2	Valor U Techumbre	239
6.2.3	Valor U Piso	240
6.2.4	Valor U Ventana	240
6.2.5	Porcentaje de superficie vidriada hacia el norte	241
6.2.6	Infiltraciones de Aire	242
6.2.7	Uso de Sistema de Ventilación con recuperación de calor	242
6.3	Análisis de resultados en función de la demanda energética	244
6.3.1	Categorización según Calificación Energética Chilena	244
6.3.2	Resultados calificados según rangos A a G	246
	<i>6.3.2.1 Resultados Cabo Aroca</i>	247
	<i>6.3.2.2 Resultados Villa el Triángulo</i>	251
	<i>6.3.2.3 Resultados Peñuelas II</i>	255
	<i>6.3.2.4 Resultados Presidente Aylwin</i>	258
	<i>6.3.2.5 Comparación de resultados</i>	262
6.4	Comprobación estadística de Factores influyentes en desempeños estudiados	266
6.4.1	Resultados evaluados según Box-Cox	268
6.5	Conclusiones Capítulo 06	275

[07]	EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS	279
	7.1 Análisis de resultados en función del confort térmico	281
	7.1.1 Resultados de Peñuelas II	282
	7.1.2 Resultados de El Triángulo	285
	7.2 Análisis de estrategias en función del subsidio de mejoramiento térmico	289
	7.3 Conclusiones Capítulo 07	298
[08]	CONCLUSIONES	301
	8.1 Discusión de los resultados con respecto al objetivo general	303
	8.2 Discusión de los resultados con respecto a los objetivos específicos	305
	8.2.1 Catastro estadístico en la comuna estudiada	305
	8.2.2 Metodología del diagnóstico de los casos de estudio y del análisis multifactorial de distintos criterios de desempeños	306
	8.2.3 Resultados del diagnóstico del estado actual y del análisis multifactorial	307
	8.2.4 Definición estadística de criterios de desempeños relevantes en función de la demanda energética	309
	8.2.5 Diagnóstico del mejoramiento propuesto en función del confort térmico	310
	8.2.6 Evaluación de factibilidad de ejecución del mejoramiento bajo el subsidio entregado	311
	8.3 Implicancia de los resultados en el parque construido de viviendas de bajo costo y en la arquitectura	312
	8.4 Futuras líneas de investigación	313
	8.4.1 Investigaciones de línea directa con el estudio	313
	8.4.2 Investigaciones que involucran temas correspondientes a distintas disciplinas	314
	LISTADO DE FIGURA	317
	LISTADO DE TABLAS	323
	BIBLIOGRAFÍA	327
	ANEXOS	341
	Anexo 1: Propiedades Física de los materiales de la envolvente de los cuatro casos de estudio.	341
	Anexo 2: Resultados en detalle de Blower Door Test de los cuatro casos de estudio.	344
	Anexo 3: Nomenclatura de estudio Box-Cox por caso de estudio.	347
	Anexo 4: Valores Unitarios de partidas de mejoramiento.	350

ANTECEDENTES | 01



Paulina Wegertseder: Integración de criterios de desempeños en el mejoramiento energético-ambiental de viviendas existentes

ANTECEDENTES | 01

1.1 Introducción

Es la actividad humana y sus consumos los que generan problemas ambientales derivados de la quema de combustible fósiles, tales como: efecto invernadero, calentamiento global, una creciente demanda energética y distintos impactos de grandes emprendimientos energéticos en el medio ambiente y en la población. Son estas las complicaciones ambientales las que han establecido la necesidad de implementar políticas energéticas sustentables en la sociedad.

Distintos países comienzan a tomar conciencia sobre aquellos problemas, dando inicio a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que mediante distintos protocolos y cumbres asumen responsabilidades para mitigar el caos ambiental producido por los habitantes y sus costumbres.

Con el constante aumento del consumo global y el crecimiento esperado de 2,5 mil millones de personas para el año 2050, existe una progresiva conciencia de restricciones consiguientes de los recursos naturales (CNE, 2008). Países con dependencia energética, tal como lo es Chile, deben asegurar un óptimo uso de los recursos energéticos, utilizando menos energía pero sin sacrificar el confort o la actividad económica a la que le es útil (PRIEN, 2008).

A nivel mundial los edificios son una de las principales fuentes de demandas energéticas y productores de grandes emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. La calefacción implica entre 40 y 60% del consumo medio de una vivienda tipo, siendo el sector residencial el responsable del 40% de las emisiones de CO₂ que recibe el planeta (IEA, 2010). En el Informe sobre el Desarrollo Humano 2007/2008, Chile registra en las últimas dos décadas el

mayor aumento en el nivel de emisiones de CO₂ comparado con el resto de los países latinoamericanos y del Caribe (PNUD, 2008). Al ser Chile un país pequeño en el contexto global, no tiene un aporte importante en las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), pero el continuo crecimiento histórico y futuro del país augura un aporte relativo cada vez mayor en términos de emisiones por habitante. La Agencia Internacional de Energía y el Fondo Monetario Internacional posicionaron, en el año 2008, a Chile en el 2° lugar mundial de aumento de emisiones de CO₂. Las proyecciones para el país indican un aumento sostenido en la emisión de GEI, señalando que para el año 2030 se contaría con un nivel de emisiones 2,5 veces superior al actual (Cepal, 2009).

Desde la década de los 90, la demanda energética eléctrica en Chile mostró un crecimiento sostenido (INE, 2006) y de acuerdo al Balance Nacional de Energía (CNE, 2011), el sector CPR (Comercial, Público y Residencial) representa un 27% del consumo energético del país, siendo el subsector residencial el responsable del 84%, seguido del comercial con 13% y el público con 3%, es decir a nivel nacional el sector residencial consume el 23% de la energía total.

Es posible disminuir estas alzas considerando una serie de medidas que se asocian a una reducción de la demanda de energía, así como la eficiencia energética. Se logra advertir que provocando cambios en el consumo energético del sector residencial, se podría beneficiar al país. Razón por la cual el Gobierno Chileno ha tomado una serie de medidas que fomentan el buen uso de la energía, como por ejemplo el subsidio entregado para el recambio de ampolletas, para Acondicionamiento Térmico de la vivienda, para la colocación de colectores solares en la vivienda social y el proceso de Calificación Energética de Viviendas.



Figura 1. 1: Central eléctrica. (www.chilere novables.cl)

Figura 1. 2: Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Reglamentación Térmica).



En el año 2000, el Estado implementó una medida para mejorar el confort habitacional de la población, reduciendo y optimizando el consumo de energía por conceptos de calefacción y disminuyendo también la contaminación intradomiciliaria en la vivienda nueva, creando así el Artículo 4.1.10 (Reglamentación Térmica) de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C.). Para el año 2010 existe un 74% de viviendas que no se encuentran acogidas a aquella normativa (INE, 2010), cantidad que corresponde a los hogares construidos antes del año 2000. Otro 19% del stock habitacional existente corresponde a las unidades construidas entre los años 2000 y 2007, acogidas sólo bajo la primera etapa de la Reglamentación Térmica (RT), es decir presentan mejoras que alcanzan los parámetros mínimos de resistencia térmica en la techumbre (CDT, 2010). Por ende solo 7% del parque habitacional construido desde el 2010 considera la totalidad de exigencias mínimas establecidas en la Reglamentación Térmica (RT), para muros, ventanas, pisos ventilados y techumbres.

Esto permite afirmar que 74% del stock habitacional construido es el causante de mayor consumo energético en el sector residencial, siendo el usuario el que debe asumir el costo económico por el consumo energético que supondría mantener la vivienda en condiciones de confort. Las fluctuaciones de precios en el mercado de gas al por mayor y de la electricidad, durante los últimos años han provocado inestabilidades en el presupuesto familiar, afectando en mayor medida al sector más vulnerable. Personas que, en su mayoría, suelen habitar viviendas sociales que no fueron construidas con objetivos de calidad energético-ambiental, sino que con objetivos claros de poder satisfacer la necesidad de vivienda para personas que carecían de ella, o que bien levantaban campamentos de manera informal. La vivienda social se ajusta a condicionantes económicas que establecen límites de calidad de la construcción,

haciendo suponer que las condiciones a que son expuestos los habitantes se alejan de los estándares esperados de confort interior.

Para el último Censo (2002) se determina que la mitad de la población en Chile tiene un ingreso mensual promedio inferior a US\$ 238, donde 20% de ellos es clasificado en situación de pobreza. De estas personas, es casi nula la cantidad del ingreso económico destinado a calefacción en la vivienda, especificando entonces que son miles las familias que viven bajo la línea de la “pobreza energética” o “pobreza de combustible” en Chile, lo que en inglés se denomina “*fuel poverty*”. Dicha pobreza, según el autor Sung Hong (2009), es causada por una combinación en base a bajos ingresos y altos costos de energía, además de una ineficiencia energética o una mala calidad de la envolvente térmica de la vivienda. Aquellas familias que sufren este fenómeno son vulnerables y pertenecientes, en mayor medida, a los dos quintiles de más bajos ingresos.

La política habitacional chilena se basa en tres ejes fundamentales: aumentar la cantidad de soluciones habitacionales; garantizar la calidad de las viviendas, mejorando su estándar, los procesos de diseño y construcción; y promover la integración social (Bustamante, 2009). Actualmente, la vivienda social en Chile se aleja del segundo eje, siendo descrita como deficiente y como una edificación que constantemente requiere mejoras.

Para dar solución a problemas energéticos y de mejora de calidad, es que el Estado Chileno a partir del año 2010 hace entrega del subsidio de “Reacondicionamiento Térmico en Vivienda Existente”, que mediante el cálculo del comportamiento térmico de la envolvente, propone soluciones de mejoramiento, que cumplan con los estándares establecidos en la Reglamentación Térmica (RT), en viviendas que no sean tasadas en más de US\$ 28.000 y que hayan sido recepcionadas antes del 2007. El subsidio corresponde a US\$5.811 y permite el reacondicionamiento térmico, como aislación térmica, barreras de vapor y humedad, revestimientos interiores y exteriores, marcos de ventana, superficie vidriada, entre otras. Los proyectos deben demostrar una disminución del valor de transmitancia térmica (U) de la envolvente, según su zona térmica, además del cumplimiento del mínimo exigido en el Art. 4.1.10 de O.G.U.C., para poder adjudicarse el subsidio en cuestión.

Si bien, dichos mejoramientos a la vivienda social son un aporte, no aseguran alcanzar totalmente el confort higrotérmico, ni otro tipo de desempeños. La RT establece que los complejos de techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados, entendidos como elementos que constituyen la envolvente, deberán tener una transmitancia térmica (U) igual o menor a la señalada para la zona que le corresponda, pero no considera otros factores que

tienen alta influencia en el mejoramiento final, tales como la hermeticidad al aire de la envolvente.

Esta tesis propone cubrir una brecha de conocimiento de cómo diferentes variables de desempeños actúan de forma integral en el mejoramiento energético-ambiental de una vivienda. Actualmente se carece de tal conocimiento que permite generar diversas estrategias que, bajo la “filosofía” prestacional e integral, establezcan mejoramientos que persiguen objetivos de desempeños. Para viviendas nuevas existen declaradas ciertas decisiones de diseño que tienen alto impacto en el desempeño energético, como por ejemplo, la orientación, el porcentaje de acristalamiento, entre otros (Bustamente y Encinas, 2012), pero para el caso de viviendas existentes se desconoce que variables se deben utilizar prioritariamente para lograr un mejoramiento energético-ambiental.

Esta falta de conocimiento impacta negativamente en la habitabilidad de las viviendas, con consecuencias sociales y económicas, debido a que las reformas en viviendas se generan de manera independiente y no complementaria. El mejoramiento de una vivienda social única para un usuario, necesita incorporar conceptos de calidad para lograr un mayor estándar de habitabilidad en la vivienda, haciendo de ésta más duradera, extendiendo su vida útil, y lograr así un mayor confort para el usuario, estableciendo cuales debiesen ser los desempeños a estudiar y mejorar en una vivienda existente.

La presente investigación de tesis es específica hacia el mejoramiento de viviendas existentes bajo una enfoque prestacional, es decir, orientado hacia los resultados y no en las estrategias para alcanzarlos. Esto basado en el control de desempeños que la actual RT no considera en su totalidad, aquellos asociados a cualidades de habitabilidad, durabilidad y sustentabilidad ambiental.

Para seleccionar aquellos desempeños que determinaran como objetivos finales dentro de un mejoramiento energético-ambiental en viviendas de bajo costo, se revisa el estado del arte actual en relación a que desempeños se han abordado. La mayoría de estos (Se detallan en el capítulo 2.2) atienden la eficiencia energética, ya sea por términos de calefacción o refrigeración, y el confort térmico. Si bien, estos desempeños terminan siendo relacionados entre sí (distintas variables ejercen influencia en los dos), no se consideran otros desempeños que, además de afectar la calidad física de la vivienda, interviene la calidad de vida del usuario.

Actualmente la política habitacional chilena ha generado normativas que están enfocadas en la Eficiencia Energética, sin considerar otros desempeños que atienden temas de confort térmico y salud del ocupante.

De esta manera se determinan tres objetivos finales para estudiar como desempeños a mejorar en una vivienda social existente:

- **Confort Térmico:** alcanzar distintos estándares relacionados con la temperatura operativa al interior de la vivienda, la aislación higrotérmica de la envolvente, su transmitancia térmica y permeabilidad al aire.
- **Eficiencia Energética por demanda de Calefacción:** alcanzar estándares de confort sin aumentar el consumo energético y por ende los valores invertidos en él (estrategias de ahorro, costo-efectividad), determinando calidad energética de la construcción.
- **Calidad del aire interior:** alcanzar niveles de renovación de aire básicos para que exista calidad de aire al interior, determinando la capacidad de ventilación de la vivienda.

Se reflexiona, que mientras estas variables no sean consideradas al momento de establecer un mejoramiento de la vivienda, se afectará directamente al esfuerzo por mejorar otros desempeños que si son comúnmente abordados en estudios de este tipo, como por ejemplo, la transmitancia térmica requerida como mínimo en la misma Reglamentación Térmica.

Al incorporar sólo algunas medidas de mejoramiento energético-ambiental, como aumentar el nivel de aislación térmica de la envolvente, las familias vulnerables no conseguirán un ahorro monetario significativo, ya que seguirán gastando la misma cantidad de dinero que destinaban para energía de calefacción en un principio, monto que nunca fue alto al tener pocos recursos para esta necesidad (Sorrel, 2009). Este efecto es conocido en inglés como “*rebound effect*” (efecto rebote en español), el cual no solo significa no destinar el dinero en calefacción, sino que también puede ocurrir cuando, luego de una medida de eficiencia energética en una vivienda, el usuario utiliza el dinero ahorrado en otro tipo de servicios; y en consecuencia, puede hasta aumentar el consumo general de energía (Berkhout, 2000). Para Energy Saving Trust (2013) en cambio, el efecto rebote significa usar más energía de lo calculado pre-mejoramiento energético.

Las estrategias de mejoramiento para la eficiencia energética han conllevado a una constante preocupación sobre la efectividad que puede tener el objetivo de ahorro del consumo energético. Existen ejemplos donde los ahorros en la práctica han sido inferiores a los

calculados en el proceso de proyecto, y este déficit también es llamado “efecto rebote” (Madlener y Alcoot, 2009; Sorrel y Dimitropoulos, 2008).

En términos generales, el “efecto rebote” cuantifica la proporción en la que el consumo de servicios de energía incrementa luego de un mejoramiento energético (Galvin, 2014). A veces no existe un mejoramiento energético-ambiental económicamente viable, pero si se logran otro tipo de beneficios como sacar a algunos hogares del segmento “*fuel poverty*”, generando viviendas más confortables térmicamente. Además, de forma paralela, los beneficios son variados y amplios: se contribuye al sector de la construcción con mayor innovación y puestos de trabajo, teniendo consecuencias en mejoras de políticas energéticas y habitacionales (Galvín y Sunikka-Blank, 2013), se incrementa la eficiencia energética a nivel país (Asadi, 2012) y se obtienen mejoras en la calidad del aire interior de la vivienda, provocando una disminución en problemas de salud. Otro beneficio directo al usuario, y para las entidades encargadas de entregar viviendas subsidiadas, es la reducción de patologías en la edificación, logrando extender la vida útil de la ella. Cabe destacar, que un habitante bajo condición de pobreza en Chile solo puede acceder a una única vivienda nueva subsidiada, teniendo que habitar ésta durante toda su vida.

En un estudio realizado por el Programa País de Eficiencia Energética (PPEE) y la Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ) (Campos, 2008), se establece que 50% de los usuarios de viviendas que no superan los US\$172.000 en la ciudad de Concepción declaran percepción de humedad al interior, y cerca del 25% percibe corrientes de aire “en todo el cuerpo”. De las patologías consideradas establecen que 17% corresponden a las relacionadas a infiltraciones de aguas lluvias, 48% a condensaciones superficiales en el interior y 37% a infiltraciones de aire. Se obtiene además, que la temperatura efectiva medida en invierno es inferior a 15°C en 95% de las viviendas estudiadas en esta ciudad (Campos, 2008), 5°C menos del valor de temperatura interior confortable según el mismo estudio. Se puede especular en base a estos datos, que en aquellas viviendas donde la temperatura interior es inferior a los 15°C existe poco, o casi nulo, uso de sistemas de calefacción artificial, y esto podría deberse a la baja disponibilidad de recursos destinados a calefaccionar la vivienda.

Una temperatura inadecuada al interior de la vivienda, un ambiente húmedo y el crecimiento de hongos, provoca graves problemas de salud en el usuario, sobre todo en menores y personas de la tercera edad. El aumentar la temperatura en invierno dentro de la vivienda social y el hacer de ésta más eficiente energéticamente, sería un potencial clave en el ámbito político, ya que se lograría disminuir diferencias sociales en el tema de salud (Howden-

Chapmana et al, 2005). Una persona bajo la línea de la “pobreza energética” puede experimentar malestar y enfermedades a corto plazo, de ahí la importancia de distintas subvenciones que actúen en este plano (Jenkins, 2009).

1.2 Planteamiento del Problema

El término “desempeño” en una edificación es definido desde distintas aristas. Los primeros acercamientos al término de desempeño (Gibson, 2005) tienen como enfoque el mejoramiento del proceso de proyectos referidos a nuevas edificaciones, donde el foco está en cómo lograr requisitos propios del usuario y de la vivienda, referidos a aspectos técnicos, fisiológicos, psicológicos y sociológicos. Lützkendorf et al (2005) estable distintas categorías de desempeño, donde se agrupan variadas necesidades de los usuarios: funcionales, técnicas, económicas, ambientales y sociales. La clasificación de los criterios dentro de cada categoría dependerá de la interpretación, pudiendo ser asignados a más de una, por ejemplo la salud y el confort como criterios pueden ser asignados al desempeño funcional, social y ambiental. Pero, cada desempeño debe ser medido de forma particular, definiendo cuales son las variables, indicadores y métodos de verificación que tiene cada uno.

Un diseño basado en desempeños se fundamenta en un conjunto de requisitos de rendimiento específicos, que pueden ser evaluados sobre la base de indicadores de los mismos desempeños. El performance de un edificio es siempre el resultado de la interacción entre diferentes soluciones para diferentes subsistemas que se quieren medir. Por lo tanto, un enfoque basado en el desempeño exige un diseño integral, con aportaciones paralelas e interrelacionadas de las disciplinas de diseño involucradas (Spekkink, 2005).

En concordancia con la definición de desempeño entendido como una integración de distintas variables o criterios, el objetivo de esta tesis es generar conocimiento sobre el mejoramiento energético-ambiental de viviendas existentes, basado en la integración de diferentes desempeños asociados a cualidades de habitabilidad, durabilidad y sustentabilidad ambiental.

Contrario a este objetivo, actualmente ocurre que los mejoramientos se han desarrollado bajo guías de estrategias replicables, de carácter prescriptivo, coartando principalmente la innovación y la pertinencia de las estrategias al lugar. Por el contrario, si el carácter es prestacional en una rehabilitación, se deben establecer objetivos de desempeños y no pautas de mejoramiento, incentivando la creación y propuesta de estrategias que de manera prestacional alcanzan los estándares de desempeños. Dichos desempeños pudiesen ser

aplicables y exigibles en variadas locaciones similares climáticamente al lugar de estudio, pero para efecto de esta investigación se centrarán en la ciudad de Concepción (Zona Térmica 4).

En la mayoría de los países, las normativas y regulaciones tradicionalmente han sido de carácter prescriptivo (establecen procedimientos aceptados o guías técnicas). Los sistemas de aseguramiento de la calidad de construcciones habitacionales que se practican en Chile, se basan, principalmente en el control de procedimientos y de la calidad del proceso constructivo. El manual técnico Reacondicionamiento Térmico de Viviendas en Uso (CDT, 2010), cuyo objetivo es incentivar las buenas prácticas constructivas, en términos de mejorar la eficiencia energética de las viviendas y su habitabilidad, aporta con una plataforma técnica de especificaciones de soluciones de rehabilitación térmica, generándole al estudio un valor prescriptivo, y no prestacional, valor que si propone la presente tesis para establecer objetivos y la forma de alcanzarlos (Figura 1.3).

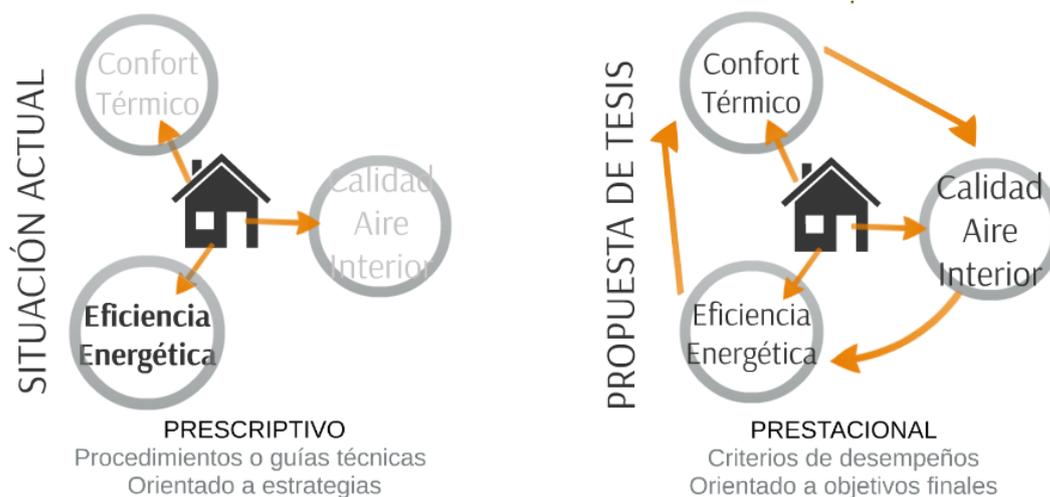


Figura 1. 3: Esquema de la situación actual de los mejoramientos propuestos para viviendas, en comparación con el sistema integral bajo tres desempeños finales que propone la presente tesis.

Si esta nueva forma de establecer estrategias de mejoramiento para las viviendas existentes es adoptada, los resultados energético-ambientales serán más beneficiosos y el país dispondrá de una herramienta moderna y objetiva para mejorar y medir la calidad técnica de los mejoramientos para viviendas ya construidas.

Distintos estudios o proyectos elaborados en la última década (Wilson, et al, 2007; Mercado, et al, 2010; Intelligent Energy Europe, 2008 y 2009; Howden-Chapman et al, 2005) consideran como criterio de observación la eficiencia energética y la calidad térmica del edificio; abordando la contaminación al interior de la vivienda, la temperatura interior y la aislación térmica de la envolvente, pero no consideran otros desempeños que el presente

trabajo sí estudia, tales como: aislación higrotérmica de la envolvente, permeabilidad del aire y calidad de aire interior; desempeños que la Reglamentación Térmica en Chile tampoco incluye.

Actualmente el mejoramiento realizado en viviendas sociales que se adjudican el subsidio de reacondicionamiento térmico, sólo cumple con alcanzar los estándares identificados en la RT, sometiendo sólo los desempeños exigidos a cálculos hechos bajo técnicas numéricas.

Galvin y Sunikka-Blank (2013) establecen que los cálculos teóricos de consumo de energía, basados únicamente en las características físicas del edificio no entregan una visión exacta de posibles ahorros energéticos o económicos. Debido a esto se propone generar una discusión de lo complementario que resultan ser distintos métodos para conocer desempeños relacionados con la eficiencia energética, confort térmico y calidad del aire interior en una vivienda.

En esta tesis se diagnostica la calidad físico-constructiva de la vivienda bajo tres métodos validados (simulación, mediciones experimentales y técnicas numéricas), para contraponerlo con la percepción del usuario de aquellas viviendas en estudio. Esta visión holística del estado actual de la vivienda permite definir la necesidad de mejorar la edificación existente mediante la integración de variables más relevantes respecto a los desempeños finales propuestos.

En esta investigación, rehabilitar energético-ambientalmente la vivienda de manera integral, involucra conocer las variables más relevantes respecto a niveles de desempeños que se buscan mejorar, determinando de esta manera decisiones de diseño arquitectónico y constructivo que tengan alto impacto en los resultados buscados. Por lo tanto, la solución final debe ser la integración de distintos criterios de desempeños.

Autores como Verbeeck y Hens (2005) proponen una solución opuesta, ya que consideran que a veces el presupuesto disponible para algún mejoramiento puede no alcanzar a cubrir la rehabilitación completa, planteando entonces desarrollar las medidas a lo largo del tiempo. Esto no permite la ejecución integral, afectando directamente a la mejora de ciertos desempeños que se ven influenciados por variables interdependientes y no aisladas.

1.3 Hipótesis

Es posible desarrollar e implementar estrategias basadas en la integración de distintos criterios de desempeños (carácter prestacional) para el mejoramiento energético-ambiental de

viviendas sociales existentes en Chile, sin exceder el costo destinado por el Estado al actual subsidio de reacondicionamiento térmico.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Generar conocimiento sobre el mejoramiento energético-ambiental de viviendas existentes, basado en la integración de criterios de desempeños, definidos según la relevancia de variables asociadas a la habitabilidad, durabilidad y sustentabilidad ambiental; y sin exceder el costo destinado por el Estado.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Catastrar estadísticamente el stock construido de viviendas sociales previas a la Reglamentación Térmica (O.G.U.C Artículo 4.1.10) en la comuna de estudio para seleccionar aquellos casos más representativos, determinando tipo de vivienda (unifamiliar o colectiva), adosamiento, materialidad, año de recepción, tasación, número de pisos y superficie construida.
2. Diagnosticar la calidad físico-constructiva de las viviendas sociales existentes seleccionadas como representativas dentro de la comuna de estudio, desde análisis numéricos, experimentales y simulados dinámicamente.
3. Diagnosticar la percepción de los usuarios con respecto al confort térmico interior en las tipologías seleccionadas como casos representativos en la comuna.
4. Analizar multifactorialmente el mejoramiento energético-ambiental de los casos de estudio según distintos parámetros asociados a desempeños de confort térmico, eficiencia energética por calefacción y calidad del aire interior.
5. Definir estadísticamente criterios de desempeños relevantes en el mejoramiento energético-ambiental de los casos de estudio, en función de la demanda energética para calefacción.
6. Diagnosticar el mejoramiento energético-ambiental de los casos de estudio, basado en la integración de desempeños relevantes, en función del confort térmico.
7. Evaluar la factibilidad de realización del mejoramiento energético-ambiental de los casos de estudio, basado en la integración de desempeños relevantes sin exceder del costo destinado por el Estado al actual subsidio de reacondicionamiento térmico.

1.5 Metodología de la Investigación

La metodología presentada para el desarrollo de la presente investigación se propone a partir de los objetivos específicos (OE) determinados.

Como se ahonda en los siguientes capítulos, el principal análisis para poder diagnosticar una vivienda existente es en base a la evaluación post-ocupacional, la cual se desarrolla bajo distintas técnicas. En este caso se abordan las técnicas comúnmente usadas en estudios de éste tipo, pero la diferencia está en que son aplicadas de forma paralela, permitiendo hacer una comparación y validación del uso de una o todas de ellas, para conocer el estado actual de las viviendas ya construidas.

Una vez conocido el diagnóstico de las viviendas, como la línea base del estudio, se desarrollan técnicas de análisis que permitan conocer cuáles son los factores influyentes al momento de buscar mejorar energética-ambientalmente una vivienda existente. Para finalmente desarrollar estrategias que respondan a éste proceso.

1.5.1 OE 1

La primera etapa para este objetivo específico, es determinar cuál es la comuna desde donde se obtienen los casos de estudio. Se selecciona aquella donde los subsidios entregados sean altos en comparación a otras comunas de la región, y donde la cantidad de viviendas sociales construidas sea mayor que la de viviendas sin ayuda del Estado. Se decide trabajar en las cercanías a la ciudad de Concepción, ya que al ser esta investigación desarrollada en la Universidad del Bío – Bío, se contará con el uso de las herramientas necesarias (algunas únicas en el país) del Centro de Investigación en Tecnología de la Construcción (CITEC), para poder monitorizar las viviendas. Además es una ciudad representativa del clima del centro-sur de Chile, donde las estaciones son marcadas y los problemas de eficiencia energética, confort térmico y calidad del aire interior se acentúan en la temporada de invierno.

Al tener ya seleccionada la comuna en estudio, se desarrollan dos tareas principales:

- a. Recopilar la totalidad de datos de las viviendas sociales existentes, que hayan sido construidas sin Reglamentación Térmica. Con esta información se genera una base de datos válida y absoluta de la comuna.
- b. Para obtener los casos de estudio en particular, se determina una muestra representativa de viviendas de la comuna, en base a un análisis estadístico de 6 variables.

1.5.2 OE 2

Aquellas viviendas representativas del stock construido antes de la entrada en vigencia de la primera etapa de la RT son sometidas a cuatro técnicas diferentes de diagnóstico para conocer su estado actual, respecto al confort térmico interior y eficiencia energética de la calidad físico-constructiva.

- *Diagnóstico 1: Predicción de desempeños de la vivienda mediante una técnica numérica:*

Este método se utiliza para determinar los valores teóricos relacionados con el desempeño térmico de los elementos que componen la envolvente, sin considerar el deterioro que pueden tener los materiales debido al tiempo de vida útil, al clima y las intervenciones del usuario.

Los cálculos se realizan en base a la planimetría y especificaciones técnicas de los casos de estudio, donde se indica la materialidad, espesores, densidad y otras características de los elementos que conforman la envolvente, y especialmente la aislación térmica utilizada (tipo, espesor y densidad del material aislante). El objetivo es determinar la transmitancia térmica de los elementos constructivos (Valor U).

La principal herramienta de cálculo es extraída desde la Norma Chilena 853. Los procedimientos de cálculo están basados en el supuesto que el flujo térmico se desarrolla de acuerdo con la ley de Fourier, en régimen estacionario. Se establece una planilla donde se incorporan las fórmulas de cálculos indicadas por NCh853 of 91., para así someter a todas las viviendas a un mismo modo de cálculo.

- *Diagnóstico 2: Medición de Desempeños de la Vivienda mediante Técnica Experimental*

Las mediciones hechas para determinar ciertas propiedades físico-constructivas de la envolvente, son dos en cada uno de los casos de estudio. La primera es la medición de termoflujometría de un muro exterior de la envolvente, durante la cual se miden las temperaturas exteriores e interiores para obtener el valor medido de transmitancia térmica de los elementos monitorizados. La segunda medición registra el nivel de hermeticidad al aire de la envolvente, mediante una prueba de despresurización con *Blower Door Test*.

- *Diagnóstico 3: Predicción de Desempeños de la Vivienda mediante Simulaciones Dinámicas*

Durante la pasantía doctoral en Hochschule Biberach, Alemania, se desarrolla un estudio comparativo de dos softwares para simular los casos de estudios. En primera instancia se estudió la posibilidad de utilizar Open Studio, el cual corresponde a un plug-in gratuito para SketchUp, donde se edita la geometría. Luego este dibujo de la geometría se calcula con el motor de Energy Plus, que permite simular energéticamente el caso de estudio en régimen dinámico y en multizona. Si bien este plug-in permite trabajar de manera más fácil en Energy Plus, ocurrieron ciertas incompatibilidades, que obligaban a corregir el modelo a nivel de texto en Energy Plus.

Debido a esto se decide utilizar el software Design Builder (DB), el cual ha sido desarrollado con el *background* de Energy Plus, y utiliza el mismo como motor de cálculo. DB permite predecir la demanda de calefacción y de refrigeración, además de las temperaturas interiores sin sistemas de climatización durante todo el año, entre otros *outputs*.

Para las simulaciones se determinan condiciones de borde iguales para todas las viviendas, con el fin de poder comparar el estado físico-constructivo de ellas, y no involucrar las diferencias que ocurren al tener distintos usuarios, o regímenes de ventilación, etc.

1.5.3 OE3

Se desarrolla una herramienta de encuesta para conocer la percepción del usuario con respecto al confort interior de sus viviendas en dos temporadas del año, además de otros datos complementarios propios de la construcción y del uso.

Se plantean dos secciones de carácter cerrado (alternativas) con las mismas preguntas para las dos épocas del año (fría y templada), las cuales atienden características de los tres desempeños a estudiar. Se suma una sección final donde se cuestiona sobre el confort térmico en general, dejando la posibilidad de responder de manera abierta sobre la percepción del usuario con respecto a su vivienda en particular.

La encuesta no se aplica solo a los usuarios de los 4 casos de estudio, sino que es replicada a cada barrio compuesto por las 4 tipologías estudiadas. Esto para poder tener una percepción más generalizada y no particular a un solo caso de referencia.

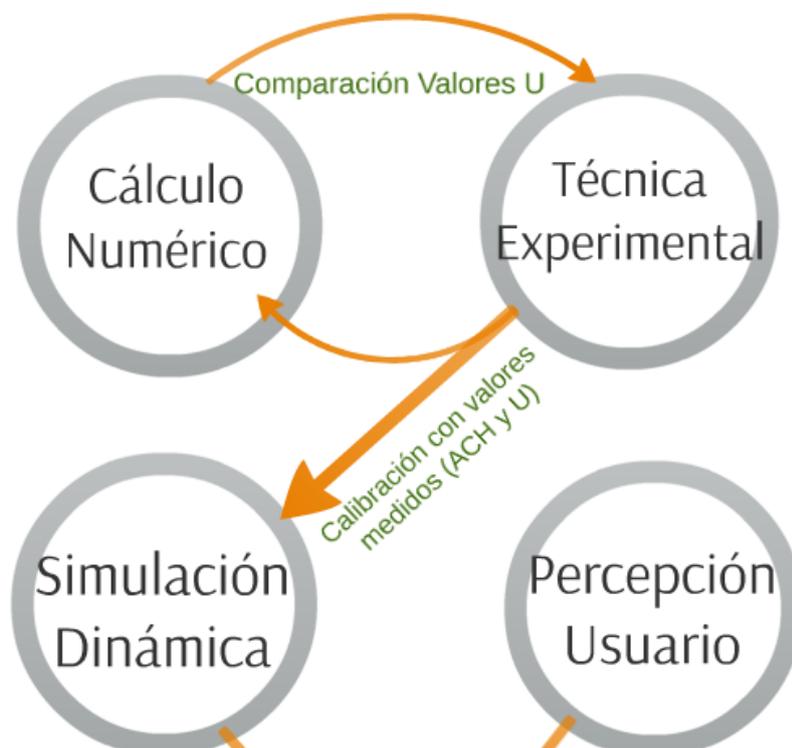


Figura 1.4: Esquema de metodología de diagnóstico para obtener resultados que permitan conocer los desempeños a estudiar.

1.5.4 OE 4

En base al diagnóstico hecho en los casos de estudio, se comprueban tres desempeños finales influyentes en el mejoramiento energético ambiental de una vivienda:

- Confort térmico
- Eficiencia Energética para Calefacción
- Calidad de Aire Interior

Mediante el uso del método de jerarquía del sistema nórdico de 5 niveles especificado en el Nordic Committee on Building Regulations (NKB) Report N°34-1978 (Fig. 1.5) y en complemento con la estructura de definición de un desempeño de Lützkendorf et al (2005), se determinan que parámetros, métodos de verificación y directrices se deben considerar para definir criterios de los desempeños propuestos como influyentes al momento de querer mejorar energético-ambientalmente una vivienda existente.

Responder las preguntas que establece el modelo nórdico NKB es muy útil al momento de querer establecer criterios de desempeños (carácter prestacional), ya que pone foco en metas u objetivos y no en las estrategias necesarias para lograrlos.



Figura 1. 5: Niveles de jerarquía, especificado en el NKB Report N° 34-1978 (Performance Based Building Thematic Network, 2005)

Los parámetros son seleccionados y definidos en función del resultado buscado: disminuir demanda de calefacción (teniendo siempre en consideración no aumentar notoriamente la demanda para refrigeración), mejorar el confort térmico y optimizar la calidad del aire interior.

Se proponen distintos valores cuantitativos y cualitativos para los parámetros seleccionados, y de esta forma someter estos parámetros integrados en un estudio multifactorial, los cuales al ser combinados entre si hacen que las simulaciones dinámicas, necesarias para conocer los resultados buscados, crezcan exponencialmente. Para optimizar tiempo y hacer el estudio más efectivo, se utiliza la herramienta digital GenOpt, la cual permite ejecutar las mismas simulaciones multifactoriales de una forma más rápida y fiable.

A partir de todas las simulaciones ejecutadas se obtienen resultados referidos a la demanda energética por términos de calefacción de cada propuesta de mejoramiento con desempeños integrados.

1.5.5. OE 5

Las respuestas obtenidas desde GenOpt se evalúan en referencia a la Calificación Energética chilena, que ha sido desarrollada para viviendas nuevas. La calificación propone rangos que derivan desde el porcentaje en disminución de la demanda energética, lo que en conjunto con el listado de soluciones y sus respectivos resultados, permite conocer la influencia porcentual de cada parámetro en cada respuesta. Este análisis estadístico basado en el estudio multifactorial permite marginar aquellas variables que no tienen influencia en el objetivo buscado, y también conocer aquellas más relevantes según el nivel de respuesta buscado.

Es necesario considerar cambios a la propuesta de la Calificación Energética vigente, ya que esta considera otro tipo de desempeños que no son pertinentes a esta tesis, como por ejemplo la demanda energética en iluminación.

El análisis estadístico del estudio multifactorial se efectúa con el método Box-Cox, para poder entregar un mejor entendimiento del objeto de estudio, obteniendo información que otros métodos estadístico, como los uni-variantes y bi-variantes, son incapaces de conseguir. Desde el punto de vista probabilístico, el método seleccionado entrega la relevancia, y la ausencia de ciertas variables dentro de un abanico de posibles decisiones. Esta técnica estadística es necesaria para poder segmentar la información, estratificarla, realizar predicciones, reducir los datos, filtrar las variables y fusionar categorías.

1.5.6 OE6

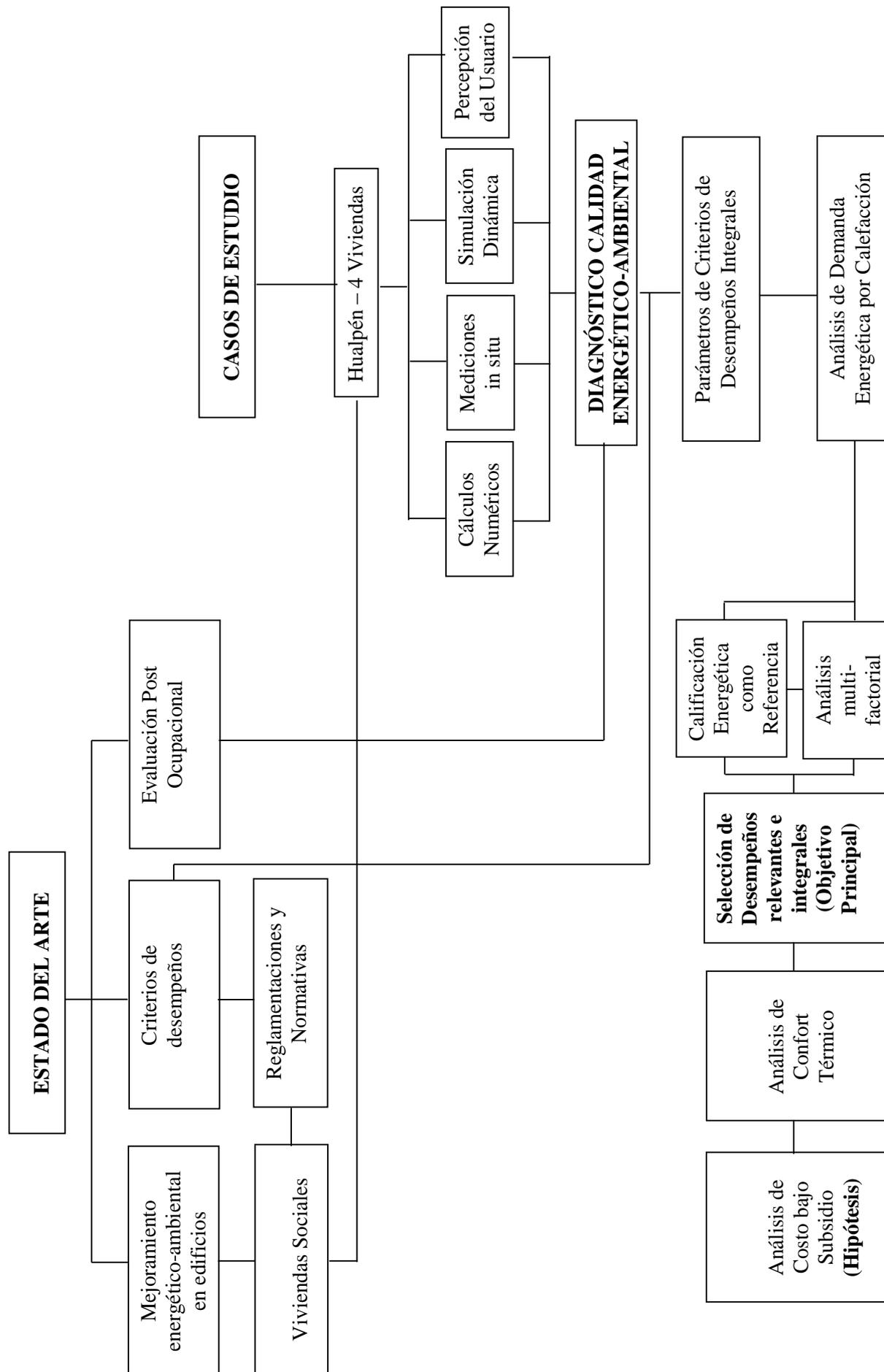
Al haber seleccionado las variables más influyentes en el desempeño de eficiencia energética por términos de calefacción, se seleccionan los dos casos más óptimos y se analiza la frecuencia de temperatura de ellos para conocer el desempeño de confort térmico de las viviendas en estudio. Se determina la cantidad de horas en que la temperatura interior de la vivienda esta fuera o dentro de la zona de confort propuesta para la temporada cálida y fría. El método empleado es el utilizado en el diagnóstico: simulaciones dinámicas con el software Design Builder, esta vez ya con estrategias de mejoramiento integradas.

1.5.7 OE7

El mejoramiento energético-ambiental determinado en base a las variables más relevantes, aplicado en dos casos de estudio más óptimos, es sometido a una evaluación económica respecto a los costos que este implica. Se identifica un límite de presupuesto que corresponde a lo establecido por el subsidio entregado actualmente para el mejoramiento térmico de la vivienda existente en Chile.

Cada “*pack*” de desempeño es asociado a su costo y su beneficio en relación a la demanda energética por términos de calefacción, y el confort térmico que esta propuesta entrega en temporada cálida y fría.

Figura 1.6.: Mapa de Ruta para el desarrollo de la investigación



MARCO TEÓRICO | 02



MARCO TEÓRICO | 02

2.1 Eficiencia Energética y la Vivienda Social en Chile

La sensibilidad del habitante para y con el medio ambiente ha crecido notablemente a lo largo de las últimas décadas, así también la integración de medidas en busca de mejorar la eficiencia energética y disminuir el consumo energético, lo que ha permitido tender hacia un desarrollo cada vez más sustentable. En el ámbito de la construcción, se han incentivado distintas acciones en este sentido, desarrollando edificaciones cada vez más eficientes. Para el caso de la vivienda se ha perseguido garantizar condiciones de confort adecuadas para su uso, y donde al mismo tiempo se concreten ahorros energéticos alcanzando los estándares esperados. Las necesidades energéticas, dependerán principalmente del lugar geográfico donde se encuentre la vivienda, de su calidad físico-constructiva y de los hábitos del usuario.

2.1.1 La Vivienda Social en Chile

En 1906 se aplica el primer tipo de política habitacional en Chile, creando los “Consejos de Habitaciones”, los cuales tienen como finalidad construir viviendas para los sectores de menores recursos de la población (Hidalgo, 2007). Estos desaparecen en el año 1936 y son reemplazados por la Caja de Habitación Popular, que administraba recursos fiscales para la construcción de viviendas de interés social. En 1954 se crea la Corporación de la Vivienda (CORVI), institución que construye y asigna las viviendas sociales.

El gobierno militar, a partir de 1973, genera un gran cambio en las políticas económicas de Chile, afectando también las políticas habitacionales. CORVI se mantuvo hasta 1976 y tuvo un alto impacto en la construcción de viviendas. El mismo año se reformó el Ministerio de

Paulina Wegertseder: Integración de criterios de desempeños en el mejoramiento energético-ambiental de viviendas existentes.

Vivienda y Urbanismo (iniciado en 1965) y se crearon los Servicios Regionales de Vivienda y Urbanismo (SERVIU) y las Secretarías Regionales del Ministerio (SEREMI).

En una primera etapa el manejo habitacional en Chile tenía como principal y único actor al Estado (Castillo et al, 2008), pero en la década de 1980 se sufre un vuelco y el Estado transfiere al mercado la producción de la oferta, financiando la demanda mediante subsidios dirigidos a los menos solventes. Uno dirigido a hogares con capacidad de ahorro y acceso al crédito y otro de Vivienda Económica (o actual vivienda social), que se trata de la construcción y asignación de residencias para grupos de bajos ingresos y con poca capacidad de ahorro. Dentro de este mecanismo se encuentran los programas de Vivienda Básica y Progresiva. Si bien estos dos mecanismos de subsidios han sufrido constantes modificaciones en los últimos años, su estructura se ha mantenido y pueden ser considerados como los pilares de la política habitacional chilena desde 1978 (Simian, 2010).

En 1989 el MINVU define el concepto de vivienda social, aceptado hasta hoy, como aquella vivienda económica de carácter definitivo, cuyo valor no supera los US\$17.500, su superficie construida no es superior a 140 m² y está destinada a resolver la marginalidad habitacional.

En las últimas décadas la política habitacional chilena ha logrado reducir el número de familias sin casa. En 1990, con el retorno de la democracia, en Chile se contabiliza un déficit de 1.000.000 de viviendas (MINVU, 2004), que conllevó a una gran presión social debido a la cantidad de demandas sociales que no habían sido satisfechas. Para superar este problema se realizaron avances significativos en lo que respecta a la forma de postulación y la consiguiente selección de beneficiados; además de un aumento significativo de las construcciones (Hermosilla y Santelices, 2006). La primera medida que toma el Gobierno, fue asignar más recursos para combatir esta falta de casas, llamando al sector privado para la colaboración y así poder construir masivamente. De este modo el déficit disminuye de 771.935 a 543.542 (MINVU, 2006) hasta el 2000, pero la calidad de las viviendas fue, y sigue siendo, cuestionada. En ese entonces, existía presión para lograr un mayor número de viviendas pero con los mismos recursos, obligando a reducir ciertos estándares como: superficie, acondicionamiento ambiental y calidad de materiales (Sepúlveda et al, 1993).

En el 2001 se crea la Nueva Política Habitacional, la cual elimina el crédito hipotecario para las familias del quintil más pobre, asignando una vivienda sin deuda. Estipula además que los SERVIU ya no son constructoras, sino que su labor es seleccionar beneficiarios y otorgarles subsidios. Se crea el Fondo Solidario de Vivienda, en donde se agrupan distintas posibilidades de soluciones habitacionales a las que se puede acceder. En resumen, los cambios propuestos

buscaron solucionar los problemas de los beneficiados, subsidiando la vivienda social para que éstos sólo paguen gastos fijos, y no los dividendos (Hermosilla y Santelices, 2006).

En estas construcciones que buscaban satisfacer la falta de “techo”, es común observar grandes cantidades de viviendas cuyos parámetros exteriores son ineficientes en materia de aislación térmica. Las temperaturas externas extremas de invierno y verano no difieren mayormente de las temperaturas alcanzadas en el interior, que en conjunto con hábitos del usuario afectan a la durabilidad de la vivienda y la calidad de vida. Es común que se produzca abundante vapor de agua al interior, proveniente tanto de la actividad diaria del metabolismo de las personas, como de otras fuentes: duchas, cocción, lavado de ropa, etc.; a lo que se suma los calefactores de llama abierta comúnmente utilizados (Sepulveda et al, 1993).

Por lo general, las viviendas sociales necesitan un mantenimiento. Rodríguez y Sugranyes (2004) señalan que al menos en 90% de las viviendas estudiadas se ha realizado alguna obra y lo ha costado el usuario.

Por otra parte, en relación a la demanda energética de la vivienda social, las fluctuaciones de precios en el mercado de gas y de la electricidad, durante los últimos años han provocado inestabilidades en el presupuesto familiar, afectando en mayor medida al sector más vulnerable. Personas que, en su mayoría, habitan viviendas sociales que no fueron construidas con objetivos de calidad energético-ambiental, sino que con objetivos claros de satisfacer la necesidad de vivienda para personas que carecían de ella. La vivienda social se ajusta a condicionantes económicas que establecen límites de calidad de la construcción, haciendo suponer que las condiciones a que son expuestos los habitantes se alejan de los estándares esperados de confort interior.

2.1.2 Confort Térmico Residencial

La vivienda, es el lugar donde el usuario reside mayor parte del tiempo, debido a esto, debe generar espacios que brinden condiciones ambientales apropiadas para que el usuario desarrolle su habitar en situación de confort.

Para la Real Academia (2013), la palabra “confort” significa aquello que produce bienestar y comodidades. Pero la palabra confort, con pertinencia a la arquitectura y el habitar, ha tenido un cambio drástico en su significado en el último siglo, con considerables implicaciones en la gestión ambiental interior y la demanda energética en edificios (Chappells y Shove, 2004).

La finalidad de incorporar el concepto de confort en construcciones y condiciones ambientales interiores, es lograr disminuir el uso de tecnologías de climatización que alcanzan los estándares esperados, ya que el uso de ellos se hará insostenible el futuro. Cooper (1982) establece que la creación de espacios habitables y confortables, se ha convertido en sinónimo de un alto consumo de combustibles fósiles para alcanzar óptimas condiciones interiores. Entonces, se vaticina que muchos edificios existentes no serán capaces de proporcionar confort térmico bajo condiciones climáticas variables, haciendo necesario generar un cambio en esta situación de altos consumos energéticos, asegurando confort interior.

Al buscar el confort adecuado en el interior, se deben considerar varios factores que influyen en el objetivo final, tales como: el clima donde está situada la vivienda, los hábitos del usuario, elementos constructivos y envolvente de la construcción. Al mismo tiempo, cada uno de estos factores involucra otros principios y elementos, que también actúan en conjunto, por lo que no se deben estudiar de manera aislada. Por ejemplo, el clima ofrece aspectos positivos, pero también brinda otros negativos. Las ganancias solares, que dependen en gran parte del clima, pueden ser muy beneficiosas para aumentar la temperatura en invierno, pero también pueden provocar problemas como el sobrecalentamiento durante el verano.

El confort ambiental es un concepto complejo que se espera lograr dentro de cualquier espacio, para brindar bienestar en los ocupantes de un edificio, de acuerdo a las características de uso, según el destino de la edificación y a las características climáticas. El confort térmico es solo un parámetro dentro de todos los que conforman el confort ambiental, siendo los demás: confort visual, confort acústico y calidad del aire interior.

Se entiende por confort térmico, como aquella sensación de agrado de un usuario en un espacio interior. Este carácter subjetivo hace imposible establecer una definición universal sobre los valores que se deben cumplir para estar en confort térmico. Por este motivo nacieron normas, como la EN ISO 773 (2005), que definen a un “clima interior aceptable” cuando 80% de las personas se encuentran confortables y aceptan las condiciones higrotérmicas del espacio. De forma similar lo define la ASHRAE, que establece puntuaciones para la sensación de confort. Estos dos estándares están basados en estudios realizados por Fanger (1970), quien estipula tres condiciones para que una persona se considere en situación de confort térmico:

- Que se cumpla el equilibrio térmico
- Que la tasa de sudoración esté dentro de los límites de confort
- Que la temperatura media de la piel esté dentro de los límites de confort

Las definiciones de confort térmico, establecidas por normas internacionales, han sido abordadas desde distintos estudios empíricos. Para Serra y Coch (1995), el confort y el desconfort son sensaciones propias del inconsciente, que podemos o no conocerlas, hasta que algunas circunstancias nos obligan a fijarnos en esa sensación de bienestar. Roset (2001) en cambio, precisa al confort como “un estado de bienestar físico, mental y social”, ya que se encuentra influenciado no solo por sensaciones personales, sino que además por el entorno social en el que el habitante este inserto; esta definición también es usada por la OMS.

Según la Nota Técnica de Prevención Española (NTP 18.82), el confort térmico es la manifestación subjetiva de conformidad, o satisfacción, con el ambiente térmico existente y que está directamente relacionado con el balance térmico del cuerpo humano, que depende de una serie de parámetros y variables ambientales con las que el cuerpo interactúa. Para que un ambiente sea calificado como confortable térmicamente, se debe cumplir con la satisfacción de la ecuación del balance térmico, donde los mecanismos fisiológicos de la termorregulación son capaces de llevar al organismo a un estado de equilibrio térmico entre la ganancia de calor (de origen ambiental y metabólico) y la eliminación del mismo (INSHT, 2005).

Para Hensen (1990), la temperatura es el parámetro ambiental más importante con respecto a confort térmico. La diferencia entre la sensación térmica y el confort térmico es que la primera es una experiencia racional, dirigida hacia objetivos en términos de "frío" y "caliente". En cambio, el confort térmico es una experiencia emocional, que es caracterizada en términos de "agradable" y "desagradable". En ambientes térmicos moderados, el trabajo de termorregulación es inferior y basta con modificar la temperatura de la piel y la secreción del sudor para mantener un equilibrio térmico.

En el ámbito investigativo y de normalización que se refiere a “confort térmico”, se presentan dos modelos: el “adaptativo” (Auliciens, 1989; Nicole y Roaf, 1996; De Dear et al., 1997) y el “estático” (Fanger, 1970). Éste último da como resultado estándares que han sido aplicados universalmente para cualquier tipo de edificación y usuario, siendo caracterizados por tener un mínimo reconocimiento del clima exterior y del contexto en el cual se inserta el edificio (ISO 7730/2005; ANSI/ASHRAE 55/2010). Debido a esto, se ha incrementado la dependencia de sistemas de climatización mecánicos.

En cambio, los modelos adaptativos consideran que las personas juegan un rol importante en la creación de sus preferencias térmicas, a través de su interacción con el ambiente, ya sea modificando su propio comportamiento, o bien adaptando gradualmente sus expectativas para enfrentar el ambiente térmico (ASHRAE 55, 2004; 2010). Las aplicaciones de este tipo de

modelos han potenciado el control responsable, mejorando el nivel de confort, disminuyendo el consumo de energía, entre otros aspectos en favor al medio ambiente.

Fanger (1970) propone un método de valoración donde se ponen en práctica las variables que influyen en el intercambio térmico hombre-medio ambiente, tales como: nivel de actividad, características del vestido, temperatura seca, humedad relativa, temperatura radiante media y velocidad del aire (INSHT, 2005).

Este método entrega el porcentaje de personas que se sentirían inconfortables en un ambiente determinado, resultando ser útil para evaluar una situación con carácter post-ocupacional, o bien cuando proyecta o modifica un ambiente térmico. El método calcula dos índices denominados Voto Medio Estimado (*PMV-predicted mean vote*) y Porcentaje de Personas Insatisfechas (*PPD-predicted percentage dissatisfied*).

Se entiende por PMV, como el índice que refleja el valor de votos emitidos por un grupo de personas respecto a una escala de sensación térmica de 7 niveles (frío, fresco, ligeramente fresco, neutro, ligeramente caluroso, caluroso, muy caluroso). El PMV establece una tensión térmica, que se basa en la transferencia de calor en estado estacionario entre el cuerpo y el ambiente. PPD es el porcentaje sabido de personas insatisfechas en cada PMV.

La norma ISO 7730:1994 está basada en los estudios realizados por Fanger, y a partir de esto define dos propósitos: (i) usar un método para la predicción de la sensación térmica y el grado de insatisfacción térmica de las personas, y (ii) especificar condiciones aceptables de confort térmico. Para lograr lo propuesto consideran el uso de los métodos de PMV y PPD.

El método de Fanger está especialmente diseñado para el estudio de condiciones ambientales estacionarias. Se considera apropiado para aquellos edificios que son acondicionados con sistemas mecánicos, sin embargo, es un modelo válido para edificios con ventilación natural.

Para el confort térmico “estático”, el equilibrio térmico es la condición básica (pero no suficiente) y está dado por el balance térmico igual a 0 sin que se accionen los mecanismos termorreguladores. Para lograr balance 0, alcanzar el confort no es la única condición, sino que también es necesaria la uniformidad térmica, que implica controlar corrientes de aire frío y gradientes de temperatura.

Los estudios hechos con métodos universales, para medir y calcular el confort, tal como lo es Fanger, son inadecuados, ya que no dan cuenta de la variación cultural que pudiese existir, o bien cambios climáticos que nacen a partir de las interpretaciones de confort de cada persona (Chappells y Shove, 2004).

Los modelos adaptativos, en cambio, establecen que la susceptibilidad térmica varía según la ubicación geográfica, el clima, el destino del edificio y la vulnerabilidad del usuario, respecto a las temperaturas elevadas o bajas (Nicol y Humphreys, 2002). Humphreys (1995) sostiene que las personas no son receptores inertes del medio ambiente, sino que interactúan con él para poder optimizar su condición.

El término “adaptar” hace referencia a todos los mecanismos de adaptación fisiológica de climatización y a los procesos conductuales y psicológicos que experimentan los usuarios, con el objetivo de mejorar y ajustar las condiciones ambientales del interior con las necesidades del ocupante. Para el modelo adaptativo, el usuario es un agente activo en todos los niveles de la interacción persona-medio ambiente, a través de relaciones que se retroalimentan entre sí. La tesis de adaptación señala que la satisfacción con el clima interior se consigue mediante una adecuada correspondencia entre las condiciones ambientales con el tiempo, espacio y expectativas térmicas (De Dear, 1991a, b y c; Nicol, 1996). Cualquier espacio donde se desarrolla una actividad humana debe tener una variabilidad temporal, al que el organismo de cualquier ser humano está acostumbrado.

Humphreys (1994) establece que definir una temperatura única para un ambiente no es lo indicado, ya que, por ejemplo, si la norma exige tener 22°C, se diseña para 22°C, funciona con 22°C y las personas se adaptan a 22°C, y terminaran estando satisfechas con dicha temperatura. Sin embargo, esto no quiere decir que sea necesaria esta temperatura, ya que pudiesen haber sido 20 o 24°C, probablemente. En este caso, sería factible establecer un rango aceptable y no regirse por una única temperatura.

El modelo adaptativo tiene mayores posibilidades de ser aplicado en espacios residenciales, ya que en oficinas, por ejemplo, la posibilidad de adaptación sin restricciones por parte de los trabajadores se hace insostenible (Chappells y Shove, 2004).

El querer alcanzar el confort térmico al interior de un edificio, no sólo tiene por objetivo favorecer al ocupante, sino que también persigue tener influencias en la sustentabilidad y principalmente, lograr disminuir el consumo energético en edificios. Las características físico y termo-constructivas de la construcción, afectarán directamente al confort interior, determinando una mayor o menor demanda energética (d’Ambrosio, Palella, Riccio. 2011).

Junto con la aparición del acondicionamiento de aire aparece el interés por la valoración del nivel de confort térmico desde la percepción del usuario. El cambio climático y las crisis energéticas (recurrentes en Chile), tienen un alto impacto en el confort interior y en la salud

de los usuarios, haciendo necesario mejorar la eficiencia energética de los edificios. Milne y Boardman (2000) sugieren que proporcionar altas ganancias de calor para mejorar la eficiencia energética de los hogares, puede ser interpretado como incrementar el confort en vez de un ahorro energético directo.

2.1.2.1 Parámetros de Confort

El ambiente interior está definido fundamentalmente por la calidad del aire que se entrega a los ocupantes de un espacio, por el clima creado, por el ambiente lumínico y acústico, y por el ámbito visual en el que está inserto. La mayoría de estas variables que influyen en el ambiente, están directamente relacionadas con el sistema de ventilación y de acondicionamiento de aire que se suministra al espacio. Esto ocurre, independiente si son sistemas pasivos o activos (Min. de Asuntos Sociales de España e INSHT, 2008).

Los efectos de la ventilación de un espacio en la salud humana, en el confort y en la productividad en ambientes interiores no industriales son importantes por su consecuencia en el aumento de los síntomas del síndrome del “edificio enfermo (Wargocki et al, 2002), término atribuido mayoritariamente a edificaciones que generalmente necesita climatización.

Otros aspectos importantes de vital relación con el ambiente térmico y que se deben tomar en consideración en la fase de diseño, según la NTP 779, son:

- Uso al que está destinado el espacio
- Ventilación
- Especificación técnica de la zona ocupada
- Número de ocupantes
- Datos sobre el clima exterior
- Área de la superficie acristalada
- La carga térmica originada por las personas, equipos, iluminación, radiación solar, etc.
- El posible uso de elementos de captación solar

Es importante que el diseño arquitectónico busque el confort para los usuarios, haciendo mínimo el gasto de energía para alcanzar las condiciones ambientales adecuadas para la actividad humana (Bustamante y Rozas, 2009). Pero que sucede con aquellas viviendas que ya existen y no pueden ser sometidas a mayores cambios en su diseño, ¿cuáles debieran ser las estrategias que se deben atender para poder mejorar el confort en su interior? La presente

investigación es específica hacia aquellos casos de estudios existentes, cuyas fases de diseño no tuvieron consideraciones energética-ambientales.

Con respecto a la temperatura ambiental que se espera en invierno debiera ser distinta a la planificada para verano. Estudios de confort térmico (Fanger, 1970) y normas referentes al confort (ASHRAE, 2010; ISO, 2005), coinciden en que la temperatura ambiente debe ser mayor en la temporada más cálida. Las principales razones son: primero, existen diferentes tipos de aislaciones de vestuario por parte del usuario, lo cual tiene plena relación con la temperatura exterior; segundo, es la relación que existe de la adaptación de la temperatura ambiente de confort, con la temperatura media mensual del aire exterior (de Dear y Brager, 2001; Humphreys y Nicole, 1998; McCartney y Nicol, 2002).

Considerando que son varios los factores que afectan al momento de definir un rango de temperaturas aceptable en circunstancias similares, es necesario el uso de un modelo adaptativo. Como se hizo mención, el clima y las estaciones del año ejercen una influencia dominante en las adaptaciones de comportamiento de los usuarios para el ambiente térmico, por lo que se consideran datos climáticos históricos para el desarrollo del diagnóstico.

El confort que se espera debe ser asegurado durante todo período del año, por lo que las estrategias propuestas para invierno, deben ser evaluadas en verano. Un ejemplo sencillo: la primera idea para brindar confort durante la época fría, es aislar mejor la envolvente, pero debería ser seguido de la pregunta: ¿hasta qué punto? Si bien se disminuye la pérdida energética, se puede generar sobrecalentamiento en meses cálidos. Entonces, una buena estrategia para períodos fríos del año, al menos, no afectar el confort en períodos calurosos.

2.1.3 Eficiencia Energética en la Vivienda

En Chile, cerca del 35% de la energía primaria¹ que se consume proviene del petróleo y 19% corresponde a hidroelectricidad. La energía restante proviene del gas natural (22%), la leña (14%) y el carbón (16%). El consumo de algunas de estas fuentes presentan fluctuaciones en el tiempo; el gas natural decrece de 24,2% a 14,4%, la leña sufre incrementos de 13,2% a 16,8%, y por último el carbón llega a crecer de 7,9 a 13,8%. Estas oscilaciones pueden deberse a los valores, que varían, y a la disponibilidad del recurso (CNE, 2012) (Tabla 2.1).

¹ Para la Comisión Nacional de Energía, se denomina la energía primaria a los recursos naturales disponibles en forma directa (como la energía hidráulica, eólica y solar) o indirecta (después de atravesar por un proceso minero, como por Ejemplo el petróleo, el gas natural, el carbón mineral, etc.) para su uso energético sin necesidad de someterlos a un proceso de transformación. (www.cne.cl).

La CNE (2008) precisa que, si en Chile, la participación del carbón en la generación eléctrica aumentase en los próximos años con nuevas centrales térmicas, para el 2030 se producirá un aumento de emisiones de CO₂ superior al de Europa y otros países desarrollados.

Tabla 2. 1: Dependencia Energética (% del total) (CNE, 2011).

Origen	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Transporte (%)	35,2	33,8	34,4	34,8	34,8	36,8	35,9	36,1	36,7	36,0	34,2	33,7
Industria y Minero (%)	37,4	37,9	37,7	37,4	37,2	36,1	37,7	38,1	37,8	37,4	38,4	38,7
Comercial Público y Residencial (%)	7,4	28,3	28,0	27,8	27,9	27,1	26,4	25,8	25,5	26,6	27,3	27,6

Otro factor preocupante es la creciente dependencia de combustibles importados. En las últimas décadas, Chile ha enfrentado graves problemas de abastecimiento eléctrico: racionamiento a fines de los años 80 y 90; decretos preventivos de racionamiento en 2008, 2010 y 2011 por restricciones de transmisión e hídricas; y “sequía de gas natural”, como consecuencia de la dependencia del gas argentino (CCTP, 2011). Estos escenarios han hecho que el país se encuentre en una situación de gran vulnerabilidad, reclamando urgente nuevas estrategias y políticas que fomenten la eficiencia energética.

Muchas fuentes energéticas usadas en el sector residencial (Tabla 2.2), que junto con el total de electricidad generada por los principales sistemas (SING Y SIC) son producidas en Chile, pero se sustentan sobre la base de la utilización de combustibles fósiles. Los cuales provocan contaminación ambiental y altas emisiones de CO₂, que incrementan el efecto invernadero y la “huella de carbono” del desarrollo nacional, agregando mayor vulnerabilidad al país, a causa de las opciones energéticas.

Del consumo final de energía en Chile, una fuente que no genera emisiones de CO₂ al aire es la leña, que representa 14% de la matriz de energía primaria en Chile (Fig. 2.1). Es utilizada a nivel residencial para calefaccionar, cocinar y secar ropa, y aunque es considerada como CO₂ neutro, genera otro tipo de problemas. Al ser utilizada con grandes niveles de humedad y en ineficientes medios de combustión, crea impactos importantes, especialmente en la salud de los habitantes, contribuyendo a que las principales ciudades del centro-sur estén saturadas por material particulado respirable (PM₁₀). Debido a esto, se hace necesario utilizarla en medios eficientes, pues se trata de un combustible renovable, autóctono y sustentable, y que además permite impulsar el desarrollo económico local, mediante la generación de un recurso renovable y sustentable en la matriz energética.

Tabla 2.2: Consumo anual a nivel país por tipo de combustible y uso (kWh por vivienda (CDT, 2010b)

	Gas Ciudad	Gas Natural	Gas Licuado de Petroleo	Electricidad	Leña	Carbón	Petroleo	Pellet	Totales
ACS	0,97	480,62	1.288,71	28,85	17,18	0,00	0,00	0,00	1.816,33
Calefacción	0,00	368,62	274,13	41,78	4.649,91	84,48	341,00	1,50	5.761,42
Electricidad Especifica	0,00	0,00	0,00	1.726,61	0,00	0,00	3,20	0,00	1.729,80
Cocina	1,09	186,64	622,96	4,91	105,54	0,00	0,00	0,00	9.21,14
Aire Acond.	0,00	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	3,50
Total	2,06	1.035,88	2.185,79	1.805,65	4.772,63	84,48	344,20	1,50	10.232,19

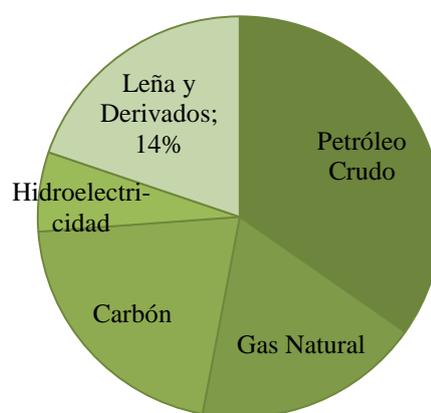


Figura 2. 1: Balance Energía primaria en Chile (CNE, 2011).

La leña es consumida especialmente por los sectores más vulnerables de Chile (50%) (CCTP, 2011). La razón para que esto ocurra se debe a la combinación de bajas temperaturas invernales, a un aumento de disponibilidad de recursos forestales y bajos precios del combustible en comparación a otras fuentes de energía.

Tabla 2. 3: Consumo total promedio de energía en kWh según zona térmica (CDT, 2010b)

	Nacional	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
Consumo Anual por Hogar (kWh)	10.299,5	3.728,5	5.071,4	7.313,4	13.483,4	19.547,1	24.255,6	42.041,8

Tabla 2.4: Consumo total promedio de energía en kWh según nivel socio económico (CDT, 2010).

	Nacional	ABC1	C2	C3	D
Consumo Anual por Hogar (kWh)	10.299,5	12.202,7	9.692,0	10.262,9	9.829,1

Cifras de la Comisión Nacional de Energía (CNE) del año 2011, indican que el sector residencial consumió 54.915 Tetracalorías, es decir 77,4% del sector comercial, público y

residencial y 20,3% del consumo energético total del país. Esto revela lo importante que puede llegar a ser el sector residencial en el consumo nacional de energía.

De manera concreta y optimista, la energía alternativa más barata es la que no se usa. Por este motivo, el objetivo principal de la eficiencia energética es maximizar la obtención de bienes, minimizando el consumo de recursos energéticos. Para esto debemos dar el primer paso como sociedad y desarrollar dentro del área de la edificación, mejoras para disminuir la demanda energética y así optimizar la utilización de recursos “no renovables” (Forcael y Garrido y Cárdenas, 2010).

La eficiencia energética busca lograr el objetivo de brindar confort en los edificios, con un menor uso de energía y mediante métodos pasivos y/o activos de acción. Se entiende por pasivo, aquellas estrategias que consideran aplicaciones en el diseño arquitectónico y en técnicas constructivas, soluciones que han sido desarrolladas desde la crisis del petróleo de 1973. Las soluciones activas, en cambio, utilizan recursos renovables (viento, sol, geotermia, etc.) para la generación de sistemas de acondicionamientos.

Por otro lado, la diferencia entre consumo y demanda energética, radica en que esta última es la energía que requiere el edificio para alcanzar las condiciones de confort establecidas, y el consumo energético es el gasto energético que realmente presenta el edificio. Por ejemplo, una vivienda puede demandar 100 kWh/m² año para calefaccionar, pero puede ocurrir que la misma vivienda solo consuma 60 kWh/m² año, y no alcance el confort térmico. Una de las razones es atribuible al respaldo económico del usuario (Wright, 2008).

Dentro de los métodos que existen para evaluar la demanda y consumo de energía de un edificio, existe uno considerado como el más completo, ya que abarca el ciclo de vida de la edificación a cabalidad, considerando cinco fases: (i) energía incorporada en el proceso de extracción y fabricación de materiales y componentes, (ii) transporte de materiales hacia la construcción, (iii) proceso de construcción, (iv) ocupación, y (v) demolición y reciclaje. Estas variables son incluidas en la evaluación, al provocar cada una de ellas un consumo de energía, siendo una de las más demandantes la ocupación del edificio. Aunque es necesario ocuparse de esta con mayor ímpetu, no deja de ser necesario incluir en el análisis todas las otras fases del ciclo de vida, sobre todo en aquellos proyectos que están en proceso de diseño, es decir para aquellos edificios nuevos. En el caso de edificios existentes, donde mayor influencia se tiene al momento de buscar disminuir la demanda energética, es la etapa de ocupación, pudiendo modificar las propiedades físicas del edificio y los hábitos del usuario.

2.2 Mejoramiento energético-ambiental del Stock Residencial

Intervenir las propiedades físico-constructivas del edificio, concentra la mayoría de las estrategias en la envolvente de la edificación, ya que es este elemento mediante el cual más energía se puede perder o ganar, llegando a contribuir entre 50 y 60% de la ganancia total de calor para el edificio (Uihlein y Eder, 2010). Además, aporta más del 50% de la energía contenida en los principales elementos de construcción de los edificios residenciales (COAG, 2009), especialmente la aislación térmica y los sellos.

El mejoramiento energético-ambiental de la vivienda social requiere tomar en consideración, entre otros factores restrictivos, la limitación de costos de intervenciones, gestión y mantenimiento. Por lo tanto, es importante definir prioridades de estrategias de mejoramiento del confort interior y de la eficiencia energética. Es fundamental identificar las partes y componentes del edificio que determinan las pérdidas de calor, para luego evaluarlas con distintas propuestas de mejoramiento. En general, las intervenciones no se deben hacer en un solo elemento, sino que por el contrario se debe evaluar la vivienda en su totalidad, para considerar un control general de los asuntos implicados, y asegurar una eficacia real de las intervenciones hechas (Boeri, Gabrielli y Longo, 2011).

Para Ma et al (2012) el mayor desafío del mejoramiento energético de viviendas es lograr determinar, implementar y aplicar el mejoramiento más efectivo y con mejor costo para alcanzar un alto desempeño energético, y al mismo tiempo ofrecer condiciones aceptables de confort térmico. Para poder alcanzar este objetivo, el autor declara que en la rehabilitación se deben tener en consideración seis elementos de alta influencia (Figura 2.2), atendiendo políticas, tecnología disponible, factores humanos, especificaciones del edificio, intereses del propietario y otros factores, cómo el clima, costos, etc.

El mismo autor establece cinco etapas para el proceso de mejoramiento de un edificio. En la primera se prepara el diseño del proyecto, donde los propietarios definen el alcance y objetivos. La segunda etapa comprende auditoria energética y evaluación de desempeños del edificio, analizando la demanda energética actual y entendiendo su uso. La siguiente fase aborda la identificación de las opciones de mejoramiento (simulaciones energéticas, análisis económicos, entre otros) para identificar alternativas de forma cuantitativa. La cuarta etapa es la implementación de las estrategias y su puesta en marcha. En la última etapa se valida y verifica el ahorro energético obtenido, recurriendo a evaluaciones post ocupacionales.



Figura 2.2: Elementos influyentes en el mejoramiento de un edificio (Ma et al., 2012).

La efectividad del mejoramiento energético de un edificio existente dependerá de la información específica que se tenga: ubicación geográfica, destino funcional, horarios de ocupación, forma, tamaño, operación y mantención, fuentes energéticas, etc.

2.2.1 Motivos para implementar el mejoramiento energético-ambiental

A nivel mundial los edificios son una de las principales fuentes de demandas energéticas y productores de grandes emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. El sector residencial del stock construido es el responsable del 40% de emisiones de CO₂ que recibe el planeta y solo en calefacción implica entre el 40 y 60% del consumo medio de una vivienda tipo (IEA, 2010). El estudio JRC-IPTS, que investiga sobre el mejoramiento ambiental de edificios, mostró que el consumo de energía durante el uso de ellos (calefacción y refrigeración), fue el factor más importante en el impacto medioambiental de los edificios (Nemry et al, 2008). Esta razón permite desarrollar la hipótesis de que si se mejoraran ciertos desempeños de la vivienda que disminuyen la necesidad de enfriar o calefaccionar, el consumo energético sería menor.

En el Informe sobre el Desarrollo Humano 2007/2008, Chile registra en las últimas dos décadas el mayor aumento en el nivel de emisiones de CO₂, comparado con el resto de los países latinoamericanos y del Caribe (PNUD, 2008) (Figura 2.3). En el año 2008, la Agencia Internacional de Energía y el Fondo Monetario Internacional posicionaron a Chile en el 2° lugar mundial de aumento de emisiones de CO₂. Al ser Chile un país pequeño en el contexto global, no tiene un aporte importante en las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI). Sin embargo, el continuo crecimiento histórico y futuro del país, augura un aporte relativo cada

vez mayor en términos de emisiones por habitante (Figura 2.4). Las proyecciones para el país indican un aumento sostenido en la emisión de GEI, señalando que para el año 2030 se contaría con un nivel de emisiones 2,5 veces superior al actual (Cepal, 2009).

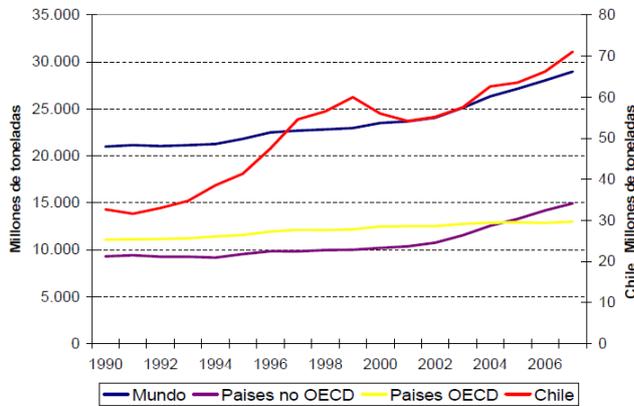


Figura 2. 3: Emisiones de CO₂ en Millones de Toneladas (PNUD, 2008).

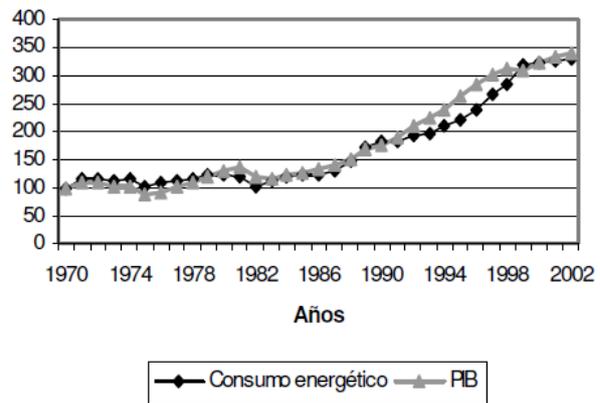


Figura 2.4: Aumento del consumo energético en Chile (Cepal,2008).

La tendencia actual de la sociedad, es utilizar cada vez más energía para sostener el crecimiento y responder a las necesidades. Se han explotado los recursos naturales para obtener energía, siendo los combustibles fósiles y sus derivados, los productos primarios principales del funcionamiento energético actual. Pero, es hace poco tiempo, que se ha tomado conciencia de que dichos recursos son limitados, situación que al ser sumada con la creciente demanda energética, se vuelve urgente controlar. Además países con dependencia energética (como Chile), deben asegurar un óptimo uso de los recursos energéticos, utilizando menos energía, sin sacrificar el confort o la actividad económica (PRIEN, 2008).

La reducción de consumo de energía dentro de un edificio, es fundamental para disminuir la dependencia de las importaciones de energía. Estrategias que permitan la óptima utilización de energía y altos desempeños relacionados con la calidad de vida al interior de un espacio, permitirán que la situación de dependencia energética no sea crítica. Por ejemplo, una vivienda que ocupe ventilación natural, ahorrará más energía que aquella vivienda que ocupe

ventilación mecánica (Andersen et al, 2009). El esfuerzo por conservar la energía y mantener un ambiente óptimo al interior, es una lucha continua que busca minimizar la dependencia de fuentes de energía convencionales, asegurar el equilibrio energético y reducir el impacto ambiental de los combustibles fósiles (Poel, 2007).

Los edificios energéticamente eficientes reducen su carga energética integrando sistemas eficientes para calefacción, enfriamiento, iluminación y agua, para lo cual usan fuentes alternativas de energía y estrategias pasivas, que permiten conservar la energía almacenada, recurren al reciclaje de materiales, y/o construyen con materiales que cuenten con poca energía contenida (Renner, Sweeney y Kubit, 2008).

Ross (2008) considera que la industria de la vivienda se encuentra en una posición poderosa para lograr cambios prácticos como respuesta a la agenda de la sostenibilidad. Pero es importante que las señales sean recibidas de forma clara y consistente, que la gente no crea que con poner un panel fotovoltaico, logrará solucionar el problema de alta demanda energética. Al mismo tiempo, es importante explicar que una inversión inicial buscando la eficiencia energética puede ser más alta que una tradicional, pero los beneficios que se logran en el tiempo son mayores.

El sector residencial es un buen medio para atender problemas de consumo energético, principalmente conociendo su destino. Actualmente en el sector residencial chileno, a nivel de distribución de energía por equipos o usos, la mayor demanda corresponde a la calefacción, la cual utiliza 56,3% del total, seguido por el uso de ACS con 17,6% (Figura 2.5).

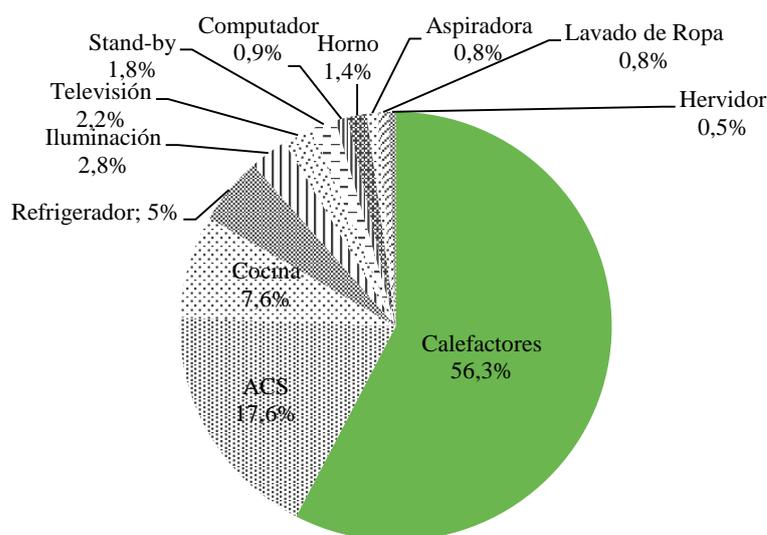


Figura 2.5: Distribución consumo energía a nivel residencial, total país. Fuente: Estudio de usos finales y curva de la oferta de la conservación de la energía en el sector residencial, CDT (2010).

El consumo notablemente superior para poder calefaccionar una vivienda (indiscriminado el combustible utilizado), acusa la necesidad de proponer nuevas estrategias que permitan lograr confort interior, sin la necesidad de asumir altos gastos económicos para poder alcanzarlo.

Se advierte que provocando cambios en el consumo energético del sector residencial, se podría beneficiar al país. El gobierno Chileno ya ha tomado una serie de medidas que fomentan el buen uso de energía, como por ejemplo, el subsidio entregado para el recambio de ampollitas, para la colocación de colectores solares en la vivienda social, o el proceso de Certificación Energética de Viviendas Nuevas. En el año 2000 se crea el Artículo 4.1.10 (Reglamentación Térmica) de la O.G.U.C., con alta importancia y réplicas en el sector residencial, que tiene por objetivo mejorar el confort habitacional, reduciendo y optimizando el consumo de energía por conceptos de calefacción y disminuyendo también la contaminación intradomiciliaria en la vivienda nueva.

Hoy, 74% de las viviendas existentes no se encuentran acogidas a aquella normativa, número que corresponde a los hogares construidos antes del año 2000. Otro 19% del stock habitacional corresponde a las unidades construidas entre los años 2000 y 2007, cantidad que está acogida bajo la primera etapa de la Reglamentación Térmica (RT), es decir consideran valores mínimos de resistencia térmica en los parámetros de techumbre (CDT, 2010). Por ende, solo 7% del parque habitacional construido desde el 2010 considera la totalidad de exigencias mínimas establecidas en la RT para muros, ventanas, pisos ventilados y techumbres.

Esto permite afirmar que 74% del stock habitacional construido es el causante de la mayor demanda y consumo energético en el sector residencial, siendo el usuario el que debe asumir el costo económico por satisfacer aquella demanda, la cual se supone mantiene la vivienda en condiciones de confort.

El reacondicionar energético-ambientalmente las viviendas existentes, permitirá disminuir el consumo energético por términos de calefacción, como también (CDT (2010):

- Lograr un confort térmico para los habitantes de la vivienda
- Disminución del consumo energético (eficiencia energética)
- Disminución de la ocurrencia de puentes térmicos
- Disminución del riesgo de condensación en elementos perimetrales
- Mejorar la calidad del ambiente interior de la vivienda
- Disminución de enfermedades asociadas a los períodos críticos del invierno.

En relación a la salud, el elevar la temperatura al interior de una vivienda, conlleva un gran potencial en el ámbito político, por lograr disminuir las diferencias sociales en el tema, haciendo que además las enfermedades provocadas por la calidad del aire interior disminuyan (Howden-Chapmana et al, 2005). Como los beneficios no son sólo para el usuario, ya que también pueden verse reflejados en el Estado y en el medio ambiente, el proceso de mejoramiento de las viviendas existentes debe incluir una amplia acción intersectorial, haciendo partícipe a los usuarios y organismos del sector de la salud, vivienda y construcción. Los problemas de las viviendas deberían ocupar un lugar destacado en la planificación y asignación de recursos, ya que las mejoras no se verán reflejadas solo en el confort interior, sino que será la calidad de vida de los usuarios (Jenkins, 2009).

Como se ha mencionado, la inversión inicial es una gran barrera para la implementación del mejoramiento energético en la vivienda en general, sobre todo en la vivienda social. Para mitigar este problema, se necesita desarrollar una evaluación económica que revele dos factores relevantes: en primer lugar, el precio de energía que se considera, debe tener una influencia significativa sobre los resultados del análisis de la inversión. En segundo lugar, considerar la inclusión de ayuda financiera desde las políticas energéticas en el análisis de la inversión (Amstalden et al, 2006). Si bien, un análisis económico es un punto clave dentro del desarrollo del mejoramiento energético en una vivienda, aplicado a la actual investigación, servirá solo para conocer cuánto costaría la inversión inicial y su vida útil. Porque hay que considerar que la inversión inicial está financiada por el Estado, por lo que cualquier mejora permitirá elevar el estándar de vida al interior de la vivienda, y los gastos que pudiesen ser disminuidos, serán un beneficio para el usuario.

En relación a la energía, y a su costo, existe un término que nace en Inglaterra, pero que puede ser aplicado en todo el mundo: “*fuel poverty*” (pobreza de combustible). Este tipo de pobreza, según el autor Sung Hong (2009), es causada por una combinación de bajos ingresos y altos costos de energía, además de una ineficiencia energética o una mala calidad de la envolvente térmica de la vivienda. La mayoría de las familias que viven bajo la línea de la pobreza, no destinan parte importante de sus ingresos en calefaccionar, para poder alcanzar confort interior, sino que prefieren destinar sus ingresos económicos a otras necesidades prioritarias, tales como comer, trasladarse o vestirse (Howden-Chapman, et al, 2012; Sorrell, 2009).

El consumo de energía en los sectores socioeconómicos bajos, no alcanza para obtener las condiciones de temperatura interior ideales durante gran parte del invierno. En el quintil más

bajo de la población, el gasto en combustible alcanza una cifra superior al 5% en la Región Metropolitana (Instituto Nacional de Estadísticas, 1996).

Es probable que un mejoramiento térmico en viviendas sociales no provoque una disminución significativa en el consumo energético por calefacción, ni un ahorro monetario, ya que este segmento de la población no destina mayores recursos económicos para calefaccionar su vivienda en invierno. Sin embargo, una vivienda que incluya mejoras térmicas implica un uso más eficiente de la energía, pero más importante aún, mejora la calidad de vida al extender el período diario de confort en el ambiente interior. Es referente a esto último como debe usarse el concepto de eficiencia energética en viviendas sociales (Bustamante et al, 2009).

El consumo de cualquier combustible afecta a la familia y a la vivienda, y la cantidad dependerá de factores, como: temperatura en invierno, costo de la energía, subsidios entregados, e ingreso promedio de los hogares (Jenkins, 2009). Reino Unido considerada y define a una familia pobre energéticamente cuando debe invertir más del 10% de sus ingresos en combustibles para calefaccionar el espacio principal de la vivienda (*main living área*). Como temperatura de confort consideran 21°C en el estar y 18°C en dormitorios durante todo el día (Berr, 2007). Para poder alcanzar estas temperaturas, el gobierno implementó en el año 2000, el programa “*Warm Front*” (Frente Cálido) para el mejoramiento de viviendas sociales, el cual tiene por objetivo hacer de la vivienda un espacio eficiente energéticamente, además de lograr que ninguna familia este bajo la línea de la pobreza energética para el 2010. La estrategia se basó en proporcionar fondos para la instalación de aislación, sistemas eficientes de calefacción y sellamientos para evitar infiltraciones de aire.

El estudio “*The Housing Insulation and Health Study*”, en Nueva Zelanda, define que aislar la envolvente de una casa existente conduce a incrementar la temperatura interior, secar el ambiente interior y dar lugar a una mejor la salud (Howden-Chapman et al, 2012). Concluyen que en poblaciones vulnerables, los ancianos y jóvenes son más propensos a ser hospitalizados por problemas respiratorios derivados de viviendas ineficientes, teniendo más probabilidades de morir prematuramente en invierno, que aquellos que habitan viviendas construidas con mejores materiales de construcción y más altos estándares.

Por ende, independiente de la realidad socioeconómica, el mayor beneficio no se manifiesta en ahorro económico, sino que en lograr: (i) confort térmico, (ii) calidad del aire interior y (iii) debido a la reducción de patologías, una extensión de la vida útil de la vivienda.

Estudios realizados en viviendas vulnerables en Chile, indican que en general su comportamiento térmico es precario. En Chiloé, una casa mal aislada requiere quemar alrededor de 16 kg/h de leña (60 t año), para alcanzar un confort térmico adecuado. En tanto que una casa mejor diseñada, con buen aislamiento requiere sólo 3,5 kg/h (13 t año) (PRIEN, 1992). Por ende, familias que están bajo la línea de la “pobreza energética” pasan más frío con la misma cantidad de leña que ocupa una familia de un mejor nivel socio-económico.

La “Guía Técnica para la Prevención de Patologías en Viviendas Sociales” determina que las patologías más urgentes de abordar en los estudios posteriores son: infiltraciones de aire por la envolvente, humedades interiores por condensación, y otras derivadas desde las instalaciones sanitarias defectuosas y malas terminaciones (Instituto de la Construcción, 2005). Estas patologías, son variables que no son consideradas como desempeños en la RT chilena, pero a pesar de ello, tienen alto impacto en los desempeños que la norma si exige.

Otro estudio, realizado por el Programa País de Eficiencia Energética (PPEE) y la Sociedad Alemana GTZ, establece que 50% de los usuarios de viviendas, cuyo valor de tasación no supera los US\$172.000 en Concepción, declaran percepción de humedad al interior, y cerca del 25% percibe corrientes de aire “en todo el cuerpo”. De las patologías consideradas establecen que 17% derivan de las infiltraciones de agua, 48% de la humedad y 37% de infiltraciones de aire. Establecen además que en 95% de las viviendas estudiadas en esta ciudad, la temperatura medida en invierno es inferior a 15°C (Campos, 2008), 5°C menos del valor de temperatura interior confortable establecida por el mismo estudio (Figura 2.6).

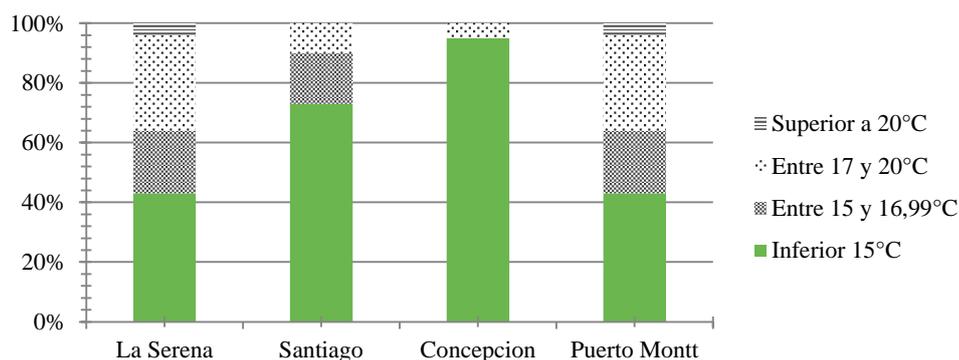


Figura 2.6: Gráfico de tramos de temperatura efectiva medida en las viviendas por ciudad en invierno (Campos, 2008)

La situación en verano es menos crítica según el estudio de Campos (2008) (Figura 2.7), donde el rango de confort es entre 20 y 25°C como temperatura de confort. A nivel nacional, aproximadamente 50% de los casos muestran riesgo de sobrecalentamiento, siendo Santiago, la ciudad donde el riesgo es más elevado (80%). Concepción responde a la conducta nacional.

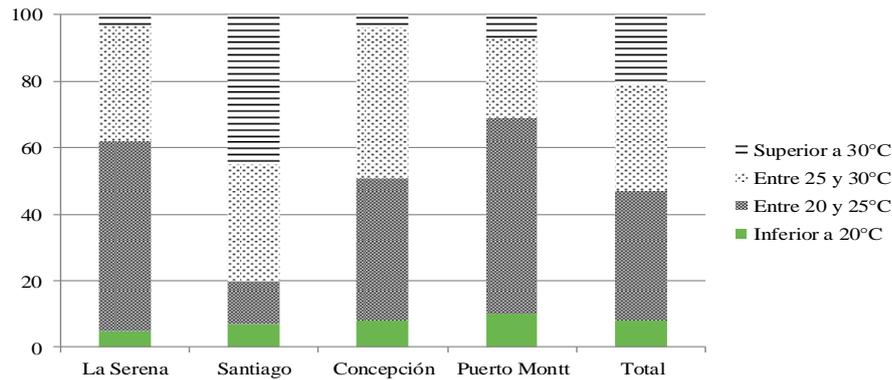


Figura 2.7: Tramos de temperatura efectiva medida en las viviendas por ciudad en verano (Campos 2008).

Se puede concluir que las viviendas están mal construidas y casi no tienen consideraciones energéticas, ya que no alcanzan los niveles de confort térmico esperados. En este tipo de edificaciones el potencial de ahorro energético es grande, sobre todo en zonas donde la temperatura no es extrema (Seeger, 2007), tal como lo es Concepción, donde la oscilación térmica es moderada durante todo el año.

Un estudio que evalúa la demanda y consumo energético de viviendas construidas entre 1994 y 1998, concluye que la vivienda promedio a nivel nacional demanda 208 kWh/m² de energía al año, con una desviación estándar de 150 kWh/m² año (Ambientes Consultores, 2007). Pero la implementación de la RT, sobre todo a partir desde su segunda etapa, ha permitido que la demanda energética de la vivienda disminuya con respecto a aquellas viviendas. En viviendas sociales construidas post RT, por ejemplo, la demanda energética por calefacción varía entre 100 y 150 kWh/m² año (Bustamante y Rozas, 2009).

2.2.2 Mejoramiento en vivienda social a nivel mundial

En Alemania, el mejorar las viviendas no nace bajo una perspectiva energética-ambiental. Durante los años 90, luego del régimen comunista, la demanda por viviendas se ve disminuida por distintos problemas sociológicos y económicos. Entonces, las empresas inmobiliarias, adaptan sus ofertas a una demanda cambiante. Después de una mirada hacia el stock construido, notan que gran parte de él ha quedado atrás en cuanto a desarrollo y estándares (Enseling, Greiff y Hinz, 2002). Entonces, al igual que otros países, Alemania empieza a rehabilitar viviendas por una necesidad implícita en la sociedad. Si bien las razones son distintas a las ocurridas en Chile, lo que buscaban como objetivo si era el mismo: aprovechar aquellas viviendas ya construidas y darles una mejor calidad, extendiendo su vida útil.

Ya superada la demanda de falta de viviendas en Alemania, el país toma en consideración el

aumento sostenido del consumo energético. Entonces comienzan con el mejoramiento de las viviendas bajo la eficiencia. El proyecto más ambicioso que se desarrolló, es: “*The German Alliance for Work and the Environment’s initiative to retrofit German homes*”. Las medidas de eficiencia energética que incluye el programa son: mejoramiento de la aislación térmica en los techos, la introducción de tecnologías avanzadas para calefacción y ventilación y el uso de energía solar (Renner, Sweeney y Kubit, 2008). Entre los resultados logrados, el proyecto ha reducido 2% de emisiones anuales, atribuidas solo a las edificaciones del país.

Este tipo de proyectos, como otros de la Unión Europea (UE) financiados por la entidad “*Intelligent Energy Europe*”, tienen por objetivo, lograr un máximo potencial de ahorro de energía en el sector residencial. Exigen que los gobiernos desempeñen un papel fundamental en el financiamiento de programas de eficiencia energética, que además de beneficiar al usuario y a la vivienda, ayudan a incentivar nuevos empleos y al crecimiento económico.

Como primera línea a seguir, estos países sugieren que para proyectos nuevos se debe comenzar por establecer normas que aseguren eficiencia energética, para no tener que volver a invertir en ellos con mejoramientos en el futuro. También señalan que es necesario instaurar y/o actualizar las normas mínimas y etiquetados estándar para equipos y aparatos utilizados en una vivienda (climatización, cocina, electrodomésticos, iluminación, ventanas, entre otros).

Si bien, la UE ha avanzado en nuevos estándares, metodologías y ayudas financieras para mejorar la eficiencia energética, existen ciertos vacíos en procesos o normativas. Uno de los mayores vacíos encontrados es que los instrumentos de la UE aun no tienen por objetivo el mejoramiento energético de los elementos que componen la envolvente del edificio. Lo que hace descubrir el bajo rendimiento térmico, en comparación con otras tecnologías usadas para proyectos nuevos (Uihlein y Eder, 2009). La disposición de requisitos mínimos de desempeños para los elementos individuales de construcción podría ser una opción, ya que se aplicaría a los elementos que sustituyan los existentes.

En cuanto al financiamiento, es necesario crear programas, estatales o privados, de apoyo para el mejoramiento energético de la vivienda, ya que mejorar aquellos edificios, que a menudo tiene una vida útil de 50 años, es una buena opción a las construcciones nuevas. En Alemania, los programas de financiamiento son gestionados por el *Kreditanstalt für Wiederaufbau* (KfW), un grupo sin fines de lucro de la banca pública. El KfW recauda fondos en el mercado financiero y transfiere este capital, a través de bancos, a los que requieren del préstamo con baja tasa de interés. El monto del préstamo dependerá del nivel de mejoramiento, en términos de eficiencia energética (Uihlein y Eder, 2009). Las medidas estándares incluidas son:

Paulina Wegertseeder: Integración de criterios de desempeños en el mejoramiento energético-ambiental de viviendas existentes.

- Mejorar el valor funcional y las condiciones generales de la vivienda
- Reparar o sustituir los componentes defectuosos de la construcción
- Renovar la tecnología de calefacción evitando el uso de combustibles fósiles y fomentando el uso de medidas pasivas o energías renovables
- Si existen partes en deterioro, mejorarlas en vez de demolerlas

El KfW fomenta la rehabilitación de vivienda, protección del medio ambiente y el clima, la reducción de emisiones de CO₂, entre otros. Entre los años 2005 y 2008, 450.000 viviendas han sido beneficiadas con subvenciones de por KfW (<http://www.kfw-foerderbank.de>, 2010). Una de las mayores contribuciones del programa ha sido la reducción del consumo de energía en casas de bajos ingresos y la difusión de información sobre el ahorro y eficiencia energética.

