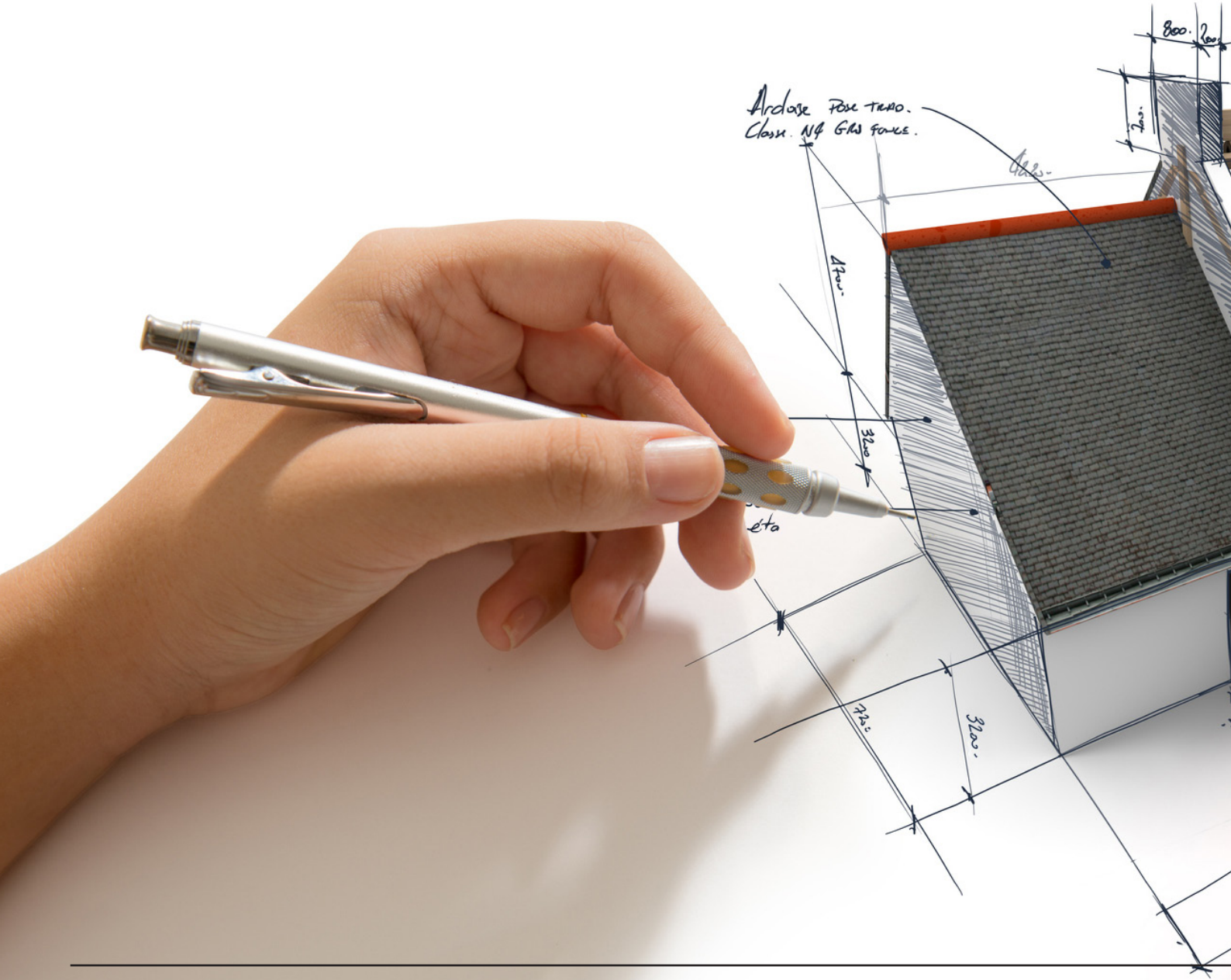
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA VIVIENDA SOCIAL: ANÁLISIS DE MEJORAS EN AISLAMIENTO TÉRMICO A PARTIR DE LA REGLAMENTACIÓN TÉRMICA

