



ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA

Hoy en día existen dos formas habituales para analizar la energía demandada por los edificios. Estos son análisis de desempeño dinámico o estacionario. El primero utiliza varios tipos de software en la evaluación del rendimiento energético de los edificios y el segundo utiliza fórmulas basadas en el principio de superposición de fenómenos. Cualquiera que sea el caso a utilizar en la evaluación, en ambos es necesario un profundo entendimiento sobre parámetros físicos de la vivienda. Con el propósito de simplificar el análisis de la demanda de energía, ya sea para mejorar la comprensión de las personas o para prescindir de software de simulación o de los modelos matemáticos complejos utilizados en varios estudios, el presente artículo muestra un análisis estacionario simplificado en la determinación de la energía demandada para calefacción en una vivienda construida con paneles termo estructurales para su comparación con su modelación dinámica. Los resultados con el modelo dinámico, para el caso de estudio, muestran una variación de sólo el 5,13% con respecto a la modelización estacionaria simplificada.

Keywords: Energy demand, Energy housing, Simplified analysis, Stationary analysis.

El sector residencial juega un rol fundamental al momento de analizar el potencial en la reducción del uso y consumo de energía y emisiones de CO_2 al ambiente. De acuerdo a investigaciones en torno al confort térmico y a las implicaciones del consumo de energía en edificios, los edificios representan alrededor del 40% del consumo mundial de energía y contribuyen con más del 30% de las emisiones de CO_2 . Donde una gran parte de esta energía se utiliza para el confort térmico en edificios (Yang, Yan, & Lam, 2014). El potencial de ahorro que podría alcanzar este sector en Chile al año 2020, considerando los diferentes programas delineados en el Plan de Acción de Eficiencia Energética (PAEE20), se estima en un 19,7%, equivalente a 9.860 GWh¹ (Agencia Chilena de Eficiencia Energética AChEE, 2016). Consecuentemente, determinar el consumo y conocer los parámetros del cual depende la demanda de energía en la generación de las condiciones de confort térmico en las viviendas es clave en la aplicación tecnológica vinculada para minimizar el consumo de energía y emisiones de CO_2 al medio ambiente.

Según Blender 2015 (Blender 2015), todavía se requiere mucho trabajo en detalle para que el resultado logre realmente “mejorar la calidad de vida de la población” y “reducir el consumo de energía y la contaminación al interior como al exterior de la vivienda”. En este contexto, el presente documento busca determinar la demanda de energía en una vivienda construida en base a muros

estructurados en paneles aislantes (Structural Insulated Panel). Esto, con el propósito de comprender las variables y los aspectos vinculados a la eficiencia energética en viviendas a partir de un análisis estacionario simplificado contrastado con un modelo de análisis más complejo. Para este propósito se han generado los siguientes objetivos específicos: a) Analizar el equilibrio energético en viviendas y las principales variables físicas consideradas en ello, b) Diferenciar las metodologías estacionaria y dinámica en la determinación de la demanda de energía y c) Presentar un caso de estudio a partir del cual se pueda analizar el desempeño energético de una vivienda bajo un modelo estacionario simplificado en contraste con uno dinámico.

2. METODOLOGÍA

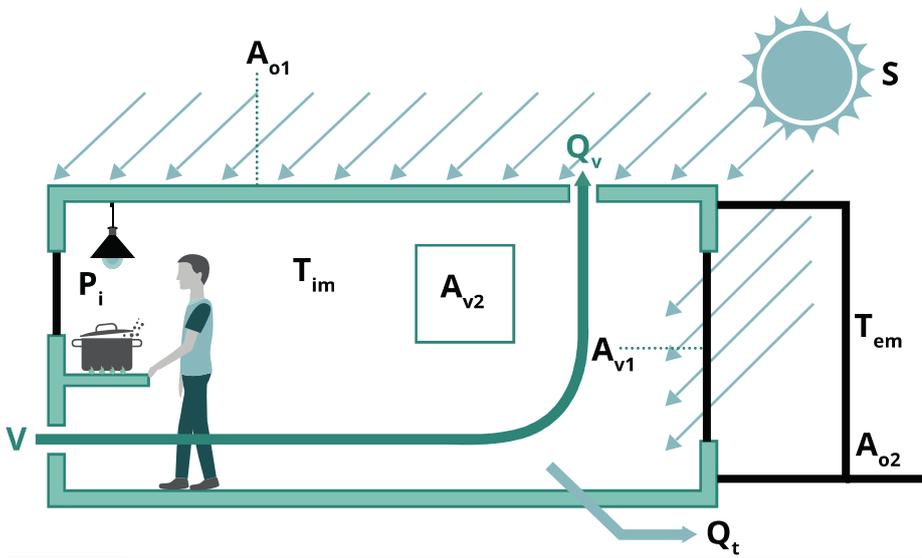
En primer lugar se estudiará la teoría vinculada a la medición de la demanda de energía en viviendas a partir del principio de equilibrio térmico entre espacios separados por elementos de cerramiento bajo régimen estacionario y dinámico. Esto será abordado en el apartado 2. Conocida la teoría vinculada a la determinación de la demanda de energía, medida en kWh/m^2 , se determinará la cantidad de energía requerida para generar las condiciones de confort térmico en invierno (calefacción) en una vivienda construida con paneles SIP (Structural Insulated Panel) bajo régimen dinámico. Luego se contrastará este resultado con el obtenido bajo régimen estacionario simplificado, tomando

como base la normativa Chilena. Esto será abordado en los apartados 3 y 4.