Alemania, además es miembro de la directiva Europea EPBD (*Energy Performance Building Directive*), cuyo objetivo es garantizar que las normas de construcción enfatizan en reducir el consumo de energía (Uihlein y Eder, 2009), estableciendo como requerimientos:

- Establecer una metodología para calcular la eficiencia energética de un edificio
- Establecer normas mínimas de calidad de energía para edificios nuevos y reformas.
- Desarrollar una certificación para edificios y así hacer visible los niveles de consumo de energía a los propietarios, arrendatarios y/o usuarios;
- Inspeccionar las calderas y sistemas de aire acondicionado.

Este programa es uno de los más estrictos, donde los estándares establecidos para los desempeños aplicados para cada “elemento de mejoramiento” son particularmente altos, y deben ser aplicados si al menos 10% de la superficie es rehabilitada (Huber et al, 2010). En Chile, este porcentaje no está regulado y el único fomento que existe, es el subsidio de reacondicionamiento térmico (Capítulo 2.3).

En países con realidades similares a las de Chile, como Argentina, donde el consumo promedio para calefacción de una vivienda es 150 kWh/m² año (González et al, 2009), no existen financiamientos para mejorar la vivienda energéticamente. En Argentina se accede al gas natural con un costo hasta 25 veces menor en relación a Chile, por lo que el tema de la obtención del recurso no es una situación grave para el país (Mercado et al, 2010). Pero aunque no sufran crisis energéticas, si se ha demostrado que los edificios presentan un déficit en su rendimiento térmico-energético. Además se repite el problema social chileno, donde los usuarios se ven imposibilitados de asumir el costo económico por el consumo energético que supondría mantener la vivienda en confort. Simulaciones de viviendas sociales argentinas,

demuestran que mejoras en la calidad térmica de la envolvente, implicarían hasta 35,6% de ahorro de energía auxiliar para lograr las condiciones de confort dentro de ellas.

A nivel mundial han sido muchos los proyectos de investigación los que han desarrollado directrices para la creación de nuevas normativas que apunten hacia la eficiencia energética y el mejoramiento de confort de viviendas existentes. A modo de resumen se establecen los proyectos más significativos y trascendentales a nivel mundial y nacional en la Tabla 2.5. En ella se destaca que carácter han puesto en sus mejoramientos: prestacional o prescriptivo. La mayoría de estos últimos finalizan en guías de estrategias estándares que pueden ser replicadas en otras viviendas que se deseen mejorar energéticamente. Se observa que el considerar la percepción del usuario en el diagnóstico, o en las propuestas de mejoramiento, no tienen ninguna relación con que las propuestas sean de carácter prescriptivo o prestacional.

Del catastro de distintos programas orientados hacia la eficiencia energética en la vivienda social, se concluye que no todos realizan estrategias de mejoramiento bajo un punto de vista constructivo, sino que existen otras perspectivas. Algunos generan guías de lineamiento en cuanto al proceso de evaluación del proyecto, consejos para hábitos de ocupación, estudios de mercado, esquemas de financiamiento, capacitaciones a profesionales, etc. Por ende, al querer establecer estrategias de mejoramiento de un edificio existente, sobre todo si es vivienda social, se deben estudiar diferentes ámbitos que influyan en la toma de decisiones.



Figura 2.8: Ejemplos de viviendas sometidas a mejoramiento bajo algunos programas mostrados en la Tabla 2.6.

Tabla 2.5 Resumen de Proyectos y Estudios más significativos y trascendentales en viviendas sociales a nivel mundial y nacional. Fuente: Elaboración Propia

Estrategias de mejoramiento	Estudio	Objetivo	País	Percepción de Usuario	Desempeño Estudiado	Métodos de Análisis	Estrategias de mejoramiento prescricional o prescriptiva
EPI-SOHO	Diseñar técnicas de implementación de evaluaciones de rentabilidad. Integrar la eficiencia energética dentro de la gestión social y Diseñar estructuras de colaboración.	Italia Francia Alemania Holanda	2008	No	Eficiencia Energética	Análisis de rendimiento energético. Crean software EPIQR. Datos de rendimiento de energía se obtienen de las evaluaciones en viv. Sociales. Evaluación Costo - efectividad	<u>Prescricional</u> , establece técnica de aplicación genérica de la metodocología.
Sustainable Energy - SEI	Proponer edificios que de forma energéticamente eficiente brinden confort durante todo el año, buenas condiciones ambientales al interior sin el uso significativo de sistemas de calefacción o refrigeración. Minimizar las pérdidas de calor y maximizar las ganancias de calor.	Irlanda	2006-2012	No	Demanda anual de calefacción Permeabilidad al aire de la envolvente Puentes térmicos Emisiones de CO ₂	Procedimiento de evaluación: 1. Demostrar el cumplimiento de determinadas normativas de la construcción. 2. Clasificación del consumo de energía del edificio (<i>Building Energy Rating - BER</i>).	No especifican
Social Housing Action to Reduce Energy Consumption - SHARE	Aumentar la sostenibilidad del uso de la energía Reducir al mínimo las emisiones de carbono. Limitar temperaturas incomfortables Reducir gastos de consumos de combustible.	R. Unido Alemania Suecia Francia Eslovenia Estonia	2006-2009	Si	Temperaturas interiores Emisiones de Carbono Reducción de demanda por calefacción.	Foros con los participantes del programa de cada país.	<u>Prescriptivo</u> , en base a diagnóstico proponen estrategias de mejoramientos para distintas tipologías de viviendas.
Retrofitting of Housing - ROSH	Estimular el mercado para brindar soluciones hacia la eficiencia energética, aumentar los niveles de confort y calidad de vida para los usuarios.	Alemania Austria Bulgaria Irlanda Italia Polonia	2006-2008	No	Eficiencia Energética	Programa integrado que combina la información, formación y comunicación.	<u>Prescricional</u> : directrices relativas a los esquemas de financiamiento.

SAVE Work 4 Homes	Ayudar a los usuarios de viviendas sociales a mejorar su conciencia sobre la energía, alentándoles a controlar el consumo y poniendo a su disposición datos de demanda, consumo y gastos por calefacción.	Alemania Francia Polonia R. Unido	2007-2008	Si	Demanda Energética	Autoevaluación del usuario: encuesta a los usuarios de viviendas sociales en base a temas ambientales y de consumo de energía.	<u>Prescriptivo</u> : generan un manual con buenas prácticas para el usuario
Energy intelligent Education for retrofitting of social houses - EI- Education	Ayudar a municipios, usuarios y empresas constructoras a llevar a cabo una adaptación de energía-inteligente	Austria Holanda Bulgaria	2006	No	Demanda de Energía	Técnicas de aprendizaje mixtas, adaptadas a las diferentes circunstancias del país.	<u>Prescriptivo</u> : guías replicables. Herramientas de enseñanzas incluidas en una plataforma de Internet.
European fuel Poverty and Energy Efficiency - EPEE	Identificar mejores y apropiados mecanismos para cada contexto nacional para enfrentar la escasez de combustible como prioridad dentro de las políticas energéticas. Focus en gente "fuel poverty"	Francia R. Unido España	2006-2009	Si	Precios de la energía Eficiencia energética Aumento de ingresos en el hogar	Realizan talleres para encontrar soluciones de mejoramiento en acuerdo grupal.	No especifican
Training for Renovated Energy Efficient Social housing - TREES	Incorporar el tema de la eficiencia energética en la educación superior para arquitectos y gestores de viviendas sociales.	Francia Alemania Hungria P. Bajos Noruega Suecia	2006-2007	No	Demanda Energética	Talleres para el intercambio de ideas para prepararse a la inserción del material en los cursos.	<u>Prescriptivo</u> : técnicas, herramientas y estudios de caso, desarrollados y revisados por un grupo que incluye a los propios profesores.
Advance Ventilation Approaches for Social Housing - AVASHA	Mejorar la eficiencia energética de la vivienda y la salud del usuario.	Dinamarca Irlanda R. Unido	Vigente	No	Ventilación Infiltraciones	Analizar fugas de aire in situ. Simulaciones para determinar el mejoramiento de los sistemas de ventilación y sellamiento.	No especifican

Sustainable Roof Extension Retrofit for high-rise social housing in Europe - SuRE-FIT	Generar ahorros mediante la combinación de tecnologías de vanguardia con el mejoramiento de la azotea.	Alemania Suecia	2007-2008	No	Demanda Energética Potencial solar	Diagnostico a través de estadísticas pertinentes a la viv. plurifamiliar en Europa, incluyendo un análisis del potencial que tendría generar azoteas energéticamente "conscientes". Se estudian los aspectos legales, financieros e institucionales.	<u>Prescriptivo:</u> estrategias hechas "a la medida" para proyectos de pequeña escala, para promover el proyecto
Energy Strategic Asset Management in Social Housing operators in Europe - ESAM	Desarrollar metodologías y sistemas de información relacionadas con la certificación energética, diagnósticos energéticos y estrategias de mejoramiento energético.	Francia, Austria, Alemania Italia	2006-2008	No	Integración de la energía en la gestión estratégica de empresa	Diagnóstico de viviendas	<u>Prescriptivo:</u> Identifican y clasifican las tipologías de las edificaciones de las viviendas y en base a éstas analizan las estrategias de mejoramiento
Recondicionamiento de Viviendas en Uso (Subsidio) PPPF título II	Reacondicionar aquellas viviendas construidas sin la Reglamentación Térmica vigente.	Chile	2006	No	Valor transmitancia Térmica en muro, piso y techumbre. Porcentaje transparencia y tipo de vidrio	Inspección Descriptiva Verificación cumplimiento artículo 4.1.10 de OGUC. (RT), mediante cálculos de soluciones planteadas	<u>Prescriptivo:</u> replican estrategias utilizadas en otras viviendas.
Proyectos de Mejoramiento Térmico en Vivienda Social Lo Espejo II	Proponer distintas mejoras a la vivienda orientadas a minimizar la demanda de energía para calefacción.	Chile (Santiago)	2008	No	Demanda Energética por Calefacción Sobre calentamiento	Inspección Evaluativa con simulaciones energéticas en TAS. Proponen 3 alternativas de mejoras (materialidad) para el envolvente. Reacondicionan la vivienda con la propuesta con mejor costo-beneficio.	<u>Prescriptivo</u> , ya que no determinan objetivos finales específicos, solo buscan disminuir la demanda. Establece un listado de estrategias como resultado.
Guía Técnica para la Prevención de patologías en Viviendas Sociales	Recomendaciones de diseño constructivo para evitar patologías en viviendas de bajo costo	Chile	2004	Si.	Instalaciones sanitarias Condensación superficial e intersticial	Catastro básico en base a encuestas de no conformidad y guía técnica en base a ilustraciones, tablas y gráficos.	<u>Prescriptivo:</u> presenta guía con soluciones, para nuevas viviendas, que evitan patologías estudiadas

Habitar el Desierto: Transición Energética Y Transformación el Proyecto Habitacional Colectivo en la Ecología del Desierto de Atacama	Estrategias de diseño para el nuevo proyecto habitacional en la ecología del desierto	Chile	2003	Si	Procesos dinámicos de la arquitectura informal Transición energética en la arquitectura informal 3. Uso de energías renovables	Catastro de datos actuales mediante fotografías y croquis Encuesta de confort ambiental y consumo de energía Mediciones parámetros visuales, climáticos y acústico con data loggers, termohigrómetro, luxómetro, anemómetro, sonómetro	<u>Prescriptivo:</u> Estrategias pasivas
Análisis Técnico – Económico en Mejoras Dde Eficiencia Energética Para Viviendas de precio entre 1000-3000 Uf	Incrementar el desempeño térmico de las viviendas estudiadas	Chile (Pto. Moontt)	2009	No	Demandas de calefacción y refrigeración Aislación en la envolvente Consumo agua caliente sanitaria	Simulación con software CCTE de viviendas existentes y 6 alternativas en su envolvente Evaluación económica en la implementación de alternativas Permeabilidad al vapor de agua de algunas muestras en laboratorio (probetas) utilizando NCh 1960	<u>Prescriptivo:</u> entrega estrategias de asilación para envolvente y soluciones tecnológicas para satisfacer el consumo de ACS
Proyectos de Mejoramiento Térmico En 400 Viviendas Social es	Diseñar un prototipo de vivienda social mejorada térmicamente	Chile (Chuchiñi)	2009	No	Confort Térmico y Diseño arquitectónico	Asistencia técnica a través de simulaciones energéticas	<u>Prescriptivo:</u> entregan mejoramiento para la tipología estudiada
Comportamiento Térmico-Energético de una Vivienda Social de la Ciudad De Mendoza	Conocer el comportamiento térmico energético de a vivienda social en Mendoza para así proponer estrategias de bajo costo que solucionen los problemas observados.	Argentina	2010	Si	Calidad térmica de la envolvente Consumo energético Ventilación Temperatura interior	Mediciones in-situ en condiciones de uso real en invierno y verano. Simulación de viviendas reales y con mejoras en el programa SIMEDIF. Sondeo cualitativo de sensaciones térmicas	<u>Prescriptivo:</u> Elabora estrategias que soluciones en el problema de la vivienda estudiada mediante las simulaciones. Además debían ser mejoras que implicaran el menor costo posible.
Guía de Rehabilitación Energética de Edificios de Vivienda	Entregar estrategias de rehabilitación energética para las viviendas existentes	España (Madrid)	2008	No	Comportamiento térmico de la envolvente. Implementación de energías renovables. Iluminación artificial	Catastro de viviendas existentes. Para una muestra representativa. 14 medidas de rehabilitación energética mediante simulaciones	<u>Prescriptivo:</u> En base a una lista de estrategias establecen ventajas y metodos para aplicarlas.

Se seleccionaron ejemplos que pudieran referenciar avances metodológicos, soluciones estrategias de planificación, de gestión económica y gubernamental. Es por este motivo que la mayoría de ellos han sido desarrollado en Europa, donde el tiempo que se ha invertido en mejoramiento energético y/o ambiental de viviendas ha sido mayor, considerando nuevas investigaciones en pro de la rehabilitación con eficiencia energética.

2.2.3 Demolición versus mejoramiento

La mayoría de las reformas implican un mayor nivel de riesgo e incertidumbre, y una coordinación más compleja que en la construcción de un edificio nuevo. Para facilitar el proceso, la información debe ser transparente entre propietarios y el encargado de refaccionar, para poder satisfacer en buena medida al usuario con el resultado (Yi- Kai, 2009).

Existen distintos beneficios al mejorar el estado actual de una vivienda existente, en vez de ejecutar la demolición de ésta, por ejemplo: reducción de costos de transporte, disminución de desechos en vertederos, reciclaje de materiales, reutilización de zonas de relleno y de infraestructura existente, aumento del desarrollo de la economía y del empleo local; y la posible renovación de barrios. En cambio los resultados de una demolición son más negativos, ya que existe mayor desperdicio de material, aumento de aportes de carbono incorporado en materiales, contaminación al ambiente, ruido e interrupciones.



Figura 2.9: Casas en Roosendaal. Antes (izquierda) y después (derecha) del mejoramiento. Demanda energética para calefacción antes del mejoramiento: 150 kWh/m² año, y después de él: 25 kWh/m² año. (<http://www.e2rebuild.eu>, 2012).

Otros beneficios que se obtienen al mejorar una construcción, conjuntamente a los ya mencionados, son (d'Ambrosio, Palella y Riccio. 2011):

- se puede conservar la estructura básica de la propiedad, manteniendo la infraestructura existente en un entorno ya construido.

- efecto beneficioso en las propiedades vecinas, ya que dará señal de que el barrio está mejorando y vale la pena invertir en él.
- la renovación es mucho más rápida que la demolición. En la mayoría de los casos se trata de adaptar la estructura existente a nuevas estrategias.
- es menos molesto para los residentes, ya que por lo general pueden quedarse dentro de la vivienda y los servicios siguen funcionando. A diferencia de una demolición, donde los usuarios deben buscar otro lugar para vivir, gastando más dinero, sufriendo molestias de traslados y desarraigos asociados a una pérdida de identidad.
- es un proceso de construcción más corto y continuo, donde la mayoría de los trabajos se pueden hacer bajo techo y en condiciones de mal tiempo. En cambio una construcción nueva requiere de meses de exposición a situaciones climáticas.

En el ámbito económico, el mejoramiento de viviendas existentes permite acrecentar las oportunidades de costo-beneficio y no así al demoler la construcción, donde los gastos monetarios son altos (Kohler, 1999). Considerar incentivos financieros para el mejoramiento y reparación de una vivienda es una gran contribución en temas de eficiencia energética y protección del medio ambiente para el futuro (Power, 2008). En cambio, la demolición y el construir algo nuevo en el mismo lugar, tiene tanta energía incorporada que como solución estratégica para la eficiencia energética no sirve.

Para el sistema económico actual, los cambios solo valen la pena cuando muestran un retorno económico. Esto puede ser un problema al tratarse del mejoramiento energético en viviendas existentes, ya que las personas tienden a desconfiar y creer que no habrá beneficios a corto plazo, o que más bien la inversión puede significar pérdidas (Vale y Vale, 2012). Para mitigar este temor, se espera mostrar al usuario cuales son los beneficios en concreto que obtendrá con el mejoramiento, beneficios tangibles como ahorro en combustible, e intangibles como el aumento de la temperatura al interior de la vivienda, acompañado de beneficios en su salud.

Existe una solución de carácter híbrido para esta pugna entre mejoramiento y demolición, que consta en considerar programas flexibles, es decir que alternen en un mismo barrio tipologías de viviendas nuevas y usadas, con materiales y tecnologías tradicionales e innovadores. Esta solución sería óptima para aquellos barrios donde existan varias tipologías, de las cuales algunas pudiesen tener posibilidades de ser mejoradas energético-ambientalmente, y otras viviendas a las cuales les sería más beneficios una demolición, debido a que se acercan a la extinción de su vida útil.

2.2.4 Barreras hacia el mejoramiento energético ambiental

En general, el desarrollo de tecnologías respetuosas con el medio ambiente para el sector de la construcción se ven obstaculizadas por diversas barreras, tales como: el precio de la energía, la falta de incentivos financieros y la falta de políticas gubernamentales que guíen hacia la eficiencia energética y la disminución de la contaminación intradomiciliaria y ambiental.

Para Chmutina y Goodier (2011), una de las principales barreras para mejorar las viviendas construidas sin criterios energético-ambientales, son de tipo social y educativa, las cuales encierran falta de comprensión de la importancia de las medidas de ahorro energético por parte de los propietarios y la falta de voluntad para mejorar los edificios. El factor socio-demográfico es considerado también como una barrera en el mejoramiento energético-térmico de las viviendas. En la mayoría de los países, como en Chile, existe una amplia y diversa variedad del parque de viviendas construido, por lo que el subsidio entregado para algunos significa un tipo de mejoramiento que alcanza ciertos estándares, mientras que para otros no da a abasto para solucionar todas las deficiencias, provocando diferencias en los resultados e incrementando la segmentación de la población.

El mejoramiento energético-ambiental de viviendas existentes, presenta otras barreras más, las cuales pueden agruparse en las siguientes categorías (Uihlein y Eder, 2009):

(a) Incertidumbres con respecto al costo-beneficio de la implementación de eficiencia energética

Es acerca de lo que significa realmente costo-beneficio para el usuario, quien comienza a tener indecisiones a partir de distintos factores, como:

- Los resultados de los análisis de costo-beneficio dependerán de los supuestos sobre la tasa de interés, la vida útil de los equipos de eficiencia energética y los futuros precios de la energía. El hecho de utilizar supuestos genera desconfianza en el usuario.
- A menudo se ocultan los costos de transacción que no se consideran en los estudios generales, y que aumentan el valor considerado como inversión inicial.

En el caso de las viviendas sociales, esta barrera no atiende en gran medida al usuario, sino que al gobierno que brinda el subsidio. El usuario de una vivienda social, sólo aporta una parte del gasto inicial, y serán ellos los que vean el beneficio en su vivienda y calidad de vida.

Huber (2011) afirma que el financiamiento es un asunto importante de considerar si se quiere promover el mejoramiento energético en viviendas de forma masiva. El ahorro económico y

de energía pueden notarse aún más cuando las rehabilitaciones son masivas y llegan a niveles óptimos de eficiencia energética (Uihlein y Eder, 2010), entregando un beneficio a nivel país.

(b) Problemas de financiamiento

La OECD/IEA (2008) señala que el alto costo inicial que tienen las medidas de eficiencia energética, representan una barrera infranqueable para los clientes. A menudo, los consumidores prefieren la solución menos eficiente debido a su bajo costo inicial. A medida que se investiga más sobre eficiencia energética, y se implementan nuevas medidas, la ayuda financiera se puede ver incrementada y los precios de las estrategias disminuidos. Es importante recalcarle al usuario que este tipo de mejoramientos representa una excelente oportunidad para incrementar la eficiencia energética, reducir los costos de mantención y alcanzar un mejor confort térmico al interior, además de mejorar la seguridad energética nacional y cooperar con la responsabilidad social (Ma et al, 2012).

La rentabilidad de la inversión manifestada para mejorar la vivienda, sobre todo en calefacción, dependerá de los valores que alcance la energía requerida. Normalmente los estudios realizados sobre la rentabilidad que tiene una inversión de este tipo, ocupan valores de instalación actuales, sin considerar que en un año más puede variar. Chile, al ser un país dependiente energéticamente, ha sufrido un alza constante en los costos de la energía, lo cual conlleva una disminución de los periodos de amortización de la inversión (Trebilcock, 2011).

Otro problema que deriva del financiamiento, es que los inversionistas tienden a preferir aquellos proyectos donde puedan repetir estrategias de experiencias pasadas, fomentando el uso de estrategias prescriptivas, que la mayoría de las veces suelen no ser las mejores soluciones para el caso en cuestión.

(c) Estándares poco claros para la aplicación de tecnologías eficientes

Si se compara con otras opciones de inversión en mejoramiento de la vivienda, las medidas de eficiencia energética son afectadas por incertidumbres relativas a las mediciones y verificaciones de ahorro, ya que normalmente requieren de mucho tiempo para su evaluación. Para evitar esto, es necesario establecer estándares, sus indicadores y métodos de verificación.

(d) Falta de información entre todos los actores de un mejoramiento

La información y educación de construcción podrían ser una opción rentable para mitigar esta barrera. Pueden existir medidas relacionadas con políticas habitacionales, que proporcionen

información adicional sobre la eficiencia energética a las empresas y hogares privados.

Comúnmente, la información brindada a los usuarios, se acerca al buen uso de los electrodomésticos de una vivienda, pero en complemento se debe brindar información acerca de hábitos de uso de la vivienda. En viviendas de baja superficie y alta cantidad de moradores, como la vivienda social, influyen altamente los hábitos del usuario, que se verán reflejados en demandas energéticas, confort térmico y durabilidad de la vivienda, entre otros desempeños.

(e) *Incentivos divididos*

Éstos aparecen cuando existen dos partes involucradas en una inversión, pero ambas persiguen objetivos distintos (OECD/IEA, 2007). Por ejemplo, el encargado de establecer la propuesta de mejoramiento elige un tipo de estrategia, pero el usuario prefiere sacrificar la eficiencia energética que brinda aquella estrategia, con tal de reducir los costos iniciales.

(f) *Falta de conocimientos técnicos y capital humano capacitado para la construcción*

El sector de la construcción en países en vías de desarrollo, no está consciente de los potenciales de ahorro de energía ni de los impactos ambientales. Son muchas las empresas de construcción que no tienen ningún conocimiento acerca de tecnologías de eficiencia energética y sus beneficios, por lo que no ofrecen la aplicación de estas medidas a sus clientes (Bodach y Hamhaber, 2010).

La barrera a considerar es la falta de habilidad técnica, refiriéndose principalmente a una planificación incorrecta, a una instalación defectuosa o inadecuada y/o a la mantención de las mejoras realizadas. Algunas de las reformas hechas pueden requerir conocimientos técnicos diferentes a las convencionales, por lo que puede suceder que el resultado no sea el óptimo.

Apuntando a la etapa de diseño de estrategias, y en relación a la influencia del Estado en temas habitacionales, se concluye que éste ha sido influenciado por las industrias del sector de la construcción y no ha tenido la capacidad política de exigir lo que científicamente parece adecuado. Se propone que el gobierno impulse incentivos tributarios a la eficiencia energética, como, reducir los permisos de edificación a aquellos edificios que no demuestren un alto estándar de eficiencia (Trebilcock, 2011). Entre las posibles opciones en las que la política puede interferir, se incluye la financiación para la investigación y el desarrollo, la asociación público-privada de la investigación, mayor educación sobre eficiencia energética y programas de información (Ford et al, 2007).

Para Lowe y Oreszczyn (2008), es fundamental contar con incentivos desde el ámbito político gubernamental para establecer correctos mejoramientos de edificaciones existentes. Esto ocurre en el caso de viviendas sociales chilenas, donde si no fuese por el aporte estatal, estas edificaciones no podrían ser mejoradas energéticamente.

Generalmente en Chile, la arquitectura y construcción bioclimática junto con las estrategias de eficiencia energética en la formación profesional, son opcionales y más bien ramos teóricos dentro de la enseñanza. Esto es un problema, si se piensa que los profesionales relacionados con la construcción no están capacitados para enfrentar desafíos relacionados a estos temas.

(g) Incrementar el nivel de la construcción

El mejoramiento del nivel de la construcción debe llevar implícito el mejorar los estándares existentes, ya que es por la baja exigencia de algunos, es que las construcciones necesitan ser mejoradas. Para lograr este cambio, es necesario llevar a cabo un caso de estudio que sirva para ejemplificar los beneficios que se pueden alcanzar (uno de los objetivos que presenta esta tesis).

Además del Estado, otras entidades privadas pueden ayudar a superar las barreras existentes, estableciendo motivaciones dirigidas hacia la eficiencia energética (Huber, 2011):

- **Motivaciones Intangibles:** como elevar la temperatura ambiente al interior del hogar y la protección del medio ambiente, el cual puede jugar un rol importante.
- **Motivaciones económicas:** dar a conocer cuánto aumentará el valor de la propiedad, o el ahorro monetario por consumo de energía, durante la vida útil de la vivienda.
- **Sistemas de incentivo y regulación:** la perspectiva de considerar estándares más estrictos juega un papel importante al establecer estrategias de mejoramiento energético-ambiental, ya que se indican mínimos obligatorios y para alcanzarlos, entregar subsidios.
- **Liderazgo claro y una adecuada dotación de recursos para el mejoramiento:** aprender de aquellos estándares que dan buenos resultados, como por ejemplo *Passivhaus* de Alemania.

2.2.4.1 Barreras y oportunidades en la incorporación del estándar *Passivhaus* en la vivienda social en Chile

Dentro del marco del proyecto FONDEF D09I1081 “Desarrollo e introducción del sistema de edificación Pasiva en Chile”, junto con el trabajo de profesionales de la fundación TECHO, se desarrolla un estudio propositivo en base a un caso de vivienda social sin construir, sobre el

cual se generan mejoras en su construcción y diseño, con el fin de alcanzar un estándar altamente eficiente, permitiendo ahorrar hasta un 80% de energía. El caso de estudio es una vivienda social propuesta por Techo (Figura 2.10), al cual se incorporan estrategias de mejoramiento. La evaluación de la eficacia de estas estrategias, se determinó mediante múltiples simulaciones energéticas con Design Builder y, de forma paralela, se definieron y analizaron durante las reuniones de trabajo, distintos factores y condicionantes relacionadas con la edificación, las que fueron determinantes e influyentes en el mejoramiento energético de la vivienda.



Figura 2.10: Imagen 3D de la vivienda estudiada.

Los resultados obtenidos se comparan para poder tener un registro valorado de las mejoras propuestas (Tabla 2.6).

Tabla 2.6: Comparación de resultados entre la vivienda original y la mejorada en relación a lo exigido por el estándar Passivhaus.

	Vivienda Original	Vivienda Mejorada
Calefacción y Refrigeración <math>< 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})</math>	114 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)
Estanqueidad ($\leq 0,6 \text{ ac/h n50}$)	1 ac/h	0,5 ac/h
Temperatura superficial interior ($> 17^\circ\text{C}$)	5,8°C	11,2°C

Como conclusiones de este ejercicio se obtiene que una de las problemáticas transversales es la barrera de costos y recursos disponibles, constituyendo el mayor obstáculo para la implementación del estándar Passivhaus en la vivienda social nueva. Para mitigar esta barrera se plantean oportunidades que nacen a partir de los mismos obstáculos. Si bien es cierto que las cifras resultan desalentadoras en la posibilidad de concretar proyectos de esta índole, considerando el incremento del 28% en su valor inicial, existen una serie de oportunidades que pueden contrastarla.

En costo de una vivienda social es financiado en un 93% por el Estado, en ese escenario, las oportunidades deben reflejarse en términos de recuperación y afección directa hacia él.

La vivienda social Passivhaus formula una oportunidad de asegurar un confort habitacional a través de la mantención de la temperatura interior en 20°C, suficiente aire fresco para asegurar

condiciones higiénicas (30 m³/h pp) y reducir al mínimo el uso final de energía para calefaccionar y la energía primaria destinada al funcionamiento general del edificio (Dodoo et al, 2010). Esto beneficia a los usuarios de las viviendas y en términos globales afecta directamente a la economía del estado y con esto a la recuperación de las inversiones a través de efectos relacionados (Passivhausinstitut, 2012).

Disminuir el consumo energético de una vivienda en 85%, genera oportunidades de repercusión en el gasto estatal como son las siguientes:

- Disminución de problemas de salud: producto del mejoramiento de las condiciones higiénicas en la vivienda.
- Disminución del ausentismo laboral: producto de la disminución de problemas de salud.
- Disminución de la concentración de gases y contaminación con material particulado emitido de la combustión de combustibles sólidos.
- Reducción de la energía residencial consumida a nivel país y de la pobreza energética.

En términos particulares, la investigación y materialización de una vivienda social energéticamente eficiente fomentaría la disminución de los costos en la inversión inicial, ya que incitaría al mercado a presentar ofertas de materiales e innovaciones en las soluciones.

Por otra parte, distintos estudios han demostrado que los problemas que se presentan en los edificios en uso provienen en gran medida de decisiones erróneas tomadas durante el proceso de diseño, lo que repercute en exagerados costos en mantención y operación de los edificios. La metodología de diseño integrado utilizada en este estudio permite reducir los errores de diseño y con esto reducir los costos de mantención.

Un importante beneficio a nivel de usuario es la oportunidad de alcanzar confort térmico sin la necesidad de ocupar un sistema de calefacción, además la satisfacción y percepción de su vivienda será incrementada, teniendo repercusiones sociales.

Es preciso que el Estado genere políticas habitacionales que incrementen los recursos económicos destinados a la creación de viviendas sociales, para brindar una mejor calidad de vida. Esta misma barrera incita a modificar normativas de la edificación habitacional, con nuevos estándares que apunten hacia la eficiencia energética. Cabe recalcar que este ejercicio se realizó para la incorporación del estándar alemán en viviendas nuevas, por lo que las diferencias económicas no serían las mismas si se aplicase el estándar en viviendas existentes.

2.3 Estándares y normativas energéticas

Debido a la crisis del petróleo durante la década del 70, nacen las primeras normas referentes a la eficiencia energética para edificaciones nuevas (Fissore y Colonelli, 2009). A raíz de esta crisis, diversos países lanzaron programas de incentivos para la reducción del consumo de energía, creando distintas normas de eficiencia energética y siendo las más destacadas: el Estándar 90 Conservación de Energía en Diseño de Nuevos Edificios (ASHRAE 90.1), la Norma de California Título 24 de 1978 y la reglamentación alemana, entre otras.

Las entidades que generan estándares y reglamentaciones en temas energético-ambientales más conocidos son: ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), CTE (Código Técnico de la Edificación), CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) y DIN (Deutsches Institut für Normung).

ASHRAE es una organización internacional, cuyo objetivo es buscar eficiencia energética, confort térmico y disminuir enfermedades en el usuario en distintos tipos de edificaciones. Para esto elabora estándares que tratan temas de enfriamiento, calefacción y mantención de confort interior, haciendo énfasis en la conformidad del usuario. Son precisos en establecer exigencias para desempeños como ventilación, condensación, infiltración, calidad del aire interior, energía solar y en equipamientos de climatización. ASHRAE ha sido capaz de desarrollar estándares de consenso (Sherman, 2004), siendo uno de los más consultados para diagnóstico y diseño de viviendas, y como referencia para la realización de reglamentaciones.

Los estándares exigidos por la ASHRAE tienen un carácter optativo, y al igual que otros, como ANSI (American National Standards Institute) y ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials), son exigidos al momento de certificar un edificio como LEED (Leadership in Energy & Environmental Design). El cual tampoco es obligatorio, pero si asegura que un edificio incorpora aspectos de eficiencia energética, uso de energías alternativas, calidad del aire interior y correcta selección de materiales.

CIBSE es una asociación profesional de ingeniería internacional con sede en Londres. Los estándares que proponen son consultados por el gobierno para establecer reglamentaciones en asuntos a aspectos regulados para: eficiencia energética en calefacción, refrigeración e iluminación, ventilación, calidad del aire interior, eficiencia de equipamientos de climatización, seguridad frente al fuego y asegurar salud en el usuario (CIBSE, 2012).

Existen dos tipos de estándares: obligatorios y optativos. De los primeros nacen las reglamentaciones que cada país establece para la edificación y sus requerimientos de confort y

eficiencia energética. En España, el CTE es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación a requisitos básicos de seguridad y habitabilidad de manera obligatoria (CTE, 2012). En relación a los desempeños estudiados en la presente investigación, dentro de las distintas exigencias que el CTE establece, hay dos temas pertinentes: (1) Salubridad, cuyo objetivo es reducir enfermedades de los usuarios, disminuir el deterioro de edificios y medio ambiente inmediato, estableciendo exigencias frente a la humedad, calidad del aire interior y caudal de ventilación mínima; (2) Ahorro de Energía: limitación de demanda energética y rendimiento de las instalaciones térmicas.

En Alemania, el DIN establece normas para la racionalización y aseguramiento de calidad, métodos de cálculo para demanda de energía por distintos términos (calefacción, enfriamiento, iluminación, etc.), exigencias para el confort, como temperaturas máximas y mínimas, niveles de concentración de CO₂, caudales de ventilación, entre otras.

En general cada país establece sus propias normativas, basadas en distintas exigencias propias al clima del lugar donde se emplazará la edificación. Pero como se mencionó, existen países que han estado ya durante 40 años desarrollando estándares, los cuales han aumentado su exigencia durante los años. En Alemania, la primera reglamentación con consideración de eficiencia energética en 1977 (1 WSchVO), arrojaba valores de consumo energético de 190 kWh/m² año. Evolucionan hasta llegar a la normativa vigente EnEV, mediante la cual las edificaciones demandan no más de 50 kWh/m² año. Además, han avanzado hacia estándares más exigentes pero no obligatorios, como Passivhaus, cuya demanda de energía de máximo 15 kWh/m² año; y actualmente otro más extremo aún: Cero Energía (Hatt, 2013).

En la gran mayoría de los países desarrollados, la urgencia por disminuir el consumo energético ha sido primordial desde hace décadas, donde se han aplicado medidas que tienden a mejorar la eficiencia energética de las viviendas a través de combinaciones de incentivos y regulaciones. Chile, a pesar de ser pionero en el tema a nivel sudamericano por la O.G.U.C. Título 4.1.10, no ha alcanzado a cubrir otros desempeños que influyen en la eficiencia energética de la vivienda, ni en su confort térmico, tales como: infiltraciones, caudales de ventilación, demandas energéticas, entre otros.

2.3.1 Política Habitacional Chilena

Ya son varias décadas en las que Chile ha hecho un importante esfuerzo por mejorar las condiciones habitacionales de la población y superar el déficit cuantitativo de viviendas, sobre

todo en aquellos sectores más vulnerables, al punto que hoy dos de cada tres viviendas que se construyen, son levantadas con ayuda del Estado a través de distintos programas de subsidio habitacional (Simian, 2010). Pero a pesar de este esfuerzo, la política habitacional chilena ha arrojado otra serie de problemas. A nivel urbano, se ha provocado una segregación de hogares, especialmente viviendas sociales, hacia los extremos de los centros urbanos, lo que conlleva altos costos y largos tiempos en transporte desde “la casa al trabajo”, disminución de recreación y posibilidades de educación (Peterman, 2006; Hidalgo, 2007 y Tokman, 2006). Otro problema es la falta de calidad en las viviendas sociales (MINVU, 2004; Rodríguez y Sugranyes, 2004 y 2005).

El Estado ha asumido la producción masiva de viviendas nuevas, en función de superar el déficit cuantitativo, ajustando la vivienda social a condicionantes económicas que establecen límites de calidad de la construcción, haciendo suponer que las condiciones a que son expuestos los habitantes se alejan de los estándares de confort interior esperados. El stock habitacional creció entre 1952 y 2002 a una tasa promedio anual de 2,6%. En esos años la cantidad total de viviendas se multiplicó por un factor de 4,1, mientras que la población lo ha hecho por un factor de tan sólo 2,9 (INE, 2003). Debido a esto hubo una reducción en el tamaño de las viviendas, que se refleja en la cantidad de habitantes por vivienda, siendo sobre 5 personas en 1952 y, bordeando hoy los 3,8. No obstante, el problema de hacinamiento también ha sido un problema a resolver, reduciéndolo casi a la mitad para el año 2006.

En la Figura 2.11 se observa la evolución de la entrega de los permisos de edificación en Chile, mostrando la importancia que tiene la política habitacional en el aumento de ellos. Entre 1976 y 2007 las viviendas subsidiadas, fueron en promedio 67% de los permisos de edificación, es decir al menos dos de cada tres viviendas se construyen con ayuda del estado.

El déficit habitacional, del año 2009, se estimaba en 805.796 viviendas, de las cuales 43,9% corresponden a nuevas viviendas requeridas y el resto a viviendas que necesitan reparaciones o mejoras (Figura 2.12) (MINVU, 2010). El terremoto del 27 de febrero del 2010 cambió el escenario radicalmente, aumentando el déficit habitacional en un 45,9% respecto al 2009, implicando un retroceso de más de cinco años.

La política habitacional chilena ha basado su desarrollo en tres ejes fundamentales: aumentar la cantidad de soluciones habitacionales; garantizar la calidad de las viviendas, mejorando su estándar, los procesos de diseño y construcción; y promover la integración social, (Bustamante et al, 2009). Actualmente, la vivienda social en Chile se aleja del segundo eje, siendo descrita como deficiente y como una edificación que constantemente requiere mejoras.

Paulina Wegertseder: Integración de criterios de desempeños en el mejoramiento energético-ambiental de viviendas existentes.

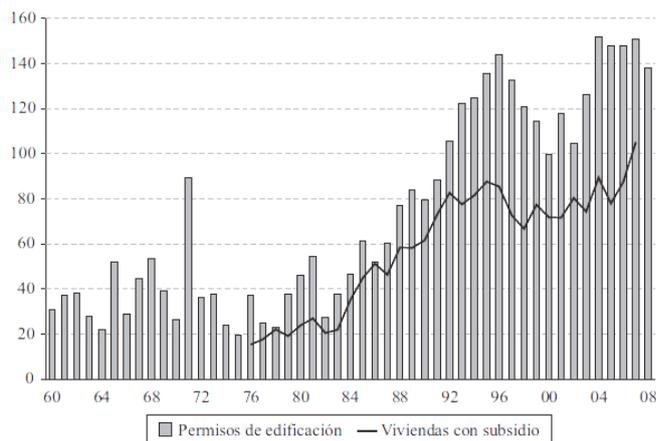


Figura 2.11: Permisos de Edificación (Miles). Fuente: Observatorio Habitacional, 2012.

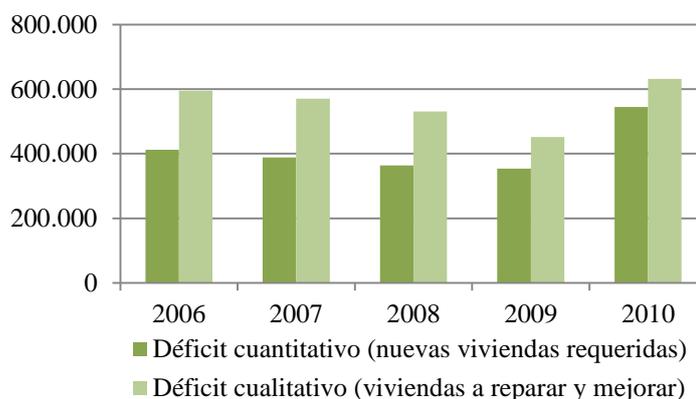


Figura 2.12: Permisos de Edificación (Miles). Fuente: Observatorio Habitacional, 2012.

La falta de calidad se adjudica a fallas constructivas, poca durabilidad, ahorro en soluciones técnicas, baja calidad de materiales y falta de mano de obra calificada. El problema habitacional se ha enfocado en trasladar a aquellos sin techo a viviendas nuevas, dando por supuesto que ésta es solución al problema, pero olvidan que el objetivo final es contribuir a la superación de la pobreza, y brindando solo un techo a los que no lo tienen, solucionan sólo parte del problema.

Los efectos de la política habitacional han transformado el objetivo: antes había que producir grandes cantidades de viviendas, ahora hay que resolver múltiples problemas de los que ya la tienen (Castillo et al, 2008). Son los mismos usuarios de las viviendas sociales, los que por lo general deben invertir en el mantenimiento de sus casas. Por ende, una política habitacional sensata reconocería haber dado el primer paso, el de la cantidad, y se propondría el segundo, el de la calidad: recuperar y mejorar el stock existente (Rodríguez et al, 2004).

En las Figuras 2.13 y 2.14 se puede observar el aumento que ha sufrido la entrega y montos de subsidios para mejorar y reparar viviendas existentes desde el año 2007. Dicho incremento hace notar que las viviendas sociales existentes necesitan mantención, o mejoramiento, que les permita alcanzar un mejor estándar.

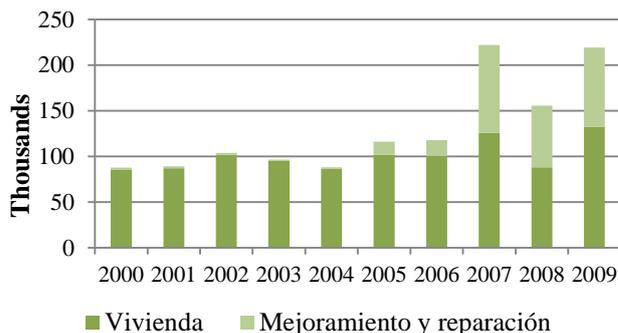


Figura 2.13: Total País: número de subsidios otorgados período 2000-2009 (MINVU, 2010)

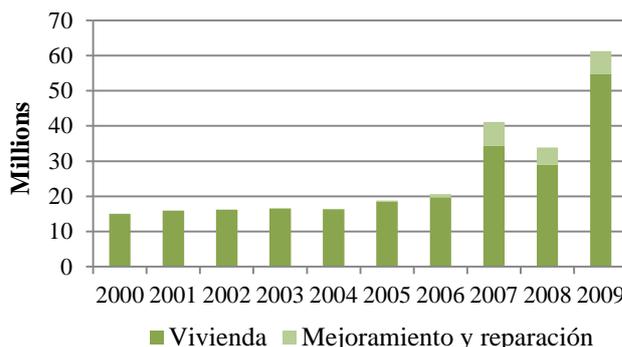


Figura 2.14: Total País: montos otorgados en subsidios según año en UF. Período 2000-2009 (MINVU, 2010)

Simian (2010) concluye que en Chile ya no se necesitan instrumentos de política habitacional, como los que hemos usado hasta ahora, para seguir expandiendo el stock de viviendas, sino que instrumentos que permitan mejorar lo existente y que el mercado habitacional para viviendas de bajo costo funcione mejor.

Desde el año 2000 el MINVU pretende “mejorar la calidad constructiva de las viviendas a través de la aplicación de 36 estándares de calidad”, que apuntan a mejorar las exigencias en la calidad de los materiales de construcción (Jirón et al, 2004), en términos de superficies habitables, calidad y estándares para cubierta, estructura y terminaciones. Estas nuevas exigencias responden a un carácter prescriptivo, estableciendo procedimientos ya aceptados, lo cual coarta la innovación en las soluciones constructivas habitacionales, ya que las soluciones de materiales son propuestas por las empresas. Contrario a esto, sería óptimo poder incrementar las exigencias, sin estrategias definidas, pensando siempre en el objetivo final.

Actualmente, Chile se encuentra en una situación privilegiada en el contexto latinoamericano. Como país se ha avanzado considerablemente en la cantidad de viviendas construidas para el segmento más vulnerable, permitiendo incorporar modificaciones e innovaciones a la política habitacional existente, y de esta forma lograr mejorar en términos cualitativos las debilidades manifestadas en las viviendas construidas.

2.3.1.1 Reglamentación Térmica: Artículo 4.1.10 O.G.U.C

Desde el 90, Chile enfrenta problemas en el sector energético, sufre de dependencia de combustibles fósiles importados, de inseguridad y vulnerabilidad en el suministro, impactos sociales y ambientales con los proyectos energéticos y encarecimiento de los servicios.

Un primer enfoque dado por el Gobierno Chileno para aminorar los problemas causados por la energía, fue incrementar el abastecimiento, instalando grandes equipos de generación o transformación de las fuentes primarias. Finalmente se concluyó que esta tendencia era inviable para el país, desde el punto de vista ambiental, técnico, económico y político (Castillo y Maldonado, 2004).

Ya en los últimos años, para poder enfrentar el crecimiento sostenido de la demanda energética en Chile, el Gobierno ha propuesto disminuir estas alzas considerando distintas medidas que se asocian a una reducción de la demanda de energía, así como la eficiencia energética. Se logra advertir que provocando cambios en el consumo energético del sector residencial, se podría beneficiar al país, para lo cual se han tomado una serie de acciones que fomentan el buen uso de la energía, tales como:

- *Recambio de ampollitas:* contempla el recambio de ampollitas incandescentes por ampollitas eficientes, que con un consumo energético menor producen el mismo confort en iluminación que una normal.
- *Recambio de calefactores a gas en Región de Magallanes:* esta región presenta el consumo más alto de energía residencial demandada. Este programa busca el recambio de los actuales calefactores por equipos a gas más eficientes en viviendas vulnerables.
- *Colectores solares para la vivienda social:* el proyecto busca disminuir el consumo energético para agua caliente sanitaria mediante el uso de energía solar.
- *Mejoramiento de la eficiencia energética de viviendas sociales existentes:* busca rebajar gastos generales, costos de mantención y cobros por servicios básicos.

En Chile existen dos tipos de reglamentaciones relacionadas a la eficiencia energética en la construcción (Fissore y Colonelli, 2009), una es la Normativa Chilena y la otra corresponde a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C). Esta última es la única que debe cumplirse obligatoriamente, y corresponde al Artículo 4.1.10 (Reglamentación Térmica).

Durante el año 1970, agencias estatales evaluaban el estado de las viviendas sociales, para poder establecer el comportamiento físico ambiental integral de las viviendas producidas por

el Estado (Jirón et al, 2004). Dichos estudios fueron abandonados por problemas políticos de la época, pero fueron retomados en la década del 90, donde se toman una de las medidas más importantes aplicadas a la política habitacional. En 1994, el MINVU incluyó la Reglamentación Térmica en su programa de gobierno. Siendo casi una década más tarde implementada como el artículo 4.1.10 de la O.G.U.C. Esta medida busca mejorar el confort habitacional de la población, reduciendo y optimizando el consumo de energía por conceptos de calefacción y disminuyendo la contaminación intradomiciliaria en la vivienda nueva.

Esta Reglamentación Térmica plantea tres objetivos claros:

- Mejorar la calidad de vida de la población mediante un mayor confort térmico y los beneficios que ello reporta: mayor habitabilidad, mejor salud, menor contaminación y aumento de la durabilidad de la vivienda.
- Optimizar y/o reducir el consumo de combustibles destinados a calefaccionar y refrigerar las viviendas.
- Promover y estimular la actividad productiva, industrial, académica, gremial y de investigación aplicada.

Para esto, se define una estrategia de reglamentación sobre tres acciones secuenciales:

- Disminuir al máximo las demandas de energía.
- Utilizar y optimizar las ganancias internas y externas.
- En el caso de requerir climatizar, utilizar sistemas no contaminantes, eficientes y de bajo costo.

La Reglamentación Térmica (RT) consta de tres etapas. La primera, comenzó a exigirse en el año 2000, determinando requerimientos mínimos de transmitancia y resistencia térmica para el complejo de techumbre, donde por lo general las pérdidas de calor constituyen un alto porcentaje con respecto al total de las pérdidas en viviendas, especialmente en aquellas unifamiliares. Esto se ve incrementado si la aislación térmica es nula o de bajo espesor, resultando ser la primera etapa de la RT altamente pertinente (Bustamante et al., 2009). La segunda etapa, comienza el 4 de enero del año 2007, donde a las exigencias planteadas se sumaron los muros perimetrales, pisos ventilados y superficie máxima de ventanas. La tercera etapa ya comienza a regir con carácter optativo en el año 2013 y consiste en la calificación energética de la vivienda. Se diseñó pensando en que en lugar de exigir el cumplimiento de cada una de las medidas de acondicionamiento térmico de cada elemento constructivo

indicado en las etapas anteriores, sólo se exigiría que el edificio tuviera una demanda energética inferior a un edificio de referencia de similares características, pero que cumpliera con los valores exigidos de acondicionamiento térmico (Fissore y Colonelli, 2009).

En Latinoamérica, Chile es el primer país, que ha incorporado en su reglamento, exigencias de acondicionamiento térmico. En Brasil, se han implementado estándares voluntarios en cuanto a desempeños energéticos, que han sido publicados en la norma técnica ABNT NBR 15,220 del año 2005 (Bodach y Hamhaber, 2010). En ella se establecieron zonas bioclimáticas, donde cada una de ellas tenía distintas exigencias térmicas para viviendas sociales unifamiliares. En 2008, incluyeron departamentos y comenzaron con clasificación de viviendas en base a rangos, dependiendo de su consumo energético. Esta clasificación incluye criterios e indicadores de eficiencia en el uso del agua e impacto ambiental de la obra.

En Chile, para abordar la diferencia de lugar geográfico a lo largo del país, se han dispuesto 7 zonas térmicas, por lo que una casa que se construya en la zona 2 no tiene las mismas exigencias que tiene una vivienda situada en la zona 7 por ejemplo, aunque ambas tengan el mismo diseño. Con respecto a esta diferenciación geográfica, los hogares chilenos enfrentan no sólo discrepancias en sus requisitos constructivos, sino que diferentes precios por la energía consumida (Acuña, 2009). Esta desigualdad es asumida por el usuario, ya que el gobierno solo bonifica, en términos energéticos, a aquellas familias vulnerables del extremo sur del país, donde los valores por energía superan al resto de Chile.

Un sistema de difusión usado para la RT, es el Manual de Aplicación Reglamentación Térmica (MINVU, 2006), creado por el Instituto de la Construcción, en colaboración con el MINVU, por lo que las soluciones genéricas que se encuentran en él, son hechas en base a la experiencia de aquellas empresas que participaron en la confección de las alternativas disponibles en el mercado, es decir se entrega un resultado con carácter prescriptivo.

En la actualidad existe un 74% de viviendas que no se encuentran acogidas a esta normativa. Otro 19% del stock habitacional existente corresponde a las unidades construidas entre los años 2000 y 2007, atendiendo la primera etapa de la RT, es decir sólo cuentan con mejoras de los parámetros mínimos de resistencia térmica en la techumbre (CDT, 2010; INE, 2010). Por ende, solo 7% del parque habitacional construido considera las exigencias mínimas establecidas en la RT, para muros, ventanas, pisos ventilados y techumbres (Figura 2.15). Este 74% de viviendas existentes es el causante de mayor consumo energético en el sector residencial, siendo el usuario el que debe asumir el costo económico por el consumo energético que supondría mantener la vivienda en condiciones de confort.

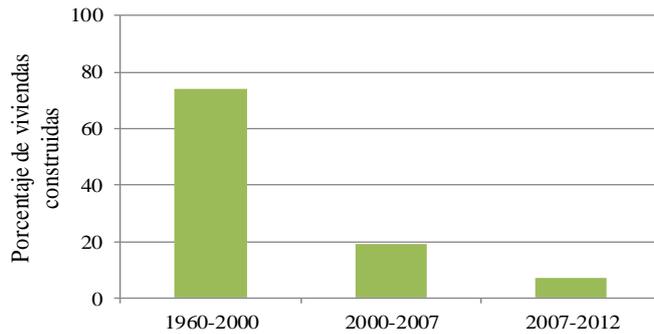


Figura 2.15: Porcentaje de viviendas construidas antes de la RT, durante la primera y etapa y después de ésta. (Observatorio Habitacional, 2012).

Para Escorcía et al (2012) el carácter poco exigente de la RT pone en duda su potencial energético, los valores de transmitancia térmica exigidos para muros no se comparan con otros exigidos en climas similares, que equivalen a la mitad de los establecidos en Chile; además de una falta de controles efectivos en las Municipales, donde sólo se limitan a declarar y comprometerse a responder a una eventual reclamación por parte del propietario.

La Reglamentación Térmica ha definido estándares para limitar la transmitancia térmica a través de la envolvente, basado en condiciones de invierno, y no ha considerado otros factores de vital importancia para entregar confort térmico. Entre otros, los fenómenos relacionados entre sí y que afectan al confort y comportamiento térmico son: la condensación en sistemas constructivos, junto con la ventilación y permeabilidad al aire de la envolvente (Bustamante et al, 2009). Otro factor no considerado, que afecta las condiciones de confort, son los puentes térmicos, los cuales debieran ser minimizados para asegurar una continuidad del comportamiento térmico de la envolvente.

Si bien existe una exigencia en base a la cantidad de metros cuadrados construidos de ventanas y su valor de transmitancia térmica en relación al porcentaje vidriado, falta recomendar el empleo de ventanas con ensayos de permeabilidad para evitar infiltraciones que generan pérdidas térmicas; y especificar qué tipo de abertura utilizar para contribuir a la ventilación controlada. En el caso de ocupar una ventana batiente, las pérdidas de energía por ventilación son inferiores que en una ventana de correderas, las cuales no permiten controlar la ventilación de forma adecuada (Escorcía et al, 2012)

Otra debilidad de la RT, es la propuesta por Bustamante et al (2009), quienes identifican que existen idénticos subsidios para localidades que presentan climas muy distintos en cuanto a su temperatura exterior; y en caso contrario, localidades de climas similares, incluso dentro de una misma región, presentan valores de subsidio habitacional muy diferentes. Por ejemplo, en Quintero el subsidio es de 330 UF, mientras que en Puchuncaví, es de 370 UF. Por otro lado, Valparaíso con clima similar al de Quintero cuenta con subsidio de vivienda nueva de 370

UF. La severidad climática en Calama es significativamente más crítica que la de Antofagasta, sin embargo, ambas localidades tienen idéntico monto de subsidio para viviendas nuevas. Estas situaciones hacen percibir irregularidades dentro de las normas para entregar subsidios, o bien directamente dentro de la Reglamentación Térmica. El autor recomienda que para lograr confort con eficiencia energética se debe considerar el clima al momento de establecer el valor del subsidio, ya que el costo de aislar para cumplir con la RT es diferente dependiendo de la zona térmica donde esté ubicada la vivienda.

Entonces, si bien la Reglamentación Térmica ha logrado mejorar en parte la calidad térmica de las viviendas, se hace necesario actualizarla, ocupando como referentes otras reglamentaciones internacionales e incorporando aquellos desempeños que tienen alta influencia en el desempeño energético-ambiental de una vivienda.

El presente estudio busca mostrar cuales son los factores que más influyen al momento de querer mejorar una vivienda existente, para lo cual ya existe un subsidio (PPPF – Título II), pero que al igual que la RT, no logra abordar distintos desempeños relevantes en el mejoramiento energético-ambiental.

2.3.1.2 Programa de Reacondicionamiento Térmico en Vivienda Existente

Las fluctuaciones de precios en el mercado del gas y de la electricidad, durante los últimos años, han provocado inestabilidades en el presupuesto familiar, afectando en mayor medida al sector más vulnerable. Este sector está constituido por personas que, en su mayoría, suelen habitar viviendas sociales, la cual se ajusta a condicionantes económicas que establecen límites de calidad de la construcción, haciendo suponer que las condiciones a que son expuestos los habitantes se alejan de los estándares esperados de confort interior.

Para dar solución a problemas energéticos, es que en el año 2006, el MINVU, junto con el Ministerio de Economía, establecen el Título II del Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF) mediante el Decreto Supremo N°255, (V. y U.) (MINVU, 2007), con el propósito de mejorar la calidad térmica y la habitabilidad del parque de viviendas existentes en el país. Consideraron necesario invertir fondos públicos para promover e incentivar la reducción del consumo energético de las viviendas existentes, por conceptos de calefacción, mejorando las condiciones de habitabilidad y confort de los usuarios.

Si bien un subsidio siempre será una ayuda, sobre todo para familias vulnerables, no siempre consideran factores de vital importancia para ser un real aporte al estado actual de la vivienda.

El Título II del PPPF, tiene distintos énfasis o tipos de proyectos, que se señalan a continuación, pero es necesario mencionar que esta tesis solo se enfocará en la eficiencia energética o mejoramiento térmico de una vivienda existente.

Es un proyecto de “Mejoramiento de la Vivienda”, si considera (D.S N°255, 2007): seguridad estructural, habitabilidad, mantención o mejoramiento de partidas interiores existentes, mejoramiento de bienes edificados y obras de innovaciones de Eficiencia Energética. Estas últimas deben abordar proyectos de innovaciones tecnológicas, que contribuyan a mejorar la eficiencia energética de la vivienda o en bienes comunes construidos de una copropiedad a intervenir, de manera de rebajar los gastos generales, costos de mantención y/o los cobros por servicios básicos. Los proyectos a financiar pueden ser, entre otros, colectores solares, iluminación solar, tratamientos de separación de aguas u otros similares.

El subsidio de “Reacondicionamiento Térmico en Vivienda Existente”, que mediante el cálculo del comportamiento térmico de la envolvente, propone soluciones de mejoramiento en viviendas que no sean tasadas en más de US\$ 28.000 y que hayan sido recepcionadas antes del año 2007 (2^{da} etapa de Reglamentación Térmica). El subsidio corresponde a 65 UF, para la zona estudiada, y se duplica al demostrar que los proyectos cumplen con los estándares establecidos en la Reglamentación Térmica. El programa propone estrategias como aislación térmica, barreras de vapor y humedad, revestimientos interiores y exteriores, marcos de ventana, superficie vidriada, entre otras. Los proyectos deben demostrar una disminución del valor de transmitancia térmica (U) de la envolvente, según su zona térmica.

El objetivo de este subsidio, además de mejorar el confort interior, es detener el proceso de obsolescencia de las viviendas, tendiendo a la conservación del patrimonio familiar, evitando que la pérdida de calidad deteriore la vivienda, lo que podría conllevar a un nuevo déficit habitacional en el país. La mayor reducción de consumo para calefaccionar, se logra a través de la implementación efectiva del programa de eficiencia energética en todo el sector y el reacondicionamiento térmico de viviendas de manera masiva (O’Ryan, et al, 2007).

En el proceso de la adjudicación y realización del Programa de Protección del Patrimonio Familiar participan las siguientes entidades (MINVU, 2007): (1) Postulantes, quienes solicitan un subsidio para mejorar su vivienda y se pueden organizar en Comités o postular de forma individual. Debe cumplir con el ahorro mínimo exigido (3 UF). Los factores que influyen al momento de adjudicarse un subsidio, tienen ahínco en la vulnerabilidad social del postulante y, es por esto que se utiliza la Ficha de Protección Social, que mide los recursos económicos, las necesidades de las familias y los riesgos que enfrentan (MIDEPLAN, 2011); (2) PSAT o

EGIS, es la entidad que asesora a los postulantes en los aspectos técnicos, sociales y administrativos para obtener el subsidio. Es el responsable de identificar y organizar a los interesados en postular al subsidio, para luego poder representarlos frente al SERVIU; (3) Municipio, el cual aplica, y mantiene actualizada, la Ficha de Protección Social y otorga los certificados de recepción de las obras y los permisos de edificación; (4) SERVIU, es el responsable del programa que evalúa los proyectos, paga los servicios a los Prestadores y asigna los subsidios; (5) Contratista o constructor, es la persona o empresa contratada por los postulantes para que realice las obras.

Cada proyecto del Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF) tiene tres grandes etapas: preparación, estudio y calificación-ejecución. En la primera se selecciona al Prestador, se prepara el proyecto y se presenta al SERVIU. Durante la segunda etapa, el SERVIU evalúa el proyecto, verificando los antecedentes técnicos, económicos, legales y sociales. Por último, en la etapa final, el proyecto se ejecuta y finaliza con su recepción.

En Latinoamérica, han sido dos países que se han sumado a la iniciativa de mejorar parte del stock existente: Argentina y Colombia. Argentina estableció en el año 2004, el Programa Federal de Mejoramiento de las Viviendas “Mejor Vivir” (Ministerio de Planificación Federal Argentina, 2012). El objetivo del programa es reducir el déficit cualitativo de viviendas de la población en quintiles I y II. La diferencia con el subsidio chileno es que los criterios de observaciones no son solo energéticos, sino que abordan necesidades de saneamiento y terminaciones como: falta de baño instalado, provisión interna de agua por cañería y terminaciones adecuadas en pisos, paredes y techos. El monto del subsidio varía entre 3793 \$US – 7586 \$US según localización. La metodología empleada por el gobierno argentino es mediante la inspección descriptiva, que significa conocer la carencia de la vivienda en terreno.

El caso de Colombia, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2012), establece como objetivo mejorar las condiciones básicas de salud en aquellas viviendas de familias más vulnerables de la población. Proponen mejoramientos como: habilitación de baño, redes hidráulicas, mejoramiento de fachadas, iluminación y ventilación. Es decir, tampoco atiende sólo problemas de tipo energético-ambientales.

El punto que sí tienen en común estos tres subsidios latinoamericanos, es que ninguno experimenta la evaluación post-ocupacional, una vez terminado y recepcionado el proyecto, solo evalúan el proyecto presentado previo su construcción.

Existen otros subsidios internacionales (The United States Senate Committee on Energy and Natural Resources, 2010; Us - Department Of Energy, 2009; Ministry of Municipal Affairs and Housing Canada, 2009), que sí evalúan los resultados obtenidos en las viviendas mejoradas, con el fin de poder conocer su puntuación en un ranking de certificación.

El programa *HomeStar Energy Retrofit* de Estados Unidos, tiene como principal observación, el desempeño energético de la vivienda. De él, se cuestiona la forma de cómo funciona el *pre-refurbishment* (la propuesta de mejoramiento), el cual es hecho por el usuario. Él debe plantear las deficiencias de la vivienda y en base a una guía establecida, definir cuáles serían las estrategias que harían más eficiente su construcción, motivo que hace que el programa califique como prescriptivo. Los desempeños estudiados son: la aislación en la envolvente, el uso de colectores solares y energía requerida para calefaccionar o enfriar.

Al igual que el programa HomeStar, el programa *Social Housing and Retrofit Program* (SHRRP) considera la evaluación del usuario, quien debe completar un informe con las apreciaciones que tiene acerca de la calidad de su vivienda. Está dirigido a usuarios de viviendas sociales, y tiene como criterios de observación la salud de los ocupantes, la seguridad estructural, la eficiencia energética, la accesibilidad (en términos de discapacitados) y costos de la operación del proyecto.

El programa *Retrofit for Energy and Environmental Performance* (REEP), en cambio, estudia el desempeño energético y ambiental en viviendas y edificios de comercio, sometiéndolos a pruebas de calidad de aire y de consumo eléctrico. Como criterios de observación plantean la climatización artificial, el sellamiento de ventanas, la aislación en ático (si existiese), utilización de luminaria de bajo consumo y refrigeración eficiente energéticamente.

En general, los programas entregados por el Gobierno del Reino Unido, también consideran la percepción del usuario para generar el mejoramiento en la vivienda (LESA, Affordable Warmth Strategy Team, 2007; Decent Homes, Department for Communities and Local Government, 2006; CESP, Department of Energy and Climate Change, 2009 y Warm Front, Hong, et al., 2009), especialmente mediante autoevaluaciones, o a través de “*focus group*”, donde manifiestan observaciones hechas durante la ocupación de la vivienda. Resultando de gran importancia para complementar otro tipo de estudios (simulaciones o mediciones).

Todas estas investigaciones tienen en común que concentran las estrategias de mejoramiento en la aislación de la envolvente, con el objetivo de disminuir el consumo energético para calefaccionar (a excepción de LESA).

2.3.1.3 Gestión del programa Reacondicionamiento Térmico en Viviendas Existentes

Hace más de dos décadas que el Estado no es el actor principal en la producción de la Vivienda Social y tampoco en la implementación de los subsidios (Castillo, Forray y Sepúlveda, 2008). Bajo el régimen de “libre mercado” característico de Chile, donde se transfiere la producción de la oferta al mercado y financia la demanda. Esta demanda no siempre puede ser completamente cubierta, ya que el monto financiero corresponde al subsidio, el cual sin importar la demanda energética de la vivienda, no se modifica.

La etapa de pre-mejoramiento en Chile, funciona como cualquier otro subsidio. Para que una familia pueda adjudicárselo, deberá reunir más familias que estén interesadas y cumplan con los requisitos, para luego conseguir una EGIS que esté dispuesta a desarrollar el proyecto.

Las EGIS han empleado tres maneras para proponer mejoramientos en viviendas:

- Cálculo Manual, hasta cumplir con el artículo 4.1.10 de O.G.U.C.
- Soluciones que estén dentro del listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico.
- Soluciones propuestas por proveedores disponibles en la región.

En el año 2009, el MINVU implementó el uso de un Manual de Evaluación Técnica de Proyectos Habitacionales, el cual se crea bajo el objetivo de fomentar instrumentos normativos y operativos que permitan hacer más eficiente la gestión del MINVU, en cuanto a la aplicación de sus programas, optimizando el proceso de evaluación de proyectos de vivienda sociales (MINVU, 2009). El propósito final es alcanzar los más altos estándares de calidad de los proyectos de viviendas que se benefician con el subsidio del estado, focalizando la atención en las necesidades de las viviendas de aquellas familias más vulnerables de la población, garantizando soluciones habitacionales de calidad en estándar, diseño y construcción, con proyectos que promueven la integración social, considerando que los estándares que se deben cumplir son aquellos estipulados en la Reglamentación Térmica. El objetivo práctico de esta manual es ser una herramienta de consulta que permita a los distintos Servicios de Vivienda y Urbanismo (SERVIU) revisar de forma exhaustiva los proyectos habitacionales que se presenten al Banco de Proyectos². La idea es poder uniformar contenidos, criterios y procedimientos, para poder mejorar el cumplimiento de rutinas de

² Banco de proyectos: Base de datos de proyectos habitacionales administrada por el MINVU.

evaluación de proyectos, simplificar y facilitar el control interno y, aumentar la eficiencia general con que se aplica cada sistema habitacional.

Dentro del Manual de Evaluación Técnica de Proyectos Habitacionales se considera el Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF). Para éste, crean una Comisión Técnica Evaluadora (CTE), la cual confirma si se ha cumplido con lo señalado en los artículos legales pertinentes, pero no certifica, ni asegura, que el proyecto de mejoramiento cumpla con un mejor confort al interior de las viviendas existentes, ni constata, una vez finalizado el proyecto, si ellos cumplieron con el mínimo establecido en la RT.

El MINVU ha destinado importantes recursos para que las familias que postulan a los beneficios cuenten con asesoría técnica, social y jurídica, para concretar la obtención de una vivienda, el mejoramiento de ésta o del barrio en el que viven. Esta tarea se le ha encargado, bajo rigurosos niveles de calidad, a las Entidades de Gestión Inmobiliaria Social (EGIS). Pese a ello, el rol de las EGIS no ha resultado del todo satisfactorio, pues no siempre ha estado dirigido a proteger los intereses de los beneficiarios de los programas que el ministerio implementa. En tal sentido, se ha detectado que existen EGIS que no desarrollan las labores encomendadas bajo los estándares de calidad que el ministerio ha establecido, lo que hace a las familias retardar el acceso a la solución habitacional que requieren, haciendo que el MINVU destine parte de sus esfuerzos a supervisar y fiscalizar a estas entidades, tanto en su comportamiento frente a los postulantes y beneficiarios, como a evitar que se presenten proyectos u operaciones habitacionales que no garanticen la plena satisfacción de las familias que requieren de esta asesoría (MINVU, 2010).

Se debiera pensar en soluciones de políticas habitacionales, que permitan canalizar los esfuerzos, persiguiendo siempre objetivos que se manifiestan en el usuario y a nivel país.

2.4 Evaluación Post Ocupacional

La Evaluación Post Ocupacional (*Post-Occupancy Evaluation* - POE) se inicia en US durante la década del 70 (Usable Buildings, 2011), con el objetivo de describir el proceso de evaluación de edificios en uso.

Baird et al (1984), define el POE como una práctica que piensa en los objetivos finales y no en los medios, preocupado por lo que el edificio está obligado a brindar, esto en lugar de prescribir la forma en que se va a construir. La evaluación post ocupacional es una herramienta diseñada para obtener mayor información acerca de los procesos del proyecto, y de cómo éste funciona conociendo los resultados reales de casos existentes, para luego proponer soluciones que puedan aplicarse positivamente en proyectos futuros. Ayuda a aprender de la experiencia para mejorar las próximas edificaciones, siendo una especie de control de calidad a gran escala (Vandenberg, 2006; Leaman, 2003).

El examinar el edificio y su rendimiento puede cubrir una amplia gama de temas, que pueden estudiarse de forma individual o en combinación con otros. Históricamente, lo más estudiados han sido el diseño arquitectónico, rendimiento técnico, confort interior, satisfacción de los ocupantes y el impacto ambiental del edificio. Éste tipo de evaluación sirve para proporcionar información subjetiva y objetiva, que pueden fundamentar la planificación y práctica durante el ciclo de vida desde el diseño inicial a la ocupación (Meir et al, 2009).

Los autores Preiser y Vischer (2005) establecen que evaluar los edificios una vez ocupados trae beneficios a corto, mediano y largo plazo:

- A corto plazo: obtención de la opinión de los usuarios sobre los problemas del edificio y las posibles soluciones para ellos.
- A mediano plazo: retroalimentación hacia lecciones positivas y negativas aprendidas en el ciclo del edificio ya avanzado.
- A largo plazo: la creación de una base de datos y la actualización, mejora y generación de protocolos de planificación, diseño y paradigma.

POE consta básicamente de aprender de los resultados, de mirar el pasado para mejorar el futuro. En vez de vaticinar acontecimientos, o basarse en resultados de otros casos, es mejor tener un respaldo “confiable” y generar retroalimentación mediante una visión “retrospectiva”. Se trata de poder analizar el pasado histórico, estudiar experiencias del presente y proponer formas de desarrollar el futuro. La retroalimentación o “*feedback*”, entre

el que ocupa el edificio y el que lo ejecuta, tiene distintas barreras, una de ellas por ejemplo, es el constante enfrentamiento entre los requisitos de funcionamiento y requerimientos.

Para Leaman, Stevenson y Bordass (2010), el potencial de tener un “*feedback*” entre los participantes, se divide en cuatro tipos:

- Crear el caso, reafirmar o modificar los objetivos y el desarrollo.
- El proceso de diseño y construcción: evaluación, diseño, gestión de proyectos, construcción, coordinación, control de costes, calidad de construcción, puesta en marcha y entrega.
- Estudiar al edificio como un producto: especificar sus “*outputs*” para cuando haya sido finalizado. Demostrar cómo será, cuánto costará, su uso y cómo reaccionará el usuario.
- Los desempeños del edificio ya en uso: técnicas operacionales y ambientales para el usuario.

Los mismos autores proponen que un *feedback* efectivo que proporcione objetividad, resultados ejemplificadores y conocimiento, debe mejorar el rendimiento de los desempeños estudiados en el edificio y contribuir al conocimiento más amplio, de modo de difundir ideas y no dejarlo como un dato anecdótico. En este sentido, el rol de la evaluación post ocupacional tiene alta pertinencia con el objetivo de esta tesis, ya que permite conocer que desempeños deben ser considerados de manera integral en el mejoramiento energético-ambiental de una vivienda.

En distintos estudios hechos sobre el mejoramiento de la vivienda en Chile (CDT, 2010; Bustamante, 2009; Méndez, 2008 y Donoso, 2009), los métodos y técnicas de diagnóstico de la vivienda se hace según cálculos manuales o bien simulaciones, pero sólo teniendo como referente de comparación lo exigido en la Reglamentación Térmica. Es decir, el “*feedback*” proporcionado por el edificio a través del usuario no se integra.

Es importante poder conocer las comodidades, satisfacciones, comportamientos y expectativas del ocupante para proponer estrategias que se alejen de lo prescriptivo, las cuales ignoran el hecho de que las viviendas pueden tener las mismas formas arquitectónicas o soluciones constructivas, pero tanto el comportamiento del usuario, como la situación climática donde esté inserta, puede hacer que varíe completamente el desempeño energético. Defra (2008), postula que es importante considerar el comportamiento del usuario, al momento de proponer estrategias que busquen evitar la pérdida de energía. Tradicionalmente la evaluación del desempeño de viviendas se ha medido en estudios con monitorización y

satisfacción del usuario (Gupta y Chandiwala. 2010), pero es extraño ver una evaluación que relacione ambas. Éstas atraviesan diferentes disciplinas, que por ende hacen suponer que el considerar las dos relacionadas entre sí, se obtendrían resultados más provechosos y enriquecedores. Éste podría ser un *feedback* entre la correlación de datos entregados por el usuario y los obtenidos mediante la monitorización.

En la presente investigación se plantea este *feedback* como un eje principal en el diagnóstico de la calidad físico-constructivo de las viviendas sociales existentes, complementando técnicas de diagnóstico físico-constructivo y percepción del usuario.

Bordass (2009), establece cuatro técnicas esenciales para poder conseguir retroalimentación entre la vivienda y el usuario:

- *Observación*: recorrer el edificio permite recoger distintas observaciones, mediante un grupo de revisión, grabaciones o una lista de control. Además no incluye solo observaciones visuales, sino que también mediciones rápidas in situ (niveles de luz, temperatura, movimiento de aire, etc.), utilizando instrumentos portátiles. Sin embargo, a pesar de que muchas cosas son evidentes a través de la observación, será necesario incluir conversaciones o entrevistas con ocupantes.
- *Cuestionarios o Entrevistas*: las respuestas a las preguntas estándar se pueden comparar con mediciones. La flexibilidad de una entrevista permite escribir comentarios que pueden dar información valiosa, mientras que un cuestionario puede ser mucho más eficiente en tiempo y para comparar respuestas.
- *Discusiones*: reunir distintas personas pueden provocar que los comentarios sean más enriquecedores. Se pueden realizar en cualquier etapa del proyecto.
- *Monitorización*: medición y análisis de estadísticas de rendimiento. Medir lo importante para el proceso de análisis post-ocupacional, para complementarlo con el resto de los resultados.

La evaluación post ocupacional para una rehabilitación, debe medir desempeños del edificio los cuales sean posibles de analizar y mejorar. Además este tipo de evaluación genera información acerca de procesos que hayan tenido resultados exitosos, tanto como de aquellos que no hayan logrado un objetivo en particular, o bien que hayan sido poco innovadores, etc., con el fin de generar buenas prácticas en nuevos proyectos (Vandenberg, 2006). POE, es por ende una buena oportunidad para crear un circuito de retroalimentación de trabajo

interdisciplinario, con el objetivo de aprender las diferentes características de diseño y tecnologías en la construcción que afectan a los ocupantes (Gossauer y Wagner, 2007).

La aplicación del POE en esta investigación es usarla como una técnica para entender y aprender de los resultados reales de los casos de estudio, para luego poder proponer mejoramientos basados en desempeños evaluados, en base a datos fidedignos de lo existente.

2.4.1 Referentes de Evaluación Post Ocupacional

Existen variados modelos para evaluar desempeños de edificaciones existentes, tales como: HQI (*Housing Quality Indicator system*), diseñado en UK, que evalúa la ubicación, el diseño y el rendimiento, y plantea 10 indicadores de calidad especificados de forma prescriptiva (Anon, 1998); el francés QUALITEL, el cual es un sistema de certificación que evalúa el rendimiento de tipo estructural, seguridad ante el fuego, durabilidad, respeto al medio ambiente y a discapacitados; además de los sistemas BREEAM (*BRE Environmental Assessment Method - UK*) y LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design - US*), que están enfocados para la certificación del edificio nuevo o existente, evaluando sus desempeños ambientales de acuerdo a distintos objetivos.

En LEED los criterios están agrupados en categorías, que prevén requisitos previos prescriptivos obligatorios y un número de rendimientos ambientales, que juntos definen la puntuación final del edificio. A diferencia del LEED, el BREEAM es un mecanismo de entrega flexible y no prescriptivo, que utiliza metodologías de evaluación de cumplimiento. Esto asegura que los objetivos y requerimientos clave establecidos en el marco de trabajo, sean abordados correctamente por un equipo interdisciplinario encargado del proyecto.

Muchos estudios tienden a soluciones prescriptivas (Yi-Kai, 2009), como el sistema CBR (*Case-Based Reasoning*), el cual en base al uso de casos anteriores y experiencias pasadas, proponen soluciones a los problemas encontrados en otras viviendas. El principal objetivo es identificar el mayor problema que sufre el edificio, para luego encontrar un caso anterior similar y a partir de éste proponer soluciones, ocupando estas propuestas como parte de un futuro estudio, es decir se integra a un ciclo, que continua así sucesivamente.

Otros métodos en cambio, no son prescriptivos, pero no consideran al usuario en su evaluación, ni tampoco aplican para vivienda existentes. Un caso es el método SAP (*Standard Assessment Procedure*), el cual sólo evalúa mediante la clasificación de costos de consumo de energía por superficie total, además de indicar emisiones de CO₂. Es aplicable en viviendas y

no considera la percepción del usuario en la evaluación y evalúa la transmitancia térmica de la envolvente, la tasa de infiltración de aire, la eficiencia del sistema de energía utilizada y el tipo de combustible usado para calefaccionar. Se ha demostrado (Wright, 2008) que el método SAP es un indicador insuficiente para viviendas individuales, ya que la influencia de la familia puede ser de mucha importancia, por lo que se espera que esta variable sea considerada en una evaluación.

Investigaciones hechas en Chile sí han considerado la percepción del usuario, con respecto a cómo consideran el habitar de sus viviendas (Gonzales et al, 2009; MINVU, 2004; Campos, 2008; CDT, 2010b; CNE, 2005), generando encuestas de fácil y rápidas respuestas. La mayoría de ellas complementa la información obtenida, a partir de los cuestionarios, con simulaciones de las viviendas habitadas o bien con cálculos manuales según normas Chilenas (NCh 853.of91, NCh 1960. of60, Nch 1906.Of.89). Las excepciones son el “Estudio de Patologías en la Edificación de Viviendas Básicas 1996-1997” (IC, 2005) y “Comportamiento del Consumidor Residencial y su Disposición a Incorporar Aspectos de Eficiencia Energética en sus Decisiones y Hábitos” (CNE, 2005), que al momento de desarrollar el cuestionario con el usuario emplean la “observación” para registrar alguna anomalía, es decir realizan cálculos ni simulaciones, sino que basan sus resultados sólo en la percepción del usuario.

El caso de la Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social (Bustamante y Rozas, 2009), si considera desempeños que la Reglamentación Térmica no incluye, como: condensación intersticial y superficial, ventilación, confort lumínico y uso de energía renovable. Las diferencias que existen con esta investigación son dos: primero, si bien el diagnóstico se hace a partir de vivienda en uso, las propuestas son guías de estrategias para viviendas nuevas según la zona climática donde se encuentran; y segundo, los desempeños no son aplicados de forma integral en las estrategias. Lo mismo ocurre con el proyecto de Méndez en conjunto con GTZ (2008), donde simulan un conjunto habitacional existente, para poder conocer la demanda de calefacción y utilizar estos resultados para la generación de estrategias en viviendas nuevas que sean similares a las estudiadas.

En Argentina se ha estudiado la calidad térmico-energético de la vivienda social, (Mercado, Esteves y Filippin, 2010), usando como metodología: mediciones in-situ en condiciones de uso real en invierno y verano, cálculo del requerimiento energético por medio de un balance térmico, simulación de viviendas reales y con mejoras en el programa SIMEDIF, además de un sondeo cualitativo de sensaciones térmicas. Los desempeños estudiados son: ventilación, calidad térmica de la envolvente, consumo energético y temperatura interior. Este estudio no

propone estrategias de mejoramiento, si no que entrega el estado de cierta tipología de vivienda social existente, para dejarlo como base a un próximo estudio donde sí se propondrán estrategias de rehabilitación.

A nivel mundial, son distintas las investigaciones que han considerado la percepción del usuario al momento de estudiar el estado actual de la vivienda (Peacock et al, 2007; Poel, van Cruchten, y Balaras, 2007; Wilson, et al, 2007; Cauberg-Huygen y Op't Veld, 2009; Howden-Chapman et al, 2005; Cipriano, 2009). Estos han implementado encuestas, métodos de auto-evaluación, entrevistas o bien reuniones, donde el usuario indica las deficiencias percibidas en su vivienda. Los resultados obtenidos se complementan con simulaciones energéticas hechas a partir de un levantamiento, con la información brindada por los usuarios o por mediciones in situ. Una vez finalizada la etapa de evaluación post ocupacional de la vivienda, proponen soluciones prescriptivas, haciendo entrega de “paquetes tecnológicos”, soluciones aceptables para los desempeños estudiados, o herramientas de auto-evaluación que permiten que el usuario conozca qué debería mejorar en su comportamiento o de la vivienda.

PROBE (*Post-Occupancy Review of Buildings and their Engineering*) es una organización que estudia distintos aspectos post ocupacionales de edificios construidos. Si bien sólo diagnostican edificios no residenciales, proponen un método simple de encuestas hacia el usuario para conocer su percepción con respecto al edificio, y a partir de ella estudiar las consecuencias y conocer lecciones aplicables en futuros proyectos (Leaman y Bordass, 2000).

PROBE destaca cuatro puntos importantes al momento de realizar de encuestas a usuarios:

- Conocer cuáles son los problemas crónicos y cómo persisten.
- La importancia de la “satisfacción” en el comportamiento del usuario.
- Las formas sencillas para poder añadir valor sin aumentar el esfuerzo.
- Las respuestas no son “lineales”, siendo más amplias que las preguntas

Una metodología distinta de estudio post ocupacional para conocer la percepción del usuario ha sido el uso de un “*checklist*” (Terkelsen, 2007; KAB, 2006), acercándose a los métodos implementados por las certificaciones de viviendas existentes. Este método permite identificar en qué rango se encuentra la vivienda y qué aspectos se deberían considerar para poder optimizarla y así, estar mejor catalogado en el ranking de certificación. El hecho de permitir al usuario implementar reparaciones y mejoras, logra una reducción del consumo de energía.

Independiente de la metodología que se implemente en el POE, se pueden conocer aportes al proyecto y requerimientos fundamentales para implementar en la edificación. La diferencia es que algún método puede entregar mayor o menor información. Para Leaman, Stevenson y Bordass (2010) los distintos aportes y requerimientos de una evaluación post ocupacional son:

- *Ayuda a resolver problemas:* el construir la evaluación bajo monitorizaciones de desempeños no brinda una solución inmediata, pero entrega resultados orientados a tomar decisiones más informadas del objeto de estudio. Generar conocimiento de mejores prácticas y de, en este caso en particular, conocer los desempeños involucrados en el mejoramiento energético-ambiental.
- *Resultados importantes:* deben ser repetibles, creíbles y convincentes para que cumplan un escrutinio científico. Seleccionar distintos casos y compararlos luego de una EPO permite generar más veracidad a los resultados.
- *Organización con los ocupantes:* contar con la cooperación del usuario, y hacer de ellos partícipes en el proceso de diagnóstico. De esta forma el *feedback* se ve incrementado.
- *Uso de múltiples métodos:* complementar distintas técnicas para evaluar un edificio. Utilizar mediciones, encuestas, simulaciones y además, complementar dichos resultados con otros que hayan sido obtenidos en situaciones similares o bien técnicas similares. Para la presente tesis, se propone el uso de distintos métodos con el fin de compararlos entre ellos, y de poder obtener mayor información a partir de la vivienda y los usuarios.

Para Stevenson y Leaman (2010), son pocas las publicaciones que se han hecho con respecto al estudio post ocupacional del sector residencial. Se considera como principal razón la dificultad que existe para obtener una muestra representativa de referencia de la vivienda, además de considerar que el acceder a la vivienda resulta complicado por ser una edificación privada, presentando un real obstáculo.

La evaluación de los desempeños de la vivienda existente ha sido en base a seguimientos físicos y/o cuestionarios al usuario, pero casi no existe una retroalimentación cuantitativa y cualitativa entre ellas. Resulta extraño ver que ambas se relacionen entre sí, por lo que estudiar estas técnicas de forma complementaria es una investigación emergente.

Si bien las normativas sobre eficiencia energética y el confort son instrumentos contundentes y necesarios, suelen ser demasiado generales para circunstancias específicas. En algunos casos no permiten satisfacer necesidades individuales de los usuarios. Es necesario reconocer que existe una diversidad de habitantes y escenarios frente al confort, haciendo que nos

cuestionemos si la normativa que regula los edificios debe cambiar, o bien el foco debe tornarse hacia los usuarios. Cualquier método utilizado para un POE, debe identificar razones por las que los usuarios se comportan de una u otra forma. Además, debe permitir llevar a cabo algún plan de adaptación para mejorar la situación existente.

El proyecto de investigación Efficacia (Leon et al, 2010) de Andalucía, monitoriza un conjunto de viviendas para analizar y parametrizar su demanda y consumos energéticos. Con este estudio buscan establecer un método de aproximación del diseño de edificios con la eficiencia energética, consiguiendo una mejor relación de la inversión con los resultados. El registro de las mediciones de este proyecto se hizo in situ y a lo largo de un año, donde los departamentos estudiados estuvieron sin ocupar, para evitar las posibles perturbaciones que cometen los usuarios. Los ocupantes si fueron considerados al momento de querer complementar la monitorización, ya que fueron sometidos a una encuesta sobre los hábitos de consumo, para obtener las correlaciones entre los consumos energéticos y los patrones de comportamiento y así calibrar y validar los modelos informáticos de simulación energética.

Para lograr un mejoramiento energético eficaz, es necesario conocer la calidad energética de los edificios existentes (Dall'O', Galante y Torri, 2011). Es por esto, que la integración de tres métodos de evaluación, tales como: técnica numérica, experimental y de simulación, en conjunto con la percepción del usuario, permitirán crear un respaldo valido del diagnóstico del estado actual de la vivienda social construida.

Realizar el mejoramiento energético de manera masiva es una buena estrategia para ahorrar tiempo y dinero, por lo que evaluar la vivienda y sus usuarios caso por caso se hace difícil y poco eficiente. Pero aunque sea complejo generalizar los resultados después de un estudio post-ocupacional, se realizan de todos modos, ya que es útil para dar a conocer las “tendencias” de comportamiento de los habitantes, y sus patrones de uso (Stevenson, 2009).

2.5 Conclusiones Capítulo 02

En Chile el sector residencial es responsable del 27% de energía consumida. Una vivienda tipo requiere 57% de la energía para ser calefaccionada, alcanzando el confort térmico.

El Estado ha manifestado interés por reducir el consumo energético bajo distintas medidas de políticas habitacionales en busca de la eficiencia energética. Si bien gran parte de las normativas creadas han estado guiadas hacia viviendas nuevas, se ha entregado también un subsidio en busca del mejoramiento térmico de viviendas existentes. Actualmente 74% del stock habitacional existente fue construido sin consideraciones energéticas ni ambientales en el periodo previo a la Reglamentación Térmica, siendo el causante de la mayor demanda energética en el sector residencial y aumentando los gastos para satisfacer aquella demanda.

La vivienda es el lugar donde el usuario reside mayor parte del tiempo, y la vivienda social es la única residencia que puede tener un usuario al postular a un subsidio, por lo que se hace necesario mejorarla buscando alcanzar el confort térmico al interior de ella. El mejoramiento energético ambiental de la vivienda no sólo tiene por objetivo favorecer al ocupante, sino que también persigue la disminución del consumo energético a nivel residencial y tener influencias en la sustentabilidad energética del país.

Diferentes estudios realizados en el centro-sur de Chile muestran que las viviendas tienen temperatura interiores inferiores a 15°C durante la mayoría del tiempo en invierno, realidad que apunta a la necesidad de mejorar aquellas viviendas que ya han sido construidas.

Para definir la zona de confort térmico en que estas viviendas debieran estar, se utiliza un modelo adaptativo. El cual establece que la susceptibilidad térmica varía según la ubicación geográfica, el clima, el destino del edificio y el usuario, es decir se acerca a la realidad del proyecto existente.

Si bien se han definido estándares que limiten la transmitancia térmica de la envolvente, no se han considerado otros factores de gran importancia para entregar confort térmico, aumentar la eficiencia energética en términos de calefacción y mejor la calidad del aire en el interior de la vivienda. Existen factores que aplicados de forma integral en estrategias de mejoramientos, permitirán obtener mayores beneficios, tales como: hermeticidad al aire de la envolvente, condensaciones, ventilación, tipo de abertura en ventanas y puentes térmicos. El proponer mejoramientos de solo algunos desempeños y de forma independiente, tiende a generar problemas en otros factores involucrados, o bien a no alcanzar los objetivos deseados. Por

ejemplo, la estrategia de aumentar la hermeticidad de la envolvente de manera aislada de otros desempeños, se pone en riesgo la calidad del aire y crecen los riesgos de condensación.

Para poder definir los desempeños involucrados en el mejoramiento energético-ambiental de una vivienda social existente se deben seleccionar aquellos que estén comprendidos en las propiedades físico-constructivas de la envolvente de la vivienda y calidad de aire interior. Esta selección de estándares de desempeños prestacionales se presenta en el próximo capítulo.

ESTANDARES DE DESEMPEÑOS PRESTACIONALES | 03



ESTÁNDARES DE DESEMPEÑOS PRESTACIONALES | 03

Mundialmente, existen distintos indicadores y herramientas para evaluar los estándares de variados desempeños en edificios construidos o por construir. Antes de usar alguna de ellas, es necesario analizar la situación local, e identificar cual es la más apropiada para el caso en estudio, o bien definir alguna nueva herramienta si es que no existiese tal. Para poder evaluar los estándares involucrados en el mejoramiento energético-ambiental, se requiere una investigación previa, donde se determinen los indicadores de eficiencia energética por calefacción, confort térmico y calidad del aire más adecuados y pertinentes a la vivienda. Esto permitirá determinar cómo la envolvente del edificio considera criterios ambientales, sociales, culturales y económicos a nivel regional, nacional y mundial (Mwasha et al, 2011). La metodología aplicada para poder definir los desempeños establece cuatro pasos (modelo NKB, 1978): (i) objetivos finales de desempeño, (ii) estándares de desempeños (indicadores y desempeños intermedios), (iii) métodos de evaluación, y (iv) estrategias de referencia.

Los códigos y estándares de construcción varían de país en país. Algunos cuentan con un código nacional que se adopta en todo el territorio, mientras que otros sólo ofrecen un modelo que puede ser adoptado por algunas regiones. El hecho de establecer nuevos y más exigentes estándares ayuda a superar problemas de incentivos divididos entre participantes. Los propietarios y proyectistas deben cumplir con la norma y sus mínimos exigidos, sin que haya diferencia de intereses ente ellos. El aumentar la demanda de servicios de eficiencia energética conllevará a una mayor experiencia y categoría en equipos y conocimiento experimental, aumentando de esta forma las capacidades técnicas (Uihlein y Eder, 2009) e

incentivando la innovación. Por ende, crecerá el desarrollo, tanto en el rubro de la construcción, como en el social.

Para el desempeño de eficiencia energética en edificios, los estándares definen requisitos mínimos de rendimiento, los cuales pueden ser de carácter cualitativo o cuantitativo. Estos estándares incluyen diferentes elementos y sistemas con uso de energía en el edificio, tales como: el desempeño físico-constructivo de la envolvente, el uso de sistemas para climatizar, la energía necesaria para la iluminación y equipamiento, etc. (RICS, 2006). Dependerá de cada estándar especificar qué elementos se consideran para las exigencias de eficiencia energética, y lo mismo aplica para cualquier otro desempeño final que se quiera exigir.

Las mejoras relativas a la normalización de la metodología para evaluar la eficiencia energética de un edificio, ayudan a superar la barrera de la incertidumbre en cuanto a la medición y verificación de los ahorros de energía que presenta normalmente el usuario, además de la desconfianza sobre tecnologías energéticamente eficaces y el desempeño que conllevan. Un correcto complemento al crear requisitos y estándares, es desarrollar herramientas de verificación sencillas, que puedan ser fácilmente utilizadas en edificios residenciales existentes y entendidas por usuarios con poco conocimiento en el tema. Así ellos podrán evaluar, sin dificultad, el potencial de ahorro de energía que hay en sus viviendas, teniendo en cuenta diferentes categorías que pudiesen existir para ella (tipo de edificio, zona climática, etc.) (Uihlein y Eder, 2009).

3.1 Desempeños prestacionales para estrategias de mejoramiento

Distintos sistemas de diagnóstico y mejoramiento en viviendas existentes realizados en la última década (Ecohomes XB, 2007; Mercado et al, 2010; RESHAPE, 2008; Ecolish, 2009; Howden-Chapman, 2005) consideran, como criterio de observación, la eficiencia energética y la calidad térmica del edificio. Abordan temas como: la contaminación al interior de la vivienda, la temperatura interior y la aislación térmica de la envolvente; pero no consideran otros desempeños que la presente investigación sí estudia, tales como: aislación higrotérmica y hermeticidad al aire de la envolvente; los cuales además son desempeños que la actual Reglamentación Térmica chilena tampoco incluye en sus exigencias.

Actualmente el mejoramiento térmico subsidiado al que se someten las viviendas sociales en Chile, sólo cumple con los estándares identificados en la RT, siendo la mayoría sometidos a mediciones de desempeños bajo técnicas numéricas.

En Reino Unido el programa *Old Home Superhome* (apoyado por *Energy Saving Trust*) tiene por observación principal la eficiencia energética de las viviendas. En él se consideran desempeños como la aislación y la hermeticidad de la envolvente, y a pesar de someter a las viviendas a un estudio post ocupacional, entregan como resultado guías de estrategias de mejoramiento en viviendas tipo, para que el usuario, que habite una residencia similar, pueda replicarlas, apuntando hacia un carácter prescriptivo.

En general, en la mayoría de los países, las normativas han sido de carácter prescriptivo, estableciendo procedimientos aceptados o guías técnicas. Los sistemas de aseguramiento de la calidad de construcciones habitacionales practicadas en Chile, se basan principalmente en el control de procedimientos y de la calidad del proceso constructivo, y no en los objetivos finales de desempeños.

En Chile, el Manual Técnico Reacondicionamiento Térmico de Viviendas en Uso (CDT, 2010) tiene por objetivo incentivar buenas prácticas constructivas en términos de mejorar la eficiencia energética de las viviendas y su habitabilidad, aportando una plataforma técnica de especificaciones de soluciones de reacondicionamiento térmico para viviendas tipo. Otro estudio de casos chilenos es el proyecto de CNE/GTZ junto con la cooperación de la ONG “TECHO”, quienes asesoraron edificios de interés social en el barrio “Lo Espejo II” (Santiago). El objetivo de este proyecto fue demostrar los beneficios asociados al uso eficiente de los recursos en la construcción de nuevas casas de tipologías similares (Méndez, 2008; Méndez y Bardi, 2009). Se analizó el comportamiento térmico de las viviendas, para proponer tres estrategias de mejoramiento orientadas a minimizar la demanda de energía en calefacción y así evitar problemas de sobrecalentamiento en las futuras viviendas. Las evaluaciones se realizan mediante simulaciones energéticas con software TAS. Finalmente incorporan las modificaciones en un prototipo nuevo construido. Éstas atendieron principalmente en modificar la composición de la envolvente de la edificación original. La metodología usada por este proyecto, para diagnosticar las propiedades físico-constructivas de las viviendas, se basa sólo en simulaciones energéticas, y no en mediciones experimentales, haciendo necesario el uso de valores estimativos para infiltraciones de aire de la edificación.

Los cálculos teóricos de consumo de energía, basados en su totalidad en las características físicas de los edificios, no entregan una imagen exacta de los ahorros de energía logrados luego de un mejoramiento energético, y por lo tanto tampoco entregan la viabilidad económica real. Mediciones hechas en Alemania indican ahorros más bajo que lo estimado en los cálculos oficiales (Galvín y Sunikka-Blank, 2013), demostrando que al utilizar un método

teórico solamente, puede presentar diferencias con la realidad del objeto de estudio. Por ejemplo simular con 1 ACH, o con 4 ACH de tasa de infiltración de aire genera resultados distintos. Un estudio con comprobaciones in-situ del Laboratorio de Física de la Construcción de la UBB ha ejecutado mediciones de hermeticidad al aire de la envolvente en la Región del Bío-Bío, obteniendo valores que fluctúan entre 1,75 ACH para una vivienda de albañilería, y hasta 2,49 ACH para una vivienda de madera (Figuroa et al, 2013), haciendo suponer que el uso de 1 ACH en la simulación no es recomendable. Basta con observar los resultados arrojados por el test de presurización en los casos de estudios, donde los números distan ampliamente del estimado usado normalmente. Entonces, considerar en la simulación los valores medidos en la vivienda existente es beneficioso para conocer la calidad actual de la vivienda existente, donde se propondrán estrategias de mejoramiento reales y más ventajosas.

Debido a este tipo de diferencias, es que se propone establecer criterios de desempeños, y no soluciones prescriptivas (estrategias particulares) para los mejoramientos. El desarrollo y construcción de edificios basados en criterio de desempeños considera requisitos que se rigen bajo desempeños estudiados, y bajo una “filosofía” prestacional, donde el edificio, o sus componentes, no deben cumplir con los desempeños replicando estrategias prescriptivas aludiendo a una guía o “cookbook” (Lee et al, 2003), sino que se deben establecer objetivos a cumplir y no la manera de cómo cumplirlos.

Establecer criterios de desempeños permite proponer múltiples opciones para alcanzar un objetivo, haciendo que éstas sean más innovadoras. En cambio un sistema prescriptivo define una única o limitadas opciones, y aunque es más fácil de entender, seguir, y monitorizar, muestra falta de flexibilidad en las estrategias, ahogando la innovación. Además tiende a generar una mala relación entre las necesidades reales del usuario y la construcción, ya que el usuario normalmente no es considerado al momento de desarrollar el proyecto; y ciertos parámetros de la vivienda son supuestos por defecto, sin considerar el valor medido.

En algunos países (mayoritariamente en Europa) las estrategias de diseño y construcción sí están basadas en desempeños prestacionales, pero estas están guiadas hacia obras nuevas, y es muy poco común verlas reflejadas en proyectos de mejoramiento energético de edificaciones existentes. La mayoría de estas soluciones resultan estar bajo requisitos prescriptivos, lo que impacta negativamente en la habitabilidad de las viviendas, con consecuencias sociales y económicas.