Héctor Hernández



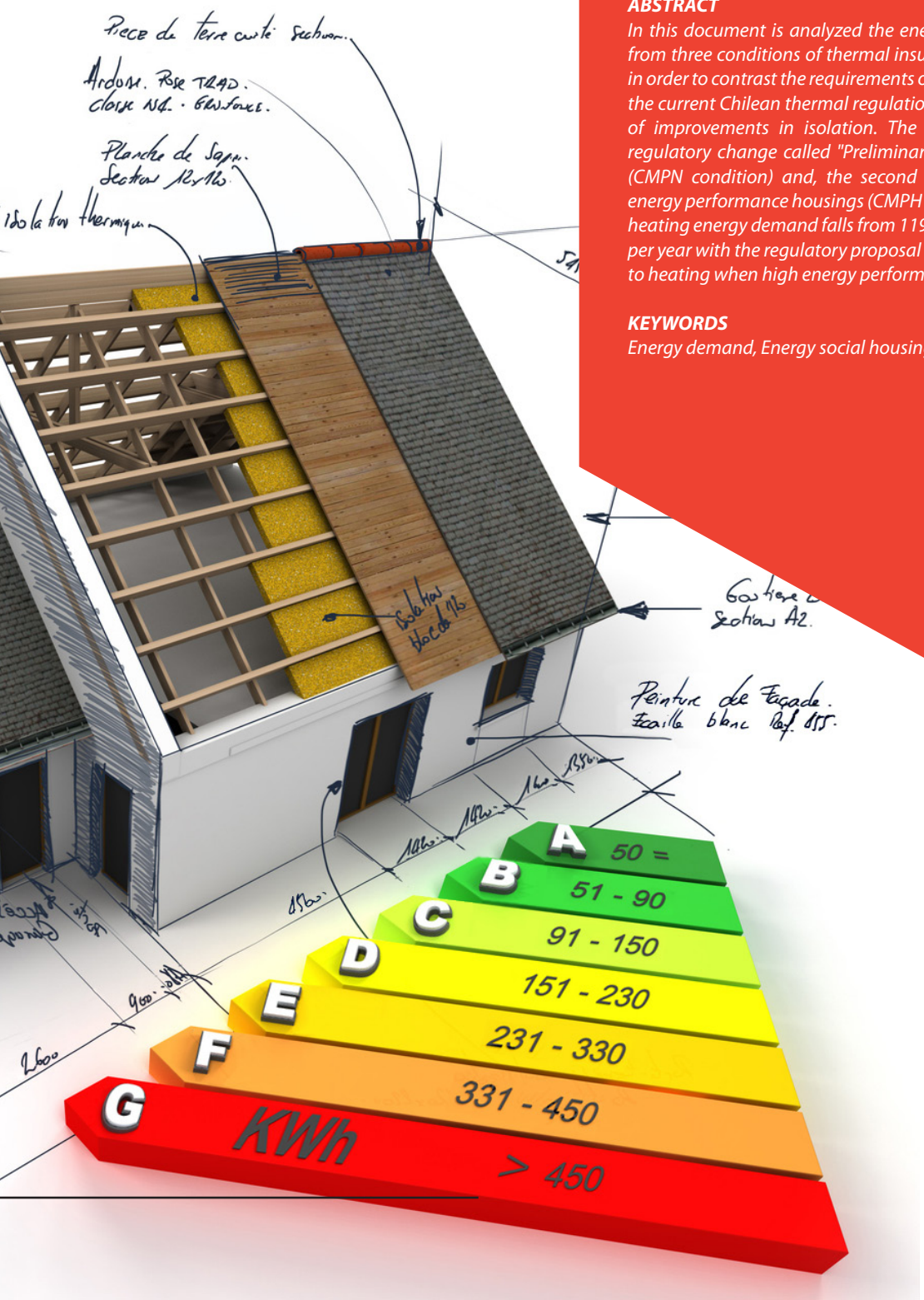
En el presente documento se analiza la energía demandada por una vivienda social a partir de tres condiciones de aislamiento térmico en la zona térmica 3. Esto, con el objeto de contrastar los requerimientos de transmitancia térmica (U-value) de la actual reglamentación térmica chilena (condición CB), con dos propuestas de mejoras en aislamiento. La primera, basada en la propuesta de cambio normativo denominada "Anteproyecto de norma NTM 011/2 2014" (condición CMPN) y, la segunda, basada en estándares para viviendas con alto desempeño energético (condición CMPH). Los resultados muestran que la demanda de energía para calefacción cae de 119,5kWh/m2 al año a 56 kWh/m2 al año con el aislamiento definido por la propuesta normativa y, que prácticamente no se requiere de energía para calefaccionar cuando se aplica el aislamiento de viviendas con alto desempeño energético.

ABSTRACT

In this document is analyzed the energy demanded by a social housing from three conditions of thermal insulation in the thermal Zone 3. This is in order to contrast the requirements of thermal transmittance (U-value) in the current Chilean thermal regulation (CB condition) with two proposals of improvements in isolation. The first one, based on the proposed regulatory change called "Preliminary Draft Standard NTM 011/2 2014" (CMPN condition) and, the second one, based on standards for high energy performance housings (CMPH condition). The results show that the heating energy demand falls from 119,5 kWh / m2 per year to 56 kWh / m2 per year with the regulatory proposal and practically no energy is required to heating when high energy performance homes insulation is applied.

KEYWORDS

Energy demand, Energy social housing, Stationary energy analysis.



INTRODUCCIÓN

Los edificios representan alrededor del 40% del consumo mundial de energía y contribuyen con más del 30% de las emisiones de CO2 (Yang, Yan, & Lam, 2014). Además, se estima que el 75% del total de energía consumida por el sector edificación es residencial (Yau & Hasbi, 2013). Esto evidencia el potencial que presentan las viviendas a nivel mundial en cuanto a la reducción del consumo de energía y a la mitigación de las emisiones contaminantes que propician el calentamiento global. Por tanto, reacondicionar térmicamente las edificaciones es el primer desafío que deben enfrentar quienes deseen concebir viviendas más eficientes, pues la rehabilitación de la envolvente no solo aporta a mejorar las condiciones de confort térmico, condiciones básicas de habitabilidad, sino también implican reducir fuertemente el consumo de energía y mitigar las emisiones de CO2 al ambiente.

Cabe entonces cuestionarse ¿qué viviendas deben rehabilitarse? La respuesta es simple, en general, la mayoría de las viviendas presentan oportunidades de mejora. Aproximadamente el 80% de las viviendas chilenas fueron construidas previa entrada en vigencia de la primera etapa de la reglamentación térmica – aislamiento de complejo de techumbre – el año 2000 (CDT, 2010), por tanto, es de esperar la existencia de muchas viviendas que no cumplen con estándares de aislación adecuados. En este conjunto destacan las viviendas de las familias más vulnerables, donde el crecimiento se ha concentrado en las municipalidades periféricas de la Región Metropolita (Borsdorf, Hildalgo, & Vidal-Koppmann, 2015). Hogares que en generar no se refrigeran en verano, pero que sí se calefaccionan en invierno y; donde las temperaturas en los meses más fríos pueden llegar a ser de 2°C más bajas que en el centro de la cuidad debido al efecto isla de calor (Sarrricolea Espinoza & Martín-Vide, 2014). Son estos barrios, con las familias de menores ingresos, los que exhiben los peores estándares urbanos (Brain & Mora, 2012).

En enero de 2007 entró en vigencia la segunda etapa de la actual reglamentación térmica chilena que, entre otras causas, daba respuesta a los nuevos requerimientos globales de construcción sustentable, a la escasez de recursos energéticos y la necesidad de disminuir la gran dependencia energética en hidrocarburos que presentaba el país. Actualmente, las nuevas políticas energéticas para Chile buscan conseguir al año 2050 que la generación eléctrica nacional provenga en gran parte de energías renovables (>70%) y que el 100% de las edificaciones nuevas tengan altos estándares de construcción eficiente y cuenten con sistemas de control de energía. (Ministerio de Energía, 2015). Sin embargo, a pesar de todos los avances existentes desde el 2000 en eficiencia energética y sustentabilidad en viviendas, existe poco impacto en lo normativo a nivel habitacional (Blender, 2015). En este contexto, constan propuestas de modificación a la reglamentación térmica vigente – definida en el Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción –, una de ellas es anteproyecto de Norma NTM 011/2 2014 "Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 2: Comportamiento higrotérmico" (MINVU - Ministerio de Vivienda y Urbanismo , 2014).

Consecuentemente, el objetivo de esta publicación es analizar el desempeño energético de una vivienda social a partir de tres situaciones de acondicionamiento térmico: a) una que dé respuesta a la actual reglamentación térmica, b) otra que dé respuesta a la propuesta de anteproyecto de Norma NTM 011/2 2014 y, finalmente, c) otra que dé respuesta a un alto estándar de construcción eficiente. Para esto, se proponen los siguientes objetivos específicos: a) Caracterizar la vivienda social y definir un caso de estudio, c) Estudiar la temperatura interior media (Tim) y la demanda de energía para cada caso y, c) Evidenciar que la actual reglamentación térmica chilena, al igual que su propuesta de cambio, no propician altos estándares de desempeño energético en viviendas.

1.1. Metodología

En la selección y definición de la vivienda de estudio – que fuera representativa y que diera cumplimiento a la definición de vivienda social y a los requerimientos de la actual reglamentación térmica –, fueron consultados un estudio de la Corporación de Desarrollo Tecnológico CDT, dictámenes de la Contraloría General de la República sobre la definición de vivienda social y proyectos de construcción de viviendas sociales licitados en el portal mercadopublico.cl. Definida la vivienda de estudio (caso base o de referencia, en adelante CB), se establecieron dos propuestas de mejoramiento a la vivienda de referencia. Estas mejoras fueron sustentadas en los requerimientos de transmitancias térmicas (U-Value) para los elementos de envolvente derivados; primero, del anteproyecto de Norma NTM 011/2 2014 (caso mejorado en base a propuesta normativa, en adelante CMPN) y, segundo, del estándar Passivhaus impuesto a la vivienda ganadora del premio UK 2016 (Passivhaustrust , 2016) (caso mejorado con parámetros Passivhaus, en adelante CMPH). En cada caso se estudió, principalmente, la temperatura interior media (Tim) y el requerimiento de energía de la vivienda para generar las condiciones de confort térmico en la ciudad de Santiago de Chile (Zona 3 de la actual normativa). Lo anterior, a partir de un análisis de eficiencia energética estacionario simplificado (Hernández, 2016) sustentado en el cálculo de transmitancias térmicas (U-Value) según la Norma Chilena NCh853, permitieron contrastar los casos CB, CMPN y CMPH en torno a las mejoras en los aislamientos térmicos.

MARCO CONCEPTUAL

2.1. La Vivienda Social

La Contraloría General de la República de Chile, en los dictámenes 58261/2007 y 44279/2011, establece que las viviendas sociales deberán cumplir con todos y cada uno de los siguientes requisitos para ser consideradas como tales (Contraloría General de la República, 2011):

a) Que se construya conforme al D.F.L. Nº 2, de 1959;
b) Que la superficie edificada no sea superior a los 140 m2;
c) Que reúna los requisitos, características y condiciones que determine el Reglamento Especial de Viviendas Económicas, contenido en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Título 6, Capítulo 1, Art.6.1.2);
d) Que tenga carácter definitivo;
e) Que esté destinada a resolver los problemas de la marginalidad habitacional;
f) Que sea financiada con recursos públicos o privados;
g) Que su valor de tasación no sea superior a 400 UF, salvo que se trate de condominios de viviendas sociales en cuyo caso podrá incrementarse dicho valor hasta en un 30% (520 UF), y
h) Que cumpla las características técnicas de urbanización y de equipamiento que señalen los reglamentos que dicte el Presidente de la República por intermedio del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
i) Que su Carácter de vivienda Social sea certificado por el Director de Obras Municipales.