En el presente estudio se determina que existe una necesidad de incorporar conceptos de calidad para lograr un mayor estándar de habitabilidad en la vivienda, extendiendo su vida útil

y logrando un mayor confort térmico y calidad del aire interior para el usuario. Esto a partir de que las viviendas estudiadas son aquellas que fueron construidas sin consideraciones térmicas, y que ya han sido habitadas por más de una década, por lo que lograr extender la vida útil, además de otros beneficios, sería una ayuda directa para aquellas familias que viven bajo la línea de la “pobreza energética”.

Para incorporar estos conceptos, es necesario determinar estándares y métodos para el desarrollo de desempeños prestacionales asociados a la cualidad energético-ambiental de una vivienda social. Se utiliza el método de jerarquía del sistema nórdico NKB (*Nordic Committee on Building Regulations*) para desarrollar códigos técnicos y estándares, estableciendo una jerarquía de las características necesarias para el desarrollo de ellos en base a criterios de desempeño. El modelo NKB es muy útil al momento de querer establecer este tipo de criterios, ya que pone foco en metas sociales (a nivel de políticas) y permite disponer de distintas formas las reglamentaciones para demostrar el cumplimiento de las exigencias..

Un indicador de desempeño es un instrumento de medición de principales variables asociadas a un cumplimiento de objetivos y que a su vez, constituyen una expresión cuantitativa y/o cualitativa de lo que se pretende alcanzar con un objeto específico establecido (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2000). Los desempeños pueden ser cuantificables numéricamente mediante un índice, el cual puede crearse cuando dos o más indicadores se combinan, forman un valor o una unidad de medida (Mwasha, 2011). El indicador del desempeño de eficiencia energética, por ejemplo, no se puede lograr considerando de manera aislada un desempeño, sino que debe ser una integración de varios. Debido a esto, es necesario conocer el nivel de influencia de cada factor en la interacción, y cuales desempeños deben ser considerados de manera integral. Es así como se propone efectuar un análisis multi-variable, ya que cada parámetro se verá afectado o favorecido por otro. El correcto desempeño de mejoramiento energético-ambiental debe ser evaluado por una integración de distintos rendimientos energéticos y ambientales, tales como: eficiencia energética, consumo de energía, impacto ambiental, factores económicos, beneficios sociales y ambientales al unísono.

Muchos usuarios, al momento de comprar una vivienda, no consultan ni averiguan acerca del consumo energético de la ella. Con este dato pueden, por ejemplo, mejorar el valor de venta de la vivienda (Nevin, 2010), además de conocer el ahorro estimado en energía. Pero para lograrlo, las nuevas tecnologías implementadas en viviendas requieren un nuevo mecanismo

de mercado que valore este tipo de inversiones. Entonces los indicadores de desempeños podrán cumplir un rol importante para éste tipo de análisis económicos.

La inclusión de requisitos mínimos de eficiencia energética en los códigos de la construcción y en las normas, dan lugar a importantes ahorros de energía. Sin embargo, la introducción de ellos tiende a eliminar sólo las peores prácticas en vez de “impulsar las mejores prácticas”. El hecho de utilizar medidas que ofrezcan incentivos a impulsar ciertas “mejores prácticas” permitiría no solo cumplir con los requisitos mínimos, sino que preverá a seguir mejorando el edificio (Uihlein y Eder, 2009).

3.2 Objetivos de Desempeños prestacionales a evaluar

Para poder diseñar y controlar el ambiente térmico interior de un edificio energéticamente eficiente, es necesario determinar la relación de los parámetros, o variables, que ocurren dentro y fuera de la construcción (Wei et al, 2012). Los desempeños a evaluar suelen ser fenómenos multidimensionales y que lógicamente requieren un enfoque multidimensional también, el cual contenga distintos y eficaces indicadores de rendimiento acorde al desempeño medido (Mwasha, 2011; Mwasha, Williams y Iwaro, 2011).

Al evaluar distintos desempeños de una vivienda existente, se deben establecer una serie de directrices a cumplir, que conforman una metodología al momento de instaurar un nuevo desempeño a exigir. Previo a proponer estos criterios de desempeños, se deben determinar aquellos parámetros que influyen en el comportamiento energético-ambiental de una vivienda, tanto en temporadas frías como cálidas.

La vivienda y los elementos que componen su construcción, se someten a una serie de fenómenos de transferencia, captación y almacenamiento de calor con el medio ambiente (Figura 3.1), los cuales pueden resumirse en los siguientes (Bustamante y Rozas, 2009):

- Transmisión de calor a través de elementos opacos y vidriados de la vivienda
- Ganancia o pérdidas de calor por intercambio de aire entre el interior y exterior
- Ganancia solar tanto por elementos opacos como vidriados
- Ganancias internas

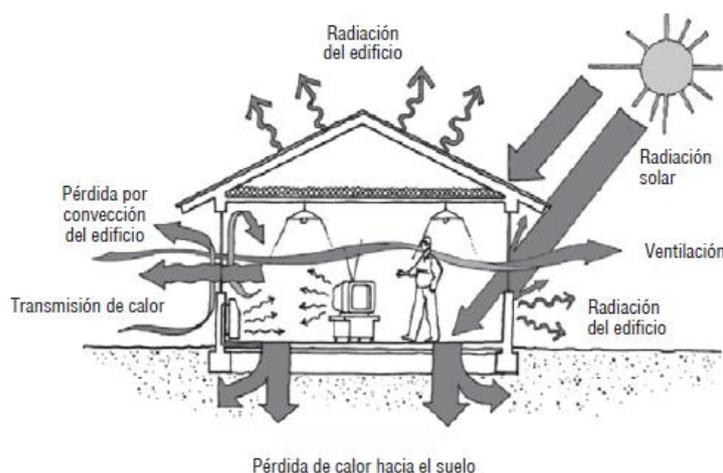


Figura 3.1: Mecanismos de transferencia del calor en una vivienda (Bustamante y Rozas, 2009).

Estos fenómenos se ven incrementados o disminuidos dependiendo de la ubicación de la vivienda y su orientación con respecto al norte. Pero son estos factores, y otros (que se detallarán a continuación), los que no se consideran dentro de los parámetros variables de esta

investigación, ya que al ser viviendas existentes no se pueden modificar, siendo involucrados como parámetros fijos dentro de la evaluación. Éstos corresponden a:

- Zona de Confort Térmico (Rango de Temperatura)
- Ganancias Internas
- Horario de Ocupación
- Ventilación Forzada
- Ventilación Natural

Para el resto de los parámetros a considerar, se usa como metodología el desglose de la envolvente en función de cada desempeño estudiado. Los parámetros debieron ser los mismos para todos los casos de estudio, y así poder comparar la calidad actual de ellos.

Los parámetros son definidos en función de los resultados buscados, los cuales dentro de un estudio multifactorial son denominados como “variable respuesta”, y es definida como una variable dependiente. En este estudio corresponden a los tres desempeños finales:

- Disminuir demanda de calefacción.
- Aumento del confort térmico en el interior de la vivienda.
- Mejorar la calidad del aire interior

Los parámetros que influyen y atienden dichos objetivos de desempeño, se desprenden desde ellos mismos; y partir de esto, se identifican ciertos desempeños intermedios que tributan en el objetivo final.

Los desempeños “Confort térmico” y “Eficiencia Energética” fueron agrupados para definir cuáles serían sus desempeños y requisitos intermedios, ya que ambos se ven influenciados por las mismas variables dentro del comportamiento físico constructivo de la vivienda. En cambio, el desempeño “Calidad de Aire” se identifica como particular, al tener otro tipo de variables que determinarían su influencia en el estudio. Para ellos se asocia también un indicador, el cual permitirá su evaluación mediante técnicas de medición y verificación.

Los desempeños son seleccionados a partir de una visión integral y sistemática, donde no solo se consideran los típicos desempeños abordados. Mejorar la transmitancia térmica de la envolvente, por ejemplo, es uno de las variables más aplicada y estudiada, pero en este caso se considera en complemento con otros requisitos de desempeños, como la tasa medida de infiltraciones de aire, el riesgo de condensación, etc., que influyen en los desempeños finales, siempre considerando que el mejoramiento debe desarrollarse bajo una filosofía integral.

3.2.1 Confort Térmico y Eficiencia Energética por Demanda de Climatización

Según como se definió el desempeño de Confort Térmico en el Capítulo 2.1.2, que al igual que el desempeño de Eficiencia Energética, serán determinados por las mismos requisitos de desempeños, o bien llamados desempeños intermedios.

El desempeño de eficiencia energética se define como aquella cantidad de energía necesaria para satisfacer las distintas necesidades asociadas a un estándar térmico esperado del edificio (Poel et al, 2007), para los casos de estudios se especifica que esta eficiencia energética debe basarse en términos de disminuir la demanda por calefacción.

Los intercambios producidos por radiación dependen de las propiedades de la superficie del edificio (capacidad de absorción y la emisividad), además de las condiciones meteorológicas locales (las pérdidas de calor son máximas en condiciones de cielo despejado). En cambio los intercambios convectivos de calor, dependen fuertemente de la velocidad y dirección del viento. Dada la gran variabilidad de viento sobre el espacio y el tiempo, y la fuerte influencia de los intercambios por convección que se ejercen debido a la temperatura de la superficie, se debe tener como desafío estimar la temperatura de la superficie, aunque resulte muy complejo (Aelenei y Henriques, 2008). Una buena razón para ocupar la demanda energética en calefacción como principal enfoque al evaluar una vivienda, es que este consumo es alto pero también fácilmente reducible (Fracastoro y Serraino, 2011). En cambio, otras fuentes de demanda energética, tales como la cocina o el ACS, dependen mucho del usuario y sus hábitos, por lo que a veces parecen ser impredecibles. La reducción significativa del uso final de energía para calefaccionar, se puede lograr mediante el uso de equipamiento eficientes en edificios existentes, con el complemento de otras estrategias que atañen la física-constructiva de la edificación. El disminuir la demanda energética por términos de calefacción, se transforma en una alternativa importante para bajar los costos por consumo energético y garantizar un confort térmico adecuado (Fissore y Colonelli, 2009).

Estándares con altos niveles de exigencia, tal como el Passivhaus, sirven como referencia para poder definir los objetivos que se pretenden cumplir mediante los desempeños propuestos. Otros estándares, definidos en ASHRAE y CTE, no establecen límites de demanda energética, pero si exigen el cumplimiento de ciertos valores en otros desempeños intermedios, tales como ciertas tasas de renovaciones de aire por hora, valores máximos de transmitancia

térmica en la envolvente, declaras las condiciones que anulen el riesgo de condensación superficial, entre otros.

Para el CTE, la demanda energética es la energía necesaria para mantener en el interior del edificio unas condiciones de confort definidas reglamentariamente en función del uso del edificio y de la zona climática en la que se ubique. Se compone de la demanda energética correspondiente a los meses de la temporada de calefacción y de refrigeración (CTE, 2006). En tanto para ASHRAE, la eficiencia energética busca avanzar en las artes y ciencias de calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración.

Por confort térmico, ASHRAE entiende que las principales variables involucradas son las condiciones interiores de temperatura, humedad y velocidad del aire, manteniendo siempre calidad de aire interior para el usuario; al igual que el CTE, que considera necesario establecer reglamentaciones para producir una sensación de bienestar adecuada a los ocupantes.

Por ende, ambos objetivos finales de desempeños (Eficiencia energética por calefacción y Confort Térmico) se ven influenciados por los mismos parámetros, que de forma conjunta y complementaria hacen que estos desempeños puedan alcanzar un mejor estándar. Para conseguir los objetivos de estos desempeños dentro de la vivienda, se ha establecido que es necesario tener en consideración desempeños intermedios tales como: (i) transmitancia térmica de la envolvente, donde se integra de forma implícita de aislación higrotérmica, que se definirá para cada estrategia propuesta en la envolvente; (ii) hermeticidad al aire de la envolvente; y (iii) diseño de ventanas.

3.2.1.1 Desempeño Intermedio 1: Aislación Térmica de la Envolvente

La transmitancia térmica (o valor U) es definida por la Norma Chilena 853 (Of., 2007) como el flujo de calor que pasa por unidad de superficie de un elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento.

En la primera etapa de la Reglamentación Térmica en Chile, se definieron valores U para el complejo de techumbre en viviendas, lo que permitió la disminución significativa de las pérdidas de calor a través de este elemento. Esto conllevó a una notable mejora del comportamiento térmico de las viviendas, sobre todo en la temporada de invierno.

El valor U ($W/m^2\text{°C}$) de un elemento de la envolvente puede calcularse en base a la misma norma, medirse en laboratorios, o bien, al tratarse de viviendas existentes, se puede monitorizar con el sistema de termo-flujometría.

De una forma más estandarizada, pensando en los métodos de medición para mejoramientos de viviendas existentes, la metodología empleada para este desempeño consta de tres partes. Primero se diagnostica el estado actual del elemento mediante la herramienta de termoflujometría según ASTM 518-10; luego, proponer estrategias de mejoramiento que logren cumplir con el valor U exigido, siempre en complemento con las distintas estrategias necesarias para disminuir la demanda y alcanzar el confort térmico exigido. De esta forma se selecciona la estrategia más óptima en cuanto a costo – beneficio. Finalmente se debe instalar la solución para someter el mejoramiento a una nueva medición de termoflujometría.

Se considera el uso de este parámetro dentro del estudio para poder determinar una recomendación de transmitancia térmica de los diferentes componentes de la envolvente, además de comprobar si basta con los límites establecidos en la RT. En el presente estudio la transmitancia térmica es independiente a la solución constructiva que se le dé al elemento, es decir, la solución puede ser cualquiera con la condición de cumplir con el valor U exigido.

Si se logra una baja transmitancia térmica, se consigue un mejor comportamiento térmico de la envolvente. Pero como ya se ha mencionado, no basta con cumplir solo con esta variable, sino que es necesario un complemento de ésta y otras, como por ejemplo elevar el nivel de hermeticidad al paso de aire de la envolvente. Además de otros reparos, como que la envolvente debe absorber el mínimo de aguas lluvia, ya que esto afectará negativamente el comportamiento térmico de la envolvente. Es necesario considerar que la vivienda debe responder a las solicitaciones del clima durante del año, para conseguir el confort y eficiencia energética de forma permanente (Bustamante y Rozas, 2009).

Para poder disminuir el valor U se debe minimizar la conductividad térmica (λ) de los materiales que conforman la envolvente. En cuanto a las restricciones en transmitancia térmica en muros, el CTE establece valores entre 1,22 y 0,74 W/m²K. Considerando los grados días, estos valores se hacen comparables con todas las zonas térmicas de Chile, menos la 1, y se obtiene que los valores U establecidos por el CTE alcanzan mayor exigencia en comparación con los valores de transmitancia térmica establecida en Chile (entre 3 y 0,74 W/m²K). Solo los valores U de la zona 6 y 7 son exigentes como los del CTE, pero cabe destacar que son las zonas térmicas donde se miden las temperaturas más frías y con poca oscilación térmica de Chile. Para el suelo y la techumbre, la normativa chilena presenta mayor variabilidad, siendo más exigentes en climas más fríos y más permisiva en climas cálidos. En cambio el CTE muestra menor variabilidad, siendo más rigurosa para toda condición climática.

3.2.1.2 Desempeño Intermedio 2: Aislación Higrotérmica de la Envolvente

Las envolventes se verán afectadas por la condensación del interior de la vivienda, la cual puede ocurrir, entre otros factores, por hacinamiento, mala ventilación o propiedades higrotérmicas (conductividad térmica y resistencia al paso de vapor) de los materiales usados en el sistema constructivo. Debido a esto se debe tener particular cuidado al momento de proponer estrategias constructivas de la envolvente, y que estas no solo estén enfocadas en disminuir la conductividad térmica, ya que una mala posición de los materiales puede ocasionar condensación intersticial. Además se debe tener en consideración la producción de humedad que pueda ocurrir al interior de la vivienda, situación que tiende a producir condensación superficial en la envolvente.

Los indicadores de calidad higrotérmica de la envolvente están en relación a los tipos de condensación que pueden suceder:

- Condensación Superficial: factor que depende de la temperatura de la superficie interior que se mide en fR_{si} (s/d), el cual significa el cociente entre la temperatura superficial interior y la del ambiente exterior y la diferencia de temperaturas del ambiente interior y exterior.
- Condensación Intersticial: factor que depende de la presión de vapor, medida en p (Pa), es aquella presión de la fase gaseosa del agua a una temperatura determinada.

La comprobación de las condensaciones se basa en la comparación del factor de temperatura de la superficie inferior (fR_{si}) y el factor de temperatura de la superficie interior mínimo ($fR_{s\ min}$) de cada elemento de la envolvente. La presión de vapor no podrá exceder a la presión de saturación en ningún plano interior del complejo de elemento envolvente para las condiciones de humedad relativa y temperatura de aire interior y exterior.

La condensación ocurre siempre en las zonas más frías de la vivienda, es por esto que comúnmente se percibe en el vidrio de las ventanas. Además permite evidenciar daños en el material, como por ejemplo la formación de hongos que son producidos cuando la humedad supera el 70% (Méndez y Bardi, 2009), valor que excede lo recomendando para la humedad relativa en ambientes interiores, la cual debería estar entre 33 y 55% (Cáceres, 2001).

Para el Instituto Nacional de Normalización la humedad relativa debe estar dentro del rango 40 a 70% para que las condiciones de habitabilidad sean aceptables (INN, 1987). Pero un estudio hecho por CITEC (2012) propone otros valores para los cálculos de condensación en vivienda sociales del centro sur de Chile. La humedad relativa exterior la calculan a partir de

la humedad media del mes más frío (resultando HR: 87%). Para la humedad interior, realizan una monitorización en distintas viviendas en condiciones críticas y típicas de una vivienda social (hacinamiento, cocción de alimentos, secado de ropa en el interior, etc.). De estas mediciones, obtienen resultados que no se condicen con lo establecido en la norma oficial, alcanzando niveles de humedad entre 85 y 90%. Además reflexionan sobre el principio de que al ventilar, el aire húmedo exterior entra con el mismo porcentaje de humedad, por lo que la humedad interior tiende a aumentar.

Con respecto al porcentaje de humedad relativa, es muy probable que cuando este esté por encima del 80% se produzca condensación superficial, pero también dependerá de los valores de la transferencia que resulten por el calor convectivo. La convección junto con el contenido de humedad que tiene el aire juega un papel clave en la aparición de condensación superficial en los edificios. El riesgo de condensación en las superficies aumenta cuando la aislación térmica es baja en el elemento que tiene contacto con el exterior (Aelenei y Henriques, 2008).

El crecimiento de moho no solo dependerá de una zona fría, o con alto nivel de humedad, sino que puede verse fomentado por temperaturas bajas en la superficie del muro que resultan ser inferiores al punto de rocío. Este suceso se puede observar comúnmente en puentes térmicos, ocurridos con mayor facilidad en encuentros de muros o marcos de ventanas. Para evitar este tipo de problemas, es importante el uso de materiales higrotérmicos en las superficies interiores de la envolvente, ya que pueden reducir los contenidos máximos de humedad en el aire interior y al mismo tiempo absorber la humedad acumulada en la superficie, sin permitir que la humedad relativa aumente a niveles perjudiciales.

Para evitar la condensación, es necesario limitar la producción de humedad al interior de la vivienda, y mantener una ventilación permanente en el ambiente. La ventilación necesaria debe estar basada en estándares requeridos según el tamaño del espacio o las personas que lo habitan. Debido a esto, la ventilación mínima debería estar asegurada independiente del comportamiento del usuario, pudiendo ser forzada o natural (Bustamante et al, 2009).

Salonvaara y Ojanen (2003) han demostrado que el uso de materiales higrotérmicos en la envolvente, limita las variaciones de humedad del aire interior durante cargas de calor y humedad intermitente hacia el interior. Los materiales de envolvente, además de ayudar a prevenir el fenómeno de condensación, pueden verse dañados debido a un alto nivel de humedad en el interior de la vivienda. Se hace necesario establecer ciertas medidas de ventilación permanente en función del número de personas y el tamaño del recinto. En consecuencia, el mantenimiento de los niveles de humedad medios en el interior es

imprescindible para mejorar el rendimiento del edificio en los términos de la calidad del aire interior, el rendimiento energético y la durabilidad de la construcción (Tran et al, 2010).

Por ende la humedad relativa en la superficie interior de la envolvente y su comportamiento por hora depende de las condiciones del aire interior y las propiedades de los materiales que conformen la envolvente.

El CTE establece métodos de cálculos para conocer la presión de saturación de vapor y la humedad relativa interior, donde especifica distintas situaciones de borde, dependiendo de la zona donde este situada la edificación. Para la condensación superficial suponen una temperatura ambiente interior de 20°C para el mes de enero. Pero como ya se ha especificado, esta situación de borde se aleja a la realidad de la vivienda social, donde una temperatura constante de 20°C es inexistente. Debido a esto conviene hacer mediciones de humedad en la vivienda de estudio, o bien, ocupar condiciones de borde desfavorables como la planteada por CITEC (2012) para el cálculo de humedad interior.

Se deberá verificar el cumplimiento del desempeño, según las condiciones que se exigen, la probabilidad de ocurrencia de condensación intersticial y superficial, mediante uno de los dos tipos de métodos existentes: computacionales y experimentales. Cualquier modelo puede proporcionar información fiable y sólo, si los datos ingresados como inputs son los correctos.

Los métodos experimentales presentan problemas, como el costo del ensayo y que no siempre alcanzan las características con exactitud del elemento estudiado en poco tiempo, por lo que se requiere medir por un plazo más largo (Pavlík y Cerny, 2008). Esto último se hace aún más crítico en aquellas viviendas existentes, que muestran un riesgo de condensación mayor por los años de existencia, uso y por ende, deterioro. La comprobación de la ocurrencia de condensación intersticial, es más factible de ejecutar con un software, en cambio para la superficial se recomienda hacer mediciones *in situ*.

Si bien existe una serie de modelos validados para simulaciones térmicas de la construcción, y para cálculos higrotérmicos, no es factible aun la combinación de ambos modelos (Holm et al, 2003; Künzle et al, 2005). En un principio solo se puede realizar una combinación mediante el acoplamiento de los modelos existentes. Para esto, han comparado distintos *softwares* que permiten conocer la humedad de la vivienda y su envolvente, obteniendo que WUFI+ muestra resultados mayores en un promedio de 2% por sobre TRANSYS (Holm et al, 2003). Esta desviación menor es considera aceptable para cálculos de este tipo. De este mismo experimento, concluyen que lo que si influye fuertemente en los resultados, será la condición

de borde que se establezca en el ítem “Renovaciones de Aire” (ACH), estas provocarían fluctuaciones en los niveles de humedad que afectan el resultado total de los estudios. También influye el material de la superficie en contacto con el ambiente interior, ya que algunos materiales de construcción reaccionan de manera diferente al ser expuestos a condiciones iguales de humedad, por lo que se hace necesario calcular el desempeño del material frente a una situación más desfavorable de humedad (Künzel et al, 2005).

3.2.1.3 Desempeño Intermedio 3: Hermeticidad al aire de envolvente

En Chile, es poca la investigación que permite observar el comportamiento de las viviendas en relación a la hermeticidad al aire de la envolvente en diferentes regiones (Bustamante et al, 2009). Casi no existe consideración sobre la hermeticidad al aire de la vivienda, más bien en la mayoría de los estudios de eficiencia energética se acostumbra a usar valores por defecto, como 1 ACH. Actualmente Figueroa et al (2013) desarrolla un proyecto que busca establecer niveles de infiltraciones de aire aceptables para las edificaciones en Chile. Para esto han medido viviendas existentes y han simulado otras en diseño. Se obtienen valores que se alejan al 1 ACH propuesto por defecto en estudios y calificaciones actuales, en efecto se han medido 2,46 ACH en viviendas de construcción ligera en madera con el uso del Blower Door Test.

Este desempeño no es exigido en la normativa actual en Chile, y la mayoría de las veces es considerada como un valor ideal al momento de estudiar el comportamiento físico-constructivo de un edificio.

La hermeticidad al aire tiene directa relación con las propiedades físicas de la envolvente de la vivienda y su ejecución en obra. Un ejercicio hecho en base a datos estimados para una vivienda unifamiliar de 42 m², aislada en Concepción, que cumple con los estándares de la RT y que tiene ventanas de vidrio simple, ha sido simulada con el software TAS. Como resultado se obtiene que la demanda de energía de calefacción está fuertemente afectada por las infiltraciones de aire, alcanzo una participación que varía entre un 24 y 73% de la demanda total (Tabla 3.1) (Bustamante et al., 2009). Se determina que podría anularse totalmente el esfuerzo de mejorar térmicamente un muro, si las tasas de infiltraciones de aire siguen siendo altas. Debido a esto es necesario conocer un valor de tasa de infiltraciones de aire que se acerque a la realidad de la tipología de vivienda en cuestión.

La efectividad de los estándares depende de las características climáticas, el comportamiento de los usuarios, entre otras variables que difieren entre países, lo que dificulta su comparación. Sin embargo, se constata una tendencia a establecer estándares diferentes según

el tipo de ventilación, donde las viviendas con ventilación natural tienen un estándar de hermeticidad menos estricto que las viviendas con ventilación mecánica. Esta diferencia se debe a que las viviendas con ventilación natural requieren cierto nivel de infiltraciones que permitan un ingreso de aire que favorezca su movimiento natural, por su parte las viviendas con ventilación mecánica requieren limitar las infiltraciones de aire, cuyo aporte incontrolado puede derivar en un mal uso del sistema de ventilación (Ossio et al, 2012).

Tabla 3.1: Demanda de Calefacción en una vivienda unifamiliar aislada según diferentes tasas de intercambio de aire en Concepción (Bustamante et al, 2009).

Tasa de Intercambio de aire en volúmenes por hora	Demanda de Calefacción anual	Incremento en demanda de energía respecto de caso 1,0 vol/h	Transmisión	Ventilación
1/h	kWh/m ² año	%	%	%
1	125		76	24
2	157	26	61	39
3	188	50	51	49
4	220	76	43	57
6	283	126	34	66
8	347	178	27	73

El indicador de este desempeño intermedio es determinado por la tasa de infiltración de aire que presente la envolvente, para lo cual se convierte, mediante un estándar seleccionado, el valor obtenido desde la medición de hermeticidad al aire (n50 @ 50 Pa).

La metodología para cumplir con este desempeño, también comienza con una fase de diagnóstico en la vivienda, que solo se podrá hacer con la medición de presurización según UNE 13728:2003 (Blower Door Test), para luego proponer estrategias de sellamiento y finalmente volver a medir en el lugar.

3.2.1.4 Desempeño Intermedio 4: Diseño de Ventanas

La dimensión de la superficie transparente, en conjunto con la orientación y el tipo de vidrio, son fundamentales para la determinación de la cantidad de ganancias solares y lumínicas de forma pasiva. Con respecto a la orientación de la ventana, se busca exponer las superficies vidriadas hacia el norte, pensando especialmente en los periodos fríos de año, ya que es en esta fachada donde se recibe mayor radiación solar. El tamaño y el tipo de vidrio, en cambio, tienen directa influencia en la transmitancia térmica de la envolvente. Son estos puntos, donde se supone, la envolvente pierde más energía, ya que la resistencia térmica del vidrio suele no ser alta, en comparación con otros elementos de la envolvente, como techumbre y muros.

Es preciso encontrar un equilibrio, guiado hacia una disminución de la demanda energética total, entre el tamaño, el tipo de ventanas y su orientación, que permita tener ganancias solares en el invierno, las cuales ayudarán a alcanzar el confort térmico con un bajo consumo energético, pero al mismo tiempo se busca no generar sobrecalentamiento durante el verano.

En climas templados como el de Concepción, o en este caso la comuna Hualpén, las temperaturas durante el verano no son tan elevadas y el peligro de sobrecalentamiento casi no existe, pero aun así se le debe considerar al proponer estrategias para el invierno.

En viviendas sociales construidas hace más de una década, y aun en las actuales, la cantidad y tamaño de ventanas en el muro norte no alcanzan a sufrir grandes variaciones, ya que las dimensiones de los muros son acotadas. No es posible realizar grandes ampliaciones de las superficies vidriadas, por las dimensiones ya establecidas y para no provocar mayor exposición desde el interior de la vivienda.

El valor de transmitancia térmica de una ventana incluye el vidrio, el marco y la unión entre estos dos elementos. El conjunto de estas partes debe cumplir con los valores U máximos, para lograr los criterio de confort y de higiene.

Actualmente, existen vidrios que ofrecen una amplia variedad de requerimientos y propiedades dentro del mercado. Pero a medida que el vidrio presenta mayor participación en la disminución de la demanda energética, mayor es el valor económico que tiene. Debido a esto es necesario cuestionar el tipo de ventanas que se coloca en una vivienda social, ya que si bien éstas pueden ser aportadas mediante un subsidio, difícil es lograr que al momento de sufrir algún daño sean reemplazadas por la misma tipología producto de su alto costo que las familias vulnerables no podrán sobrellevar.

Para los vidrios el CTE limita la pérdida máxima por porcentaje de hueco dependiendo de la zona climática, la orientación y el factor solar. Visto de forma general, y aplicando los mismos porcentajes, el CTE parece bastante más restrictivo en toda condición, ya que, por ejemplo, parece imposible cumplir con sus especificaciones utilizando exclusivamente vidrios monolíticos. En cambio la norma chilena si lo permite, guardando una relación establecida con la superficie máxima acristalada en cualquier condición climática (Celis et al, 2012). Por ejemplo, permite el uso de un vidrio monolítico en ventanas que no superen el 21% de superficie vidriada respecto a parámetros verticales de la envolvente (MINVU, 2011). Este porcentaje puede hasta triplicarse, si es que la transmitancia térmica de la ventana es menor.

3.2.2 Calidad del Aire Interior

El desempeño de calidad del aire interior es un objetivo de desempeño final y no tiene relación con un desempeño intermedio para poder lograrlo, sólo es necesario alcanzar la tasa de aire interior establecida, la cual se debe lograr mediante ventilación forzada y/o natural. La ventilación es medida en base a condiciones de regímenes establecidos: dirección y velocidad del viento, diferenciales térmicos y condiciones de aperturas de puertas y ventanas. Para poder efectuar estas mediciones se hace necesaria una predicción basada en supuestos de circulación del aire en el interior de la vivienda y en los datos que son entregados con los elementos a utilizar en las aperturas. Estos datos deberían ser entregados por el fabricante, pero si así no fuera el caso, se deberá someter dichos elementos a ensayos de laboratorios y test de presurización en algún proyecto piloto o de referencia.

Las viviendas deben disponer de los medios necesarios para que se puedan ventilar adecuadamente, eliminando los contaminantes que se producen de forma habitual en el interior del edificio. Se debe aportar un caudal suficiente de aire exterior que garantice la extracción y expulsión de aire viciado. Se debe asegurar que ingrese la tasa especificada y necesaria según dimensión del recinto o de la cantidad de personas que lo habitan.

Para alcanzar la ventilación requerida, la vivienda podrá demandar ciertos equipos, sistemas o dispositivos que permitan conseguir las condiciones de confort en el ambiente interior (Bustamante y Rozas, 2009). Las infiltraciones no deseadas que aportan aire exterior deben ser consideradas en el cálculo de ingreso de aire total.

La ventilación forzada no solo servirá para mantener la calidad de aire interior, sino que ayudará a evitar problemas severos de condensación superficial en los elementos interiores. Tal como se explicó dentro del desempeño “Transmitancia Higrotérmica de la envolvente”, la falta de ventilación en la vivienda es una de las principales causas de la aparición de condensación superficial, por lo que se espera ventilar los espacios de tal forma que no se alcance una humedad relativa alta, que asegure una adecuada calidad del aire interior y que se haga de forma controlada para que sea compatible con el confort térmico y la eficiencia energética (León et al, 2010). No es preciso el uso de sistemas complejos de ventilación, sino que se debe tener especial cuidado con ubicaciones de aberturas, diferencias de presión, etc. Y al mismo tiempo, no considerar la ventilación como un desempeño aislado, sino que realizar una interrelación entre este y otros desempeños al momento de querer mejorar energética y ambientalmente una vivienda. Una alta hermeticidad al aire puede traer problemas de mala calidad del aire interior, como también alta cantidad de humedad y condensación, debido a

esto se debe perseguir una relación de desempeños de manera integral en las estrategias de mejoramiento.

La contaminación intradomiciliaria (CID) constituye un problema de salud pública relevante, siendo uno de los principales riesgos para la salud en todo el mundo. Casi la mitad de la población mundial está expuesta a CID, especialmente por el uso de combustibles sólidos para calefacción y cocinar (Flores et al, 2010). Se estima que la CID es responsable del 36% de las infecciones respiratorias bajas y del 22% de los casos de enfermedad obstructiva crónica (OMS, 2002). En 1990, las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) constituyeron la quinta causa de muerte en el mundo, para pasar al cuarto lugar en el años 2000. Según la Organización Mundial de Salud, podrá ser la tercera causa de mortalidad en el año 2020 (Soriano y Miravittles, 2007).

La contaminación de espacios interiores puede ser un riesgo importante para la salud humana, si se considera que en general los individuos permanecen más del 80% de su tiempo en ambientes interiores y 60% de éste en sus hogares (Cáceres, 2001). Son distintos los factores que influyen la calidad de aire al interior de la vivienda: la principal contaminación dentro de las viviendas se debe a actividades cotidianas como cocinar y calefaccionar, para las cuales se utiliza combustibles que emiten contaminantes altamente tóxicos; el nivel de toxicidad que puede tener el ambiente exterior; fumar al interior, no ventilar bien, barrer, etc. (Lee, Li y Ao, 2002). El “síndrome del edificio enfermo” (Sick Buildig Syndrome – SBS) (Wong et al, 2009), se refiere específicamente a la descripción de diferentes síntomas que se perciben dentro de la vivienda, tales como: dolor de cabeza, respiración alterada, irritación nasal o visual, etc. El síntoma más común dentro de la vivienda es el desconfort nasal. La antigüedad y el tamaño de la construcción afecta directamente en el aumento o disminución de tal síndrome en la vivienda. Los edificios más antiguos tienden a tener problemas de mantención e higiene. En cambio, aquellos habitantes de edificios más grandes, consideran que su calidad de vida es mejor que aquellos que lo habitan en un espacio más reducido.

En relación a los espacios de una vivienda, un estudio (Lee et al, 2002) compara distintas viviendas en Hong Kong y demuestra que los niveles más elevados de CO₂ se encuentran en las cocinas y no en espacios de reunión, cómo el estar. La explicación se debe al tamaño de las cocinas, factor que coincide con lo sucedido en los casos de estudio de la presenta investigación. Dicho tamaño pequeño se veía aún más perjudicado con la presencia de una ventilación insuficiente.

Si estas situaciones no son acompañadas de un aporte suficiente de caudal de aire exterior, no se podrá garantizar la extracción y expulsión de aire viciado (Mwasha et al, 2011). Por lo que se espera considerar la calidad de aire interior como necesaria a considerar en una evaluación de la calidad de una vivienda existente.

Los criterios, o valores exigidos, para este desempeño pueden ser establecidos como uno promedio para toda la vivienda, o bien definir caudales por recintos de vivienda. En el CTE, en la sección HS3, sobre la Calidad del Aire Interior, se establecen caudales mínimos de ventilación según espacios dentro de una vivienda, superficie, posibles fuentes contaminantes y número de ocupantes, pero no se considera la trayectoria del aire desde que ingresa hasta que es extraído (Tabla 3.2). Por lo que, aunque se cumpla la normativa, se corre el riesgo de que otras zonas interiores presenten exceso o poca ventilación, afectando directamente la calidad del aire. Con los valores determinados según este método, se desarrolla una sumatoria por columna y finalmente se considera el caudal mayor que resulte de cuantificar las necesidades según la tasa de aire exterior por persona o por unidad de superficie.

Tabla 3.2: Valores límites establecidos por CTE para los caudales de ventilación exigidos por local de la vivienda (HS3 de CTE)

Locales	Caudal de Ventilación Mínimo Exigido (l/s)		
	Por Ocupante	Por m ² útil	En función de otros parámetros
Dormitorios	5	-	-
Salas de Estar y Comedores	3	-	-
Baños y Cuartos de Aseos	-	-	15 por local
Cocinas	-	2	50 por local ¹
Bodegas	-	0.7	-
Almacenes de Residuos	-	10	-

1: Caudal correspondiente a la ventilación puntual específica de la cocina

El estándar ASHRAE 62.1 (2013) establece la exigencia de 7,5 cfm por persona, al cual se le deben sumar 3 por cada 100 ft² en viviendas de alto rendimiento. La unidad de medida usada por un estándar u otro cambia según los tipos de mediciones y usos del país en que se esté realizando la medición. En esta investigación se utilizó l/s.

En la nueva norma propuesta por ASHRAE, se establece una alternativa al cálculo de ventilación. Esto porque plantean que puede existir una tasa de infiltración tal que logre satisfacer las necesidades de ventilación, o bien reducir la necesidad de ventilación mecánica.

Es el estándar ASHRAE el utilizado para determinar la ventilación permanente necesaria en este estudio (Se explica en mayor profundidad en el capítulo de Predicción de Desempeños de la Vivienda mediante Simulaciones Dinámicas). No se utiliza el método establecido por CTE,

ya que para poder desarrollarlo se hace necesario dividir en zonas las viviendas, y en esta investigación se simula la vivienda como una sola zona.

La manera más sencilla para alcanzar el caudal de ventilación mínima, es utilizar las ventanas, pero se arriesga una mayor pérdida de calor a través de ellas. Para evitar esto se incluirá en el estudio el uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor, el cual permite alcanzar el caudal, recuperar en un 60% el calor que se pierde hacia el exterior en el proceso de ventilación (goodhomes.org.uk, 2013) y minimizar los cambios de temperatura ambiente causados por la misma ventilación necesaria. Finalmente este sistema busca mantener un ambiente confortable y limpio, ahorrando energía por términos de climatización.

El indicador para la tasa de aire interior es el caudal de ventilación mínimo exigido, el cual puede ser medido de dos formas:

- Tasa de aire exterior por persona, Tap (l/s persona): caudal de aire exterior fresco por persona según programa de ocupación del recinto que consulta el proyecto
- Tasa de aire exterior por superficie, Tas (l/s m²): caudal de aire exterior fresco por unidad de superficie del recinto a ventilar.

Para los casos de estudio se estableció un valor único de ventilación para todas las viviendas: 1 l/s m². El cálculo de éste se explica con mayor detalle en el capítulo de diagnóstico.

La forma de comprobación del cumplimiento del caudal mínimo exigido para alcanzar la calidad de aire interior es mediante la monitorización de renovaciones de aire, las cuales deben medirse en la vivienda existente en su estado actual y otra medición final con los mejoramientos ya hechos.

3.2.3 Desempeños finales: indicadores, requisitos y variables de diseño

De los tres desempeños finales indicados como objetivos determinantes dentro de una vivienda social se identifican desempeños intermedios que tienen relación con el cumplimiento final de los objetivos. Todos ellos corresponden a propiedades físico-constructivas de la envolvente de la vivienda. A excepción del desempeño Calidad del Aire interior, donde no existe un desempeño intermedio, ya que basta con especificar el cumplimiento del estándar, siempre relacionado integralmente con los otros desempeños.

A partir de la revisión del estado del arte expuesta de los desempeños finales e intermedios que se buscan evaluar con los casos de estudio y basado el modelo nórdico NKB y en la estructura de definición de un desempeño de Lützkendorf et al (2005), se determinan que

variables de diseño pueden ser utilizadas para determinar estándares de exigencia. Para luego especificar los métodos de verificación empírica en obra que se deben aplicar para poder comprobar el cumplimiento del estándar (Tabla 3.3).

Tabla 3.3: Desempeños finales e intermedios con sus respectivos indicadores, variables de diseño y métodos de verificación.

Objetivo de Desempeños	Indicador de Objetivos de Desempeños	Desempeños Intermedios (Requisitos funcionales)	Indicador de Desempeños Intermedios	Variable de Diseño (Requisitos de Desempeños)	Método de verificación
		Transmitancia Térmica de la Envolvente	W/m ² K	Valor U Muro, techo, piso y vidrio	Termoflujometría según ASTM 518-10
Confort Térmico	Distribución de Frecuencia de Temperatura (%)	Aislación higrotérmica de la envolvente	$fR_{si} (sd) / fR_{simin} < fR_{si}$	Ocurrencia de condensación superficial	Monitorización de variables de temperatura y humedad relativa del aire según protocolo de medición
Eficiencia Energética	Demanda Energética para Calefacción (kWh/m ² año)	Hermeticidad al aire de envolvente	p(Pa)	Ocurrencia de condensación intersticial	Simulación de la solución del muro con software aceptado
		Cantidad de Superficie vidriada	ACH	Tasa de Infiltraciones de aire	Presurización según UNE13728:2003 (Blower Door).
			m ²	Porcentaje superficie vidriada hacia el norte	Levantamiento
Calidad del Aire Interior	Tasa de Aire Interior l/s por persona o l/s por m ²	-	-	Caudal de ventilación mínimo exigido	Monitorización de concentración de CO ₂

El modelo nórdico inicial sufre cierta transformación al ser necesaria la inclusión de los desempeños intermedios.

Los métodos de verificación una vez finalizado el mejoramiento en la vivienda existente, pueden ser distintos a los utilizados en la etapa de diagnóstico y diseño de mejoramiento. Por ejemplo para el desempeño de calidad de aire interior se debe diseñar considerando la tasa de aire mínima (l/s por m² o por persona), en cambio en la vivienda post-mejoramiento se debe monitorizar la concentración de CO₂ en el interior.

3.3 Estrategias de mejoramiento según objetivos estándares de desempeños prestacionales

A partir de una revisión de distintas estrategias de mejoramientos energético-ambientales basados en criterios prestacionales, se seleccionan aquellas que abordan las variables referidas a los factores que conforman los objetivos de desempeño a estudiar de las viviendas.

Cabe destacar que se seleccionan directrices y metodologías de estrategias, porque como ya se hecho mención, no es objetivo de esta tesis replicar distintas estrategias que se hayan implementado en otras viviendas. Si se seleccionan algunos ejemplos para poder hacer un estudio económico dentro de los resultados de los casos de estudios (Capítulo 8).

3.3.1 Estrategias para mejorar la Transmitancia Térmica de la Envolvente

El calor se pierde a través de la envolvente del edificio, por la infiltración de aire, por ventilación, por puentes térmicos en uniones, estos últimos sobre todo en construcciones de madera (Wright, 2008).

La envolvente deberá ser mejorada de tal manera que permita limitar adecuadamente la demanda energética para alcanzar los requerimientos de confort térmico. La estrategia más clara para disminuir el valor U de un elemento de la envolvente es colocar mayor aislación térmica, derivando en variados beneficios (Mohammad y Al-Homoud, 2005):

- aumenta el ahorro de energía y costos para calefaccionar
- se extiende el periodo de confort interior
- se extiende la vida útil del edificio
- se previene la condensación de vapor en la superficie de los muros perimetrales. Esto si se ha considerado otras variables que podrían ser perjudiciales para la condensación, como por ejemplo la mala colocación del aislante.
- se reducen los puentes térmicos.

Las predicciones de ahorro al aislar los muros por sobre los otros configurantes (techos y pisos) son más precisas, ya que se logra reducir la conductividad, las infiltraciones y la convección dentro del elemento (Cohe et al, 1991). Evidentemente los principales beneficios económicos y con mayor impacto en el ahorro energético se manifiestan en viviendas sin ningún tipo de aislación, donde ya una primera capa de aislación es eficaz y rentable (Verbeeck y Hens, 2005). En climas fríos, aquellas viviendas que se aíslan por el lado interior del muro demuestran mayor ahorro energético que aquellas aisladas en el exterior. Pero para

decidir por cual lado aislar, se deben considerar otro tipo de factores, como las molestias causada a los usuarios o el tiempo requerido, por ejemplo.

No basta solo con aislar térmicamente mejor los muros perimetrales, ya que mientras otras variables, como la aislación higrotérmica en ellos, permeabilidad del aire y/o calidad del aire interior, no sean consideradas al momento de establecer un mejoramiento de la vivienda, el esfuerzo por mejorar la transmitancia térmica puede ser insuficiente y no tendrá mayor aporte en la disminución de demanda energética. Para aclarar este tipo de tendencias es que se desarrolla un estudio multifactorial en los mejoramientos de la vivienda, con el objetivo de descubrir cuáles son los desempeños que deben interactuar de forma integral.

3.3.2 Estrategias para mejorar la Aislación Higrotérmica de la Envolvente

Las soluciones para los problemas de humedad pueden ser difíciles de lograr, ya que existe una interacción entre varios mecanismos de “transporte” de la humedad en el elemento. El rendimiento higrotérmico de los sistemas de cerramiento exterior de la construcción (muros, techos y pisos) se ven mayormente afectados por el contenido de humedad exterior, que pueden ser intencionales o no, dejando filtrar, hacia o desde el exterior, humedad y aire (Salonvaara y Ojanen, 2003). Para poder evitar este fenómeno, se debe proponer una solución para minimizar el flujo de humedad desde el interior de las estructuras, ubicando en el lado interior de la envolvente una adecuada resistencia al vapor y estanqueidad al aire.

Para controlar el flujo de la humedad en la estructura de la pared, se han ideado y usado las barreras de vapor, las cuales corresponden a materiales o sistemas que retardan la transmisión de vapor de agua a través del muro. Debido a las humedades relativas superiores del interior, especialmente en climas cálidos y húmedos, se utilizan des-humidificadores para aumentar los niveles de confort de las personas y se incorporan barreras de vapor cerca de la parte con más altas temperaturas de la estructura de la pared.

El retardar el paso del vapor a través del muro cumple una gran función. De lo contrario, la condensación puede aparecer en la estructura y los elementos de cierre del muro. En climas cálidos, una buena estrategia es provocar ciertos espacios abiertos hacia el interior en el muro, para poder difundir el vapor y permitir un secado rápido de la estructura conformante de la envolvente. En cambio para climas fríos, esta solución puede provocar un riesgo aun mayor y permite la acumulación de humedad dentro del muro (Salonvaara y Ojanen, 2003). Debido a esto, la decisión de en qué posición dentro del elemento se debe colocar la barrera de vapor es

una fundamental estrategia para evitar acumulación de humedad tanto en el muro, como en el espacio interior. Para Xing et al (2011) aislar un muro existente por el exterior permite no dejar puentes térmicos en el interior del muro y reduce el riesgo de condensación.

El uso de ventilación mecánica en espacios húmedos, como baños y cocinas, permite controlar el intercambio de flujos de aire. Con esta solución se busca: evitar sobre-ventilar, y por ende reducir el consumo energético; asegurar el intercambio de un mínimo de aire para alcanzar el caudal esperado; controlar la humedad en el espacio y en la superficie de la envolvente.

Cohen et al (1991) plantea otra estrategia ligada al diseño en la vivienda, la cual consta en crear un espacio temperado, que zonifica y climatiza sólo una parte de la casa. Para él, resulta tener ahorros energéticos significativos y con un costo comparable a los invertidos en sistemas de calefacción convencionales. Pero en el caso de las viviendas sociales, no parece ser tan factible por la superficie construida, la cual es ocupada en su totalidad por sus usuarios, que suelen ser más de los presupuestados.

3.3.3 Estrategias para mejorar la Hermeticidad al aire de la envolvente

Muchos edificios tienen fugas de calor a través de brechas en la envolvente, las cuales pueden ser fuertemente reducidas por mejoramientos en la estanqueidad al aire del edificio. Llega a ser una de las medidas de eficiencia energética más baratas y eficaces. Los diferentes tipos de materiales incluyen cepillos, espumas, selladores, burletes, y cintas (Xing et al, 2011).

Se recomienda para una futura complementación de la Reglamentación Térmica, establecer estándares de hermeticidad en la vivienda, teniendo en consideración las zonas climáticas de Chile, además de una diferenciación según el tipo de ventilación y tipología de la vivienda que permita un mejor control de las infiltraciones indeseadas de aire desde el exterior.

Un estudio de mejoramiento, que buscaba aumentar la hermeticidad al aire de la vivienda, propuso la instalación de una nueva envoltura de la vivienda en los muros exteriores, además de un completo sellado de fugas puntuales como pueden ser las conexiones sanitarias y eléctricas en pisos y techumbres (Nabinger y Persily, 2011). Los sellados se ejecutan con una pulverización de espuma que se expande y luego se endurece en las fugas (Figura 3.2). Como resultado se logró disminuir la tasa de infiltración de aire en 24%, además de reducir en la demanda energética por calefacción en 11,6%.



Figura 3.2: Imágenes del antes y después de la estrategia de sellados en pisos y techumbres (Nabinger y Persily, 2011).

Para calefaccionar viviendas en Chile es recurrente contar con estufas de combustión lenta, que contienen una conexión con el exterior, la cual es propensa a manifestar infiltraciones de aire en su contacto con la techumbre, debido principalmente a una mala instalación.

El ensayo de hermeticidad, mediante la presurización de la vivienda, es muy efectivo al momento de querer conocer la tasa de infiltración de aire que existe en una vivienda, pero no permite conocer con exactitud cuáles son los puntos de la envolvente donde se producen las fugas de aire. Para poder complementar este análisis y localizar las grietas, existen dos métodos válidos: (1) utilizar termografía infrarroja, que permite identificar las fugas mediante el color de la envolvente arrojado en la fotografía final, y (2) utilización de generadores de humos durante el test, permitiendo la detección de infiltraciones y sus trayectorias.

3.3.4 Estrategias para mejorar la Calidad del Aire Interior

Si se desea obtener una alta calidad de aire en el interior y al mismo tiempo un bajo consumo de energía por términos de ventilación, se deben combinar dos exigencias opuestas: por un lado, la tasa de flujo de aire debe ser la adecuada para garantizar la calidad del aire y para controlar la humedad relativa al interior; y por otro lado, se exige garantizar un caudal mínimo sin exceder el rango establecido para evitar pérdidas de calor desde el interior.

La solución más sencilla y efectiva para atacar el problema de una deficiente calidad del aire interior, es aumentar la ventilación, ya que así aumenta la cantidad de aire fresco que entra, teniendo influencia directa sobre la carga de energía (Samuel, 2009). El tipo de sistema que se ocupa para entregar ventilación, independientemente del comportamiento de los usuarios que habiten la vivienda, puede ser mecánico, natural o híbrido, siendo el primero el menos eficiente por su consumo energético. Independiente del sistema de impulsión de la ventilación

usado, será de suma importancia la ubicación de las aberturas de ingreso y salida de aire, ya que tienen gran incidencia en términos de eficiencia de renovación de aire en un local.

Para una correcta ventilación se recomienda buscar con exactitud estas aberturas para el ingreso y extracción de aire en un espacio. Las aberturas deben ir situadas en donde se observen las mejores eficiencias en la renovación de aire del recinto, y es a partir de ellas como se debe diseñar el espacio (Meiss y Feijo, 2011). Otras medidas alternativas que pueden maximizar la eficiencia del espacio con respecto a la calidad de aire, son: cambiar la altura de las aberturas, modificar las velocidades de ingreso de aire, o el ángulo de entrada del caudal de aire, etc.

Es normal que la calidad de aire interior se controle con la estrategia del ingreso de aire desde el exterior de forma natural. Sin embargo, esta solución se hace poco sostenible en ciertas épocas del año. En invierno por ejemplo, abrir una ventana provoca el ingreso de temperaturas inferiores al interior, aumentando el consumo energético en calefacción. Además, ocurre que si bien el diseño de ingreso de aire a un recinto cumple con la normativa y exigencias mínimas, puede suceder que existan zonas en el interior donde el aire está estancado y no se renueva. En la figura 3.3 se observa esta situación, donde el aire ingresa por debajo de una puerta y sale del ambiente por una situación similar en otra puerta que se encuentra en frente. La diferencia de tonalidades acusa aquellas zonas donde el aire es estanco, lo que permite concluir que solo una porción de aire que ingresó se dispersa en el espacio. Por lo tanto, el caudal de aire ingresado cumple con la Normativa, pero no es eficiente al momento de proveer aire a toda la zona.

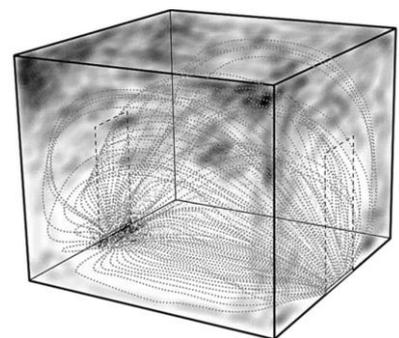


Figura 3.3: Sistema de Ventilación en Funcionamiento (Meiss y Feijo, 2011)

El método más eficaz para asegurar un buen control de calidad de aire interior y el contenido de humedad en las viviendas sociales, es la ventilación mecánica (Bustamante et al, 2009). A éste se le puede incluir un sistema de recuperación de calor (HRV), el cual en conjunto permite ahorrar energía de calefacción y alcanzar un buen nivel de calidad de aire dentro de la

vivienda, disminuyendo el uso de fuentes de calor. Esto no solo significa un beneficio para el usuario, sino que se mitigará el daño por humedad en los edificios (IEE, 2008).

El uso de este tipo de sistemas de ventilación con HRV requiere de una alta hermeticidad en la envolvente, asegurando un mínimo intercambio de aire por infiltración, por lo tanto se hace más necesaria la renovación del aire por ventilación. Ésta al ser causada por la apertura de ventanas no garantiza alta eficiencia, ya que se pierde energía desde el interior, y no certifica el caudal de aire mínimo, sobre todo en invierno, cuando las ventanas no son abiertas de la misma manera que en otras temporadas del año. El sistema de ventilación con recuperación de calor logra precalentar el aire que se inyecta a la vivienda, ayudando a no disminuir la temperatura interior con el aire renovado que ingresa en conjunto con una ventilación adecuada. La instalación que requiere, dependerá del espacio a ventilar. En la Figura 3.4 se observa como la instalación pudo ser efectiva dentro de un closet para una vivienda de 90 m², por ende en una vivienda social, el espacio requerido es mucho menor.



Figura 3.4: Sistema de Ventilación con recuperación de calor dentro de un closet (Intelliget Energy Europe, 2008).

Para El Fouih et al (2012) el uso de un sistema de ventilación con HRV es de gran aporte en edificios residenciales (donde normalmente se ventila durante todo el día) y por sobre todo en climas fríos. Existen variables que influyen en cuanto más o menos eficiente es el sistema, tales como: demanda de energía de la edificación y la tasa de infiltraciones de aire que esta puede tener. El autor compara un departamento que tiene mayor hermeticidad al aire en su envolvente y menor demanda energética por calefacción con una vivienda unifamiliar estándar. La acumulación de calor en el interior del departamento permite aumentar en 2°C la

temperatura promedio por encima de la temperatura aumentada en la vivienda. Esta diferencia aumenta el potencial de recuperación y hace al sistema más eficiente.

Otra comparación hecha por Dodo, Gustavsson y Sathre (2011) de dos viviendas idénticas con el mismo sistema de ventilación, pero una con recuperación de calor y la otra sin. El objetivo es conocer la demanda energética de ambos, obteniendo como resultado que la vivienda que si ocupa el recuperador de calor demanda 50 kWh/m², en cambio la otra vivienda 70 kWh/m², es decir el uso del HRV logra hacer de la vivienda 22% más eficiente. Pero, también es importante conocer que la energía necesaria para el funcionamiento del sistema de ventilación aumenta de 4 a 8 kWh/m² año. Realizan una segunda comparación, utilizando la misma vivienda pero con mejoras en la tasa de infiltración de aire, resultando ser 18% más eficiente que la vivienda original, concluyendo que la hermeticidad al aire de la envolvente tiene directa implicancia en la efectividad del uso del sistema con HRV.

Estos sistemas permiten ser diseñados de tal forma que el intercambiador de aire-aire sea reducido durante el invierno para hacer más eficiente el intercambio, y durante el verano en cambio, se cuenta con un bypass que intercambia el calor, debido a que la recuperación de calor tiende a aumentar la temperatura interior. El bypass puede ser diseñado como un control que se activa o desactiva manualmente, facilitando el uso por parte del usuario.

3.4 Conclusiones Capítulo 03

Los criterios de desempeño representan objetivos finales dentro del mejoramiento energético-ambiental, y son identificados por ciertos estándares que se establecen como requisitos mínimos a cumplir. Para esta investigación se definen desempeños de orden cuantitativo, atendiendo a tres necesidades de una vivienda: eficiencia energética por demanda de calefacción, confort térmico y calidad del aire interior.

Se especifica que estos tres desempeños deben estar relacionados de forma integral al momento de proponer un mejoramiento energético-ambiental en una vivienda existente. Teniendo en consideración que cada uno de estos tres desempeños debe tener identificado cuales son aquellas variables relevantes en el cumplimiento del objetivo final.

Se propone trabajar con estrategias con enfoque prestacional y no prescriptivo, como comúnmente se hace en mejoramientos de viviendas existentes. El objetivo de esto es poder ampliar las posibilidades de estrategias, que se realicen con el único fin de cumplir lo exigido por el desempeño final, independiente de la solución que se esté entregando. Establecer estrategias basadas en criterios y desempeños prestacionales permite proponer múltiples opciones para alcanzar la solución.

Los desempeños a evaluar suelen ser fenómenos multidimensionales y que requieren un enfoque multidimensional también, el cual contenga distintos y eficaces indicadores de rendimiento acorde al desempeño medido. Debido a esto los desempeños intermedios suelen ser más de uno y deben ser considerados de manera integral al momento de evaluar y mejorar un de objetivo desempeño final.

Las variables de diseño que se deben intervenir para alcanzar los objetivos corresponden solo a aquellas que puedan ser modificables. Es decir, no es posible considerar variables como ubicación de la vivienda, como si se pudiese hacer al momento de diseñar una construcción nueva.

Los desempeños finales de eficiencia energética por demanda de calefacción y confort térmico al interior se ven influenciados por los mismos factores, por lo que se deben agrupar al momento de diagnosticar y establecer criterios. A diferencia del desempeño de calidad del aire interior que no necesita de un desempeño intermedio, sino que para él se debe especificar la tasa de aire interior a alcanzar.

Al tratarse de un mejoramiento energético-ambiental en viviendas existentes, los métodos de verificación no son siempre los mismos que se utilizan para conocer el estado actual de la vivienda construida. Los métodos que se usan para el diagnóstico físico-constructivo de un caso pueden ser variados (numéricos, experimentales, de simulación, encuestas, etc.) y complementarios entre sí. En el siguiente capítulo se casos de estudios representativos, para someterlos una evaluación post ocupacional, que significa realizar un diagnóstico con la vivienda en uso.

DEFINICIÓN DE CASOS DE ESTUDIO | 04



Paulina Wegertseder: Integración de criterios de desempeños en el mejoramiento energético-ambiental de viviendas existentes

DEFINICIÓN DE CASOS DE ESTUDIO | 04

4.1 Lugar de Estudio

Desde el Censo del año 2002 a la fecha, la Región del Bio - Bío, junto con la de Valparaíso, han sido las que más dinamismo y crecimiento de número de hogares han mostrado, después de la Región Metropolitana. Éstas escalan por sobre las 500 mil unidades domésticas hacia el 2008 (Arriagada y Moreno, 2008).

Con respecto a los subsidios entregados destinados al mejoramiento de las viviendas existentes (no solo bajo términos energético-ambientales), la Región del Bío-Bío sigue a las regiones de la Araucanía y Metropolitana (Figura 4.1). Se justifica que la Región de la Araucanía muestre una alta necesidad de subsidio, específicamente de mejoramiento térmico, debido a su condición de región piloto por mostrar al alto grado de contaminación, atribuible al excesivo uso de leña en el hogar. Por último la Región Metropolitana muestra la mayor cantidad, ya que es donde se encuentra la mayoría de la población respecto a su tamaño.

El mismo Censo registró en la Región del Bío – Bío un total de 1.861.562 habitantes, representando 12,3% de la población nacional, alcanzado una densidad de 50,22 hab/km². Esta región ocupa el segundo lugar entre las más pobladas del país y es por esto que se puede justificar que sea la región donde se han otorgado la segunda mayoría de los subsidios del país para la adjudicación de viviendas nuevas.

Durante el año 2010 la superficie total autorizada de edificación en la Región Biobío fue de 1.343.737 m² incluyendo obras nuevas y ampliaciones, cifra que decrece en 31,3% respecto al año 2009. Esto se explica principalmente por el efecto del terremoto y tsunami 27/F, en el cual se registraron los mayores efectos negativos en la región (INE, 2010).

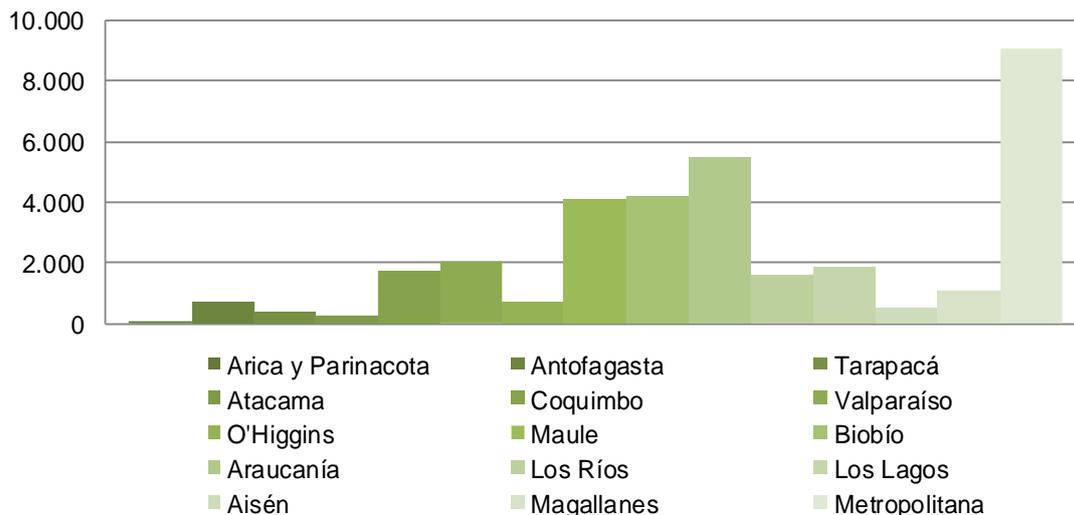


Figura 4.1: Número de Subsidios Otorgados del Programa de Protección Del Patrimonio Familiar, Título II (Mejoramiento de vivienda). Año 2011 (Observatorio Habitacional, 2012).

Las obras nuevas en el año 2010, presentan una disminución de 30,3% totalizando 1.167.323 m². El número de viviendas construidas alcanzaron a 13.957 unidades que significaron 865.319 m² de superficie. Comparado con el año 2009, las unidades muestran una disminución de 34,6% y la superficie de 32,0% (INE, 2010).

Geográficamente, la Región del Bío – Bío se enmarca entre los 36° 00' y 38° 30' de latitud Sur y entre los 71° 00' de longitud Oeste hasta el Océano Pacífico, específicamente en el centro-sur de Chile. La capital regional es la ciudad de Concepción, importante centro urbano e industrial del país, localizado a 36° 50' de latitud Sur y 73° 02' de longitud Oeste.

La región del Bío-Bío es integrada por cuatro provincias, siendo la de Concepción la que mayor población regional tiene. Además, esta provincia lidera con 59,3% de la superficie aprobada de edificación del año 2008 (INE, 2010). Por estas razones estadísticas y de influencia de la región a nivel nacional, es que se elige la provincia de Concepción como lugar de estudio, donde se determinarían los casos representativos a diagnosticar.

La provincia de Concepción está compuesta por 12 comunas, entre ellas, Concepción. Dentro de estas delimitaciones territoriales, se encuentra la comuna Hualpén, la cual presenta los más altos índices de viviendas sociales construidas por sobre las viviendas particulares (esto se determina luego de un recorrido por comunas aledañas a la ciudad de Concepción, de entrevistas en Municipalidades y catastro fotográfico). Además de ser una comuna conocida por tener bajos ingresos económicos por su condición de comuna “joven”. La población de

Hualpén es de 87.000 personas, tercer lugar en cantidad de habitantes por comuna en la provincia.

Es sólo en el año 2004, según el Artículo 1° de la Ley N° 19.936 (D.O. 13.03.04), cuando se crea la comuna de Hualpén, la cual comprende un sector que antes pertenecía a la comuna Talcahuano. Para el funcionamiento de esta nueva comuna fue necesario crear una municipalidad y transferir el dominio de los bienes inmuebles de la propiedad de Talcahuano situados en la nueva comuna, entre ellas el parque habitacional que ya había sido construido.

Hualpén forma parte del Área Metropolitana del Gran Concepción (AMC), localizada dentro de un territorio costero. Además de Hualpén, AMC está compuesto por otras 5 comunas (Concepción, Chiguayante, Penco, San Pedro y Talcahuano), formando un núcleo central urbanizado (Rojas et al, 2006).

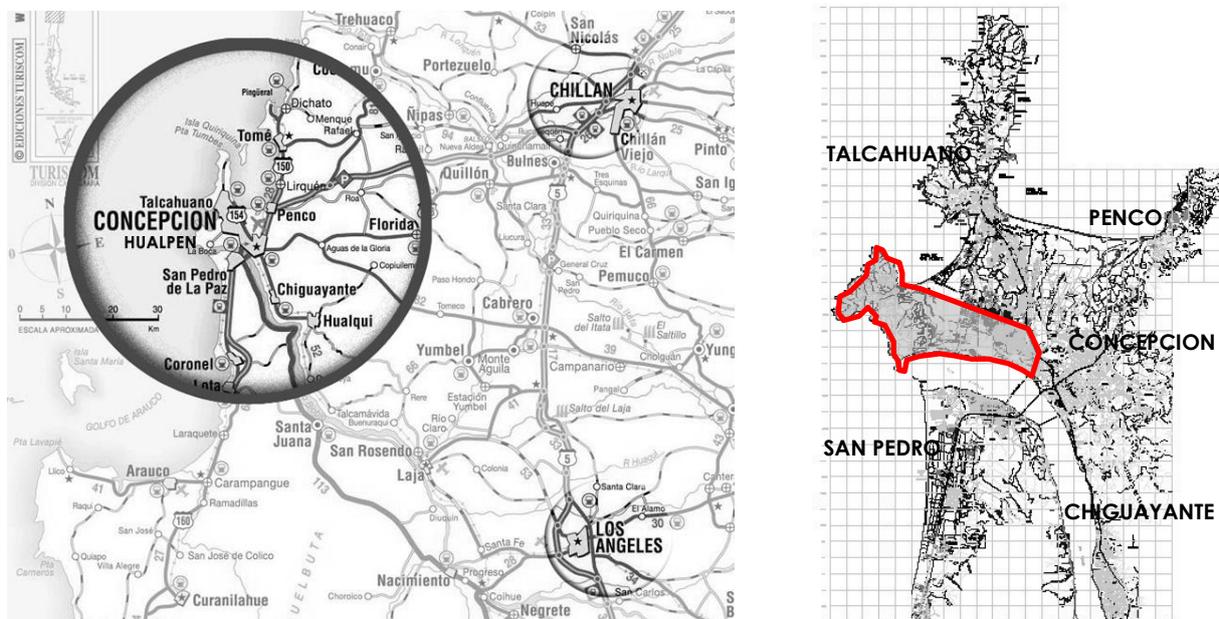


Figura 4.2: Ubicación de Hualpén en la Región del Bío – Bío. Der.: Ubicación de Hualpén en la Provincia de Concepción.

La comuna tiene la particularidad de ser un territorio mayoritariamente ribereño: 29,2 km lineales de borde costero con el océano Pacífico y 4,9 km lineales de borde fluvial con el río Bío – Bío. Es decir 74,8% del perímetro comunal están en contacto con el elemento agua (Román, 2005). Esto puede ser beneficioso en una planificación territorial, pero también puede conllevar distintos problemas en construcciones, al ser estas levantadas sobre terrenos muy húmedos y con bajos presupuestos. Esta situación es importante al querer diagnosticar viviendas que hayan sido construidas bajo éste tipo de problemas, ya que permite entender cómo pueden producirse ciertas tipologías relacionadas con la humedad.

4.1.1 Caracterización Climática

La región corresponde a una zona de transición bioclimática entre el clima mediterráneo del centro de Chile y el clima templado-frío, característico al sur del país. Haciendo uso de la clasificación empírica de las distintas zonas climáticas de Wladimir Köppen (Inzunza, 2005), donde los climas son definidos principalmente por los valores medios anuales y mensuales de la temperatura y de la precipitación. Se define de esta forma el clima de la comuna Hualpén como: Templado Cálido con Estación Seca Corta (Csb)¹.

En el contexto chileno, mediante la Zonificación Térmica, del Manual de Aplicación Reglamentación Térmica (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones Artículo 4.1.10), se clasifica a Hualpén dentro de la zona 4.

Las exigencias planteadas en la Reglamentación Térmica, para todas las zonas, indican que los complejos de techumbre, muros y pisos ventilados, 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. En las Tablas 4.1 y 4.2 se pueden ver en mayor detalle cuales son los valores U establecidos como límites para cada zona.

Las ventanas están consideradas como elementos constructivos que constituyen los vanos vidriados de la envolvente de la vivienda y deberán cumplir con las exigencias establecidas en la RT.

Tabla 4.1: Transmitancia y Resistencia Térmica para cada zona térmica (O.G.U.C 4.1.10).

Zona	Techumbre		Muros		Pisos Ventilados	
	U W/m ² K	Rt m ² K/W	U W/m ² K	Rt m ² K/W	U W/m ² K	Rt 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

C: Climas templados lluviosos. El mes más frío tiene una temperatura media comprendida entre 18°C y -3°C, y la media del mes más cálido supera los 10°C.

S: clima con estación seca en verano.

B: la temperatura media del mes más cálido es inferior a 22°C, pero con temperaturas medias de al menos cuatro meses superiores a 10°.

Tabla 4.2: Porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a parámetros verticales de la envolvente (O.G.U.C 4.1.10).

Ventanas			
Zona	% Máximo de Superficie Vidriada Respecto a Paramentos Verticales de la Envolvente		
	Vidrio Monolítico	DVH	
		Doble Vidrio 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%

4.2 Selección de Casos de Estudio

Para poder determinar tipológicamente las viviendas más representativas de un stock existente y someterlas a un diagnóstico físico-constructivo, existen distintas variables a considerar, tales como: diferenciar entre aquellas multi o unifamiliar, por su año de construcción, materialidad, etc. Pero para Theodoridou, Papadopoulos y Hegger (2011) no basta, y establecen la necesidad de conocer la tipología de la vivienda con mayor detalle junto con su comportamiento energético para crear una relación interactiva entre los parámetros de eficiencia energética y su viabilidad económica, además de permitir evaluar estrategias energéticas de mejoramiento. Entonces, con el objetivo de querer lograr una agrupación razonable y útil, es preciso identificar las clasificaciones en base a distintos parámetros como: año de construcción, número de niveles, destino (habitacional, educacional, etc.), los procedimientos políticos y sociales, materialidad, inclinación de techumbre y si su ubicación es urbana o rural, entre otros pertinentes a cada investigación.

Para la selección de casos se utilizan los certificados de recepción de viviendas construidas antes del año 2000. No se consideran las viviendas construidas posteriormente ya que éstas tienen alguna consideración energética por haber sido normadas bajo la primera etapa de la Reglamentación Térmica chilena. Esta selección se desarrolla con material entregado por la Dirección de Obra de la municipalidad. La información no había sido almacenada digitalmente, por lo que el procedimiento para armar el listado de viviendas construidas, fue recopilar datos a partir de la planimetría de loteo en la comuna.

Se crea un plano referencial de la comuna indicando los barrios y sus unidades residenciales (Figura 4.3). La información de este plano se organiza en planillas donde se indica: el nombre del barrio, año de recepción municipal, tipo de vivienda (pareada, continua o aislada), superficie total construida, número de pisos, materialidad, cantidad de viviendas, avalúo total y clasificación (vivienda social o particular).

El ítem “Cantidad de vivienda” sirve para conocer la cantidad de veces que se repite esa unidad de vivienda con sus respectivas características. Esta información permite considerar aquellas viviendas que se repetían de forma masiva², para luego seleccionar las que más incidencia tengan en el contexto construido. Al tener estrategias y estudios en un tipo de

² Para la CDT (2010) el término “masivo” significa que las viviendas se repiten más de 100 veces en la misma comuna y determinan que “conglomerado” será la unión de aproximadamente 100 vivienda ocupadas, lo que presenta ventajas metodológicas frente a las manzanas, debido a su homogeneidad interna logrando una mejor estimación de los resultados.

vivienda, puedan ser usados como base en otra de la misma tipología, optimizando tiempo y recursos. Es importante recalcar si, que lo que busca fomentar esta tesis, no es la repetición sucesiva de estrategias de mejoramiento, si no que mediante ellas buscar objetivos que sean establecidos para desempeños que no han sido considerados. Además, el hecho de considerar viviendas repetidas reiteradas veces permite concluir simplemente cuál es la tipología más construida, en cuanto a su superficie, materialidad, etc.

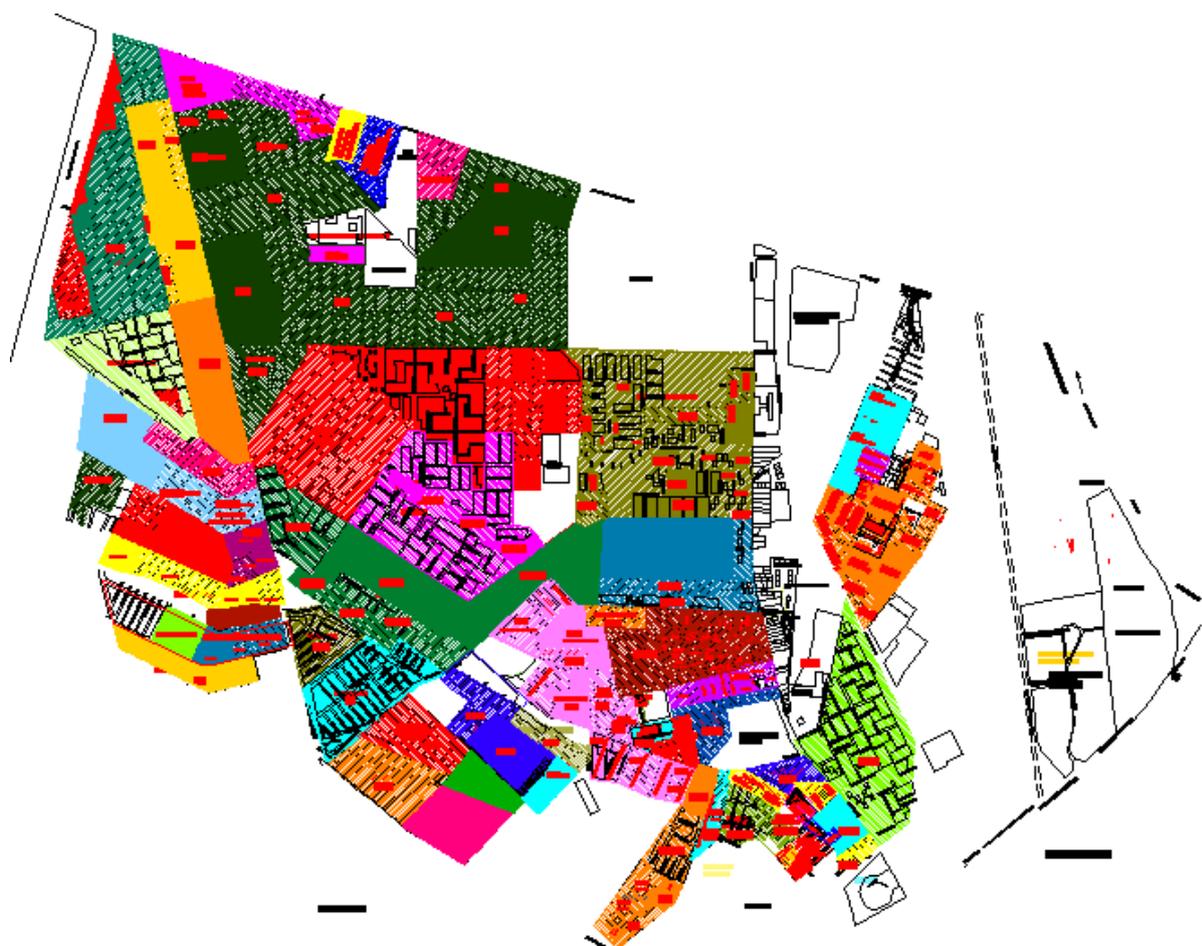


Figura 4.3: Plano referencial de la Comuna Hualpén indicando barrios y sectores (Elaboración propia en base a información de DOM Hualpén, 2011).

Conocer la superficie en esta etapa sirve para la selección de la muestra, pero luego será importante para determinar el consumo de energía en calefacción por m^2 de cada vivienda mediante el cálculo manual y las simulaciones.

La vivienda social en la comuna de Hualpén representa 81,80% del total construido, mientras que la vivienda no subsidiada corresponde a 16,33% (Figura 4.5). En la comuna fueron entregadas instalaciones sanitarias, las cuales eran el comienzo de una auto-construcción y que nunca llegaron a ser recepcionadas como viviendas (1,87%). El total de las viviendas

consideradas, o bien con registro en la Municipalidad, son 15.897 unidades. No fueron incluidos en este estudio los bloques habitacionales, o departamentos multifamiliares.



Figura 4.5: Clasificación según tipo de vivienda.

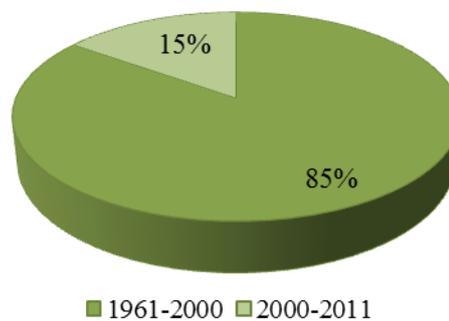


Figura 4.6: Viviendas Sociales construidas con y sin Reglamentación Térmica.

Las viviendas sociales construidas antes de la implementación de la Reglamentación Térmica corresponden al 84,86% de las viviendas existentes hasta el año 2011 (Figura 4.6). Por lo que trabajar con ellas no solo significó considerar aquellas sin Reglamentación Térmica, sino que además un grupo totalmente representativo del lugar. Con respecto a los años de construcción, se separaron en grupos por décadas a partir del año 1961. Se consideró este año como inicial, ya que la información anterior a éste era deficiente y muchas de las viviendas construidas en esos años ya no estaban vigentes.

Las viviendas construidas durante la primera década representan la mayor cantidad construida con 34,44%, seguida por las construidas en la década del 70 donde representan 20,33% en la actualidad (Figura 4.7). Luego las viviendas edificadas entre el año 81 y 90 constituyen el 18,24%. En la siguiente década el descenso de construcciones de viviendas es aún mayor y se ve representado con 11,86%, se justifica esta disminución por el cambio de gobierno que existió en Chile, el cual se manifestó en cambio de normas y prácticas habitacionales, además de una fuerte crisis financiera a nivel mundial ya a fines de los años 90.

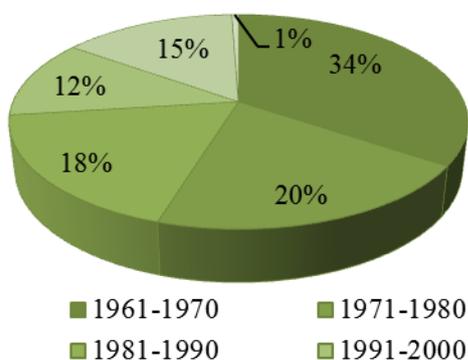


Figura 4.7: Cantidad de Viviendas Sociales construidas en cada década desde el año 1961 hasta el año 2011.

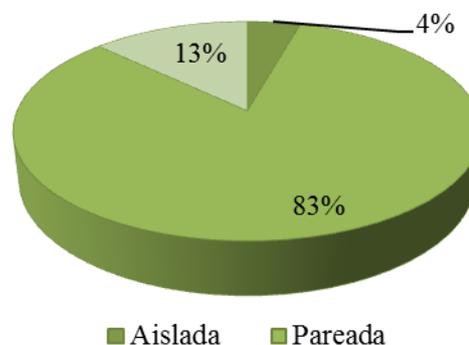


Figura 4.8: Cantidad de Viviendas Sociales Construidas según Tipología.

Considerando sólo las viviendas construidas antes del 2000, que constituyen el universo de esta tesis, se extraen las siguientes conclusiones.

En relación a la forma de agrupación de las viviendas, se observa una amplia tendencia hacia la agrupación pareada, es decir un bloque de vivienda corresponde a dos unidades residenciales (82,63%) (Figura 4.8). La segunda forma más representativa es la continua (12,97%), que corresponde a aquellas viviendas construidas en filas, de cuatro o más viviendas. Las cuales dejan a las viviendas intermedias pareadas por ambos lados y a las de los extremos solo por uno. Finalmente el tipo de vivienda menos construido son las dispuestas de forma aislada, con un 4,4%. Esto se debe a que es una forma de construir poco rentable para el mandante, en este caso el municipio, perdiendo sitios disponibles.

Para definir cuál superficie construida es la más representativa, se decidió separar grupos cada 10 m² de crecimiento. Obteniendo que la mayoría de las viviendas construidas tenían entre 30 - 40m² y 40 - 50m², siendo representadas con 39,65% y 38,49% respectivamente (Figura 4.9).

La mayoría de las viviendas sociales construidas antes del año 2000 fueron diseñadas en un solo nivel (72,27%), siendo el porcentaje restante construido en dos niveles representan el 27,73% del total (Figura 4.10). No existen viviendas sociales construidas en tres niveles.

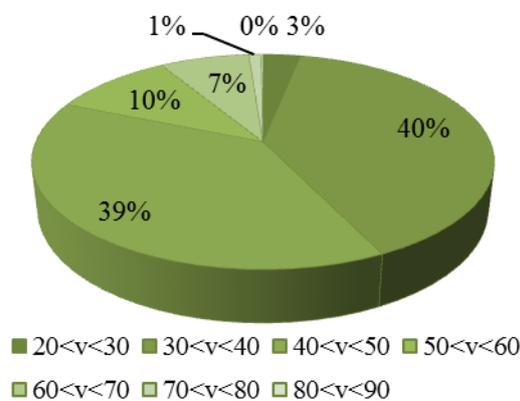


Figura 4.9: Cantidad de Viviendas Sociales Construidas según Superficie.

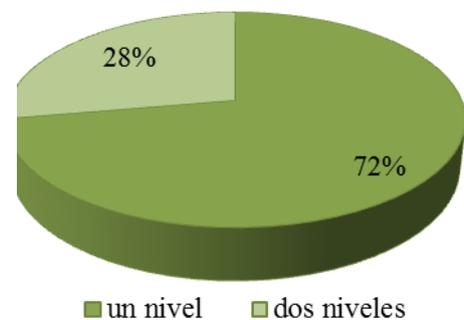


Figura 4.10: Cantidad de Viviendas Sociales construidas según 1 o 2 niveles.

Especificando la materialidad usada para estos dos tipos de viviendas (uno o dos niveles), se obtiene que para las de una sola planta, el material más implementado es la madera (52,45%) seguido por la albañilería (35,90%) (Figura 4.11). En cambio para aquellas viviendas construidas en dos niveles, la materialidad más representativa es la albañilería (44,35%). En segundo lugar la materialidad más usada es mixta, ocupando en el primer nivel albañilería y en el segundo madera (34,94%), seguido a esto esta la madera en toda la construcción, representada por 20,45% (Figura 4.12).

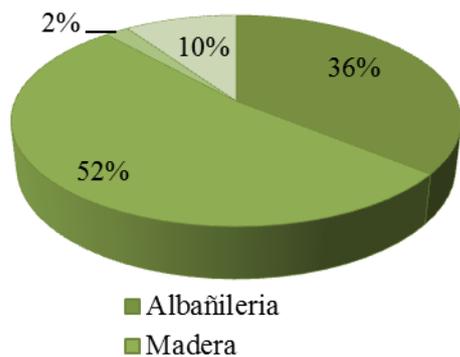


Figura 4.11: Materialidad más utilizada en Viviendas Sociales de 1 nivel.

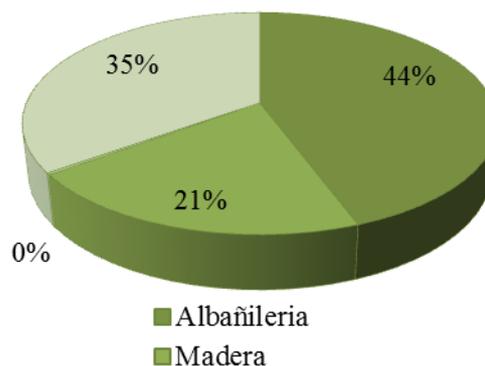


Figura 4.12: Materialidad más utilizada en Viviendas Sociales de 2 niveles.

En relación a la tasación de la vivienda, serán consideradas solo aquellas que están por debajo de las 650 UF, ya que éste es el límite que establece el MINVU para poder brindar el subsidio. En esta investigación el costo-beneficio será estudiado con el dinero que el subsidio entrega, por lo que considerar aquellas viviendas tasadas en menos de 650UF hará más real la selección de caso y el estudio en ellas. Las que son tasadas por menos del monto especificado corresponden al 89,95% de las viviendas sociales construidas en la comuna.

Luego de analizar las variables por separado, se efectúa un estudio multifactorial con el objetivo de obtener los casos más representativos de forma estadística, relacionando todas las variables involucradas. Se establecen tres categorías: (a) tipo de vivienda, (b) número de pisos y (c) materialidad; y tres niveles para la categoría (a): (a1) continua, (a2) pareada y (a3) aislada; dos niveles para la categoría (b): (b1) 1 piso y (b2) 2 pisos; y tres niveles para la categoría (c): (c1) albañilería, (c2) madera y (c3) mixta (albañilería y madera). (Tabla 4.3).

Tabla 4.3: Categorías y niveles para el estudio multifactorial.

Categoría De Factores	Niveles	
a. Tipo Vivienda	Continua	(a1)
	Pareada	(a2)
	Aislada	(a3)
b. Número de pisos	1	(b1)
	2	(b2)
c. Materialidad	Albañilería	(c1)
	Madera	(c2)
	Mixta (Alb.+Mad)	(c3)

Estas variables con combinadas en todas sus posibilidades, hasta obtener 18 resultados, donde cada uno de ellos representa una tipología según los niveles propuestos. Ciertas tipologías no se identificaban únicamente en un barrio, sino que era posible encontrarlas replicadas en distintos sectores de la comuna.

De este modo, se asigna un “ranking”, dependiendo de la cantidad de representatividad que haya en el parque construido de Hualpén (Figura 4.13). A partir de esta evaluación que entrega este estudio multifactorial, se determinan las cuatro tipologías de viviendas consideradas como casos de estudios representativos que se detallan a continuación.

	NIVELES	VIVIENDAS	RANKING STOCK
1	a1 b1 c1	556	8
2	a1 b1 c2	0	-
3	a1 b1 c3	10	-
4	a1 b2 c1	811	5
5	a1 b2 c2	19	-
6	a1 b2 c3	294	10
7	a2 b1 c1	2942	2
8	a2 b1 c2	4808	1
9	a2 b1 c3	687	7
10	a2 b2 c1	827	4
11	a2 b2 c2	746	6
12	a2 b2 c3	1001	3
13	a3 b1 c1	3	-
14	a3 b1 c2	306	9
15	a3 b1 c3	240	
16	a3 b2 c1	21	-
17	a3 b2 c2	0	-
18	a3 b2 c3	12	-

Figura 4.13: Resultados del estudio multifactorial de las combinaciones encontradas a partir de las tipologías catastradas en Hualpén.

4.3 Caracterización de los Casos de Estudio

Desde el estudio multifactorial anterior, se seleccionan cuatros tipologías de viviendas representativas del stock habitacional existente, las cuales pertenecen a cuatro barrios distintos, los cuales están compuesto por una tipología repetida masivamente. Para determinar cuáles serían los casos reales de estudios dentro de cada barrio, se priorizó en aquellas que no hayan sufrido transformaciones y mejoramientos, y en el caso de que si lo hayan tenido, éstos hubiesen sido de bajo impacto para poder así considerar las casas en su estado más cercano a lo inicial.

Las transformaciones, ampliaciones o mejoramientos, no son los únicos principios que influyen al seleccionar la vivienda a estudiar, sino que además hay que tener en consideración la disponibilidad del usuario. La persona “contacto” de la vivienda, debe disponer de tiempo para responder entrevistas y sobre todo facilitar su vivienda para hacer levantamientos y mediciones in situ durante varios días.

Finalmente, se determinaron los siguientes casos de estudio:

4.3.1 Cabo Aroca

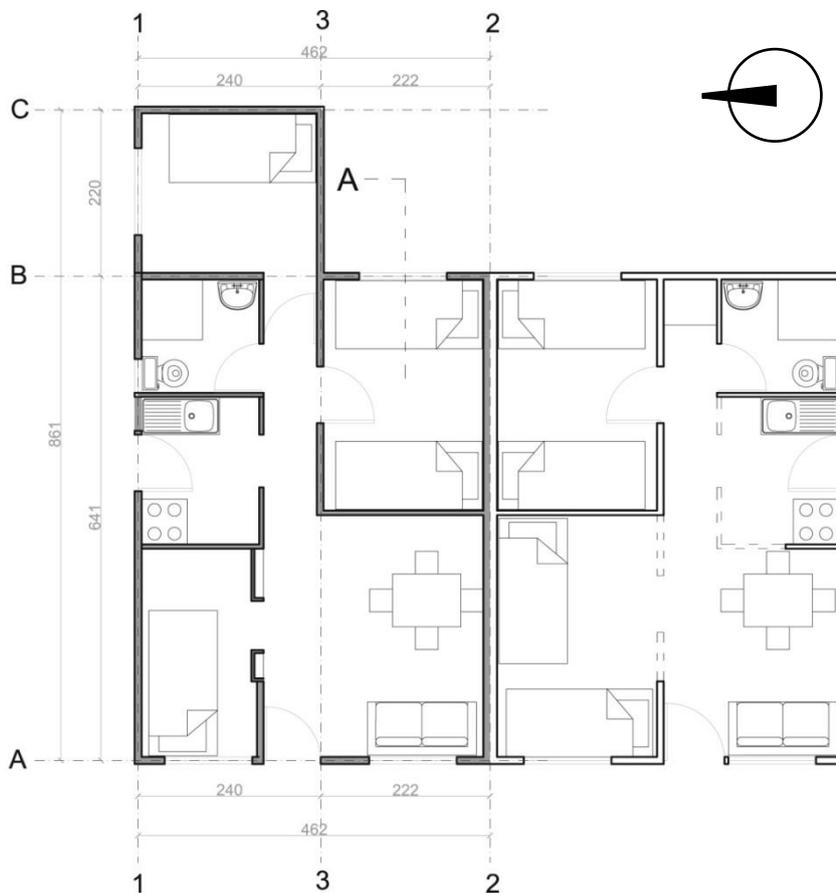


Figura 4.14: Planta de la vivienda Cabo Aroca estudiada.

Población	Año Recepción	Tipo de Adosamiento	Superficie m ²	Nº de Niveles	Materialidad	Cantidad de Viviendas
Cabo Aroca	1989	Pareada	30.36	1	Madera	207



Figura 4.15: Imágenes de la tipología del barrio Cabo Aroca



Figura 4.16: Imágenes interiores de la vivienda Cabo Aroca.

En la Figura 4.16 se observan dos situaciones. Primero, aluden a intervenciones hechas por el usuario, que incrementan la tendencia a infiltraciones de aire desde el exterior, debido a malas terminaciones, uniones entre elementos y nuevas instalaciones eléctricas mal selladas. Segundo, se advierten patologías físicas-constructivas, como humedad en cielos y elementos laterales.

4.3.2 Peñuelas II



Figura 4.17: Planta de la vivienda Peñuelas II estudiada

Población	Año Recepción	Tipo de Adosamiento	Superficie m ²	Nº de Niveles	Materialidad	Cantidad de Viviendas
Peñuelas II	1990	Pareada	44.42	1	Albañilería	446



Figura 4.18: Imágenes de la tipología del barrio Peñuelas II.



Figura 4.19: Imágenes interiores de la vivienda Peñuelas II.

En la Figura 4.19 se advierten encuentros entre elementos de la vivienda, que fomentan el ingreso del aire desde el exterior, disminuyendo la hermeticidad de la envolvente. En este caso no ocurren debido a intervenciones hechas por el usuario, sino que se atribuyen a la mano de obra inicial y el deterioro propio de la edificación.

4.3.3 Presidente Patricio Aylwin

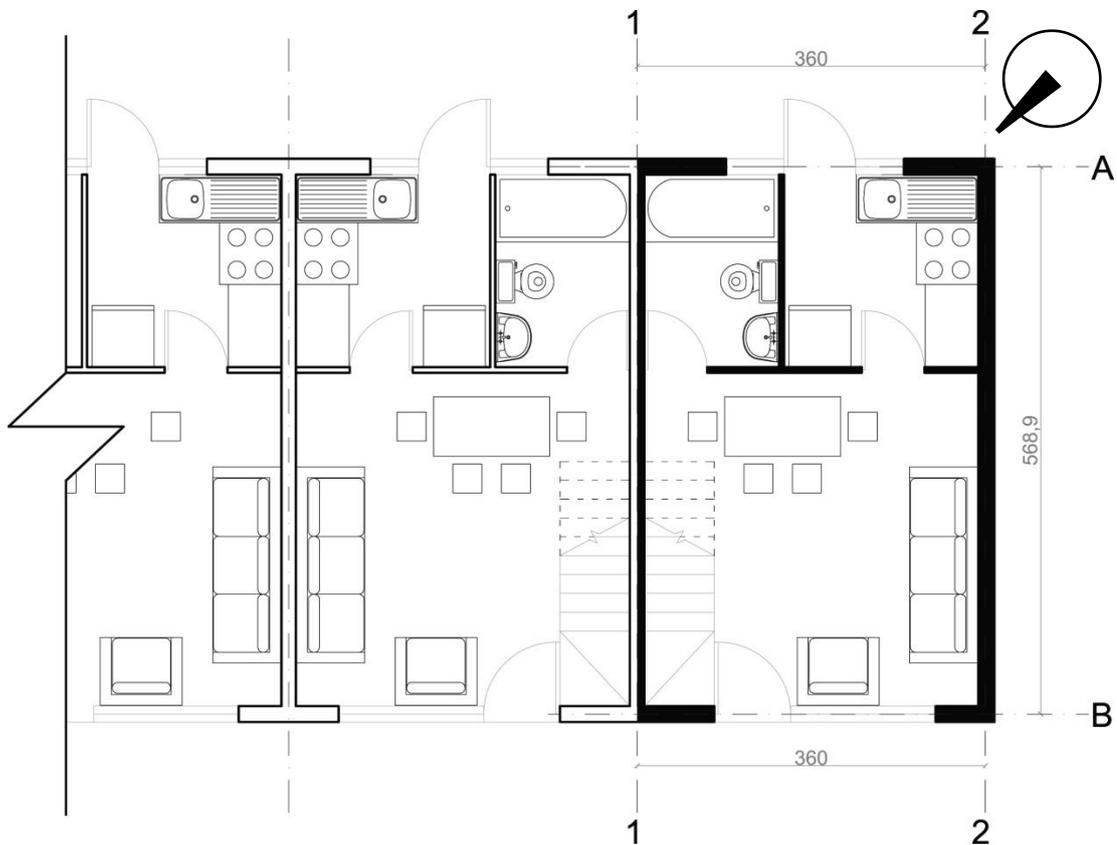


Figura 4.20: Planta primer nivel vivienda Presidente Aylwin.

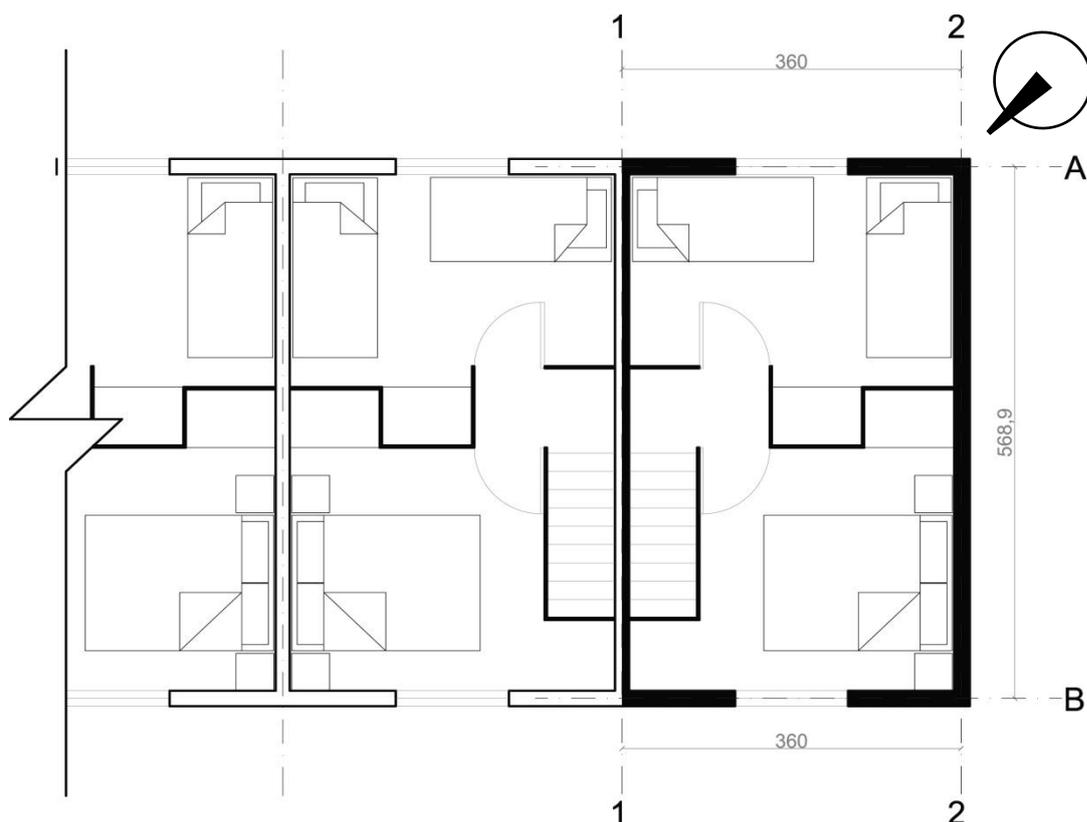


Figura 4.21: Planta segundo nivel vivienda Presidente Aylwin

Población	Año Recepción	Tipo de Adosamiento	Superficie m ²	Nº de Niveles	Materialidad	Cantidad de Viviendas
P. P Aylwin	1993	Continua	40.38	2	Albañilería	249



Figura 4.22: Imágenes de la tipología del barrio Presidente Aylwin

En la Figura 4.23 se muestra un problema recurrente en las viviendas sociales: la humedad sobre los elementos de la envolvente. Esto debido a mala aislación higrotérmica y hábitos del usuario que incrementan la condensación al interior de la vivienda.



Figura 4.23: Imágenes interiores de la vivienda Presidente Aylwin.