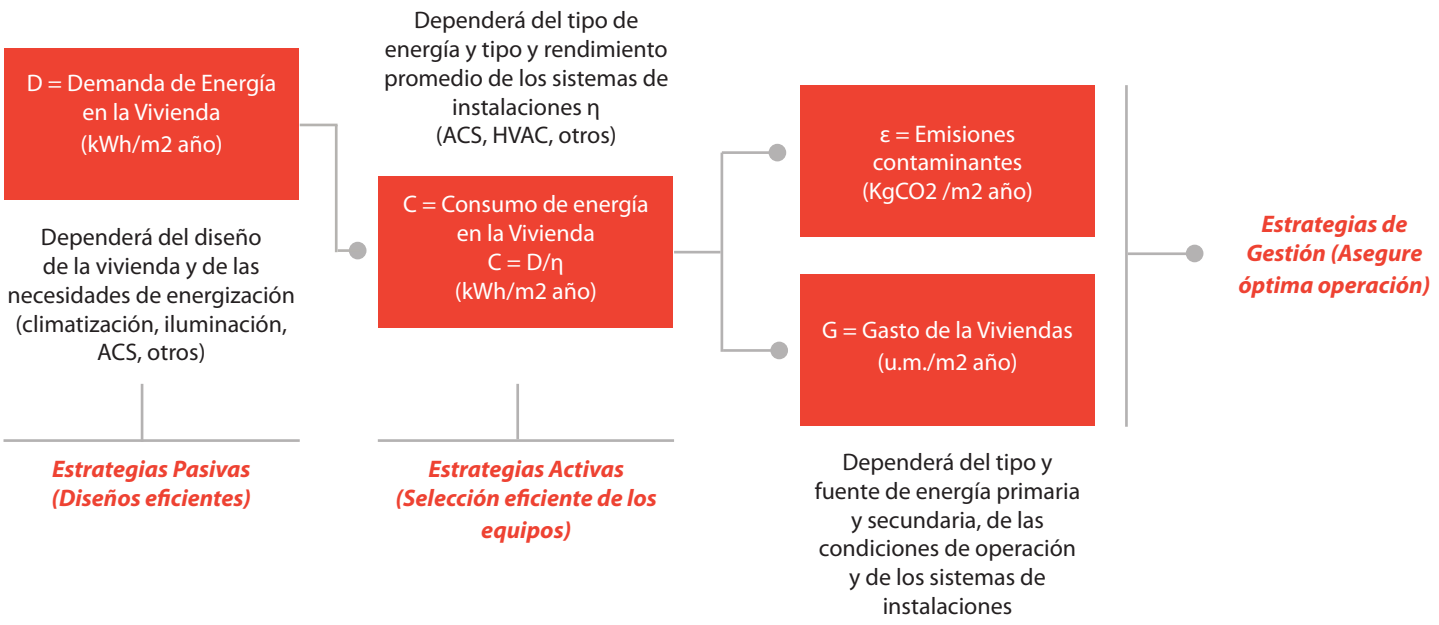


FIGURA 1

Indicadores que definirán la eficiencia energética. Fuente: Adaptada de (Hernández & Meza, 2011)

2.4. Viviendas de bajo consumo energético

Una vivienda de bajo consumo deberá tener en cuenta los siguientes aspectos (Rey & Velasco, 2006):

1. Consideración de los aspectos energéticos en la fase del diseño de la vivienda.
2. Forma compacta del edificio
3. Aislamiento térmico reforzado
4. Limitación de los puentes térmicos
5. Estanqueidad al aire
6. Empleo eficaz de la energía solar pasiva
7. Instalaciones térmicas eficientes y fáciles de utilizar
8. Sanitarios de bajo consumo de agua
9. Equipamientos eléctricos de bajo consumo energético
10. Elección de materiales de construcción reciclables cuya producción y puesta en obra necesiten poca energía

Estos aspectos definirán la demanda, el consumo y la inversión en recursos energéticos, además de las emisiones contaminantes al medio ambiente durante todo el ciclo de vida de una vivienda.

2.5. Energía: Demanda, consumo, gasto y emisiones.

En los análisis de eficiencia energética en edificaciones es importante tener presente que las energías pueden tipificarse en: renovables o no renovables y, dependiendo si la energía es transformada, en primarias o secundarias. También se debe tener claridad en la diferenciación de los conceptos de demanda, consumo y gasto energético, como asimismo, la vinculación de estos con las emisiones de CO2 al ambiente. La cantidad de energía demandada por la vivienda para generar el acondicionamiento térmico, medida en kWh /m2 al año, corresponde a la cantidad de energía necesaria para calefaccionar o refrigerar los espacios habitacionales. No serán considerados en este estudio la energía demandada para el abastecimiento de agua caliente sanitaria, iluminación, cocción u otras funciones análogas. La demanda de energía se puede estudiar bajo régimen estacionario o dinámico, en este último caso, la ayuda de programas de simulación computacional son imprescindibles para su determinación. Para este estudio se ha utilizado un análisis estacionario.

Por otra parte, la relación entre demanda y consumo energético queda definida por los rendimientos de los equipos o sistemas de instalaciones presentes en la edificación (η), los que en general difieren de vivienda en vivienda y dependen, básicamente, de las pérdidas de generación, de distribución, de regulación y de control de los propios sistemas. Consecuentemente, menor demanda de energía y mayores rendimientos de los sistemas redundarán en menores consumos de energía (en kWh /m2 al año) y menores emisiones contaminantes al ambiente (en KgCO2/m2 año) que, dependiendo del tipo y fuente energía, podrán o no ser significativos (Energía eléctrica de origen solar será muy distinto que energía eléctrica de origen fósil). Asimismo, y conforme al precio que el mercado defina para las energías que alimentan la vivienda (en general energías secundarias, como la electricidad), se determinará el gasto energético medido en unidades monetarias por m2 al año (u.m./m2 año); el cual también dependerá del tipo y fuente de energía (Gasto en electricidad de origen solar diferirá con gasto de electricidad de origen fósil). Estos indicadores energéticos se resumen en la figura 1, los que son congruentes con el Enfoque Estratégico que sigue la premisa de implementar primero "Opciones Pasivas" reductoras de carga para el diseño de edificios, seguido de "Opciones Activas" energéticamente eficientes para acondicionamiento térmico y ventilación según sea necesario, para luego ajustar la operación del edificio a través de la "Gestión en el uso de la energía" (bigEE - Wuppertal Institute for Climate, 2012).

DEMANDA ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA ESTUDIADA

3.1. Definición de vivienda base de estudio y propuestas de mejora

Según el "Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial de Chile" (2010), el 48,8% de las viviendas en Chile está materializada en ladrillo y el 0,8% presenta equipos de aire acondicionado (CDT, 2010). Por tanto, una vivienda que solo es calefaccionada y materializada en albañilería resulta ser representativa para el estudio. Este antecedente, más los expuestos

en el apartado 2.1 que definen la vivienda social chilena, permitieron seleccionar una vivienda unifamiliar entre un grupo de viviendas cuya construcción fuera licitada en el portal mercadopublico.cl y diera cumplimiento a los requerimientos de la actual reglamentación térmica chilena para la Zona 3.