4.3.4 Villa El Triángulo

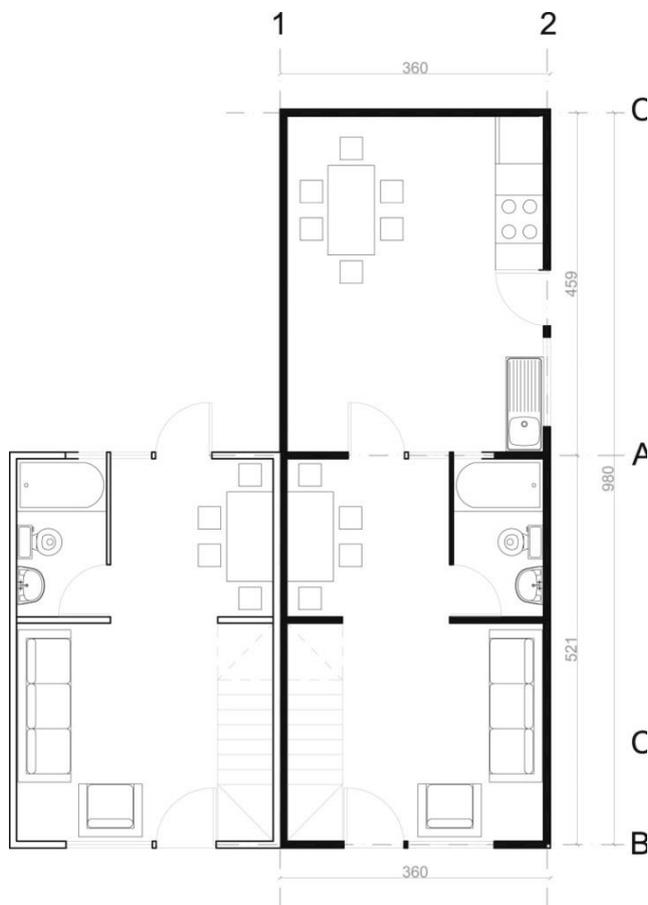


Figura 4.24: Planta primer nivel vivienda Villa El Triángulo

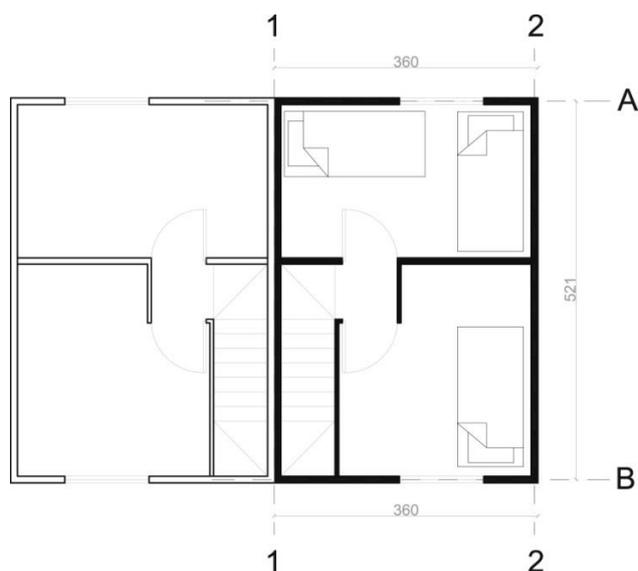


Figura 4.25: Planta segundo vivienda Villa el Triángulo

Población	Año Recepción	Tipo de Adosamiento	Superficie m ²	Nº de Niveles	Materialidad	Cantidad de Viviendas
V. Triángulo	1991	Pareada	36.00	2	Madera	214



Figura 4.26: Imágenes de la tipología del barrio Villa el Triángulo

En la Figura 4.27 se percibe el problema de humedad en el cielo de la vivienda, al igual que en los otros casos, pero además se evidencia un recurrente hábito de usuarios: el secado de ropa al interior de la vivienda, que junto con el acto de cocinar incrementan el riesgo de condensación superficial.



Figura 4.27: Imágenes interiores de la vivienda Villa el Triángulo.

4.4 Conclusiones Capítulo 04

Se decide trabajar en la Región del Bío – Bío debido a su alto dinamismo y crecimiento de viviendas construidas y subsidios entregados, obteniendo tercer lugar de prioridad a nivel nacional y segundo entre las más pobladas del país.

Se seleccionan casos de estudio en la comuna de Hualpén por su cercanía al lugar de donde se extraen los instrumentos para las mediciones *in situ*, y por estar 82% de su stock residencial existente constituido por viviendas sociales.

De un catastro a nivel comunal basado en los siguientes parámetros: el nombre del barrio, año de recepción municipal, tipo de vivienda (pareada, continua o aislada), superficie total construida, número de pisos, materialidad, cantidad de viviendas, avalúo total y clasificación (vivienda social o particular), se observa que en relación a la forma de agrupación de las viviendas, existe una amplia tendencia hacia la agrupación pareada, siendo las aisladas las menos construidas, y las continuas de segunda preferencia. Esto se debe, en mayor medida, a la búsqueda de un alto aprovechamiento del terreno para la construcción masiva, tendencia que se ha marcado en viviendas sociales en el país.

Al ser la mayor parte del stock habitacional viviendas sociales, se justifica que 80% de él tengan entre 30 y 50 m² de superficie construida. 72% de ellas corresponden a construcciones de un nivel y la materialidad más usada corresponde a albañilería y madera.

Basado en un estudio multifactorial se obtienen los casos más representativos de forma estadística y relacionada todas las variables involucradas, resultando ser cuatro casos de estudios: Cabo Aroca, Peñuelas II, Presidente Aylwin y Villa el Triángulo, los cuales son sometidos a distintas estrategias de diagnóstico físico-constructivo.

DIAGNÓSTICO FÍSICO - CONSTRUCTIVO DE CASOS Y DE PERCEPCIÓN DEL USUARIO

| 05



DIAGNÓSTICO FÍSICO - CONSTRUCTIVO DE CASOS Y DE PERCEPCIÓN DEL USUARIO

| 05

5.1 Predicción de Desempeños térmicos de la envolvente de las Viviendas mediante Técnica de Cálculo Numérico

Este método de cálculo mediante una técnica numérica se utiliza para determinar los valores teóricos relacionados con el desempeño térmico de los elementos que componen la envolvente, sin considerar el deterioro que pueden tener los materiales debido al tiempo de vida útil, al clima y las intervenciones del usuario. Éstas últimas variables son consideradas en las mediciones experimentales, las cuales sí entregan los valores de la situación actual.

El cálculo numérico ha sido una de las opciones de metodología para aplicar mejoramiento térmico de las viviendas existentes bajo subsidios estatales. El MINVU desarrolló una herramienta para la calificación energética, una planilla de cálculo que hace posible un ordenamiento para el ingreso de toda la información necesaria, además permite efectuar los cálculos necesarios de forma automática.

5.1.1 Definición de Métodos de Cálculos

Los cálculos se realizan en base a la planimetría y especificaciones técnicas de los casos de estudio, donde se indica la materialidad, espesores, densidad y otras características de los elementos que conforman la envolvente, y especialmente la aislación térmica utilizada (tipo, espesor y densidad del material aislante). Estos datos deben ser de toda la envolvente, incluyendo piso, muros, techumbres y ventanas (Ver Anexo 1). De estas últimas se debe conocer el tipo de marco (materialidad), tipo de vidrio y espesor de éste.

Los cálculos que se efectúan en la investigación son para determinar la transmitancia térmica de los elementos constructivos, es decir, la capacidad del elemento constructivo para transmitir calor entre sus caras.

Se busca conocer la propiedad del elemento que constituye su poder aislante, la cual se determina de forma teórica en esta sección. Los factores que la determinan son la conductividad térmica de los materiales, espesores en que se utilicen, diseño constructivo y la resistencia térmica de las capas de aire adheridas al elemento ($1/h_i$ y $1/h_e$).

Los cálculos para determinar las resistencias y transmitancia térmicas de los elementos constructivos, en particular los de la envolvente térmica, se hicieron en base a los procedimientos que se establecen en la Norma Chilena 853 of.91. Los procedimientos de cálculo están basados en el supuesto que el flujo térmico se desarrolla de acuerdo con la ley de Fourier, en régimen estacionario.

Para poder calcular la resistencia y transmitancia térmica es necesario considerar los valores de las resistencias térmicas de las superficies (m^2K/W) según el sentido del flujo de calor, la posición y situación del elemento separador y la velocidad del viento, valores que están indicados por norma en cada país que tenga consideraciones térmicas en las políticas habitacionales.

Como metodología se establece una planilla donde se incorporan las fórmulas de cálculos indicadas por NCh853, para poder someter a todas las viviendas a un mismo modo de cálculo.

5.1.2 Resultados

Se puede observar que los muros exteriores que presentaron una transmitancia térmica más baja fueron los que tenían como materialidad elementos de madera. Esto se debe a que contaban con algún tipo de aislación térmica, que aunque de poco espesor aporta a disminuir el Valor U. Además, la cámara de aire existente entre el revestimiento y la aislación, favorece aún más la propiedad de aislación del muro. En ambos se consideran los puentes térmicos que existen debido a la estructura no aislada térmicamente.

A diferencia de éstos, los muros envolventes de las otras dos viviendas, tenían por materialidad albañilería, la cual en ambos casos no contaba con ningún otro tipo de aislación ni revestimiento, por lo que se comprobó la hipótesis de que su valor U debiese ser mayor al comprarlos con los construidos en madera.

Tabla 5.1: Valores U (W/m²K) calculados en los componentes de la envolvente de cada caso de estudio

	Cabo Aroca	Peñuelas II	Pdte. Aylwin	Villa el Triángulo	Valor U Referencia O.G.U.C Título 4.1.1.0
Muro Envolvente ¹	1,68	2,77	2,88	1,48	1,7
Techumbre	1,09	1,14	0,92	0,90	0,38
Piso en contacto con terreno	4,20	4,20	4,20	4,20	No aplica
Ventana	5,64	5,64	5,64	5,64	Según el %: 2,56
Puerta	2,03	2,03	2,03	2,03	No aplica

En comparación con lo establecido en la O.G.U.C Título 4.1.10, la techumbre no cumple con lo exigido, sino que duplica el valor límite para esta zona térmica.

Ya que no todos los elementos son comparables a un estándar exigido, solo queda por confrontar el vidrio de las ventanas hacia el exterior, las cuales tampoco cumple con el valor requerido por la norma actual chilena.

Para el caso de las ventanas, se considera solo el vidrio como referente de la O.G.U.C el vidrio monolítico, el cual corresponde a la formación con una sola lámina de vidrio. Las ventanas de las viviendas estudiadas tienen marcos de fierro, y no de aluminio, o PVC, como se utiliza actualmente. Los marcos de fierro hacen que el valor U de la ventana completa aumente, además de ser empeorada aún más con el tipo de vidrio simple utilizado. Finalmente el valor U de las ventanas obtenido mediante calculo numérico, duplica, en todos los casos de estudio, el valor límite propuesto por la normativa chilena para el porcentaje máximo de superficie de ventanas respecto a paramentos verticales de la envolvente.

De todos los valores U calculados, son sólo los de los muros de envolvente construidos en madera los que están por debajo del límite establecido para la Zona 4.

¹ Dentro de la envolvente también se encuentra el muro de pareo, pero al ser éste adiabático y no tener contacto con el exterior, no se considera dentro de los cálculos térmicos.

5.2 Medición de Desempeños térmicos de la envolvente de la Vivienda mediante Técnica Experimental

El estudio experimental consistió en mediciones de parámetros físico-constructivos en los casos de estudios, formando parte de la evaluación post-ocupacional de las viviendas. Esta técnica proporciona un medio para evaluar ciertas propiedades físico-constructivas del estado actual de la edificación, además de realizar un seguimiento mientras cambian las condiciones exteriores. En resumen, estas mediciones aportan una documentación de las condiciones de confort interiores y físicas a las que responde la construcción (Bycroft, y McGregor, 2002), a partir del cual se obtendrán valores empíricos que serán contrastados con los obtenidos mediante el cálculo numérico y simulado.

Los valores de transmitancia térmica obtenidos desde las mediciones experimentales pueden diferir significativamente de los resultados de un análisis basado en el cálculo analítico (Ascione, de Rossi y Vanoli, 2011). Esta diferencia puede manifestarse dentro de un margen de más o menos 20%, debido a:

- La ejecución de la obra no es hecha en su totalidad de acuerdo al diseño,
- El material sufre degradación,
- Las condiciones ambientales son diferentes a las consideradas en el diseño, como por ejemplo: la humedad que puede existir dentro de un muro cambia inmediatamente la conductividad térmica de éste.

Tener información medida de ciertas propiedades del caso de estudio es de suma relevancia al momento de estudiar una vivienda existente, pudiendo acercarse a la realidad otro tipo de estudios post-ocupacionales que buscan determinar los comportamientos a largo plazo, tal como lo es la simulación energética dinámica mediante algún software.

5.2.1 Herramientas y Procesos de Monitorización

Las mediciones hechas para determinar ciertas propiedades físico-constructivas de la envolvente son dos en cada una de las cuatro viviendas. La primera consta en la medición de termo-flujometría de un muro y una ventana, durante la cual se miden las temperaturas exteriores e interiores y el valor de transmitancia térmica de los elementos monitorizados. La segunda medición registra la hermeticidad al aire de la envolvente, mediante una prueba de despresurización (Blower Door Test). Ésta última se utiliza para conocer la tasa de infiltraciones de aire que sufre la envolvente de la vivienda.

5.2.2 Medición de Termo-Flujometría

El objetivo de medir las temperaturas en la vivienda es poder tener directivas reales y complementarias para conocer las demandas de calefacción o enfriamiento al interior de ella. Los datos obtenidos sirven como input fidedigno para simulaciones dinámicas. Este complemento procura acercarse a la realidad de los consumos y demandas energéticas anuales, apartándose de las estimaciones y suposiciones (León et al, 2010).

Se seleccionó un muro de la vivienda, correspondiente a la fachada principal en todos los casos estudiados. Resultó ser el muro configurante del estar-comedor, lugar donde la familia pasa mayor parte del día. Las mediciones debían realizarse sobre el muro en estado seco y el régimen de funcionamiento del recinto durante el ensayo fue sin ningún tipo de climatización.

Los sensores de termo-flujometría se dispusieron en dos tipos de materialidad del muro, y en el vidrio de la ventana. Para poder ejecutar estas mediciones se siguieron ciertas recomendaciones hechas por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT, 2010) de la Cámara Chilena de la Construcción, y de la técnica de termo-flujometría descrita en el estándar ASTM C1046 (*Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components*) para medir *in situ* flujos de calor y temperaturas en elementos de la envolvente de edificios bajo condiciones de uso. El procedimiento de la medición, consiste en detectar y amplificar el gradiente de temperatura que origina el paso de un flujo térmico a través un material de características térmicas conocidas y está compuesto por flujos de calor, medidores de señales eléctricas, transductores de señales, equipos adquiridores y laptop para almacenar los datos (Figura 5.1). El sensor de flujo es una delgada lámina de metal que actúa como sostenedor de un circuito termoelectrónico (termopila), compuesto por varias termocuplas en serie de cobre-constantan.

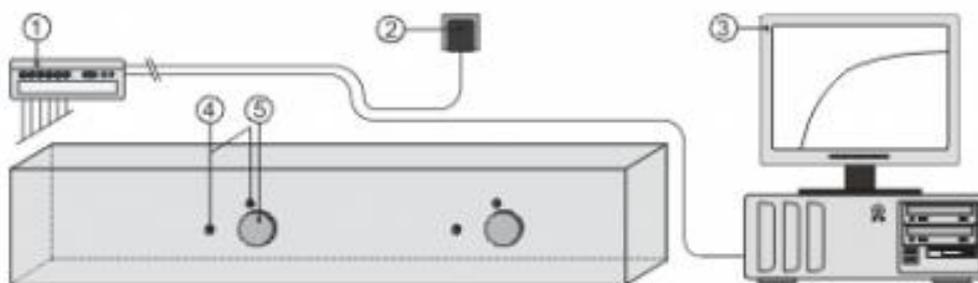


Figura 5.1: Diagrama del funcionamiento del sistema de medición de termo-flujometría. (1) Medición y Control, (2) adaptador de alimentación eléctrica, (3) computador almacenador de datos, (4) termocuplas en serie, y (5) placas de flujo de calor o sensores.

Durante el ensayo, los sensores son dispuestos de tal forma que el flujo de calor, que pasa por elemento estudiado, fluye también a través del material de relleno del sensor, que opera como resistencia térmica. El flujo de calor inicia una gradiente de temperatura a través del sensor, además de un voltaje de salida que es proporcional a la diferencia de temperatura entre las uniones cobre-constantan y constantan-cobre.

Cada sensor posee su propia sensibilidad (E_s), comúnmente se expresa en Volts de salida (V_s), y se divide por el flujo de calor ϕ en Watt por la superficie en metros cuadrados (W/m^2):

$$\phi = V_s / E_s$$

Para determinar la transmitancia y resistencia térmica del muro estudiado, se usa el procedimiento descrito en los estándares ASTM C 518 y ASTM C 1155 y se utiliza un sistema de medición de temperaturas de aire a ambos lados del elemento. De esta forma, se obtiene la transmitancia térmica a través del elemento constructivo en el punto de medición donde se encuentra el sensor por unidad de temperatura y área:

$$U_s = \phi / T_{ai} - T_{ae}$$

Donde,

U_s : Transmitancia Térmica del elemento en el área cubierta por el sensor ($W/m^2\text{°C}$)

T_{ai} : Temperatura del aire del ambiente interior (°C)

T_{ae} : Temperatura del aire del ambiente exterior (°C)

Para obtener la Transmitancia Térmica U ($W/m^2\text{°C}$) o la Resistencia Térmica R ($m^2\text{°C}/W$) de elementos heterogéneos, se debe determinar la transmitancia térmica a través de cada una de sus heterogeneidades y la magnitud del área en que intervienen. A partir de esta información se obtiene una transmitancia térmica ponderada representativa del elemento estudiado.

En aquellas viviendas construidas con madera, es necesario hacer termofotografías, para conocer donde está la estructura y poder situar de correcta forma el sensor (Figura 5.2).

Los datos obtenidos durante el ensayo se registran en un laptop cada 15 min. durante 48 hrs. Los sensores que corresponden a la medición de temperatura del aire interior, deben estar a un metro de altura en el muro y en una zona sin perturbación para el usuario (Figura 5.3). Para la medición de temperatura de aire exterior, el sensor no tiene por qué estar cerca del punto donde se efectuaron las mediciones de temperatura interior. Se buscó un lugar con buena ventilación y en lo posible se evitó la radiación directa sobre el sensor.



Figura 5.1: Termofotografía de la envolvente construida con madera.

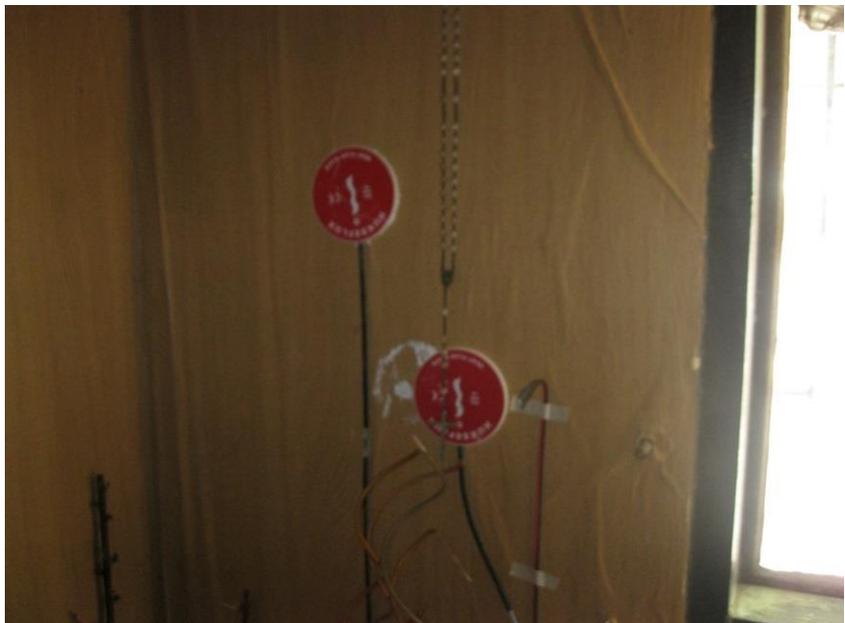
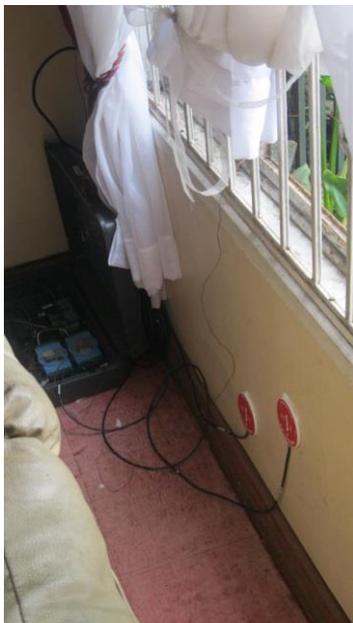


Figura 5.3: Fotografías de las mediciones de termo-flujometría en dos de los casos de estudio.

5.2.3 Medición de Hermeticidad al Aire

Las viviendas fueron sometidas a una medición que determina la hermeticidad al aire de la envolvente con la implementación de la herramienta “*Blower Boor Test*”, la cual tiene por objetivo medir la estanqueidad al aire de la vivienda. La cantidad de aire que fluye a través de las grietas depende de los siguientes factores (Odriozola, 2008):

- Tamaño y configuración de la grieta
- Las características del flujo a través de la grieta
- La diferencia de presión a través de la grieta
- Temperatura de la grieta

La prueba de hermeticidad al aire es de gran ayuda para determinar el nivel de estanqueidad medido y poder identificar donde el aire frío es infiltrado a la vivienda (SEI, 2009). El procedimiento sirve para localizar escapes de aire en la envolvente de la construcción y determinar la renovación de volumen aire por hora (m^3/h). Mediante un procedimiento de despresurización, se simula una extracción de carga de viento constante que actúa sobre la vivienda. Para esta medición se necesita conocer el volumen de la vivienda (m^3), el área del piso (m^2), el área de la envolvente (m^2) y la temperatura exterior e interior ($^{\circ}\text{C}$) (Figura 5.4).



Figura 5.4: Dispositivo donde se ingresan los datos fijos de la vivienda (Temperatura, volumen de la vivienda, área del piso y de la envolvente).

Este ensayo consiste en la presurización o despresurización de una vivienda y en la medición del caudal de aire necesario para obtener la diferencia de presión interior/exterior resultante. El equipo necesario consta de un ventilador de velocidad variable que establece la diferencia de presión interior/exterior, además se usa un sistema para medir la diferencia de presiones interior/exterior.

La serie de mediciones que entrega el *Blower Door Test*, se controlan automáticamente mediante un laptop y el software TECTITE Express. Los datos recopilados durante el ensayo se reflejan en un informe para su evaluación y documentación (<http://www.blowerdoor.es>, 2012). Éste contiene evaluaciones según la Norma Europea EN 13829, la cual se utiliza como guía para la medición de la tasa de flujo de aire resultante, sobre un rango de diferencias de presión interior-exterior (UNE-EN 13829), es decir mediante pruebas de despresurización. La norma está orientada hacia la medición de fuga de aire a través de las envolventes de una construcción en una única zona, por lo que todas las aberturas exteriores, como ventanas y puertas, deben estar cerradas; los conductos de ventilación y chimeneas (si existiesen en la vivienda) que también deben ser sellados, por el contrario las puertas interiores deben permanecer abiertas durante el ensayo. Dentro de la casa, en la puerta de la fachada principal se instala el dispositivo *Blower Door Test* (Figura 5.5).



Figura 5.5: Instalación de los equipos.

La Norma Europea EN 13829 (2001) establece que para viviendas individuales la diferencia de presión más alta debe ser por lo menos de 50 Pa, pero recomienda que las lecturas sean tomadas en diferencias de presión de hasta ± 100 Pa para una mayor precisión en los resultados calculados. Aconsejan también definir al menos cinco puntos de dato, con una separación aproximadamente igual, y entre las diferencias de presión más alta y más baja. En este caso, las mediciones de las cuatro viviendas, se realizaron a los 50 Pa de presión desde los 25 hasta los 70 Pa.



Figura 5.6: Inicio del Blower Door Test.

Como herramienta para generar la despresurización, se utiliza la “Puerta de Soplado” (Figura 5.6). Se trata de una puerta ajustable que se monta en una puerta de algún muro que este hacia el exterior para instalar un ventilador o turbina. Éste último está dotado de un variador de velocidad para acomodar el rango de la tasas de flujo de aire, que mediante el sistema de automatizado del microprocesador se mantiene una presión constante en el interior de la vivienda.

Ninguna de las cuatro viviendas medidas utiliza ventilación mecánica, solo cuentan con ventilación natural, por lo que fue necesario efectuar solo una prueba por vivienda. A excepción de aquella que tenía una ampliación, donde se llevó a cabo dos mediciones, una inicial donde la puerta de la ampliación se encontraba cerrada y otra donde ésta se abría. Esto sirve también para poder comparar que diferencia de estanqueidad existe entre la vivienda sin ampliación y la ampliada.

5.2.4 Resultados de Monitorizaciones

5.2.4.1 Termo-Flujometría

Los datos extraídos de las mediciones de termo-flujometría son: temperatura interior y exterior, el flujo (W/m^2) y valor U de transmitancia térmica (W/m^2K).

En la tabla 5.2 se puede observar que todos los muros, a excepción de los de Villa el Triángulo, están fuera del valor de transmitancia térmica límite establecido por la O.G.U.C, Título 4.1.10, donde se especifica los valores reglamentados térmicamente.

Tabla 5.2: Resultados de mediciones de termo-flujometrías en elementos de fachada principal.

Vivienda	T° int. (°C)	T° ext. (°C)	U Total Muro (W/m^2K)	Referencia Valor U Muro O.G.U.C (4.1.10) (W/m^2K)	U Vidrio (W/m^2K)	Referencia Valor U Vidrio O.G.U.C (4.1.10) (W/m^2K)	Valor U de Cálculo Numérico (W/m^2K)
Cabo Aroca (Madera)	12,56	7,21	1,76		5,54		1,68
Peñuelas II (Albañilería)	11,95	5,70	2,35		5,35		2,77
Presidente Aylwin (Albañilería)	15,5	11,2	2,92	1,7	5,49	2,56	2,88
Villa El Triángulo (Madera)	8,75	2,68	1,44		5,33		1,48

Para el caso de los vidrios, que fue el segundo y último elemento medido, todos los valores sobrepasan el valor exigido por la Ordenanza actual, duplicando el límite.

Se suponía que los resultados excedieran el valor límite establecido, ya que estas viviendas fueron construidas durante la década de los años 80 y 90, donde el objetivo principal era reducir la falta de viviendas, sin considerar su calidad térmica, y menos aún términos de eficiencia energética.

5.2.4.2 Hermeticidad al Aire

La prueba de despresurización entrega el valor n_{50} , es decir la hermeticidad al aire de la vivienda por hora. Cuanto mayor sea este valor, menos hermética es la vivienda.

$$n_{50} \text{ (1/h)} = \frac{V_{50} \text{ (m}^3\text{/h)}}{V \text{ (m}^3\text{)}}$$

Donde,

n_{50} = Tasa de Renovaciones estimada

V_{50} = Tasa de Infiltraciones

V = Volumen Interno

De los datos obtenidos del experimento, se especificarán los siguientes:

- Área efectiva de fuga (EfLA) en cm^2 : es el área por donde se generan las infiltraciones y exfiltraciones de aire. Se calculan a 4Pa. Si bien puede ser leído directamente desde el dispositivo controlador, un resultado preciso requiere de una prueba de varios puntos.
- Infiltración: es el flujo incontrolado de aire exterior en una construcción a través de grietas y otras aberturas no intencionales, además del uso normal de puertas y ventanas exteriores.
- Ventilación: es el ingreso intencional de aire desde el exterior a un edificio. Su importancia está en que es necesaria para eliminar y renovar la masa de aire que contiene humedad y bacterias generadas por factores internos y externos a la vivienda. Pueden generarse dos tipo de ventilaciones: forzada o natural.

De las viviendas estudiadas, la que mayor hermeticidad al aire presenta es la Vivienda Presidente Aylwin, la cual se encuentra en su estado inicial en un 100%, es decir no ha sufrido ampliaciones, cambio de ventanas ni de puertas, etc. Pero coincide en que son de albañilería (Presidente Aylwin y Peñuelas) las dos viviendas que menores cambios de aire por hora muestran (Tabla 5.3).

A partir de los datos de la Tabla 5.4, y comparando las renovaciones de aire por hora permitida en otros países (Figura 5.7), se concluye que los valores obtenidos en las viviendas sociales están muy alejados de lo permitido según los estándares aceptados.

Se debe tener en cuenta, que para establecer una presión de referencia, hay que considerar que la presión más precisa (50 Pa) es la menos real, en cambio la más real (4 Pa) es la menos

precisa (Ossio, de Herde y Veas, 2012), pero es la menos primera la que más se ocupa en los estándares internacionales. Debido a esto, se recomienda considerar estándares con una presión de 50 Pa, ya que si se utiliza un diferencial de presión de 4Pa en la prueba de presurización, se pueden generar variaciones entre en +87% y -45%. En cambio, si se utiliza el diferencial de 50 Pa, la variación solo alcanza un 15% (Genger, 2011).

Tabla 5.3: Resultados de la medición de despresurización con el Blower Door Test.

Vivienda	Área efectiva de fugas (EfLA) (cm ²)	n ₅₀ a 50 Pa, Cambio de Aire por Hora (1/h)	V ₅₀ , flujo de aire (m ³ /h)
Cabo Aroca	2021,7	51,86	4833
Peñuelas II	1309,5	24,62	2734
Peñuelas II Ampliada	1962,0	33,41	4410
Presidente Aylwin	712,0	12,51	1441
Villa el Triángulo	1102,7	35,99	2413
Villa el Triángulo Ampliada	1407,8	33,56	3368

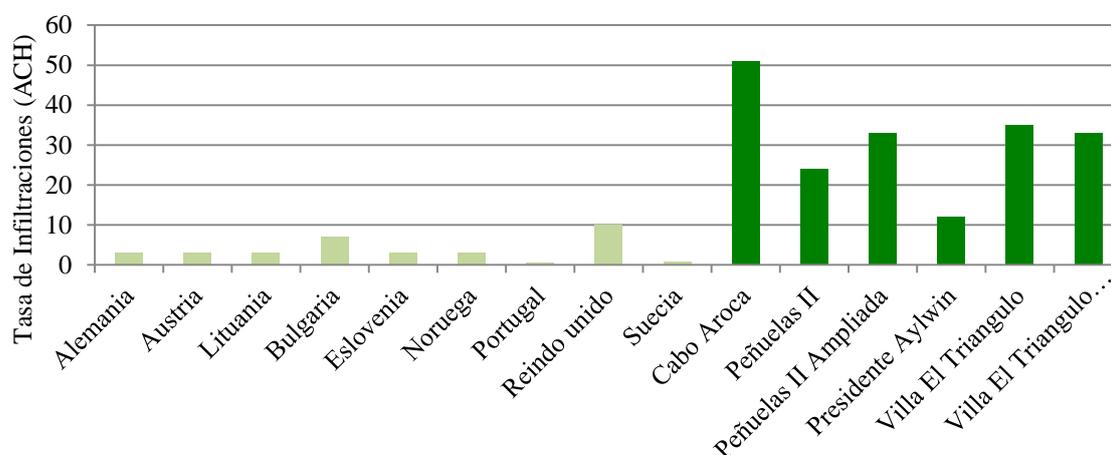


Figura 5.7: Gráfico de Comparación de Estándares Internacionales y resultados obtenidos de los casos de estudio.

Existen otros países que no solo se diferencian por utilizar una presión a 4 Pa, sino que establecen los valores límites en otras unidades de medida, como por ejemplo Bélgica, Estonia Francia y Letonia que usan m³/hm². Por otra parte Dinamarca y Suecia establecen sus requerimientos en l/sm², donde m² corresponde al área del piso de la vivienda.

En relación a las materialidades de las viviendas, se puede concluir que las hechas en base a madera (Cabo Aroca y El Triángulo), presentan mayor cantidad de infiltraciones, en comparación a aquellas hechas en albañilería.

Tabla 5.4: Estándares exigidos de hermeticidad al aire en algunos países de referencia, medidos a 50 Pa y con 1/h como unidad de medida (Economidou, 2011).

Pais	Estándar
Alemania, Austria y Lituania	Se establece requisitos diferentes dependiendo del tipo de ventilación del inmueble. Viviendas con ventilación natural deben tener un nivel de estanqueidad menor a 3,0. Viviendas con ventilación mecánica deben tener un nivel de estanqueidad menor a 1,5.
Bulgaria	Las viviendas se clasifican en Alta, Media y Baja estanqueidad, siendo sus requisitos menor a 4,0; entre 4,0 y 10,0; y mayor a 10,0 respectivamente.
Eslovenia	Se establece requisitos diferentes dependiendo del tipo de ventilación del inmueble. Viviendas con ventilación natural deben tener un nivel de estanqueidad menor a 3,0. Viviendas con ventilación mecánica deben tener un nivel de estanqueidad menor a 2,0.
Noruega	Las viviendas deben tener un nivel de estanqueidad menor a 3,0.
Portugal	Las viviendas deben tener un nivel de estanqueidad menor a 0,6.
Reino Unido	Las viviendas deben tener un nivel de estanqueidad menor a 10,0.
Suecia	Las viviendas deben tener un nivel de estanqueidad menor a 0,8.

Como se observa en los resultados obtenidos, los altos más niveles de tasas de infiltraciones de aire se presentan en las viviendas construidas con muros livianos. Esto se podría atribuir a que el elemento que más contribuye en las infiltraciones son los muros o las uniones de éste con otros elementos, tales como: cielos, piso y ventanas. Kalamees (2007) establece, luego de un estudio de infiltraciones hecho en viviendas de construcción liviana, que los típicos lugares de fugas de aire en las casas estudiadas fueron: la unión del techo/suelo con el muro externo, la unión de las paredes de separación con la pared exterior, las penetraciones de las instalaciones eléctricas y de fontanería a través de los sistemas de barrera de aire, salidas de las chimeneas y conductos de ventilación, fugas alrededor y a través de enchufes e interruptores eléctricos, y por ende las fugas alrededor de las ventanas y puertas (Figura 5.8).

Las construcciones livianas tienden a tener mayores imperfecciones en las uniones y terminaciones, en comparación con aquellas hechas con albañilería u hormigón.

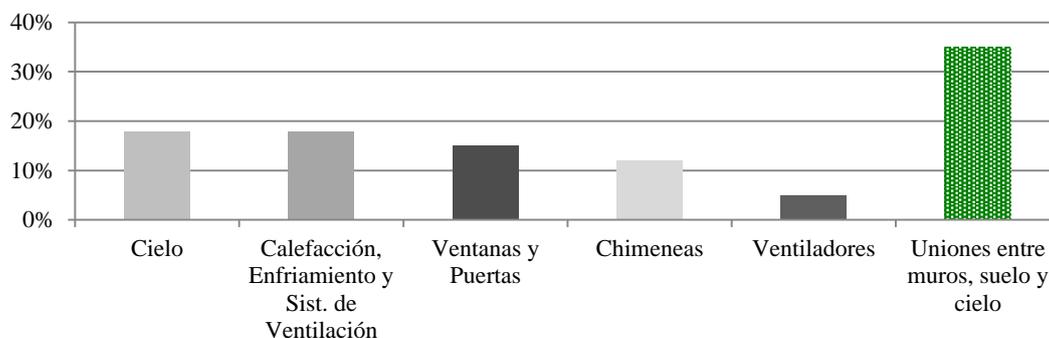


Figura 5. 8: Elementos de la construcción que contribuyen a las fugas de aire en una vivienda tipo (Kalamees, 2007).

5.3 Predicción de desempeños de la vivienda mediante simulaciones Dinámicas

5.3.1 Selección de Software de Simulación

El objetivo de simular los casos de estudios es predecir la demanda de calefacción y de refrigeración, además de las temperaturas interiores sin sistemas de climatización durante todo el año. Los resultados teóricos de demanda energética pueden distar bastante de la demanda real. Es por esto que la metodología empleada se basa en estudiar bajo tres ámbitos el comportamiento de la vivienda: experimental, numérico y percepción del usuario, y de esta forma complementar la información entregada bajo tres métodos distintos.

Las simulaciones térmicas, se pueden llevar a cabo mediante simulaciones dinámicas y métodos simplificados. Los primeros presentan resultados cercanos a la realidad, con una alta exactitud para poder diseñar en base a ellos. Por otra parte los métodos simplificados se utilizan en distintos sistemas de certificación a nivel mundial, ya que si bien no son tan exactos como las simulaciones dinámicas, logran entregar exactitud suficiente en un tiempo menor. Pero, en edificaciones no convencionales pueden presentar grandes márgenes de error, como por ejemplo en construcciones livianas, , debido a la dificultad que existe para predecir el efecto de la masa en la demanda energética (Kalema et al, 2008).

La simulación energética dinámica cumple un rol esencial en el análisis de mejoramiento de un edificio existente (Polly, Kruis y Roberts, 2011; Ma et al, 2012; Murray et al, 2012), ya que permite tomar decisiones basadas en datos propios del edificios y simular el desempeño esperado de diferentes propuestas de soluciones de mejoramiento. Además, permiten estudiar distintos factores a la vez, conociendo de esta forma el resultado que puede tener cada cambio de ellos en una propuesta de mejoramiento. Para Polly, Kruis y Roberts (2011), el análisis energético en el sector residencial se realiza para distintos objetivos:

- Diseñar de eficiencia energética para viviendas
- Conocer la calificación energética según estándares, o para elaborar ratings de la vivienda, etc.
- Predecir ahorros de gastos en energía para proponer mejoramientos energéticos
- Determinar costos y performance de distintas estrategias en viviendas nuevas y existentes
- Entregar análisis y datos cuantitativos como aporte a nuevas políticas relacionas con la eficiencia energética en la vivienda.

La precisión de la respuesta, o el tiempo que requiera cada simulación, dependerá del software que se utilice, por lo que la selección de él es importante. Zhao et al (2009) establece que el hecho de ocupar como base un método de evaluación multifactorial o integral, permite hacer del ejercicio un experimento más cercano a la realidad estudiada, de forma más sistemática, científica, integral y objetiva.

En esta investigación la simulación dinámica permite estudiar los desempeños de una manera multi-variable para conocer la acción que tienen ellos al actuar de forma integral en una respuesta de demanda energética y/o confort térmico; y no considerando un parámetro de forma individual. Para Olofsson et al (2009) un motivo importante de realizar un enfoque multi-variado es poder reducir al mínimo el impacto de la correlación entre los diferentes parámetros, ya que una fuerte correlación entre ellos puede llevar a conclusiones erróneas acerca de la causalidad. En estudios que no se tiene una única variable, no es suficiente mirar la tabla de contenidos para extraer la información de todos los datos al unísono, ya que pueden aparecer problemas debido a la gran cantidad de variables existentes y pocas observaciones de ellas en forma relacionada.

En un modelo dinámico se requiere precisar más detalles en las entradas (*inputs*), que en un modelo estático. Por lo tanto, el tiempo involucrado es mayor. Murray et al (2012) desarrollaron un estudio donde se simula un mismo ejemplo con ambos métodos, determinando que el mayor ahorro energético, desde la simulación del caso actual a uno propuesto con mejoramientos, es obtenido con el modelo dinámico. Establecen, que dependiendo del nivel de detalle que se quiera obtener como resultado, utilizar modelos estáticos hará que el proceso sea más simple y de corta duración, siendo ideal solo para cierto tipo de proyectos. Sin embargo, infieren que los resultados obtenidos suelen no ser exactos a la realidad, ya que la ocupación del usuario puede influir altamente en la demanda de energía.

La herramienta de simulación dinámica permite estudiar varios factores y relacionarlos al mismo tiempo. Además entrega la opción de incorporar los datos que han sido extraídos desde mediciones experimentales, logrando obtener resultados más verídicos.

Para elegir la herramienta de simulación, se comparan aquellas gratuitas y otras que tuvieran licencia disponible en la Universidad del Bío – Bío. Dentro de las primeras se encuentran OpenStudio y Energy Plus, y los softwares que cuentan con licencia son TAS (Thermal Analysis Simulation) y Design Builder. Se compararon potencialidades de las herramientas de simulación disponibles y se confrontó la utilización razonable de los instrumentos frente a la cantidad de conocimiento requerido por cada herramienta. Lo más significativo para

compararlas, desde el punto de vista de un arquitecto, es definir aquellas que cuentan con interfaz gráfica (Open Studio, Design Builder y TAS) y otras cuya interfaz está basada en planillas y textos (Energy Plus).

Design Builder es una interfaz gráfica para la simulación térmica que se desarrolla con el motor de cálculo de Energy Plus, lo que asegura resultados más reales. Design Builder utiliza un enfoque en el que el análisis energético, de confort térmico y de flujo de aire iteran dentro de cada intervalo de tiempo hasta que las estimaciones son satisfactorias (Oropeza-Perez et al, 2012), es decir el proceso de simulación lo hace más confiable.

Se elige Design Builder porque permite desarrollar la modelización de la vivienda de forma amigable, por tener una interfaz gráfica, pero además conjuga con altas capacidades técnicas, donde se integran diferentes módulos para el cálculo energético y ambiental de los edificios, incorporando análisis de iluminación, energía y CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

Como metodología, el uso de un software de simulación es muy útil para cuantificar los ahorros de energía esperados (basado en la demanda), pero para poder predecir el consumo de energía no son suficientes, ya que necesitan de una calibración o verificación (Heo et al., 2012). Debido a esto los datos obtenidos desde las mediciones in situ se involucran en las simulaciones, permitiendo obtener resultados más cercanos a la realidad.

5.3.2 Determinación de factores ambientales para simulación energética

5.3.2.1 Infiltración

Uno de los input importantes en la simulación dinámica es la tasa de infiltración de aire (ac/h), la cual se estima como constante a través de la simulación, debido a que por definición es la entrada constante de aire desde el exterior y de forma incontrolada, que pasa a través de grietas, huecos o porosidades de la envolvente.

Se define usar la unidad de medida ac/h para la tasa de iniltración de aire. Para obtener los valores medidos y correspondientes a cada vivienda, se utilizan los resultados arrojados por el monitoreo hecho con el *test* “Blower Door”. Éste ensayo entrega el caudal de aire (V50 (m³/h)) y los cambios de aire por hora (n50 (1/h)), dentro de otros datos ya expuestos. Dicho experimento de despresurización fue hecho con una diferencia de presión de 50 Pa, por lo que con tales resultados sería necesario calcular los cambios de aire por hora (ac/h) propios de las viviendas a condiciones de presión normales.

Determinación de Cambios de Aire por Hora

Los primeros en utilizar de forma científica la técnica de despresurización fueron los participantes de la Comisión de Estándares Sueco (Swedish Standards Commission, 1980), quienes logran valorizar la investigación en un estándar (SS 02 15 51). En él se estableció que los edificios no debían presentar fugas superiores a tres renovaciones de aire por hora a una diferencia de presión de 50 Pa. Es desde esta exigencia que el indicador $N_{50ac/h}$ es el más usado al momento de querer calcular la infiltración y/o fugas de aire en un edificio.

El indicador $N_{50ac/h}$ no se debe confundir con un valor de tasa de infiltración, sino que se trata de un flujo de aire a una condición inducida artificialmente. Siendo entonces un indicador de fugas, no de infiltración.

Cálculo de Tasa de Infiltración

Existen diferentes técnicas para poder calcular la infiltración y éstas varían según normas y países donde son aplicadas. Actualmente en Chile no existe una propia, tornando necesario utilizar estándares extranjeros para poder calcularlas.

Para Pietrzyk y Hagentoft (2008) la tasa de intercambio de aire por hora puede evaluarse utilizando los parámetros de diseño de la vivienda junto con características climáticas y ambientales del sitio. Para ello desarrollan el modelo PROMO basado en las distribuciones de parámetros microclimáticos y resultados de ACH calculados a partir de mediciones de presión *in situ*. El modelo desarrollado requiere de distintos factores que hay que medir para el cálculo: geometría del edificio, características de las fugas, la altura del edificio, coeficientes de presión externa (restándole la interna), velocidad del viento, diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, y el coeficiente de correlación entre la velocidad del viento y la temperatura externa. Si bien, se obtienen resultados cercanos a la realidad, esta metodología no aplica a la presente investigación, ya que, como se he mencionado anteriormente, se cuenta con los valores reales obtenidos de las mediciones experimentales.

Para poder confiar en los resultados entregados por esta medición, se debe tener en cuenta: (i) la definición imperfecta del instrumento y el procedimiento de medición, (ii) el rendimiento metrológico del equipo utilizado (presión, temperatura y flujo de aire de los dispositivos de medición, etc.), (iii) el conocimiento insuficiente de las condiciones ambientales, y (iv) la capacidad del personal involucrado (d'Ambrosio et al, 2012).

Design Builder, permite utilizar el valor entregado por BDT a n50, pero se desconoce qué proceso sigue el software para poder transformarlo automáticamente a ACH. Entonces se decide modificar la unidad de medida antes de ingresarlo como input, para esto se recurrió a distintas ecuaciones propuestas por investigadores y normas establecidas.

Del estudio de Kronvall y Persily (Sherman, 1986), se concluye un modelo de cálculo (K-P) que influyó en el resto de los modelos usados hasta hoy. Para obtener la tasa de infiltraciones anual, se debe suponer lo siguiente:

$$\text{ACH k-p} = \frac{\text{ACH}^{50}}{20}$$

Donde,

ACH k-p: cambio de aire por hora usando el modelo K-P (h^{-1})

ACH₅₀ : cambio de aire por hora a 50 Pa de diferencia de presión (h^{-1})

Es a partir de esta ecuación que se cuestiona el hecho de que ignora muchos detalles propios de la infiltración, como por ejemplo la zona climática. De esta forma la sucede el modelo LBL, que señala:

$$\text{ACH k-p} = \frac{\text{ACH}^{50}}{N}$$

Donde:

N: es la relación entre fugas e infiltraciones, en función de la zona climática, el viento, la altura de la casa y el tamaño de las grietas o agujeros, y se calcula de la siguiente manera (ASHRAE, 1978):

$$N = \frac{1}{8} * \left[\frac{8(\text{Pa})}{p} \right]^{\frac{1}{2}} * \left[\frac{50(\text{Pa})}{4(\text{Pa})} \right]^n$$

Después de distintas comprobaciones, obtienen que N tiende a un valor típico, estimando como resultado lo siguiente:

$$N = N_0 = 14/s_a \text{ (m/s)}$$

Donde,

N₀: relación anual típica entre infiltraciones y fugas.

s_a: infiltración media anual (m/s)

Sherman (1986) plantea que es necesario un factor de corrección en los modelos de cálculos señalados que haga alusión a la cantidad de niveles construidos, ya que se conoce que la velocidad del viento es distinta a diferentes metros de altura.

Las ecuaciones presentadas anteriormente corresponden a edificios de un solo nivel, por lo que si se conoce la cantidad de niveles del edificio, se puede corregir el valor de la relación entre infiltración y fuga, N_0 , multiplicándolo por los siguientes factores:

Tabla 5.4: Factor de corrección según la altura del edificio (Sherman, 1986),

Número de niveles	1	1.5	2	3
Factor	1.0	0.9	0.8	0.7

Del mismo modo, si se conoce el entorno del edificio y su exposición al viento, se podrá corregir el valor N_0 , con los siguientes valores:

Tabla 5.5: Factor según el nivel de protección al viento del edificio (Sherman, 1986)

Protección del entorno	Protegido	Normal	Expuesto
Factor	1.2	1.0	0.9

En la Tabla 5.6 se muestran los métodos más comunes usados en países europeos de referencia. Recogiendo estas maneras de calcular el intercambio de aire por hora (ach). En la Tabla 5.7 se presentan los resultados de nivel de infiltración según los estos métodos con los datos obtenidos desde las mediciones hechas con el test de despresurización.

Tabla 5.6: Métodos de cálculo del valor de intercambio de aire por hora.

AIVC (Air Infiltration and Ventilation Center)	Bélgica	Finlandia	Alemania
$n_{50}/10$ (abierto)		$n_{50}/15$ (5 o más niveles)	
$n_{50}/20$ (intermedio)	$n_{50}/25$	$n_{50}/20$ (3 o 4 niveles)	$n_{50}/14$
$n_{50}/30$ (protegido)		$n_{50}/24$ (2 niveles)	
		$n_{50}/35$ (1 nivel)	

Desde la comparación de los cuatros estándares estudiados, se decide optar por los valores que entrega el método utilizado por AIVC, el cual especifica sus métodos de cálculo según el grado de exposición del proyecto en el lugar. Para esta investigación, los casos de estudio están insertos en barrios suburbanos y con edificios de alturas similares al rededor, por lo que su exposición al viento se identifica como media. A pesar de ser un lugar muy ventoso, las

viviendas se encuentran de cierta forma protegidas por las casas del sector. Debido a esto se ocupa la formulada dada por AIVC para lugares con exposición intermedia (n50/20).

Tabla 5.7: Intercambio de aire por hora obtenidos de diferentes métodos de cálculo para cada caso de estudio.

Barrio		Cabo Aroca	Peñuelas II sin Ampliación	Peñuelas II con Ampliación	Presidente Aylwin	Triángulo sin Ampliación	Triángulo con Ampliación
Valor Blower Door Test	n ₅₀ a 50 Pa	51,86	24,62	33,41	12,51	33,56	35,99
	AIVC (ACH)	2,59	1,23	1,67	0,63	1,68	1,80
Resultados según cada método de Cálculo	Bélgica (ACH)	2,07	0,98	1,34	0,50	1,34	1,44
	Finlandia (ACH)	1,48	0,70	0,95	0,52	1,40	1,50
	Alemania (ACH)	3,70	1,76	2,39	0,89	2,40	2,57

Otro motivo por el cual elige el método propuesto por AIVC, es debido a que este centro de investigación ahonda plenamente en el tema de infiltraciones y ventilación en edificios desde el año 1979 (AIVC, 2011). Además forma parte de un sistema más amplio e internacional de investigación sobre conservación de energía en edificios (*Energy Conservation in Buildings and Community Systems – ECBCS*), donde se conoce la realidad de otros países. AIVC produce guías técnicas pertinentes al tema y conferencias anuales donde se reciben experiencias sobre infiltraciones a nivel mundial, validando aún más su método de cálculo para conocer el intercambio de aire por hora.

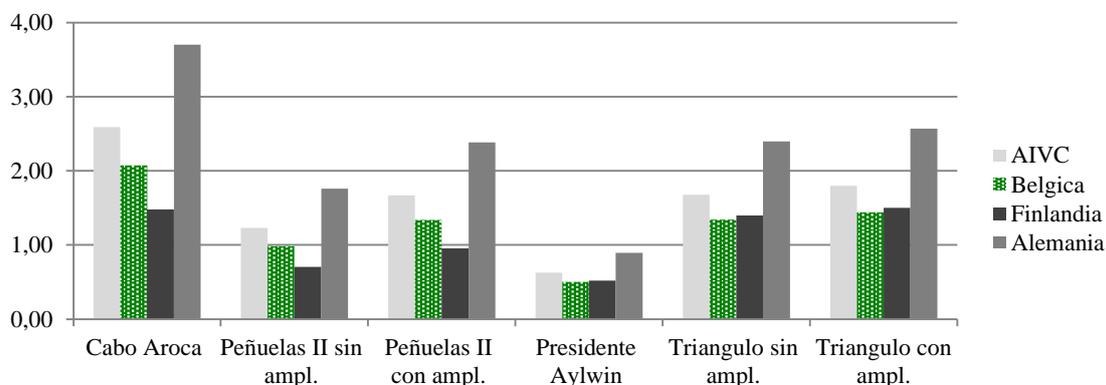


Figura 5.10: Comparación de valores de infiltración de aire por hora en cada caso de estudio según distintos estándares.

De la comparación de los resultados obtenidos a partir de distintos estándares (Figura 5.10), se observa que AIVC está dentro del promedio de todos, donde Bélgica representa la tasa de infiltración más baja y Alemania la más alta.

5.3.2.2 Zona de Confort Térmico

Dentro de esta investigación ya se ha hecho referencia al cambio de paradigma desde Fanger al modelo adaptativo de confort (Ver Capítulo 2.1.2), justificando que dentro de un espacio, y dependiendo de distintos factores (que serán abordados a continuación), las personas tienden naturalmente a adaptarse a los cambios de condiciones dados en el ambiente. Esta tendencia natural es expresada en distintos modelos adaptativos de confort térmico, que tuvieron que ser creados para poder acercarse a la realidad de cualquier caso de estudio.

Las personas que habitan edificios con ventilación natural, donde son capaces de abrir o cerrar ventanas, se acostumbran a la diversidad térmica que refleja la variabilidad climática diaria y estacional (Nicol y Humphreys, 2002; Halawa y van Hoof, 2012; Peeters et al, 2009; Ferrari y Zanotto, 2012; Liu et al, 2012, van der Linder et al, 2006). Las percepciones térmicas, y de tolerancias, de este tipo de usuario probablemente se extienden sobre un rango más amplio de temperaturas aceptables, debido a esto se hace necesario conocer la realidad climática del contexto (al menos las temperaturas medias mensuales) e idealmente saber detalles sobre las percepciones de los usuarios que habitan el caso en cuestión.

Aquellos usuarios que están en edificios acondicionados naturalmente tienden a tener una adaptación termorreguladora más activa, mediante cambios en el nivel de actividad, y parecen más tolerantes a un amplio rango de temperaturas (van Hoof y Hensen, 2007). Este tipo de usuario corresponde a los de viviendas sociales, donde la adaptación a fluctuaciones térmicas se genera con mayor facilidad: ocupando más ropa, prendiendo sistemas de calefacción solo en momentos críticos; y por ende donde el confort adaptativo tiene mayor relación. En cambio, los usuarios de edificios climatizados tienden a adaptarse menos, o en un tiempo más extenso, haciendo que su sensación térmica sea más sensible a los cambios de temperatura. Esto, dado a que desarrollan altas expectativas para entornos homogéneos y frescos.

La adaptación es definida como la disminución gradual de la respuesta humana a la estimulación del medio ambiente, y puede manifestarse de tres formas: mediante el comportamiento (o hábitos) del usuario, respuesta fisiológicas (climatización), y psicológicas (expectativas) (de Dear et al, 1997; Liu et al, 2012). Del estudio de Liu et al (2012) se concluye que la adaptación fisiológica es el factor dominante para contribuir a la creación de

un ambiente en confort térmico. Además, es necesario tener en cuenta la preferencia térmica del usuario, que puede ser resultado de su cultura, aclimatación, experiencias anteriores y cuestiones socioeconómicas. Por ende, es preciso considerar un cierto nivel de control individual para asegurar confort térmico.

Las personas en zonas de clima cálido, por ejemplo, prefieren temperaturas más altas al interior de un edificio, que aquellas personas que viven en zonas de clima frío, lo que contrasta con los supuestos que subyacen a los estándares de comodidad basado en el modelo de confort PMV de Fanger (de Dear et al, 1997).

La adaptación influenciada por cuestiones socioeconómicas, es de vital importancia en esta investigación, ya que los casos de estudios representan parte de las viviendas de los sectores más vulnerables de la población, donde existe la “pobreza de combustible”. Es decir, estas familias acostumbran a habitar viviendas muy frías, y un aumento de temperatura, en invierno por ejemplo, ya sería de vital importancia en su habitar y salud.

La susceptibilidad térmica varía con la ubicación geográfica, el clima, el tipo de edificio y su función (o destino), además de la vulnerabilidad de los ocupantes a temperaturas elevadas o muy bajas (Nicol y Humphreys, 2002; Lomas y Giridharan, 2012). Esto implica que la temperatura de confort cambie continuamente y se aleje de un valor estático anual.

Considerando que son varios los factores que afectan al momento de querer definir un rango de temperaturas aceptables en circunstancias similares, es necesario el uso de un modelo adaptativo. El objetivo de este análisis es poder conocer las temperaturas necesarias para estar en confort, bajo una combinación de variables térmicas.

El clima influye notablemente en el comportamiento del usuario, por lo que dependiendo de la procedencia del individuo tendrá ciertas actitudes frente a cambios térmicos en un espacio. Estas variables del entorno, no sólo hacen alusión a las temperaturas exterior, sino que también inciden otros factores climáticos, tales como: la cantidad de radiación solar, su distribución en el día (horas sol), la humedad, el viento, etc. Es importante no excluir estas variables, ya que lo sucede en el exterior es determinante en comportamientos que se manifiestan al interior (Nicol y Humphreys, 2002). Por lo tanto, existe un “*feedback*” entre el clima y las acciones adaptativas del usuario. De Dear y Brager (2002) lo ejemplifica con un caso cotidiano: las personas suelen utilizar información acerca de las temperaturas máximas esperadas para tomar una decisión sobre que vestimenta llevar en un día en particular, como

también, los cambios estacionales, los cuales determinan nuestras adaptaciones psicológicas en forma de expectativas termales.

Con respecto al contexto cultural y social, existen detractores (Halawa y van Hoof, 2012) que defienden que el no considerar estos factores en el modelo adaptativo no tiene gran incidencia, ya que éste debería estar implícito en el factor de vestuario y comportamiento de los usuarios de un edificio en particular. Pero para el presente estudio, si es pertinente utilizar datos climatológicos para determinar el rango de confort térmico en viviendas sociales, donde también se considera que el usuario es más propenso a la adaptabilidad térmica en el interior.

Modelos Adaptativos de Referencia

Al ocupar un modelo adaptativo se debe ser científicamente riguroso, mediante la presentación y estudio de formulaciones matemáticas que muestren los factores térmicos de transición ambiental (temperatura, humedad, velocidad del aire y temperatura radiante media) y personal (aislación de vestimenta y actividad) que influyen en la expresión de temperatura de confort (Halawa y van Hoof, 2012).

Para el presente estudio, se considera usar un modelo adaptativo ya validado para poder determinar el rango de confort, teniendo en consideración los valores climatológicos reales de la ciudad en estudio. No existe un método hecho para Chile particularmente, ni tampoco existen rangos de temperaturas de confort normados para distintas zonas climáticas del país, por lo que es necesario buscar algún modelo pertinente.

El rango de temperatura de confort en aquellas viviendas “*free-running*”, es diferente a aquel que se obtiene de aquellas viviendas que usan sistemas de calefacción o enfriamiento. Distintos autores (Nicol y Humphreys, 2002; Peeters et al, 2009) postulan que en aquellos edificios *free-running* es particularmente necesario usar un modelo adaptativo para conocer la temperatura de confort, ya que el usuario tiene más probabilidades de alcanzarla, debido a la amplia gama de posibilidades para adaptarse a algún ambiente.

En los presentes casos de estudio se utiliza el supuesto de que las familias vulnerables, no gastan lo necesario en climatización para alcanzar el confort térmico. Entonces, se decide que las viviendas deben ser simuladas en estado *free-running*, para conocer la temperatura operativa real y la alcanzada luego del mejoramiento.

El primer modelo usado para determinar el rango de confort, fue el propuesto por Humphreys (1978), quien, luego de un estudio sobre confort térmico interior relacionado con la temperatura y clima exterior, sugirió la siguiente ecuación:

$$T_n = 0,534 * T_{e,ref} + 11,19^{\circ}C$$

Donde,

T_n: Temperatura neutra

T_{e,ref}: es la temperatura media mensual exterior.

De esta forma, se sentaron las bases del modelo de adaptación, siendo usado por más de una década. Fue seguido por la fórmula de Griffiths (1990), donde se precisa en aquella temperatura que hay que sumarle a la temperatura mensual exterior por el factor propuesto por Humphreys, obteniendo:

$$T_n = 0,534 * T_{e,ref} + 12,1^{\circ}C$$

Luego de este segundo modelo, aparecen otros investigadores con nuevas propuestas.

Nicol y Roaf (1996) formulan:

$$T_n = 0,38 * T_{e,ref} + 17^{\circ}C$$

Por otra parte, De Dear et al (1997) propone la siguiente manera:

$$T_n = 0,31 * T_{e,ref} + 17,8^{\circ}C$$

Prontamente, Nicol y Humphreys (2002) estipulan que:

$$T_c = A * T_o + B$$

Donde,

T_c: temperatura confort [°C];

T_o: media mensual de temperatura del aire exterior [°C];

A, B = constantes determinadas por estudio de campo de percepción del usuario.

La temperatura neutral obtenida no es necesariamente la misma temperatura máxima para estar en confort, ya que, como se ha expuesto, puede haber un número de personas que prefieren condiciones térmicas ligeramente más cálidas o más frías que la temperatura neutral térmica. Por lo que en los modelos que se exponen se asume aceptable un 2°C a 3°C por sobre y debajo de ella, además de considerarse como necesario darle cierto control al usuario para incrementar este rango (Indraganti, 2010).

Con respecto a las temperaturas exterior consideradas, existen autores como Van der Linden (2006), que diferencia de los expuestos, y que establece que usar solo los valores promediados de la temperatura externa no es tan preciso como considerar más datos (más días). Se basan en su teoría de que una mayor adaptación se encuentra dentro de una semana más o menos.

Para van Hoof y Hensen (2007), cuando se utiliza la temperatura exterior mensual media, se involucran aquellos días muy calurosos, que al mismo tiempo son estabilizados, ocurriendo lo mismo para aquellos días muy fríos.

Se establece un modelo adaptativo, que actualmente se utiliza en Holanda (ATL o ATG - *The Adaptive Temperature Limits*) y responde las variaciones del tiempo día a día:

$$T_{e, \text{ref}} = \frac{(T_{\text{hoy}} + 0.8 * T_{\text{hoy} - 1} + 0.4 * T_{\text{hoy} - 2} + 0.2 * T_{\text{hoy} - 3})}{2.4}$$

Donde,

$T_{e, \text{ref}}$: es la temperatura externa (°C)

T_{hoy} : es el promedio aritmético de la temperatura externa máxima y mínima de hoy (°C).

$T_{\text{hoy}-1}$: es el promedio aritmético de la temperatura externa máxima y mínima de ayer (°C).

$T_{\text{hoy}-2}$: es el promedio aritmético de la temperatura externa máxima y mínima de antes de ayer (°C).

$T_{\text{hoy}-3}$: es el promedio aritmético de la temperatura externa máxima y mínima de 3 días antes (°C).

Por otro lado, Peeters et al (2009) establecen que al querer conocer la temperatura confort al interior de un edificio, especialmente en los habitacionales, es necesario considerar que dentro de él existen espacios con distintos requerimientos de confort térmico, por lo que métodos convencionales de cálculo, para él no son suficientes. Por lo tanto, señala que el uso de algoritmos para la determinación de temperaturas neutras, o de confort, en las diferentes zonas de una vivienda, permitirá mejorar el resultado, haciendo de este más semejante a la realidad. El autor define tres zonas térmicas tipo en viviendas: baño, dormitorio y otros, y distintas fórmulas para obtener la temperatura neutra de cada una de ellas. Para el baño, por ejemplo, se tiene en cuenta que el confort debe considerar que la persona queda desnuda y/o húmeda, para luego rápidamente quedar seca y vestida. Estas situaciones completamente distintas se dan en una misma zona térmica y deben permitir que el individuo se sienta cómodo con ambas.

Para obtener la Temperatura neutral (T_n), establece las siguientes formulas.

En zonas térmicas frías como los baños:

$$\begin{aligned} \text{para } T_{e,ref} < 11^{\circ}\text{C}: & \quad T_n = 0,112 * T_{e,ref} + 22,65^{\circ}\text{C} \\ \text{para } T_{e,ref} \geq 11^{\circ}\text{C}: & \quad T_n = 0,306 * T_{e,ref} + 20,32^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

En dormitorios, la temperatura de confort se ve limitada por las condiciones invernales o estivales. Del mismo estudio, el autor define las siguientes ecuaciones para conocer la T_n :

$$\begin{aligned} \text{para } T_{e,ref} < 0^{\circ}\text{C}: & \quad T_n = 16^{\circ}\text{C} \\ \text{para } 0^{\circ}\text{C} < T_{e,ref} < 12,6^{\circ}\text{C}: & \quad T_n = 0,23 * T_{e,ref} + 16^{\circ}\text{C} \\ \text{para } 12,6^{\circ}\text{C} < T_{e,ref} < 21,8^{\circ}\text{C}: & \quad T_n = 0,77 * T_{e,ref} + 9,18^{\circ}\text{C} \\ \text{para } T_{e,ref} > 21,8^{\circ}\text{C}: & \quad T_n = 26^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Finalmente, en el tercer grupo de zonas térmicas (cocina, estar, oficina, etc.) existen niveles de actividad física comparables con la de las oficinas, pero un poco más intensos. Por lo tanto, la T_n puede ser más dependiente del clima exterior de lo que es generalmente aceptado en una oficina. Para estos casos Peeters et al (2009) sostiene las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{para } T_{e,ref} < 12,5^{\circ}\text{C}: & \quad T_n = 0,06 * T_{e,ref} + 20,4^{\circ}\text{C} \\ \text{para } T_{e,ref} \geq 12,5^{\circ}\text{C}: & \quad T_n = 0,36 * T_{e,ref} + 16,63^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Ciertamente la metodología implementada por Peeters es lógica cuando se estudia cada zona térmica de la vivienda, pero en el presente estudio no se abordó dividido por espacios.

Uno de los métodos más utilizados a nivel mundial es el propuesto por el estándar ASHRAE 55 (2010), cuyo propósito es especificar la combinación entre factores térmicos al interior del edificio y factores propios del usuario. Esta combinación producirá condiciones térmicas aceptables para la mayoría de los ocupantes dentro de un espacio. Para este estándar se utilizan las siguientes ecuaciones para indicar la temperatura de confort mensual al interior de un edificio:

En aquellos edificios que solo cuentan con ventilación natural:

$$\text{para } 5^{\circ}\text{C} < T_{e,ref} < 32^{\circ}\text{C} \quad T_n = 0,31 * T_{e,ref} + 17,6^{\circ}\text{C}$$

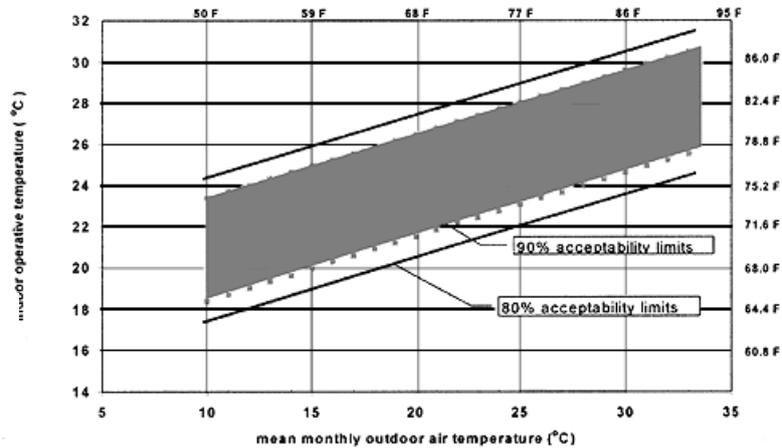
En edificios que cuenten con sistemas de calefacción y enfriamiento:

$$\text{para } 5^{\circ}\text{C} < T_{e,ref} < 32^{\circ}\text{C} \quad T_n = 0,11 * T_{e,ref} + 21,45^{\circ}\text{C}$$

El estándar establece dos rangos de aceptabilidad, que corresponden a los porcentajes de ocupantes satisfechos y se definen por los valores constantes: una gama de aceptabilidad 80% conectado a un intervalo de temperatura de 3,5°C por sobre y bajo del valor de temperatura neutra obtenido, para aplicación típica; y un rango de aceptabilidad 90% conectado a un

intervalo de temperatura de 2,5° C por sobre y bajo la temperatura de confort, o temperatura neutra, en caso de que se desee un mayor nivel de confort térmico (Figura 5.11) (ASHRAE 55, 2010). Es éste último el que se considera para determinar el rango de confort en la presente investigación.

Figura 5.11: Rango de aceptabilidad según nivel de confort térmico para edificios ventilados naturalmente. (ASHRAE 55, 2010).



Luego de estas décadas, donde se desarrollaron distintos modelos adaptativos, se proponen nuevos modos actualizados, de los cuales los más vigentes se publican durante el año 2012.

El primero es el modelo adaptativo europeo llamado *Adaptive Comfort Algorithm* (ACA) (Ferrari y Zanotto, 2012), donde se establece la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{para } 10^{\circ}\text{C} < T_{e,ref} < 32^{\circ}\text{C} & \quad T_n = 0,302 * T_{e,ref} + 19,39^{\circ}\text{C} \\ \text{para } 10^{\circ}\text{C} > T_{e,ref} & \quad T_n = 22,88^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

La temperatura que establecen para aquellos meses donde la temperatura media sea inferior a 10°C es alta en comparación a los otros modelos.

European Committee for Standardization presentó el siguiente modelo adaptativo para conocer la temperatura de confort al interior de un edificio. Esta fórmula se adoptó en la norma EN 15251 en 2007 (Ferrari y Zanotto, 2012), pero llama la atención que no considera aquellas temperaturas medias inferiores a 10°C, ni superiores a 30°C.

$$\text{para } 10^{\circ}\text{C} < T_{e,ref} < 30^{\circ}\text{C} \quad T_n = 0,33 * T_{e,ref} + 18,8^{\circ}\text{C}$$

Definición de Zona de Confort Térmico

De los modelos adaptativos expuestos en la sección anterior, se consideran aquellas ecuaciones que sean pertinentes a los casos de estudio, es decir que los rangos mínimos y máximos de temperatura aceptados permitan involucrar las temperaturas medias mensuales obtenidas en Concepción (datos extraídos desde la Norma Chilena 1079) (Tabla 5.8). Son

solo dos los modelos aplicables a edificaciones residenciales. Otro factor condicionante para la elección del modelo adaptativo, es que éste sea apto para edificaciones acondicionadas naturalmente, suponiendo que no todas las viviendas sociales pueden optar a sistemas de climatización para asegurar el confort térmico en el interior.

Tabla 5.8: Valores de Temperaturas Medias Mensuales registradas en Concepción (NCh 1079, 2010).

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
16,3	15,7	13,9	12,0	10,8	9,2	8,8	9,1	9,7	11,5	13,5	15,5

Tal como indica ASHARAE 55 (2010) para tener un rango de aceptabilidad 90% se utiliza un intervalo de temperatura de 2,5° C por sobre y bajo la temperatura neutra (Figura 5.12 y Tabla 5.9).

Tabla 5.9: Muestra de valores de temperaturas medias máximas y mínimas aceptadas dentro del rango de confort según distintos modelo adaptativos. Elaboración propia.

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Humphreys (1978)	T°. Max.	23,1	22,7	21,8	20,8	20,1	19,3	19,1	19,2	19,5	20,5	21,6	22,6
	T° Neutra	20,6	20,2	19,3	18,3	17,6	16,8	16,6	16,7	17,0	18,0	19,1	20,1
	T°. Min.	18,1	17,7	16,8	15,8	15,1	14,3	14,1	14,2	14,5	15,5	16,6	17,6
Griffiths (1990)	T°. Max.	23,3	22,9	22,0	21,0	20,3	19,5	19,3	19,4	19,7	20,7	21,8	22,8
	T° Neutra	20,8	20,4	19,5	18,5	17,8	17,0	16,8	16,9	17,2	18,2	19,3	20,3
	T°. Min.	18,3	17,9	17,0	16,0	15,3	14,5	14,3	14,4	14,7	15,7	16,8	17,8
Nicol Y Roaf (1996)	T°. Max.	25,6	25,4	24,7	24,0	23,6	23,0	22,8	22,9	23,1	23,8	24,6	25,3
	T° Neutra	23,1	22,9	22,2	21,5	21,1	20,5	20,3	20,4	20,6	21,3	22,1	22,8
	T°. Min.	20,6	20,4	19,7	19,0	18,6	18,0	17,8	17,9	18,1	18,8	19,6	20,3
De Dear (1997)	T°. Max.	25,3	25,1	24,6	24,0	23,6	23,1	23,0	23,1	23,3	23,8	24,4	25,1
	T° Neutra	22,8	22,6	22,1	21,5	21,1	20,6	20,5	20,6	20,8	21,3	21,9	22,6
	T°. Min.	20,3	20,1	19,6	19,0	18,6	18,2	18,0	18,1	18,3	18,8	19,4	20,1
Ashrae 55 (2010)	T°. Max.	25,1	24,9	24,4	23,8	23,4	22,9	22,8	22,9	23,1	23,6	24,2	24,9
	T° Neutra	22,6	22,4	21,9	21,3	20,9	20,4	20,3	20,4	20,9	21,1	21,7	22,4
	T°. Min.	20,1	19,9	19,4	18,8	18,4	17,9	17,8	17,9	18,1	18,6	19,2	19,9
Aca (1995)	T°. Max.	26,8	26,6	26,0	25,5	25,1	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,9	26,5
	T° Neutra	24,3	24,1	23,5	23,0	22,6	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	23,4	24,0
	T°. Min.	21,8	21,6	21,0	20,5	20,1	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,9	21,5

A partir de la Figura 5.12 se identifica que los modelos Humphreys, Griffiths y ACA se alejan de la tendencia indicada por los otros modelos adaptativos, los cuales muestran rangos

similares. De los que si marcan una tendencia similar, se concluye que el más exigente es el propuesto por ASHRAE 55, y será el método utilizado para determinar el rango de temperatura de confort para Concepción.

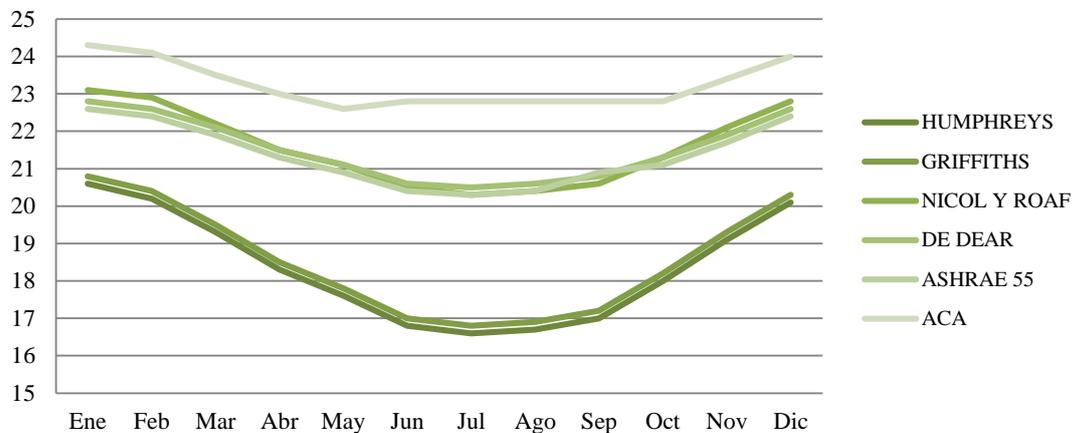


Figura 5.12: Temperaturas aceptadas como temperaturas neutras de confort según cada modelo adaptativo.

Tabla 5.10: Temperaturas máximas y mínimas aceptadas para concepción en base al modelo adaptativo de ASHRAE 55.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
25,15	24,97	24,41	23,82	23,45	22,95	22,83	22,92	23,11	23,67	24,29	24,91
20,15	19,97	19,41	18,82	18,45	17,95	17,83	17,92	18,11	18,67	19,29	19,91

Para poder establecer el rango de temperatura de confort, se definen dos períodos:

- Periodo frío: Abril – Septiembre
- Periodo templado: Octubre – Marzo

El periodo frío coincide con los meses donde se necesita calefaccionar, según lo propuesto por el Manual del Usuario CCTE 2.0 (MINVU, 2009). Además es una época donde los hábitos del usuario cambian, por ejemplo, usan más ropa que durante otra estación, lo que permite poder disminuir el valor del rango de temperatura.

En cambio, para el periodo templado, se considera la temperatura alta más extrema obtenida desde el modelo adaptativo, alcanzada en enero. De este modo, el rango de temperatura para estar en confort en esta época es: **20 – 25 °C**.

El mismo procedimiento se utiliza para la temporada fría, ocupando las temperaturas del mes de Julio, identificadas como extremas entre: **18 – 23 °C**.

Los rangos son comparados con los utilizados en distintos estudios relacionados con la vivienda en Concepción o similares (zona térmica 4). La diferencia entre el propuesto por esta investigación y los extraídos desde otros estudios, es que la mayoría de ellos proponen un único rango para todo el año, a excepción de Bustamante (2005) que propone 15-18 °C para invierno y 20-22°C para verano. Llama la atención que el rango entre verano e invierno cambie desde 3 grados de aceptación a 2 grados para la otra temporada. Establece 15 °C como temperatura mínima en invierno, debido a dos situaciones: los estándares deficientes que presentan las viviendas sociales, y la pobreza de los usuarios, la cual no les permite el uso de sistemas de calefacción. Pero es debido a estas causas, que en esta investigación se propone elevar esta temperatura mínima exigida. Otros estudios proponen los siguientes rangos: 20-27°C (Trebilcock, 2001), 18-27°C (Vera y Ordenes, 2002), 20-26°C (Campos, 2008), 17-20°C (Bustamante y Encinas, 2008), 18°C (Escorcía, 2012), 17-23°C (Besser, 2012), Finalmente, los rangos determinados bajo el modelo adaptativo no se alejan de la tendencia que otros estudios muestran, por lo que se concluye no modificarlos.

5.3.3 Procesos de Simulaciones

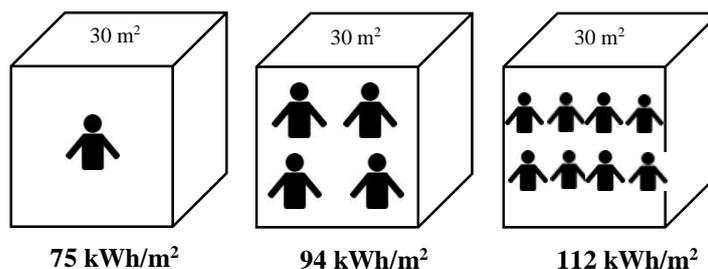
5.3.3.1 Inputs

Para simular se agrupan los datos en función de tres conjuntos: comportamiento de los ocupantes, diseño del edificio y condiciones exteriores. Para cada uno de ellos se deben especificar distintos factores, de los cuales algunos permanecen iguales, o estandarizados, para todos los casos de estudio; y otros varían según propiedades físicas de la vivienda.

Comportamientos de los Ocupantes

Al tratarse de viviendas sociales se espera que la cantidad de usuarios en ellas no sea la misma. Es más bien probable que en la mayoría, la cantidad de usuarios superara el estimado. Dentro de esta investigación se realiza un ejercicio para conocer cómo influye la cantidad de personas en la demanda energética de un espacio. Se consideran idénticas condiciones bordes en un espacio tipo, donde sólo se modifica la cantidad de personas que lo habitan. Como resultado se obtiene que la demanda energética de una vivienda se ve afectada notablemente si en ella habitan 1, 4 u 8 personas (Figura 5.13), debido a las distintas necesidades que conlleva esta situación: mayor necesidad de ventilación, de enfriamiento, de calefacción, etc.

Figura 5.13: Comparación de demanda energética anual para un mismo espacio con características iguales, pero con diferente ocupación.



En las viviendas estudiadas se encontraron distintas tipologías de familias, en dos de ellas eran 4 personas y en otras hasta 6, sufriendo variaciones durante los fines de semana. Por lo tanto, como el objetivo es mejorar las propiedades físico-constructivas de la envolvente de la vivienda, se decide ocupar un valor estándar de ganancias interna usado en la herramienta de Certificación del Comportamiento Térmico de Edificios en Chile (CCTE_CL v2, 2009) y no la cantidad de personas por metro cuadrado. En él se indica que para calcular la demanda no se especifica la cantidad de personas que habitan dentro, sino que un promedio entre la suma de ganancias latentes y sensibles, el cual se estable como 160 Wh/m². Fue necesario transformar la unidad de medida de este valor para hacerla compatible con la requerida por Design Builder, especificando el valor promedio como: 6,6 W/m².

Las autoras Méndez y Bardi (2009) recomiendan que los valores medios de ganancias internas se deben reducir, y de este modo evitar valores poco realistas y muy optimistas en las simulaciones. Consideran que al no aplicar esta reducción, es fácil confundir los resultados de los cálculos de temperatura y hasta influir en una disminución de la demanda de energía para calefaccionar. Por lo que, se decidió disminuir el valor propuesto en CCTE_CL en la simulación en Design Builder. El valor utilizado fue 6 W/m², basándose en la teoría de los autores y por un tema de especificación del software, el cual no permitía cifras decimales.

Diseño del Edificio

Se utiliza la geometría y dimensiones indicadas en los planos. Los techos hechos en base a cerchas y que involucraran un cielo falso hacia los espacios interiores y que son ventilados, no son considerados como zonas térmicas ni climatizados, pero sí como espacios semi-exteiores, porque provocan una barrera para la pérdida de calor hacia el exterior.

En cuanto a las propiedades físicas de los componentes, se especifica la composición de cada componente que integra el elemento de la envolvente. Para la creación de cada material se ocupan las propiedades entregadas por la NCh 853. Se debe definir la conductividad del material (W/mk), la densidad aparente (kg/m³) y el calor específico (J/kgK), además del espesor de cada uno de ellos.

El programa Design Builder (DB) (con los datos mencionados) calcula de forma automática el de transmitancia térmica. Para evitar mayores diferencias de resultados entre las metodologías empleadas, se recurre a una calibración del modelo, es decir se utilizan datos de forma complementaria en la simulación dinámica, para poder acercar el resultado a la realidad. En el caso de los muros y ventanas, se decide utilizar los valores entregados por las mediciones de termo-flujometría, ya que éstos reflejaban con mayor precisión las propiedades actuales del muro de acuerdo a condiciones reales de construcción y clima. En la calibración del modelo se usa la tasa de infiltración de aire medida, y no un valor estimativo o ideal, ya que esta puede ser muy influyente en la calidad térmica, de aire y energética de la vivienda. En ciertas viviendas las infiltraciones hasta pueden garantizar el nivel mínimo de ventilación recomendando bajo perspectivas higiénicas.

La ventilación permanente para alcanzar la calidad de aire interior es definida como aquella necesaria para asegurar calidad de aire interior por zona, y no por personas, porque como ya se explicó no se identificó la cantidad de personas sino que la totalidad de ganancias internas. El valor usado como mínimo de intercambio de aire fresco para una vivienda en su totalidad, en relación a la ventilación mecánica, es extraído desde una comparación de distintas normas europeas y norteamericanas. Las únicas que establecen el valor exigido en la unidad de medida “l/sm²”, son las normas correspondientes a Bélgica, Suecia y Suiza, estableciendo 1, 0,35 y 0,3 l/sm² respectivamente (Mumovic y Santamouris, 2009). Para determinar cuál usar, se utiliza de referencia la ASHRAE, que equivale a 7,5 l/s por persona, el cual es transformado a la unidad de medida requerida por DB. De este modo, se obtiene que para el caso de estudio “Cabo Aroca”, por ejemplo, el valor es de 0,89 l/s m², lo cual permite concluir que el valor a utilizar como estándar en todos los casos será de 1 l/s m², debido a su aproximación más exigente.

La ventilación por confort térmico en verano, en cambio, se define como el intercambio de aire adicional de 2 ACH cuando la temperatura supere los 23°C (Kehl, 2010). Esta ventilación natural “extra” se programa de tal forma que sólo se accione cuando la temperatura operativa interior exceda los 23°C, la cual simula el comportamiento del usuario que abre una ventana. En cambio la ventilación permanente se mantiene encendida todo el tiempo asegurando una calidad de aire adecuada según la norma Belga.

Es imperioso dibujar aquellas viviendas que se encuentren adosadas al caso de estudio, ya que influirá en la pérdida, o ganancia, de calor hacia, o desde, el espacio interior.

Condiciones Climáticas Exteriores

En todo programa de simulación es necesario ingresar un determinado archivo climático. En el caso de DB el formato requerido es *International Weather for Energy Calculation (IWEC)*, y para el caso de Chile existen de las ciudades: Santiago, Antofagasta, Isla de Pascua, Punta Arenas y Concepción, siendo este último el utilizado en estos casos de estudio. Los archivos son creados con hasta 18 años de datos meteorológicos por hora que originalmente son extraídos desde Centros Nacionales de datos climáticos. Los datos meteorológicos se complementan con las radiaciones solares estimadas a partir de la geometría desde Tierra al Sol, además de la información de nubosidad en el lugar (<http://apps1.eere.energy.gov>).

Los archivos IWEC contienen observaciones horarias de temperatura del bulbo seco, del punto de rocío, la velocidad y dirección del viento; información que permite estudiar con mayor detalle el comportamiento del edificio frente a un clima específico.

Como ya se especificó, los rangos de temperatura en confort corresponden a 18 y 23°C para invierno y 20 y 25°C para verano. Este rango permitirá conocer la cantidad de horas que la temperatura operativa se encuentra fuera del rango de confort. Bajo o sobre éste, el usuario no estaría en confort y para alcanzarlo sería necesario el uso de sistemas de climatización.

Se especificaron dos temporadas de funcionamiento de algún sistema de climatización:

- Periodo templado (octubre – marzo) para sistemas de enfriamiento
- Periodo frío (abril – septiembre) para sistemas de calefacción

De esta forma se evita que el simulador arroje resultados como la necesidad de calefaccionar en verano. Estos datos referentes a la necesidad de climatización son datos informativos que se complementarán con análisis de temperatura.

Es necesario especificar la temperatura mensual promedio del terreno bajo la superficie construida, para alcanzar mayor precisión en las temperaturas ambientales externas. La forma de calcularla consta de tres etapas: (i) simular la vivienda (sin ningún sistema de climatización) con la temperatura de terreno que se entrega por defecto, (ii) a ésta última se le resta 2°C a cada mes, e (iii) ingresar manualmente los nuevos valores de temperatura promedio del terreno.

5.3.3.2 Consideraciones para la Simulación

Las simulaciones se realizan con las mismas condiciones de borde (Tabla 5.11) y bajo dos regímenes: (i) free running, y (ii) uso de sistemas de calefacción y enfriamiento. Este último

determina la demanda de energía necesaria para calefaccionar y refrigerar. El combustible que se usa en ambos es irrelevante, porque no se busca conocer el costo que implica la demanda.

Tabla 5.11: Condiciones borde para los casos de estudio.

	Cabo Aroca	Peñuelas II	Pdte. Aylwin	Villa el Triangulo
01 Orientación fachada acceso	Oeste	Norte-oeste	Norte-oeste	Norte
02 Datos Climáticos	Concepcion	Concepcion	Concepcion	Concepcion
03 Materialidad Muros Envoltente	Madera	Albañilería	Albañilería	Madera
04 Infiltraciones	2,59 ac/h	1,23 ac/h	0,50 ac/h	1,68 ac/h
05 Rango de Temperatura (Abril-Septiembre)	18-23°C	18-23°C	18-23°C	18-23°C
06 Rango de Temperatura (Octubre-Marzo)	20-25°C	20-25°C	20-25°C	20-25°C
07 Ganancias Internas	6 W/m ²	6 W/m ²	6 W/m ²	6 W/m ²
08 Horarios de Ocupación	24 horas	24 horas	24 horas	24 horas
09 Ventilación Permanente por Calidad de Aire	1 l/s m ²			
10 Ventilación Adicional por Confort Térmico	2 ac/h (>23°C)	2 ac/h (>23°C)	2 ac/h (>23°C)	2 ac/h (>23°C)
11 Calendario de Temporadas	Templada: Octubre – Marzo / Fría: Abril - Septiembre	Templada: Octubre – Marzo / Fría: Abril - Septiembre	Templada: Octubre – Marzo / Fría: Abril - Septiembre	Templada: Octubre – Marzo / Fría: Abril - Septiembre

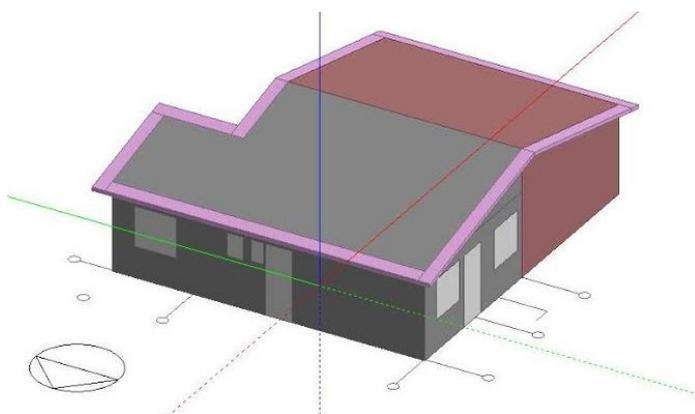


Figura 5.14: Imagen de la simulación de Cabo Aroca en Desing Builder.

5.3.4 Resultados de Temperatura interior en Temporada Cálida

Considerando solo las propiedades físicas constructivas actuales de la vivienda, junto con ventilación natural y mecánica, y sin incluir ningún tipo de sistema de climatización, las viviendas presentan resultados de temperaturas que se señalan en las próximas ilustraciones.

Los resultados de frecuencia de temperatura fueron divididos en dos, temporada cálida y fría según el rango de confort pertinente a cada una.

De los 6 meses considerados dentro de esta temporada, denominada cálida, octubre es el mes donde las viviendas tienen más horas fuera del rango de confort. Esto se debe a que también es el mes que presenta las menores temperaturas exteriores, y es por este mismo motivo en que es el mismo mes en que el sobrecalentamiento no existe.

Con respecto a las viviendas en su estado inicial, la vivienda que es adosada por ambos lados (Presidente Aylwin), es la que muestra más horas dentro del rango de confort (1.739 horas), seguida por Peñuelas II (1.638 hrs.), Cabo Aroca (1.081 hrs.) y el Triángulo (1.059 hrs.).

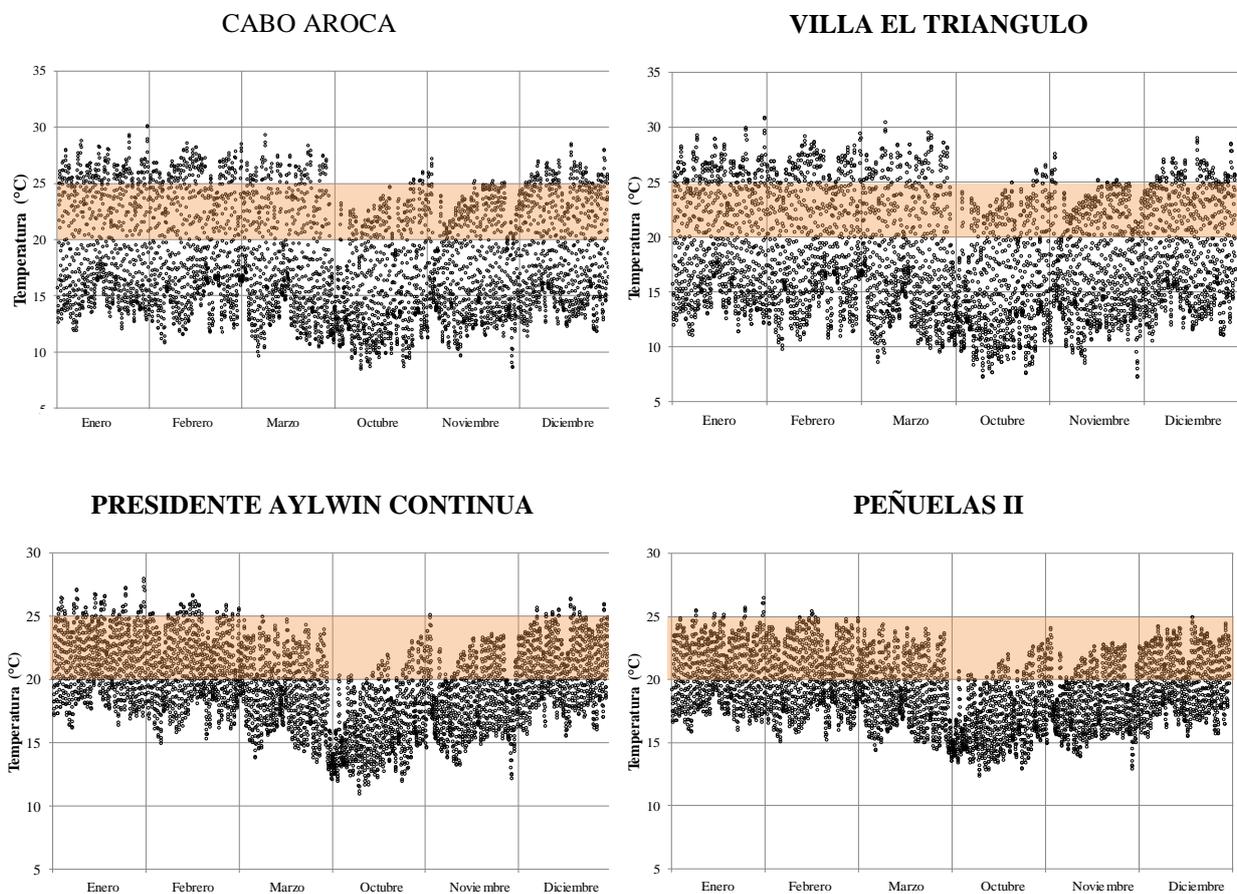


Figura 5.14: Temperaturas Operativas Interiores Horarias durante Temporada Cálida para los casos de estudio.

Las cuatro viviendas muestran gran porcentaje de la temporada en temperaturas que fluctúan entre los 14 y 20°C, es decir los usuarios viven la mayor parte del tiempo bajo el rango de confort en los meses cálidos. Son las viviendas Cabo Aroca y Villa el Triángulo los que arrojan las temperaturas más frías al interior de la vivienda, al contrario de las otras dos que muestran temperaturas un poco más elevadas.

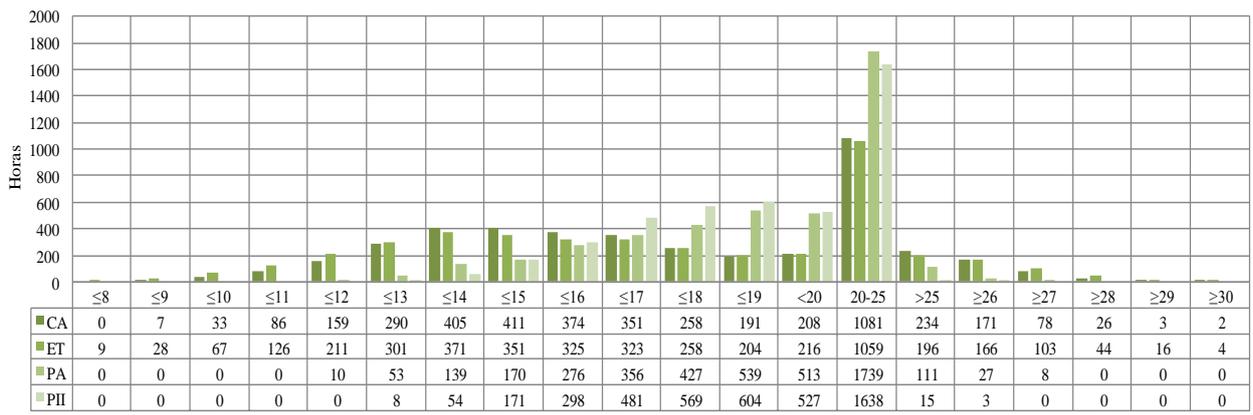


Figura 5.15: Frecuencia de Temperatura de los casos de estudio en Temporada Cálida (Oct-Mar).

Tabla 5.12: Horas dentro y fuera del rango de temperatura para estar en zona de confort durante la temporada cálida.

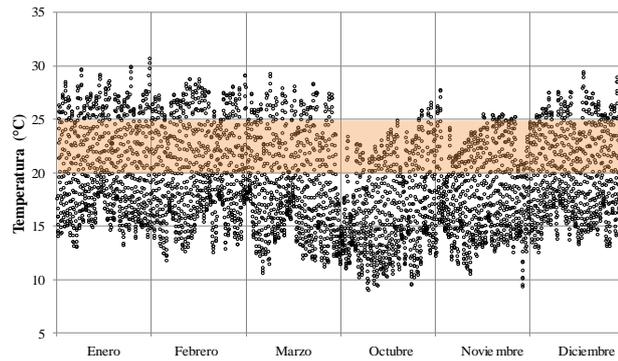
	Bajo Rango Confort (8-20°C)	Rango de Confort (20-25°C)	Sobre Rango Confort (25-30°C)
Cabo Aroca	2.773 (63,5%)	1.081 (24,7%)	514 (11,8%)
Villa el Triángulo	2.790 (63,9%)	1.059 (24,2%)	529 (11,9%)
Villa el Triángulo Ampliada	2.801 (61,9%)	1.147 (25,3%)	572 (12,8%)
Presidente Aylwin Continua	2.483 (56,8%)	1.739 (39,8%)	146 (3,4%)
Presidente Aylwin Terminal	2.650 (60,6%)	1.611 (36,8%)	107 (2,6%)
Peñuelas II	2.712 (62,0%)	1.638 (37,5%)	18 (0,5%)
Peñuelas II Ampliada	3.122 (71,4%)	1.244 (28,4%)	2 (0,2%)

Todos los casos de estudio revelan sobrecalentamiento, pero este es un disminuido porcentaje y la tendencia está dentro de los 25 y 26°C. Las que mayor sobrecalentamiento muestran son las viviendas construidas en madera (Cabo Aroca y Villa el Triángulo). Peñuelas II casi no muestra temperaturas que supere el rango de confort, por el contrario Cabo Aroca llega hasta los 30°C al interior de la vivienda.

Las soluciones hechas con maderas de los muros perimetrales, no son en ningún caso madera sólida, solución que si brindaría una buena aislación. Por lo contrario, están hechas en base a tabiques, los cuales tienen por estructura soportante madera con poca aislación térmica e infiltraciones de aire. Además, de que la solución del muro es deficiente térmicamente, la madera es propensa a presentar orificios involuntarios (encuentros de dos placas de revestimiento por ejemplo), donde el aire entra indeliberadamente, aumentando la tasa de infiltraciones.

Con respecto a los casos de estudios que contaban con ampliaciones (Villa El Triángulo y Peñuelas II), se obtuvo lo siguiente:

Figura 5.16: Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Cálida en Villa El Triángulo Ampliada.



El caso de la vivienda Villa el Triángulo, que es una de los dos casos de estudios con ampliación, muestra una diferencia de horas en que la temperatura al interior de la vivienda se encuentra dentro del rango de temperatura no es muy significativa. La vivienda inicial muestra 1.059 horas entre 20 y 25°C, en cambio la vivienda ampliada la supera llegando a 1.147 horas. Cabe mencionar que el espacio ampliado de la vivienda no fue construido con madera, si no que con albañilería, por lo que se justifica que eleve el número de horas que está dentro del rango de confort.