La vivienda seleccionada corresponde a una vivienda tipo municipal, materializada en albañilería armada de 50,5m2, la que contempla un recinto de estar comedor, dos dormitorios, un baño y una cocina con lavadero al exterior. Las superficies de ventanas, muros, puertas y cielo son de 7m2, 57m2, 4,5m2 y 50,5m2 respectivamente, con un perímetro de piso igual a 28,46m (Figura 2). La vivienda que se ajusta al cuadro normativo D.S. N° 49 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo que permite a familias vulnerables que no pueden acceder a un crédito hipotecario financiar la adquisición o construcción de una vivienda. Esta edificación define la vivienda de referencia CB (caso base), cuyos valores de transmitancias térmicas (U-Value) exigidos por la normativa vigente se contrastan con los requerimientos planteados para los casos CMPN (caso mejorado en base a propuesta normativa, donde Zona 3 pasa a ser Zona D) y CMPH (caso mejorado con parámetros Passivhaus) en tabla 1.

3.2. Resultados de la modelación estacionaria

La modelación estacionaria se sustenta en un procedimiento simplificado para el cálculo de la demanda y rendimiento energéticos de un edificio. (Lavigne, 2003) establece que cuando se enfrenta un problema que exhibe parámetros que varían de modo periódico alrededor de un valor medio, como lo son los parámetros que influyen sobre el estado térmico de un edificio para un periodo de 24 horas, entonces se aplica el principio de superposición. Este principio reemplaza un problema complejo por dos problemas más simples que se encuentran superpuestos, es decir, un problema de régimen permanente en el marco de los valores medios y un problema dinámico periódico. Por consiguiente, los análisis bajo regímenes estacionarios o semi-estacionarios consisten en simplificaciones físicas ambientales, caracterizadas por valores promedio mensuales de varios factores, tales como las temperaturas ambientales, los valores de radiación solar, entre otros; donde la fluctuación típica de las variables diarias se reduce a un único valor que puede considerarse constante durante todo el mes (Evangelisti, Battista, Guattari, Basilicata, & de Lieto Vallaro, 2014).

TABLA 1
U-Value para dar cumplimiento a los casos planteados.

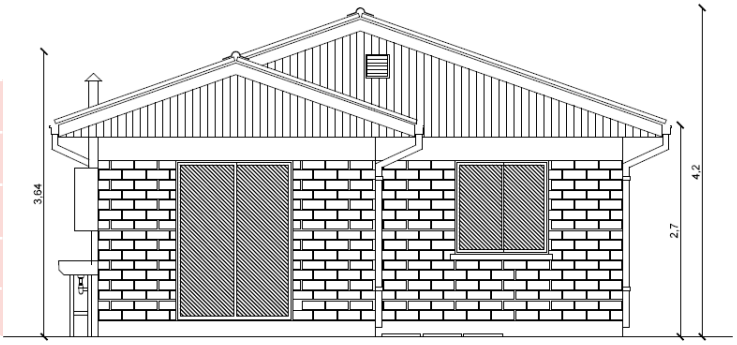
Elementos envolvente	U (W/m2*K)		
	CB	CMPN	CMPH
VENTANAS	1,0000	3,0000	4,0000
MUROS	0,3333	1,0000	3,0000
PUERTAS	0,2500	0,3333	1,0000
CIELO	0,2154	0,2000	1,3029
PISO*	1,7988	4,5333	8,3029

**Piso no ventilado, transmitancia térmica lineal (W/m*K).*
Fuente: Elaboración propia.

Basados en la metodología de análisis estacionario propuesta por Lavigne (2003) y su ejemplificación a partir de una análisis simplificado en el documento análisis energético de una vivienda (Hernández H., 2016), la tabla 2 muestra los resultados obtenidos de la modelación de la vivienda de estudio en la ciudad de Santiago (Región Metropolitana, Zona 3). Resultados tanto para el caso base de estudio (CB), como para los casos con propuestas de mejoras (CMPN y CMPH). Entre los indicadores energéticos de la tabla 2 destacan, la energía anual demandada para la generación de las condiciones de confort térmico (considera temperatura de confort igual a 20°C y tasas de renovación de aire de 1h-1 para invierno y de 2h-1 para verano), las estimaciones de los consumos energéticos anuales (supone un rendimiento de 90%), los gastos energéticos anuales (supone un costo de 0,0040 UF/kWh considerando uso de electricidad y 0,0029 UF/kWh considerando uso de gas licuado derivado del petróleo GLP) y las emisiones de CO2 al ambiente considerando coeficientes de paso iguales a 0,685 kg CO2eq/kWh para electricidad y 0,195 kg CO2eq/kWh para GLP (Cárdenas, Muñoz, Riquelme, & Hidalgo, 2014).

TABLA 2
Indicadores de Eficiencia derivados de análisis estacionario.

Indicador de Eficiencia	CB	CMPN	CMPH
Dda. Calefacción (kWh/m2 año)	119,5	56,0	0,8
Dda. Refrigeración (kWh/m2 año)	67,1	57,0	75,8
Consumo en calefacción (kWh, considera η=90%)	6704	3144	44
Tim meses calefacción (°C)	15,20	14,90	19,50
Desviación Tim calefacción (°C)	**3,22**	**2,05**	**0,01**
Tim meses de refrigeración (°C)	24,70	24,10	27,50
Emisiones calefacción a GLP (Kg CO2 / m2 año)	25,89	12,14	0,17
Emisiones calefacción a electricidad (Kg CO2/m2 año)	90,93	42,64	0,60
Gasto en calefacción a electricidad (UF/año)	26,81	12,57	0,18
Gasto en calefacción a GLP (UF/año)	**19,44**	**9,12**	**0,13**



ELEVACIÓN FRONTAL (sin escala)

FIGURA 2
Vivienda de estudio. Fuente: (MINVU, 2017)

Para facilitar el análisis en torno a la energía demanda anual, se presentan las figuras 3 y 4. Esta última será útil en la interpretación de la relación entre aislamiento térmico, condensación superficial y estanqueidad en viviendas. La distribución de las demandas de energía a través del año, mostradas en la figura 2 para los casos CB, CMPN y CMPH, derivan del análisis estacionario; donde el requerimiento energético mensual corresponde a la estimación de la energía que es necesaria suministrar a la vivienda para ajustar la temperatura interior media Tim (calefaccionar en invierno o refrigerar en verano) a la temperatura de confort.