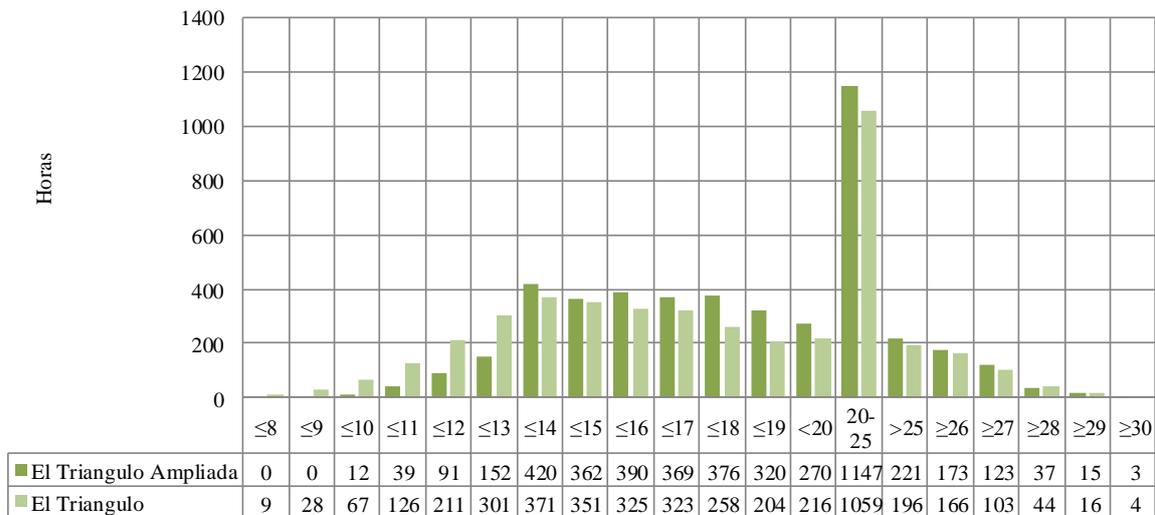


Figura 5.17: Comparación de Frecuencia de Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Cálida en Villa El Triángulo Inicial y Ampliada.

El otro caso de estudio ampliado fue la vivienda Peñuelas II, donde ocurre lo contrario del otro caso ampliado. El tiempo en que la temperatura del interior de la vivienda sin ampliar esta dentro del rango de confort, corresponde a 1.638 horas, en cambio las horas pertinentes de la vivienda ampliada son de 1.244 horas. La diferencia de horas es mayor a la otra vivienda, pero este caso es completamente distinto, ya que es de un nivel y de albañilería en su totalidad. Esta situación pudiese explicarse, debido a que la vivienda con ampliación tiene

una tasa de infiltración más elevada (1,67 ac/h) que la vivienda sin ampliar (1,23 ac/h), fenómeno que provoca una mayor pérdida de calor a través de la envolvente.

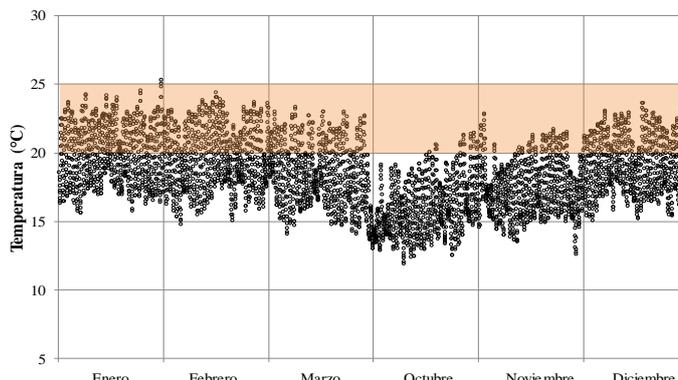


Figura 5.18: Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Cálida en Peñuelas II Ampliada.

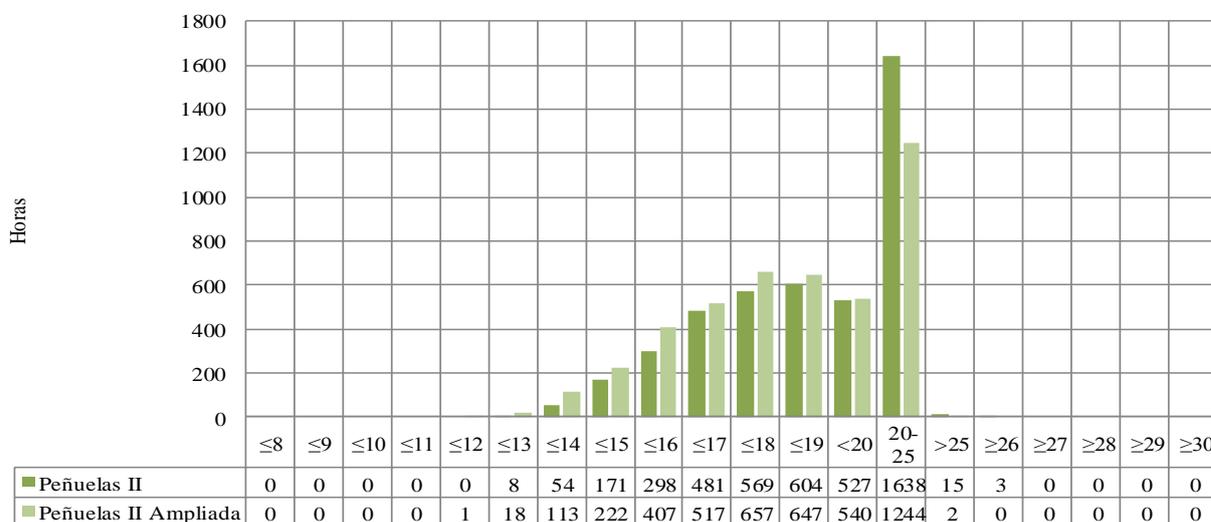


Figura 5.19: Comparación de Frecuencia de Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Cálida en Peñuelas II Inicial y Ampliada.

De los cuatro casos de estudio, la única vivienda que presenta dos viviendas adosadas a ella, es la vivienda Presidente Aylwin. En la Figura 5.20 se muestran los resultados de la vivienda con tipología continua, donde siempre existe una vivienda terminal, la cual hay que considerar también.

Si se comparan ambos casos de estudios de la misma tipología de vivienda (continua y terminal de Pde. Aylwin), se obtiene que la continua presenta más horas dentro del rango de confort (1.739 hrs.) que la vivienda adosada en uno de sus lados (1.611 hrs). La diferencia no se atribuye a que la vivienda continua tiene menos superficie por donde perder calor hacia el exterior.

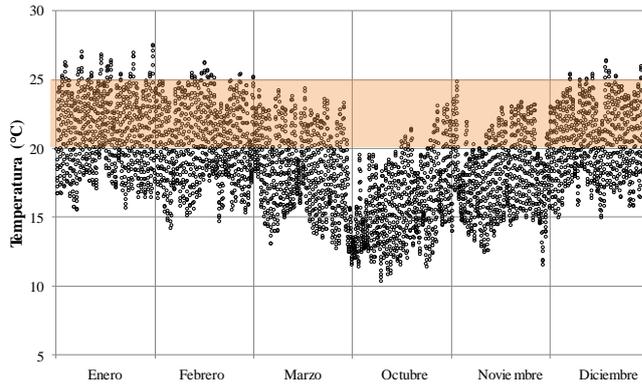


Figura 5.20: Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Cálida en Presidente Aylwin Terminal.

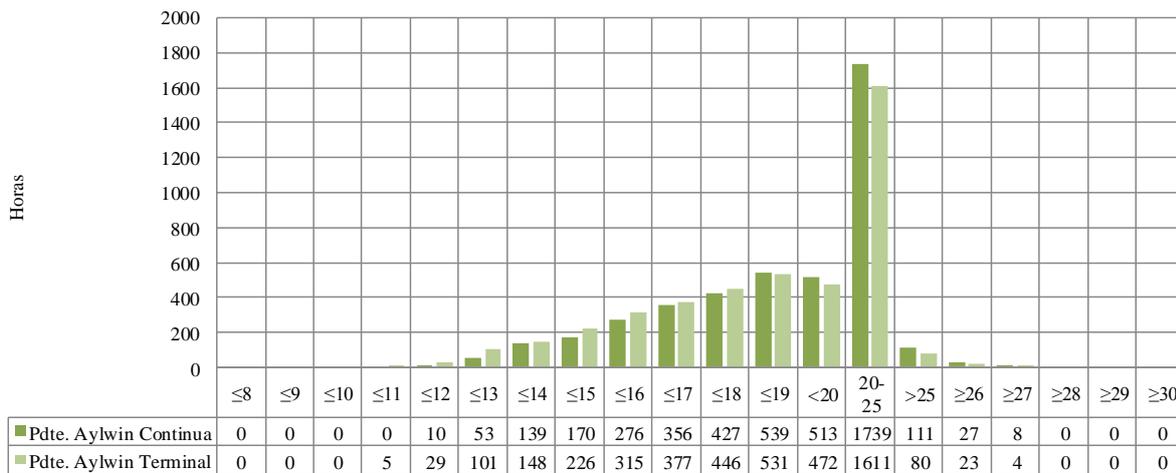


Figura 5.21: Comparación de Frecuencia de Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Cálida en Presidente Aylwin Continúa y Terminal.

Se puede observar que las viviendas construidas con muros livianos en madera alcanzan temperaturas más bajas que las construidas en albañilería. Las temperaturas demuestran la existencia de masa térmica en la envolvente de la vivienda, donde los muros tienen poca capacidad de almacenamiento de calor, perdiéndolo rápidamente hacia el exterior.

5.3.5 Resultados de Temperatura en Temporada Fría

En el gráfico de frecuencia de temperatura, se puede observar que la mayoría de las viviendas estudiadas muestran una tendencia de temperatura bajo el rango de confort establecido para los meses fríos (18-23°C). Son las viviendas construidas en base a madera (Cabo Aroca y el Triángulo) las que muestran mayor cantidad de horas dentro del rango de confort, en comparación a las construidas en albañilería (Peñuelas II y Pdte. Aylwin) que muestran incluso menos de la mitad de las horas.

A pesar de que en las cuatro viviendas se detectan temperaturas interiores entre 18 y 23°C, son la mayoría de las temperaturas correspondientes a tendencias bajo el rango, siendo los 13 y 14°C la temperatura interior que marca la mayor tendencia.

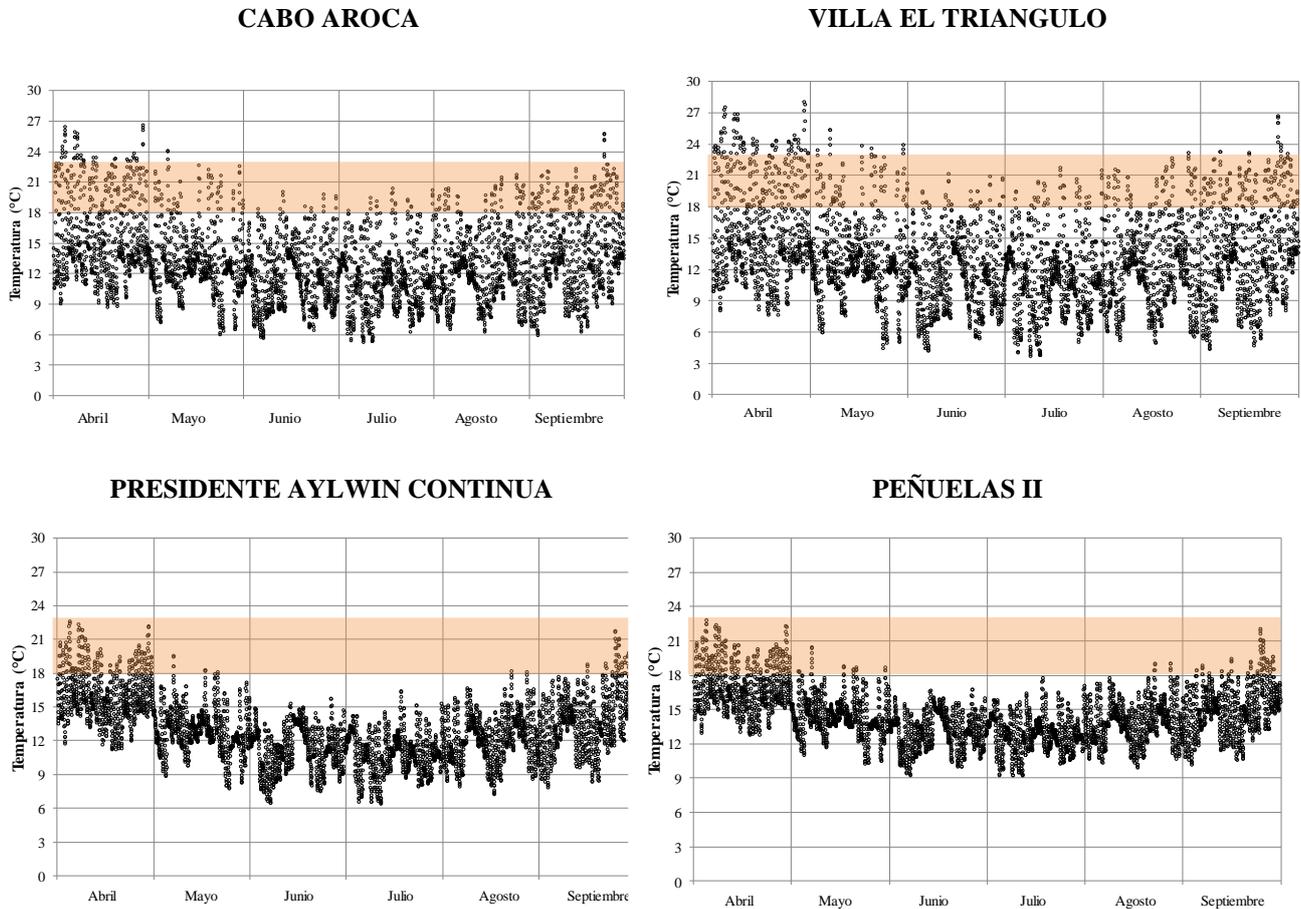


Figura 5.22: Temperaturas Operativas Interiores Horarias durante Temporada Fría para los casos de estudio.

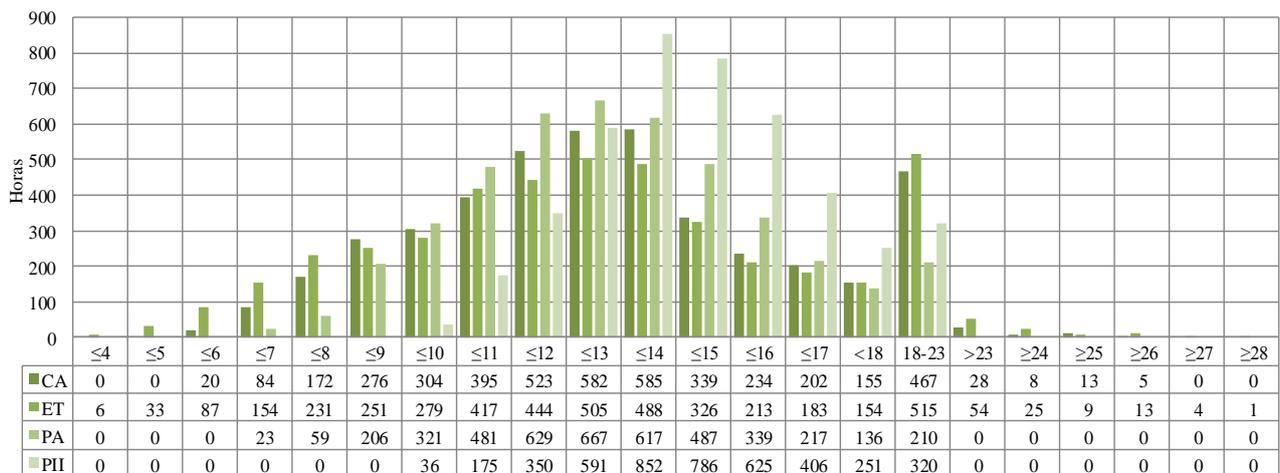


Figura 5.23: Frecuencia de Temperatura de los casos de estudio en Temporada Fría (Abr-Sep).

Tabla 5.13: Horas dentro y fuera del rango de temperatura para estar en zona de confort durante la temporada fría.

TEMPORADA FRÍA	Bajo Rango Confort (4-18°C)	Rango de Confort (18-23°C)	Sobre Rango Confort (23-28°C)
Cabo Aroca	3871 (88,1%)	467 (10,6%)	54 (1,3%)
Villa el Triángulo	3771 (85,8%)	515 (11,7%)	106 (2,5%)
Villa el Triángulo Ampliada	3888 (88,5%)	451 (10,3%)	53 (1,2%)
Presidente Aylwin Continua	4182 (95,2%)	210 (4,8%)	0 (0%)
Presidente Aylwin Terminal	4226 (96,2%)	166 (3,8%)	0 (0%)
Peñuelas II	4072 (93,0%)	320 (7,0%)	0 (0%)
Peñuelas II Ampliada	4202 (95,7%)	190 (4,3%)	0 (0%)

Con respecto al sobrecalentamiento, preocupaban los casos durante abril, que corresponde al de temperaturas exteriores más altas. Finalmente, las temperaturas consideradas para generar sobrecalentamiento son casi nulas, y si existen solo alcanzan los 23 y 24°C.

De los casos de estudios que contaban con ampliación (El Triángulo y Peñuelas II), se obtuvo que la vivienda el Triángulo ampliada tiene menos horas dentro del rango de confort en comparación con la vivienda inicial (Figura 5.24 y 5.25). Lo contrario ocurría con estas viviendas durante los meses de temperaturas más cálidas, donde la vivienda ampliada tenía más horas dentro del rango de confort. Es importante destacar que la diferencia en los meses fríos no es muy significativa, siendo 61 horas de diferencia.

La diferencia de horas dentro del rango de confort entre la vivienda Peñuelas II inicial y ampliada, es mayor a la que existía en Villa el Triángulo (Figura 5.26 y 5.27). La inicial pasa mayor tiempo dentro del rango, resultando 320 horas, en cambio la ampliada sólo muestra 190 horas. Similar era el caso de estas viviendas durante los meses cálidos, donde la vivienda inicial cumplía con el rango de confort por más horas que la vivienda ampliada. Esto hace considerar que la ampliación lograr empeorar la situación de confort térmico de la vivienda, debido mayormente a una mala construcción.

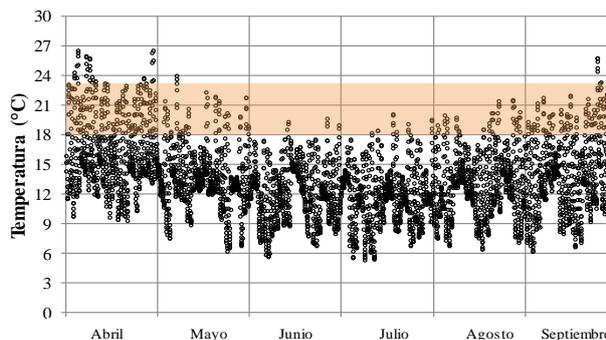


Figura 5.24: Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Fría en Villa El Triángulo Ampliada.

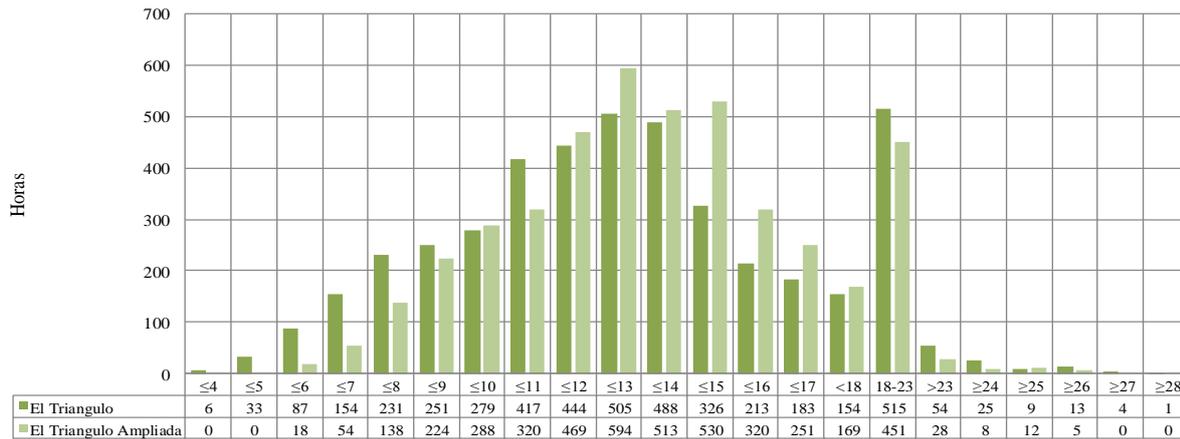


Figura 5.25: Comparación de Frecuencia de Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Fría en Villa el Triángulo Inicial y Ampliada.

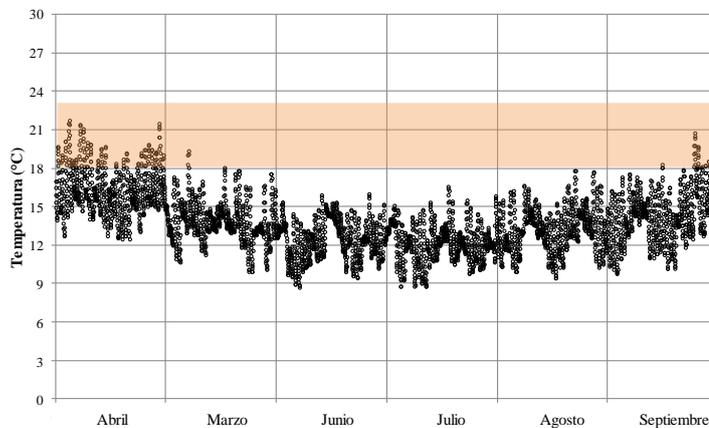


Figura 5.26: Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Fría en Peñuelas II Ampliada.

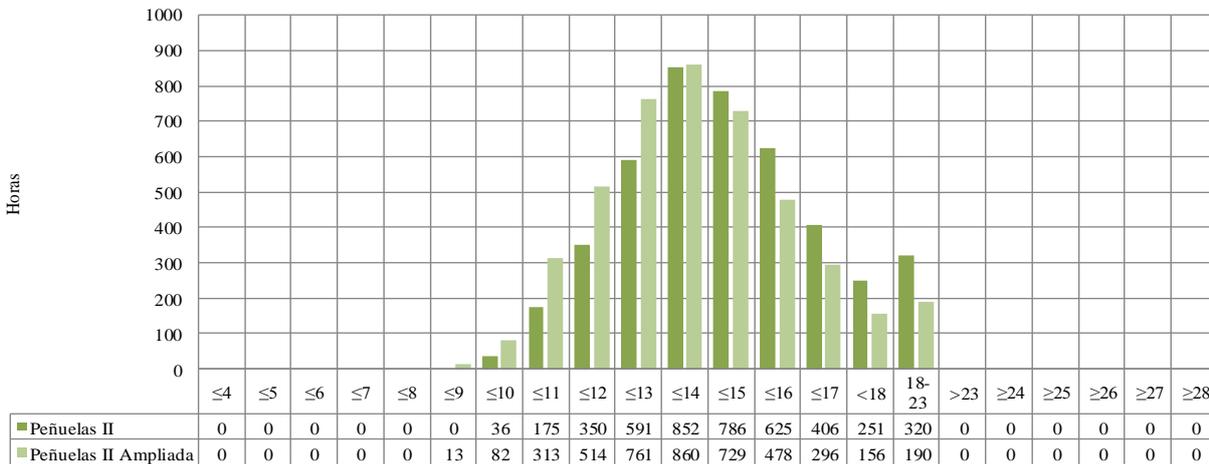


Figura 5.27: Comparación de Frecuencia de Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Fría en Peñuelas II Inicial y Ampliada.

Al comparar la vivienda que se estudió como continua, se obtiene como resultado que muestra mayor cantidad de horas con temperatura interior aceptada dentro del rango (Figura 5.28). De todos modos la diferencia que existe entre ella y la misma tipología adosada en un solo lado, no supera las 54 horas, es decir poco más de dos días.

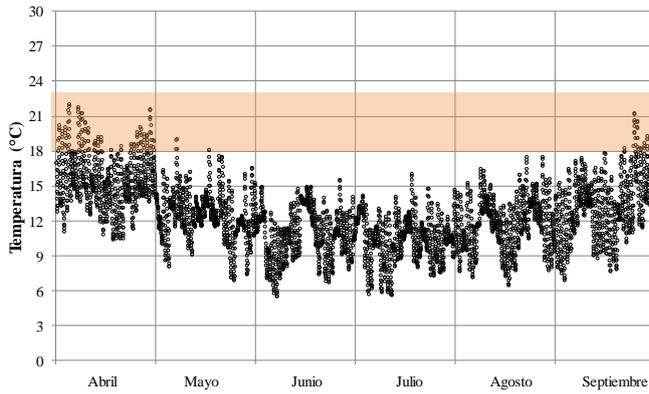


Figura 5.28: Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Fría en Presidente Aylwin Terminal.

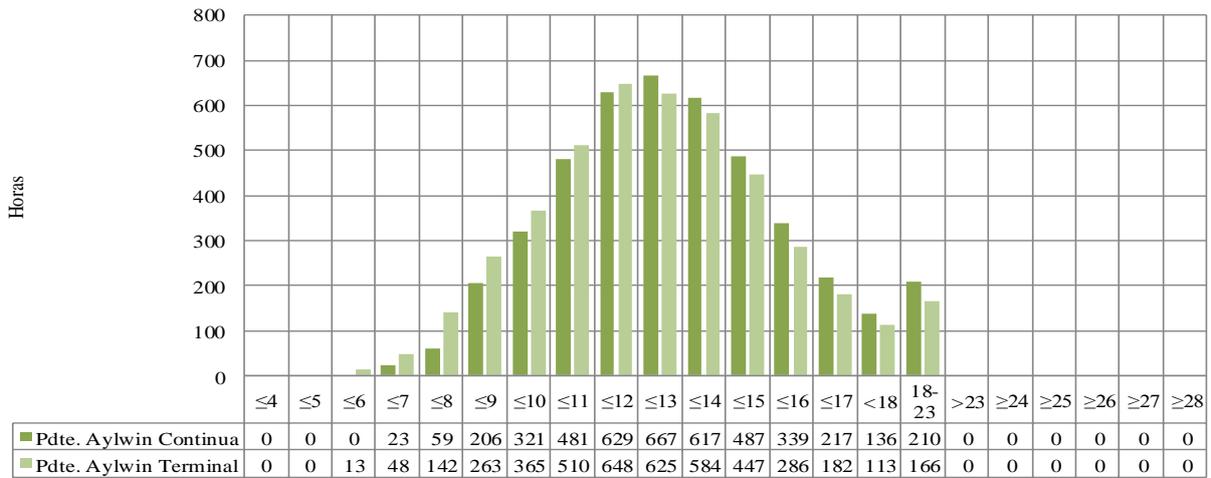


Figura 5.29: Frecuencia de Temperatura de Aylwin Continua y Terminal en temporada fría.

5.3.6 Resultados de Ganancias Solares

La radiación solar que incide en las viviendas puede generar importantes ganancias de calor, que influyen en el calentamiento interior del edificio. Cuando la radiación solar se da a través de superficies opacas se denominan indirectas, y cuando ocurren a través de superficies transparentes, se llaman directas. Estas últimas son las que se muestran, según cada caso de estudio, en la Figura 5.30

Las ganancias solares varían entre una vivienda y otra debido a la modificación de la arquitectura; además de la orientación con respecto al norte de cada una de ellas (Tabla 5.14). La mayor diferencia de ganancias solares se produce entre Cabo Aroca y el Triángulo y al observar las plantas de ellas, se concluye que la primera vivienda tiene mayor superficie vidriada, en relación a su superficie, orientada hacia el norte, por lo que la captación solar aumenta.

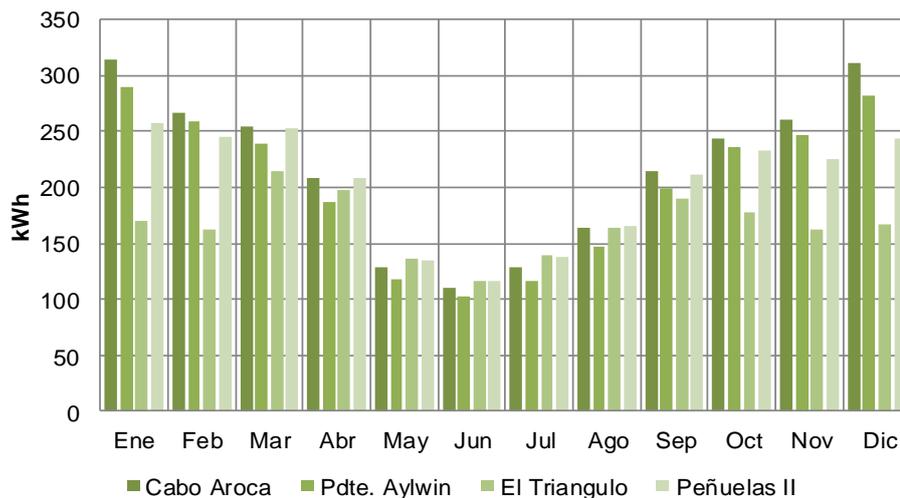
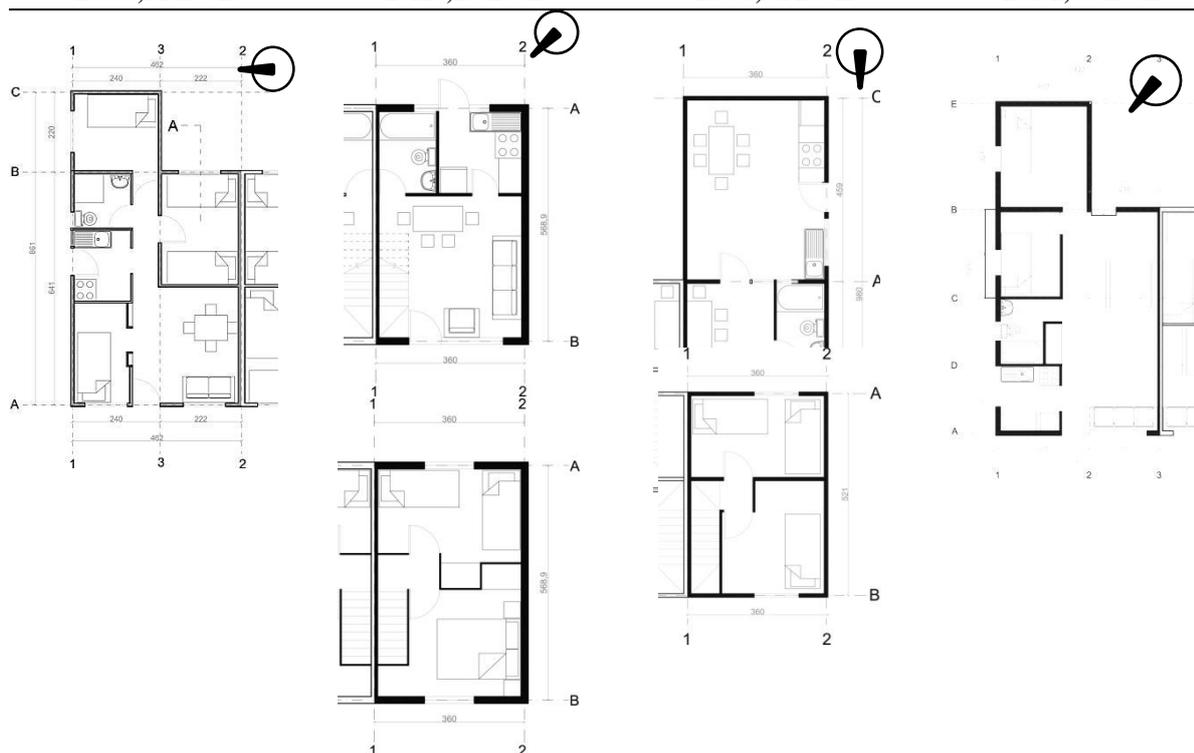


Figura 5.30: Ganancia Solar desde Ventanas Exteriores (kW/h).

Tabla 5.14: Ganancias solares anuales respecto a la(s) planta(s) de cada vivienda.

Cabo Aroca	Pdte. Aylwin	El Triángulo	Peñuelas II
2.605,51 kWh	2.420,19 kWh	1.998,54 kWh	2.431,90 kWh



Las ganancias de calor solar a través de ventanas y otros sistemas de entrada de radiación solar, son un importante componente en la eficiencia energética de un edificio y en el confort del usuario. Pueden ser beneficiosas durante la temporada de frío, pero también pueden causar un sobrecalentamiento y malestar durante la estación cálida. En el caso de que existiera sobrecalentamiento en las viviendas, sería necesaria la utilización de sistemas de protección y

control para reducir las ganancias solares, o también el uso de ventilación extra y aire acondicionado para poder eliminar el exceso de calor.

Como se observó en gráficos anteriores, donde se señala que el sobrecalentamiento en los casos de estudio es casi inexistente, se evalúa la posibilidad de un cambio de tamaño de las ventanas, para poder obtener mayor ganancia solar en temporadas frías donde la temperatura interior se encuentra muy por debajo del rango de confort esperado.

5.3.7 Resultados de Demanda Energética para Calefaccionar

En una segunda etapa en el proceso de estudio del estado actual de las viviendas se busca conocer la demanda energética de las viviendas. Para esto se consideraron sistemas de calefacción y enfriamiento dentro de la simulación, además de la ventilación (mecánica y natural) ya exigidas en la simulación tipo “*free running*”.

Los rangos de temperatura, o zona de confort, siguen siendo los mismos. Entonces, el software mostraría como resultados, la demanda de energía necesaria para poder asegurar confort al interior de la vivienda, cumpliendo con las ventilaciones mínimas y alcanzando temperaturas dentro del rango para las dos temporadas.

En relación a la demanda para los meses cálidos no alcanza a ser significativa, ya que el sobrecalentamiento era prácticamente inexistente, haciendo innecesario el uso de algún sistema de enfriamiento.

La demanda de calefacción considera los fenómenos térmicos propios de una vivienda y corresponde a la energía necesaria para suplir la diferencia entre pérdidas y ganancias de calor en períodos fríos. El sistema de calefacción no es definido en específico, ya que independiente del sistema y combustible utilizado, la demanda no variará.

Como todas las viviendas muestran superficies distintas, fue necesario dividir la demanda anual que entregaba Design Builder por la superficie útil de cada vivienda. Se obtiene de esta forma la demanda anual por metro cuadrado, unidad que permitirá comparar los casos de estudio entre sí. Las condiciones de operación fueron 24 horas durante 6 meses correspondientes al período frío (Abril-Septiembre). Los resultados que se obtuvieron se pueden observar en la Tabla 5.15 y Figura 5.31.

La vivienda Cabo Aroca arroja una mayor demanda de energía, seguida por la vivienda Villa el Triángulo inicial. En estos dos casos de estudio coincide el hecho de que ambos están

construidos en madera únicamente y además son las viviendas que muestran mayores tasas de infiltraciones de aire.

Tabla 5.15: Demanda Energética para Calefaccionar durante Abril-Septiembre.

		Cabo Aroca	Pdte. Aylwin Terminal	Pdte. Aylwin Continua	Peñuelas II	Peñuelas II Ampliada	El Triangulo	El Triángulo Ampliada
Demanda Anual	kWh	6.497,19	6.157,70	4.727,563	3.878.63	6.159,963	5.514,73	7.967,067
Área Climatizada	m ²	33,61	37,43	37,43	30,75	40,15	33,37	50,53
Demanda Anual	kWh/m²	193,31	164,51	126,30	126,13	153,42	165,66	157,67

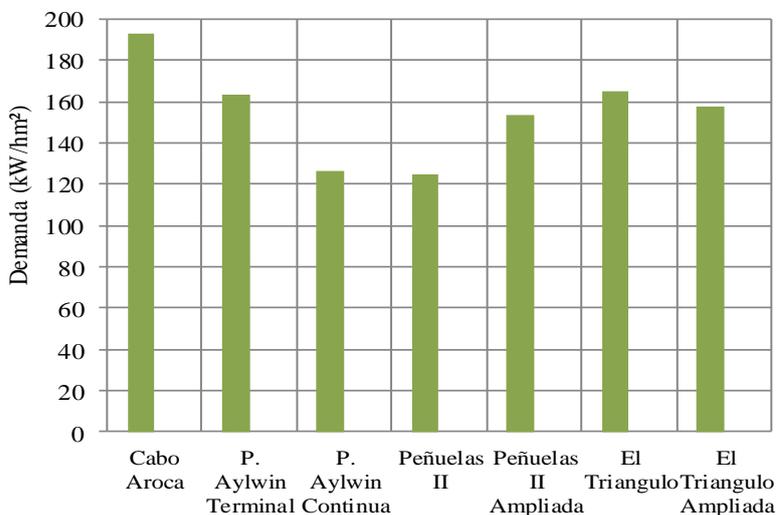


Figura 5.31: Comparación de Demanda Energética (kWh/m² año) durante Abril-Septiembre.

La diferencia de demanda por calefacción entre las viviendas ampliadas varía entre un caso y el otro. La vivienda de madera ampliada (Villa el Triángulo) presenta una leve diferencia de demanda. La construcción en su estado inicial requiere de 165,66 kWh/m² para alcanzar la temperatura confort durante la temporada fría, en cambio la vivienda ampliada necesita de 157,67 kWh/m². Es importante considerar que la ampliación de esta casa no fue hecha en madera, si no que fue construida con albañilería, y que si bien mostraba una tasa de infiltración de aire poco mayor que la sin ampliar, los configurantes tienen menos superficie vidriada por donde perder energía, además están construidos en albañilería mejorando el valor U exigido por la RT, presentando mayor capacidad de almacenar el calor en invierno.

La vivienda Peñuelas II, que si fue ampliada con la misma materialidad, muestra una mayor diferencia que la otra vivienda ampliada. El caso de Peñuelas II en su estado inicial precisa de 126,13 kWh/m², a diferencia de la ampliada que necesita de 153,42 kWh/m². En este caso se

puede adjudicar tal aumento de demanda a la diferencia de infiltraciones que muestra cada una de ellas, donde la vivienda ampliada muestra casi 25% más que la vivienda inicial. Como la materialidad era la misma, se atribuye a la que la manera de construir fue un factor muy influyente en la cantidad de infiltración de aire externo dentro a la vivienda.

La diferencia que existe entre la vivienda Presidente Aylwin continua con la terminal, es muy notoria, pudiendo adjudicar esto solamente a la forma de adosamiento que ellas tienen. Ya que la vivienda terminal tiene más superficie en contacto con el exterior en comparación de la que tiene viviendas adosadas por ambos costados.

En la Figura 5.32, extraída desde la Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda social (GDDEVS) (Bustamante y Rozas, 2009), luego de un estudio en base a simulaciones energética con TAS, se muestra la variación de demanda de calefacción al modificar la forma y nivel de adosamiento en una vivienda de 45 m² en distintas ciudades de Chile. Éste estudio solo se usa como referencia, ya que las condiciones de bordes fueron otras; la temperatura interior de confort fue 20°C en el día (entre 7:00 y 23:00 horas) y 17°C en la noche (de 23:00 a las 7:00 horas), y no se usaron condiciones de tasa de infiltraciones medidas, sino que 1 ACH.

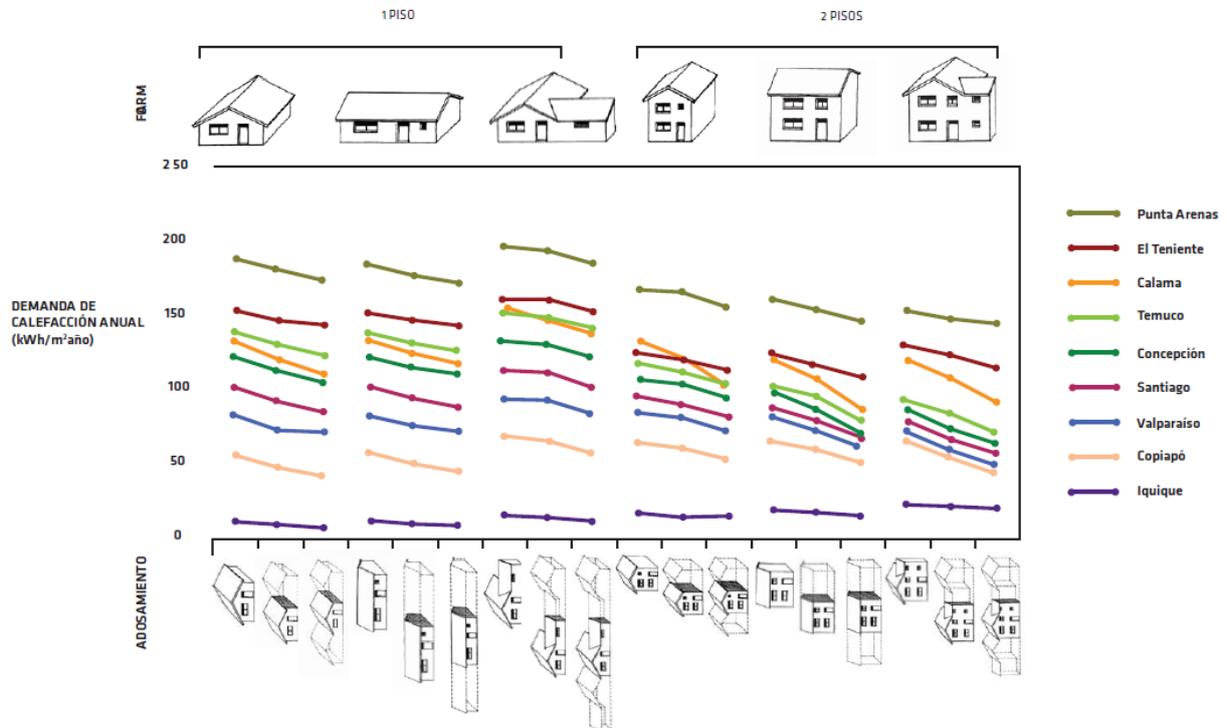


Figura 5.32: Grafica de la variación de la demanda de calefacción al modificar la forma y nivel de adosamiento (Bustamante y Rozas, 2009).

En base a este estudio las viviendas de dos niveles, adosadas en uno de sus lados y ubicadas en Concepción, deberían demandar en promedio 110 kWh/m² año, valor inferior a los obtenidos en la presente investigación (entre 150 y 165 kWh/m² año). La diferencia puede ser adjudicada a distintos factores, entre ellos: el software utilizado, la temperatura interior esperada para estar en confort, el uso de las infiltraciones al aire medida y lo más importante, las viviendas simuladas por GDEEVS presentan calidad térmica en la envolvente.

Lo mismo ocurre en la vivienda de dos niveles continua, la cual según GDEEVS no sobrepasa los 95 kWh/m², resultando la vivienda Pdte. Aylwin continua demandar 126 kWh/m² año.

Con respecto a las viviendas de un nivel y adosadas por un solo costado, el estudio de GDEEVS especifica la demanda en 120 kWh/m² año, y en esta investigación se obtuvieron valores que varían entre 126 y 193 kWh/m² año. La diferencia que existe entre ambos estudios se atribuye a la diferencia en las condiciones de borde ingresadas como *inputs* ya comentadas.

Si se comparan los resultados de las ventilaciones con los utilizados como *input* de tasa de infiltraciones por separado (datos desde la prueba de presurización) en la simulación energética dinámica, se obtiene que la cantidad de ventilación forzada y natural necesaria para una óptima calidad de aire interior es similar en los casos de estudio. Esto se debe a que se simularon con las mismas ganancias internas y los mismos rangos mínimos de ventilación (Figura 5.33).

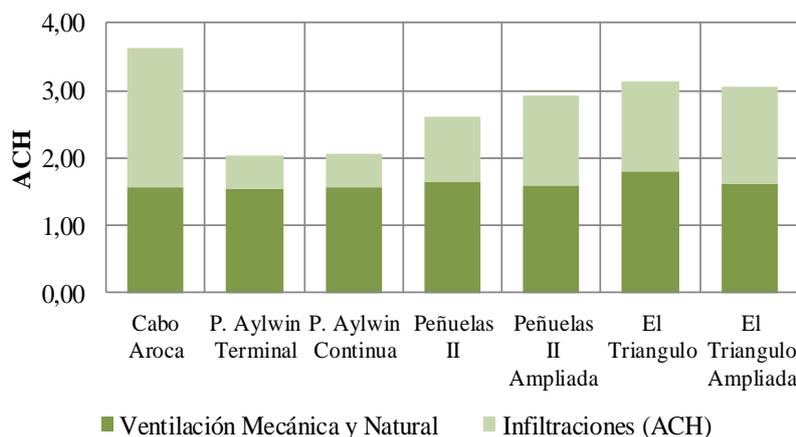


Figura 5.33: Sumatoria de cambios de aire por hora (Infiltraciones y Ventilación).

Otro dato que entrega Design Builder, que complementa el cálculo de la capacidad de calentamiento, o demanda, requerido para mantener la temperatura interior dentro del rango de confort, es el resultado de la pérdida de energía que sufre cada elemento que compone la envolvente (Tabla 5.16 y Figura 5.34).

Del desglose los elementos responsables de pérdidas de energía desde las viviendas en estudio, se obtiene que la mayoría pierde grandes cantidades de calor mediante los elementos de muros y ventanas, pero otros se ven con mayores pérdidas debido a ventilaciones, tanto como naturales y forzadas.

Tabla 5.16: Orden de elementos desde mayor a menor pérdida de energía por vivienda.

	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Cabo Aroca	Muros	Infiltración	Ventilación	Ventanas	Techo	Piso
El Triangulo	Muros	Ventilación	Infiltración	Ventanas	Piso	Techo
El Triángulo Ampliada	Muros	Ventilación	Infiltración	Ventanas	Piso	Techo
Pdte. Aylwin Continua	Ventilación	Muros	Ventanas	Piso	Infiltración	Techo
Pdte. Aylwin Terminal	Muros	Ventilación	Infiltración	Ventanas	Piso	Techo
Peñuelas II	Ventilación	Muros	Infiltración	Ventanas	Techo	Piso
Peñuelas II Ampliada	Ventilación	Muros	Infiltración	Techo	Ventanas	Piso

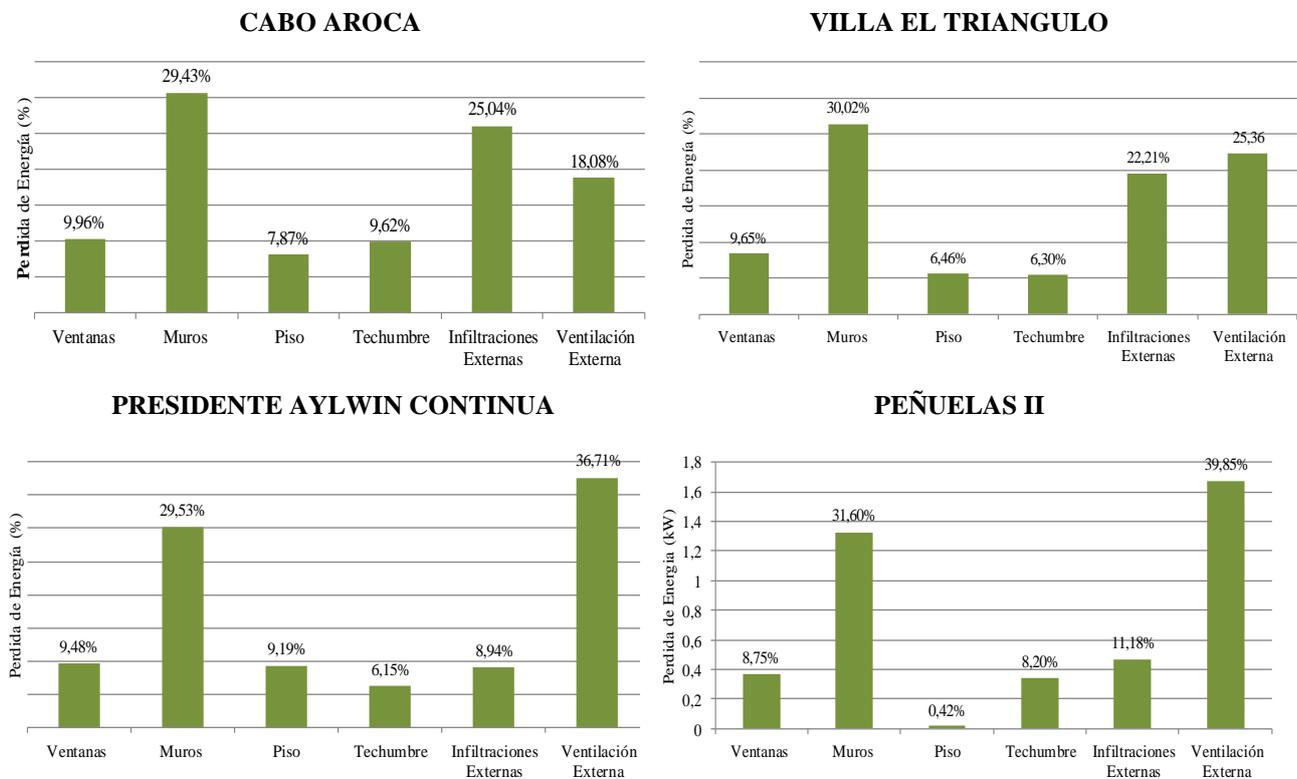


Figura 5.34: Desglose de pérdidas de energías por elemento de los cuatro casos de estudio en sus estados originales.

Coinciden en que las viviendas de maderas pierden la energía mayoritariamente a través de los muros perimetrales. El caso de Cabo Aroca, tiene como segundo factor de pérdida las infiltraciones, ya que es la vivienda que mayor infiltración arrojó durante el test de presurización. En cambio las viviendas ampliada e inicial de Villa el Triángulo presentan como segundo factor de pérdida a la suma de ventilaciones forzadas y naturales.

De las viviendas construidas en albañilería, la única que tiene como primer elemento de pérdida a los muros, es Presidente Aylwin Terminal, la cual tiene mayor superficie de pérdida también, complementando con la información de que fue la vivienda con menores ingresos de aire debido a infiltraciones.

De la cantidad de niveles de la vivienda, y la composición de sus pisos y techumbres, se puede concluir que las viviendas de un nivel pierden más energía por la techumbre que por el piso, lo contrario a lo sucedido en viviendas de dos niveles.

La alta pérdida energética por ventilación según la tabla de influencia, se puede interpretar como un supuesto que se ha hecho en el marco de esta investigación, donde se presume que los usuarios abrirán las ventanas de igual manera, es decir se sumarán las diferentes tasas de infiltración aun que no fuesen necesarias las que el usuario provoca. Este análisis considera las renovaciones de aire por infiltraciones independiente de las obtenidas desde la ventilación, esto por opción metodológica, ya que se persigue el objetivo de estudiar los mejoramientos de cada uno de ellos de forma independiente.

5.4 Análisis de Percepción del Usuario

Las condiciones al interior de la vivienda tienen grandes consecuencias para la salud, el confort y el bienestar en general; es el lugar donde las personas pasan mayor parte de su tiempo, por lo que identificar los parámetros que influyen en el confort del usuario es muy importante. Considerando los objetivos de la tesis, la percepción del usuario permite conocer los problemas que precisan ser atendidos, es decir aquellos que tienen mayor influencia en el desempeño energético y confort térmico de la vivienda, visto desde el usuario.

Baird (2009) establece que cualquier herramienta de calificación de edificios existentes debe tener reparo en la percepción del usuario y obtener también, los puntos de referencia que permitan medir el desempeño del edificio, desde el punto de vista del usuario.

La sensibilidad de las personas varía en determinados ambientes y pueden ser difíciles de satisfacer, o bien, otras pueden ser satisfechas con menor esfuerzo. Por esto, es importante conocer el porcentaje de personas insatisfechas y así cuantificar la “calidad” del espacio.

En los edificios, los problemas de diseño físico-constructivo, humanos y de gestión están indisolublemente unidos. La separación completa de los factores que influyen no es posible, siendo necesario trabajar con ellos en conjunto (Cohen et al, 2001). En ambientes interiores, distintos parámetros físicos y químicos influyen en el confort de los ocupantes de un edificio. Si bien se han creado normas para brindar confort interior al usuario, no todos los ocupantes del edificio logran estar satisfechos con el ambiente interior brindado. Cada usuario tendrá su respuesta subjetiva al momento de opinar acerca de su percepción del confort al interior del edificio, esto debido a que cada uno de ellos puede percibir sensaciones distintas, y por ende no lograr satisfacer a todos con las mismas condiciones. Estos factores energéticos-ambientales no son los únicos que definen el confort térmico del usuario, si no que de forma inconsciente ellos contestan pensando en otros factores como la comodidad espacial, o bien factores lumínicos y auditivos (Frontczak y Wargock, 2012).

La influencia del comportamiento de los usuarios ha sido estudiada en distintas realidades climáticas y habitacionales (Papakostas y Sotiropoulos, 1997; Lopes et al, 2005; Xu, 2009, Filippin y Larsen, 2009; IEE, 2009, Langevin et al, 2013). A partir de ellas se ha concluido que las necesidades energéticas se ven directamente afectadas por el comportamiento de los ocupantes. Si el usuario no se encuentra en confort, él efectuará alguna acción para poder alcanzarlo. Leaman (2001) concluye que las personas son más tolerantes a distintas condiciones ambientales, sólo si tienen el control sobre ellas.

Los usuarios intervienen manualmente el ambiente interior, por ejemplo, algo tan simple como abrir o cerrar una ventana, hará que sean responsables de asegurar confort al interior (Frontczak y Wargock, 2012; Rijal, 2007). En días cálidos y claros, los usuarios tienden a mantener las ventanas abiertas, en cambio en días oscuros y fríos las cierran con facilidad (Xu et al, 2009). Las encuestas de PROBE (*Post-Occupancy Review of Buildings and their Engineering*), demuestran que es vital ofrecer un poder de intervención a los ocupantes, para poder controlar sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación y parámetros de ruido (Leaman y Bordass, 2000) ya que el comportamiento del usuario puede conllevar un significativo ahorro energético (Ma et al, 2012).

Las sensaciones en cuanto al confort interior, pueden ser diferentes dependiendo si la persona que las está vivenciando es hombre o mujer, o bien depende también de la edad del encuestado. Por lo general los hombres sienten más calor que las mujeres y la reacción de ellos es más rápida (Hensen, 1990). Andersen et al (2009) concluye que las mujeres, por ejemplo, abren con más frecuencia las ventanas al percibir oscuridad y mala calidad del aire, transando el ingreso de ruidos molestos desde el exterior.

En el estudio de optimización del comportamiento térmico de las viviendas sociales “Lo Espejo II” (Méndez y Bardi, 2009), se evidencia la influencia del comportamiento del usuario en el consumo de energía de una vivienda. Realizan simulaciones energéticas estableciendo un paralelo entre una vivienda con un usuario con algunos conocimientos de eficiencia energética y otro sin ellos.

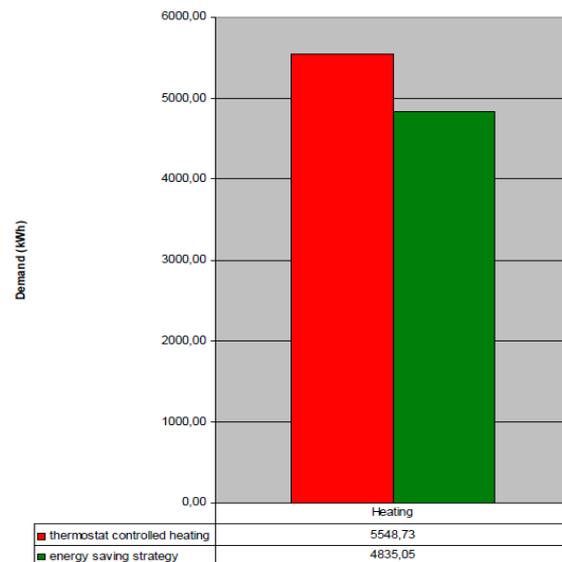


Figura 5.35: Diferencia de consumo energético para calefaccionar en una vivienda con conocimientos de eficiencia energética y otra sin.

Para el caso de vivienda del usuario con conocimientos de eficiencia energética, la calefacción en invierno funciona desde las 6:00 a las 23:00 hrs., se fija tan bajo como es posible, sin sobrepasar el límite de confort térmico fijado en 19°C. Esto conlleva un ahorro del 13%, correspondiente a 700 kWh/a, sólo por la reducción de los excesos de calefacción (Figura 5.35). Es decir, el capacitar o dar a conocer ciertos términos y estrategias de ahorro energético a los usuarios, se puede alcanzar mayores niveles de eficiencia energética en comparación con aquellas viviendas donde habitan usuarios sin conciencia sostenible.

5.4.1 Encuesta de Percepción

Conocer el porcentaje de personas que no se sienten en confort en un ambiente determinado, resulta de gran utilidad, no solo para evaluar una situación, sino que además para proyectar o modificar un ambiente térmico (NTP 74; SEI, 2009). Conocer hábitos y percepciones del usuario, como parte del estudio post-ocupacional, tiene un papel muy importante en el proceso del estudio y en sus conclusiones y/o estrategias a futuro (Vale y Vale, 2012). Si bien existen datos que el usuario puede no conocer, como por ejemplo la materialidad de la vivienda, el promedio de temperatura exterior, etc., es necesario establecer un contacto con él, ya sea mediante encuestas, entrevistas, *focus groups*, etc. Para esta investigación se prepara un cuestionario, que es aplicado a los usuarios de cada barrio de las viviendas estudiadas.

Esta encuesta forma parte complementaria del estudio post-ocupacional, ya que si bien es válida para recopilar datos útiles en cuanto a la percepción del usuario, se puede correr el riesgo de que los usuarios sean poco objetivos al momento de responder (Leaman, 2003). El cuestionario es preparado con el objetivo de entender el efecto de los desempeños estudiados en el confort del usuario. Para poder validar las respuestas de la encuesta, se deben comparar con los resultados de los valores obtenidos de los estudios experimentales, de las simulaciones dinámicas y los cálculos numéricos (Dili et al, 2010; Andersen et al, 2009).

Estudios, como el de Andersen (2009), ejecuta la entrevista de manera electrónica. En ésta investigación no se pudo aplicar esta metodología, que hubiese permitido tener con mayor rapidez las respuestas, pero se asume que debido al nivel socioeconómico de los usuarios, no todos cuentan con internet en sus hogares, por lo que el porcentaje de respuestas obtenido hubiese sido menor al esperado, y por ende poco generalizable al barrio estudiado.

En un estudio hecho en Chile (CNE, 2005) que busca conocer el comportamiento del usuario, se aplica una encuesta personal, entregando previamente una carta informando lo que se hará

y pidiendo colaboración. Esto permitió aumentar la disposición de los entrevistados a participar. Este método sirve como referente para esta investigación, incrementando la participación debido a la formalidad. El mismo estudio señala que la mayoría de las encuestas fueron contestadas por el jefe de hogar, cuyo 73% correspondía al sexo masculino. En la presente investigación se entrevista la persona que habita más tiempo el hogar, ya que conoce con mayor profundidad los eventos energético-climáticos que ocurren al interior.

En relación a estudios hechos en Chile, que consideran la percepción del usuario, se analiza la encuesta hecha por la GTZ (Campos, 2008), donde se entrevista a usuarios de distintas ciudades y con variadas tipologías de vivienda. El objetivo era levantar una línea base anual de la demanda y gastos en calefacción. Para Concepción concluyen que 50% de los encuestados declara percepción de humedad al interior de sus viviendas, y que 46,3% no siente corrientes de aire. Cabe recordar que este estudio no es hecho en viviendas sociales, sino que en aquellas tasadas en más de UF4.000. Por lo que solo servirán como referentes para la encuesta y no se usarán como datos fidedignos para la investigación.

Para definir el tipo de encuesta que debía desarrollarse, se especificaron que respuestas de percepción del usuario se pretendían conocer. El principal objetivo de la encuesta es conocer la percepción del usuario en cuanto a su confort térmico al interior de sus viviendas en verano e invierno. Distintos estudios (Baird y Field, 2012) establecen que una buena manera de poder comparar lo ocurrido en distintas estaciones del año, es plantear las mismas preguntas sobre confort tanto para invierno como para verano. El cuestionario divide estas dos estaciones en dos secciones para cada temporada, pero con las mismas preguntas, las cuales atienden características de los cuatro desempeños a estudiar:

- Temperatura (Desempeño: Confort Térmico y Eficiencia Energética por Demanda de Climatización)
- Humedad (Desempeño: Confort Térmico)
- Movimiento de aire (Desempeño: Calidad del Aire Interior, Confort Térmico y Eficiencia Energética por Demanda de Climatización)
- Calidad de aire interior (Desempeño: Calidad de aire interior)
- Sistema para enfriar o calefaccionar la vivienda (Desempeño: Eficiencia Energética por Demanda de Climatización)

Se suma una sección final de respuesta abierta, donde se pregunta sobre el confort térmico en general, tanto para verano como para invierno, si es que este tiende a la confortabilidad o no.

La encuesta busca conocer si el usuario percibe o no confort térmico, si el aire al interior tiende a la humedad o a lo seco, si existen o no corrientes de aire, además de cómo perciben la temperatura al interior.

5.4.2 Definición del Tamaño de la Muestra

Con el objetivo de conocer la percepción de los usuarios que habitan las viviendas de la misma tipología de las estudiadas experimentalmente en cuatro barrios, se define de forma estadística cuantas encuestas son necesarias desarrollar. No solo se entrevistó a aquellas personas donde se hicieron las mediciones, si no que se extendió la muestra para hacerla representativa, para homologarla y obtener un resultado más objetivo. Se asume que a mayor cantidad de respuestas, más fidedigno y representativo es el resultado. También se entiende, que si bien las viviendas son iguales en tipología, varían en orientación, en diversidad ocupantes y algunas modificaciones que se pudieron haber hecho, por lo que fueron factores incluidos al momento de hacer la ficha de encuesta.

Para la selección de la muestra, se define el “universo” (N), el cual corresponde al conjunto total de los elementos a los cuales se refiere la investigación. En este caso corresponde al total de las viviendas existentes en los cuatro barrios estudiados, es decir 1116 unidades.

En este caso el tipo de universo corresponde a una población finita, donde el número de elementos que la forman es finito (Kinnear, 1998). Una vez definido el universo, se define un tamaño de muestra (n) que fuese fiable para poder abordar la percepción del usuario. Para esto se toma en cuenta tres factores:

- El porcentaje de confianza que se requiere para poder generalizar los datos desde la muestra hacia el universo total.
- El porcentaje de error aceptable para hacer la generalización.
- La variabilidad que se debe calcular para poder obtener resultados generalizables.

La *confianza o el porcentaje de confianza* (Z_a), es el porcentaje o margen de seguridad que existe para lograr generalizar los resultados obtenidos (Bernal, 2000). Esto significa que si usamos 100% del universo no habría duda para generalizar los resultados, pero como ya se ha justificado, es una meta difícil de lograr. Se usa como referencia las investigaciones sociales, donde buscan 95% de confianza, considerando también que las tasas de respuestas deberían ser más del 80% de las entregadas (Leaman y Bordass, 2004).

El *error o porcentaje de error* (d), es la diferencia máxima entre la media muestral y la media de la población que se está dispuesto a aceptar con el nivel de confianza que se ha definido (Bernal, 2000). Para este caso se aceptará el 5% como error.

La fórmula para calcular el tamaño de muestra cuando se conoce el universo, es decir es una muestra finita, es la siguiente (Bernal, 2000):

$$n = \frac{N * Z\alpha^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z\alpha^2 * p * q}$$

Donde,

N = universo, total de viviendas existentes en el cada barrio estudiado.

Z_a = porcentaje de confianza. Coeficiente= 1.96², si la seguridad es del 95%.

p = probabilidad de éxito, o proporción esperada. En este caso 75%=0.75

q = probabilidad de fracaso. 1 – p= 0.25

d = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción). En este caso admitimos un 5%.

Dicha fórmula fue utilizada para cada población y se obtuvieron los valores de la Tabla 6.1.

Tabla 5.17: Resultado del tamaño de muestra necesario por barrio.

Barrio	Total Viviendas	Total Viviendas Encuestadas
Presidente Aylwin	249	133
Villa El Triángulo	214	123
Cabo Aroca	207	120
Peñuelas II	446	175

Para poder aplicar las encuestas necesarias en cada barrio se trabaja en conjunto con los presidentes de las juntas de vecinos de cada uno de ellos. Se programan reuniones de máximo 40 habitantes, hasta completar la totalidad de las viviendas a ser encuestadas.

Usando como referencia el método de la encuesta BUS, se busca la realización *de focus groups* y encuentros personales. Esto permitirá que la toma de muestras sea controlada, generando además oportunidades para la discusión sobre el propósito de la encuesta y la forma de completarla (Cohen et al, 2001).

5.4.3 Encuesta Aplicada

La encuesta se divide en cinco secciones:

- Datos del Ocupante

- Parámetros de confort en la vivienda
- Confort térmico en general
- Opinión del usuario
- Datos de la Vivienda actual

Previo a las preguntas sobre la vivienda y la percepción de distintos factores que influyen en el confort dentro de ella, es necesario tener datos del usuario. La influencia de factores personales, tales como la edad y el sexo, pueden intervenir en las preferencias ambientales (Langevin et al, 2013).

Todos, a excepción de la sección que ahonda en la opinión del usuario, corresponden a preguntas de carácter cerradas, es decir las respuestas se entregan como alternativas y el usuario debe elegir solo una. De este modo se obtienen respuestas concretas y fáciles de codificar.

Para generar este tipo de preguntas cerradas y sus respuestas, se establecen alternativas a cada pregunta que van especificadas con sensaciones y no con escalas puntuadas. Luego, en el análisis, las respuestas entregadas por los usuarios, son sometidas a codificaciones, que responden a escalas numéricas de sensaciones para poder atribuir un grado de confort.

Esta metodología responde al método de Fanger (Fanger, 1970), pero éste no es aplicado en toda su extensión, sino que es utilizado como referencia. Esto, porque el método de Fanger considera otras variables además de la percepción del usuario que no son consideradas en esta encuesta, tales como: nivel de actividad, aislamiento térmico de la vestimenta, temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad relativa y velocidad del aire.

Del método propuesto por Fanger, si se extrae para efectos de esta tesis, la forma que usa para mostrar los grados de satisfacción o insatisfacción, desarrollando una escala numérica de sensaciones, cuya valoración se define en siete niveles:

- 3 muy frío | - 2 frío | - 1 ligeramente frío | 0 neutro (confortable) | + 1 ligeramente caluroso
+2 caluroso | +3 muy caluroso

En la tesis no se usan exactamente los mismos siete niveles de Fanger, ya que solo sirvió como referencia. El método que si es desarrollado, corresponde al propuesto por “*Building Use Studies*” (BUS), el cual basa su metodología en usar la forma más sencilla de hacer las preguntas para facilitar la respuesta del entrevistado (<http://www.usablebuildings.co.uk>).

BUS está diseñada para obtener datos cualitativos y cuantitativos, como por ejemplo: datos del usuario (personales y de sus hábitos), ventilación, confort térmico, iluminación, ruido, mobiliario, entre otros. No solo es aplicada en viviendas, sino que tiene distintos formatos. Nace en 1981 con la idea de incrementar la información necesaria para mejorar la calidad de las nuevas construcciones. Durante la década del 90 se vincula éste análisis de salud, confort, productividad y rendimiento energético con el tema de estudio post ocupacional. BUS fue mejorado y reducido hasta obtener el definitivo que no ocupa más de dos páginas formato A4 (Cohen et al, 2001), y básicamente examina edificios en uso para poder encontrar formas de mejorarlos en el futuro o proponer líneas bases para nuevas edificaciones, basado netamente desde el punto de vista de los usuarios del edificio en cuestión.

La principal herramienta de análisis que se utiliza en BUS es el cuestionario, el cual debe cumplir con diferentes objetivos (<http://www.usablebuildings.co.uk>):

- Fácil de entender para la mayoría de usuarios
- Rápido de completar
- No ser una amenaza para nadie (las preguntas pueden ser vetadas)
- Una amplia selección de cobertura – pero que sea inmanejable
- Adecuado para la evaluación comparativa
- Un equilibrio entre los datos cualitativos y cuantitativos
- Debe ser fácil de analizar
- Puedan ser utilizados por otros sin supervisión

El cuestionario BUS suele ser tan eficiente y rápido que normalmente es entregado en la mañana y retirado en la tarde del mismo día, método que al menos en Inglaterra les ha entregado una alta tasa de respuestas. Al ser una encuesta breve permite evitar un problema recurrente de otros cuestionarios, los cuales terminan con demasiados datos y sin tiempo suficiente para analizar la información resultante de forma correcta.

En el caso de esta tesis, la encuesta entregada al usuario no incorpora la atribución numérica para no confundir al encuestado, sino que solo se muestran las alternativas de sensación en palabras. La valoración a cada respuesta se hace en el momento de codificarlas en la creación de la base de datos digitalizada.

Para Langevin et al (2013) las encuestas estructuradas permiten recopilar mayor cantidad de respuestas, sin perder la agilidad del barrido, finalizando con métodos puramente cuantitativos para la recolección de datos de comportamiento. Al aplicar una encuesta semi-estructurada, en

cambio, se logra ahondar en los hábitos del usuario, pero su enfoque no genera el tamaño necesario de la muestra, más bien proporcionan una exploración de manera flexible, ya que cuentan con preguntas abiertas (sin respuestas precisas y directas). Entonces, por la cantidad de viviendas que debían ser encuestadas, y por el tipo de respuestas buscadas, se decide usar una encuesta estructurada.

Como ya se mencionó existe una sola sección que corresponde a preguntas de carácter “abierto” y atiende la opinión del usuario, donde puede declarar otro aspecto que afecte su confort al interior de su vivienda, además de comentar cómo piensa él que se podría superar aquella situación de desconfort. El añadir un segmento en la encuesta donde el usuario pueda responder de forma abierta, permite identificar problemas que no estén abordados en las preguntas de carácter “cerrado” (Leaman y Bordass, 2004).

La encuesta de este estudio post-ocupacional resulta ser de una tipología que hace alusión a la memoria. Como es aplicada en verano, pero se pregunta sobre la temporada estival e invernal, el usuario promedia de forma intuitiva para la situación de invierno y verano, sin ser influido por el día exacto en que se somete la encuesta (situación que si ocurre con Fanger).

ENCUESTA: PERCEPCIÓN DEL USUARIO							
La presente encuesta es parte de un estudio para evaluar las condiciones térmicas de la vivienda en su estado actual. Las respuestas serán anónimas y la información recolectada será confidencial.							
1. Ocupante							
1.1 Sexo: M / F	1.2 Edad:			1.3 Número de Ocupantes:			
1.4 ¿Cuánto tiempo pasa en su casa durante la semana? (horas):	Menos de 4	4 a 8	8 a 12	Más de 12			
1.5 ¿Cuánto tiempo pasa en su casa durante el fin de semana? (hrs):	Menos de 4	4 a 8	8 a 12	Más de 12			
2. Parámetros de Confort en la Vivienda							
2.1 ¿Cómo describiría usted las siguientes condiciones de confort(*) al interior de su vivienda en la temporada VERANO?							
a. Temperatura (marque una)							
Muy Fría	Fría	Poco Fría	Neutral	Poco Cálida	Cálida	Muy Cálida	
a.1 ¿Cómo la preferiría? (marque una)							
Más Fría	Poco Más Fría		Igual	Poco Más Cálida		Más Cálida	
b. Humedad (marque una)							
Muy Seco	Seco	Poco Seco	Neutral	Poco Húmedo	Húmedo	Muy Húmedo	
c. Movimiento de Aire (marque una)							
Muy Quieto	Quieto	Poco Quieto	Neutral	Poca Corriente	Corriente	Mucha Corriente	
d. Calidad del aire Interior (marque una)							
Muy Mala	Mala	Poco Mala	Neutral	Poco Buena	Buena	Muy buena	

e. ¿Usa algún sistema para ENFRIAR la vivienda?

No		Si		¿Cuál?		¿Qué tipo de combustible?
----	--	----	--	--------	--	---------------------------

2.2 ¿Cómo describiría usted las siguientes condiciones de confort al interior de su vivienda en la temporada de INVIERNO?

a. Temperatura (marque una)

Muy Fría	Fría	Poco Fría	Neutral	Poco Cálida	Cálida	Muy Cálida
----------	------	-----------	---------	-------------	--------	------------

a.1 ¿Cómo la preferiría? (marque una)

Más Fría	Fría	Poco Fría	Neutral	Poco Cálida	Cálida	Más Cálida
----------	------	-----------	---------	-------------	--------	------------

b. Humedad (marque una)

Muy Seco	Seco	Poco Seco	Neutral	Poco Húmedo	Húmedo	Muy Húmedo
----------	------	-----------	---------	-------------	--------	------------

c. Movimiento de Aire (marque una)

Muy Quieto	Quieto	Poco Quieto	Neutral	Poca Corriente	Corriente	Mucha Corriente
------------	--------	-------------	---------	----------------	-----------	-----------------

d. Calidad del aire Interior (marque una)

Muy Malo	Malos	Poco Malo	Neutral	Poco Bueno	Bueno	Muy Bueno
----------	-------	-----------	---------	------------	-------	-----------

e. ¿Usa algún sistema para CALEFACCIONAR la vivienda?

No		Si		¿Cuál?		¿Qué tipo de combustible?
----	--	----	--	--------	--	---------------------------

(* Confort: es aquello que produce bienestar y comodidades. Cualquier sensación agradable o desagradable que sienta el ser humano le impide concentrarse en lo que tiene que hacer.

3. Confort térmico en general

a. ¿Cómo calificaría en general el confort térmico en su casa durante la temporada de VERANO?

Muy confortable	Confortable	Poco Inconfortable	Inconfortable	Muy Inconfortable
-----------------	-------------	--------------------	---------------	-------------------

b. ¿Cómo calificaría en general el confort térmico en su casa durante la temporada de INVIERNO?

Muy Confortable	Confortable	Poco Inconfortable	Inconfortable	Muy Inconfortable
-----------------	-------------	--------------------	---------------	-------------------

4. Su Opinión

c. ¿Existe algún otro aspecto que afecte su confort al interior de su vivienda?

d. Por favor explique, como superaría la situación de desconfort, en su caso:

5. Datos de la Vivienda Actual (marque una)

a. Población:	Presidente Aylwin		Cabo Aroca		Peñuelas II		Villa El Triangulo	
b. Vivienda pareada por ambos lados								Vivienda pareada por un lado
c. ¿Ha hecho alguna ampliación?	No		Si		¿Cuál?			
d. ¿Ha hecho alguna reparación?	No		Si		¿Cuál?			

Figura 5.36: Encuesta aplicada en las viviendas.

5.4.4 Resultados de Percepción del Usuario

Al obtener la totalidad de las encuestas contestadas, se le asigna “puntuación” a cada respuesta de las preguntas cerradas para poder conocer la tendencia y desarrollar conclusiones, basado en el sistema BUS ya expuesto.

Se establece una escala de 7 puntos, o bien 5, dependiendo del caso. La escala de 7 puntos, refleja típicamente los niveles y distribución de cada variable, por ejemplo: entre insatisfactorio y satisfactorio, o de cómodo a incomodo, o confortable a inconfortable, etc. El análisis también permite calcular un número de clasificaciones e índices, para proporcionar indicadores de aspectos particulares de los desempeños medidos o del rendimiento del edificio en general (Baird, 2009).

Al igual que el estudio estadístico para determinar los casos de estudios, el primer análisis de las respuestas de las encuestas se hace considerando cada factor por separado (Figura 5.37).

En los cuatro casos de estudio, la mayoría de las personas que respondieron las encuestas correspondían a mujeres. Cabe recordar que las encuestas fueron aplicadas durante las reuniones que organizaba el presidente de la junta de vecinos, donde además se trataban temas referentes a organizaciones barriales, tales como: postulaciones a subsidios, orden urbano, etc. Las mujeres argumentan que los hombres del hogar tenían largas jornadas de trabajo, y ellas eran las que tomaban decisiones.

Con respecto a la edad de las personas que respondían, la mayoría se encuentra bajo los 60 años, por lo que se les puede atribuir un metabolismo medio, que escapa a lo sedentario. Asumiendo que son personas encargadas de menores y de la mantención diaria del hogar.

En relación al número de ocupantes, la mayoría está dentro del rango de una familia tipo chilena, la cual corresponde a 4 personas. Aunque, en los cuatro casos se puede observar que la tendencia de 5 y 6 ocupantes es influyente. Parte de esta “hacinación” (las viviendas son entregadas con dos dormitorios, para 4 personas como máximo) se puede deber a la gran cantidad de gente que quedó sin hogar luego del terremoto del año 2010, y tuvo que recurrir a vivir en viviendas de otros. Además puede influir el hecho de que las viviendas tienen lugar para ampliación, pensando que estas corresponden a dormitorios extras, dando lugar a expandir la cantidad de gente que habita la vivienda.

Los cuatro barrios manifiestan como mayoría pasar más de 12 horas diarias en la vivienda durante la semana y fin de semana. Estas horas corresponden solo al usuario que responde la encuesta, lamentablemente se desconoce la cantidad de horas que pasa el resto de la familia.

En cuanto a las ampliaciones, la mayoría de los usuarios declaran haber ampliado sus viviendas. Pero en el caso de Presidente Aylwin y Cabo Aroca no se identifica una amplia tendencia entre haber hecho ampliaciones o no. Llama la atención sobre todo para las viviendas de Cabo Aroca, donde se puede observar que fue necesario extender los metros cuadrados construidos, ya que inicialmente contaban con 30,36 m².

Para los resultados de percepción del usuario, se separaron las respuestas en invierno y verano, al igual que como se hizo en la encuesta entregada al usuario.

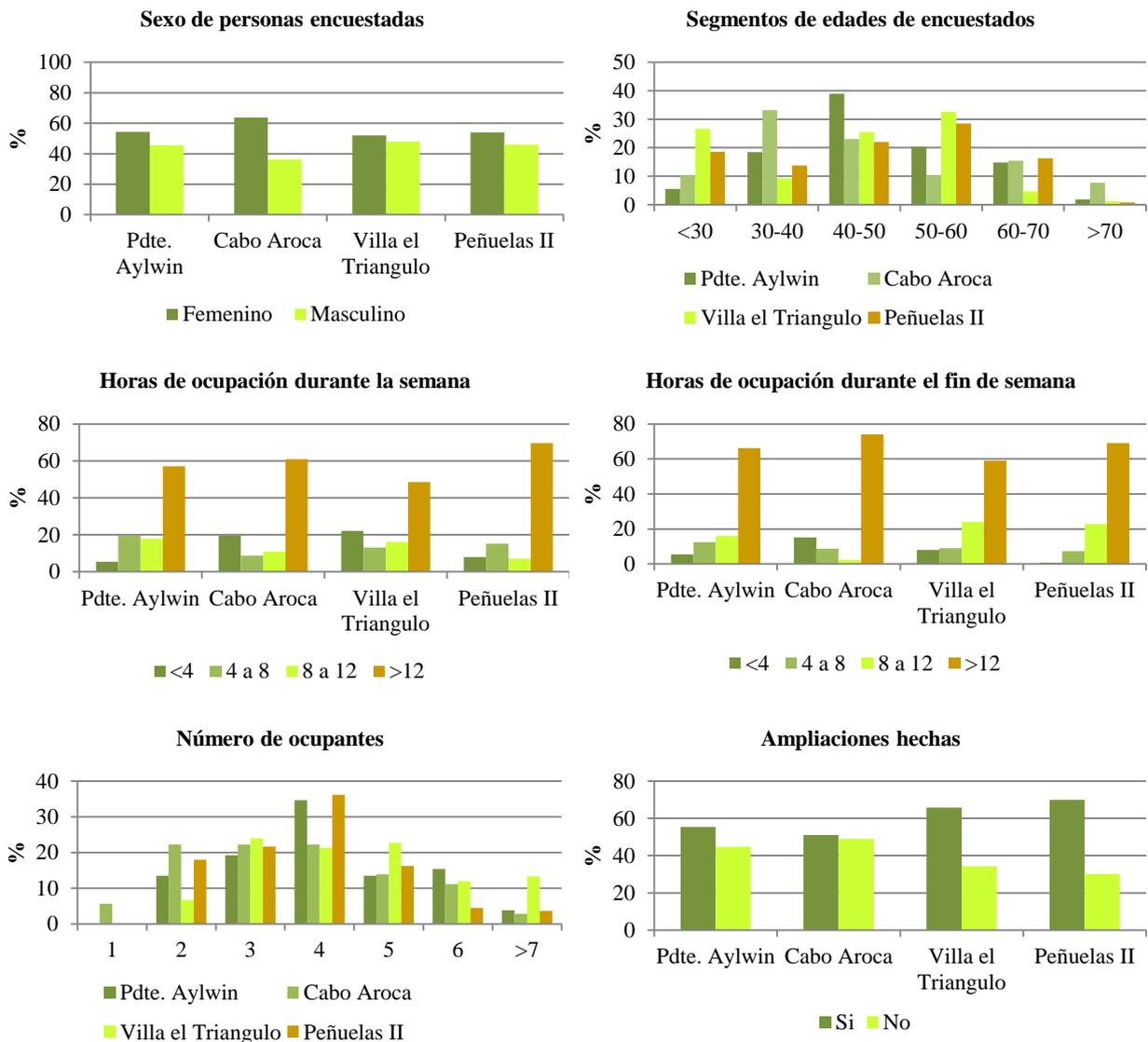


Figura 5.37: Respuestas relacionadas a las ocupaciones de las viviendas.

5.4.4.1 Percepción de Confort en Temporada Cálida

En la Figura 5.38 se observa que los mayoritariamente no utilizan sistema de enfriamiento, y en el caso de hacerlo, declararon hacer uso de ventiladores eléctricos. En la Figura 5.39 se

observan los promedios de respuestas ya codificadas, que son analizadas a continuación.

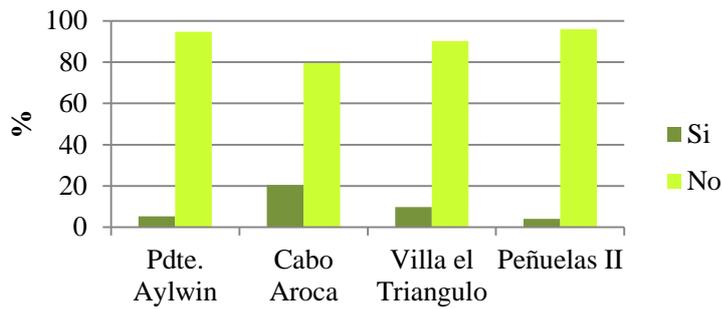


Figura 5.38: Porcentaje de uso de algún sistema para enfriar el interior de la vivienda en los cuatro barrios.

Temperatura Perceptible

Solo Peñuelas II (albañilería y un nivel) tiende a la temperatura ideal, que corresponde a una temperatura neutral, donde no se manifiesta ni frío ni calor. El resto de los barrios tienden a sentir una temperatura más bien cálida al interior.

Temperatura Ideal

Todos los barrios coinciden y consideran que prefieren mantener la temperatura tal cual la perciben actualmente durante el verano, por lo que se considerará no variar esta percepción con las nuevas estrategias.

Humedad

La mayoría considera que sus viviendas están dentro del rango neutral esperado para humedad en época estival, a excepción de Cabo Aroca (madera y un nivel), donde consideran que el ambiente interior tiende a tener un poco de humedad. Esta situación puede deberse a la poca cantidad de ventanas que poseen por diseño, y por ende mala ventilación y asoleamiento, permitiendo tener espacios muy sombríos y con aire estanco durante todo el día.

Movimiento de Aire

Sólo los usuarios de la Villa El Triángulo (madera y dos niveles) perciben un movimiento de aire neutral, es decir que solo perciben el movimiento de aire que para ellos es necesario y mínimo. Cabo Aroca (madera y un nivel) y Peñuelas II (albañilería y un nivel) perciben corriente de aire. Este movimiento de aire permite que estos mismos usuarios respondan que esperan que la temperatura en verano siga igual, y que la humedad en esta época no sea muy notoria. En cambio los usuarios de Presidente Aylwin (albañilería y dos niveles) manifiestan sentir corriente al interior, sensación que llama la atención, ya que al ser viviendas continuas, presentan menos envolvente por donde tener infiltraciones, y efectivamente fueron el caso de estudio que menor tasa de infiltración mostró. Pero, a pesar de que perciban corriente al

interior, se puede concluir que influye de buena forma en la temperatura alcanzada al interior, ya que los usuarios manifestaron esperar la misma temperatura como ideal.

Calidad del Aire Interior

Todos consideran que es neutral, es decir no es “buena”, siendo lo esperado como ideal.

CONDICIÓN	FACTORES (Promedio)							Barrio	Buen Puntaje	Puntaje de Tendencia
Temperatura	Muy Fría	Fría	Poco Fría	Neutral	Poco Cálida	Cálida	Muy Cálida			
								Pdte. Aylwin	4	5,38
								Cabo Aroca		5,63
								El Triangulo		5,43
								Peñuelas II		4,46
Temperatura Ideal	Más Fría	Fría	Poco Fría	Igual	Poco Más Cálida	Cálida	Más cálida			
								Pdte. Aylwin	4	4,10
								Cabo Aroca		3,95
								El Triangulo		4,07
								Peñuelas II		4,38
Humedad	Muy Seco	Seco	Poco Seco	Neutral	Poco Húmedo	Húmedo	Muy Húmedo			
								Pdte. Aylwin	4	4,57
								Cabo Aroca		5
								El Triangulo		3,52
								Peñuelas II		4,45
Movimiento de Aire	Muy Quieto	Quieto	Poco Quieto	Neutral	Poca Corriente	Corriente	Mucha Corriente			
								Pdte. Aylwin	4	6,01
								Cabo Aroca		5,48
								El Triangulo		4,32
								Peñuelas II		5,11
Calidad de Aire Interior	Muy Mala	Mala	Poco Mala	Neutral	Poco Buena	Buena	Muy Buena			
								Pdte. Aylwin	6	5,03
								Cabo Aroca		4,21
								El Triangulo		3,67
								Peñuelas II		3,99
Confort General	Muy Inconfortable	Inconfortable	Poco Inconfortable	Confortable	Muy Confortable					
								Pdte. Aylwin	4	3,63
								Cabo Aroca		3,29
								El Triangulo		3,58
								Peñuelas II		3,58

Figura 5.39: Puntuación del confort en verano según percepción de usuarios

Confort General

La mayoría de los usuarios perciben como confortables sus viviendas durante el verano, a excepción de los habitantes de Cabo Aroca (madera y un nivel), los cuales creen que la tendencia es hacia la puntuación de poco inconfortable. Esto coincide a que son los únicos también, que perciben sus viviendas como cálidas, permitiendo concluir que la temperatura es un factor importante al momento de pensar en confort durante el verano.

Además, coincide en que Cabo Aroca es el barrio que manifiesta mayor uso de sistemas para enfriar el interior de la vivienda. Seguido, pero en menor cantidad, por la Villa el Triángulo, coincidiendo ambos en la materialidad usada: la madera, la cual provoca un aumento de la temperatura interior durante el verano.

5.4.4.2 Percepción de Confort en Temporada Fría

Figura 5.40: Porcentaje de uso de algún sistema para calefaccionar el interior de la vivienda en los cuatro barrios

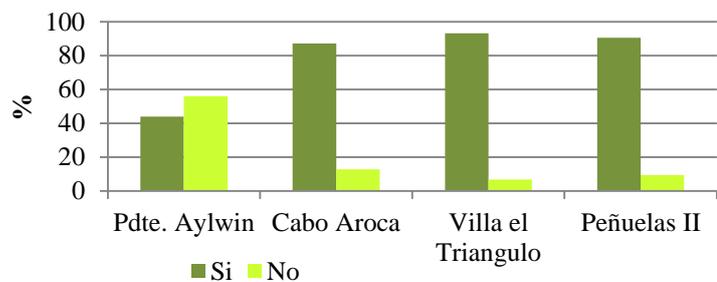
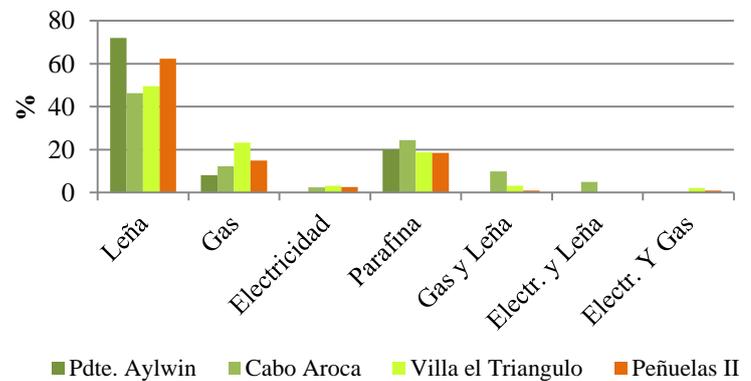


Figura 5.41: Porcentaje de uso de distintas fuentes de energía para calefaccionar el interior de la vivienda en los cuatro barrios.



Todos los casos de estudio marcan como mayoría la utilización de algún sistema de calefacción, a excepción de Presidente Aylwin, donde el porcentaje corresponde a 41% (Figura 5.40). El combustible más utilizado por estos sistemas es la leña, lo cual es equivalente a la tendencia de la región (Figura 5.41). En la Figura 5.42 se observan los promedios de respuestas ya codificados según la percepción de los usuarios. A partir de cada desempeño se concluyen generalidades que son expuestas a continuación.

CONDICIÓN	FACTORES (Promedio)							Barrio	Buen Puntaje	Puntaje de Tendencia
	Muy Fría	Fría	Poco Fría	Neutral	Poco Cálida	Cálida	Muy Cálida			
Temperatura										
		♦							Pdte. Aylwin	1,89
			♦						Cabo Aroca	2,63
									El Triangulo	2,29
		♦						Peñuelas II	2,15	
Temperatura Ideal	Más Fría	Fría	Poco Fría	Igual	Poco Más Cálida	Cálida	Más cálida			
						♦			Pdte. Aylwin	6,12
						♦			Cabo Aroca	6,12
						♦			El Triangulo	5,78
						♦		Peñuelas II	5,90	
Humedad	Muy Seco	Seco	Poco Seco	Neutral	Poco Húmedo	Húmedo	Muy Húmedo			
						♦			Pdte. Aylwin	6,01
						♦			Cabo Aroca	5,63
					♦				El Triangulo	4,63
						♦		Peñuelas II	5,80	
Movimiento de Aire	Muy Quieto	Quieto	Poco Quieto	Neutral	Poca Corriente	Corriente	Mucha Corriente			
						♦			Pdte. Aylwin	6,26
						♦			Cabo Aroca	5,36
						♦			El Triangulo	4,82
						♦		Peñuelas II	5,53	
Calidad de Aire Interior	Muy Mala	Mala	Poco Mala	Neutral	Poco Buena	Buena	Muy Buena			
					♦				Pdte. Aylwin	4,66
					♦				Cabo Aroca	4,23
				♦					El Triangulo	3,45
				♦				Peñuelas II	3,86	
Confort General	Muy Inconfortable	Inconfortable	Poco Inconfortable	Confortable	Muy Confortable					
			♦						Pdte. Aylwin	2,45
			♦						Cabo Aroca	2,63
				♦					El Triangulo	3,13
			♦					Peñuelas II	2,62	

Figura 5.42: Puntuación del confort en invierno según percepción de usuarios

Temperatura Perceptible

La mayoría de las viviendas consideran que sienten frío al interior. Sólo Cabo Aroca (madera y un nivel) considera que el frío es poco, respuesta que coincide con la percepción de verano, donde resultaron ser los únicos que percibían la temperatura como cálida.

Temperatura Ideal

En relación a la respuesta anterior todos coinciden en que la temperatura ideal debería tender a ser más cálida que la actual.

Humedad

La mayoría de los usuarios consideran que existe humedad en sus viviendas, con excepción de los usuarios de Villa el Triángulo (madera y dos niveles), que a pesar de sentir humedad, piensan que es poca.

Movimiento de Aire

Los movimientos de aire percibidos durante el invierno coinciden con lo sentido durante el verano. Todos perciben poca corriente, a excepción de Presidente Aylwin (albañilería y dos niveles) que percibe una corriente mayor, situación completamente opuesta la obtenida desde el test de presurización, donde resultó ser la vivienda con menor tasa de infiltración de aire.

Calidad del Aire Interior

Ningún barrio considera que la calidad de aire interior es buena, más bien consideran que es neutral o bien, tiende a ser mala.

Confort General

Todos coinciden que las viviendas no son confortables, siendo los usuarios del barrio Presidente Aylwin, los que consideran que su vivienda es más inconfortable que el resto. Esta respuesta entregada por los usuarios del barrio Presidente Aylwin es contradictoria a la respuesta relacionada con el uso de algún sistema para calefaccionar, donde la mayoría manifiesta no usar algún sistema. Esto no debería ser atribuible a la necesidad de calefaccionar, sino que a la disposición económica de las familias.

En cambio, el resto de los barrios muestran una amplia mayoría en el uso de algún sistema para calefaccionar, debido a la necesidad del aumento de la temperatura interior.

5.5 Conclusiones Capítulo 05

Las dos primeras técnicas (Cap. 5.1 y 5.2) tienen por objetivo validar el uso de mediciones in situ de la vivienda en un estudio post-ocupacional. Al medir los valores de transmitancia térmica en muros exteriores de los casos de estudio, se obtiene que la mayoría muestra valores U más desfavorables que los obtenidos con la técnica numérica. Es decir las propiedades físico-constructivas medidas del muro para evitar la alta transmitancia térmica son diferentes a las que pudieron ser inicialmente. Las diferencias son en promedio $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$, y pueden atribuirse a los años de vida útil que ha tenido la vivienda, donde el clima, el uso y la poca mantención han provocado un deterioro en la composición del muro; o bien puede deberse a que la construcción del muro no haya sido fidedigna a los estipulado en especificaciones técnicas y detalles constructivos. En general todos los valores U de los muros, a excepción de Cabo Aroca, resultan tener un estándar más bajo que el exigido en la Reglamentación Térmica. Situación que se vaticinaba, al no haber sido viviendas construidas bajo ninguna normativa térmica.

Al proponer estrategias de mejoramiento en viviendas existentes se sugiere medir ciertas propiedades físicas de la construcción para calibrar el modelo en las simulaciones dinámicas. En este caso, no sólo se ingresó el valor de transmitancia técnica de muros, sino que también la tasa de infiltración al aire medida. Este valor, por sobre otro, puede distar en gran medida del valor establecido por defecto en muchos casos de estudios. La hermeticidad al aire medida resultó ser hasta cuatro veces más alta de lo exigido en otros estándares internacionales.

En relación a la materialidad de las viviendas, se concluye que aquellas construidas en muros livianos de madera presentan mayores tasas de infiltración de aire; y es en las de albañilería donde se midieron los valores más perjudiciales de transmitancia térmica, debido a que ninguno de ellos presenta algún tipo de aislación térmica.

Con respecto a las temperaturas obtenidas, se obtiene que todas las viviendas presentan al menos 60% de las horas totales de la temporada cálida bajo la zona de confort térmico, es decir con temperaturas inferiores a 20°C . Los casos más desfavorables son los construidos en madera, los cuales además de tener la mayor cantidad de horas bajo el rango esperado, muestran 11% de horas aproximadamente sobre la zona de confort, lo que es considerado como sobrecalentamiento, aunque las temperaturas no sean tan elevadas ($26\text{-}27^\circ\text{C}$).

Durante la temporada fría la situación es aún más perjudicial, ya que en todos los casos, 90% de las temperaturas fluctúan bajo el rango de zona de confort térmico, alcanzando temperaturas de hasta 8°C en el interior.

La comparación de los resultados obtenidos desde el diagnóstico físico-constructivo, con los resultados de las encuestas, revelan indicios de desempeños intermedios que deben ser mejorados.

Del diagnóstico físico-constructivo se obtuvo que todas las viviendas presentaban al menos 60% de las horas totales de la temporada cálida bajo la zona de confort térmico, es decir con temperaturas inferiores a 20°C. Al relacionar estos resultados de temporada cálida con la percepción del usuario, se obtiene que las viviendas son consideradas como confortables tal como están. La excepción es Cabo Aroca, donde los usuarios perciben temperaturas cálidas en el interior, lo cual es coincidente con ser el caso que más horas presenta sobre la zona de confort. Resulta curioso conocer que en el resto de los casos los usuarios perciben la temperatura operativa al interior de las viviendas como “poco cálida”, siendo contradictorio a los resultados obtenidos de la frecuencia de temperatura, pero aun así la mantendrían igual. Si se consideraran solo los resultados obtenidos a partir de las simulaciones dinámicas, se buscaría aumentar la temperatura al interior durante esta temporada, pero si se reflexiona sobre ambas respuestas, las estrategias debiesen ser diferentes y tender a la satisfacción del usuario. Debido a esto, se demuestra la necesidad por considerar al usuario en un estudio pos-ocupacional.

En la temporada fría, la situación es aún más perjudicial, ya que en todos los casos 90% de las temperaturas fluctúan bajo la zona de confort térmico, lo cual tiene plena concordancia con lo obtenido desde las encuestas, donde el usuario manifiesta como “fría” o “poco fría” la temperatura al interior de sus viviendas, y donde la mayoría de las vivienda señala utilizar algún sistema de calefacción, con leña como combustible de preferencia.

Esto tiene directa relación con que ellos concluyan que las viviendas son inconfortables durante la temporada fría y que manifiesten la necesidad elevar las temperaturas. En esta misma temporada, los usuarios sienten humedad y corrientes de aire. Aun así, sabiendo que estos factores atañen a la calidad del aire interior, los usuarios tienden a considerarla neutral.

Se concluye que para la temporada fría la mayoría de las respuestas concuerdan con lo obtenido a partir del diagnóstico físico-constructivo, calificando a la vivienda como

inconfortable y deseando aumentar las temperaturas interiores, debido a esto al momento de establecer estrategias de mejoramiento estas debiesen atender esta temporada como prioridad.

Es a partir del diagnóstico del estado actual de las viviendas existentes y de la percepción de los usuarios, que se deben determinar cuáles son los estándares que influyen en mayor o menor medida en las estrategias para alcanzar el confort térmico y eficiencia energética al interior de las viviendas.

ANÁLISIS MULTIFACTORIAL DE ESTRATEGIAS DE MEJORA- MIENTO SEGÚN DESEMPEÑOS | 06



Paulina Wegertseder: Integración de criterios de desempeños en el mejoramiento energético-ambiental de viviendas existentes

ANÁLISIS MULTIFACTORIAL DE ESTRATEGIAS DE MEJORA- MIENTO SEGÚN DESEMPEÑOS | 06

6.1 Estudio Multifactorial y Automatización de Simulaciones Dinámicas

Modificar sólo un parámetro en la simulación de nuevas estrategias, entrega información sobre los efectos relativos que éste parámetro tiene en los resultados, y como varían. Aunque ésta es útil, solo se visualiza una imagen incompleta de los efectos, por lo que las soluciones pueden resultar erróneas o poco óptimas. Esto ocurre debido a que ciertos parámetros y resultados son sensibles a cambios dentro del proceso, haciendo necesario considerar estos cambios en un amplio espectro de factores, tales como verano e invierno (Smith et al, 2012).

Estudiar distintas y múltiples estrategias de mejoramiento para aplicar en una misma edificación, es crucial para reducir el consumo de energía (Asadi et al, 2012a). La combinación de estrategias de mejoramiento energético puede ser muy beneficiosa para poder conocer la tendencia de las mejores estrategias, y no obtener solo la mejor, o la peor, como extremos, sino que medidas intermedias también.

Para el análisis de grandes conjuntos de datos, por lo general, no es suficiente con mirar la tabla de datos y extraer la información de forma simultánea, debido a que pueden existir algunos problemas con el ejercicio, como por ejemplo con la dimensión del experimento, el cual puede presentar gran cantidad de variables, correlaciones, datos faltantes y ruido (datos que hacen ver con poca claridad los resultados) (Olofsson et al, 2009).

Para poder diseñar y controlar el ambiente térmico interior de un edificio energéticamente eficiente, es necesario determinar la relación de los parámetros (variables) que ocurren dentro y fuera de la construcción (Wei et al, 2010). Lo mismo ocurre si se desea conocer cómo se puede disminuir la demanda energética de un edificio existente. Se debe evaluar qué

parámetro tiene menor o mayor influencia en la búsqueda de la eficiencia energética. A partir de la revisión bibliográfica y del diagnóstico realizado en los casos de estudio se ha concluido que la tasa de infiltración de aire de una edificación, por ejemplo, puede ser el parámetro más influyente en la eficiencia energética y confort térmico de una vivienda, incluso si la variación cambia entre 0 y 0,2 1/h (Hopfe y Hensen, 2011). Debido a esto se necesita analizar la influencia real de cada parámetro estudiado para poder cumplir con los desempeños finales.

En esta tesis se utiliza un sistema multifactorial que consiste en un tipo de análisis multivariante, para descubrir las variables dominantes dentro del estudio, además permite conocer las tendencias, los valores atípicos, grupos y similitudes. Es un tipo de análisis muy útil para tratar con datos sensibles a las correlaciones de desempeño. Resulta una matriz, donde cada combinación de parámetros de diseño se verá representada por un punto, y dará a conocer cuál de ellas es la más óptima según el resultado buscado. Cada punto es simplemente una combinación lineal de las variables originales con coeficientes dados por el factor inicial lo cual tiende a entregar una mejor comprensión de las relaciones entre parámetros (Lam et al, 2010; Olofsson et al, 2009; Booth et al, 2011). El objetivo de este método es conocer la relevancia de ciertas variables para conseguir un mejoramiento energético-ambiental integrando los tres desempeños en cuestión (eficiencia energética por baja demanda de calefacción, confort térmico y calidad del aire interior).

Se habla de un experimento “factorial”, cuando luego de tener fijadas las variables de interés, se puede observar cómo aumenta, o disminuye, la sensibilidad de los resultados al haber cambiado los parámetros simultáneamente. Un estudio factorial, de dos o más parámetros, es una materia importante en las propuestas de eficiencia energética en un edificio, debido a sus necesidades de calentamiento y enfriamiento que responde a estrategias a veces opuestas o contradictorias (Smith et al, 2012), esto especialmente en lugares donde existen dos estaciones marcadas. Aunque en Concepción las temperaturas que se alcanzan en verano no son tan elevadas, sigue siendo una ciudad donde las temporadas de verano e invierno están contrastadas. Además no basta sólo con considerar los factores climáticos, sino que también la relación entre los desempeños estudiados, ya que desde el estado del arte y del diagnóstico de la situación actual de las viviendas, se observa que los parámetros se ven fuertemente influenciados entre sí. Distintos análisis multifactoriales han sido utilizados en estudios de rehabilitación, donde mediante este método se busca determinar una alternativa de estrategia prioritaria, para poder seleccionar solo una variable (Kaklauskas, Zavadskas y Raslanas,

2005), o para evaluaciones de costo-beneficio de estrategias de eficiencia energética en calefacción y ACS (Sharples y Smith, 2002; Juan et al, 2009).

Otro estudio de este tipo, orientado hacia la disminución de demanda energética en términos de enfriamiento (Encinas y de Herde, 2013), somete distintas tipologías de departamentos en Santiago, a un análisis de sensibilidad, con enfoques globales y locales. Si bien, la ubicación del caso de estudio, y la demanda energética que se buscaba disminuir eran distintas a los casos de la presente tesis, el objetivo es similar, ya que persigue identificar los parámetros más sensibles con respecto al confort en una época del año y el efecto de cada parámetro de manera individual. Los análisis multifactoriales permiten determinar en este caso, con precisión donde, los patrones que dependen del comportamiento del usuario se combinan con los datos sobre vientos y temperaturas del aire (Encinas y de Herde, 2011).

En general los diseños factoriales son los más eficientes para este tipo de análisis. Por diseño factorial se entiende que en cada experimento se investigan todas las combinaciones posibles de factores. El efecto de cada uno se define como el cambio en la respuesta producido por un cambio en el valor del factor (Montgomery, 2012). El objetivo de estudiar las posibles combinaciones de estrategias de mejoramiento, en función de ciertos factores cuyos valores dependerán de las posibles combinaciones que se quieren estudiar. Éste tipo de estudio permite evaluar el efecto de cada factor sobre la variable de respuesta, así como también el efecto de las interacciones entre éstos factores sobre la misma variable. Permitiendo develar la combinación de factores óptima que nos entrega la más baja demanda (o en defecto las que tienden a ella), el mejor confort térmico y calidad del aire interior.

El estudio factorial puede llevarse a cabo mediante un diseño experimental, el cual corresponde a una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio. En estos estudios estadísticos se manipulan una o más variables, vinculadas a la respuesta, para medir el efecto que tienen en otras variables y en los resultados.

El desarrollo de un modelo, o diseño experimental, y su análisis se compone de varios pasos que deben ser determinados: (i) la incertidumbre a los *outputs* (resultados), (ii) identificar aquellos parámetros insignificantes para eliminarlos del modelo final, (iii) qué *inputs* contribuyen más en los resultados, (iv) qué parámetros tienen más relación con los resultados que se esperan como *outputs*, (v) una vez que se está usando el modelo, cuál cambio en un parámetro puede influenciar de mayor o menor manera en los resultados (Hamby, 1994).

Los modelos experimentales, son sensibles a los parámetros ingresados como inputs, ya que la incertidumbre está asociada a ellos, y son propagados a través del modelo, lo cual contribuye en gran parte del resultado final. Las modificaciones hechas están correlacionadas con los resultados finales, por lo que se pueden obtener cambios significativos en la variable de respuesta. Entonces, para poder efectuar un análisis basado en parámetros es conveniente efectuar una lista, tipo ranking, de influencia, en la cual se deben ordenar los parámetros según su rango de influencia en los resultados previstos (Hamby, 1994, Tavares y Martins, 2007, Heiselberg, P., 2009, Macdonald et al., 1999, Kleijnen, 1995, Heo et al., 2012).

Las modificaciones que se realizan en cada factor, en función de sus parámetros, para ejecutar la simulación y obtener un resultado, ocasiona un aumento exponencial del número de simulaciones, como así también la complejidad de cambiar manualmente cada parámetro en las simulaciones con Design Builder. Esto provoca un alto crecimiento del tiempo de dedicación, haciendo que el proceso de evaluación requerido llegue a ser extremadamente difícil de manejar (Assadi et al, 2012b). Para el caso de estudio de Cabo Aroca, por ejemplo, la cantidad de simulaciones necesarias con los distintos niveles de parámetros es 6.336. Debido a esta alta ocurrencia de interacción de distintos parámetros, se hace necesario utilizar un programa que optimice tiempo y trabajo (Flourentzou y Roulet, 2002).

La automatización de las simulaciones es una metodología de utilidad para aquellos casos más complejos a investigar, es decir donde se contienen muchos parámetros y niveles involucrados. El software ocupado para automatizar las simulaciones es GenOpt, el cual permite evaluar el impacto de distintos escenarios de performance en un edificio, facilitando el proceso de ensayo y error iterativo (Asadi et al, 2012 b). GenOpt requiere de un programa de simulación externo para evaluar la variable de respuesta (Wetter, 2009), ya que se puede conectar a cualquier otro programa de simulación que lea los datos ingresados como archivos de texto. Debido a este motivo se opta por usar GenOpt, el cual permite simular las estrategias con EnergyPlus, el mismo simulador que se usó en el diagnóstico de las viviendas mediante Design Builder. Se entiende que utilizando softwares similares, los resultados son más confiables y comparables entre sí.

Si bien las respuestas crecieron en comparación a las obtenidas con las simulaciones de diagnóstico, no fue necesario ejecutar un análisis de optimización automática por parte de GenOpt, el cual indicaría cuales son aquellos parámetros que no se deben considerar durante todas las simulaciones. Por ende se utilizan todos los parámetros para así conocer como output cuales son aquellos menor o mayormente influyentes.

6.2 Determinación de parámetros seleccionados

Para un análisis multifactorial se requiere de la definición de las variables correspondientes, con sus respectivas limitaciones y finalmente la propuesta de estrategias para comprobar su relevancia. Estas últimas se ven reflejadas en el conjunto de medidas alternativas que están disponibles para el mejoramiento del edificio (ventanas, material de aislación, sistemas de energía renovable, etc.) (Asadi et al, 2012 a).

A partir de la definición de cuáles son los desempeños intermedios, o requisitos, que sirven para alcanzar los objetivos finales de desempeños, se definen cuáles son los factores que influyen y determinan las variables de diseño y físico-constructivas propias de cada desempeño.

En el Capítulo 3 se definieron los desempeños planteados como objetivos finales: (1) Confort térmico, (2) Eficiencia Energética y (3) Calidad del Aire interior, con sus respectivos desempeños intermedios: (i) Transmitancia Térmica de la Envolvente, (ii) Hermeticidad al aire de la envolvente, y (iii) Cantidad de Superficie Vidriada, los cuales atañen a los desempeños finales 1 y 2; y para el desempeño de Calidad del aire interior se considera solo el indicador necesario y no la existencia de un desempeño intermedio.

Para cada uno de ellos se determinaron distintas variables de diseño y construcción, que a partir de la simulación, mostrarán sus implicancias dentro del cumplimiento de los objetivos de desempeños. Los factores tienen plena relación con las propiedades físico-constructivas de la envolvente, aunque para el mejoramiento de alguna de ellas pudiese ser necesario el uso de un sistema adicional, como por ejemplo la incorporación de un sistema de ventilación con recuperación de calor. No se consideran otro tipo de factores que tuvieran relación con los hábitos del usuario, ya que su carácter cualitativo desvía el carácter de estudio sobre propiedades que dependen únicamente de la construcción. Pero a pesar de no considerar a los usuarios dentro de las estrategias, si se puede guiar al usuario en cómo utilizar la vivienda mejorada, brindándoles orientación y capacitación.

Para los desempeños intermedios no se consideran ciertos factores establecidos como fijos, por ejemplo la ubicación, donde se mantuvo el sitio original para cada una de las viviendas. Pero cabe destacar que es a partir de la ubicación, de donde se extraen valores que si son utilizados como niveles dentro de cada factor. A partir de ella se puede conocer la zona térmica a la cual pertenece la edificación. Las cuatro viviendas coinciden dentro de la Zona 4, por lo que los valores límites establecidos por la norma vigente (O.G.U.C. Título 4.1.10) son

utilizados dentro de las variables en el estudio multifactorial. Además, para optar al subsidio de mejoramiento térmico de viviendas existentes se exige el cumplimiento de esta normativa. Debido a esto se necesita incorporar dichos valores, lo cual permitirá además comparar otras estrategias que alcancen mejores niveles a los establecidos en aquella reglamentación.

De la misma forma como los desempeños 1 y 2 debieron agruparse para determinar sus requisitos, también debieron corresponder a un mismo conjunto de factores, ya que todos estos actúan de forma relacionada, y no como estrategias independientes y aisladas.

Para los requisitos de transmitancia térmica, hermeticidad al aire y cantidad de superficie vidriada, las variables de diseño fueron: la transmitancia térmica del muro perimetral, de la techumbre, del piso y el vidrio; porcentaje de superficie vidriada hacia el norte y la hermeticidad al aire de la envolvente. Por último, para el desempeño intermedio de tasa de aire interior, el único factor fue el uso, o no, de un sistema de ventilación con recuperador de calor (Ver Capítulo 3.3).

Para el caso de determinaciones de transmitancia térmica de los elementos que componen la envolvente, se establecen ciertos valores, sin la necesidad de involucrar una estrategia en particular, aludiendo al carácter prestacional del desarrollo de investigación. Independiente de la estrategia que se lleve a cabo, los objetivos finales de cada desempeño se deben cumplir.

Ciertos niveles dentro de las variables de diseño, fueron datos medidos desde el diagnóstico experimental: valor U de muro y ventanas, y las tasas de infiltraciones medidas. Esta medida busca reflejar la influencia de la condición real del edificio en una u otra propuesta de estrategia (Olofsson et al, 2005).

6.2.1 Valor U Muros

La transmitancia térmica (valor U) es, según NCh853 of, 2007, el flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento.

Para poder establecer los distintos valores U del muro, como de otros componentes de la envolvente que serían evaluados en el estudio multifactorial, se determinó que los dos niveles que debían ser parte de los niveles involucrados, serían: (i) el valor U que arrojó la medición experimental, y (ii) el valor U que establece como requisito la O.G.U.C, Artículo 4.1.10.

En base a estos dos valores como límites superiores (evaluados como lo más deficientes) del rango, se propusieron otros valores que decrecen hacia un valor más óptimo.

Para el caso de los muros, el valor U más bajo, es decir el que considerara menor transmitancia térmica, sería de $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, cuyo valor es poco más de tres veces menor que el exigido por la Reglamentación Térmica en la zona estudiada. Si bien, se pudo haber considerado un valor más exigente tal como lo es en estándares como el alemán *Passivhaus*, donde pueden llegar a tener un valor de transmitancia térmica en los muros de $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ para alcanzar la demanda energética requerida ($15 \text{ kWh}/\text{m}^2$), o en Inglaterra, donde la normativa indica valores U de $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ para muros, o España donde se exige desde $0,35$ a $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (dependiendo de la zona donde esté ubicada la construcción). Pero se decide optar por un valor no tan extremo considerando el clima de los casos de estudios, que no es tan extremo como la alcanzada en dichos países europeos.

Las materialidades de los casos de estudios eran variadas, por lo tanto el valor U medido por termo-flujometría no era el mismo para todos, por lo que los niveles cambiaban según la vivienda evaluada.

La humedad relativa afecta directamente a los elementos de cierre de la vivienda, siendo necesario enmarcarla dentro de ciertos límites para mantener un ambiente confortable e higiénico y muros secos. Como condiciones de borde reales se consideran escenarios desfavorables para poder observar la situación actual, y no los índices de humedad indicadas por el Instituto Nacional de Normalización (1988), por no ser pertinentes a la realidad medida en viviendas sociales del centro-sur de Chile. Para esto se establece lo propuesto por el proyecto FONDEF D09I1162 “Diseño y aplicación de un sistema de aseguramiento de calidad para obras de construcción habitacional en Chile basado en criterios y estándares de desempeño” (CITEC, 2013) (Tabla 6.1), donde las condiciones son específicas hacia contextos desfavorables en la vivienda social, donde la humedad interior es muy alta debido mala calidad de la construcción y hábitos del usuario.

Tabla 6.1: Humedad relativa y Temperatura de aire interior y exterior, para criterio de desempeño.

Temperatura de Aire Exterior (θ_e)(°C)	Temperatura de Aire Interior (θ_i) (°C)	Humedad Relativa Exterior (φ_e) (%)	Humedad Relativa Interior (φ_i) (%)
5,6	18,0	87,0	90

Para el cálculo de riesgo de condensación superficial se utiliza el procedimiento establecido por UNE-EN ISO 13788:2002:

Se debe comprobar que el factor de temperatura de la superficie interior fR_{si} es superior al factor de temperatura de la superficie interior mínimo $fR_{si, \text{min}}$ durante el mes de Julio.

- El factor de temperatura de la superficie interior f_{Rsi} , es:

$$f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0,25 = 1 - 0,528 \cdot 0,25 = 0,868$$

donde:

$U_{1,2}$ y $3 = 1,1; 0,8$ y $0,5$ [$W/m^2 K$].

Entonces: $f_{Rsi}(1) = 0,725$; $f_{Rsi}(2) = 0,8$ y $f_{Rsi}(3) = 0,875$

- El factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi, \min}$ es:

$$f_{Rsi, \min} = \frac{\theta_{si, \min} - \theta_e}{20 - \theta_e}$$

Donde:

θ_e : temperatura exterior de la localidad en el mes de julio, es decir: $5,6$ °C.

$\theta_{si, \min}$: temperatura superficial interior mínima aceptable obtenida de la siguiente expresión (°C):

$$\theta_{si, \min} = \frac{273,3 \log e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)}{17,269 - \log e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)}$$

Donde,

$P_{sat} = P_i / 0,8$

Donde,

P_i es la presión del vapor interior: $2064,40$ Pa. (Para 90% de humedad relativa interior)

Entonces:

$P_{sat} = 2580,5$

$\theta_{si, \min} = 17,2$ °C

Por lo tanto: $f_{Rsi, \min} = 0,80$

$f_{Rsi, \min} < f_{Rsi}$

Como resultado se obtiene que en aquellos muros cuyo valor U sea inferior a $0,8$ W/m^2K , no existirá riesgo de condensación superficial bajo las condiciones de borde establecidas en la Tabla 6.1.

Para el cálculo de condensación intersticial dependerá de las estrategias que se propongan para alcanzar los objetivos de desempeños, ya que la comprobación de formación de

condensaciones intersticiales se basa en la comparación entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación que existe en cada punto intermedio de un cerramiento formado por distintas capas.

Tabla 6.2: Niveles de valor U en muros establecidos para cada caso de estudio

Vivienda	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6
	(Valor U medido, desde flujometría)	Valor U RT				
W/(m ² K)						
Cabo Aroca	1,76	1,7	1,4	1,1	0,8	0,5
Peñuelas II	2,35	1,7	1,4	1,1	0,8	0,5
P. Aylwin	2,92	1,7	1,4	1,1	0,8	0,5
El Triangulo	1,46	1,7	1,4	1,1	0,8	0,5
					No existe riesgo de Condensación Superficial →	

6.2.2 Valor U Techumbre

En el caso de la techumbre, no se pudo utilizar el valor U medido de los casos de estudios, ya que la medición de termo-flujometría no se hizo en este elemento. Se decidió utilizar como valor calculado en base a la información recopilada en planos y especificaciones técnicas, considerando las materialidades y espesores. Los demás valores corresponden al establecido en la RT y otros propuestos en base al mejoramiento de la transmitancia térmica del elemento.

El valor U exigido para techumbres fue la primera medida que entró en vigencia con la primera etapa de la Reglamentación Térmica. Los estándares exigidos para el complejo de techumbre ofrecen, según Bustamante (2009) un comportamiento adecuado al clima, haciendo innecesario el aumento de la exigencia para techos. Pero, a diferencia de lo propuesto por el autor, se puede encontrar que en climas mucho más fríos que en las ciudades de la Zona 4, como Inglaterra, el valor de transmitancia térmica máximo exigido por la normativa vigente es de 0,25 W/(m²K). Si bien, ya se hizo mención a que las condiciones climáticas son distintas, en Chile se conocen buenas prácticas actuales que tienden a la aislación de éste complejo, lo que puede deberse a haber sido lo primero exigido por la Reglamentación Térmica.

Debido a estos motivos, los niveles que se establecieron como valor U para el complejo de techumbre fueron el valor existente (según simulación dinámica), el segundo nivel fue el que

la RT requiere y por ultimo dos niveles que fueran mejores que el exigido en Chile actualmente (Tabla 6.3).

Tabla 6.3: Niveles de valor U en techumbre establecidos para cada caso de estudio.

Vivienda	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
	(Valor U calculado)	Valor U RT		
	W/(m ² K)			
Cabo Aroca	0,92	0,38	0,28	0,18
Peñuelas II	0,76	0,38	0,28	0,18
P. Aylwin	0,83	0,38	0,28	0,18
El Triangulo	0,81	0,38	0,28	0,18

6.2.3 Valor U Piso (no ventilado)

Si bien esta variable de diseño no es exigida en la normativa nacional actual (en términos del elemento piso, solo establece requerimientos para aquellos que sean ventilados) se incorporó como una variable a estudiar, ya que se considera importante conocer cuánta influencia puede tener este elemento en el comportamiento térmico de una vivienda.

De esta forma, se decide usar como nivel inicial el valor entregado por la simulación, para ser seguido por un segundo y último nivel que equivale a la mitad del otro (aproximadamente).

Tabla 6.4: Niveles de valor U en pisos no ventilados establecidos para cada caso de estudio.

Vivienda	Nivel 1	Nivel 2
	(Valor U calculado)	
	W/(m ² K)	
Cabo Aroca	3	1,5
Peñuelas II	3	1,5
P. Aylwin	2,6	1,5
El Triangulo	2,6	1,5

6.2.4 Valor U Ventana

Para el presente estudio, solo se considera la superficie vidriada y sin elementos verticales dentro de ella, por lo tanto la superficie que se plantean como niveles corresponde solo a superficies transparentes. Si se propone como cambio, el usar ventanas abatibles y no de corredera, pensando en una menor perdida por posibles filtraciones de aire. Además se considera el cambio del marco de fierro a PVC, el cual tiene mayor hermeticidad al aire.

Se escogieron dos tipos de vidrios para el análisis. El primero es el nivel 1, el cual se atribuye a aquellos vidrios que actualmente existen en las viviendas, es decir el vidrio simple. Como propuesta de mejoramiento a éste, se estable el uso de un doble vidrio hermético común. Se propone este tipo de vidrio por ser una tipología de gran accesibilidad en el mercado nacional (Tabla 6.5).

Tabla 6.5: Niveles de valor U en ventanas establecidos para cada caso de estudio.

Vivienda	Nivel 1	Nivel 2
	(Valor U medido)	
W/(m ² K)		
Cabo Aroca	5,7	2,7
Peñuelas II	5,7	2,7
P. Aylwin	5,7	2,7
El Triangulo	5,7	2,7
		Menor riesgo de condensación →

6.2.5 Porcentaje de Superficie Vidriada hacia el Norte

Para disminuir las pérdidas de calor a través de la envolvente, la RT restringe el tamaño de las ventanas en función de su transmitancia térmica. Se determina estudiar la influencia de tener más área vidriada hacia el norte, definiendo porcentajes máximos de ventanas respecto al muro norte. Considerando como limitante las dimensiones, ya que en esos muros existen puertas u otros vanos ya construidos.

En el caso de estudio P. Aylwin, las ventanas que ya existían correspondían al casi 20% del muro, por lo que este valor no fue considerado como un segundo nivel del factor estudiado.

Tabla 6.6: Niveles de porcentaje de superficie vidriada en el muro norte establecidos para cada caso de estudio.

Vivienda	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
	(Porcentaje real)		
%			
Cabo Aroca	9,8	20	30
Peñuelas II	18,8	20	30
P. Aylwin	19,5	-	30
El Triangulo	18,5	20	30

6.2.6 Infiltraciones de Aire

Para el caso de los niveles de tasas infiltraciones de aire, no se pudieron homologar todos dentro de los cuatro casos de estudios. El valor más alto fue el nivel medido de hermeticidad al aire de la envolvente entregado por el Blower Door Test, el cual variaba entre las viviendas. Luego estas infiltraciones declinan hacia llegar a un valor óptimo según normas europeas para viviendas con ventilación natural (Tabla 6.7).

Tabla 6.7: Niveles de tasas de infiltraciones de aire establecidos para cada caso de estudio.

Vivienda	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11
	(infiltraciones medidas)	ACH									
Cabo Aroca	2,59	2,5	2,25	2	1,75	1,5	1,25	1	0,75	0,5	0,25
Peñuelas II	1,23	-	-	-	-	-	-	1	0,75	0,5	0,25
P. Aylwin	0,63	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,25
El Triangulo	1,68	-	-	-	-	1,5	1,25	1	0,75	0,5	0,25

6.2.7 Uso de Sistema de ventilación con Recuperación de Calor

Se estudia la posibilidad de la incorporación de un sistema de ventilación con recuperación de calor (HRV), para conocer qué tan determinante puede ser su uso con respecto a la demanda energética. Si bien los equipos y tecnologías necesarias para la implementación de este tipo de ventilación, implica un mayor costo, resulta importante saber hasta qué punto pudiese ser una buena estrategia en viviendas sociales.

A partir un estudio hecho para FONDEF, donde se evaluó la tesis de incorporar el estándar alemán *Passivhaus* en vivienda sociales en Chile, se concluye que es posible la utilización de un sistema de ventilación con recuperación de calor, junto con otras estrategias en pro de la eficiencia energética, pero con la condición de considerar al menos 25 o 30% más del costo inicial de una vivienda nueva.

Si bien, la inversión es alta, los beneficios son importantes, ya que el usuario podría alcanzar el confort térmico sin la necesidad de ocupar un sistema de calefacción, derivando en beneficios de salud y mejorando la percepción del usuario con respecto a su vivienda.

Es necesario tener reparo en que el uso del recuperador de calor es más eficiente cuando la envolvente de las viviendas es altamente hermética, habiendo un mínimo intercambio de aire por infiltración, haciendo forzosa la renovación de aire por ventilación. Además este sistema permite asegurar la renovación de aire necesaria para ofrecer calidad de aire interior, sin tener

la necesidad de abrir ventanas (situación recurrente en temporada de invierno). Con este funcionamiento se reducen las pérdidas de calor por ventilación, resultando ser más energéticamente eficiente la vivienda.

En este estudio el sistema de ventilación con recuperación de calor incorpora un intercambiador de alto rendimiento (70%), y con sistema de *by-pass* para temporada de verano, evitando un sobrecalentamiento cuando la temperatura aumenta.

Tabla 6.8: Niveles de uso de sistema de ventilación con, o sin, recuperación de calor establecidos para cada caso de estudio.

Vivienda	Nivel 1	Nivel 2
Cabo Aroca	Con HRV	Sin HRV
Peñuelas II	Con HRV	Sin HRV
P. Aylwin	Con HRV	Sin HRV
El Triangulo	Con HRV	Sin HRV

Estos parámetros son sometidos al estudio multifactorial mediante la automatización de simulaciones dinámicas, donde se modifica cada uno de los niveles propuestos, entregando cada combinación de estrategias una respuesta que corresponde a la demanda energética para calefacción.

Este análisis es específico hacia esta respuesta de demanda, atendiendo el primer desempeño final propuesto: eficiencia energética por demanda de calefacción. Una vez obtenido los resultados de éste primer análisis se seleccionaran dos casos que serán sometidos a un análisis atañido a la frecuencia de temperatura, haciendo referencia al segundo desempeño final: confort térmico. Este tipo de resultados de frecuencia de temperatura corresponde a una gran cantidad de datos, que no se comparan con un único dato de demanda energética, debido a esto resulta de alta complejidad realizar este análisis de frecuencia de temperatura para cada estrategia propuesta basada en los niveles especificados anteriormente, por lo que se seleccionan dos viviendas que serán analizadas en función del confort térmico.

El tercer desempeño, calidad del aire interior, no se puede medir en este tipo de análisis de predicción, sino que debe ser medido en la vivienda ya construida. Pero se ha especificado en cada simulación dinámica el caudal de aire mínimo exigido para estos casos de estudios, lo que permite conocer que dicha calidad de aire si debiese existir al interior de los casos estudiados.

6.3 Análisis de resultados en función de la demanda energética

Es posible analizar la demanda energética en base a sistemas que ya están reglamentados, por ejemplo la calificación energética, que ya ha sido adoptada en distintos países, y Chile no ha quedado distante de esto.

Se utiliza la calificación energética entrada en vigencia como referencia para el análisis del desempeño de eficiencia energética, ya que resulta ser un parámetro de análisis significativo que atiende este desempeño. Permite conocer rangos de mejoramiento según un sistema establecido, para poder así comparar también la influencia que tienen los desempeños dentro de los resultados obtenidos una vez hecho el análisis.

Además es sugerente conocer la aplicación de un sistema de calificación en viviendas existentes y con datos medidos en la construcción.

No es posible analizar el desempeño de confort térmico bajo la calificación energética, ya que ésta no comprende objetivos de temperatura interior en la vivienda.

6.3.1 Categorización según Calificación Energética Chilena

El actual sistema de calificación y etiquetado energético de viviendas en Chile, nace desde el Ministerio de Vivienda y Urbanismo junto al Programa País de Eficiencia Energética, debido a la preocupación por la crisis energética a nivel mundial y su impacto en el país.

La finalidad de la calificación de viviendas es la promoción de la eficiencia energética, mediante información objetiva, que es proporcionada por parte de los promotores inmobiliarios para informar a los compradores del comportamiento energético de su vivienda (Fissore y Colonelli, 2009); es decir, está orientado especialmente a viviendas nuevas y su aplicación es voluntaria, ya que la información sobre el comportamiento energético de sus viviendas es entregada por parte de los primeros vendedores a los posibles compradores, lo que les permitirá comparar y valorar su desempeño energético (MINVU, 2012).

La eficiencia energética que se mide en esta calificación corresponde a dos evaluaciones: la primera, califica la demanda de energía para calefacción de la vivienda y su iluminación (de arquitectura), y la segunda, evalúa el consumo de energía primaria en calefacción, agua caliente sanitaria e iluminación (de arquitectura, equipos y tipo de energía utilizada). Para la primera calificación se evalúan los materiales que conforman la envolvente y la superficie de

ventanas por tipo, ya para la segunda se suman los equipos de climatización utilizados, el agua caliente sanitaria y la existencia de equipos para energía renovable.

El resultado de la calificación consta de siete indicadores que van desde la A a la G, siendo la A la mejor calificación.

Si bien se utiliza la calificación energética actual, se hacen ciertas variaciones de ésta misma para el presente estudio comparativo. Tal como se mencionó, la calificación que propone el MINVU define dos evaluaciones de donde se obtienen indicadores principales y secundarios. Para efectos de la presente comparación, se considera solo la Demanda de Energía destinada a la Calefacción. Este indicador está relacionado con la calidad del diseño de la vivienda y de los materiales utilizados, sin considerar la eficiencia del sistema de calefacción y el tipo de combustible.

La Calificación Energética (CE) considera como infiltración un único valor, el cual corresponde a 1ACH, en cambio en las estrategias de mejoramiento para los casos de estudios se utilizan distintos valores que descienden desde la tasa de infiltración existente. Debido a esto, fue necesario simular las viviendas con una renovación de aire por hora también para poder comparar esta diferencia usando infiltraciones medidas o estimadas.

Por último, la herramienta que utiliza el sistema de calificación energética corresponde a una planilla de cálculo que hace posible un ordenamiento para el ingreso de toda la información necesaria. Esta herramienta permite realizar parte de los cálculos en forma automática y entrega los resultados necesarios para la confección de la evaluación y de la etiqueta. La diferencia con el estudio en cuestión, es que los resultados de demanda energética para calefacción, se obtienen desde simulaciones dinámicas con Energy Plus, utilizando si los datos pertinentes señalados en la norma chilena vigente, como por ejemplos la conductividad térmica del material.

De acuerdo a las diferencias que se establecieron entre el sistema de calificación energética y el presente estudio comparativo, se utilizaron los rangos de demanda energética para calefacción desde A a G, para someter a evaluación las distintas combinaciones de estrategias de mejoramientos que se propusieron para cada caso de estudio (Tabla 6.9). Las demandas arrojadas por la vivienda mejorada se comparan con otra vivienda de las mismas características pero sin los mejoramientos, que solo cumple con la RT y es calificada como E. La vivienda que esté calificada como E resulta ser el caso base y a partir de ella las viviendas con mejoramientos ya pueden ser calificadas como más eficientes. El resultado de la vivienda

mejorada tendrá tanto porcentaje menor o mayor de eficiencia, lo que indicara a que rango pertenece.

Calificación	Zona Térmica 3, 4 y 5 (%)
A	$C < 40$
B	$40 \leq C < 50$
C	$50 \leq C < 65$
D	$65 \leq C < 85$
E	$85 \leq C < 110$
F	$110 \leq C < 135$
G	$135 \leq C <$

Tabla 6.9: Calificación de Arquitectura (demanda de energía en calefacción). (C=Caso base)



Tabla 6.10: Ejemplo de ilustración de certificación de una vivienda como “C” en consumo de energía.

6.3.2 Resultados calificados según rangos A a G

Para cada vivienda se ejecutaron dos calificaciones de demanda energética para calefacción, una utilizando diferentes tasas de infiltración y otra sólo con 1 ACH. En todos los casos de estudios se expondrán tres gráficos. El primero corresponde a los resultados de demanda energética obtenidos de la vivienda existente con las estrategias de mejoramiento propuestas en base a los parámetros seleccionados, donde solo se considera la tasa de infiltración medida y sus correspondientes mejoramientos. Para realizar una comparación general, se destacan en él los valores de demanda energética por calefacción para el caso real existente, el caso base

con tasa de infiltración 1 ACH (E1) y el caso base con tasa de infiltración de aire medida (E2), además de sus correspondientes mejores casos.

Del este gráfico se desprende una tabla, donde se indican los parámetros usados en cada estrategia resaltada, para poder así conocer que parámetros, que determinan en mayor medida un aumento, o disminución, de la demanda energética.

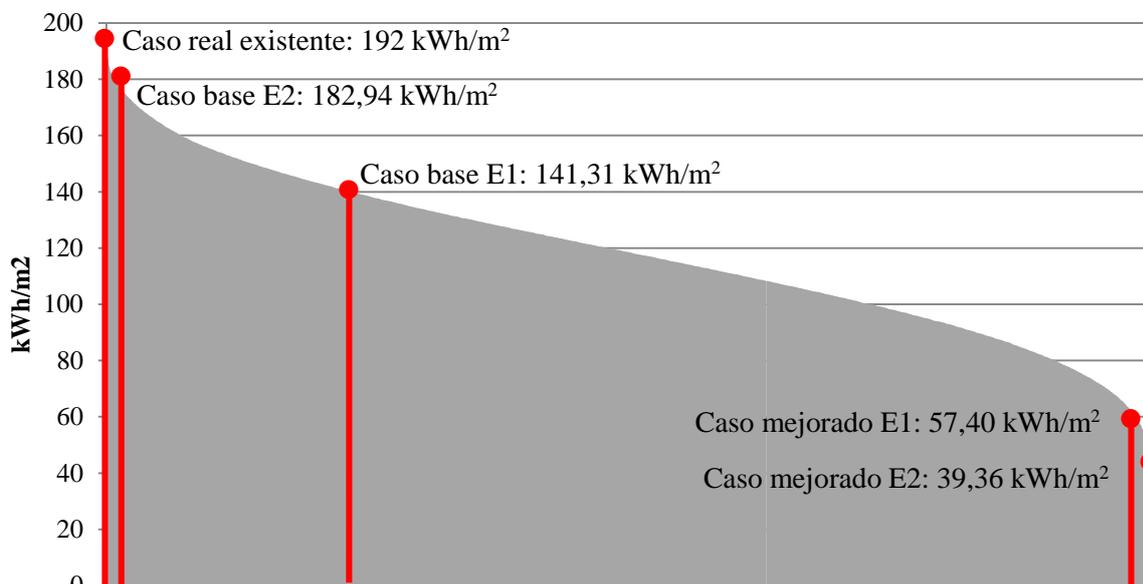
En un segundo gráfico se expone la comparación de demandas energéticas por calefacción, considerando todos los niveles para cada parámetro, en la izquierda con 1 ACH y en la derecha con los mejoramientos a partir del nivel de hermeticidad medido. El objetivo es contrastar cuanta diferencia de demanda se produce al considerar la infiltración de aire medida en la vivienda, y otra establecida como supuesta. Esta diferencia provoca un cambio en la demanda energética del caso de referencia base (dentro del rango E). En ambos casos tienen los mismos parámetros que cumplen con la RT, pero se modifica la tasa de infiltración de aire.

6.3.2.1 Resultados Cabo Aroca

A partir de este primer acercamiento a los resultados se puede observar que la diferencia entre el caso E1 y E2, ya sea en el base o en el de más baja demanda, es solo provocada por la diferente tasa de infiltración de aire, ya que los demás parámetros se mantienen iguales en los dos casos. Se observa que al modificar los parámetros para alcanzar a cumplir con Reglamentación Térmica y manteniendo los demás iguales, la diferencia de demanda es muy baja, siendo mejorada en sólo 5% (de 192 a 182,94 kWh/m²) (Figura 6.1).

Al comparar la estrategias del caso con la tasa de infiltración de aire utilizada por la calificación energética (1 ACH) y con la transmitancia térmica necesaria para cumplir con la Reglamentación Térmica (Caso base E1) (Figura 6.2), con el caso que tiene la tasa de infiltración medida (2,60 ACH) y los mismos otros parámetros que cumplen con la RT (Caso base E2), se obtiene una alta diferencia de demanda energética por términos de calefacción. La estrategia del caso base E2 alcanza 30% más de demanda que el caso que supone la tasa de infiltración usada por la Calificación Energética. Esto deja en manifiesto la certeza que al proponer estrategias de mejoramiento para una vivienda existente, es necesario someterla a un diagnóstico que permita conocer estado físico constructivo real del caso, o bien rango de infiltraciones aceptables según la realidad del estado físico-constructivo de las viviendas. Debido a que al considerar ciertos parámetros por defecto, se obtienen resultados de

demandas que distan de la realidad, permitiendo generar propuestas de eficiencia que en la práctica no serán percibidas como tal.



	Caso Real Existente	Caso Base E2	Caso Base E1	Caso Mejorado E1	Caso Mejorado E2
Valor U Muro (W/m²K)	1,76	1,7	1,7	0,5	0,5
Valor U Techumbre (W/m²K)	0,92	0,38	0,38	0,18	0,18
Valor U Piso (W/m²K)	3	3	3	1,5	1,5
Tipo de vidrio	Simple	Simple	Simple	DVH	DVH
Porcentaje ventana en muro Norte (%)	0	0	0	30	30
Tasa infiltraciones aire (ACH)	2,59	2,59	1	1	0,25
Sistema de ventilación con HRV	Sin	Sin	Sin	Con	Con

Figura 6.1: (Superior) Gráfico de demandas energéticas a partir del caso real con estrategias de mejoramiento propuestas. Se destacan caso real, base E1 y E2 y sus respectivos mejores casos. (Inferior) Tabla con valores de factores utilizados en cada estrategia.

De la misma forma, se observa que en el gráfico de la derecha de la figura 6.2, donde se proponen distintos parámetros de tasas de infiltración, es más factible alcanzar demandas energéticas más bajas que las alcanzadas con un nivel de hermeticidad al aire por defecto. Con dichos mejoramientos en las tasas de infiltraciones se logra una calificación “A”, no así en aquellas estrategias que solo consideran 1 ACH como tasa de infiltración de aire, donde son utilizados los mismos otros parámetros que en el caso base E2, pero que solo pueden conseguir la calificación B. Lo cual es lógico, después de haber mejorado la hermeticidad al

aire de la envolvente, pero hace enfatizar una vez más, la idea de no utilizar solo un valor por defecto, negando la posibilidad de suponer algo mejor.

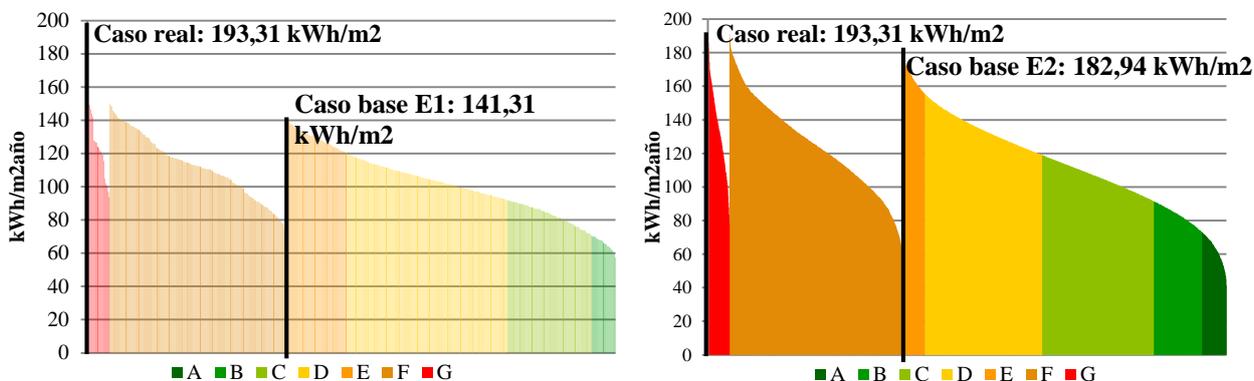


Figura 6.2: Comparación de calificación energética según demanda energética para calefacción de la vivienda Cabo Aroca con 1 ACH (izquierda) y distinto niveles (derecha) de tasa de infiltración.

A partir del análisis, de que factores son los más frecuentados dentro de un rango de CE, se obtiene que los parámetros de ambos casos deben ser mantenidos igual que en su estado inicial para ser calificados como F y G, es decir deficientes (Figura 6.1).

Se confirma la hipótesis de que los factores debían mantenerse igual a los medidos en el caso existente para ser calificado con el nivel G, y de forma contraria, todos los niveles de los factores debían ser los mejores para poder obtener la calificación A, donde la demanda de energía es inferior al 40% de la demanda energética actual para calefaccionar. Pero, de todas las combinaciones de estrategias hechas solo 0,01% alcanza esta alta calificación. La mayor cantidad de combinaciones de estrategias están dentro de la letra F (Figura 6.2), la cual es insuficiente como para calificar dentro de aquellas viviendas eficientes energéticamente, ya que solo serán consideradas aquellas que estén entre el nivel A y E. Tal como proponen los objetivos de la CE, para F se consideran aquellos casos que tienen aislación en alguno de sus parámetros normados por la Reglamentación Térmica, pero que aun así no alcanzan a ser eficientes energéticamente como para ser calificados como E. Pero esto es bajo el punto de vista de la calificación energética, porque si nos concentráramos en el objetivo de disminuir la demanda, se pueden obtener casos dentro de la calificación F que alcanzan demandas energéticas de hasta 70 kWh/m², es decir menos de la mitad de lo que demanda la vivienda actualmente, pero son calificados como E, solo por no cumplir con la RT. Esto hace destacar el hecho de considerar las estrategias de mejoramientos usando los desempeños de forma integral, ya que así se enfocan las propuestas en el objetivo final y no se desvía el mejoramiento en solo algunos parámetros de influencia, el beneficio puede ser aún mayor.

Por ejemplo el mejor caso que califica como F, demanda 69 kWh/m², y en él se usan todos los parámetros en sus niveles más exigentes, a excepción de la techumbre donde se dejó el valor U actual. Es decir, sin la necesidad de cumplir con la reglamentación térmica, los beneficios en la demanda energética son muy altos. Entonces, se puede concluir que al mejorar sólo aquellos parámetros reglamentados (transmitancia térmica en muros y techumbres), se puede calificar como E; pero mejorando otros parámetros y dejando otros sin cumplir con la RT puede obtener menor demanda energética.

Para obtener un calificación D en Cabo Aroca, el valor U del muro puede ser levemente mejorado (convertir 1,76 W/m²K en 1,7 W/m²K), al igual que la tasa de infiltración, que debe ser mejorada desde 2,6 ACH a 2,25 ACH, además de incorporar mejoras en la techumbre (valor U máximo exigido por RT), y manteniendo todos los otros parámetros igual que en el estado existente. Es decir el esfuerzo no es alto y la calificación es buena.

En ambos casos (con caso base E y E2), se observa que existen 62,5 % de combinaciones de estrategias posibles dentro de los parámetros propuestos, calificadas como eficientes energéticamente. Es decir, las posibilidades de disminuir la demanda energética por calefacción son altas en base a los parámetros propuestos, pero cada una de ellas implica distintos esfuerzos, tanto económicos, como constructivos.

Tabla 6.11: Combinaciones de factores más frecuentados en cada rango de la Calificación energética para Cabo Aroca con 1 ACH y ACH medida.

		A	B	C	D	E	F	G
Valor U Muro (W/m²K)	E1	-	0,5	0,5	1,7	1,7/1,76	1,76	1,76
	E2	0,5	0,5	0,8	1,7	1,7	1,76	1,76
Valor U Techumbre (W/m²K)	E1	-	0,18	0,18	0,28	0,38	0,92	0,92
	E2	0,18	0,18	0,18	0,38	0,38	0,92	0,92
Valor U Piso (W/m²K)	E1	-	1,5	1,5	3	3	3	1,5/3
	E2	1,5	1,5	1,5	3	3	1,5 / 3	1,5 / 3
Tipo de vidrio	E1	-	DVH	DVH	Simple	Simple	Simple	Simple/ DVH
	E2	DVH	DVH	DVH	Simple	Simple	Simple/ DVH	Simple/ DVH
Porcentaje de ventana en muro Norte (%)	E1	-	30	30	0	0	20/30	0/20/ 30
	E2	30	30	30	0	0	0 / 20 / 30	0 / 20 / 30
Tasa de infiltraciones aire (ACH)	E1	-	1	1	1	1	1	1
	E2	0,25	0,25	1,25	2,25	2,6	Todas por igual	Todas por igual
Sistema de ventilación con HRV	E1	-	Con	Con	Sin	sin	Sin	Sin
	E2	Con	Con	Con	Sin	Sin	Sin	Sin

De cada rango de calificación energética se determina cuáles son aquellos factores que más frecuentados son por las estrategias para alcanzar el rango en cuestión (Tabla 6.11). De esta forma se determina que el mejor de los casos hecho bajo la tasa de infiltración medida (con caso base E2) demanda 39,37 kWh/m² de energía al año, lo equivale a 80% más eficiente que la demanda actual. En cambio, al considerar la tasa de infiltración propuesta como defecto por la CE, la menor demanda energética es de 57,40 kWh/m², valor que califica como B. Esto último indica que los mejoramientos en la hermeticidad al aire de la envolvente influyen altamente en una disminución de la demanda de energía. En la Figura 6.1 se observa dentro los parámetros desprendidos de los mejores resultados, que solo se necesita modificar la tasa de infiltración de aire para generar una diferencia de demanda.

En este caso el uso de un sistema de recuperación de calor tiende a aparecer cuando la tasa de infiltración de aire es inferior a 1,25 ACH. Pero se conoce que a medida que la hermeticidad es más alta, más se justifica el uso del sistema con HRV y más eficiente es éste.

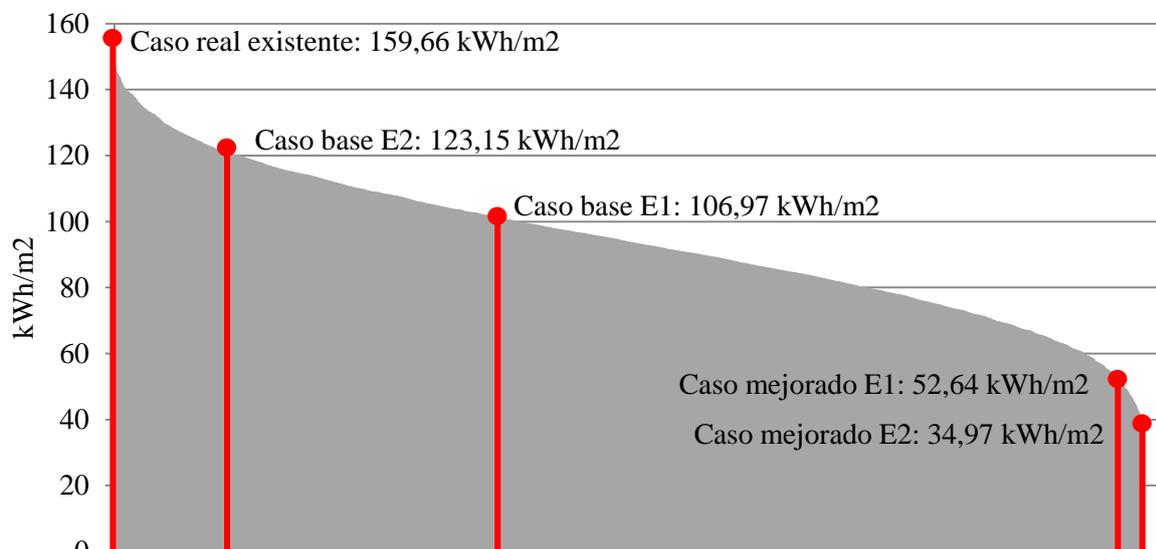
De las estrategias que tendrían una alta calificación energética (Tabla 6.11), los parámetros tienden a:

- Mejorar el valor U del muro: llegando al más alto estándar propuesto representado por 0,5 W/m²K.
- Mejorar el valor U de la techumbre: llegando al más alto estándar propuesto representado por 0,18 W/m²K.
- Disminuir la transmitancia térmica del piso a la mitad de lo existente: 1,5 W/m²K.
- Para las ventanas, usar vidrio DVH y aumentar el porcentaje de superficie vidriada a 30% en el muro norte.
- Disminuir al mínimo la tasa de infiltración de aire: 0,25 ACH.
- Usar un sistema de ventilación con recuperación de calor.

6.3.2.2 Resultados Villa el Triángulo

La combinación de estrategias se rige bajo el mismo fenómeno que en el caso anterior, donde todos los parámetros deben cumplir con los valores más exigentes para alcanzar menor demanda energética. Es por esto que al proponer una mayor disminución de tasa de infiltración como estrategia, se puede obtener una menor demanda de energía con el caso base E2 que con el E1, el cual solo considera 1 ACH (Figura 6.3).

La diferencia es que en esta vivienda los casos base E1 y E2 presentan un muro con un valor U peor que al medido en la actualidad, ya que se considera la utilización del valor exigido por la reglamentación térmica para ser calificado como E, y el valor desde la flujometría es mejor.



	Caso Real Existente	Caso Base E2	Caso Base E1	Caso Mejorado E1	Caso Mejorado E2
Valor U Muro (W/m ² K)	1,46	1,7	1,7	0,5	0,5
Valor U Techumbre (W/m ² K)	0,81	0,38	0,38	0,18	0,18
Valor U Piso (W/m ² K)	2,6	2,6	2,6	1,5	1,5
Tipo de vidrio	Simple	Simple	Simple	DVH	DVH
Porcentaje ventana en muro Norte (%)	0	0	0	30	30
Tasa infiltraciones aire (ACH)	1,68	1,68	1	1	0,25
Sistema de ventilación con HRV	Sin	Sin	Sin	Con	Con

Figura 6.3: (Superior) Gráfico de demandas energéticas a partir del caso real con estrategias de mejoramiento propuestas. Se destacan caso real, base E1 y E2 y sus respectivos mejores casos. (Inferior) Tabla con valores de factores utilizados en cada estrategia.

De la comparación de ambas calificaciones energéticas, según tasa de infiltración de 1 y 1,68 ACH, y con todos los demás parámetros iguales para ambos, se obtiene que el caso E1 (1 ACH) demanda 106,97 kWh/m² año de energía para calefaccionar, en cambio, la misma solución de estrategias, pero con la hermeticidad al aire de la envolvente actual, la vivienda demanda 123,15 kWh/m² año (Figura 6.4). La primera disminuye 33,3% con respecto a la demanda actual de la vivienda, en cambio la segunda estrategia calificada como (E2) sólo disminuye 23%. Pero para alcanzar la primera demanda sería necesario, no solo alcanzar los niveles de transmitancia térmica exigidos por la RT, sino que además someter a la vivienda a

un mejoramiento de sellamientos, para poder disminuir la tasa de infiltración de 1,68 a 1 ACH.

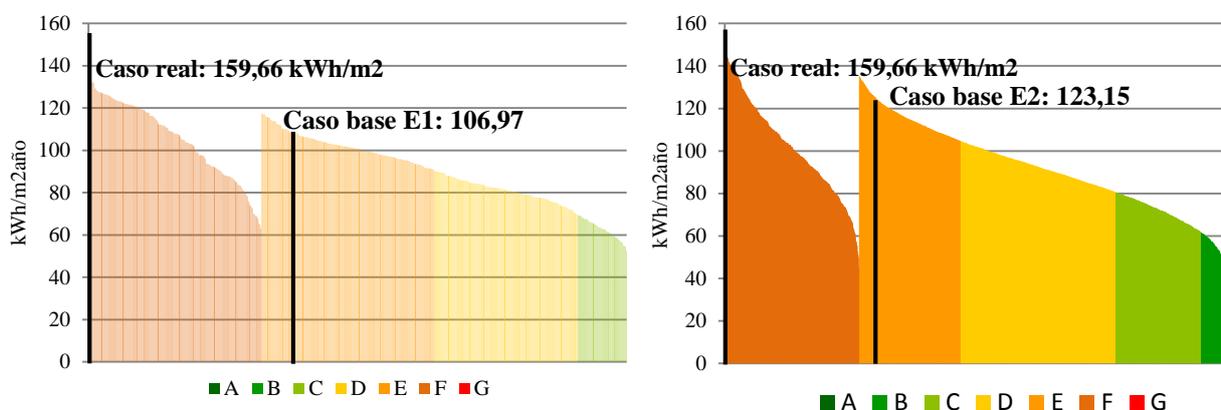


Figura 6.4: Comparación de calificación energética según demanda energética para calefacción de la vivienda El Triángulo con 1 ACH (izquierda) y distinto niveles (derecha) de tasa de infiltración.

La vivienda en cuestión presenta una transmitancia térmica en el muro de la envolvente mejor a la exigida por la RT (1,46 W/m²K), motivo por el cual las estrategias E1 y E2 no son las más desfavorables en el rango E de la Calificación Energética. Esta situación justifica también que ninguna de las estrategias en ambas calificaciones de la vivienda El Triángulo alcance la peor calificación G.

Al igual que en el caso de Cabo Aroca, las distintas estrategias simuladas bajo una tasa de infiltración de aire de 1 ACH no logran ser calificadas por A, y en este caso tampoco B, escenario distinto a las simulaciones con las propuestas estrategias de infiltración, que si presentan un porcentaje de posibilidades dentro del rango A.

La menor demanda alcanzada bajo los mejoramientos propuestos para la vivienda en su estado actual alcanza los 34,97 kWh/m² año, provocando una disminución de 78% con respecto a la demanda actual de la vivienda.

Dentro de las combinaciones de estrategias posibles, existen muchas más posibilidades de ser calificadas como eficientes y cumplir con la RT, cuando se consideran distintos niveles de tasa de infiltración de aire (73,5%), en vez de considerar solo 1 ACH (67,9%).

Tal como se puede suponer, los valores de parámetros deben establecerse iguales para ser calificados como deficientes en una calificación energética, no habiendo diferencia entre considerar 1 ACH o 1,68 ACH.

Para esta vivienda, como también para las otras tres, la Tabla 6.12 muestra solo las mayorías absolutas, no considerando aquellas diferencias que pueden ser mínimas (hasta una unidad)

entre un nivel de parámetro y otro, por lo que sólo deben ser consideradas como referencia y no como una estrategia única para alcanzar dicha calificación. Proponer estrategias de una forma más integral ha sido un objetivo de esta tesis, por lo que dichos porcentajes de influencias de cada parámetro se ve de forma más sistemática en el próximo análisis estadístico. Pero, como primer acercamiento a conocer que tipo de estrategias son más útiles para hacer de la vivienda más eficiente, se observa que no existen mayores diferencias de estrategias para ser calificado como A o B.

Tabla 6.12: Combinaciones de factores más frecuentados en cada rango de la Calificación energética para El Triángulo con 1 ACH y ACH medida.

		A	B	C	D	E	F	G
Valor U Muro (W/m²K)	E1	-	-	0,5	0,5	1,1	1,7	-
	E2	0,5	0,5	0,5	0,8	1,46	1,7	-
Valor U Techumbre (W/m²K)	E1	-	-	0,18	0,18	0,38	0,81	-
	E2	0,18	0,18	0,18	0,38	0,38	0,81	-
Valor U Piso (W/m²K)	E1	-	-	1,5	1,5	3	3	-
	E2	1,5	1,5	1,5	3	3	3	-
Tipo de vidrio	E1	-	-	DVH	DVH	Simple	Simple	-
	E2	DVH	DVH	DVH	Simple	Simple	Simple	-
Porcentaje de ventana en muro Norte (%)	E1	-	-	30	30	0 / 20	0 / 20	-
	E2	30	30	30	0	0	0 / 20	-
Tasa de infiltraciones (ACH)	E1	-	-	1	1	1	1	-
	E2	0,25	0,25	0,25	1	1,5	1,68	-
Uso de sistema de ventilación con HRV	E1	-	-	Con	con	Sin	Sin	-
	E2	Con	Con	Con	Sin	Sin	Sin	-

En la vivienda de Villa el Triángulo el uso de un sistema de ventilación con HRV es más exigente en cuanto a la hermeticidad al aire de la envolvente necesaria. Ya que la vivienda debe presentar una tasa de infiltración de aire igual, o inferior a 0,25 ACH, para justificar el uso del sistema de recuperador de calor.

Existen ciertos parámetros que marcan una igualdad entre el uso de una variable u otra, lo que estadísticamente significa que no tienen mayor incidencia en el resultado final. En este caso, este fenómeno se observa en la cantidad de superficie vidriada en el muro norte.

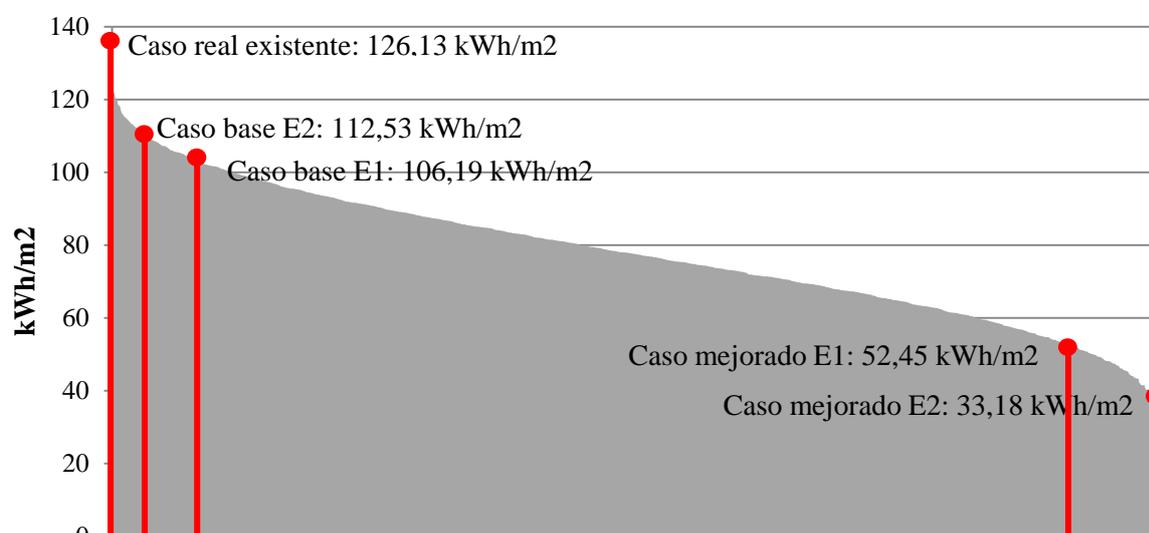
Los parámetros que tienden a alcanzar una calificación A bajo condiciones de infiltración de aire medidas, se resumen en:

- Valor U muro: entre 0,5 y 0,8 W/m²K
- Valor Techumbre: 0,18 W/m²K
- El valor U del piso debe ser disminuido a 1,5 W/m²K

- Los vidrios de las ventanas deben ser reemplazados por doble vidrio hermético (DVH) y aumentar la superficie de ellas en el muro norte en 30% más.
- El rango de hermeticidad al aire de la envolvente debe estar entre 0,25 y 1 ACH.
- El uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor se hace necesario.

6.3.2.3 Resultados de Peñuelas II

Al igual que los casos recientemente vistos, esta vivienda contiene un caso base E1 con menor demanda energética que el E2 (Figura 6.5). Donde además solo la tasa de infiltración cambia en los dos mejores resultados de cada caso base.



	Caso Real Existente	Caso Base E2	Caso Base E1	Caso Mejorado E1	Caso Mejorado E2
Valor U Muro (W/m ² K)	2,35	1,7	1,7	0,5	0,5
Valor U Techumbre (W/m ² K)	0,76	0,38	0,38	0,18	0,18
Valor U Piso (W/m ² K)	3	3	3	1,5	1,5
Tipo de vidrio	Simple	Simple	Simple	DVH	DVH
Porcentaje ventana en muro Norte (%)	0	0	0	30	30
Tasa infiltraciones aire (ACH)	1,23	1,23	1	1	0,25
Sistema de ventilación con HRV	Sin	Sin	Sin	Con	Con

Figura 6.5: (Superior) Gráfico de demandas energéticas a partir del caso real con estrategias de mejoramiento propuestas. Se destacan caso real, base E1 y E2 y sus respectivos mejores casos. (Inferior) Tabla con valores de factores utilizados en cada estrategia.

Pero en contraste con los otros casos, estas diferencias no son tan altas ($0,6\text{kWh/m}^2$) ya que la vivienda en su estado actual tiene una tasa de infiltración que no dista mayormente de la tasa propuesta por la Calificación Energética (1,23 y 1 ACH respectivamente).

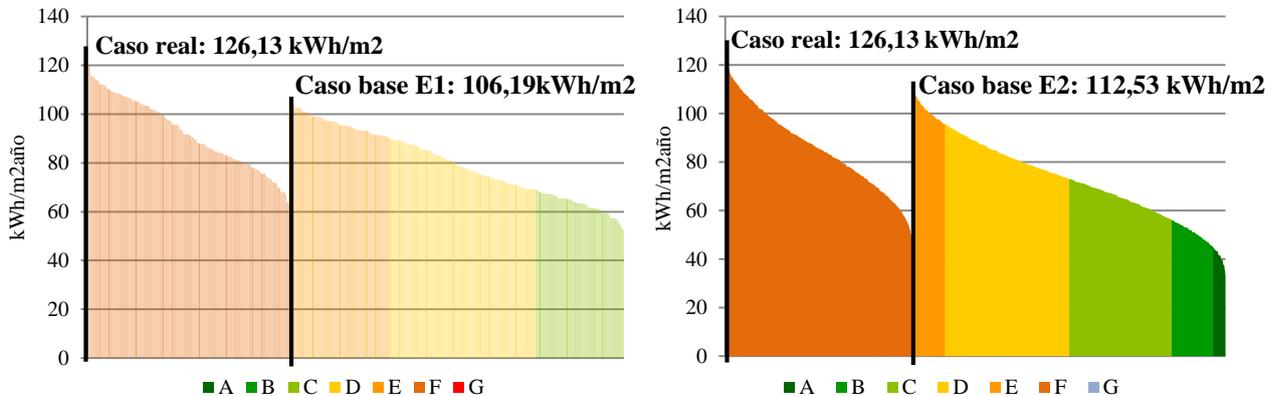


Figura 6.6: Comparación de calificación energética según demanda energética para calefacción de la vivienda Peñuelas II con 1 ACH (izquierda) y distinto niveles (derecha) de tasa de infiltración.

La estrategia que cumple con la Reglamentación Térmica considerando 1 ACH como infiltración de aire, demanda $106,19\text{ kWh/m}^2$ de energía para poder calefaccionar, es decir disminuye 16% la demanda actual. El caso base E2 disminuye 11% la demanda. La diferencia entre ambas es menor, por lo que al mantener todas las otras variables iguales para ambos casos, no valdría el esfuerzo disminuir la tasa de infiltración de aire a 1 ACH (Figura 6.5).

Ninguno de los casos, en ambas calificaciones, arroja respuestas que puedan ser calificadas como G (el más deficiente). La diferencia que si se percibe es que solo las estrategias con variadas propuestas de hermeticidad de aire en la envolvente pueden ser calificadas como A o B, dependiendo de la incorporación de otras mejoras. Pero si se considera solo 1 ACH como tasa de infiltración, y sin mejoras en ésta, no es posible ser altamente eficiente, sólo se puede alcanzar la calificación C (Figura 6.6).

La menor demanda obtenida a partir de las distintas propuestas de mejoramiento a la vivienda inicial es de $33,18\text{ kWh/m}^2$ año, lo que significa una disminución del 74% de la demanda energética actual de la vivienda Peñuelas II.

62,5% de las combinaciones propuestas de estrategias de mejoramiento alcanzan a ser calificadas como eficientes energéticamente. Este porcentaje es equivalente en ambas calificaciones (E1 y E2).

Comparando los valores de los factores en las estrategias más frecuentadas dentro de cada rango, sucede algo similar a los casos ya analizados. Los valores de cada factor deben mantenerse exactamente igual para no calificar como energéticamente eficientes (F), y cumplir con los valores más óptimos y exigentes para estar dentro de la mejor categorización (A). La infiltración y todos los otros valores, exceptuando valor U de muro y techo, pueden mantenerse tal cual lo son actualmente para alcanzar el estándar E. Es decir el esfuerzo de mejoramiento solo se debe realizar en dos parámetros de la envolvente, pero cabe destacar también que la disminución de demanda energética no es muy significativa (de 126,13 a 112,53 kWh/m²) y esto solo se efectuaría para cumplir con la RT.

En la tabla 6.13 se observan los valores que marcan la mayoría dentro de cada rango, y se puede percibir que la utilización de un sistema de ventilación con recuperación de calor se revela cuando la tasa de infiltración de aire es igual o inferior a 0,75 ACH.

Se obtiene que para una peor calificación, la tasa de infiltración de aire no tiene alta influencia, ya que independiente de cual se utilice la calificación es deficiente.

Tabla 6.13: Combinaciones de factores más frecuentados en cada rango de la Calificación energética para Peñuelas II con 1 ACH y ACH medida.

		A	B	C	D	E	F	G
Valor U Muro (W/m²K)	E1	-	-	0,5	0,5	1,7	2,35	-
	E2	0,5	0,5	0,5	1,7	1,7	2,35	-
Valor U Techumbre (W/m²K)	E1	-	-	0,18	0,18	0,38	0,76	-
	E2	0,18	0,18	0,18	0,38	0,38	0,76	-
Valor U Piso (W/m²K)	E1	-	-	1,5	1,5	3	3	-
	E2	1,5	1,5	1,5	3	3	1,5/3	-
Tipo de vidrio	E1	-	-	DVH	Simple	Simple	Simple	-
	E2	DVH	DVH	DVH	Simple	Simple	S	-
Porcentaje de ventana en muro Norte (%)	E1	-	-	30	0 / 20	20	20	-
	E2	30	0 / 20	30	20	0	0/20/30	-
Tasa de infiltraciones (ACH)	E1	-	-	1	1	1	1	-
	E2	0,25	0,25	0,75	1	1,23	Todas por igual	-
Uso de sistema de ventilación con HRV	E1	-	-	Con	Con	Sin	Sin	-
	E2	Con	Con	Con	Sin	Sin	Sin	-

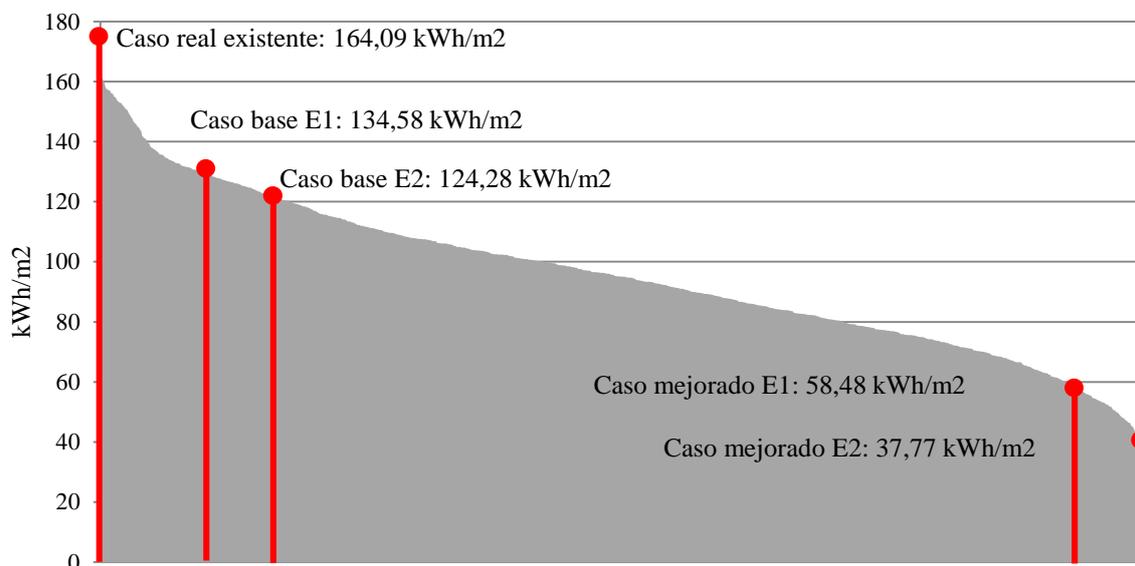
De las consideraciones obtenidas para estar dentro del rango A a D, se concluye que (Tabla 6.13):

- El valor U del muro debe ser disminuido a 0,5 W/m²K, o bien 1,7 si se quiere obtener

solo el nivel D.

- La transmitancia térmica de la techumbre debe ser la mejor de las propuestas: 0,18 W/m²K , o 0,38 para ser D.
- Lo mismo para el piso, que debe ser disminuido a la mitad: 1,5 W/m²K
- Las ventanas deben ser doble vidrio hermético y su superficie vidriada extra en el muro norte puede estar entre 20 y 30% más.
- La tasa de infiltraciones de aire debe ser disminuida a un rango entre 0,25 y 1 ACH.
- Se hace imprescindible el uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor para estar dentro de A-C.

6.3.2.4 Resultados de Presidente Aylwin



	Caso Real Existente	Caso Base E2	Caso Base E1	Caso Mejorado E1	Caso Mejorado E2
Valor U Muro (W/m ² K)	2,92	1,7	1,7	0,5	0,5
Valor U Techumbre (W/m ² K)	0,83	0,38	0,38	0,18	0,18
Valor U Piso (W/m ² K)	2,6	2,6	2,6	1,5	1,5
Tipo de vidrio	Simple	Simple	Simple	DVH	DVH
Porcentaje ventana en muro Norte (%)	0	0	0	30	30
Tasa infiltraciones aire (ACH)	0,63	0,63	1	1	0,25
Sistema de ventilación con HRV	Sin	Sin	Sin	Con	Con

Figura 6.7: (Superior) Gráfico de demandas energéticas a partir del caso real con estrategias de mejoramiento propuestas. Se destacan caso real, base E1 y E2 y sus respectivos mejores casos. (Inferior) Tabla con valores de factores utilizados en cada estrategia.

Del caso de estudio extraído del barrio Presidente Aylwin la comparación de estrategias utilizadas para alcanzar calificación E, con tasa de infiltración de aire medida y con la utilizada como defecto por la Calificación Energética, es distinta a los casos ya expuestos. Se observa que el caso base E2 alcanza menor demanda energética que el caso base E1, debido a que la tasa de infiltración de aire que presenta la vivienda en su estado actual es más baja que la propuesta por la calificación energética (0,63 y 1 ACH respectivamente), permitiendo de esta forma tener menores pérdidas hacia el exterior. Con esto se vuelve a destacar la idea de que es necesario conocer la hermeticidad al aire existe que presenta la envolvente, con el fin de obtener mejores y reales beneficios.

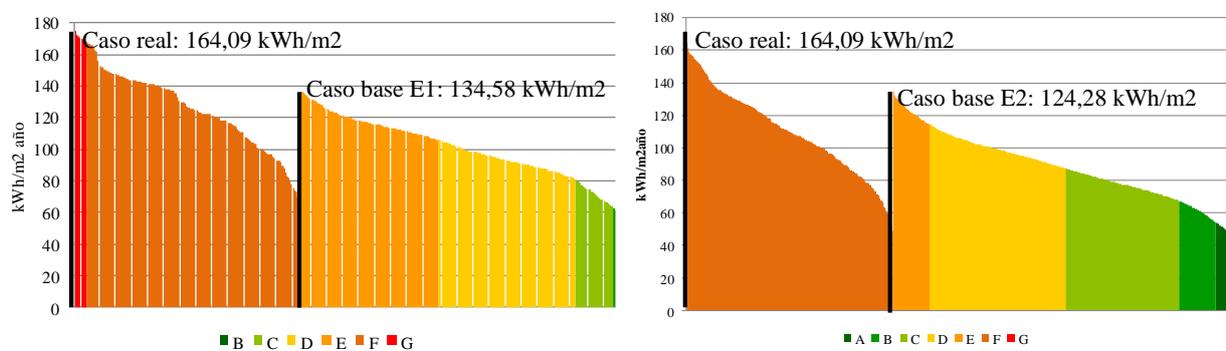


Figura 6.8: Comparación de calificación energética según demanda energética para calefacción de la vivienda Presidente Aylwin con 1 ACH (izquierda) y distinto niveles (derecha) de tasa de infiltración.

En el caso de utilizar 1 ACH, la demanda energética del caso base E1 corresponde a 134,58 kWh/m² año, siendo solo 23% más eficiente que el caso de referencia en su estado actual. En cambio utilizando la infiltración de aire medida, la demanda energética disminuye 25%.

Para la calificación energética según lo establecido en la actualidad, es decir utilizando 1ACH como tasa de infiltración, la calificación es tan deficiente que alcanza el rango G. En cambio al utilizar la tasa de infiltración medida, este rango no aparece en la calificación de esta vivienda. Algo similar ocurre con el rango A que solo se logra en este caso, utilizando la tasa de infiltración medida, ya que al simular la vivienda con 1ACH, solo se alcanza el rango B como máximo, es decir 64% más eficiente que la demanda actual. A diferencia del caso donde se utilizan mejoramiento en la hermeticidad al aire de la envolvente, donde la demanda alcanzada es de 43,21 kWh/m² (73,6 % de disminución de demanda energética).

El porcentaje de combinaciones de estrategias de mejoramiento, que alcanzan a ser calificadas como eficientes energéticamente, es igual para las dos calificaciones (E1 y E2) y corresponde

a 62,5% del total. En ambas la mayoría es representada por la posibilidad de ser calificadas como eficientes energéticamente. Esto, tanto para este, como los otros casos, se debe a los mejoramientos propuestos, ya que todos ellos tienden a ser más óptimos que los presentes en el caso existente. Hubiese llamado la atención que la tendencia fuese al no cumplimiento de la RT, ya que los parámetros propuestos eran de mejoramiento.

En relación al uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor, se obtiene que el uso de éste se manifiesta cuando la tasa de infiltración de aire es inferior a 0,75 ACH (Tabla 6.14), y que el porcentaje de superficie vidriada en el muro norte no tiene influencia en un alto rango como es B.

Tabla 6.14: Combinaciones de factores más frecuentados en cada rango de la Calificación energética para Pdte. Aylwin con 1 ACH y ACH medida.

		A	B	C	D	E	F	G
Valor U Muro (W/m²K)	E1	-	-	0,5	0,5	1,7	2,35	-
	E2	0,5	0,5	0,5	1,7	1,7	2,35	-
Valor U Techumbre (W/m²K)	E1	-	-	0,18	0,18	0,38	0,76	-
	E2	0,18	0,18	0,18	0,38	0,38	0,76	-
Valor U Piso (W/m²K)	E1	-	-	1,5	1,5	3	3	-
	E2	1,5	1,5	1,5	3	3	1,5/3	-
Tipo de vidrio	E1	-	-	DVH	Simple	Simple	Simple	-
	E2	DVH	DVH	DVH	Simple	Simple	Simple	-
Porcentaje de ventana en muro Norte (%)	E1	-	-	30	0 / 20	20	20	-
	E2	30	0 / 20	30	20	0	0/20/30	-
Tasa de infiltraciones (ACH)	E1	-	-	1	1	1	1	-
	E2	0,25	0,25	0,75	1	1,23	Todas por igual	-
Uso de sistema de ventilación con HRV	E1	-	-	Con	Con	Sin	Sin	-
	E2	Con	Con	Con	Sin	Sin	Sin	-

De los valores necesarios para alcanzar una mayor calificación en el caso de la vivienda Presidente Aylwin en su estado actual, se obtienen valores similares a los casos anteriores (Tabla 6.14):

- Mejorar notablemente la transmitancia térmica del muro, alcanzando un valor de 0,5 W/m²K
- Disminuir el valor U de la techumbre a 0,18 W/m²K
- Disminuir el valor U del piso no ventilado a 1,5 W/m²K

- Cambiar los vidrios de las ventanas por doble vidrio hermético y considerar un 20 o 30% de superficie vidriada extra en el muro norte.
- Disminución de la tasa de infiltraciones dentro del rango 0,25 – 1 ACH.
- Uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor

El uso de un sistema de ventilación con HRV no es factible en todos los proyectos, y tampoco se conoce con exactitud la reacción y hábito que pudiera tener el usuario de una vivienda social en Chile frente a estos sistemas. Para esto se desarrollan nuevas situaciones supuestas para los casos de estudios (Figura 6.9), donde se busca calificar como A, B y C, considerando el uso de un sistema de ventilación con recuperador de calor, y otra situación paralela sin él. En todos los casos de estudios es posible calificar como B y C sin el sistema, pero en todos ellos también la demanda energética es superior. Para el caso de Cabo Aroca, incluso de alcanza una calificación A, pero las alternativas son 80% inferior, que las que si consideran el sistema.

Este ejercicio, robustece la idea de que proponiendo mejoramientos integrales se pueden involucrar otras estrategias para entregar un beneficio energético y ambiental.

P. AYLWIN PEÑUELAS II EL TRIÁNGULO CABO AROCA

A	SIN HRV	CON HRV
Alternativas	9,9%	90,1%
Baja Demanda [kWh/m²]	64,3	46,3
U Muro [W/m²K]	0,5	0,5
U Techumbre	0,18	0,18
U Piso	1,5	1,5
ACH	0,25	0,5
% Ventana	30	0
Vidrio	DVH	DVH

A	SIN HRV	CON HRV
Alternativas	0%	100%
Baja Demanda [kWh/m²]		
U Muro [W/m²K]		
U Techumbre		
U Piso		
ACH		
% Ventana		
Vidrio		

A	SIN HRV	CON HRV
Alternativas	0%	100%
Baja Demanda [kWh/m²]		
U Muro [W/m²K]		
U Techumbre		
U Piso		
ACH		
% Ventana		
Vidrio		

A	SIN HRV	CON HRV
Alternativas	0%	100%
Baja Demanda [kWh/m²]		
U Muro [W/m²K]		
U Techumbre		
U Piso		
ACH		
% Ventana		
Vidrio		

B	SIN HRV	CON HRV
Alternativas	30,9%	69,1%
Baja Demanda [kWh/m²]	77,8	75,4
U Muro [W/m²K]	0,5	0,5
U Techumbre	0,18	0,38
U Piso	1,5	3
ACH	0,5	0,25
% Ventana	0	0
Vidrio	DVH	DVH

B	SIN HRV	CON HRV
Alternativas	3,4%	96,6%
Baja Demanda [kWh/m²]	58,9	50,9
U Muro [W/m²K]	1,7	0,5
U Techumbre	0,38	0,28
U Piso	1,5	1,5
ACH	0,25	0,5
% Ventana	30	20
Vidrio	DVH	DVH

B	SIN HRV	CON HRV
Alternativas	0,4%	99,6%
Baja Demanda [kWh/m²]	56,5	45,3
U Muro [W/m²K]	0,5	0,8
U Techumbre	0,18	0,28
U Piso	1,5	3
ACH	0,25	0,25
% Ventana	30	20
Vidrio	DVH	DVH

B	SIN HRV	CON HRV
Alternativas	9,1%	90,9%
Baja Demanda [kWh/m²]	73,4	62,4
U Muro [W/m²K]	0,5	0,8
U Techumbre	0,18	0,18
U Piso	1,5	1,5
ACH	0,25	0,5
% Ventana	0	0
Vidrio	DVH	DVH

C	SIN HRV	CON HRV
Alternativas	43,8	56,2
Baja Demanda [kWh/m²]	94,5	92,4
U Muro [W/m²K]	0,5	0,5
U Techumbre	0,18	0,28
U Piso	3	3
ACH	0,25	1
% Ventana	0	0
Vidrio	DVH	DVH

C	SIN HRV	CON HRV
Alternativas	21,7%	78,3%
Baja Demanda [kWh/m²]	63,9	63,1
U Muro [W/m²K]	1,7	0,8
U Techumbre	0,28	0,28
U Piso	1,5	1,5
ACH	0,25	1
% Ventana	0	0
Vidrio	DVH	DVH

C	SIN HRV	CON HRV
Alternativas	26,1%	73,9%
Baja Demanda [kWh/m²]	73,6	56,6
U Muro [W/m²K]	0,8	1,4
U Techumbre	0,18	0,28
U Piso	3	3
ACH	0,75	0,25
% Ventana	30	0
Vidrio	DVH	Simple

C	SIN HRV	CON HRV
Alternativas	32,8%	67,2%
Baja Demanda [kWh/m²]	79,7	75,4
U Muro [W/m²K]	0,5	1,1
U Techumbre	0,18	0,28
U Piso	1,5	1,5
ACH	0,25	1,25
% Ventana	0	0
Vidrio	Simple	DVH

Figura 6.9: Comparación de demandas y variables necesarias para cumplir con calificación A, B y C, con y sin uso de un sistema de ventilación con recuperador de calor.

6.3.2.5 Comparación de resultados

De las cuatro viviendas, el caso que presenta mayor porcentaje de combinaciones de estrategias de mejoramiento que calificarían como energéticamente eficientes (73,5%) es la vivienda El Triángulo. Esto se debe a que es el único caso cuyo valor de transmitancia térmica medida en el muro, es inferior al exigido por la Reglamentación Térmica (1,46 W/m²K), permitiendo incrementar el efecto que tiene el mejoramiento sobre la demanda energética.

En base a la materialidad de las viviendas, no existe diferencia en la demanda más baja obtenida entre aquellas construidas en madera o albañilería, y tampoco lo hay para las que fueron construidas en uno o dos pisos.

Dentro de los gráficos de los casos analizados, se puede observar que mediante la estrategia de mejoramiento más exigente propuesta, se pueden alcanzar demandas energéticas muy inferiores. Éstas están por debajo de los 40 kWh/m² y corresponden a las más óptimas del rango A: Cabo Aroca: 39,36 kWh/m², El Triángulo: 34,97 kWh/m², Peñuelas II: 33,18 kWh/m² y Pdte. Aylwin: 37,77 kWh/m², es decir los cuatro casos representan al menos una disminución que va entre 74 y 80% con respecto a la demanda energética por calefacción de las viviendas existentes en su estado actual (Figura 6.9).

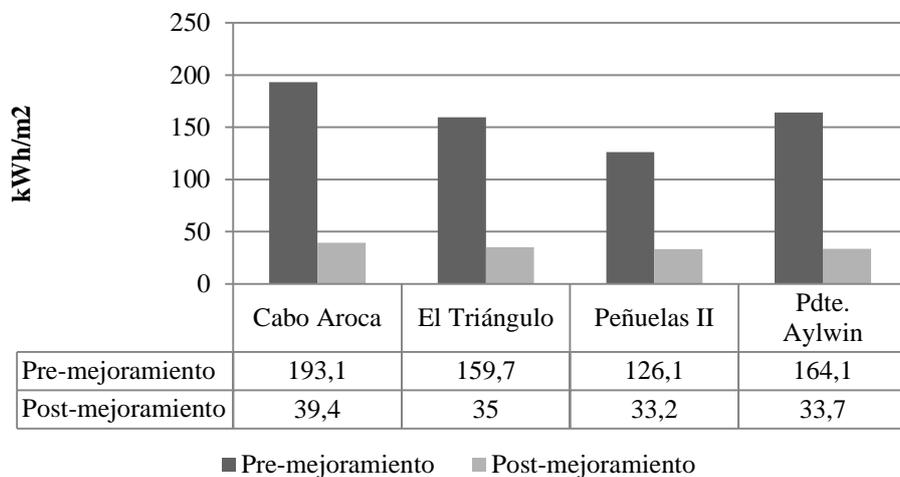


Figura 6.9: Comparación del total de energía demanda para calefaccionar las viviendas estudiadas antes y después de la mejor estrategia de mejoramiento propuesta.

Es importante destacar que existieron casos en que no podían ser calificados como E, o mejor, debido a que alguno de sus parámetros no cumplía con la Reglamentación Térmica, pero aun así éstos casos representaban demandas energéticas inferiores a otras estrategias que si califican como C por ejemplo. De forma más detallada se obtiene que un caso de Cabo Aroca alcanza 53,6 kWh/m² en su demanda y es calificada como F, de igual manera para El

Triángulo: 45,06 kWh/m², Peñuelas II: 43,85 kWh/m² y Pdte. Aylwin: 47, 20 kWh/m². Esta situación permite destacar la visión integral que tiene esta investigación al momento de proponer estrategias de mejoramiento físico-ambientales en una vivienda, además no basta con mejorar aquellos parámetros que puedan estar reglamentados, si existen otros que tienen mayor influencia en la disfunción de la demanda energética. Por ende, no basta con cumplir con ciertos requisitos, si no se consideran otros que pudiesen anular el esfuerzo de mejoramiento.

En relación a esto, existen ciertos parámetros que tienen mayor influencia que otros al momento de perseguir una disminución de demanda. Para esto los resultados se someten a un nuevo análisis que permite conocer la influencia de los factores en aquellas estrategias que si calificaron como eficientes.

Los niveles de los factores de mejoramiento que están dentro del rango de calificación A – E, se someten a un estudio porcentual que permite conocer cuál nivel es más influyente dentro de cada factor. Se puede apreciar a partir de los análisis de las combinaciones de factores más frecuentados en cada rango de la Calificación energética para cada vivienda, que los niveles tienden a variar más dentro de los rango A y D, ya que dentro de E, se encuentran los valores más desfavorables que de todas maneras cumplen con la RT. Debido a esto, se realiza el análisis dentro de los rangos A a D, para obtener las influencias que tiene cada nivel de los desempeños intermedios estudiados (Tabla 6.15). Para conocer la diferencia de influencia de los parámetros entre una vivienda y otra, se asumen dos niveles de exigencia, uno alto y otro bajo, para cada factor. Estos valores serán aplicados en los valores extremos de los niveles.

De los porcentajes obtenidos se observa que a medida que el nivel de calificación energética es más alto, mayor influencia porcentual tienen los valores más exigentes de los parámetros. Por ejemplo si sólo se estudiaran estas influencias en el rango A y B, los valores más exigentes tendrían mayor influencia (con respecto a su mismo parámetro) que los mostrados en la tabla anterior. Se concluye también que si los valores porcentuales de los distintos niveles propuestos para un factor son parecidos o cercanos (tasa de infiltración en Cabo Aroca por ejemplo), no son muy influyentes al momento de querer cambiar el nivel.

Al igual que en los análisis hechos para cada caso de estudio, se observa que la vivienda de El Triángulo se diferencia del resto en ciertos parámetros. Si se exceptúa el valor U del muro y techo, se observa que tiene mayor influencia usar el valor más alto o bajo, en comparación a las otras casas. Esto se debe a que en la vivienda del Triángulo se midió un valor U del muro inferior al exigido por la RT, por lo que las mejores podían ser enfocadas a otros parámetros.

Tabla 6.15: Comparación de influencia de niveles de cada parámetro en los casos de estudio.

Factores	Cabo Aroca	El Triangulo	Peñuelas II	Pdte. Aylwin
Valor U Muro [W/m ² K]	0,5=20,9%	0,5=21,9%	0,5=21,8%	0,5=22,4%
	0,8=20,4%	0,8=19,8%	0,8=21,5%	0,8=22,2%
	1,1=20%	1,1=17,3%	1,1=20,2%	1,1=20,3%
	1,4=19,7%	1,4=15,3%	1,4=18,8%	1,4=18,2%
	1,7=19%	1,46=14,8%	1,7=17,7%	1,7=16,9%
	1,76=0%	1,7=10,9%	2,35=0%	2,9=0%
Valor U Techumbre [W/m ² K]	0,18=33,7%	0,18=34,1%	0,18=34%	0,18=33,9%
	0,28=33,2%	0,28=33,5%	0,28=33,3%	0,28=33,2%
	0,38=33,1%	0,38=32,4%	0,38=32,7%	0,38=32,9%
	0,92=0%	0,81=0%	0,76=0%	0,83=0%
Valor U Piso [W/m ² K]	1,5=53,6%	1,5=60,4%	1,5=52,1%	1,5=55,7%
	3=46,4%	2,6=39,6%	3=47,9%	2,6=44,3%
Tipo de Ventana	Simple=49,2	Simple=47,5%	Simple=48,5%	Simple=49,2%
	DVH=50,8%	DVH =52,5%	DVH =51,5%	DVH =50,8%
Porcentaje de Ventana Muro N [%]	0 % = 32,9%	0 % = 33%	0 % = 33,1%	0 % = 49,8%
	20%=33,4%	20%=33%	20%=33,3%	-
	30%=33,7%	30%=34%	30%=33,6%	30%=50,2%
Tasa de Infiltraciones de Aire [1/h]	0,25=9,8%	0,25=19,3%	0,25=22,2%	0,25=34,8%
	0,5=9,8%	0,5=18%	0,5=22,2%	0,5=32,9%
	0,75=9,8%	0,75=17%	0,75=21,5%	0,75=32,3%
	1=9,8%	1=15,2%	1=18,9%	-
	1,25=9,8%	1,25=12,2%	1,25=15,2%	-
	1,5=9,8%	1,5=9,9%	-	-
	1,75=9,5%	1,75=8,4%	-	-
	2=8,9%	-	-	-
	2,25=8,2%	-	-	-
	2,5=7,6%	-	-	-
2,6=7%	-	-	-	
Uso de sist. de ventilación con recuperación de calor	Con=52,5%	Con=64%	Con=55,6%	Con=55,8%
	Sin=47,5%	Sin=36%	Sin=44,4%	Sin=44,2%

Para el caso de las ventanas, tanto en el porcentaje de superficie vidriada como el tipo de vidrio, se puede observar que la influencia no es alta, ya que independiente del parámetro que se ocupe, la relevancia es prácticamente la misma. Esto se puede observar en la figura 6.10, donde el porcentaje de ventanas casi no influye en la disminución de la demanda energética de ninguna vivienda.

La Figura 6.10 muestra que Cabo Aroca es la vivienda que presenta menores diferencias de influencias entre el parámetro más alto y bajo. Esto se debe a que es uno de los casos que presentó mayor cantidad de niveles en varios de sus parámetros, por lo que la dispersión aumentaba y no permitía el destacar un nivel por sobre otro.

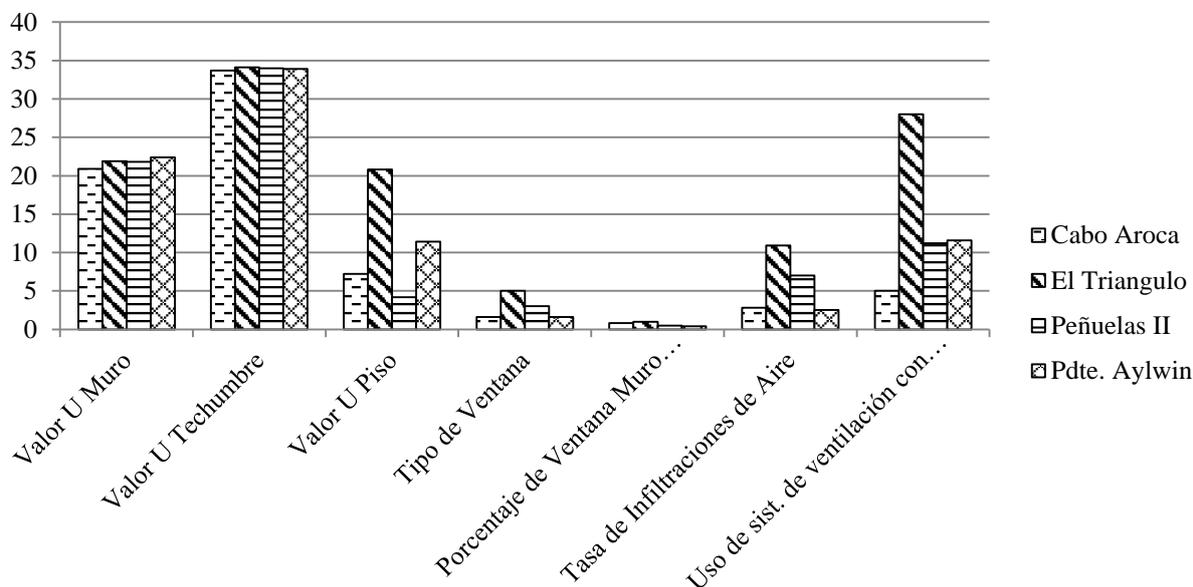


Figura 6.10: Comparación de influencia de parámetros altos y bajos de cada factor para cada caso de estudio.

Ahora, si se comparan las diferencias entre parámetros, ya no entre niveles, se observa que la transmitancia térmica de muros y techumbres tienen una alta influencia, debido a que la diferencia que existe entre el mejor nivel propuesto ($0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ para muro y $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ para techos) y los existentes es alta. Cabe recordar que en tres de los casos el valor U no cumplía con lo exigido en la RT, y en el caso del elemento techumbre, ninguno de ellos lo hacía.

En el próximo capítulo esta metodología de comparación se corroborará con el método estadístico Box-Cox, donde las mayorías dejan de ser absolutas y se relación todos los niveles de parámetros de una forma más integral.

6.4 Comprobación Estadística de Factores influyentes en los desempeños estudiados

En una segunda etapa, las respuestas obtenidas desde GenOpt se someten a otro análisis estadístico, donde se incluye el procedimiento de análisis multidimensional para poder comprobar la veracidad del método utilizado en el análisis interior.

Se selecciona el análisis de diagrama Box-Cox debido a su manera gráfica de representar los resultados comparados con las variables de respuesta. Se descartó el uso de una gráfica de dispersión, la cual suele ser utilizada para mostrar dos variables comparadas, y en esta tesis, la cantidad de variables era superior. Luego, el análisis de varianza ANOVA, requiere de réplicas para cada combinación de niveles, pero con las simulaciones desarrolladas, no existe variación aleatoria ya que se obtiene un dato por cada combinación de niveles. Es así como también se descarta la utilización de este sistema.

Los niveles de parámetros están distribuidos de tal forma que muestran una clara asimetría, dificultando el estudio, ya que los métodos estadísticos tradicionales suelen emplear promedios y desviaciones estándar (Schuschny y Soto, 2009). Para poder corregir esta asimetría es que se utiliza el método de Box-Cox.

Esta técnica de transformación paramétrica fue propuesta por Box & Cox en el año 1964, con el objetivo de obtener errores normales, varianzas constantes (homogeneidad de la varianza) y corregir la no linealidad de las varianzas, mejorando la correlación entre ellas (Sakia, 1992). El método Box-Cox es un método de transformación de variables, utilizado para resolver problemas con falta de normalidad y de heterocedasticidad, permitiendo la “visibilidad” a aquellos factores que sean más confiables, o influyentes en este caso, mediante la normalización principal por variable que se muestra gráficamente.

Para Heidelberg et al (2009) ocupar un análisis de este tipo en las primeras etapas de un proceso de diseño, puede brindar información importante acerca de qué parámetros son importantes, en cuál de ellos hay que poner foco y cuáles otros tienen tan poco impacto que se pueden obviar. Este tipo de análisis puede mejorar la eficiencia del proceso de diseño, además de ser muy útil en la optimización del desempeño del edificio.

En general, en estos análisis es importante determinar que parámetros de *inputs* ejercen mayor influencia en los resultados (*outputs*). Ésta información permite eliminar aquellos parámetros que tienen menos influencia en la variable de respuesta y proporciona líneas de investigación

adicionales que reducen la incertidumbre de los parámetros y a la vez aumenta la exactitud del análisis de sensibilidad (modelo).

Heidelberg describe un método de análisis, llamado global, que evalúa la variabilidad de un *output* mediante la variación de todos los otros parámetros a la vez. Se produce una matriz de distintos parámetros seleccionados al azar, y los valores de *output* obtenidos permiten determinar la sensibilidad de los parámetros ingresados como *input*. A diferencia de otros métodos, esto permite relacionar todos los parámetros de desempeño para poder proponer estrategias que permitan la interacción de aquellos factores que influyen en el objetivo buscado.

Por ende, el análisis que se desarrolla en esta etapa determina cuales son los parámetros de entrada en el modelo que realmente son relevantes. Estas entradas pueden ser controlables o no, siendo las primeras posibles de optimizar.

En los gráficos obtenidos (Figuras 6.11, 6.12, 6.13 y 6.14) se muestra el diagrama que representa la distribución acumulada de las observaciones estandarizadas. El propósito de este tipo de gráficos es evaluar la bondad de ajuste de la distribución de los niveles especificados a una distribución determinada. Permite conocer cómo se distribuyen los niveles a partir de las variables de respuestas. Éstas son indicadas en cada gráfico en 7 niveles (1-7) y corresponden al promedio de los rangos obtenidos desde la Clasificación Energética chilena. El 1 equivale la letra A y el 7 a la peor calificación G.

Los demás niveles de los factores (desempeños intermedios) se ordenan en base a la influencia que tienen en las variables de respuestas, por lo tanto los datos no se ajustan a la distribución normal arrojada por las respuestas de demanda de energía. Debido a esto no se observa que los niveles de los factores estén cercanos a la respuesta 1, sino que la mayoría tienden a la respuesta con que están relacionadas, por ejemplo puede existir un nivel que este cercano al 7, lo que significa que aquel nivel está asociada a una alta demanda energética (el 7 equivale al rango G de la CE). En cambio, aquellos niveles cercanos al centro del gráfico (0), tienen una muy baja influencia en las respuestas de demanda, sean altas o bajas, por lo que pueden ser descartadas o bien consideradas como poco influyentes.

Esto permite definir que aquellas variables que estén cercanas a los niveles 6 y 7 no se deben considerar como directrices de estrategias, ya que se consideran como influyentes para obtener resultados de altas demandas energéticas para calefaccionar.

6.4.1 Resultados evaluados según Box-Cox

La nomenclatura utilizada en todos los siguientes casos es la misma para todas las viviendas, y se resumen en la Tabla 6.16. (Para conocer el desglose de nomenclatura por caso de estudio revisar el Anexo 3).

Del caso de estudio Cabo Aroca se observa que al igual que en el análisis anterior la mayoría de los niveles de factores están relacionados con respuestas que fluctúan entre respuestas 4 y 7 como demanda energética (Figura 6.11), es decir se acercan a los rangos de calificación del D al F.

Tabla 6.16: Nomenclatura para estudio de Box-Cox.

Factor (o parámetro)	Nivel	Clasificación
Valor U muro	0,5 W/m ² K	D1
	A medida que empeora la transmitancia térmica, aumenta el número de D (D2, D3, etc.)	
Valor U Techumbre	0,18 W/m ² K	F1
	A medida que empeora la transmitancia térmica, aumenta el número de F (F2, F3, etc.)	
Valor U Piso	1,5 W/m ² K	E1
	3 W/m ² K	E2
Tipo de Vidrio de Ventana	Simple	G1
	Doble Vidrio Hermético	G2
Porcentaje de Superficie Vidriada	0%	A1
	A medida que aumenta el porcentaje, aumenta el número de A (A2, A3, etc.)	
Tasa de Infiltración de Aire	0,25 ACH	C1
	A medida que aumenta la tasa de infiltración de aire, aumenta el número de C (C2, C3, etc.)	
Sistema de Ventilación HRV	Sin HRV	B1
	Con HRV	B2

Como las respuestas no tienen un carácter lineal, no se observa una sola variable junto a la respuesta 1, sino que en este tipo de análisis se conoce la relación de parámetros, permitiendo conocer cuáles de ellos deben ser considerados como estrategias integrales.