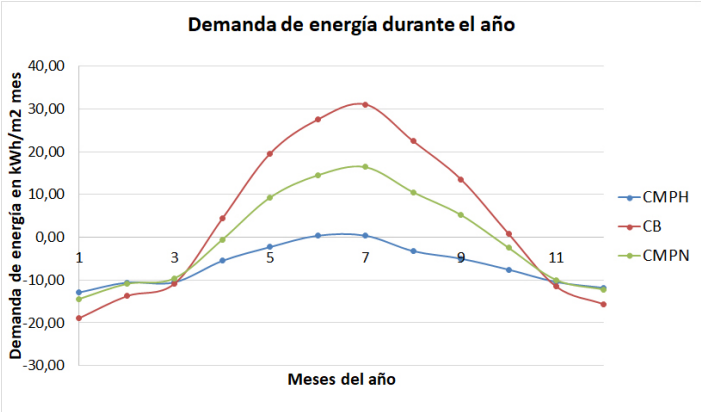


FIGURA 3

Demanda de energía a través del año para los casos de estudio. Elaboración propia.

A partir de la determinación de la Tim en el análisis estacionario, la figura 4 muestra las diferencias entre las temperaturas superficiales interiores Tsi esperadas para los muros en los meses de más fríos del año (mayo a septiembre) y la temperatura de rocío Trocío para una humedad relativa interior de 50% y 70% conforme a las transmitancias térmicas (U-Value) definidas para muros en los casos CB, CMPN y CMPH según consta en la tabla 1. Así, la Tsi media del muro es estimada a partir de la Ec.1, donde Tem corresponde a la temperatura exterior media para cada mes analizado; y la Trocío – temperatura a la que precipita el vapor de agua contenido en el aire – es calculada a partir del ábaco psicrométrico para las diferentes condiciones promedio de temperatura interior y humedad relativa interior.

$$T_{si}\ muro = T_{im} - 0{,}12 * U_{muro} * (T_{im} - T_{em})\ \text{Ec. 1}$$

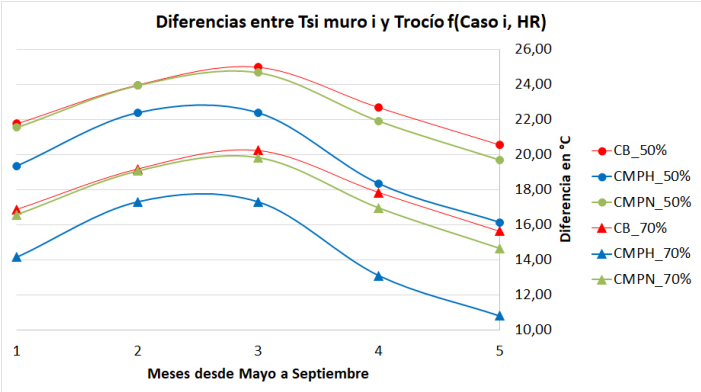


FIGURA 4

Diferencias entre Tsi del muro y la Trocío para los casos de estudio. Elaboración propia.

ANÁLISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS DE LA MODELACIÓN

De la tabla 1 se desprende que, aunque la propuesta de cambio normativo (CMPN) presenta una mejora significativa en el requerimiento de aislamiento para algunos elementos de envolvente, por ejemplo, el U-Value en muro cae en 68% para la zona 3; siguen siendo requerimientos de transmitancias que no corresponden a altos estándares de eficiencia como lo son los definidos para el caso CMPH (Passivhaus). Así, para lograr los ahorros en energía estimados en el caso CMPH, la transmitancia térmica del muro cae en 94,1% con respecto al caso CB y en 81,2% con respecto al caso CMPN. También se aprecia que la variabilidad que experimentan las transmitancias térmicas en elementos de ventanas, muros, puertas y cielo es mucho menor en el caso CMPH, no así en los casos CB y CMPN. Esto se desprende del cálculo del coeficiente de variación de las transmitancias equivalentes a 96,5%, 102,3% y 30,2% en los casos CB, CMPN y CMPH respectivamente. Esto se evidencia al determinar la relación existente entre las transmitacias térmicas de la ventana y el muro en la tabla 1, siendo de 3,1 para CB, de 6 para la CMPN y de 0,5 para el CMPH.

Conforme a la tabla 2, la demanda de energía estimada de calefacción anual cae con la propuesta normativa de 119,5kWh/m2 al año a 56 kWh/m2 al año, lo que representa una disminución de 53,1% en el consumo de energía. Sin embargo, al aplicar los parámetros de transmitancia térmica derivados de la vivienda ganadora del premio Passivhaus UK 2016, la demanda de energía para calefaccionar en los meses fríos es prácticamente nula, disminuyendo la demanda con respecto al caso base CB en un 99,3%.