De éste tipo de análisis se declara que los niveles más influyentes, en orden decreciente, para tener respuestas de menores demandas energéticas son:

- Tasa de infiltración baja (0,25 o 0,75 ACH)
- Uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor
- Valor U muro (0,5 o 0,8 W/m²K)
- Valor U techo 0,28 W/m²K

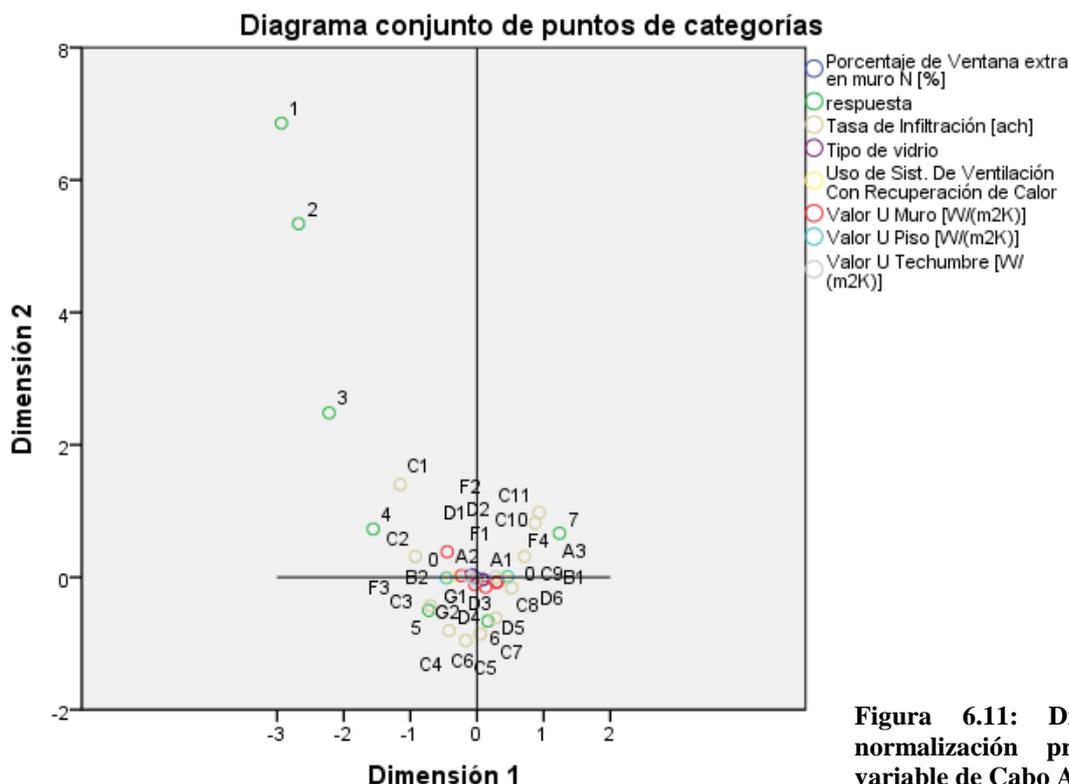


Figura 6.11: Diagrama de normalización principal por variable de Cabo Aroca

Se observa que las variables cercanas a 0, es decir que influyen muy poco en la variación de demanda energética (podrían no ser consideradas y las respuestas serían las mismas) son el tipo de vidrio y la superficie vidriada extra en el muro norte. Aunque si bien éstas no influyen en la disminución de la demanda energética, es necesario tener en consideración que las ventanas si son muy importantes cuando se busca reducir el riesgo de condensación superficial, ya que al usar vidrios simples por ejemplo es riesgo es mayor que si se utiliza doble vidrio hermético. La condensación en las superficies acristaladas desaparece cuando se utiliza un mejor acristalamiento y marcos en las ventanas, pero también es necesario respetar los caudales de ventilación requeridos (Verbeeck y Hens, 2005).

Además, las ventanas tienen influencia cuando se necesita disminuir la tasa de infiltración de aire, ya que dependiendo del marco utilizado la hermeticidad de la envolvente puede ser mayor o menor. Por ejemplo el uso de un marco PVC es más óptimo que el uso de aluminio como en las viviendas estudiadas. Esto hace suponer que los datos entregados por la estadística son muy útiles para conocer resultados duros, pero estos deben ser complementados con estrategias integrales que la estadística no involucra.

Con respecto a éste mismo punto, pero ya visto en la totalidad de la envolvente, una baja hermeticidad al aire de ella provoca un aumento de la demanda energética. Esto hace concluir que si la tasa de infiltración de aire se mantuviera igual a la actual, o incluso de 1,5 ACH,

sería muy difícil lograr disminuir la demanda aunque se hiciesen esfuerzos de mejoramiento en otros elementos.

Entonces, el estudio Box-Cox permite concluir que la tasa de infiltración de aire es la variable más influyente para optimizar el uso de energía para calefacción en el caso Cabo Aroca. Caso contrario a lo que arrojaba el primer estudio factorial, donde la hermeticidad al aire ocupaba el cuarto lugar en el ranking de influencia. Si coinciden, en que el uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor es clave, y por sobre todo en relación a una alta hermeticidad de la envolvente, al igual que el mejoramiento de la transmitancia térmica, por lo que debiesen ser variables a mejorar en el caso de estudio Cabo Aroca.

Dentro de los niveles más influyentes para alcanzar un mejor estándar dentro de lo propuesto, se observa que el nivel más bajo de infiltración es el más determinante dentro de una disminución de demanda energética para calefacción, y que la más alta está asociada a la mayor demanda requerida.

Para la vivienda de El Triángulo ocurre un fenómeno similar a lo observado en el primer caso, con la diferencia de que en esta vivienda el muro ya presentaba una mejor aislación térmica, dejando en tercera prioridad el mejoramiento del valor U del piso:

- Tasa de infiltración de aire entre 0,25 y 0,75 ACH.
- Uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor
- Disminuir la transmitancia térmica del piso no ventilado a $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$

El gráfico box-cox del caso de Villa el Triángulo (Figura 6.12) muestra que si se cumpliera con estas estrategias de mejoramiento, el valor U del muro se pudiese mantener en el mismo estado actual, ya que este cumple con la Reglamentación Térmica, pero sin alcanzar mayores calificaciones (A-C), ya que para esto el valor U del muro debe ser mejorado hasta llegar a $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

En este caso de estudio las variables que no influyen, según el análisis estadístico multifactorial, son el tipo de vidrio, el porcentaje de superficie vidriada extra en el muro norte y el valor de transmitancia térmica del techo.

Al comparar los resultados de este análisis y el anterior (Porcentajes de representatividad de los parámetros para alcanzar rango D a A de la CE), se observa la diferencia de que en el Box-Cox, el valor U del muro no influye en el resultado, mientras que en el primer análisis se notaba una alta influencia. En este caso el análisis se realiza de forma integral, y no absoluto

por porcentajes como se hizo en el anterior, asegurando una más alta confianza. Las respuestas de ambos casos difieren también en el resultado del tipo de vidrio utilizado, ya que el Box-Cox no lo considera influyente, en cambio el estudio estático anterior, si lo supone como responsable de una más alta demanda al compararlo con los demás parámetros de los otros casos de estudio. Los dos análisis coinciden en el porcentaje de la ventana, el cual no interviene en una alta o baja demanda energética.

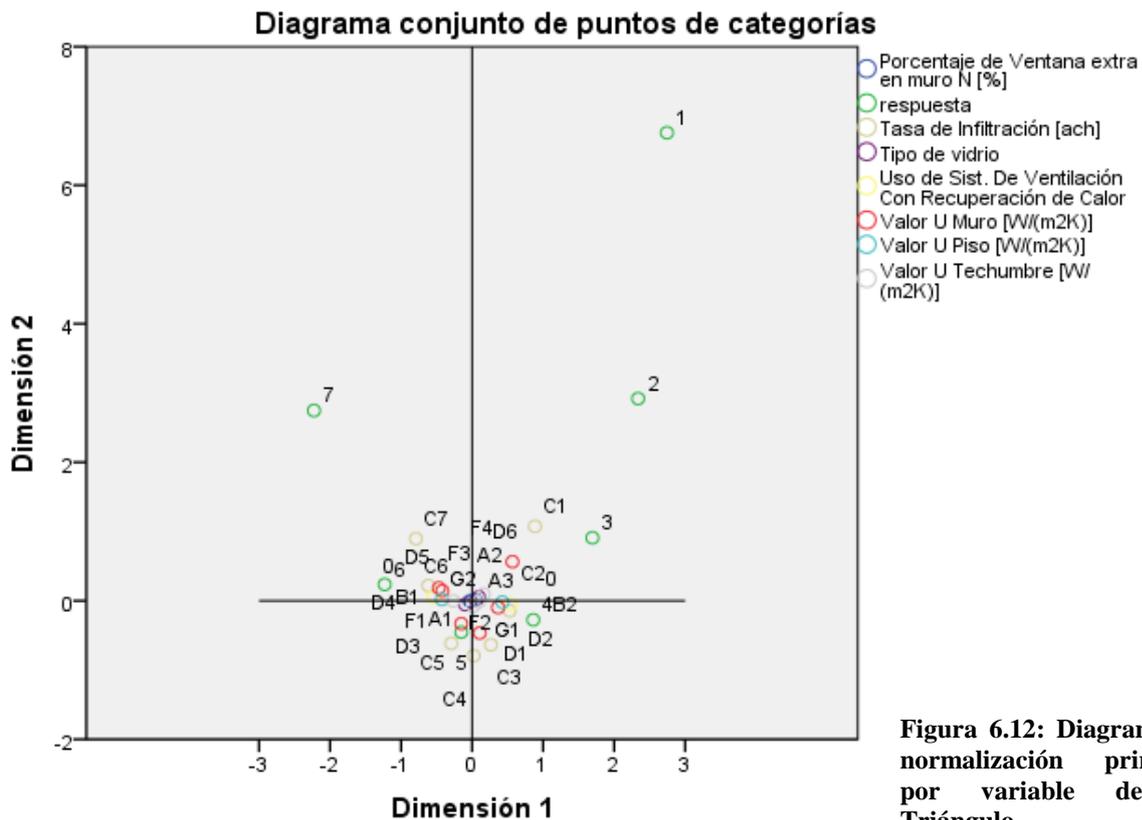


Figura 6.12: Diagrama de normalización principal por variable de El Triángulo.

El caso de estudio Peñuelas II, son los mismos factores los que determinan una baja demanda energética en el caso Cabo Aroca. Resultando ser los siguientes niveles los más óptimos para disminuir la demanda de calefacción (Figura 6.13):

- Tasa de infiltración de aire entre 0,25 y 0,75 ACH.
- Valor U del muro más bajo que 0,8 W/m²K.
- Uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor.

Se observa que los valores medidos y calculados de los niveles están asociados a las más altas demandas de energía, pero sobre todo una alta tasa de infiltración de aire, el valor U medido del muro y el no considerar un sistema de ventilación con recuperación de calor.

En Peñuelas II el tipo de vidrio usado en las ventanas y la superficie extra vidriada hacia el norte, son irrelevantes en la disminución de demanda energética para calefaccionar en esta

vivienda. Conclusión que concuerda a lo señalado en el gráfico del primer análisis donde se mostraban las mayorías absolutas. En general, en aquel análisis era inexistente una diferencia notoria de influencia entre los distintos factores, por lo que sería más valido utilizar las respuestas de este estudio estadístico.

Del último caso de estudio, Presidente Aylwin, se observa que las estrategias circundan los niveles de respuesta entre B y D de la Calefacción Energética, al igual que en El Triángulo.

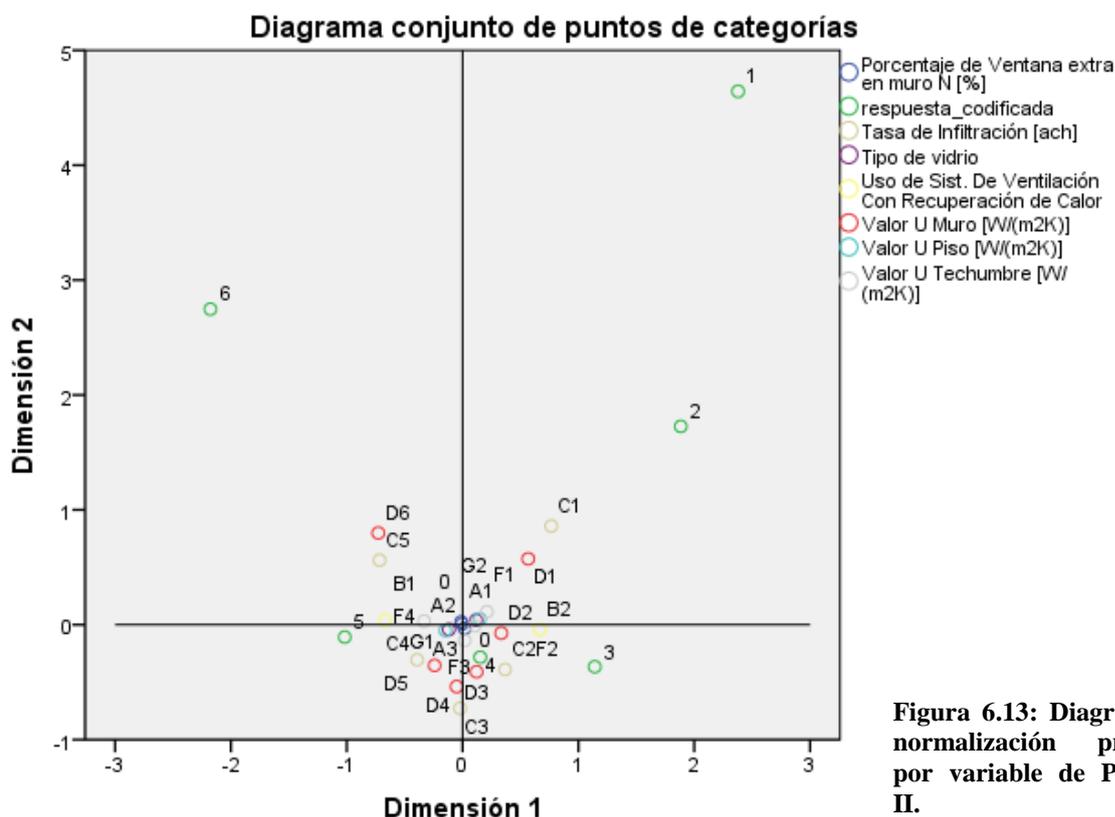


Figura 6.13: Diagrama de normalización principal por variable de Peñuelas II.

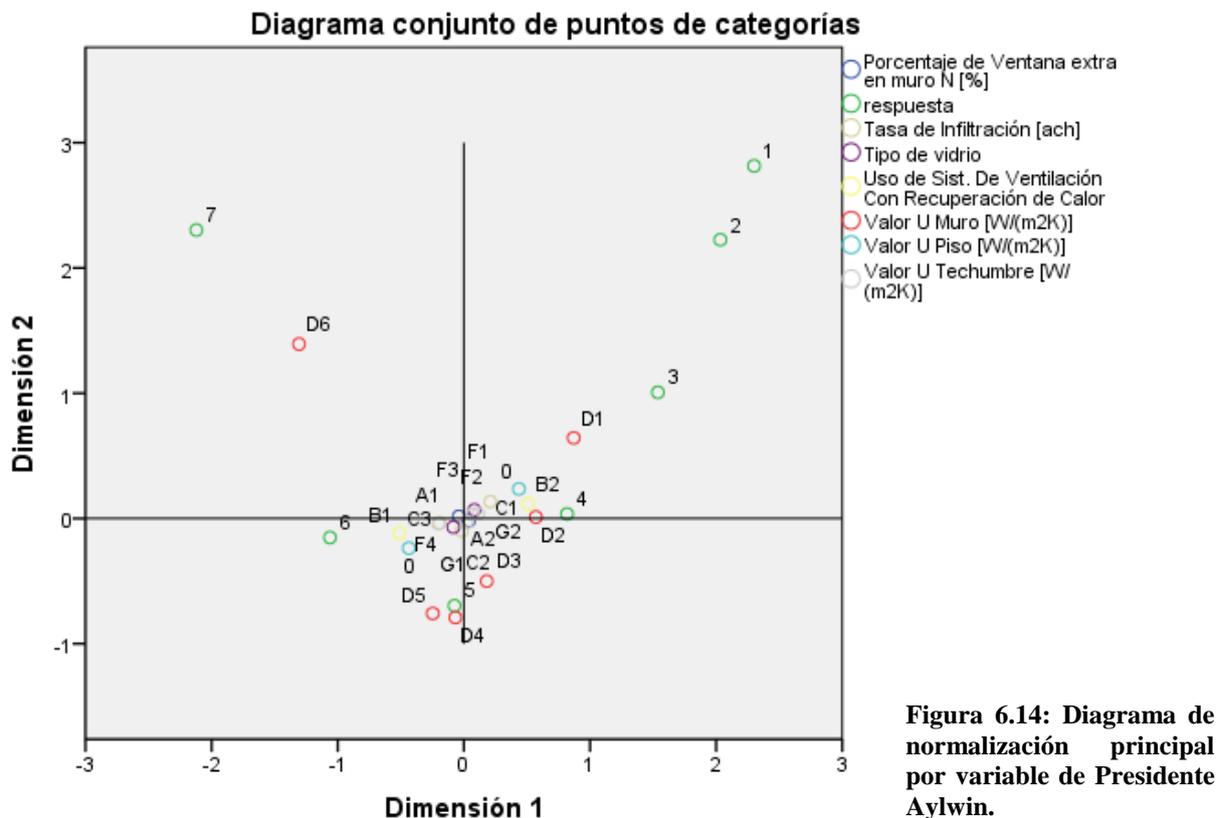
Para esta vivienda los niveles necesarios de alcanzar para disminuir la demanda energética para calefaccionar debiesen ser integrales y considerar:

- Valor U del muro más bajo de 0,8 W/m²K
- Uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor
- Tasa de infiltración de aire entre 0,25 y 0,75 ACH.

Se observa que el valor U medido del muro (2,9 W/m²K) se asocia a altas demandas de energía para calefaccionar. El mismo fenómeno ocurre con la transmitancia térmica actual del piso (3 W/m²K) y techumbre (0,83 W/m²K). Esta última ni siquiera alcanza el estándar exigido por la RT (0,38 W/m²K). Pero basado en el estudio anterior, se concluyó que es posible obtener demandas muy inferiores, considerando un valor U de techo deficiente, ya que

el mejoramiento se realiza basado en la integración de otros desempeños mayormente influyentes en la respuesta buscada.

Contrario a lo ocurrido en los casos anteriores, en Presidente Aylwin el porcentaje de superficie vidriada extra en el muro norte si influye en un aumento o disminución de demanda energética, aunque no alcanza a tener el predominio por sobre los otros parámetros. Si bien la influencia no es altamente significativa, si lo es si se compara con los resultados de las otras viviendas.



Ahora bien, al comparar estos resultados con los obtenidos del primer análisis (Capítulo 7.3), esta última observación es distinta ya que el primer estudio demostró que el porcentaje de ventana extra hacia el norte no influiría. Pero si existe coincidencia en que son los mismos factores los que se deben considerar como relevantes en ambos análisis (Valor U muro, tasa de infiltraciones de aire y uso de sistema de ventilación con recuperación de calor).

Comparando las estrategias de cuatros casos de estudios (Tabla 6.17), se obtiene que en casi 100% de ellas, intervienen como más influyentes las estrategias de alto estándar de hermeticidad al aire en la envolvente, baja transmitancia térmica en los muros de la envolvente y el uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor. La única excepción la presenta el caso Villa el Triángulo que en vez de considerar la estrategia del

valor U del muro, arroja como influyente la transmitancia térmica del piso, esto se debe a que el valor U existente del muro es ampliamente mejor que el resto (1,46 W/m²K) y que el especificado como máximo en la ordenanza actual (1,7 W/m²K).

Aunque todos los casos de estudios hayan considerado como innecesario el reemplazo de los vidrios simples por vidrios doble herméticos, sería correcto efectuar el mejoramiento por términos de problemas de riesgo de condensación superficial. Ya que según el análisis de este desempeño intermedio, es necesario tener menor transmitancia térmica en el vidrio de la ventana para disminuir el riesgo de condensación superficial en el elemento, y eso no se puede lograr con un vidrio simple como el que tienen las viviendas actualmente.

Tabla 6.17: Estrategias más influyentes en los casos de estudio según estudios estadístico con Box-Cox.

	Cabo Aroca (Madera – 1 Nivel)	Villa el Triángulo (Madera – 2 Niveles)	Peñuelas II (Albañilería – 1 Nivel)	Pdte. Aylwin (Albañilería – 2 Niveles)
Influencia n° 1	Tasa de Infiltración de Aire 0,25 – 0,75 ACH	Tasa de Infiltración de Aire 0,25 – 0,75 ACH	Tasa de Infiltración de Aire 0,25 – 0,75 ACH	Valor U muro inferior a 0,8 W/m ² K
Influencia n° 2	Usa sistema de ventilación con recuperación de calor	Usa sistema de ventilación con recuperación de calor	Valor U muro inferior a 0,8 W/m ² K	Usa sistema de ventilación con recuperación de calor
Influencia n° 3	Valor U muro inferior a 0,8 W/m ² K	Valor U muro inferior a 0,8 W/m ² K	Usa sistema de ventilación con recuperación de calor	Tasa de Infiltración de Aire 0,25–0,75 ACH

En todos los casos se observa que el uso del sistema de ventilación con recuperación de calor siempre va asociado al desempeño de hermeticidad al aire de la envolvente, donde la tasa de infiltración de aire debe ser inferior a 0,75 ACH.

Más allá de considerar niveles propuestos, tales como 0,25 ACH de tasa de infiltración de aire, >0,8 W/m²K de transmitancia térmica en el muro y el uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor, como los necesarios para disminuir la demanda, es preciso realizar el mejoramiento energético-ambiental con el uso de los parámetros influyentes de una manera integral; es decir no basta con ejecutar el mejoramiento con el primer factor de influencia por ejemplo. El nivel (o valor del parámetro) que se usará dependerá de cada caso de estudio a mejorar, pero se concluye que los parámetros influyentes se repiten en todas las viviendas, por lo que, independiente del valor asignado (dentro de un rango aceptable propuesto) se debiese incorporar el mejoramiento de dichos desempeños intermedios.

6.5 Conclusiones Capítulo 06

Los objetivos de desempeños deben establecer requisitos mínimos para poder desarrollar estrategias de mejoramientos, considerando además sus indicadores y mediciones necesarias. Estos requisitos derivan a partir de distintos factores, que influyen en el desempeño. Los desempeños evaluados y propuestos como parámetros a mejorar son fenómenos multidimensionales. Debido a esto los diagnósticos y estrategias deben ser integrales, entendiendo que las propuestas de mejoramiento se realizan de forma complementaria entre los factores, y no individual.

El estudio multifactorial propuesto para analizar la influencia de parámetros de manera integral, puede alcanzar tal complejidad en la cantidad de combinaciones de estrategias posibles que el uso de un automatizador permite optimizar tiempo de trabajo. Además de entregar los resultados de tal forma que facilita su análisis y comprensión.

Para el análisis de resultados propuesto se utilizó como base de referencia la Calificación Energética chilena actual, debido a que ésta establece niveles de mejoramiento en base a un caso referencial, lo que permitió identificar las distintas combinaciones de estrategias dentro de rangos, conociendo cuales son las tendencias dentro de cada uno de ellos. La calificación Energética sólo hace referencia al primer desempeño en cuestión: eficiencia energética por términos de calefacción, ya que no atiende resultados de confort térmico y calidad del aire interior. Como ya se hecho mención, este último se considera desde el comienzo del diagnóstico, donde se indica la tasa de aire mínima para el caso de estudio. En cambio el desempeño de confort térmico tiene mayor complejidad en sus respuestas, debido a que el indicador de frecuencia de temperatura debe entregar resultados de horas asociadas con temperaturas operativas. Es por esto que este desempeño se estudia sólo bajo ciertas estrategias seleccionadas como óptimas en el capítulo siguiente.

Bajo la utilización de la CE como referente en el análisis, se obtiene que el estudio de transformación paramétrico es más sensible al carácter integral que propone esta tesis, determinando que independiente de ser un parámetro muy influyente en la disminución de demanda energética, no basta con mejorarlo de manera individual, sino que es el mejoramiento de todos los parámetros influyentes los que entregan mejores resultados.

En los cuatro casos de estudio se observa que utilizando la estrategia de mejoramiento más exigente, se pueden alcanzar demandas energéticas inferiores a 40 kWh/m², es decir 80% más eficiente que la demanda actual.

Se observó que de las estrategias propuestas existieron algunas que no cumplían con la RT, ya sea por su valor U en el muro o en el techo, siendo calificadas solo como G o F. Pero estas estrategias alcanzaron demandas 65% más eficientes que la actual, es decir resultados inferiores a los demandados por unas estrategias calificadas como E, D o C. Aquello permite concluir que no basta con concentrar esfuerzos en el cumplimiento de una normativa, sino que hay que poner atención en soluciones integrales de mejoramiento para alcanzar mayores beneficios.

De los cuatro casos de estudio se obtiene que los desempeños intermedios que más influyen en una disminución de demanda energética son:

- Tasa de infiltración de aire
- Uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor
- Valor U del muro

El valor de transmitancia térmica del muro debiera ser al menos la mitad del exigido actualmente por la normativa chilena para la zona estudiada. El rango obtenido varía entre 0,5 a 0,8 W/m²K, valor que además asegura un bajo riesgo de condensación superficial.

Se determina también que existen otros factores, como la infiltración de aire, que no son considerados en ninguna reglamentación para viviendas y que tienen alta influencia en la disminución de la demanda energética y en el mejoramiento del confort térmico. Las viviendas debieran al menos disminuir la tasa de infiltración a 0,75 ACH, o bien inferior a ésta. De la comparación hecha en base al caso real considerando una tasa de infiltración por defecto de 1 ACH y el mismo caso con las propuestas de mejoramiento en la hermeticidad al aire, se determina que utilizando el valor por defecto propuesto por la Calificación Energética, es imposible alcanzar la calificación energética A en la mayoría de los casos. Debido a que por mayor que sea el esfuerzo por mejorar otros desempeños, se asume pérdida de calor por infiltraciones de aire.

Establecer nuevos y más exigentes estándares permite superar problemas de eficiencia energética y confort térmico al interior de las viviendas. Aplicando los mejoramientos con los niveles más exigentes propuestos, se logra disminuir la demanda energética por calefacción en 75% promedio.

No existen diferencias de influencia de los factores según la materialidad de la vivienda. Lo que si ocurre es el orden de prioridad de cada factor, pero no debiese importar al momento de establecer las estrategias ya que debiesen ser las 3 aplicadas de forma integral.

Para comprobar la influencia de los desempeños intermedios mencionados y para conocer el mejoramiento reflejado en el confort térmico de las viviendas, se seleccionan dos casos de estudio para someterlos a un análisis de frecuencia de temperatura. Son estos mismos casos que se evalúan económicamente para así conocer el costo beneficio que traen consigo al ser mejorado energética-ambientalmente, y manteniendo como límite de presupuesto el subsidio entregado por el Estado para mejoramiento térmico.

EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS | 07



EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS | 07

En el capítulo anterior se determina cuáles son aquellos desempeños intermedios y que variables de diseño tienen mayor influencia en la disminución de la demanda energética por términos de calefacción en las vivienda social existente representativas en la zona térmica 4.

Basado en estos resultados de menor demanda energética se seleccionan dos casos de estudio: Peñuelas II y El Triángulo. No se consideran los cuatro casos, debido a que todos ellos alcanzan casi la misma demanda de energía. Entonces se escoge una vivienda representante de cada materialidad estudiada (albañilería en un nivel y madera en dos niveles).

El objetivo de esta evaluación de estrategias es conocer cuánto mejora el confort térmico al interior de las viviendas sometidas a diagnóstico. El indicador de este desempeño corresponde a la frecuencia de temperatura, donde se muestran las horas en que la temperatura al interior de la vivienda está dentro de la zona de confort (Temporada fría: 18-23°C, Temporada Cálida: 20-25°C). Para poder determinar esto se realizan las simulaciones dinámicas con sistemas de climatización apagados, y con las mismas condiciones de borde utilizadas en la etapa de diagnóstico.

Un tercer análisis corresponde al costo que implican las estrategias de mejoramiento propuestas, utilizando como límite de inversión el subsidio de mejoramiento térmico entregado actualmente por el Estado (PPPF – Título II).

7.1 Análisis de los resultados en función del confort térmico

Para las dos viviendas seleccionadas se proponen las mismas estrategias de mejoramiento, ya que en todos los casos de estudio se obtienen las mismas tres variables de diseño como los

más influyentes. A partir de los criterios de desempeños finales se seleccionan aquellas directrices que resultaron ser determinantes en la mayor disminución de demanda energética por calefacción:

- Tasa de infiltración: 0,25 ACH
- Valor U muro: 0,5 W/m²k
- Uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor

El sistema de ventilación con recuperación de calor es un sistema con baja demanda en el mercado nacional, por lo que conseguirlo provoca una alta diferencia encareciendo el costo total del mejoramiento. Debido a esto se proponen dos *packs* de mejoramientos por vivienda, uno con el uso del sistema y el otro sin él, manteniendo fijas las otras dos estrategias.

Los demás desempeños intermedios se mantienen en los niveles medidos y calculados de la vivienda, para poder mostrar la incidencia de las estrategias seleccionadas.

7.1.1 Resultados de Peñuelas II

Al considerar el uso de un sistema de calefacción con recuperación de calor, la demanda energética en la vivienda Peñuelas II disminuye 57,3% de lo demandando energéticamente para calefaccionar en su estadio inicial (Tabla 7.1).

Tabla 7.1: Demanda energética por calefacción en vivienda Peñuelas II inicial y mejorada con los desempeños intermedios propuestos.

	Demanda Energética (kWh/m ²)
Peñuelas II Inicial	126,13 kWh/m ²
Peñuelas II Con Sistema de Ventilación HRV (P1)	53,9 kWh/m ²
Peñuelas II Sin Sistema de Ventilación HRV (P2)	77,31 kWh/m ²

Se observa una diferencia entre la vivienda con el mejoramiento basado en la integración de las tres variables, en comparación con la que no usa el sistema de ventilación con HRV, la cual disminuye su demanda de energía en 38,7%. Esto significa que el usar un sistema de ventilación con recuperación de calor tiene un efecto de al menos 20% más de eficiencia en la variable de demanda de energía. Entonces el sistema no solo asegura una mayor disminución, sino que asegura una buena calidad de aire interior y alta eficiencia de un sistema de ventilación para alcanzar los caudales mínimos, teniendo siempre en consideración que la hermeticidad al aire de la envolvente debe ser alta. Además, en la etapa de diagnóstico los

usuarios de esta tipología de vivienda declararon percibir humedad superficial en el interior, los cual decrecería con el uso de este sistema de ventilación y con la disminución de transmitancia térmica en el muro.

Tal como se observó a partir del análisis de influencia de los parámetros, la modificación del tipo de vidrio en las ventanas no tendría mayor aporte en la disminución de energía (Tabla 7.2), aumentando la eficiencia solo 1,5% más de los obtenido considerando las estrategias enunciadas. El beneficio que si se obtiene con esta reforma es pertinente a la disminución del riesgo de condensación superficial en las ventanas, mejorando de este modo la calidad físico-constructiva de la vivienda y la calidad de aire al interior de ella.

Tabla 7.2: Demanda energética por calefacción en vivienda Peñuelas II inicial y mejorada con los desempeños propuestos más el cambio de vidrio simple a doble vidrio hermético (DVH).

	Demanda Energética (kWh/m ²)
Peñuelas II Inicial	126,13 kWh/m ²
P1 + DVH	49,8 kWh/m ²
P2 + DVH	73,22 kWh/m ²

De la frecuencia de temperatura de la vivienda Peñuelas II con el mejoramiento P1, se obtiene que durante la temporada cálida el porcentaje dentro de la zona de confort térmico aumenta un poco. El riesgo de sobrecalentamiento desaparece y siguen existiendo horas donde la temperatura está por debajo de la zona de confort térmico (Tabla 7.3).

Tabla 7.3: Porcentaje de horas bajo, dentro y sobre la zona de confort en temporada Cálida para la vivienda Peñuelas II inicial y mejorada.

	Bajo Rango Confort (8-20°C)	Rango de Confort (20-25°C)	Sobre Rango Confort (25-30°C)
Peñuelas II Inicial	62,0%	37,5%	0,5%
Peñuelas II Mejorada (P1)	52,0%	48,0%	0%

En la Figura 7.1 se observa que la temperatura mínima alcanzada en la temporada cálida aumenta de 12 a 16°C. La mayor parte del tiempo en que las temperaturas están por debajo de la zona de confort corresponde a los meses de octubre y noviembre, donde las temperaturas exteriores no son muy altas en el lugar.

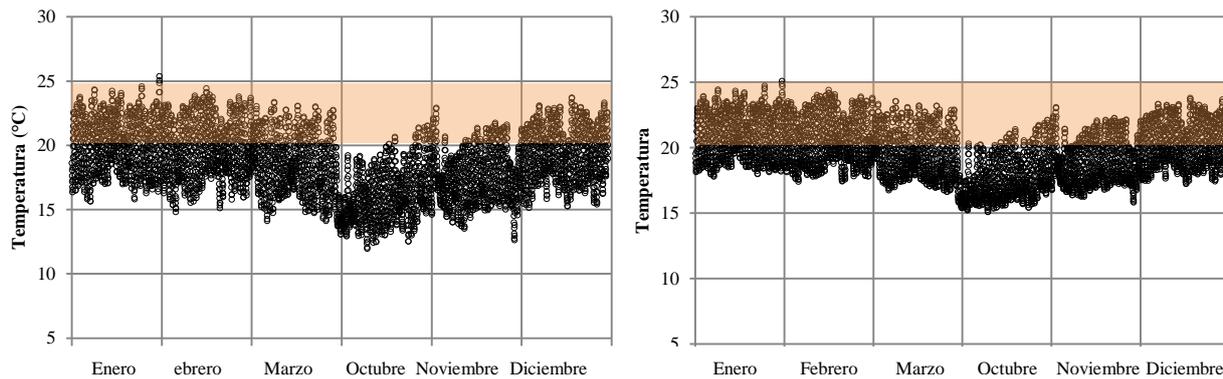


Figura 7.1: Comparación de gráficos de temperatura dentro y fuera de la zona de confort en temporada cálida. Izquierda: Peñuelas Inicial. Derecha: Peñuelas mejorada P1.

El mejoramiento del confort térmico aumenta considerablemente en la temporada fría, donde en un principio, la vivienda mostró solo 8% de las horas totales dentro del rango de temperatura de confort y ahora corresponden a 77,8% (Tabla 7.4).

Tabla 7.4: Porcentaje de horas bajo, dentro y sobre la zona de confort en Temporada Fría para la vivienda Peñuelas II inicial y mejorada.

	Bajo Rango Confort (4-18°C)	Rango de Confort (18-23°C)	Sobre Rango Confort (23-28°C)
Peñuelas II Inicial	93,0%	7,0%	0%
Peñuelas II mejorada (P1)	22,2%	77,8%	0%

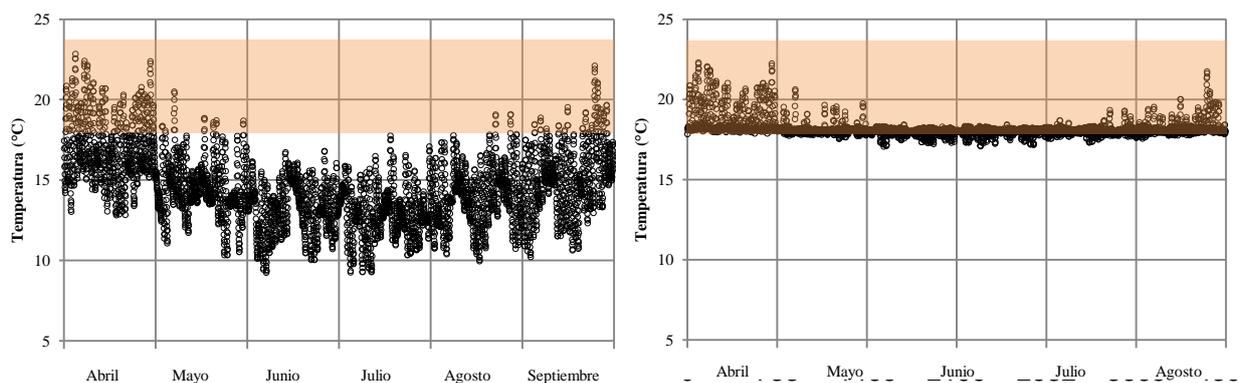


Figura 7.2: Comparación de gráficos de temperatura dentro y fuera de la zona de confort durante la temporada fría. Izquierda: Peñuelas Inicial. Derecha: Peñuelas mejorada P1.

Además se observa que las temperaturas que están bajo el rango de confort no son inferiores a 16°C (Figura 7.2), en cambio la vivienda en su estadio inicial podía alcanzar temperaturas de hasta 8°C en el mes más frío. Otra diferencia que se obtiene de la comparación de ambos gráficos de frecuencia de temperatura, es que las temperaturas ambiente en la vivienda mejorada son más constantes, no sufren de grandes oscilaciones, teniendo mayores diferencias

en los meses abril y septiembre, meses en los que las temperaturas exteriores sufren mayor oscilación entre el día y la noche.

Considerando la percepción de usuario, se asume que las estrategias en verano serían óptimamente recibidas por parte de ellos, ya que la temperatura operativa existente es considerada como neutral y esperaban que ante cualquier cambio se mantuviera igual.

Los habitantes de esta tipología de vivienda manifestaron que el confort en general es confortable en verano, y no es necesario el uso de un sistema de enfriamiento, situación que se mantendría igual luego de los mejoramientos propuestos, donde incluso se aumentan las horas dentro de la zona de confort (20-25°C).

Para la temporada fría, los usuarios manifestaron el requerimiento de aumentar las temperaturas al interior, situación que mediante el mejoramiento se logra, aumentando 10 veces la cantidad de horas dentro de la zona de confort térmico, logrando prescindir del uso de un sistema de calefacción por largas horas, favoreciendo la situación de las familias que se encuentran bajo la línea de pobreza.

Lo usuarios lograban percibir corrientes de aire en el interior, las cuales fueron evidenciadas con el test de despresurización. Esta situación cambia notoriamente al implementar estrategias de sellamiento en la envolvente de la vivienda, alcanzando una tasa de infiltración de aire de 0,25 ACH.

7.1.2 Resultados de El Triángulo

La demanda energética por calefacción disminuye poco más que en el caso de Peñuelas II, alcanzando una eficiencia de 60%, con respecto a la demanda energética necesaria de la vivienda inicial. Sin considerar el uso del sistema de ventilación con recuperación de calor, la disminución de demanda energética corresponde a 44,4%. Desde el punto de vista de costos de inversión (que se analizará en la próxima sección), si no se deseara ocupar este sistema de ventilación, la disminución de demanda sería alta de todas formas, ya que si se pensara en mejorar otro parámetro en vez del uso del sistema de ventilación con HRV, fácilmente se podría llegar a disminuir la mitad de la demanda.

En esta vivienda, la diferencia de demanda obtenida desde la vivienda con el uso del sistema de ventilación con recuperación de calor, y otra sin su uso, es poco menor que el caso anterior. El Triángulo muestra una disminución de 15% si no se usa el sistema de ventilación

(Tabla 7.5). Pero en comparación a la demanda inicial tan alta, cualquiera de las dos estrategias son altamente eficientes.

Tabla 7.5: Demanda energética por calefacción en vivienda El Triángulo inicial y mejorada.

	Demanda Energética (kWh/m ²)
El Triángulo Inicial	157,57 kWh/m ²
El Triángulo Con sistema de Ventilación (ET1)	63,76 kWh/m ²
El Triángulo Sin sistema de Ventilación (ET2)	87,60 kWh/m ²

Con respecto al cambio del vidrio simple por doble vidrio hermético, el fenómeno es igual al de Peñuelas II. No se observa una alta disminución de la demanda energética, pero si se puede suponer otros efectos beneficiosos en la vivienda y en el usuario, como un bajo riesgo de condensación superficial en ventanas y una mejora en la calidad del aire en el interior (Tabla 7.6).

Tabla 7.6: Demanda energética por calefacción en vivienda El Triángulo inicial y mejorada con los desempeños propuestos más el cambio de vidrio simple a doble vidrio hermético.

	Demanda Energética (kWh/m ²)
El Triángulo Inicial	157,57 kWh/m ²
ET1 + DVH	59,54 kWh/m ²
ET2 + DVH	83,45 kWh/m ²

De las horas en que la temperatura operativa está dentro de la zona de confort durante la temporada cálida, la vivienda El Triángulo mejorada muestra un aumento de 10%. Si se logra una disminución en el riesgo de sobrecalentamiento, disminuyendo las temperaturas alcanzadas, las cuales no superan los 27°C, y la cantidad de horas por sobre el rango, que se minimizaron de 12,8% a 8,4%).

Los usuarios de las viviendas el Triángulo perciben las temperaturas operativas de la temporada cálida como “poco cálida”, pero aun así manifestaron la preferencia por mantenerlas igual. Esta situación da a lugar a lo ocurrido post-mejoramiento, donde las horas dentro de la zona de confort no aumentan considerablemente (Tabla 7.7). Las temperaturas que fueron registradas como bajas para la temporada aumentan, y las que excedían el rango de confort disminuyen, es decir se tiende a una mejor sensación de confort térmico en el interior (Figura 7.3). En el mes de octubre se observaba la menor temperatura operativa en el interior, la cual mejora de 8°C a 13°C.

En el estado actual de la vivienda se podría definir que los usuarios pudieran sentir temperaturas bajo el rango de confort en el interior, pero aun así durante la temporada cálida es considera como confortable por los mismo usuarios, y con los mejoramientos propuesto debiese seguir siendo considerada como tal, ya que se tienen temperaturas que tienden a la zona de confort.

Tabla 7.7: Porcentaje de horas bajo, dentro y sobre la zona de confort en Temporada Cálida para la vivienda El Triángulo inicial y mejorada.

	Bajo Rango Confort (8-20°C)	Rango de Confort (20-25°C)	Sobre Rango Confort (25-30°C)
El Triángulo Inicial	61,9%	25,3%	12,8%
El Triángulo mejorada (ET1)	52,3%	35,3%	8,4%

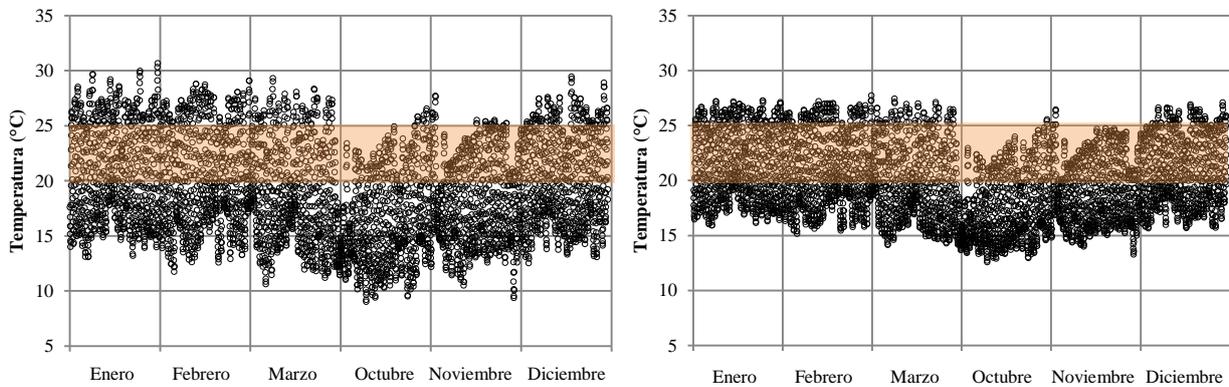


Figura 7.3: Comparación de gráficos de temperatura dentro y fuera de la zona de confort durante la temporada cálida. Izquierda: El Triángulo Inicial. Derecha: El Triángulo mejorada.

Para la temporada fría los usuarios consideran la temperatura operativa interior como fría, situación que difiere a la obtenida con las estrategias de mejoramiento aplicadas. Posterior al mejoramiento propuesto, la cantidad de horas dentro de la zona de confort representa poco más de la mitad de las horas total, y las temperaturas por bajo del rango de confort disminuyen desde 88,5% a 47,4% (Tabla 7.8).

Tabla 7.8: Porcentaje de horas bajo, dentro y sobre la zona de confort en Temporada Fría para la vivienda El Triángulo inicial y mejorada.

	Bajo Rango Confort (4-18°C)	Rango de Confort (18-23°C)	Sobre Rango Confort (23-28°C)
El Triángulo Inicial	88,5%	10,3%	1,2%
El Triángulo mejorada	47,4%	51,6%	1,0%

90% de los usuarios declaró usar un sistema de calefacción, lo cual debiese disminuir al menos en el tiempo de uso, debido a que las temperaturas al interior aumentan considerablemente. En el estado inicial del caso de estudio se obtienen temperaturas de hasta 5°C en el interior, en cambio la temperatura mínima medida desde la simulación de la vivienda mejorada es de 17°C, temperatura que permite aumentar la sensación de confort y usar en menor medida los sistemas de calefacción.

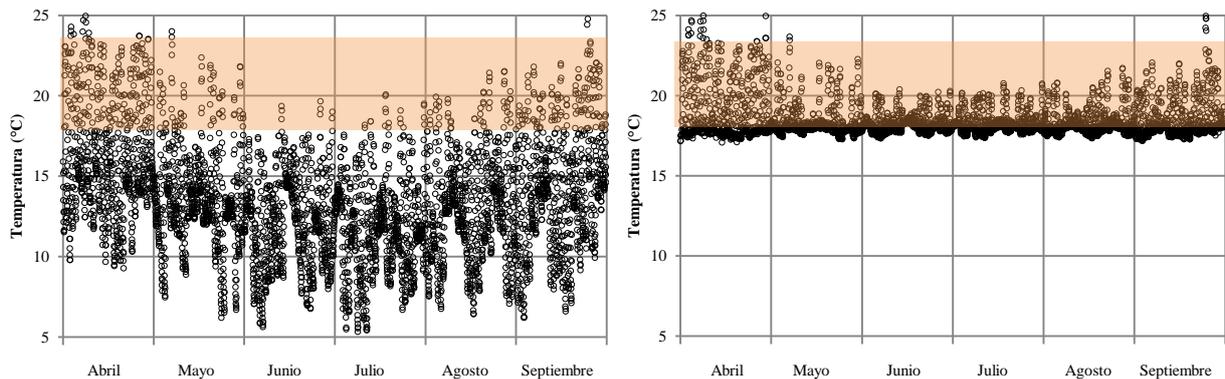


Figura 7.4: Comparación de gráficos de temperatura dentro y fuera de la zona de confort. Izquierda: El Triángulo Inicial. Derecha: El Triángulo mejorada.

De la comparación de ambos gráficos de temperatura (Figura 7.4) se observa un escenario similar al de Peñuelas II. Las oscilaciones térmicas disminuyen ampliamente cuando la vivienda es mejorada energética-ambientalmente, alcanzando temperaturas más altas durante abril y septiembre, meses en que se registran temperaturas más elevadas en el exterior.

Al estar ya determinadas las demandas energéticas de los cuatro casos de estudio y en relación a éstas se hayan conocido los beneficios obtenidos en el confort térmico al interior de dos viviendas, se procede a realizar un análisis económico con estrategias posibles de encontrar en el mercado nacional.

7.2 Análisis de Estrategias en función del subsidio de mejoramiento térmico

Un análisis de los costos de ciclo de vida de un mejoramiento energético (instalación y operación), evalúa no solo los gastos de la inversión inicial, sino que también la operación posterior. Los costos son asociados a la implementación de las estrategias, a la operación, el consumo energético, la mantención y/o reparación, además de otros factores como los pagos de préstamos para cubrir estos gastos iniciales y el valor residual al final del periodo de análisis (Polly et al, 2011). Pero para el análisis económico de esta investigación, no tiene por objetivo conocer el tiempo de retorno de la inversión, ya que como se ha hecho mención, los gastos iniciales para el mejoramiento energético no son costeados por el usuario, quien, por ende, no verá el retorno monetario, sino que otro tipo de beneficios manifestados en confort térmico y calidad del aire al interior de sus viviendas.

El objetivo de este análisis es conocer la veracidad de la hipótesis, es decir si es que es posible desarrollar e implementar estrategias basadas en la integración de distintos criterios de desempeños para el mejoramiento energético-ambiental de viviendas sociales existentes en Chile sin exceder el costo destinado por el Estado al actual subsidio de reacondicionamiento térmico, llevado al presente.

La rentabilidad, en este caso, está dentro del marco de proponer criterios de desempeños integrados para mejoramiento energético-ambiental bajo un límite de costo, el cual está determinado por el subsidio Programa Protección del Patrimonio Familiar Título II. Este programa establece que el monto máximo de ayuda es de 65 UF (MINVU, 2007), el cual se duplica si se comprueba que el mejoramiento que se ejecuta es térmico. Por ende el límite de gastos con el subsidio debiese estar bajo 130 UF, es decir US\$ 5811.



Figura 7.5: Cambio de ventanas en una vivienda existente en Hualpén, utilizando el subsidio PPPF, Título II.

Actualmente, los mejoramientos que utilizan este subsidio han enfocado las estrategias en cambios de ventanas y aumentos de aislación térmica en muros, sin enumerar otras

alternativas que nada tienen que ver con mejoras térmicas. Normalmente, las ventanas son modificadas por otras que no aseguran una disminución de infiltraciones de aire, como por ejemplo ventanas de corredera (Figura 7.5). Derivado del presente estudio, se conoce que esta estrategia tiene casi nula incidencia en la demanda energética por términos de calefacción, haciendo necesario re-evaluar las maneras en que este subsidio será utilizado.

Las estrategias propuestas son las mismas para ambos casos y se basan en los objetivos de desempeños estudiados; utilizando las directrices más exigentes de las tres variables de diseño determinadas como relevantes en el análisis de demanda energética y confort térmico. La calidad de aire ya es asegurada desde la primicia que se asume un caudal de aire necesario en cada vivienda estudiada.

La hermeticidad al aire de la envolvente es solucionada con sellamientos en puertas, ventanas, encuentros de muros con otros elementos y en huecos que existen debido al uso y a las alteraciones del caso inicial. Se considera tener particular cuidado en intervenciones que pudo haber realizado el usuario, dejando grietas u orificios en la envolvente. Además se sellan las conexiones eléctricas y ductos de calefacción que se encuentren en la envolvente.

Para mejorar el valor de transmitancia térmica del muro, y alcanzar un valor U de $0,5 \text{ W/m}^2\text{k}$, se consideran mayor nivel de aislación térmica con una solución EIFS (*Exterior Insulation Finish Systems*) (Figura 7.6).



Figura 7.6: Imágenes de referencia de un sistema EIFS comercializado en Chile (Andesco, 2013).

Esta solución consta de un revestimiento de muros exteriores con aislación térmica, que por constituirse con placas de poliestireno expandido de alta densidad, genera una mejor barrera de transmitancia térmica, evitando además ciertos puentes térmicos. No es posible asegurar una anulación completa de estos puentes, ya que la solución no considera en ciertas uniones,

por ejemplo, la llegada del muro al radier. Además es una solución cuyo uso ha sido creciente en el país, permitiendo abaratar los costos y encontrar mejor mano de obra en la instalación.



Figura 7.7: Imagen referencial del recuperador de calor con intercambiador de flujos cruzados.

Polly et al (2011) especifica que es necesario definir costos en cada ciudad, para determinar los valores finales de cada estrategia, a semejanza de lo elaborado al determinar distintas temperaturas de confort para diferentes ciudades, ya que se deben considerar valores reales al momento de evaluar un mejoramiento determinado. Debido a este principio, la evaluación económica se realiza en base a un listado de precios de mercado promedio de las estrategias seleccionadas, cuyos valores corresponden a los ofertados en la ciudad de Concepción. Para establecer el total del precio unitario por partida, se determinaron los porcentajes de gastos en mano de obra, gastos generales (15%), utilidades (15%) y el IVA (19%), cuyas participaciones dentro del total fueron instauradas a partir de un promedio de los porcentajes utilizados en constructoras de mediana y pequeña magnitud en la ciudad de Concepción, entidades que suelen efectuar este tipo de trabajo. Los precios unitarios detallados que se utilizaron para efecto de este análisis se encuentran en el Anexo 4.

Al comparar los costos de las mismas estrategias de mejoramiento en una vivienda existente y en una vivienda nueva, se obtienen grandes diferencias, sobre todo en mano de obra y en materiales necesarios. Por ejemplo la adición de aislación térmica en un muro exterior de una vivienda existente requiere la eliminación de parte del revestimiento y luego la adición de uno en mejor estado, lo cual aumenta dramáticamente los costos de mano de obra y materiales en comparación con la misma estrategia de aislación en una vivienda nueva. Pero, desde un punto de vista económico, el costo que implica cada magnitud de proyecto, se obtiene que un mejoramiento de este tipo en viviendas existentes, será más económico que edificar una

vivienda completamente nueva. Los costos del *pack* de mejoramiento no solo dependerán de los materiales y de la mano de obra, sino que también pueden aumentar si las condiciones actuales de la vivienda influyen en el trabajo que haya que realizar en el mejoramiento, especialmente si los problemas están relacionados con la humedad en el revestimiento, o peor aún en el interior de la envolvente, insectos, problemas estructurales, etc. (Polly et al, 2011). Puede ocurrir que estas patologías intersticiales en el muro no se adviertan a priori, provocando un retraso en el trabajo y un aumento de gastos por nuevas soluciones que podrían tener que efectuarse.

Los resultados de la evaluación (costos) de ambos casos se dividen en tres partes. Un primer total de costos corresponde a la implementación de dos criterios de desempeños en el mejoramiento energético-ambiental: hermeticidad al aire de la envolvente y mejoramiento de la transmitancia térmica de los muros. La segunda parte considera estas dos estrategias con la adición de un sistema de ventilación con recuperación de calor. Y tercero, se evalúa el cambio de las ventanas simples por doble vidrio hermético, para reducir el riesgo de condensación recurrente en una vivienda social (Tabla 7.9 y 7.10).

Tabla 7.9: Evaluación económica de estrategias de mejoramiento aplicadas en vivienda Peñuelas II.

Estrategia Por Desempeño	Ítem	Estrategia	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total
Sellado De Infiltraciones	1	Sellado Puertas	c/u	1	\$ 27.318	\$ 27.318
	2	Sellado Ventanas	ml	19,2	\$ 4.979	\$ 95.597
	3	Sellado Instalaciones	c/u	10	\$ 4.693	\$ 46.930
	4	Sellado de Muros	ml	52	\$ 6.044	\$ 314.288
	5	Sellado de perforaciones	ml	6	\$ 6.044	\$ 36.264
Valor Transmitancia Térmica	6	Sistema EIFS primer piso	m ²	34,88	\$ 22.724	\$ 792.613
1° Total (2 Estándares)						\$ 1.313.010 US\$ 2.525
Sistema de Ventilación con HRV	7	Recuperador de calor de flujo cruzado. Series cadb/t-n d/di/dc f7+f7	c/u	1	\$1.034.423	\$1.034.423
2° Total (3 Estándares)						\$2.347.433 US\$ 4.514
Disminución Riesgo de Condensación	8	Ventanas DVH	m ²	5,38	\$130.534	\$ 702.273
3° Total (3 Estándares + Adicional)						\$ 3.049.706 US\$ 5.864

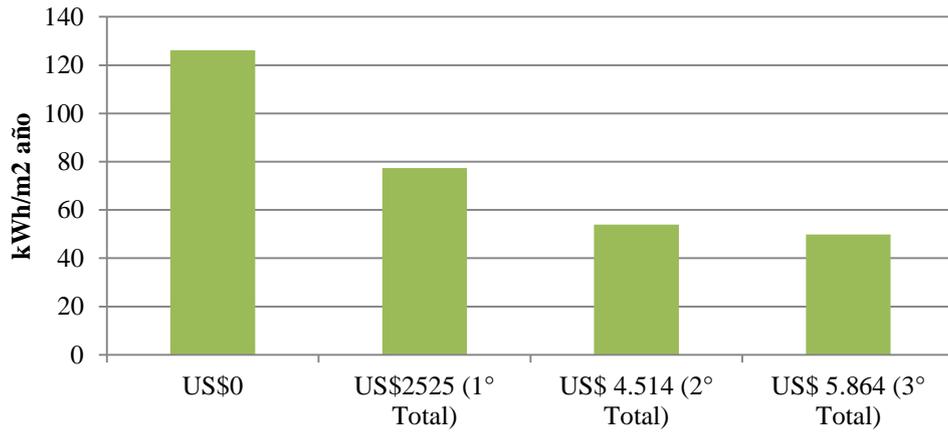


Figura 7.8: Demanda energética por calefacción asociado a cada presupuesto analizado para la vivienda Peñuelas II.

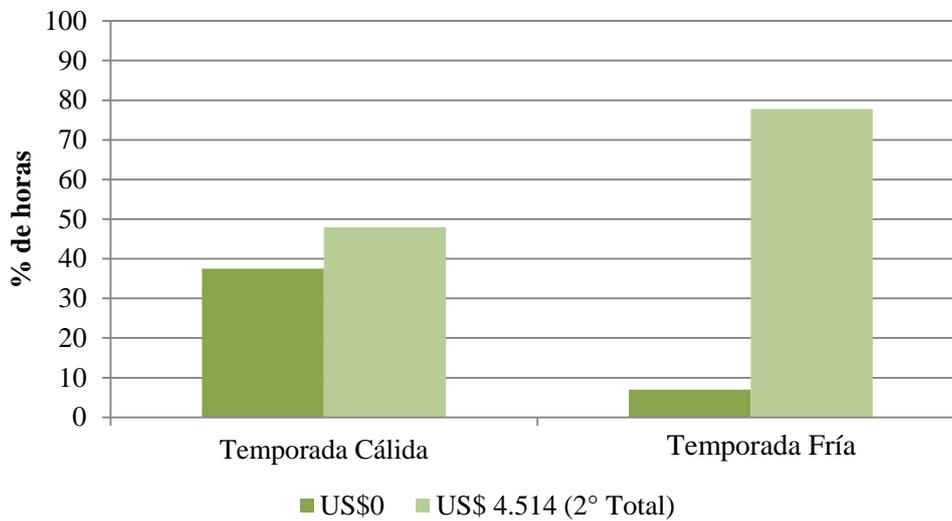


Figura 7.9: Porcentaje de horas dentro de la zona de confort para cada temporada asociado al presupuesto que considera tres desempeños integrados para la vivienda Peñuelas II.

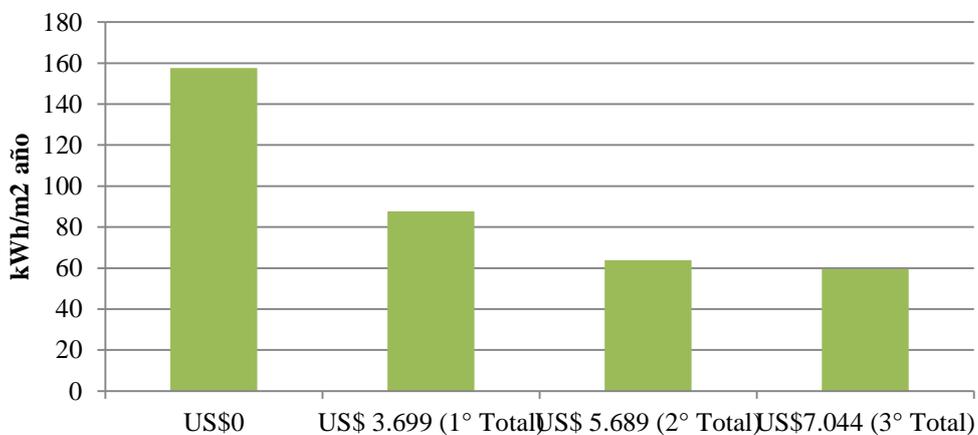


Figura 7.10: Demanda energética por calefacción asociado a cada presupuesto analizado para Villa el Triángulo.

Tabla 7.10: Evaluación económica de estrategias de mejoramiento aplicadas en vivienda El Triángulo.

Estrategia por Desempeño	Ítem	Estrategia	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total
Sellado de Infiltraciones	1	Sellado Puertas	c/u	1	\$ 27.318	\$ 27.318
	2	Sellado Ventanas	ml	20,79	\$ 4.979	\$ 103.513
	3	Sellado Instalaciones	c/u	10	\$ 4.693	\$ 46.930
	4	Sellado de Muros	ml	35,92	\$ 6.044	\$ 217.100
	5	Sellado de perforaciones de uso	ml	12	\$ 6.044	\$ 72.528
Mejoramiento Valor Transmitancia Térmica	6	Sistema EIFS primer piso	m ²	27,89	\$ 22.724	\$ 633.772
	7	Sistema EIFS Segundo Piso	m ²	27,71	\$ 29.690	\$ 822.710
1° Total (2 Estándares)						\$1.923.872 US\$ 3.699
Sistema de Ventilación con Recuperación de Calor	8	Recuperador de calor de flujo cruzado. Series cadb/t-n d/di/dc f7+f7	c/u	1	\$1.034.423	\$1.034.423
2° Total (3 Estándares)						\$2.958.295 US\$ 5.689
Disminución Riesgo de Condensación	9	Ventanas DVH	m ²	5,4	\$ 130.534	\$ 704.884
3° Total (3 Estándares + Adicional)						\$3.663.179 US\$7.044

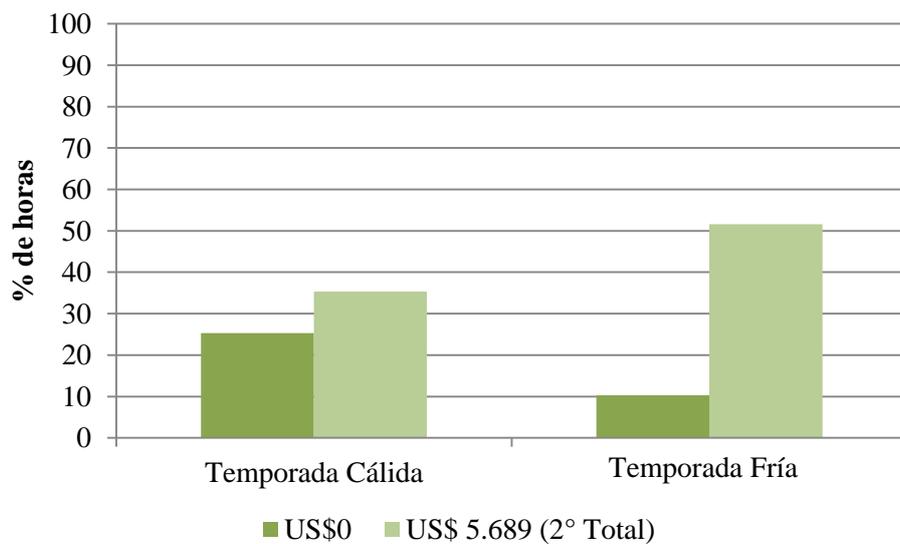


Figura 7.11: Porcentaje de horas dentro de la zona de confort para cada temporada asociado al presupuesto que considera tres desempeños integrados para Villa el Triángulo.

De los análisis realizados se concluye que con el subsidio entregado actualmente por el Estado, se podrían llevar a cabo las estrategias que cumplen con los tres desempeños estudiados como los más influyentes al momento de disminuir la demanda energética de la vivienda, alcanzar confort térmico y calidad de aire al interior. Permitiendo desarrollar el mejoramiento de manera integral, no teniendo que dar prioridad a un desempeño por sobre otro, teniendo conciencia de que todos deben interactuar para un resultado final más beneficioso.

En relación a la cuarta y última estrategia propuesta, que persigue disminuir el riesgo de condensación mediante el cambio de ventanas, se obtiene que para el caso de Peñuelas II se debiera aumentar un delta de US\$1350, en relación al total n°2 para poder realizar la modificación, sobrepasando el gasto propuesto por el subsidio en US\$53, monto que pareciera más fácil de alcanzar.

En cambio para la vivienda El Triángulo se hace más complejo considerar esta última estrategia de cambio de vidrios en ventanas, ya que los costos se elevan notoriamente, debido a que este caso de estudio presenta mayor superficie vidriada que el otro caso en estudio. En este caso, el gasto extra equivale a US\$1355, alcanzado un total de US\$7.044, lo cual traspasa el límite determinado por el subsidio PPPF (US\$5.811). Tal porcentaje si tiene un alto costo en relación al beneficio que conlleva.

Desde el desempeño de confort térmico (Figura 7.9 y 7.11) se concluye que el beneficio en relación al costo involucrado para aplicar los tres criterios determinados como más relevantes, es alto, ya que las viviendas aumentan en 5 y hasta 7 veces la cantidad de horas dentro del rango de confort para la temporada fría. Además, en el análisis anterior (Sub-Capítulo 8.1) se muestra que las temperaturas mínimas alcanzadas son muy favorables en comparación a las actuales, representando 16°C en Peñuelas II en vez de 8°C y 17°C en el Triángulo en vez de 5°C.

Cabe destacar que el subsidio entregado no es destinado en su totalidad al mejoramiento de la vivienda, sino que parte de él pertenece a las entidades constructoras, las cuales consuman las modificaciones en la construcción. Es importante destacar que si el gobierno volviera a manejar directamente estas soluciones entregadas por distintos subsidios, el control pudiera ser más alto y las propuestas más eficientes, debido a la disminución del interés por marginar mayor cantidad de dinero al momento de realizar los mejoramientos.

El costo beneficio que muestra el sellamiento de los encuentros y grietas donde ocurren infiltraciones de aire, es alto en relación al bajo costo que resulta implementar esta estrategia. Para el caso de Peñuelas II el costo corresponde a 22% de la inversión total de la implementación de las tres estrategias relevantes, y para Peñuelas II es aún un mayor el beneficio en relación al costo, ya que la inversión es solo el 16% del total. En ambos casos, el beneficio es notorio, ya que la tasa de infiltración disminuye a 0,25 ACH, incrementando altamente la hermeticidad al aire de la envolvente.

En relación a la instalación de un sistema de ventilación con recuperación de calor, el costo es mucho mayor y pero el beneficio es alto también, aunque la relación no alcanza a ser sobresaliente comparación al sello de infiltraciones de aire. En la vivienda Peñuelas II el costo que implica el uso de un sistema de ventilación con HRV equivale a 44% del total y para el Triángulo el 36%.

Situación contraria ocurre con el reemplazo de ventanas, las cuales tienen un alto costo y un beneficio inferior a los demás, ya que como se observó en el análisis de influencia de los parámetros en la disminución de la demanda, las ventanas tenían muy baja relevancia en la disminución de demanda energética por términos de calefacción, y tampoco en el confort térmico. Pero si se consigue beneficio en disminuir el riesgo de condensación superficial, evitar el deterioro de las viviendas y aumentando la calidad del aire al interior.

Aunque el costo-beneficio de las tres estrategias utilizadas difieran entre una y otra, es importante considerar que las tres tienen relación entre si al momento de entregar beneficios en la eficiencia energética, confort térmico y calidad del aire interior.

Esto quiere decir que si bien el beneficio del sellamiento es muy alto en comparación con su costo, no basta con efectuar solo este mejoramiento, ya que el esfuerzo por incrementar la hermeticidad de aire no logrará alcanzar los objetivos de desempeños finales que deben ser mejorados y considerados en la vivienda social existente. O bien, realizar un mejoramiento de transmitancia térmica en la envolvente involucra un mejor sellamiento, atendiendo dos desempeños con una estrategia de manera integral, o por el contrario el uso de un sistema de ventilación con recuperación de calor no se puede incorporar si la hermeticidad al aire de la envolvente no es mejorada, por lo que es necesario considerar ambos desempeños de forma integrada y no aislada.

Verbeeck y Hens (2005), en cambio, proponen que en función del presupuesto disponible y de la motivación al mejoramiento subyacente, la aplicación de las estrategias de ahorro

energético se puede ejecutar a través del tiempo, ya que la mayoría de las medidas se pueden realizar de forma independiente la una de la otra. Sin embargo, los mismos autores declaran que se debe respetar la jerarquía de las medidas de mejoramiento para hacer así la ejecución más eficaz y duradera en el tiempo. Esta propuesta es contradictoria a lo que propone la presente investigación, donde se declara que existen estrategias de mejoramiento que son interdependientes entre sí, y que deben ser consideradas dentro un mejoramiento integral, evitando mejorar solo un desempeño, esfuerzo que pudiese ser anulado al no mejorar otros.

7.3 Conclusiones Capítulo 07

Al realizar, de manera teórica, el mejoramiento energético-ambiental en las viviendas existentes, sin ninguna estrategia en particular, sino que utilizando los estándares más influyentes obtenidos desde el estudio (Valor U muro $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, Tasa de infiltración 0,25 ACH y uso de sistema de ventilación HRV) se alcanzan beneficios en todos los objetivos finales de desempeños propuestos (eficiencia energética por baja demanda de calefacción, aumento del confort térmico y de la calidad del aire interior).

Primero, la eficiencia energética por términos de calefacción es lograda utilizando sólo estas tres estrategias y manteniendo el resto de parámetros igual que en su estado actual. En ambos casos la demanda de energía disminuye entre 58% y 60%, y en las dos viviendas sería posible realizar estos mejoramientos con el uso del subsidio entregado por el gobierno (PPPF Título II), ya que las estrategias propuestas para estas variables de diseño resultan ser menos costosas que el total entregado actualmente por el gobierno.

La disminución de la demanda energética es el desempeño que menor influencia tiene dentro del presupuesto familiar de un usuario de vivienda social, debido a que no destinan los gastos necesarios para satisfacer la demanda de energía para climatizar la vivienda, siendo clasificados dentro del segmento de “pobreza energética”. Pero, estos usuarios si obtienen beneficios en su confort térmico, debido al incremento de horas dentro de la zona de confort, sobre todo en la temporada fría, donde los usuarios manifestaron sentir frío y considerar las viviendas como inconfortables. Ambos casos aumentan la cantidad de horas dentro del rango de confort, entre 5 y 7 veces. Las temperaturas obtenidas luego del mejoramiento propuesto no son inferiores a 17°C , lo que significa haber aumentado 8°C las mínimas percibidas en el interior de la vivienda en su estado actual.

Con respecto al tercer objetivo de desempeño, calidad del aire interior, se asume un mejoramiento desde la etapa de diagnóstico, al establecer una tasa de aire mínima por metro cuadrado. Este objetivo, al igual que los otros, visto bajo una filosofía prestacional debe cumplir con lo exigido incorporando cualquier estrategia pero que asegure el caudal mínimo. Los métodos de medición de este desempeños de dividen en dos, el primero corresponde a lo desarrollado en esta investigación durante la etapa de diseño diagnóstico, donde se indicó la tasa de aire necesaria; y el segundo método de medición es posterior al mejoramiento ya ejecutado en la vivienda, donde se deben monitorizar las concentraciones de CO_2 en la

vivienda. Además se considera la incorporación de un sistema de ventilación, el cual asegura aire limpio y filtrado.

Considerando solo estas tres estrategias se obtiene altos beneficios en la calidad físico-constructiva de la vivienda y en la calidad de vida del usuario. Cabe recordar que los otros parámetros no fueron alterados para los análisis de este capítulo, lo que significa que sin la necesidad de alcanzar lo exigido por la Reglamentación Térmica en otros parámetros, si se puede tener grandes beneficios en eficiencia energética, confort térmico (objetivos de la RT) y en calidad del aire (desempeño que la RT no considera).

Se valida la hipótesis de que es posible desarrollar e implementar estrategias basadas en la integración de distintos criterios y estándares de desempeños prestacionales para el mejoramiento energético-ambiental de viviendas sociales existentes en Chile sin exceder el costo destinado por el Estado al actual subsidio de reacondicionamiento térmico.

Si bien, este subsidio no constituye la única alternativa como parámetro de comparación para evaluar las políticas habitacionales existentes y futuras, pero si entrega resultados teóricos de cómo alcanzar criterios de desempeños más exigentes, como opción a lo entregado actualmente. Permite sugerir realizar una revisión y redistribución del subsidio que se entrega en la actualidad, ya que con el monto vigente se pudieran entregar mayores beneficios a los que se entregan hoy.

CONCLUSIONES | 08



Paulina Wegertseder: Integración de criterios de desempeños en el mejoramiento energético-ambiental de viviendas existentes

CONCLUSIONES | 08

Se han indicado conclusiones parciales en cada capítulo, las cuales son atinentes a los temas abordados en ellos. En esta sección en cambio, se plantean conclusiones y discusiones pertinentes a la tesis en su totalidad, ordenadas según objetivos generales y específicos, implicancia de la investigación en viviendas de bajo costo y la arquitectura, y propuestas de futuras investigaciones.

8.1 Discusión de los resultados con respecto al objetivo general

Se concluye que actualmente las viviendas que son sometidas a mejoramiento energético-ambientales son examinadas bajo un carácter prescriptivo y con una lógica de mejoras parciales. Como aporte principal de esta tesis se entrega el conocimiento de que las estrategias de mejoramiento son interdependientes entre sí y deben ser consideradas dentro de un proceso integral, tanto en su metodología de diagnóstico y del desarrollo del mejoramiento.

A partir del objetivo general de la investigación se genera conocimiento sobre la necesidad de basar el mejoramiento energético-ambiental de viviendas existentes de bajo costo, en la integración de distintos criterios de desempeños interdependientes: aumentar la hermeticidad al aire de la envolvente, disminuir el valor de transmitancia térmica en los muros exteriores y asegurar el caudal de ventilación mínimo con un sistema que permita también la recuperación de calor.

Dichos criterios son involucrados en un sistema holístico compuesto por aquellos objetivos finales de desempeños precisos de mejorar en una vivienda social: confort térmico, eficiencia energética por demanda de calefacción y calidad del aire interior. De la presente tesis, se establece que para alcanzar dichos objetivos es implícito mejorar la vivienda bajo la

integración de los criterios mencionados, siendo involucrados en una solución final y no de forma aislada, como se realiza en soluciones actuales, o bien como proponen ciertos autores haciendo mención a una falta de presupuesto.

Con respecto al sistema de desarrollo e implementación del mejoramiento energético-ambiental, se concluye que debe ser previsto bajo un enfoque prestacional, donde no se establece una estrategia en particular, sino que el objetivo puede ser alcanzado bajo cualquier estrategia. Esto permite incrementar la innovación en las soluciones, fomentar actualizaciones en la normativa, mejorar el mercado en estos términos y alcanzar resultados que atienden realmente las necesidades de mejoramiento en las viviendas para su calidad física-constructiva y de vida del usuario. El enfoque prestacional incrementa la efectividad de los diagnósticos y gestiones emprendidas a partir de las evaluaciones, diferenciando y adaptando las soluciones según tipología residencial y su contexto.

Las viviendas estudiadas se diferencian en diseño arquitectónico, materialidad y adosamiento, pero aun así luego del diagnóstico físico-constructivo, en paralelo con la percepción del usuario, demandaron las mismas necesidades de mejoramiento energético-ambiental. Debido a esto se pueden definir las mismas exigencias prestacionales (desempeños) requeridas para todos los casos de estudio, aludiendo que tales exigencias sean aplicables a todo un conjunto con tipologías similares a las estudiadas, y no a un modelo único. En relación a las ventajas asociadas a la eficiencia energética a nivel país, no basta con desarrollar el mejoramiento propuesto en un solo modelo por conjunto habitacional, sino que se incita a ampliar la rehabilitación de forma masiva para así tener resultados de ahorro energético más beneficioso y con menores costos asociados.

La ocupación real puede distar mucho entre una vivienda y otra, necesitando mayores exigencias en algunos desempeños, lo que no significa que haya que mejorar solo algunos, ya que el resultado final se verá influenciado por un conjunto de desempeños integrados, habiendo unos más relevantes que otros pero interdependientes entre sí. Dicho esto, la efectividad que pueden tener las mismas estrategias en distintas viviendas de una misma tipología puede ser variada. Esto ocurre al considerar estrategias con enfoque prescriptivo, donde independiente de las características de la vivienda, se realizan las mismas estrategias a todas. Es evidente que esta manera prescriptiva permite ahorrar tiempo y esfuerzo, alcanzando en corto plazo un resultado más óptimo que el actual, pero no asegura que este rápido resultado sea el más beneficioso.

El análisis multifactorial propuesto en esta tesis, permite conocer los criterios de desempeños más relevantes con pertinencia al objetivo buscado, construyendo de esta forma juicios de calidad prestacional atingentes a cada vivienda. La aplicación del análisis multifactorial, para cada caso que se busca rehabilitar, requiere de más tiempo del que se involucra en la aplicación de estrategias prescriptivas; pero este tipo de análisis permite conocer los reales criterios de desempeños que se deben integrar en un mejoramiento. Entonces, para evitar una constante replica de estrategias (carácter prescriptivo), se propone utilizar dicha metodología bajo ciertas consideraciones que permitan optimizar el tiempo implicado, como por ejemplo el agrupar edificaciones con características similares (fachada principal orientación norte en un grupo, sur en otro, etc.). Se hace necesario también considerar un profesional inmerso en el ámbito de energía y ambiente, quien en la actualidad se ha desestimado en proyectos de mejoramiento, que justamente hacen referencia a problemas energéticos y ambientales.

Si bien el proceso de análisis multifactorial es más complejo de lo que actualmente se realiza, se asume que el parque habitacional construido es finito, por lo que los análisis debieran serlo también, permitiendo así tener un vasto stock de diagnóstico y criterios de desempeños a mejorar. Considerando que las viviendas de bajo costo son las edificaciones que mayores deficiencias energético-ambientales presentan, debieran ser las entidades gubernamentales las encargadas de desarrollar dichos análisis, generando así directrices basadas en los desempeños que atienden tanto al usuario, al medio ambiente y a la durabilidad de la vivienda.

Los análisis multifactoriales no solo contribuyen en el mejoramiento energético-ambiental de los casos estudiados, sino que en diseño de nuevos procesos de rehabilitación, en ajustes a reglamentaciones actuales que no alcanzan estándares esperados en una vivienda y en acciones del ámbito privado y profesional arquitectónico-constructivo.

Los criterios de desempeños obtenidos desde esta investigación se hacen generalizables a viviendas de bajo costo construidas en situaciones climatológicas similares, ya que en otras localidades donde el clima varía, los criterios de desempeños pueden ser otros.

8.2 Discusión de los resultados con respecto a los objetivos específicos

8.2.1 Catastro estadístico en la comuna estudiada

Como parte de este trabajo de investigación se realizó un levantamiento del parque habitacional construido, para poder determinar los casos representativos. Debido a falta de

información y desorganizaciones encontradas, se concluye que es necesario considerar un levantamiento exhaustivo en comunas del País, no solo por fines investigativos, sino que además por temas burocráticos que permitieran agilizar propuestas relacionadas con políticas habitacionales y urbanísticas.

En la comuna estudiada, las viviendas sociales representan 82% del total residencial construido, lo que ayudaría a priorizar ayudas gubernamentales en este tipo de localidades.

8.2.2 Metodología del diagnóstico de los casos de estudio y del análisis multifactorial de distintos criterios de desempeños

El desarrollo de la metodología bajo una condición multidimensional abarca distintos métodos y compara los resultados de ellos para poder conocer los mejoramientos pertinentes a lo estudiado.

De la metodología propuesta se obtienen dos líneas de análisis de viviendas existentes: primero, el diagnóstico físico-constructivo de la edificación actual junto con la percepción del usuario, los cuales permitieron conocer el estado actual de la vivienda y que parámetros se estudiarían como criterios de desempeño para el mejoramiento energético-ambiental de ella. Segundo, el análisis multifactorial que facilitó el desarrollo del conocimiento de qué variables son las más relevantes respecto al mejoramiento en función de la integración de desempeños asociados al confort térmico, eficiencia energética por demanda de calefacción y calidad del aire interior.

El primer método entregó resultados de las propiedades físico-constructivas de las viviendas, pero no abarcaron todas las variables involucradas. Para futuras investigaciones se sugiere medir humedad en el ambiente y muros, y las concentraciones de CO₂, desempeños que tienen relevancia en el confort de la vivienda y la calidad del aire interior. De éste diagnóstico se concluye que es de gran utilidad realizar mediciones experimentales para conocer las propiedades de la vivienda y poder así calibrar las simulaciones energéticas con datos fidedignos, generando respuestas y beneficios reales, y no teóricos.

Cabe destacar que tales mediciones experimentales son factibles de llevar a cabo cuando la dispersión de los casos de estudio no es alta, sobre todo en relación al esfuerzo que implica la comprobación *insitu*. Pero si se compara el beneficio de estas mediciones, con la complejidad implícita, se concluye que es importante conocer datos medidos, ya que como se comprobó en esta tesis, las diferencias de valores, referentes al comportamiento físico-constructivo de una

vivienda, pueden ser altamente diferentes a los calculados. Esto, afecta directamente al mejoramiento que se proponga, el cual podría ser errado, atendiendo valores que no existen.

La inclusión de la percepción del usuario en la etapa de evaluación post ocupacional es crucial. Principalmente permite comparar la percepción del habitante con los resultados obtenidos desde el análisis teórico, y considerarlo al momento de proponer estrategias, ya que si solo se reflexiona sobre el diagnóstico físico-constructivo, las estrategias pueden ser contradictorias a las necesidades del usuario.. En esta investigación se obtuvo que la percepción del usuario coincidía al diagnóstico físico-constructivo de los casos durante la temporada fría, donde 90% de las horas estaban por debajo de la zona de confort y los usuarios califican a sus viviendas como inconfortables. Pero la comparación si fue disímil en la época cálida, donde las temperaturas eran inferiores al rango de confort, sin embargo, los usuarios manifestaron la intención de mantener las mismas temperaturas percibidas en la actualidad.

Del análisis multifactorial se concluye que permite conocer de forma estadística, que variables se deben vincular de manera integral y no de forma aislada en un mejoramiento energético-ambiental. Se logra definir cómo y cuánto influye cada factor en el mejoramiento de la vivienda con respecto a otros, consiguiendo el objetivo principal de esta tesis: Generar conocimiento sobre el mejoramiento energético-ambiental de viviendas existentes, basado en la integración de criterios de desempeños, definidos según la relevancia de variables asociadas a la habitabilidad (confort térmico y calidad del aire para el usuario), durabilidad (ante fenómenos ambientales y condiciones constructivas; extendiendo la vida útil de la edificación) y sustentabilidad ambiental (mayor eficiencia energética en términos de calefacción a nivel país, además de una disminución de las emisiones de CO₂).

8.2.3 Resultados del diagnóstico del estado actual y del análisis multifactorial

A partir de las dos líneas secuenciales de metodologías propuestas, se obtienen dos tipos de resultados. El primer grupo hace alusión al diagnóstico de las viviendas en su estado actual y la percepción de sus usuarios con respecto al confort térmico en ellas. Del estado físico-constructivo se concluye que las viviendas construidas con muros livianos de madera presentan mayores tasas de infiltraciones de aire (2,6 ACH), debido a la calidad constructiva en los encuentros entre elementos; y en las de albañilería se observan los valores más

perjudiciales de transmitancia térmica en sus muros ($2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$), debido a que no presentan ningún tipo de aislación térmica.

Se determinó que aquellos casos de estudio, que presentan intervenciones hechas por el usuario, muestran una peor calidad energético-ambiental, atribuible a malos procesos y terminaciones llevadas a cabo, empeorando la hermeticidad al aire de la envolvente.

Con respecto a las temperaturas operativas obtenidas en el interior de las viviendas, se obtiene que al menos 60% de las horas totales de la temporada cálida está bajo la zona de confort térmico ($< 20^\circ\text{C}$). Los casos más desfavorables son los construidos en madera, los cuales además muestran aproximadamente 11% de horas, sobre la zona de confort, lo que sugiere riesgo de sobrecalentamiento, sin tener temperaturas excesivamente altas ($26\text{-}27^\circ\text{C}$).

El mayor déficit térmico se encuentra en la temporada fría, donde 90% de las temperaturas fluctúan bajo el rango de zona de confort térmico, alcanzando temperaturas de 5°C y demandando hasta 193 kWh/m^2 de energía para calefaccionar. Analizando estos diagnósticos, se determinan distintas variables que aluden a estas deficiencias físico-constructivas y que tienen incidencia en los objetivos de desempeños finales, tales como: transmitancia térmica, aislación higrotérmica y hermeticidad al aire de la envolvente, y porcentaje y tipo de vidrio en ventanas.

Todas estas variables pueden ser estudiadas bajo simulaciones dinámicas, y si bien son interdependientes entre sí, se logran identificar como mayormente relevantes en los desempeños finales de confort térmico y eficiencia energética por demanda en calefacción. El tercer desempeño estudiado es la calidad del aire interior, para la cual no es posible determinar un factor a variar, sino que se propone un caudal de aire mínimo como primicia en cada caso.

A través de evaluaciones cuantitativas y cualitativas, se determinó que las viviendas estudiadas poseen un marcado déficit en su calidad térmica, obligando al usuario a vivir en condiciones térmicas precarias y a sostener un gran costo energético. Esto confirma la generalización a otras viviendas construidas sin consideraciones energéticas, ni térmicas. A partir de este fenómeno, se presenta el mejoramiento energético-ambiental del parque habitacional construido, como opción para la disminución de la demanda energética de la vivienda en términos de calefacción, generando un mejor grado térmico y salubridad interior.

8.2.4 Definición estadística de criterios de desempeños relevantes en función de la demanda energética

Se usa como referencia la Calificación Energética (CE) actual. De los rangos que ésta establece se obtiene que no es recomendable usar la tasa de infiltración de aire que la CE propone, ya que limita la posibilidad de mejorar este desempeño afectando directamente el esfuerzo de mejoramiento de otros criterios de desempeño; y tampoco permite conocer la calificación real de la vivienda existente, ya que no considera la hermeticidad al aire actual de la envolvente.

Dentro de este análisis, se obtienen casos que no cumplen con la Reglamentación Térmica, siendo calificados como G o F, pero que logran disminuir hasta 65% la demanda energética para calefaccionar, y siendo más eficientes que otros casos que si cumplen con RT (califican como E, D o C) pero que demanda más energía. Esto permite concluir que no basta con concentrar esfuerzos en el cumplimiento de una normativa, sino que de preferencia hay que poner atención en soluciones integrales de mejoramiento para alcanzar mayores beneficios.

Bajo la utilización de la CE como referente, se observa que el estudio multifactorial es más sensible al carácter integral que propone esta tesis, determinando que independiente de ser un parámetro muy relevante en la disminución de demanda energética, no basta con mejorarlo de manera individual, sino que la rehabilitación debe integrar los criterios de desempeños de relevancia en el objetivo final.

En los cuatro casos de estudio se observa que utilizando la estrategia de mejoramiento más exigente, se pueden alcanzar demandas energéticas inferiores a 40 kWh/m², es decir 80% más eficiente que la demanda actual.

A partir del estudio multifactorial en función de la demanda energética se obtienen las mismas tres variables como las más relevantes en un mejor resultado para los cuatro casos de estudio:

- Permeabilidad al aire de la envolvente: la tasa de infiltración no debe ser superior a 0,75 ACH.
- El valor de transmitancia térmica del muro exterior debe ser inferior o igual a 0,8 W/m²K.
- Usar sistema de ventilación con recuperación de calor que asegure un caudal mínimo de aire.

La relación integral de los parámetros a mejorar es vital, ya que mejorando solo uno de ellos o bien algún parámetro poco influyente en el mejoramiento, el beneficio obtenido es menor al ideal, que si se puede alcanzar considerando las propuestas integrales. El uso del sistema de ventilación con recuperación de calor por ejemplo está completamente relacionado con la alta hermeticidad al aire de la envolvente, por lo que no pueden ser desarrollados por separado. Si la vivienda sigue presentando altas tasas de infiltración de aire, el uso del sistema de ventilación con HRV no se justifica.

Por otro lado, si estos dos factores fueran mejorados, pero no se considera el disminuir la transmitancia térmica del muro, el esfuerzo por sellar las infiltraciones se verá abolido por las pérdidas de calor a través de este elemento.

De los resultados de relevancia de las los desempeños intermedios se conoció que las ventanas tienen baja incidencia en la disminución de la demanda energética, tanto el tipo de vidrio utilizado, como el porcentaje de ellas en el muro norte. Es decir, por decisión estadística se podrían obviar dichos parámetros. A pesar de esto, se considera evaluar el cambio de vidrio para disminuir el alto riesgo de condensación superficial actual.

Si bien los casos de estudios son variados entre si, se obtienen las mismas variables de mejoramiento, entregando un indicio de que si se abarcara un stock construido representativo, se podrían establecer ciertos objetivos finales de desempeño, reduciendo el tiempo de diagnóstico.

8.2.5 Diagnóstico del mejoramiento propuesto en función del confort térmico

El ahorro monetario debido al desempeño de una disminución de la demanda energética por términos de calefacción, tiene poca influencia dentro de los beneficios del usuario de vivienda social. Debido a la alta vulnerabilidad que estas familias presentan, no destinan los gastos necesarios para satisfacer la demanda de energía para climatizar la vivienda y clasifican dentro del término “pobreza energética”. Entonces, el mayor beneficio obtenido, luego de un rehabilitación energética-ambiental en sus viviendas, es el incremento de la calidad del aire y del confort térmico, debido al aumento de horas dentro de la zona de confort, sobre todo en la temporada fría, donde los usuarios manifestaron sentir frío y considerar las viviendas como inconfortables.

8.2.6 Evaluación de factibilidad de ejecución del mejoramiento bajo el subsidio entregado

Con respecto a los costos que conllevaría el mejoramiento basada en la integración de criterios de desempeño, se cumple con la hipótesis de que es posible desarrollar estrategias basadas en la integración de distintos criterios de desempeños (carácter prestacional) para el mejoramiento energético-ambiental de viviendas sociales existentes en Chile sin exceder el costo destinado por el Estado al actual subsidio de reacondicionamiento térmico (PPPF Título II).

Actualmente las estrategias de mejoramiento implementadas por este subsidio han hecho énfasis en el cambio de ventanas por doble vidrio hermético y en el aumento de la aislación en ciertos muros de la envolvente. Pero el presente estudio devela que las ventanas solo tienen relación con la condensación, resultando ser un parámetro despreciable dentro de la influencia para la disminución de demanda energética y el aumento del confort térmico, pero si relevante en la calidad del aire interior, en términos de humedad. Entonces, esta base de conocimiento lograr establecer directrices para generar mejoramientos más beneficiosos al usuario y a la vivienda social.

Es necesario tener en consideración que ciertos ítems de mejoramiento, como los sellamientos, requieren una mantención, que según profesionales debiesen ocurrir al menos una vez al año. Pero los usuarios no considerarían este tipo de mantenciones dentro de sus gastos, por lo que sería óptimo considerar parte del subsidio para este tipo de mantenciones.

El beneficio que muestra el sellamiento de infiltraciones de aire, es alto en relación al bajo costo que comprende implementar esta estrategia, representando solo 20% de la inversión total. En cambio la instalación de un sistema de ventilación con HRV aumenta en 20% la eficiencia pero la inversión equivale al 40% del total. Aunque el costo-beneficio de las estrategias utilizadas difiera entre una y otra, es importante considerar que las tres son interdependientes al momento de entregar beneficios.

El gobierno desempeña un papel fundamental en el ahorro de energía en el sector residencial vulnerable, donde no solo existen grandes barreras financieras para acceder al consumo de energía, sino también para acceder a productos más eficientes energéticamente. Entonces, la ayuda financiera para programas de eficiencia energética es vital, junto con la definición de nuevas normativas, que aumenten y mejoren los estándares relacionados a los desempeños de eficiencia energética, confort térmico y calidad del aire interior. Se espera que estudios como

el presente, permitan ser directrices para el perfeccionamiento y actualización de normas relacionadas a la eficiencia energética. Se concluyó que considerar requisitos de desempeños, tales como, tasa de infiltración de aire o mínimos caudales de ventilación, es fundamental en el mejoramiento de una vivienda existente, pero ocurre que actualmente estos desempeños no están estandarizados para viviendas nuevas, y menos para el mejoramiento de las existentes.

La inversión del mejoramiento energético-ambiental en viviendas sociales, financiada por subsidio, debe ser considerada como un ahorro energético y no un ahorro monetario, cuyo mayor beneficio, relacionado al costo, se observa en confort térmico para la temporada fría y calidad del aire durante todo el año. Esta inversión, vista desde la política habitacional, debe ser razonada como una inversión social. En el desarrollo de nuevas reglamentaciones el confort y la salud del usuario deben estar integrados, ya que actualmente el foco ha estado puesto solo en la eficiencia energética.

8.3 Implicancia de los resultados en el parque construido de viviendas de bajo costo y en la arquitectura

La implicancia que tienen estos resultados en el parque construido de viviendas sociales, es generar conocimiento para el mejoramiento energético-ambiental mediante la inclusión de distintos criterios de desempeños de forma integral, debido a la interdependencia que existe entre ellos para objetivos finales, que no se logran con mejoramiento de desempeños de manera independiente y aislada.

Intervenir las viviendas existentes garantiza una extensión de su vida útil, relacionado con la durabilidad, mejorando sus propiedades físico-constructivas y reduciendo los niveles actuales de consumo energético y contaminación interior, haciéndola así más sustentable y ofreciendo al usuario mejores condiciones de confort.

Lo ideal para este tipo de viviendas y usuarios (bajo la línea de la pobreza energética) es evitar el uso de sistemas de calefacción. De los resultados obtenidos, se señala teóricamente, que seguirá siendo necesario el uso de un sistema de calefacción pero por menos tiempo, debido a la disminución de demanda conseguida. Situación que pudiese ser similar a la actual, donde el usuario solo acciona el sistema de calefacción por pocas horas, con la diferencia de que post-mejoramiento la temperatura interior aumenta considerablemente en épocas frías. Se incrementa el confort térmico y por ende, se obtiene un beneficio directo para el usuario.

Estudios de este tipo, permiten concluir que existen ciertos desempeños que aún no son considerados en las normativas vigentes, las mismas que son aplicadas a viviendas nuevas, que formarán parte del parque habitacional construido. Si bien la Reglamentación Térmica ha sido un paso adelante en temas de eficiencia energética y confort térmico, no han considerado de manera holística distintos criterios de desempeños que tienen relevancia en los estándares finales.

De esta manera se sugiere incluir ya en la génesis de las viviendas de bajo costo, estudios técnicos de casos similares, mejoras en la calidad constructiva y, si se quiere asegurar una correcta ventilación (y que no dependa del usuario), se propone la instalación de equipamientos que aseguren un caudal de aire mínimo. El objetivo de involucrar estos desempeños desde el inicio, es entregar que no requieran de mejoramientos energético-ambientales en el tiempo, sino que solo mantenciones.

Debido al tamaño y espacialidad de las viviendas en estudio, no se sugieren cambios en la espacialidad interior para generar un mejoramiento energético-ambiental, más bien las directrices apuntan específicamente a desempeños relacionados con la envolvente y a usos de sistema de ventilación con la posibilidad de recuperación de calor.

Se concluye que el diseño de una vivienda debiera tender hacia la compacidad y uniformidad en la construcción, para poder de esta forma evitar mayor pérdidas calóricas desde el interior. En el ámbito arquitectónico se propone también evitar la flexibilidad de crecimiento, controlando los espacios que se proponen como ampliables. Bajo esta perspectiva se debiera diseñar ese espacio de tal manera que quedara adosado a la vivienda contigua, potenciando la compacidad entre volúmenes.

Se propone que la ventilación se debe definir a partir de la configuración espacial, que favorezcan la calidad del aire interior al ser aumentada la hermeticidad al aire de la envolvente.

Se sugiere enseñar al usuario cambios de hábitos que permitan extender la durabilidad de sus viviendas, como por ejemplo, el secado de ropa, que debiese suceder en el exterior; o bien como ventilar la vivienda de manera adecuada sin exceder el caudal mínimo por ejemplo.

8.4 Futuras líneas de investigación

8.4.1 Investigaciones de línea directa con el estudio

Se espera desarrollar una segunda etapa, la cual apunta a repetir la metodología de diagnóstico en la vivienda existente, ya con las estrategias de mejoramiento implementadas en las

viviendas estudiadas, utilizando el monto del subsidio que se otorga actualmente. Con la ejecución de éstos, se medirían las mismas propiedades diagnosticadas en una primera instancia, completando de este modo el mismo ciclo de: diagnóstico – mejoramiento – diagnóstico.

Otra pesquisa tiene por objetivo analizar proyectos de viviendas nuevas, bajo esta metodología, para así conocer si son los mismos desempeños integrados los que influyen en un correcto comportamiento energético-ambiental, y ya con la Reglamentación Térmica en vigencia. De este modo se generarían diferencias, o similitudes, de proyectos de mejoramiento energético-ambiental en una vivienda existente, o bien el proceso de diseño de otra nueva.

Se propone también ampliar el estudio, bajo la misma metodología, a otras zonas térmicas del país para conocer si son los mismos desempeños integrados los que deben tomarse en consideración al momento de mejorar una vivienda.

Considerar el uso de sistemas de energía renovable como estrategias de mejoramiento energético-ambiental en viviendas existentes pudiese ser un aporte para aquellas edificaciones que tengan más recursos. En esta tesis no se consideró debido a los altos costos económicos involucrados, y debido también al ser propiedades que no dependen netamente de la arquitectura y construcción de la vivienda. A excepción del sistema de ventilación con recuperación de calor (con *bypass*), se propusieron estrategias pasivas, más baratas y de mantenimiento más simple. Además se podrían incluir los puentes térmicos, como otra variable a estudiar según relevancia en los desempeños propuestos. Pero cabe hacer el reparo, en es un parámetro que se vuelve más complejo de analizar, debido a ser muy particular a cada caso de estudio.

8.4.2 Investigaciones que involucran temas correspondientes a distintas disciplinas

Se propone desarrollar un manual de recomendaciones de mejoramiento energético-ambiental, basado en criterios de desempeños aplicados de manera integral para distintas tipologías de viviendas y zonas térmicas.

Desde el estado del arte, y de la consideración del usuario en el estudio, se hace necesario estudiar la salud de éste, y de cómo esta pudiese variar luego de aplicar los mejoramientos bajo los desempeños propuestos. Para aquello se aconseja establecer un estudio interdisciplinario donde se compare aquella vivienda existente sin mejoras y otra con.

En relación a las diferencias medidas entre el valor U medido del muro, y el calculado matemáticamente, se propone desarrollar un factor que pudiese ser restado al valor calculado, el cual dependerá de los años de uso de la vivienda, de su materialidad, de la humedad exterior e interior, de la aislación térmica y higrotérmica que tenga, etc.

FIGURAS

[01] ANTECEDENTES

Figura 1.1: Central eléctrica (www.chilerenovables.cl)	20
Figura 1.2: Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Reglamentación Térmica) (MINVU, 2006).	21
Figura 1.3: Esquema de la situación actual de los mejoramientos propuestos para viviendas, en comparación con el sistema integral bajo tres desempeños finales que propone la presente tesis.	27
Figura 1.4: Esquema de metodología de diagnóstico para obtener resultados que permitan conocer los desempeños a estudiar.	33
Figura 1.5: Niveles de jerarquía, especificado en el NKB Report N° 34-1978 (Performance Based Building Thematic Network, 2005)	34
Figura 1.6: Mapa de Ruta para el desarrollo de la investigación	36

[02] MARCO TEÓRICO

Figura 2.1: Balance Energía primaria en Chile (CNE, 2011).	49
Figura 2.2: Elementos influyentes en el mejoramiento de un edificio (Ma et al, 2012).	52
Figura 2.3: Emisiones de CO ₂ en Millones de Toneladas (PNUD, 2008).	53
Figura 2.4: Aumento del consumo energético en Chile (Cepal, 2008).	53
Figura 2.5: Distribución consumo energía a nivel residencial, total país. Fuente: Estudio de usos finales y curva de la oferta de la conservación de la energía en el sector residencial, CDT (2010).	54
Figura 2.6: Gráfico de tramos de temperatura efectiva medida en las viviendas por ciudad en invierno (Campos, 2008)	58
Figura 2.7: Tramos de temperatura efectiva medida en las viviendas por ciudad en verano (Campos 2008).	59
Figura 2.8: Ejemplos de viviendas sometidas a mejoramiento bajo algunos programas mostrados en la Tabla 2.5.	62
Figura 2.9: Casas en Roosendaal. Antes (izquierda) y después (derecha) del mejoramiento. Demanda energética para calefacción antes del mejoramiento: 150 kWh/m ² año, y después de él: 25 kWh/m ² año. (http://www.e2rebuild.eu , 2012).	67
Figura 2.10: Imagen 3D de la vivienda estudiada.	73
Figura 2.11: Permisos de Edificación (Miles). Fuente: Observatorio Habitacional, 2012.	78
Figura 2.12: Permisos de Edificación (Miles). Fuente: Observatorio Habitacional, 2012.	78
Figura 2.13: Total País: número de subsidios otorgados período 2000-2009 (MINVU, 2010)	79
Figura 2.14: Total País: montos otorgados en subsidios según año en UF. Período 2000-2009 (MINVU, 2010)	79
Figura 2.15: Porcentaje de viviendas construidas antes de la RT, durante la primera y etapa y después de ésta. (Observatorio Habitacional, 2012).	83

[03] ESTANDARES DE DESEMPEÑOS PRESTACIONALES

Figura 3.1: Mecanismos de transferencia del calor en una vivienda (Bustamante y Rozas, 2009).	136
Figura 3.2: Imágenes del antes y después de la estrategia de sellados en pisos y techumbres (Nabinger y Persily, 2011).	109
Figura 3.3: Sistema de Ventilación en Funcionamiento (Meiss y Feijo, 2011)	129
Figura 3.4: Sistema de Ventilación con recuperación de calor dentro de un closet (Intelliget Energy Europe, 2008).	130

[04] DEFINICIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

Figura 4.1: Número de Subsidios Otorgados del Programa de Protección Del Patrimonio Familiar, Título II (Mejoramiento de vivienda). Año 2011 (Observatorio Habitacional, 2012).	138
Figura 4.2: Ubicación de Hualpén en la Región del Bío – Bío. Der.: Ubicación de Hualpén en la Provincia de Concepción.	139
Figura 4.3: Plano referencial de la Comuna Hualpén indicando barrios y sectores (Elaboración propia en base a información de DOM Hualpén, 2011).	143
Figura 4.5: Clasificación según tipo de vivienda	144
Figura 4.6: Viviendas Sociales construidas con y sin Reglamentación Térmica.	144
Figura 4.7: Cantidad de Viviendas Sociales construidas en cada década desde el año 1961 hasta el año 2011.	144
Figura 4.8: Cantidad de Viviendas Sociales Construidas según Tipología.	144
Figura 4.9: Cantidad de Viviendas Sociales Construidas según Superficie.	145
Figura 4.10: Cantidad de Viviendas Sociales construidas según 1 o 2 niveles.	145
Figura 4.11: Materialidad más utilizada en Viviendas Sociales de 1 nivel.	146
Figura 4.12: Materialidad más utilizada en Viviendas Sociales de 2 niveles.	146
Figura 4.13: Resultados del estudio multifactorial de las combinaciones encontradas a partir de las tipologías catastradas en Hulpén.	147
Figura 4.14: Planta de la vivienda Cabo Aroca estudiada.	148
Figura 4.15: Imágenes de la tipología del barrio Cabo Aroca	148
Figura 4.16: Imágenes interiores de la vivienda Cabo Aroca	149
Figura 4.17: Planta de la vivienda Peñuelas II estudiada	150
Figura 4.18: Imágenes de la tipología del barrio Peñuelas II.	150
Figura 4.19: Imágenes interiores de la vivienda Peñuelas II	151
Figura 4.20: Planta primer nivel vivienda Presidente Aylwin.	151
Figura 4.21: Planta segundo nivel vivienda Presidente Aylwin	152
Figura 4.22: Imágenes de la tipología del barrio Presidente Aylwin	152
Figura 4.23: Imágenes interiores de la vivienda Presidente Aylwin.	153
Figura 4.24: Planta primer nivel vivienda Villa El Triángulo	153
Figura 4.25: Planta segundo vivienda Villa el Triangulo	154
Figura 4.26: Imágenes de la tipología del barrio Villa el Triángulo	154
Figura 4.27: Imágenes interiores de la vivienda Villa el Triángulo.	154

[05] DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSTRUCTIVO DE CASOS Y DE PERCEPCIÓN DEL USUARIO

Figura 5.1: Diagrama del funcionamiento del sistema de medición de termoflujometría. (1) Medición y Control, (2) adaptador de alimentación	163
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

eléctrica, (3) computador almacenador de datos, (4) termocuplas en serie, y (5) placas de flujo de calor o sensores.	
Figura 5.2: Termofotografía de la envolvente construida con madera.	165
Figura 5.3: Fotografías de las mediciones de termo-flujometría en dos de los casos de estudio.	165
Figura 5.4: Dispositivo donde se ingresan los datos fijos de la vivienda (Temperatura, volumen de la vivienda, área del piso y de la envolvente).	166
Figura 5.5: Instalación de los equipos.	167
Figura 5.6: Inicio del Blower Door Test.	167
Figura 5.7: Gráfico de Comparación de Estándares Internaciones y resultados obtenidos de los casos de estudio.	170
Figura 5.8: Elementos de la construcción que contribuyen a las fugas de aire en una vivienda tipo (Kalamees, 2007).	171
Figura 5.10: Comparación de valores de infiltración de aire por hora en cada caso de estudio según distintos estándares.	178
Figura 5.11: Rango de aceptabilidad según nivel de confort térmico para edificios ventilados naturalmente. (ASHRAE 55, 2010).	185
Figura 5.12: Temperaturas aceptadas como temperaturas neutras de confort según cada modelo adaptativo.	187
Figura 5.13: Comparación de demanda energética anual para un mismo espacio con características iguales, pero con diferente ocupación.	189
Figura 5.14: Temperaturas Operativas Interiores Horarias durante Temporada Cálida para los casos de estudio.	193
Figura 5.15: Frecuencia de Temperatura de los casos de estudio en Temporada Cálida (Oct-Mar).	194
Figura 5.16: Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Cálida en Villa El Triángulo Ampliada.	195
Figura 5.17: Comparación de Frecuencia de Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Cálida en Villa El Triángulo Inicial y Ampliada.	195
Figura 5.18: Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Cálida en Peñuelas II Ampliada.	196
Figura 5.19: Comparación de Frecuencia de Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Cálida en Peñuelas II Inicial y Ampliada.	196
Figura 5.20: Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Cálida en Presidente Aylwin Terminal.	197
Figura 5.21: Comparación de Frecuencia de Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Cálida en Presidente Aylwin Continua y Terminal.	197
Figura 5.22: Temperaturas Operativas Interiores Horarias durante Temporada Fría para los casos de estudio.	198
Figura 5.23: Frecuencia de Temperatura de los casos de estudio en Temporada Fría (Abr-Sep).	198
Figura 5.24: Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Fría en Villa El Triángulo Ampliada.	199
Figura 5.25: Comparación de Frecuencia de Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Fría en Villa el Triángulo Inicial y Ampliada.	200
Figura 5.26: Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Fría en Peñuelas II Ampliada.	200

Figura 5.27: Comparación de Frecuencia de Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Fría en Peñuelas II Inicial y Ampliada.	200
Figura 5.28: Temperatura Operativa Interior Horaria durante Temporada Fría en Presidente Aylwin Terminal.	201
Figura 5.29: Frecuencia de Temperatura de Aylwin Continua y Terminal en temporada fría.	201
Figura 5.30: Ganancia Solar desde Ventanas Exteriores (kW/h).	202
Figura 5.31: Comparación de Demanda Energética (kWh/m ² año) durante Abril-Septiembre.	204
Figura 5.32: Grafica de la variación de la demanda de calefacción al modificar la forma y nivel de adosamiento (Bustamante y Rozas, 2009).	205
Figura 5.33: Sumatoria de cambios de aire por ahora (Infiltraciones y Ventilación).	206
Figura 5.34: Desglose de pérdidas de energías por elemento de los cuatro casos de estudio en sus estados originales.	207
Figura 5.35: Diferencia de consumo energético para calefaccionar en una vivienda con conocimientos de eficiencia energética y otra sin.	210
Figura 5.36: Encuesta aplicada en las viviendas.	218
Figura 5.37: Respuestas relacionadas a las ocupaciones de las viviendas.	220
Figura 5.38: Porcentaje de uso de algún sistema para enfriar el interior de la vivienda en los cuatro barrios.	221
Figura 5.39: Puntuación del confort en verano según percepción de usuarios.	222
Figura 5.40: Porcentaje de uso de algún sistema para calefaccionar el interior de la vivienda en los cuatro barrios.	223
Figura 5.41: Porcentaje de uso de distintas fuentes de energía para calefaccionar el interior de la vivienda en los cuatro barrios.	223
Figura 5.42: Puntuación del confort en invierno según percepción de usuarios.	224
[06] ANÁLISIS MULTIFACTORIAL DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO SEGÚN DESEMPEÑOS	
Figura 6.1: (Superior) Gráfico de demandas energéticas a partir del caso real con estrategias de mejoramiento propuestas. Se destacan caso real, base E1 y E2 y sus respectivos mejores casos. (Inferior) Tabla con valores de factores utilizados en cada estrategia.	248
Figura 6.2: Comparación de calificación energética según demanda energética para calefacción de la vivienda Cabo Aroca con 1 ACH (izquierda) y distinto niveles (derecha) de tasa de infiltración.	249
Figura 6.3: (Superior) Gráfico de demandas energéticas a partir del caso real con estrategias de mejoramiento propuestas. Se destacan caso real, base E1 y E2 y sus respectivos mejores casos. (Inferior) Tabla con valores de factores utilizados en cada estrategia.	252
Figura 6.4: Comparación de calificación energética según demanda energética para calefacción de la vivienda El Triángulo con 1 ACH (izquierda) y distinto niveles (derecha) de tasa de infiltración.	253
Figura 6.5: (Superior) Gráfico de demandas energéticas a partir del caso real con estrategias de mejoramiento propuestas. Se destacan caso real, base E1 y E2 y sus respectivos mejores casos. (Inferior) Tabla con valores de factores utilizados en cada estrategia.	255

Figura 6.6: Comparación de calificación energética según demanda energética para calefacción de la vivienda Peñuelas II con 1 ACH (izquierda) y distinto niveles (derecha) de tasa de infiltración.	256
Figura 6.7: (Superior) Gráfico de demandas energéticas a partir del caso real con estrategias de mejoramiento propuestas. Se destacan caso real, base E1 y E2 y sus respectivos mejores casos. (Inferior) Tabla con valores de factores utilizados en cada estrategia.	258
Figura 6.8: Comparación de calificación energética según demanda energética para calefacción de la vivienda Presidente Aylwin con 1 ACH (izquierda) y distinto niveles (derecha) de tasa de infiltración.	259
Figura 6.9: Comparación del total de energía demanda para calefaccionar las viviendas estudiadas antes y después de la mejor estrategia de mejoramiento propuesta.	262
Figura 6.10: Comparación de influencia de parámetros altos y bajos de cada factor para cada caso de estudio.	265
Figura 6.11: Diagrama de normalización principal por variable de Cabo Aroca.	269
Figura 6.12: Diagrama de normalización principal por variable de El Triángulo.	271
Figura 6.13: Diagrama de normalización principal por variable de Peñuelas II.	272
Figura 6.14: Diagrama de normalización principal por variable de Presidente Aylwin.	273
[07] EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS	
Figura 7.1: Comparación de gráficos de temperatura dentro y fuera de la zona de confort en temporada cálida. Izquierda: Peñuelas Inicial. Derecha: Peñuelas mejorada P1.	284
Figura 7.2: Comparación de gráficos de temperatura dentro y fuera de la zona de confort durante la temporada fría. Izquierda: Peñuelas Inicial. Derecha: Peñuelas mejorada P1.	284
Figura 7.3: Comparación de gráficos de temperatura dentro y fuera de la zona de confort durante la temporada cálida. Izquierda: El Triángulo Inicial. Derecha: El Triángulo mejorada.	287
Figura 7.4: Comparación de gráficos de temperatura dentro y fuera de la zona de confort. Izquierda: El Triángulo Inicial. Derecha: El Triángulo mejorada.	288
Figura 7.5: Cambio de ventanas en una vivienda existente en Hualpén, utilizando el subsidio PPPF, Título II.	289
Figura 7.6: Imágenes de referencia de un sistema EIFS comercializado en Chile (Andesco, 2013).	290
Figura 7.7: Imagen referencial del recuperador de calor con intercambiador de flujos cruzados.	291
Figura 7.8: Demanda energética por calefacción asociado a cada presupuesto analizado para la vivienda Peñuelas II.	293
Figura 7.9: Porcentaje de horas dentro de la zona de confort para cada temporada asociado al presupuesto que considera tres desempeños integrados para la vivienda Peñuelas II.	293
Figura 7.10: Demanda energética por calefacción asociado a cada presupuesto analizado para Villa el Triángulo.	293
Figura 7.11: Porcentaje de horas dentro de la zona de confort para cada temporada asociado al presupuesto que considera tres desempeños integrados para Villa el Triángulo	294

LISTADO DE FIGURAS

TABLAS

[02] MARCO TEÓRICO

Tabla 2.1: Dependencia Energética (% del total) (CNE, 2011).	48
Tabla 2.2: Perfil de consumo anual a nivel nacional, por tipo de combustible y por uso, en kWh por vivienda (CDT, 2010b)	49
Tabla 2.3: Consumo total promedio de energía en kWh según zona térmica (CDT, 2010b)	49
Tabla 2.4: Consumo total promedio de energía en kWh según nivel socio económico (CDT, 2010).	49
Tabla 2.5: Resumen de Proyectos más significativos y trascendentales en viviendas sociales a nivel mundial y nacional.	63
Tabla 2.6: Comparación de resultados entre la vivienda original y la mejorada en relación a lo exigido por el estándar Passivhaus.	73

[03] ESTANDARES DE DESEMPEÑOS PRESTACIONALES

Tabla 3.1: Demanda de Calefacción en una vivienda unifamiliar aislada según diferentes tasas de intercambio de aire en Concepción (Bustamante et al, 2009).	118
Tabla 3.2: Valores límites establecidos por CTE para los caudales de ventilación exigidos por local de la vivienda (HS3 de CTE)	122
Tabla 3.3: Desempeños finales e intermedios con sus respectivos indicadores, variables de diseño y métodos de verificación.	124

[04] DEFINICIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

Tabla 4.1: Transmitancia y Resistencia Térmica para cada zona térmica (O.G.U.C 4.1.10).	140
Tabla 4.2: Porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a parámetros verticales de la envolvente (O.G.U.C 4.1.10).	141
Tabla 4.3: Categorías y niveles para el estudio multifactorial.	146

[05] DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSTRUCTIVO DE CASOS Y DE PERCEPCIÓN DEL USUARIO

Tabla 5.1: Valores U (W/m ² K) calculados en los componentes de la envolvente de cada caso de estudio	161
Tabla 5.2: Resultados de mediciones de termo-flujometrías en elementos de fachada principal.	168
Tabla 5.3: Resultados de la medición de despresurización con el Blower Door Test.	170
Tabla 5.4: Estándares exigidos de hermeticidad al aire en algunos países de referencia, medidos a 50 Pa y con 1/h como unidad de medida (Economidou, 2011).	177
Tabla 5.5: Factor según el nivel de protección al viento del edificio (Sherman, 1986)	177
Tabla 5.6: Métodos de cálculo del valor de intercambio de aire por hora.	177
Tabla 5.7: Intercambio de aire por hora obtenidos de diferentes métodos de cálculo para cada caso de estudio.	178

Tabla 5.8: Valores de Temperaturas Medias Mensuales registradas en Concepción (NCh 1079, 2010).	186
Tabla 5.9: Muestra de valores de temperaturas medias máximas y mínimas aceptadas dentro del rango de confort según distintos modelo adaptativos.	186
Tabla 5.10: Temperaturas máximas y mínimas aceptadas para concepción en base al modelo adaptativo de ASHRAE 55.	187
Tabla 5.11: Condiciones borde para los casos de estudio.	192
Tabla 5.12: Horas dentro y fuera del rango de temperatura para estar en zona de confort durante la temporada cálida	194
Tabla 5.13: Horas dentro y fuera del rango de temperatura para estar en zona de confort durante la temporada fría.	199
Tabla 5.14: Ganancias solares anuales respecto a la(s) planta(s) de cada vivienda.	202
Tabla 5.15: Demanda Energética para Calefaccionar durante Abril-Septiembre.	204
Tabla 5.16: Orden de elementos desde mayor a menor pérdida de energía por vivienda.	207
Tabla 5.17: Resultado del tamaño de muestra necesario por barrio.	214
[06] ANÁLISIS MULTIFACTORIAL DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO SEGÚN DESEMPEÑOS	
Tabla 6.1: Humedad relativa y Temperatura de aire interior y exterior, para criterio de desempeño.	237
Tabla 6.2: Niveles de valor U en muros establecidos para cada caso de estudio.	239
Tabla 6.3: Niveles de valor U en techumbre establecidos para cada caso de estudio.	240
Tabla 6.4: Niveles de valor U en pisos no ventilados establecidos para cada caso de estudio.	240
Tabla 6.5: Niveles de valor U en ventanas establecidos para cada caso de estudio.	241
Tabla 6.6: Niveles de porcentaje de superficie vidriada en el muro norte establecidos para cada caso de estudio.	241
Tabla 6.7: Niveles de tasas de infiltraciones de aire establecidos para cada caso de estudio.	242
Tabla 6.8: Niveles de uso de sistema de ventilación con, o sin, recuperación de calor establecidos para cada caso de estudio.	243
Tabla 6.9: Calificación de Arquitectura (demanda de energía en calefacción). (C=Caso base).	246
Tabla 6.10: Ejemplo de ilustración de certificación de una vivienda como "C".	246
Tabla 6.11: Combinaciones de factores más frecuentados en cada rango de la Calificación energética para Cabo Aroca con 1 ACH y ACH real.	250
Tabla 6.12: Combinaciones de factores más frecuentados en cada rango de la Calificación energética para El Triángulo con 1 ACH y ACH real.	254
Tabla 6.13: Combinaciones de factores más frecuentados en cada rango de la Calificación energética para Peñuelas II con 1 ACH y ACH real.	257
Tabla 6.14: Combinaciones de factores más frecuentados en cada rango de la Calificación energética para Pdte. Aylwin con 1 ACH y ACH real.	260
Tabla 6.15: Comparación de influencia de niveles de cada parámetro en los casos de estudio.	264
Tabla 6.16: Nomenclatura para estudio de Box-Cox.	268
Tabla 6.17: Estrategias más influyentes en los casos de estudio según estudios estadístico con Box-Cox.	274

[07] EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS

Tabla 7.1: Demanda energética por calefacción en vivienda Peñuelas II inicial y mejorada con los desempeños intermedios propuestos.	282
Tabla 7.2: Demanda energética por calefacción en vivienda Peñuelas II inicial y mejorada con los desempeños propuestos más el cambio de vidrio simple a doble vidrio hermético.	283
Tabla 7.3: Porcentaje de horas bajo, dentro y sobre la zona de confort en temporada Cálida para la vivienda Peñuelas II inicial y mejorada.	283
Tabla 7.4: Porcentaje de horas bajo, dentro y sobre la zona de confort en Temporada Fría para la vivienda Peñuelas II inicial y mejorada.	284
Tabla 7.5: Demanda energética por calefacción en vivienda El Triángulo inicial mejorada.	286
Tabla 7.6: Demanda energética por calefacción en vivienda El Triángulo inicial mejorada con los desempeños propuestos más el cambio de vidrio simple a doble vidrio hermético.	286
Tabla 7.7: Porcentaje de horas bajo, dentro y sobre la zona de confort en Temporada Cálida para la vivienda El Triángulo inicial y mejorada.	287
Tabla 7.8: Porcentaje de horas bajo, dentro y sobre la zona de confort en Temporada Fría para la vivienda El Triángulo inicial y mejorada.	287
Tabla 7.9: Evaluación económica de estrategias de mejoramiento aplicadas en vivienda Peñuelas II.	292
Tabla 7.10: Evaluación económica de estrategias de mejoramiento aplicadas en vivienda El Triángulo.	294

BIBLIOGRAFÍA

- ACUÑA, H. ¿Cambia el consumo eléctrico de los hogares cuando cambia el precio? Sugerencias para el diseño de un subsidio. Santiago, MIDEPLAN, 2009.
- AELENEI, D. Y HENRIQUES, F. Analysis of the condensation risk on exterior surface of building envelopes. Energy and Buildings 40(10): 1866–1871, 2008.
- AIVC. Sobre definiciones y tasas de infiltración de aire. [En línea] <<http://www.aivc.org>> [Consulta: 06 marzo, 2011].
- AMBIENTE CONSULTORES. Programa de Inversión Pública para Fomentar el Reacondicionamiento Térmico del Parque Construido de Viviendas. En: Resumen Ejecutivo: ETAPA 1. Preinversional para el Reacondicionamiento Térmico del Parque de Viviendas Existentes y ETAPA 2: Modelos de gestión. Santiago, PRIEN, Universidad de Chile, 2007.
- AMSTALDEN, R., KOST, M., NATHANI, C. Y IMBODEN, D. Economic potential of energy-efficient retrofitting in the Swiss residential building sector: The effects of policy instruments and energy price expectations. Energy Policy 35(1): 1819–1829, 2007.
- ANDERSEN, R., TOFTUM, J., ANDERSEN, K. Y OLESEN, B. Survey of occupant behaviour and control of indoor environment in Danish dwellings. Energy and Buildings 41(1): 11–16, 2009.
- ANON. Une certification Qualitel NF pour les maisons individuelles. CSTB Magazine 120: 1998
- ARRIAGADA, C. Y MORENO, J. El crecimiento de los hogares en Chile. Proyección y análisis de la evolución de los hogares a escala nacional, regional y comunal (2002-2018). VIII Estudios y Temas. Santiago, MINVU, 2008.
- ASADI, E., DA SILVA, M., ANTUNES, C. y DIAS, L. Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application. Energy and Buildings 44(1): 81-87, 2012 a.
- ASADI, E., DA SILVA, M., ANTUNES, C. y DIAS, L. A multi-objective optimization model for building retrofit strategies using TRNSYS simulations, GenOpt and MATLAB. Building and Environment 56: 370-378, 2012 b.
- ASCIONE, F., DE ROSSI, F. VANOLI, G. Energy retrofit of historical buildings: theoretical and experimental investigations for the modelling of reliable performance scenarios. Energy and Buildings 43(8): 1925–1936, 2011.
- ASHRAE. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Standard 55. Atlanta, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010.
- ASHRAE. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Standard 90.1. Atlanta, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010.
- AULICIEMS, A. Thermal Comfort. In *Building Design and Human Performance*. Ed. Ruck, N. New York, Van Nostrand, 1989. pp. 71-88.
- BAKER, N. Thermal comfort evaluation for passive cooling. *Solar Energy in Architecture and Urban Planning*. W. Palz (Ed.). Bedford, H. Stephens Associates, 1993.
- BAIRD, G. Y FIELD C. Thermal comfort conditions in sustainable buildings e Results of a worldwide survey of users' perceptions. Renewable Energy: 2012
- BAIRD, G. Incorporating User Performance Criteria into Building Sustainability Rating Tools (BSRTs) for Buildings in Operation. Sustainability 1(4): 1069-1086, 2009.
- BAIRD, G., DONN, M., POOL, F., BRANDER, W. y AUN, C. *Energy Performance of Buildings*. CRC Press Lyd. Florida, Boca Ratón, 1984, p7.
- BERKHOUT, P., MUSKENS, J. y VELTHUIJSEN, J. Defining the rebound effect. Energy Policy 28(6-7): 425–432, 2000.

BIBLIOGRAFÍA

- BERNAL, C. Metodología de la investigación para Administración y Economía, humanidades y ciencias sociales. 2da edición. México: Pearson Educación, 2006.
- BERR. The UK Fuel Poverty Strategy 5th Annual Progress Report. [En línea] <http://www.berr.gov.uk/files/file42720.pdf>. [Consulta: 18 diciembre 2008].
- BESSER, D., RODRIGUES, L. Y BOBADILLA, A. New Chilean Building Regulations and Energy Efficient Housing in Disaster Zones. En: PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture. Lima, Perú 7-9 November, 2012.
- BLOWER DOOR TEST. Sobre el funcionamiento. [En línea] <<http://www.blowerdoor.es>> [consulta: 03 marzo, 2012].
- BOBADILLA, A. Permeabilidad al aire de viviendas. En Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío. Concepcion, Chile: Universidad del Bío-Bío, 2009.
- BODACH, A. y HAMHABER, J. Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil. Energy Policy 38(12): 7898–7910, 2010.
- BOERI, A., GABRIELLI, L. Y LONGO, D. Evaluation and feasibility study of retrofitting interventions on social housing in Italy. Procedia Engineering 21: 1161-1168, 2011.
- BOOTH, A., CHOUDHARY, R. Y SPIEGELHALTER, D. Handling uncertainty in housing stock models. Building and Environment 48(1): 35-47, 2011.
- BORDASS, B. A Guide to Feedback. London, Usable Buildings Trust, 2009.
- BUSTAMANTE, W. Y ROZAS, Y. Guía de diseño para la Eficiencia energética en la Vivienda Social. Serie II Tecnología de la Construcción. Santiago: Monografía y Ensayos Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009.
- BUSTAMANTE, W., CEPEDA, R., MARTINEZ, P. y SANTA MARIA, H. Eficiencia energética en vivienda social: un desafío posible. Capítulo IX, Camino al Bicentenario. Propuestas para Chile. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009. 30p.
- BUSTAMANTE, W. Y ENCINAS, F. Parámetros de diseño y desempeño energético en edificios de clima mediterráneo. ARQ 82: 116-119, 2012.
- BUSTAMANTE, W. Y ENCINAS, F. Análisis y simulación de la demanda energética de calefacción en una vivienda tipo con soluciones de envolvente estructuradas en MSD y AraucoPly de Arauco. Santiago, Asesorías en Sustentabilidad, 2008.
- BUSTAMANTE, W., BOBADILLA, A., NAVARRETE, B., SAELZER, G. Y VIDAL, S. Uso Eficiente de la Energía en Edificios Habitacionales. Mejoramiento Térmico de Muros de Albañilería de Ladrillos Cerámicos. El Caso de Chile. Revista de la Construcción 4(2): 5-12, 2005.
- BYCROFT, P y MCGREGOR, K. Post Occupancy Evaluation (POE) and sustainable design. Environmental Design Guide. Australia, BDP, 2002.
- CACERES L. Contaminación intradomiciliaria en un sector de extrema pobreza de la comuna de La Pintana. Revista médica Chile 129(1): 33-42, 2001.
- CAMPOS, J. Determinación de Línea Base “Anual” para la evaluación de la Inversión en Eficiencia Energética en el Sector Residencial Invierno 2007 – Verano 2008. Santiago: Proyecto Fomento de la Eficiencia Energética (CNE/GTZ), 2008. 44p.
- CASTILLO, MJ., FORRAY, R. y SEPÚLVEDA C. Más allá de los resultados cuantitativos: los desafíos de la política de vivienda en Chile. Santiago: Laboratorio de Vivienda / Universidad Nacional Andrés Bello, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2008.
- CASTILLO, G. y MALDONADO, P. Situación de la Energía en Chile. Desafíos para la Sustentabilidad. Santiago, Programa Chile Sustentable, 2004, 117p.

- CAUBERG-HUYGEN CONSULTING ENGINEERS y OP 'T VELD, P. ECOLISH: Energy Exploitation and Performance Contracting for Low Income and Social Housing. 2009
- CELIS, F., GARCIA, RODRIGO, TREBILCOCK, M., ESCORCIA O., MIOTTO, U. Y DIAZ, M. Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile. *Arquiteturarevista* 8(1): 62-75, 2012.
- CEPAL. La economía del cambio climático en Chile. Síntesis. Santiago, Cepal. 2009.
- CHAPPELLES H. Y SHOVE, E. Comfort: A review of philosophies and paradigms. Lancaster University, 2004.
- CHMUTINA, K. Y GOODIER, C. Performance contracting and retrofit: an example of berlin's success. Nottingham, Workshop 27 de enero, 2011.
- CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS (CIBSE) Sobre estándares [En línea] <<http://www.cibse.org/>> [Consulta: 09 diciembre 2012].
- CHIDIAC, S., CATANIA, E., MOROFSKY, E. Y FOO, S. Effectiveness of single and multiple energy retrofit measures on the energy consumption of office buildings. *Energy* 36(8): 5037-5052, 2011.
- CIPRIANO, X. Rehabilitación energética de edificios en Cataluña. *En*: CDT 2009. Santiago: 2009
- CODIGO TECNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE). Documento Básico de Salubridad. [En línea] <http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB_HS_2009.pdf> [Consulta: 07 Noviembre 2012].
- CODIGO TECNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE). Documento Básico de Ahorro de Energía. [En línea] <http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB_HE_abril_2009.pdf> [Consulta: 07 Noviembre 2012].
- COHEN, R. GILBERT, H., STANDEVEN, M., BORDASS, B. Y LEAMAN, A. Assessment of building performance in use: the Probe process. Reino Unido: Building Research and Information, 2001.
- COHEN, S., GOLDMAN, C. Y HARRIS, J. Energy savings and economics of retrofitting single-family buildings. *Energy and Buildings* 17(4): 297-311, 1991.
- COUNCIL OF AUSTRALIAN GOVERNMENTS (COAG). National Strategy on Energy Efficiency. Canberra, 2009.
- COMISIÓN CIUDADANA TÉCNICO PARLAMENTARIA PARA LA POLÍTICA Y LA MATRIZ ELÉCTRICA (CCTP). Chile necesita una gran reforma energética. Santiago, Comité CCTP, 2011
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA sobre Publicaciones y estudios del año 2012, [en línea] [<http://www.cne.cl/cnewww/opencms/05_Public_Estudios/introduccion.html#;>]. [consulta: 05 enero 2013].
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Balance nacional de energía. Santiago, Gobierno de Chile, 2011.
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Contextos y Enseñanzas Internacionales para el Diseño de una Estrategia Energética a Largo Plazo para Chile. Santiago, Dalberg (Global Development Advisors) y Comisión Nacional de Energía, 2008. 32p.
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Comportamiento del Consumidor Residencial y su Disposición a Incorporar Aspectos de Eficiencia Energética en sus Decisiones y Hábitos. Santiago, Area del Medio Ambiente y Eficiencia Energética Comisión Nacional de Energía, 2005.
- COOPER, I. Comfort and energy conservation: a need for reconciliation. *Energy and Buildings* 5(2): 83-87, 1982.
- CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN. Humedad por Condensación en Viviendas. Santiago, CDT, 2012. 138p.
- CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN. Manual Técnico Reacondicionamiento Térmico de viviendas en uso. Santiago, CDT, 2010. 115p.

- CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN. Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial. Santiago, CDT, 2010b.
- D'AMBROSIO, F., PALELLA, B. Y RICCIO, G. The role of measurement accuracy on the thermal environment assessment by means of PMV index. *Building and Environment* 46 (7): 1361-1369, 2011.
- D'AMBROSIO, F., ISOLA, M., FICCO, G. Y TASSINI, F. Experimental analysis of air tightness in Mediterranean buildings using the fan pressurization method. *Building and Environment* 53 (10) 16-25, 2012.
- DALL'O', G., GALANTE, A., TORRI, M. A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale. *Energy and Buildings* 48: 211-219, 2011.
- DE DEAR, R. y BRAGER, G. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings* 34: 549-561, 2001.
- DE DEAR, R. y BRAGER, G. The adaptive model of thermal and energy conservation in the built environment. *International Journal of Biometeorology* 45(2): 100-108, 2001.
- DE DEAR, R., BRAGER, G. y COOPER, D. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. Final Report ASHRAE RP-884. Sydney, Macquarie University, 1997.
- DE DEAR, R., LEOW, K. y AMEEN, A. Thermal comfort in the humid tropics – Part I: Climate chamber experiments on temperature preferences in Singapore. *ASHRAE Transactions* 97(1): 874-879, 1991a.
- DE DEAR, R., LEOW, K. y AMEEN, A. Thermal comfort in the equatorial climatic zone – Part II: Climate chamber experiments on thermal acceptability in Singapore. *ASHRAE Transactions* 97(1): 874-879, 1991b.
- DE DEAR, R., LEOW, K. y FOO, S. Thermal comfort in the humid tropics: Field experiments in air conditioned and naturally ventilated buildings in Singapore. *International Journal of Biometeorology* 34, 259-265, 1991c.
- DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS (DEFRA). A Framework for Pro-environmental Behaviours, Londres, DEFRA, 2008.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN). Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling . ISO 13790:2008. European Committee for Standardization. 2008.
- DILI, A., NASEER, M. y VARGHESE, T. Thermal comfort study of Kerala traditional residential buildings based on questionnaire survey among occupants of traditional and modern buildings. *Energy and Buildings* 42(11): 2139-2150, 2010
- DIRECCIÓN DE OBRAS MUNICIPALES (DOM). Certificados de Recepción Municipal. 2011.
- DODOO, A., GUSTAVSSON, L. y SATHRE, R. Primary energy implications of ventilation heat recovery in residential buildings. *Energy and Buildings* 43(7): 1566-1572, 2011.
- DODOO, A., GUSTAVSSON, L. y SATHRE, R. Life cycle primary energy implication of retrofitting a wood-framed apartment building to passive house standard. *Resources, Conservation and Recycling* 54(12): 1152-1160, 2010
- DONOSO, R. Análisis técnico-económico en mejoras de eficiencia energética para viviendas de precio entre 1000-3000 UF. Tesis (Ingeniería Civil). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, 2009, 195p.
- ECONOMIDOU, M. Europe's Buildings under the Microscope. Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2011.
- EL FOUIH, Y., STABAT, P., RIVIERE, P., HOANG, P. Y ARCHAMBAULT, V. Adequacy of air-to-air heat recovery ventilation system applied in low energy Buildings. *Energy and Buildings* 54: 29-39, 2012.
- ENCINAS, F. Y DE HERDE, A. Sensitivity analysis in building performance simulation for summer comfort assessment of apartments from the real estate market. *Energy and Buildings* 65: 55-65, 2013.

- ENCINAS, F. Y DE HERDE, A. Definition of occupant behaviour patterns with respect to ventilation for apartments from the real estate market in Santiago de Chile. *Sustainable Cities and Society* 1(1): 38-44, 2011.
- ENERGY SAVING TRUST. Are you a victim of rebound? [en línea] <<http://www.energysavingtrust.org.uk/Take-action/Reduce-your-carbon-footprint/Are-you-a-victim-of-rebound>> [consulta: 08 mayo 2013].
- ENSELING, A., GREIFF, R. Y HINZ, E. Refurbishing older Housing Step by Step. Darmstadt, Institut Wohnen und Umwelt, 2002.
- ESCORCIA, O., GARCÍA, R., TREBILCOCK, M., CELIS, F. Y MIOTTO, U. Mejoramientos de envolvente para la eficiencia energética de viviendas en el centro-sur de Chile. *Informes de la Construcción* 64(528): 563-574, 2012.
- FANGER, P.O. Thermal Comfort. Analysis and Applications in Enviromental Engineering. New York, 1970.
- FARQ sobre confort térmico [en línea] <[http://www.farq.edu.uy/joomla/images/stories/termico/Cap1_confort%20Termico\(1\).pdf](http://www.farq.edu.uy/joomla/images/stories/termico/Cap1_confort%20Termico(1).pdf)> [consulta: 08 noviembre 2013].
- FERRARI, S. Y ZANOTTO, V. Adaptive comfort: Analysis and application of the main indices. *Building and Environment* 49(3): 25-32, 2012.
- FIGUEROA, R., BOBADILLA, A., BESSER, D., DÍAZ, M., ARRIAGADA, R. Y ESPINOZA, R. Air infiltration in Chilean housing: A baseline determination. *En: PLEA2013 - 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future, Munich, Germany 10-12 September 2013.*
- FILIPPIN, C. Y LARSEN, F. Analysis of energy consumption patterns in multi-family housing in a moderate cold climate. *Energy Policy* 37(9): 3489–3501, 2009.
- FISSORE, A. Y COLONELLI, P. Proyecto: Sistema de certificación energética de viviendas. Informe final. Santiago, Ministerio de vivienda y Urbanismo, Licitación Pública Número 587-466-LP07, 2009.
- FLORES, C., SOLÍS, M., FORTT, A. Y VALDIVIA, G. Sintomatología respiratoria y enfermedad pulmonar obstructiva crónica y su asociación a contaminación intradomiciliaria en el Área Metropolitana de Santiago: Estudio Platino. *Revista Chile Enfermedades Respiratorias* 26: 72-80, 2010
- FLOURENTZOU, F. y ROULET, C. Elaboration of retrofit scenarios. *Energy and Buildings* 34(2): 185-192, 2002.
- FONDEF D09I1081. Desarrollo e introducción del sistema de edificación Pasiva en Chile. Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile, 2012.
- FORD M., GURNEY A., HEYHOE E. y GUNASEKERA D. Energy security, clean technology development and climate change — Addressing the future challenges. APEC, ABARE research report 07.14. Canberra, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, 2007. Disponible en: http://www.abareconomics.com/publications_html/climate/climate_07/apec_security.pdf
- FORCAEL, R. Y GARRIDO, M. Estimación de la demanda energética de viviendas en Temuco. Temuco: Departamento de Ing. De Obras Civiles, Universidad de la Frontera, 2010.
- FRACASTORO, G., Y SERRAINO, M. A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications. *Energy and Buildings* 43(4): 844–852, 2011.
- FRONTCZAK, M. y WARGOCKI, P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment* 46(4): 922 – 937, 2012
- GALVIN, R. Making the “rebound effect” more useful for performance evaluation of thermal retrofits of existing homes: Defining the “energy savings deficit” and the energy performance gap. *Energy and Buildings* 69: 515-524, 2014.
- GALVIN, R. y SUNIKKA-BLANK, M. Economic viability in thermal retrofit policies: Learning from ten years of experience in Germany. *Energy Policy* 54: 343-351, 2013.

- GENGER, C. Modernizing ISO, EN and ASTM Air Leakage Standards... more accuracy in less time. En: 32nd AIVC Conference and 1st TightVent Conference, 2011. Bruselas, Belgica: Air Infiltration and Ventilation Center, 223-228.
- GIBSON, E. Working with the Performance Approach in Building. CIB Report. CIB Working Commission W060, Publication #64, 1982.
- GOODACRE, C., SHARPLES, S. y SMITH, P. Integrating energy efficiency with the social agenda in sustainability. Energy and Buildings 34(1): 53–61, 2002.
- GONZÁLEZ, M. RODRÍGUEZ, G., KARSULOVIC, T., CISTERNAS, A. Y BOZO, A. Bienestar Habitacional y Eficiencia Energética de Viviendas Sociales Industrializadas con Estructura de Madera. Ambiente Forestal 4(7): 43-50, 2009.
- GOSSAUER, E. y WAGNER, A. Post-occupancy Evaluation and Thermal Comfort: State of the Art and New Approaches. Advances in Building Energy Research 1(1): 151–175, 2007
- GRIFFITHS, I Thermal comfort studies in buildings with passive solar features. Report to CEC, ENS35 090 UK, 1990.
- GUPTA, R. y CHANDIWALA, S. Integrating an occupant-centred building performance evaluation approach to achieve whole-house and low-carbon retrofitting of UK homes. En: Adapting to Change: New Thinking on Comfort Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010. London, Network for Comfort and Energy Use in Buildings.
- HAMBY, D. Review of techniques for parameter sensitivity. Analysis of environmental models. Environmental Monitoring and Assessment 32: 135-154, 1994
- HATT, T. El estándar “Passivhaus” en el centro-sur de Chile. Un estudio paramétrico multifactorial. Tesis (Doctorado en Arquitectura y Urbanismo). Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, 2013.
- HALAWA, E.Y VAN HOOFF. J. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. Energy and Buildings 51: 101–110, 2012.
- HENSEN, J. Literature review on thermal comfort in transient conditions. Building and Environment, 25(4): 309-316, 1990.
- HEISELBERG, P., BROHUS, H., HESSELHOLT, A., RASMUSSEN, H., Y THOMAS, S. Application of sensitivity analysis in design of sustainable buildings. Renewable Energy 34(9): 2030–2036, 2010.
- HEO, Y., CHOUDHARY, R. Y AUGENBROE, G. Calibration of building energy models for retrofit analysis under uncertainty. Energy and Buildings 47: 550–560, 2012.
- HERMOSILLA, J. y SANTELICES, C. Casa propia: ¿vida nueva? Evaluación de la calidad de vida en viviendas sociales. Santiago, PUC, Techo y CIS, 2006.
- HIDALGO, R. ¿Se acabó el Suelo en la Gran Ciudad?: Las Nuevas Periferias Metropolitanas de la Vivienda Social en Santiago de Chile. EURE (Santiago) 33(98): 55-75, 2007.
- HOLM, A., KUENZEL, H. Y SEDLBAUER, K. The hygrothermal behaviour of rooms: combining thermal building simulation and hygrothermal envelope calculation. En: Eighth International IBPSA Conference Eindhoven, Netherlands, August 11-14, 2003
- HONG, S., GILBERTSON, J., ORESZCZYN, T., GREEN, G., RIDLEY, I. y THE WARM FRONT STUDY GROUP. A field study of thermal comfort in low-income dwellings in England before and after energy efficient refurbishment. Building and Environment. 44: 1228-1236, 2009.
- HOPFE, C. Y HENSEN, J. Uncertainty analysis in building performance simulation for design support. Energy and Buildings 43(10): 2798–2805, 2011.

- HOWDEN-CHAPMAN, P., VIGGERS, H., CHAPMAN, R., O'SULLIVAN, K., TELFARBARNARD, L. y LLOYD, B. Tackling cold housing and fuel poverty in New Zealand: A review of policies, research, and health impacts. *Energy Policy* 49: 134–142, 2012.
- HOWDEN-CHAPMAN, P., MATHESONA, H., VIGGERS, M., CUNNINGHAM, T., BLAKELYD, D., O'DEAA, C., CUNNINGHAME, A., WOODWARD, K., SAVILLE-SMITH, M. y BAKERA, N. Retrofitting houses with insulation to reduce health inequalities: Aims and methods of a clustered, randomised community-based trial. *Social Science & Medicine* 61(12): 2600–2610, 2005.
- HUBER, A., MAYER, I., BEILLAN, V., GOATER, A., TROTIGNON, R. Y BATTAGLINI, E. Refurbishing residential buildings: A socio-economic analysis of retrofitting projects in five European countries. Austria, World Sustainable Energy Days, 2011.
- HUMPHREYS, M. Thermal comfort temperatures and the habits of hobbits. *Standards for Thermal Comfort*. London, E & F N Spon, 1995.
- HUMPHREYS, M. Field studies and climate chamber experiments in thermal comfort research. *Thermal Comfort: Past, Present and Future*. N. Oseland and M. Humphreys. Watford, Building Research Establishment: 52-69, 1994.
- HUMPHREYS, M y NICOL, F. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *ASHRAE Transactions*. 104 (1B): 991-1004, 1998.
- HUMPHREYS, M. Outdoor temperatures and comfort indoors. *Building research and Practice* (Journal of CIB). 6(2): 92-105, 1978.
- INDRAGANTI, M. Using the adaptive model of thermal comfort for obtaining indoor neutral temperature: Findings from a field study in Hyderabad, India. *Building and Environment* 45(3): 519–536, 2010.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). CO2 Emissions from Fuel Combustion. Highlights. Paris, OECD/IEA, 2010. 128p.
- INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN. Guía técnica para la prevención de patologías en viviendas sociales. Santiago, Proyecto INNOVA Chile, 2005. 323p.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Balance nacional de energía. Santiago, Gobierno de Chile, 2006.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Anuario de Edificación comunal. Región del Bío-Bío. Año 2010. Edición 13. Concepción, Gobierno de Chile, 2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Censo 2002. Santiago, Gobierno de Chile, 2003.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Acondicionamiento térmico, Envoltura térmica de edificios, Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. NCh 853 Of 91. Santiago, Chile, 2002.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Arquitectura y Construcción – Zonificación climática habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. NCh 1079 Of 2008. Santiago, Chile, 2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Acondicionamiento térmico - Aislación térmica - Determinación de la ocurrencia de condensaciones intersticiales. NCh 1980 Of.88. Santiago, Chile, 1988.
- INTELLIGENT ENERGY EUROPE. ECOLISH: Energy Exploitation and Performance Contracting for Low Income and Social Housing. European Commission y EACI, 2009. 64p.
- INTELLIGENT ENERGY EUROPE. Energy-efficient homes and buildings. The beauty of efficiency. Project Report n°2, 2008. 64p.
- INTELLIGENT ENERGY EUROPE. EI-Education Guidebook, platform and courses for Energy Intelligent Retrofitting of Social Housing. 2008.
- INZUNZA, J. Clasificación de los climas de Köppen. *Ciencia Ahora* 15(8): 131-156, 2005.

- ISO. Ergonomics of the Thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. ISO 7730:2005. Geneva: International Organization for Standardization, 2005
- JENKINS, D.P. The value of retrofitting carbon-saving measures into fuel poor social housing. Energy Policy 38(2): 832–839, 2009.
- JIRÓN, P; CORTES, A. Documento de Trabajo INVI N° 4: Análisis Política Habitacional Chilena y sus Futuras Orientaciones. Serie Documentos de Trabajo. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Instituto de la Vivienda, Santiago, 2004.
- JUAN, Y., KIM, J., ROPER, K. y LACOUTURE, D. GA-based decision support system for housing condition assessment and refurbishment strategies. Automation in Construction 18(4): 394–401, 2009.
- KALAMEES, T. Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia. Building and Environment 42(6): 2369–2377, 2007.
- KALEMA, T., JÓHANNESSON, G., PYLSY, P. y HAGENGRAN, P. Accuracy of Energy Analysis of Buildings: A Comparison of a Monthly Energy Balance Method and Simulation Methods in Calculating the Energy Consumption and the Effect of Thermal Mass. Journal of Building Physics 32(2): 101-130, 2008.
- KAB. Factor 4 project Newsletter. N°1, 2006.
- KAKLAUSKAS, A., ZAVADSKAS, E. Y RASLANAS, S. Multivariant design and multiple criteria analysis of building refurbishments. Energy and Buildings 37(4): 361-372, 2005.
- KARAGIOZIS, A., SALONVAARA, M. Y DESJARLAIS, A. Integrated Hygrothermal Performance of Building Envelopes and Systems in Hot and Humid Climates. En: Twelfth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates, San Antonio, TX, May 15-17, 2000
- KEHL, D. Sommerliches Komfortklima. En: Holzbautag Biel, 2010.
- KFW. Sobre funcionamiento del programa de apoyo financiero. [En línea] <http://www.kfw-foerderbank.de>> [Consulta 05 diciembre, 2010].
- KINNEAR, T. Investigación de mercados; un enfoque aplicado. 5ª ed. Bogotá: McGraw-Hill, 1998.
- KOHLER, N. The relevance of the green building challenge: an observer' s perspective. Building Research and Information 27(4): 309–320, 1999
- KÜNZEL, H., HOLM, A., ZIRKELBACH, A. Y KARAGIOZIS, A. Simulation of indoor temperature and humidity conditions including hygrothermal. Solar Energy 78(4): 554–561, 2005. interactions with the building envelope
- LAM, J., WAN, K., WONG, S. Y LAM, T. Principal component analysis and long-term building energy simulation correlation. Energy Conversion and Management 51(2): 135–139, 2010.
- LANGEVIN, J., GURIAN, P. Y WEN, J. Reducing energy consumption in low income public housing: Interviewing residents about energy behaviors. Applied Energy 102: 1358-1370, 2013.
- LEAMAN, A., STEVENSON, F. Y BORDASS B. Building evaluation: practice and principles. Building Research & Information 38(5): 564-577, 2010.
- LEAMAN, A. What Occupants Want. En: Davis Langdon Everest and Institute of Directors Directors, Guide of Buildings That Work for Your Business: Building premises to enhance performance. 2001
- LEAMAN A. y BORDASS W. Keeping Occupants "Satisfied". Energy and Environmental Management, Second Quarter, 2000, 23-27
- LEAMAN A. y BORDASS W., Streamlining Survey Techniques. En: Closing The Loop: Post-Occupancy Evaluation: the Next Steps, Windsor UK, 29 April - 2 May, 2004

- LEAMAN, A. Post-occupancy Evaluation. Prepared for Gaia Research Sustainable Construction Continuing Professional Development (CPD) Seminars. Building use studies, 2003.
- LEE, A. Y BARRETT, P. Performance Based Building: First International State-of-the-Art Report. University of Salford, UK For CIB Development Foundation, PeBBu Thematic Network, 2003.
- LEE, S., LI, W. Y AO C. Investigation of indoor air qualityat residential homes in Hong Kong - case study. Atmospheric Environment 36(2): 225–237, 2002.
- LEON, A., MUÑOZ, A., LEON, J. Y BUSTAMANTE, P. Monitorización de variables medioambientales y energéticas en la construcción de viviendas protegidas: Edificio Cros-Pirotecnia en Sevilla. Informes de la Construcción 69(519): 67-82, 2010.
- LIU, J., YAO, R. Y MCCLOY, R. A method to weight three categories of adaptive thermal comfort. Energy and Buildings 47: 312–320, 2012.
- LOMAS, K. Y GIRIDHARAN, R. Thermal comfort standards, measured internal temperatures and thermal resilience to climate change of free-running buildings: A case-study of hospital wards. Building and Environment 55: 57-72, 2012.
- LOPES, L, HOKOI, S., MIURA, H. y SHUHEI, K. Energy efficiency and energy savings in Japanese residential buildings—research methodology and surveyed results. Energy and Buildings 37(7): 698-706, 2005
- LOWE, R. Y ORESZCZYN, T. Regulatory standards and barriers to improved performance for housing. Energy Policy 36 (12) 4475–4481, 2008.
- LÜTZKENDORF, T., SPEER, T., SZIGETI, F., DAVIS, G., LE ROUX, P., KATO, A., TSUNEKAWA, K. A comparison of international classifications for performance requirements and building performance categories used in evaluation methods. En: 11th Joint CIB International Symposium. Helsinki: Junio 2005.
- MA, Z., COOPER, P., DALY, D. Y LEDO, L. Existing Building Retrofits: Methodology and State-of-the-Art. Energy and Buildings 55: 889-901, 2010
- MACDONALD I., CLARKE J. Y STRACHAN P. Assessing uncertainty in building simulation. En: proceedings building simulation 99, IBPSA conference, Kyoto, Japan, 2009, 683-695.
- MADLENER, R y ALCOTT, B. Energy rebound and economic growth: a review of the main issues and research needs. Energy 34 (3): 370–376, 2009.
- MCCARTNEY, K J y NICOL, J F. Developing an adaptive control algorithm for Europe. Energy and Buildings 34(6): 623-635, 2002.
- MEIR, I., GARB, Y., JIAO, D. Y CICELSKY, A. Post-Occupancy Evaluation: An Inevitable Step Toward Sustainability. Advances In Building Energy Research 3(1): 189-220, 2009.
- MEISS, A. Y FEIJÓ, J. Influencia de la ubicación de las aberturas en la eficiencia de la ventilacion en viviendas. Informes de la Construcción 63(522): 53-60, 2011.
- MENDEZ, P. Vulnerabilidad y equidad: el aporte de la eficiencia energética. Santiago, Centro de Investigación Social Un Techo para Chile, 2008.
- MENDEZ, P. Y BARDI, C. Optimización del comportamiento térmico en vivienda social Lo Espejo II. Santiago, GTZ, PPEE y CNE, 2009.
- MERCADO, M., ESTEVES, A. y FILIPPÍN, C. Comportamiento térmico-energético de una vivienda social de la ciudad de Mendoza, Argentina. Ambiente Construido 10(2): 87-100, 2010.
- MILNE, G. y BOARDMAN, B. Making cold homes warmer: The effect of energy efficiency improvements in low-income homes. Energy Policy 28(6-7): 411-424, 2000.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021: La salud en Colombia la construyes tú. [En línea] <

- <http://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/Plan%20Decenal%20-%20Documento%20en%20consulta%20para%20aprobaci%C3%B3n.pdf>> [consulta: 07 junio 2012].
- MINISTERIO DE ASUNTOS SOCIALES DE ESPAÑA E INSTITUTO DE SEGURIDAD E HIGIENE. NTP 779: Bienestar Térmico: criterios de diseño para ambientes térmicos confortables. Barcelona, Centro de Investigación y Asistencia Técnica, 2008.
- MINISTERIO DE ASUNTOS SOCIALES DE ESPAÑA E INSTITUTO DE SEGURIDAD E HIGIENE. NTP 74: Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación. Barcelona, Centro de Investigación y Asistencia Técnica, 2005.
- MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL. Ficha de Protección Social. [En línea] <<http://www.fichaproteccionsocial.gob.cl>> [consulta: 15 Diciembre 2011].
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. Medición y Evaluación del Desempeño en la Administración Pública. Documento de Trabajo del MEF, Lima, 2000.
- MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL ARGENTINA. Programa federal de mejoramiento de las viviendas. Mejor Vivir. [En línea]. < <http://www.vivienda.gob.ar/programas.php>> [consulta: 07 junio 2012].
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. Manual de procedimientos. Sistema de calificación energética de viviendas en Chile. Santiago, MINVU.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. Manual de usuario CCTE v.2.0. Santiago: MINVU y PPEE, 2009.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. Subsidio Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF) Título II Mejoramiento de la Vivienda. Santiago, MINVU, 2007.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. Manual de Aplicación. Reglamentación Térmica. Ordenanza general de urbanismo y construcciones, Artículo 4.1.10. Santiago, Instituto de la Construcción, 2006.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. Artículo 4.1.10 Exigencias de acondicionamiento térmico de la Ordenanza general de urbanismo y construcciones. Santiago, MINVU, 2011.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. Cuenta Pública 2010. [En línea] <<http://www.gob.cl/cuenta-publica-2010/ministerio-de-vivienda-y-urbanismo/cuenta-sectorial/>> [Consulta: 04 enero 2011].
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. Atlas de la Evolución del déficit habitacional en Chile 1992-2002. Santiago, Departamento de Estudios, DITEC, 2006.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. Chile, un siglo de políticas en Vivienda y Barrio. Santiago, Departamento de Estudios, DITEC, 2004.
- MOHAMMAD, S, Y AL-HOMOUD. Parametric Analysis of Alternative Energy Conservation Measures in an Office Building in Hot and Humid Climate. *Building and Environment* 42(5): 2166-2177, 2007.
- MONTGOMERY, D. Diseño y análisis de experimentos. 2ª ed. Mexico, Limusa, 2003. p686.
- MUMOVIC, D. & M. SANTAMOURIS, M. A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering: An Integrated Approach to Energy, Health and Operational Performance. London, Earthscan, 2009.
- MURRAY, S., ROCHER, B. Y O'SULLIVAN, D. Static Simulation: A sufficient modelling technique for retrofit analysis. *Energy and Buildings* 47: 113-121, 2012.
- MWASHA, A., WILLIAMS, G. y IWARO, J. Modeling the performance of residential building envelope: The role of sustainable energy performance indicators. *Energy and Buildings* 43(9): 2108-2117, 2011
- NAVINGER, S. Y PERSILY, A. Impacts of airtightening retrofits on ventilation rates and energy consumption in a manufactured home. . *Energy and Buildings* 43(11): 3059-3067, 2011.
- NBN. Performance thermique des bâtiments. Détermination de la perméabilité à l'air des bâtiments. Méthode de pressurisation par ventilateur. NBN EN 13829 (ISO 9972 :1996). Bruselas, IBN 2001.

- NEMRY, F., UIHLEIN, A., MAKISHI, C., WITTSTOCK, B., BRAUNE, A., WETZEL, C., HASAN, I., NIEMEIER, S., FRECH, Y., KREIBIG, J. Y GALLON, N. Environmental improvement potentials of residential buildings (IMPRO-Building). European Commission, JRC-IPTS. EUR 23493 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2008.
- NEVIN, R. Energy-efficient housing stimulus that pays for itself. Energy Policy 38(11): 4–11, 2010.
- NICOL, J. y Humphreys, M. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. Energy and Buildings 34(6): 667-684, 2002.
- NICOL, F y ROAF, S Pioneering new indoor temperature standards: the Pakistan project. Energy and Buildings 23:169–174, 1996.
- ODRIOZOLA, M. Cálculo y medida de infiltraciones de aire en edificios. País Vasco, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Minas y Obras Públicas. Universidad del País Vasco. 2008.
- O'RYAN R., DÍAZ M. Y CLERC J. Consumo de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Chile 2007-2030 y Opciones de Mitigación, Santiago: Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile, 2007, p. 33.
- OBSERVATORIO HABITACIONAL. Sobre permisos de edificación [En línea] <www.observatoriahabitacional.cl> [Consulta 14 enero 2012].
- OECD e IEA. World Energy Outlook 2008. Paris, International energy Agency, 2008.
- OLOFSSON, T., ANDERSSON, S. Y SJÖGREN, J. Building energy parameter investigations based on multivariate analysis. Energy and Buildings 41(1): 71–80, 2009.
- OROPEZA-PEREZ, I., ØSTERGAARD, P. Y REMMEN, A. Model of natural ventilation by using a coupled thermal-airflow simulation program. Energy and Buildings 49 (0) 388–393, 2012.
- OSSIO, F., DE HERDE, A. Y VEAS, L. Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile. Revista de la Construcción 11(1): 54-63, 2012.
- PAPAKOSTAS K. y SOTIROPOULOS, B. Occupational and energy behaviour patterns in Greek residences. Energy and Buildings 26(2): 207–13, 1997
- PASSIVHAUSINSTITUT. Was ist ein Passivhaus? [En línea] <http://www.passiv.de/01_dph/St-dph/WasPH/WasPH.htm> [consulta: 01 diciembre 2012].
- PAVLIK, Z. Y CERNY, R. Experimental assessment of hygrothermal performance of an interior thermal insulation system using a laboratory technique simulating on-site conditions. Energy and Buildings 40(5): 673–678, 2008.
- PEACOCK, A., EAMES, P., SINGH, H., JACKSON, T. y BERRY, A. Reducing CO2 emissions through refurbishment of UK housing. En: ECEEE 2007 Summer Study, Saving Energy – Just Do It! 951-962, 2007.
- PEETERS, L., DE DEAR, R., HENSEN, J. Y D'HAESELEER, W. Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. Applied Energy 86(5): 772–780, 2009.
- PETERMANN, A. ¿Quién Extendió Santiago? Una Breve Historia del Límite Urbano. En: A. Galetovic (ed.), Santiago. ¿Dónde Estamos y Hacia Dónde Vamos? Centro de Estudios Públicos, 2006, pp. 180-230.
- PERFORMANCE BASED BUILDING THEMATIC NETWORK. Performance Based Building: Conceptual Framework. EC 5th Framework, Rotterdam, CIB (PeBBu), 2005. 47p.
- PIETRZYK, K. Y HAGENTOFT, C. Probabilistic analysis of air infiltration in low-rise buildings. Building and Environment 43(4): 537–549, 2008.
- POEL, B., VAN CRUCHTEN, G. Y BALARAS, C. Energy performance assessment of existing dwellings. Energy and Buildings 39 (4) 393–403, 2007.

- POLLY, B., GESTWICK, M., BIANCHI, M., ANDERSON, R., HOROWITZ, S., CHRISTENSEN, C. y JUDKOFF, R. A Method for Determining Optimal Residential Energy Efficiency Retrofit Packages. U.S. Department of Energy, 79p., 2011.
- POWER, A. Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability? Energy Policy 36(12): 4487–4501, 2008
- PREISSER, W. y VISCHER, J. Assessing Building Performance. Oxford, Elsevier, 2005, 243p.
- PRIEN. Las fuentes renovables de energía y el uso eficiente. Santiago, Chile Sustentable, 1992.
- PROGRAMA DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES EN ENERGÍA (PRIEN). Estimación del potencial de ahorro de energía, mediante mejoramientos de la eficiencia energética de los distintos sectores. Santiago, Instituto de asuntos públicos, Universidad de Chile, 2008. 150p.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008. La Lucha contra el Cambio Climático: Solidaridad frente a un mundo dividido. Nueva York, PNUD, 2008. 386p.
- RENNER, M., SWEENEY, S. Y KUBIT, J. Green Jobs: Towards decent work in a sustainable, low-carbon world. Washington, United Nations Environment Programme, 2008.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA sobre definición de Confort [en línea] <<http://www.rae.es/>> [consulta: 27 diciembre 2010].
- RICS. Applying CO2 reduction strategies to existing UK dwellings using GIS-based modelling: a case study in Oxford. Oxford: RICS.org., 2006.
- RIJAL, H., TUOHY, P., HUMPHREYS, M., NICOL, J., SAMUEL, A. y CLARKE, J. Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings. Energy and Buildings 39(7): 823–836, 2007
- RODRÍGUEZ, A. Y SUGRANYES, A. Mejorar el Stock de Vivienda Social en Chile. En: Rodríguez, A. y Sugranyes, A. (ed.), Los Con Techo. Un Desafío para la Política de Vivienda Social, 2005.
- RODRIGUEZ, A. y SUGRANYES, A. El problema de vivienda de los "con techo". Revista EURE XXX(91): 53-65, 2004
- ROJAS, C., MUÑIZ, I. Y GARCÍA-LOPEZ, M. Estructura urbana y policentrismo en el Área Metropolitana de Concepción. Revista EURE XXXV(105): 47-70, 2009.
- ROMAN, C. Hualpen. De la periferia comunal a la centralidad metropolitana. Urbano 8(011): 84-90, 2005.
- ROSET, J. sobre Cálculos del Confort Térmico. [En línea] <http://www-fa.upc.es/docencia/arquitectura/fmaa/Explica_Confort.pdf> [consulta: 28 diciembre 2010].
- ROSS, M. The future is retro-fit. Bringing the housing stock up to scratch. Special Publication. Green Futures, 2008.
- SAKIA, R. The Box-Cox transformation technique: a review. The Statistician 41(2): 169-178, 1992.
- SALONVAARA, M. Y OJANEN, T. Indoor air humidity variations and its effects on the moisture performance of building envelope. En: Eighth International IBPSA Conference Eindhoven, Netherlands, August 11-14, 2003
- SAMUEL, A. Energy conservation vs health. the air quality picture. En: Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland, July 27-30, 2009
- SCHUSCHNY, A. Y SOTO, H. Guía metodológica. Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. Santiago, Publicaciones de Naciones Unidas, 2009.
- SEEGER, B.S. ¿Cómo resolver el problema de la energía en Chile? Ciencia Ahora 20(10): 2007.
- SUSTAINABLE ENERGY IRELAND (SEI). Retrofitted Passive Homes. Irlanda, SEI, 2009.

- SEPULVEDA, O., CARRASCO, G., SAHADY, A y RODRIGUEZ, G. La autocontaminación en la vivienda económica. *Boletín INVI* 19: 44-51, 1993.
- SERRA, R. y COCH, H. *Arquitectura y energía natural*. Barcelona, ediciones UPC, 1995.
- SHERMAN, M. Estimation of Infiltration from Leakage and Climate Indicators. *Energy and Buildings* 10: 81-86, 1986
- SHERMAN, M. y CHAN, R. *Building Airtightness: Research and Practice*. California, Estados Unidos, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004.
- SIMIAN, J. Logros y desafíos de la política habitacional en Chile. *Estudios Públicos*, 117: 269-322, 2010.
- SMITH, G., AGUILAR, J. Y CHEN, A. Multi-parameter sensitivity analysis: A design methodology applied to energy efficiency in temperate climate houses. *Energy and Buildings* 55: 668–673, 2012.
- SORIANO, J. y MIRAVITLLES M. Datos Epidemiológicos de EPOC en España. *Arch Bronconeumol* 43(1): 2-9, 2007
- SORREL, S.; DIMITROPOULOS, J.; SOMMERVILLE, M. Empirical estimates of the direct rebound effect: A review. *Energy Policy* 37(4): 1356-1371, 2009.
- SORREL, S. y DIMITROPOULOS, J. The rebound effect: microeconomic definitions, limitations and extensions. *Ecological Economics* 65 (3) 636–649, 2008.
- STEVENSON, F. Y LEAMAN, A. Evaluating housing performance in relation to human behaviour: new challenges. *Building Research & Information* 38(5): 437-441, 2010.
- STEVENSON, F. Post-occupancy evaluation and sustainability: a review. *Urban Design and Planning* 162(3): 123–130, 2009
- TAVARES, P. Y MARTINS, A. Energy efficient building design using sensitivity analysis-A case study. *Energy and Buildings* 39(1): 23–31, 2007.
- TERKELSEN, E. Energy Intelligent Education for Retrofitting of Social Houses. *Intelligent Energy – Europe*. 2007 [En línea] <<http://ei-education.aarch.dk>> [consulta: 29 noviembre 2010]
- THEODORIDOU, I., PAPAPOPOULOS, A. Y HEGGER, M. A typological classification of the Greek residential building stock. *Energy and Buildings* 43(10): 2779–2787, 2011.
- TRAN, A., MAALOUF, C., MAI, T., WURTZ, E. Y COLLET, F. Transient hygrothermal behaviour of a hemp concrete building envelope. *Energy and Buildings* 42: 1797–1806, 2010.
- TREBILCOCK, M. Percepción de barreras a la incorporación de criterios de eficiencia energética en las edificaciones. *Revista de la Construcción* 10(1): 4-14, 2011.
- TOKMAN, A. (2006): El MINVU, la Política Habitacional y la Expansión Excesiva de Santiago”. En: A. Galetovic (ed.), Santiago. ¿Dónde Estamos y Hacia Dónde Vamos? Centro de Estudios Públicos, 2006, pp. 489-522.
- UIHLEIN, A. Y EDER, P. Policy options towards an energy efficient residential building stock in the EU-27. *Energy and Buildings* 42(6): 791–798, 2010.
- UIHLEIN, A. Y EDER, P. Towards additional policies to improve the environmental performance of buildings. Sevilla, European Commission, 2009.
- USABLE BUILDINGS. Feedback and strategy. [En línea] <<http://www.usablebuildings.co.uk/>> [consulta: 10 marzo 2011]
- VALE, B. Y VALE, R. Domestic energy use, lifestyles and POE: past lessons for current problems. *Building Research & Information* 38(5): 578-588, 2010.

- VAN DER LINDEN, A., BOERSTRA, A., RAUE, A., KURVERS, S. Y DE DEAR, R. Adaptive temperature limits: A new guideline in The Netherlands A new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate. Energy and Buildings 38(1): 8–17, 2006.
- VAN HOOF, J. Y HENSEN, J. Quantifying the relevance of adaptive thermal comfort models in moderate thermal climate zones. Building an Environment 42(1): 156-170, 2007.
- VANDENBERG, M. Post occupancy evaluations - incorporating hindsight to facilitate foresight. Australia, Ecompass Sustainability, 2006.
- VERA, A. Y ORDENES, M. Evaluación del desempeño energo-termico de una vivienda social en Chile, utilizando un programa de simulación energética de edificios. Revista Ingeniería de Construcción 17(3): 133-142, 2002.
- VERBEECK, G. y HENS, H. Energy savings in retrofitted dwellings: economically viable? Energy and Buildings 37(8): 747–754, 2005.
- WARGOCKI, P. Y SUNDELL, J. Ventilation and Health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Concensus Meeting (EUROVEN).” Indoor Air 12(2): 113-1282, 2002.
- WEI, S., Li, M., Lin, W. Y Sun, Y. Parametric studies and evaluations of indoor thermal environment in wet season using a field survey and PMV–PPD method. Energy and Buildings 42(??): 799–806, 2010.
- WETTER, M. GenOpt® Generic Optimization Program User Manual Version 3.0.0. Berkeley, Lawrence Berkeley National Laboratory. 2009.
- WILSON, C., SMITH, B. y DUNN, P. EcoHomes XB. A guide to the EcoHomes methodology for existing buildings. Sustainable Homes LTD, 2007.
- WONG, S., LAI, L., HO, D., LAM, C. Y NG, C. Sick building syndrome and perceived indoor environmental quality: A survey of apartment buildings in Hong Kong. Habitat International 33(4): 463-471, 2009.
- WRIGHT, A. What is the relationship between built form and energy use in dwellings? Energy Policy 36(12): 4544-4547, 2008.
- XING, Y. HEWITT, Y. Y GRIFFITHS, P. Zero carbon buildings refurbishment–A Hierarchical pathway. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15(6): 3229– 3236, 2011.
- XU, B., FU, L. Y DI, H. Field investigation on consumer behavior and hydraulic performance of a district heating system in Tianjin, China. Building and Environment 44(2): 249– 259, 2009
- YI-KAI, J. A hybrid approach using data envelopment analysis and case-based reasoning for housing refurbishment contractors selection and performance improvement. Expert Systems with Applications 36(3): 5702-5710, 2009.
- ZHAO, J., WU, Y. Y ZHU, N. Check and evaluation system on heat metering and energy efficiency retrofit of existing residential buildings in northern heating areas of china based on multi-index comprehensive evaluation method. Energy Policy 37(6): 2124–2130, 2009.

ANEXO 1. Propiedades físicas de los materiales de los cuatro casos de estudio.

Para los cálculos numéricos se utilizaron los valores que se detallan a continuación. En el caso de las simulaciones dinámicas, sin considerar aquellos valores U medidos de manera experimental, también se utilizaron los datos de las siguientes tablas.

CABO AROCA (de exterior a interior)					
Elemento	Material	Espesor mm	Conductividad Térmica λ W/(m · K)	Densidad aparente kg/m³	Calor Específico J/(kg·K)
Muro Exterior	Asbesto Cemento	4	0,420	1000	900
	Poliestireno Exp.	20	0,041	15	1000
	Aire Estanco	52	0,18	1,2	1,0
	Madera Aglomerada	8	0,104	410	1200
Muro Medianero	Yeso Cartón	15	0,26	700	800
	Aire Estanco	75	0,18	1,2	1,0
	Yeso Cartón	10	0,26	700	800
Tabique Int. Zona Seca	Madera Aglomerada	8	0,104	410	1200
	Aire Estanco	45	0,18	1,2	1,0
	Madera Aglomerada	8	0,104	410	1200
Tabique Int. Zona Humeda	Asbesto Cemento	3,5	0,420	1000	900
	Aire Estanco	45	0,18	1,2	1,0
	Madera Aglomerada	8	0,104	410	1200
Cielo Falso	Poliestireno Exp.	30	0,041	15	1000
	Madera Aglomerada	8	0,104	410	1200
Cubierta	Asbesto Cemento	4	0,420	1000	900
Piso	Cama de Ripio	50	3,50	2500	1000
	Radier Hormigón	70	1,63	2400	1000
	Plástico Vinílico	2	0,19	1300	1200
Frontón	Madera Aglomerada	8	0,104	410	1200
	Aire Estanco	70	0,18	1,2	1,0
	Asbesto Cemento	4	0,420	1000	900
Puerta	Terciado Impereterno	45	0,14	600	1200
Ventana	Vidrio Doble Sencillo	6	0,81	-	-

PEÑUELAS II (de exterior a interior)

Elemento	Material	Espesor mm	Conductividad Térmica λ W/(m · K)	Densidad aparente kg/m³	Calor Específico J/(kg·K)
Muro Exterior	Mortero de Cemento	15	1,40	2000	1000
	Albañilería	140	0,79	1800	800
	Mortero de Cemento	3,5	1,40	2000	1000
Muro Medianero (Techo)	Yeso cartón	25	0,26	700	800
	Aire Estanco	50	0,18	1,2	1,0
	Yeso Cartón	15	0,26	700	800

ANEXOS

Tabique Int. Zona Seca	Yeso cartón	10	0,26	700	800
	Aire estanco	50	0,18	1,2	1,0
	Madera Aglomerada	8	0,104	410	1200
Tabique Int. Zona Humeda	Asbesto Cemento	3,5	0,420	1000	900
	Aire estanco	50	0,18	1,2	1,0
	Madera Aglomerada	8	0,104	410	1200
Cielo Falso	Poliestireno Exp.	30	0,041	15	1000
	Yeso Cartón	8	0,26	700	800
Cubierta	Asbesto Cemento	4	0,420	1000	900
Piso	Cama de Ripio	50	3,50	2500	1000
	Radier Hormigón	70	1,63	2400	1000
	Plástico Vinílico	2	0,19	1300	1200
Frontón	Yeso cartón	25	0,26	700	800
	Aire Estanco	50	0,18	1,2	1,0
	Yeso Cartón	15	0,26	700	800
Puerta	Terciado Impereterno	45	0,14	600	1200
Ventana	Vidrio Doble Sencillo	6	0,81	-	-

PRESIDENTE AYLWIN (de exterior a interior)

Elemento	Material	Espesor mm	Conductividad Térmica λ W/(m · K)	Densidad aparente kg/m ³	Calor Especifico J/(kg·K)
Muro Ext.	Albañilería	14	0,79	1800	800
Tabique Int. Zona Seca	Yeso Cartón	10	0,26	700	800
	Aire Estanco	45	0,18	1,2	1,0
	Plancha Masisa	14	0,104	410	1200
Tabique Int. Zona Humeda	Yeso Cartón	10	0,26	700	800
	Aire estanco	45	0,18	1,2	1,0
	Asbesto Cemento	3,5	0,420	1000	900
Cubierta	Asbesto cemento	4	0,420	1000	900
	Aire estanco	12	0,16	1,2	1,0
	Lana Mineral	40	0,042	40	1600
	Yeso Cartón	10	0,26	700	800
Piso	Cama de Ripio	50	3,50	2500	1000
	Radier Hormigón	70	1,63	2400	1000
	Plástico Vinílico	2	0,19	1300	1200
Entrepiso	Hormigón armado	10	1,4	1000	850
Puerta	Terciado Impereterno	50	0,14	600	1200
Ventana	Vidrio Doble Sencillo	6	0,81	-	-

EL TRIANGULO (de exterior a interior)

Elemento	Material	Espesor mm	Conductividad Térmica λ W/(m · K)	Densidad aparente kg/m ³	Calor Especifico J/(kg·K)
Muro Ext. Zona Seca	Asbesto Cemento	4	0,420	1000	900
	Aire Estanco	50	0,18	1,2	1,0
	Poliestireno Exp.	20	0,041	15	1000
	Madera Aglomerada	8	0,104	410	1200

Muro Ext. Zona Humeda	Asbesto Cemento	4	0,420	1000	900
	Aire Estanco	50	0,18	1,2	1,0
	Poliestireno Exp.	20	0,041	15	1000
	Asbesto Cemento	3,5	0,420	1000	900
Muro Medianero	Yeso Cartón	10	0,26	700	800
	Aire estanco	70	0,18	1,2	1,0
	Yeso Cartón	15	0,26	700	800
	Aire estanco	70	0,18	1,2	1,0
	Yeso Cartón	10	0,26	700	800
Cubierta	Asbesto cemento	4	0,420	1000	900
	Aire estanco	12	0,16	1,2	1,0
	Lana Mineral	40	0,042	40	1600
	Madera Aglomerada	8	0,104	410	1200
Piso	Cama de Ripio	50	3,50	2500	1000
	Radier Hormigón	70	1,63	2400	1000
	Plástico Vinílico	2	0,19	1300	1200
Entrepiso	Entablado pino	25	0,104	410	1200
Puerta	Terciado Impereterno	50	0,14	600	1200
Ventana	Vidrio Doble Sencillo	6	0,81	-	-
Muro Ampliación	Mortero de Cemento	4	1,40	2000	1000
	Albañilería	14	0,79	1800	800
	Mortero de Cemento	4	1,40	2000	1000

ANEXO 2. Resultados en detalle de Blower Door Test de los cuatro casos de estudio.

2.1 Cabo Aroca

Test Results at 50 Pascals:

V50: Airflow (m ³ /h)	4833 (+/- 0.5 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h)	51.86
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	122.06
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	79.11

Leakage Areas:

2021.7 cm² (+/- 2.7 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 33.09 cm²/m² Surface Area
 1115.3 cm² (+/- 4.3 %) LBL ELA @ 4 Pa or 18.25 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve:

Air Flow Coefficient (Cenv) = 443.1 (+/- 6.5 %)
 Air Leakage Coefficient (CL) = 444.9 (+/- 6.5 %)
 Exponent (n) = 0.610 (+/- 0.017)
 Correlation Coefficient = 0.99704

Test Standard:

EN 13829 Test Mode: Depressurization

Type of Test Method:

A Regulation complied with:

Equipment:

Model 3 (230V) Minneapolis Blower Door

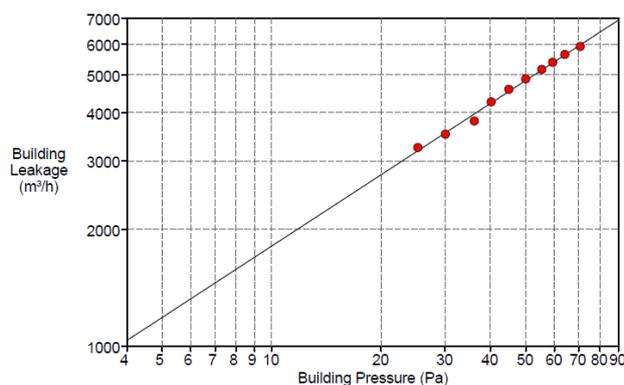


Figura A1: Gráfico de Presión inducida versus fugas de aire de la vivienda Cabo Aroca.

2.2 Peñuelas II

Test Results at 50 Pascals:

V50: Airflow (m ³ /h)	2734 (+/- 0.3 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h)	24.62
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	61.55
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	24.19

<u>Leakage Areas:</u>	1309.5 cm ² (+/- 1.5 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 11.59 cm ² /m ² Surface Area
	780.4 cm ² (+/- 2.3 %) LBL ELA @ 4 Pa or 6.91 cm ² /m ² Surface Area
<u>Building Leakage Curve:</u>	Air Flow Coefficient (Cenv) = 348.6 (+/- 3.6 %)
	Air Leakage Coefficient (CL) = 349.8 (+/- 3.6 %)
	Exponent (n) = 0.526 (+/- 0.009)
	Correlation Coefficient = 0.99881
Test Standard:	EN 13829 Test Mode: Depressurization
Type of Test Method:	A Regulation complied with:
Equipment:	Model 3 (230V) Minneapolis Blower Door

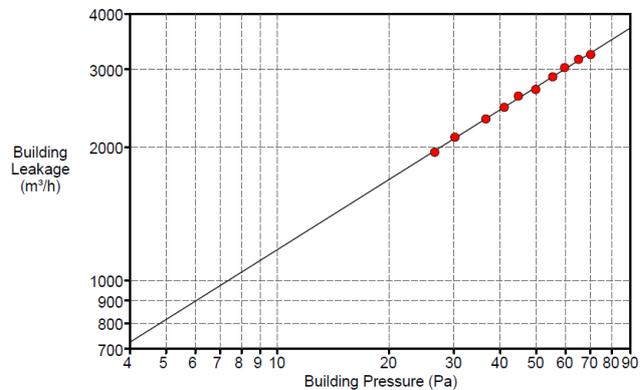


Figura A2: Gráfico de Presión inducida versus fugas de aire de la vivienda Peñuelas II.

2.3 Presidente Aylwin

Test Results at 50 Pascals:

V50: Airflow (m ³ /h)	1441 (+/- 0.2 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h)	12.51
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	29.58
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	8.84

<u>Leakage Areas:</u>	712.0 cm ² (+/- 1.1 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 4.37 cm ² /m ² Surface Area
	431.9 cm ² (+/- 1.7 %) LBL ELA @ 4 Pa or 2.65 cm ² /m ² Surface Area

<u>Building Leakage Curve:</u>	Air Flow Coefficient (Cenv) = 197.9 (+/- 2.6 %)
	Air Leakage Coefficient (CL) = 198.9 (+/- 2.6 %)
	Exponent (n) = 0.506 (+/- 0.007)
	Correlation Coefficient = 0.99934

Test Standard:	EN 13829 Test Mode: Depressurization
Type of Test Method:	A Regulation complied with:

Equipment:

Model 3 (230V) Minneapolis Blower Door

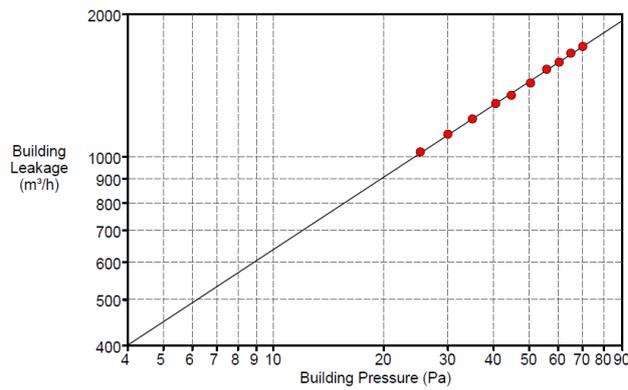


Figura A3: Gráfico de Presión inducida versus fugas de aire de la vivienda Presidente Aylwin.

2.4 Villa El Triángulo

Test Results at 50 Pascals:

V50: Airflow (m³/h)	2413 (+/- 0.3 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h)	35.99
w50: m³/(h*m² Floor Area)	67.02
q50: m³/(h*m² Surface Area)	27.74

Leakage Areas:

1102.7 cm² (+/- 1.9 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 12.68 cm²/m² Surface Area

639.8 cm² (+/- 3.0 %) LBL ELA @ 4 Pa or 7.36 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve:

Air Flow Coefficient (Cenv) = 273.9 (+/- 4.6 %)

Air Leakage Coefficient (CL) = 275.5 (+/- 4.6 %)

Exponent (n) = 0.555 (+/- 0.012)

Correlation Coefficient = 0.99821

Test Standard:

EN 13829 Test Mode: Depressurization

Type of Test Method:

A Regulation complied with:

Equipment:

Model 3 (230V) Minneapolis Blower Door

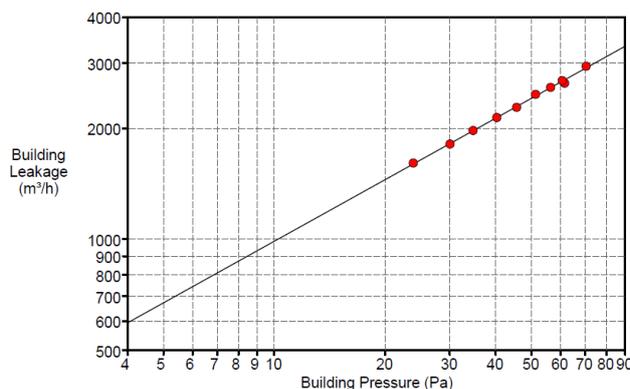


Figura A3: Gráfico de Presión inducida versus fugas de aire de la vivienda Villa El Triángulo.

ANEXO 3. Nomenclatura de estudio Box-Cox por caso de estudio.**Tabla 1: nomenclatura Cabo Aroca**

FACTOR	NIVELES	CLASIFICACIÓN
PORCENTAJE DE VENTANA EXTRA EN MURO	0	A1
	20	A2
	30	A3
USO DE SIS. DE VENTILACION CON RECUPERACION DE CALOR	sin	B1
	con	B2
TASA DE INFILTRACION	5	C1
	10	C2
	15	C3
	20	C4
	25	C5
	30	C6
	35	C7
	40	C8
	45	C9
	50	C10
	51,9	C11
VALOR U MURO	0,5	D1
	0,8	D2
	1,1	D3
	1,4	D4
	1,7	D5
	1,76	D6
VALOR U PISO	0,5	D1
	1,5	E1
VALOR U TECHO	3	E2
	0,18	F1
	0,28	F2
	0,38	F3
TIPO DE VIDRIO	0,92	F4
	simple	G1
DEMANDA DE ENERGIA (RESPUESTA)	termopanel	G2
	<40	1
	$40 \leq C < 50$	2
	$50 \leq C < 65$	3
	$65 \leq C < 85$	4
	$85 \leq C < 110$	5
	$110 \leq C < 135$	6
≥ 135	7	

Tabla 2: Nomenclatura Villa el Triangulo

FACTOR	NIVELES	CLASIFICACION
PORCENTAJE DE VENTANA EXTRA EN MURO	0	A1
	20	A2
	30	A3
USO DE SIS. DE VENTILACION CON RECUPERACION DE CALOR	sin	B1
	con	B2
TASA DE INFILTRACION	5	C1
	10	C2

	15	C3
	20	C4
	25	C5
	30	C6
	33,5	C7
VALOR U MURO	0,5	D1
	0,8	D2
	1,1	D3
	1,4	D4
	1,46	D5
	1,7	D6
VALOR U PISO	1,5	E1
	3	E2
VALOR U TECHO	0,18	F1
	0,28	F2
	0,38	F3
	0,81	F4
TIPO DE VIDRIO	simple	G1
	termopanel	G2
DEMANDA DE ENERGIA (RESPUESTA)	<40	1
	$40 \leq C < 50$	2
	$50 \leq C < 65$	3
	$65 \leq C < 85$	4
	$85 \leq C < 110$	5
	$110 \leq C < 135$	6
	≥ 135	7

Tabla 3: Nomenclatura Peñuelas II

FACTOR	NIVELES	CLASIFICACION
PORCENTAJE DE VENTANA EXTRA EN MURO	0	A1
	20	A2
	30	A3
USO DE SIS. DE VENTILACION CON RECUPERACION DE CALOR	sin	B1
	con	B2
TASA DE INFILTRACION	5	C1
	10	C2
	15	C3
	20	C4
	24,6	C5
VALOR U MURO	0,5	D1
	0,8	D2
	1,1	D3
	1,4	D4
	1,7	D5
	2,35	D6
VALOR U PISO	1,5	E1
	3	E2
VALOR U TECHO	0,18	F1
	0,28	F2
	0,38	F3
	0,76	F4
TIPO DE VIDRIO	simple	G1
	termopanel	G2
DEMANDA DE ENERGIA	<40	1

(RESPUESTA)	$40 \leq C < 50$	2
	$50 \leq C < 65$	3
	$65 \leq C < 85$	4
	$85 \leq C < 110$	5
	$110 \leq C < 135$	6
	≥ 135	7

Tabla 4: Nomenclatura Presidente Aylwin

FACTOR	NIVELES	CLASIFICACION
PORCENTAJE DE VENTANA	0	A1
EXTRA EN MURO	30	A2
USO DE SIS. DE VENTILACION CON RECUPERACION DE CALOR	sin	B1
	con	B2
TASA DE INFILTRACION	5	C1
	10	C2
	12,5	C3
VALOR U MURO	0,5	D1
	0,8	D2
	1,1	D3
	1,4	D4
	1,7	D5
	2,92	D6
VALOR U PISO	1,5	E1
	3	E2
VALOR U TECHO	0,18	F1
	0,28	F2
	0,38	F3
	0,83	F4
TIPO DE VIDRIO	simple	G1
	termopanel	G2
DEMANDA DE ENERGIA (RESPUESTA)	<40	1
	$40 \leq C < 50$	2
	$50 \leq C < 65$	3
	$65 \leq C < 85$	4
	$85 \leq C < 110$	5
	$110 \leq C < 135$	6
	≥ 135	7

ANEXO 4. Valores unitarios de partidas de mejoramiento

SELLO DE PUERTAS				
MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P.U	TOTAL
Cerradura acceso 6043-ZK	c/u	1	\$ 19.990	\$ 9.995
Liston Barra adhesiva de PVC	c/u	1	\$ 1.990	\$ 1.990
Sello "P" puerta 6 (m)	c/u	0,83	\$ 2.908	\$ 2.414
TOTAL MATERIALES (A)				\$ 14.399
MAQUINARIAS	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Martillo	c/u	0,1	\$ 2.000	\$ 200
TOTAL MAQUINARIAS (B)				\$ 200
MANO DE OBRA	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Carpintero	HH	1	\$ 2.250	\$ 2.250
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				\$ 2.250
LEYES SOCIALES (36%)				\$ 810
TOTAL MANO DE OBRA (C)				\$ 3.060
TOTAL A+B+C				\$ 17.659
GASTOS GENERALES (15%)				\$ 2.649
UTILIDAD (15%)				\$ 2.649
SUB-TOTAL				\$ 22.956
IVA 19%				\$ 4.362
TOTAL PRECIO UNITARIO				\$ 27.318

SELLO DE PUERTAS				
MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P.U	TOTAL
Cerradura acceso 6043-ZK	c/u	1	\$ 19.990	\$ 9.995
Liston Barra adhesiva de PVC	c/u	1	\$ 1.990	\$ 1.990
Sello "P" puerta 6 (m)	c/u	0,83	\$ 2.908	\$ 2.414
TOTAL MATERIALES (A)				\$ 14.399
MAQUINARIAS	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Martillo	c/u	0,1	\$ 2.000	\$ 200
TOTAL MAQUINARIAS (B)				\$ 200
MANO DE OBRA	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Carpintero	HH	1	\$ 2.250	\$ 2.250
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				\$ 2.250
LEYES SOCIALES (36%)				\$ 810
TOTAL MANO DE OBRA (C)				\$ 3.060
TOTAL A+B+C				\$ 17.659
GASTOS GENERALES (15%)				\$ 2.649
UTILIDAD (15%)				\$ 2.649
SUB-TOTAL				\$ 22.956
IVA 19%				\$ 4.362
TOTAL PRECIO UNITARIO				\$ 27.318

SELLO DE VENTANAS				
MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P.U	TOTAL
Silicona sikacryl	c/u	0,3	\$ 2.690	\$ 807
Sello ventana corredera	c/u	0,1	\$ 2.500	\$ 250
Sello "P" ventana 6 (m)	c/u	0,1	\$ 2.908	\$ 291
TOTAL MATERIALES (A)				\$ 1.348
MAQUINARIAS	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Pistola calafatear	c/u	0,1	\$ 2.390	\$ 239
TOTAL MAQUINARIAS (B)				\$ 239
MANO DE OBRA	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Jornal	HH	0,8	\$ 1.500	\$ 1.200
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				\$ 1.200
LEYES SOCIALES (36%)				\$ 432
TOTAL MANO DE OBRA (C)				\$ 1.632
TOTAL A+B+C				\$ 3.219
GASTOS GENERALES (15%)				\$ 483
UTILIDAD (15%)				\$ 483
SUB-TOTAL				\$ 4.184
IVA 19%				\$ 795
TOTAL PRECIO UNITARIO				\$ 4.979

SELLO DE INSTALACIONES				
MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P.U	TOTAL
Espuma poliuretano	c/u	0,03	\$ 4.496	\$ 135
Placa aluminio oxid	c/u	0,1	\$ 1.369	\$ 1.369
TOTAL MATERIALES (A)				\$ 1.504
MAQUINARIAS	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Atornillador Punta 2x100 mm	c/u	1	\$ 1.990	\$ 1.990
TOTAL MAQUINARIAS (B)				\$ 1.990
MANO DE OBRA	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Carpintero	HH	0,5	\$ 2.250	\$ 1.125
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				\$ 1.125
LEYES SOCIALES (36%)				\$ 405
TOTAL MANO DE OBRA (C)				\$ 1.530
TOTAL A+B+C				\$ 3.034
GASTOS GENERALES (15%)				\$ 455
UTILIDAD (15%)				\$ 455
SUB-TOTAL				\$ 3.944
IVA 19%				\$ 749
TOTAL PRECIO UNITARIO				\$ 4.693

ANEXOS

SELLO DE MUROS				
MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P.U	TOTAL
Pino Guardapolvo Finger 14x70mm	ml	0,33	\$ 2.540	\$ 838
Espuma de Poliuretano	c/u	0,03	\$ 4.610	\$ 138
Fijaciones calvos 1 1/2"	kg	0,03	\$ 721	\$ 22
SM Cuarto rodon pino finger 20x20mmx3m	ml	0,33	\$ 839	\$ 277
Puntas 1"	kg	0,03	\$ 721	\$ 22
Adhesivo de montaje	c/u	0,03	\$ 2.017	\$ 61
TOTAL MATERIALES (A)				\$ 1.357
MAQUINARIAS	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Martillo carpintero	c/u	0,1	\$ 1.000	\$ 100
Pistola calafatera	c/u	0,1	\$ 2.584	\$ 258
TOTAL MAQUINARIAS (B)				\$ 1.258
MANO DE OBRA	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Carpintero	HH	0,5	\$ 2.250	\$ 1.125
Ayudante	HH	0,5	\$ 1.500	\$ 750
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				\$ 1.875
LEYES SOCIALES (36%)				\$ 675
TOTAL MANO DE OBRA (C)				\$ 2.550
TOTAL A+B+C				\$ 3.907
GASTOS GENERALES (15%)				\$ 586
UTILIDAD (15%)				\$ 586
SUB-TOTAL				\$ 5.079
IVA 19%				\$ 965
TOTAL PRECIO UNITARIO				\$ 6.044

GUARDAPOLVOS				
MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P.U	TOTAL
Guardapolvo SM 3/4 x 2 x 3m	ml	0,33	\$ 1.232	\$ 407
Espuma de Poliuretano	c/u	0,03	\$ 4.610	\$ 138
Fijaciones calvos 1 1/2"	kg	0,3	\$ 721	\$ 216
Puntas 1"	kg	0,3	\$ 721	\$ 216
SM Cuarto rodón pino finger 20x20mmx3m	ml	0,33	\$ 839	\$ 278
TOTAL MATERIALES (A)				\$ 977
MANO DE OBRA	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Carpintero	HH	0,3	\$ 2.250	\$ 675
Ayudante	HH	0,3	\$ 1.500	\$ 450
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				\$ 1.125
LEYES SOCIALES (36%)				\$ 450
TOTAL MANO DE OBRA (C)				\$ 1.530
TOTAL A+B+C				\$ 2.507
GASTOS GENERALES (15%)				\$ 376
UTILIDAD (15%)				\$ 376
SUB-TOTAL				\$ 3.260
IVA 19%				\$ 619
TOTAL PRECIO UNITARIO				\$ 3.879

CORNISAS				
MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P.U	TOTAL
Junquillo pino 20x20mmx3m	c/u	0,33	\$ 1.180	\$ 389
Espuma de Poliuretano	c/u	0,03	\$ 4.610	\$ 138
Fijaciones calvos 1 1/2"	kg	0,3	\$ 721	\$ 216
Puntas 1"	kg	0,3	\$ 721	\$ 216
TOTAL MATERIALES (A)				\$ 1.504
MAQUINARIAS	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Martillo carpintero	c/u	0,1	\$ 1.000	\$ 100
Pistola calafatera	c/u	0,1	\$ 2.584	\$ 258
TOTAL MAQUINARIAS (B)				\$ 358
MANO DE OBRA	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Carpintero	HH	0,3	\$ 2.250	\$ 675
Ayudante	HH	0,3	\$ 1.500	\$ 450
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				\$ 1.125
LEYES SOCIALES (36%)				\$ 405
TOTAL MANO DE OBRA (C)				\$ 1.530
TOTAL A+B+C				\$ 2.849
GASTOS GENERALES (15%)				\$ 427
UTILIDAD (15%)				\$ 427
SUB-TOTAL				\$ 3.703
IVA 19%				\$ 704
TOTAL PRECIO UNITARIO				\$ 4.407

SISTEMA EIFS 1° NIVEL				
MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P.U	TOTAL
Primer Adhesivo	kg	3,8	\$ 695	\$ 2.641
Malla de fibra de vidrio	m ²	1,15	\$ 887	\$ 1.020
Malla juntas	ml	1	\$ 98	\$ 98
Esquineros de PVC	ml	0,15	\$ 790	\$ 119
Essence acabado finish	kg	2,9	906	\$ 2.627
Poliestireno Expandido 50 mm	planchas	1	\$ 1.466	\$ 1.466
TOTAL MATERIALES (A)				\$ 7.971
MAQUINARIAS	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Llana dentada especial	c/u	0,05	\$ 1.420	\$ 71
Llana raspador especial	c/u	0,05	\$ 1.420	\$ 71
Taladro con paleta revolvedora	c/u	0,05	\$ 33.605	\$ 1.680
TOTAL MAQUINARIAS (B)				\$ 1.822
MANO DE OBRA	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Albañil	HH	0,8	\$ 2.500	\$ 2.000
Ayudante	HH	0,8	\$ 2.000	\$ 1.600
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				\$ 3.600
LEYES SOCIALES (36%)				\$ 1.296
TOTAL MANO DE OBRA (C)				\$ 4.896
TOTAL A+B+C				\$ 14.689
GASTOS GENERALES (15%)				\$ 2.203
UTILIDAD (15%)				\$ 2.203
SUB-TOTAL				\$ 19.096

			IVA 19%	\$ 3.628
TOTAL PRECIO UNITARIO				\$ 22.724

SISTEMA EIFS 2° NIVEL				
MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P.U	TOTAL
Primer Adhesivo	kg	3,8	\$ 695	\$ 2.641
Malla de fibra de vidrio	m ²	1,15	\$ 887	\$ 1.020
Malla juntas	ml	1	\$ 98	\$ 98
Esquineros de PVC	ml	0,15	\$ 790	\$ 119
Essence acabado finish	kg	2,9	906	\$ 2.627
Poliestireno Expandido 50 mm	planchas	2	\$ 1.466	\$ 2.932
Placa de yeso carton 15 mm	m ²	1	\$ 2.464	\$ 2.464
Clavos Volcanita	bolsa	0,8	\$ 640	\$ 512
TOTAL MATERIALES (A)				\$ 12.413
MAQUINARIAS	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Llana dentada especial	c/u	0,05	\$ 1.420	\$ 71
Llana raspador especial	c/u	0,05	\$ 1.420	\$ 71
Taladro con paleta revolvedora	c/u	0,05	\$ 33.605	\$ 1.680
Andamios	c/u	0,11	\$ 550	\$ 61
TOTAL MAQUINARIAS (B)				\$ 1.883
MANO DE OBRA	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Albañil	HH	0,8	\$ 2.500	\$ 2.000
Ayudante	HH	0,8	\$ 2.000	\$ 1.600
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				\$ 3.600
LEYES SOCIALES (36%)				\$ 1.296
TOTAL MANO DE OBRA (C)				\$ 4.896
TOTAL A+B+C				\$ 19.192
GASTOS GENERALES (15%)				\$ 2.879
UTILIDAD (15%)				\$ 2.879
SUB-TOTAL				\$ 24.949
IVA 19%				\$ 4.740
TOTAL PRECIO UNITARIO				\$ 29.690

INSTALACIÓN VENTANAS DVH				
MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P.U	TOTAL
Ventana PVC teromopanel 3-10-3	m ²	1	\$ 70.000	\$ 70.000
Tornillo roscalata 1 x 8	kg	0,25	\$ 1.500	\$ 375
Silicona sikacryl	c/u	0,05	\$ 2.690	\$ 135
Tarugo 6 mm.	kg	0,25	\$ 1.200	\$ 300
TOTAL MATERIALES (A)				\$ 70.810
MAQUINARIAS	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Atornillador eléctrico	c/u	0,04	\$ 20.490	\$ 820
Pistola calafatera	c/u			
TOTAL MAQUINARIAS (B)				\$ 820
MANO DE OBRA	UNIDAD	REND.	P.U	TOTAL
Carpintero	HH	2,5	\$ 2.250	\$ 5.625

Ayudante	HH	2,5	\$ 1.500	\$ 3.750
			SUB-TOTAL MANO DE OBRA	\$ 9.375
			LEYES SOCIALES (36%)	\$ 3.375
			TOTAL MANO DE OBRA (C)	\$ 12.750
			TOTAL A+B+C	\$ 84.379
			GASTOS GENERALES (15%)	\$ 12.657
			UTILIDAD (15%)	\$ 12.657
			SUB-TOTAL	\$ 109.693
			IVA 19%	\$ 20.842
			TOTAL PRECIO UNITARIO	\$ 130.534