La demanda de energía en refrigeración presenta menor variabilidad, esto se desprende al contrastar cada resultado con la demanda promedio de los tres casos propuestos igual a 66,6kWh/m2 año; por tanto, no se presentan las mismas diferencias que en las demandas de calefacción. También, y contrario a los resultados para calefacción, la demanda de refrigeración para el caso CMPH es mayor que en los casos CB y CMPN. Esto es debido a que el mayor aislamiento en CMPH, para igual tasa de renovación de aire, provoca que la Tim en la vivienda sea mayor en los meses de calor; evidenciando la necesidad de mayor ventilación para refrescar la vivienda más aislada en verano. Pese a esto, hay que tener presente que en análisis estacionarios como el aplicado, la demanda de energía para refrigeración debiera ser algo menor, ya que estudios han demostrado que los valores de demanda de refrigeración obtenidos con software de simulación dinámica son menores en comparación con los valores calculados en condiciones semi-estacionarias, pues el software dinámico tiene en cuenta la inercia térmica de la estructura y, en particular, que durante la noche, el edificio libera el calor almacenado durante el día. Durante el tiempo de enfriamiento, esta diferencia porcentual crece hasta aproximadamente el 38% en edificios con alta inercia térmica que son simulados con TRNSYS (Evangelisti, Battista, Guattari, Basilicata, & de Lieto Vallaro, 2014)

Dado que las mejoras en transmitancia térmica implican disminuciones en las demandas de energía y que la relación entre la demanda de energía y las emisiones de CO2 es directa, entonces, se producen disminuciones en las emisiones de CO2 análogas a las producidas en la demanda; sin embargo, y dado los coeficientes de paso utilizados para cada tipo de energía, las emisiones en este caso de estudio son mayores cuando se utiliza energía eléctrica en lugar de GLP. Lo mismo ocurre con el gasto de energía, aunque las diferencias para los resultados según tipo de energía son mucho menores. Ahora bien, el ahorro anual en calefacción entre los casos CB y CMPH, equivales a 26,63UF al

año y 19,31UF al año para electricidad y GLP respectivamente, podrán justificar inversiones en aislamiento térmico que permitan disminuir la demanda de energía en calefacción a niveles que logran las viviendas con alto desempeño; teniendo siempre presente que este ahorro disminuirá en zonas climáticas de mayor exigencia para los mismos casos planteados en esta investigación.

Las emisiones de CO2 estimadas corresponden solo a una fracción de las emisiones vinculadas al ciclo de vida de la vivienda, pues involucran solo la fase de operación y el uso de energía para calefacción. Sin embargo, es en la fase la operación donde se demanda la mayor cantidad de recursos energéticos, que para algunas viviendas, llega a representar el 89% de la energía total del ciclo de vida (Cárdenas, Muñoz, Riquelme, & Hidalgo, 2014). Así, considerando la disminución de 25,72 Kg CO2 /m2 entre los casos CB y CMPH para calefacción con GLP al año, se obtiene una mitigación de 1298,68 Kg CO2 por año para este tipo de vivienda que, considerando una vida útil de 50 años, puede llegar a representar una disminución de aproximada de 65ton de CO2 equivalentes.

Al contrastar la distribución de la demanda de energía en la vivienda a través del año para las modelaciones CB, CMPN y CMPH (ver figura 3), se aprecia que es el caso CMPH el que presenta menor variabilidad. Esto debe a la menor dispersión que presentan las Tim en torno a la temperatura de confort térmico para la modelación CMPH, aspecto que se evidencia al observar la desviación de la Tim en los meses de calefacción en la tabla 2. Por otro lado, y dado que la modelación estacionaria no considera la inercia térmica, es esperable que las distancias se acorten entre demandas calculadas para cada caso (curvas más achatadas).

Al observar las diferencias producidas entre la temperatura superficial del muro y la temperatura de rocío para las situaciones propuestas en la figura 4, se aprecia que las diferencias entre las temperaturas de rocío y la temperatura superficial interior del muro se acortan al disminuir la transmitancia térmica del elemento de envolvente, diferencias aún menores frente al aumento de la humedad relativa interior de 50% a 70%. Desde que la condensación superficial en un elemento de envolvente se produce cuando la temperatura superficial alcanza la temperatura de rocío, ocasionando los problemas de humedad por condensación en invierno, un mejor aislamiento térmico derivará en una mayor preocupación frente a los aumentos de humedad relativa interior, pues el riesgo de condensación en elementos de mayor transmitancia aumentará. Entonces, la preocupación por lograr uniformidad en las transmitancias térmicas, la inexistencia de puentes térmicos y el control de la ventilación para evitar la concentración de vapor se acentuarán en viviendas más aisladas térmicamente como es el caso CMPH.

Finalmente, con respecto a la definición de vivienda social, sorprende que una vivienda vulnerable pueda materializarse hasta en 140m2. Lo que se muestra inviable desde que el costo por metro cuadrado definido para las viviendas de albañilería (clase C, categoría 4) en la tabla de costos unitarios por metro cuadrado definidos por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2017) excede la restricción de 400UF de tasación. Esto queda evidenciado en el estudio "Vivienda social en Santiago de Chile entre los periodos 1980- 2002" (Tapia Zarricueta, 2015) donde la vivienda de mayor superficie presenta 58,1m2 y se establece que el número de viviendas sociales que se instalaron y construyeron en el Gran Santiago entre esos años fue de aproximadamente 203.236 unidades con una media simple de aproximadamente 40,9m2 para los casos que se cuenta información . Por tanto, suponiendo que estas viviendas no hayan sido reacondicionadas y disminuciones de demanda por m2 análogas a la vivienda de albañilería estudiada entre los casos CB y CMPN para calefacción con GLP (tabla 2), se tienen rebajas en kWh al año y CO2 equivalentes al año de 527.834MW y 114.295 toneladas respectivamente.

CONCLUSIONES

Aunque existe un cambio no menor en los requerimientos de transmitancia térmica para los elementos de envolvente de las viviendas construidas en la Zona 3, por ejemplo, el muro pasa de un U = 1,9 (W/m2*K) a U =0,6 U (W/m2*K); estos cambios no lograron que la vivienda estudiada presentara una demanda de energía a niveles de viviendas con alto desempeño energético (demanda menor a 15kWh/m2 año). Un acondicionamiento con alto desempeño (CMPH) conllevó que prácticamente no se demandase energía para calefaccionar, donde la demanda para calefacción cayó de 119kWh/m2 al año en CB a 0,8kWh/m2 al año en CMPH. Pese a esto, y suponiendo un número importante de viviendas sociales en el Gran Santiago que no han sido reacondicionadas, lo ahorros energéticos y la mitigación de emisiones contaminantes al ambiente serían considerables si fueren exigibles los requerimientos presentados por la propuesta de cambio normativo.

La actual normativa y su propuesta de cambio no evidencian parámetros de transmitancia térmica uniformes. Esto propicia que las áreas de envolvente en la vivienda presenten resistencias térmicas dispares, aumentando el riesgo de condensación en aquellas superficies de menor resistencia y cuyos encuentros, esperablemente, conformen puentes térmicos; basta con mencionar la relación existente entre los valores de transmitancias térmicas en ventanas y muros para los casos modelados, donde la relación sube de 3,1 a 6 desde el caso CB al caso CMPN.

Se ratifica que el reacondicionamiento térmico aminora la demanda de energía y su variabilidad a través del año, presentando un aumento promedio de las temperaturas interiores en la vivienda que redundan en la caída del requerimiento de energía para calefaccionar en los meses más fríos del año. Lo que no fue análogo cuando se analizó la refrigeración, donde la dispersión fue mucho menor y se requirió de mayor energía para refrigerar en el caso CMPH. Sin embargo, se debe tener presente que la modelación estacionaria no considera la inercia térmica, por lo que los resultados para refrigeración debieran ser menores (hasta un 38% menor cuando la inercia térmica es importante).

Finalmente, la propuesta normativa mejoró las condiciones energéticas y térmicas en la vivienda de estudio, pero no a un nivel de alto desempeño energético como los definidos para viviendas con estándares passivhaus. Además, la propuesta de cambio normativo no evidencia preocupación por lograr uniformidad en las transmitancias térmicas de la envolvente, como tampoco prevé la inexistencia puentes térmicos o el control de la ventilación que debe acentuarse cuando las viviendas son más aisladas.

BIBLIOGRAFÍA

bigEE - Wuppertal Institute for Climate. (Diciembre de 2012). A Strategic Approach enables Energy-Efficient Buildings. Obtenido de Environment and Energy.: http://www.bigee.net/media/filer_public/2013/11/28/bigee_txt_0024_bg_a_strategic_approach_enables_energy-efficient_buildings.pdf

Blender, M. (10 de Marzo de 2015). Arquitectura & Energía - Portal de eficiencia energética y sostenibilidad en Arquitectura y Edificación. Obtenido de La Reglamentación Térmica – una mirada a 15 años de vigencia: http://www.arquitecturayenergia.cl/home/la-reglamentacion-termica/

Borsdorf, A., Hildalgo, R., & Vidal-Koppmann, S. (2015). Social segregation and gated communities in Santiago de Chile and Buenos Aires. A comparison. Habitat International, 1-10.

Brain, I., & Mora, P. (2012). El barrio como motor del valor de la vivienda social en Chile: evidencia a partir de la Encuesta Panel de Vivienda 2010. Persona y Sociedad - Volume 26, 113-145.

Cárdenas, J., Muñoz, E., Riquelme, C., & Hidalgo, F. (2014). Simplified life cycle assessment applied to structural insulated panels homes. Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 30, 33-38.

CDT, C. d. (2010). Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial de Chile. Santiago: Corporación de Desarrollo Tecnológico CChC.

Contraloría General de la República. (13 de Julio de 2011). Buscador Dictámenes. Obtenido de Base Dictámenes: http://www.contraloria.cl/pdfbuscador/dictamenes/044279N11/html

Evangelisti, L., Battista, G., Guattari, C., Basilicata, C., & de Lieto Vallaro, R. (2014). Analysis of Two Models for Evaluating the Energy Performance of Different Buildings . Sustainability, 5311-5321.

Hernández, H. (2016). Análisis Energético de una Vivienda. Ingeniería al Dïa, 46-50.

Hernández, H., & Meza, L. (2011). Propuesta de una metodología de certificación de eficiencia energética para viviendas en Chile. Revista de la Construcción, Volumen 10, 53-63.

Lavigne, P. (2003). Arquitectura climática: una contribución al desarrollo sustentable . Talca: Universidad de Talca.

MINVU . (2014). Serviu - Vivienda. Obtenido de Propuesta de actualización de la Reglamentación Térmica, artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones: http://xi.serviu.cl/vivienda/ANEXOS%20CONCURSO/NTM%2011_2.pdf

MINVU. (7 de Abril de 2017). Mercado Público. Obtenido de Licitación ID: 3499-2-LR17 : http://www.mercadopublico.cl/Procurement/Modules/RFB/DetailsAcquisition.aspx?qs=F0hstBE7hbS/XcPzZRgeWQ==

MINVU. (9 de Enero de 2017). Tabla de Costos Unitarios. Obtenido de Tabla de Costos Unitarios por Metro Cuadrado de Construcción: http://www.minvu.cl/opensite_20080311104413.aspx

Passivhaustrust . (2016). The UK Passive House Organisation. Obtenido de Projects - Lansdowne Drive: http://www.passivhaustrust.org.uk/projects/detail/?cId=77#.Whsk47pFz8W

Rey, F., & Velasco, E. (2006). Eficiencia energética en edificios. Madrid: Thomson Editores Spain.

Sarrricolea Espinoza, P., & Martín-Vide, J. (2014). El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superfi cie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de Componentes Principales. Revista de Geografía Norte Grande, 123-141.

Tapia Zarricueta, R. (2015). Vivienda social en Santiago de Chile. Análisis de su comportamiento locacional, período 1980- 2002. Revista INVI, Volume 26, 105-131.

Yang, L., Yan, H., & Lam, J. (2014). Thermal comfort and building energy consumption implications – A review. Applied Energy - Volume 115, 164-173.

Yau, Y., & Hasbi, S. (2013). A review of climate change impacts on commercial buildings and their technical services in the tropics. Renewable and Sustainable Energy Reviews - Volume 18, 430-441.