Se espera que los resultados no presenten una diferencia importante debido a que se trata de un material liviano, es decir, de menor inercia térmica por absorción en contraste a materiales tradicionales como son el hormigón o la albañilería.

3. BALANCE ENERGÉTICO EN VIVIENDAS

El confort térmico de un espacio habitacional depende básicamente de las características de envolvente de la vivienda (La envolvente de la vivienda corresponde a los cerramientos: cielo, muros, ventanas, etc.) que separan los recintos habitables del ambiente exterior) y de la severidad climática donde está se emplace. Dado las diferencias de presión y temperaturas entre el ambiente exterior e interior de la vivienda, para diferentes momentos, se producirá una transferencia de energía. Así, la vivienda puede ser esquematizada como un sistema de entradas y salidas de energía a través de su envolvente, cuya dirección y sentido dependerán del elemento de envolvente y del gradiente de temperaturas entre el exterior y el interior. En otras palabras, el equilibrio térmico quedará determinado por la regulación y control de las pérdidas o ganancias de energía a través de la envolvente de la vivienda. Las ganancias y pérdidas que equilibrarán este sistema se explican a partir de la figura 1.



$$S_{co} = \sum (f_o * A_o * \alpha * U * R_{se} * E_s / 24) \text{ [W]} \quad (\text{Ecuación 5}).$$

S_{co} es la potencia media derivada de la energía solar incidente E_s (Wh/m² día) sobre las superficies A_o (en m²) de los cerramientos opacos de la vivienda (techumbre, muros, otros), donde la transmisión de energía se ve restringida por las características del elemento constructivo. Siendo α (en %) el coeficiente de absorción del elemento (claros reflectan más), R_{se} la resistencia superficial exterior en (m²°C/W) y el factor de reducción solar o sombra f_o en %.

$$Q_v = 0,34 * V * N * (T_{im} - T_{em}) \text{ [W]} \quad (\text{Ecuación 6}).$$

Q_v corresponde a la potencia media derivada de la pérdida de energía por infiltraciones de aire o por ventilación necesaria en la conservación de las condiciones de confort higrotérmico (El confort higrotérmico depende básicamente de la temperatura y humedad relativa dentro de un espacio habitacional). La que dependen del gradiente térmico medio ($T_{im} - T_{em}$) en °C. La normativa chilena adopta para el caudal la unidad m³/h por volumen de vivienda V (m³), definiendo N como el número de renovaciones de aire dentro de la vivienda por cada hora y su unidad será h⁻¹.

$$Q_t = \{ \sum (U * A_o) + \sum (U * A_v) + \sum (K_i * L) \} * (T_{im} - T_{em}) \text{ [W]} \quad (\text{Ecuación 7}).$$

Q_t es la potencia o flujo de energía transmitido a través de los elementos de la envolvente derivado de la gradiente térmica entre el exterior e interior de la vivienda. Considerando en ello, principalmente, la transmitancia térmica (U) de los elementos en W/m²°C y las pérdidas a través de los puentes térmicos (Elementos de la envolvente o cerramiento de la vivienda donde el flujo de calor es por unidad de longitud, se usa este concepto en elementos donde prevalece la longitud del elemento. Por ejemplo, los cimientos una vivienda, losa entrepiso, marcos de ventanas, etc). Donde K_i es la transmitancia térmica lineal en W/m°C y L la longitud del elemento constructivo respectivo. La expresión $\{ \sum (U * A_o) + \sum$

FIGURA 1
Parámetros influyentes en la determinación de la temperatura interior media T_{im} en una vivienda. Fuente: (Lavigne, 2003).

En invierno, las ganancias quedan definidas por las cargas solares (S) sobre las áreas de cerramientos opacos A_{o1} o sobre áreas de elementos traslúcidos A_{v1} (ventanas) y, por ganancias internas P_i derivadas de la energía desprendida por personas, artefactos eléctricos o equipamiento. Las pérdidas se producen por las infiltraciones o renovaciones de aire Q_v y por pérdidas de energía a través de los elementos de envolvente (opacos y traslúcidos) Q_t , ambas directamente proporcionales al gradiente térmico entre el exterior e interior de la vivienda. Consecuentemente, para cualquier momento, el Balance Energético (BE) queda definido por la siguiente expresión:

$$BE = S \pm P_i \pm Q_v \pm Q_t \quad (\text{Ecuación 1}).$$

3.1. Cálculo de Demanda a partir de régimen estacionario.

De acuerdo a Lavigne (2003), cuando se enfrenta a 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, si se considera la temperatura interior, vinculada al confort térmico, esta oscilará alrededor de temperatura interior media T_{im} con media amplitud superior A_{isup} situada por arriba de T_{im} , por lo que la temperatura máxima interior será $T_{im} + A_{isup}$ mientras que la temperatura mínima será $T_{im} - A_{infr}$ como se muestra en la figura 2.

A partir de este principio, se puede conocer con suficiente precisión T_{im} en función de los valores medios definidos para los parámetros que influyen sobre la temperatura interior (ver figura 1). Por otro lado, y para invierno, la ecuación 1 se puede reescribir

como: $P_i + S_{cv} + S_{co} = Q_v + Q_t$ (Ecuación 2); desprendiéndose las siguientes expresiones:

$$P_i = (E_i * S_{viv}) / 24 \text{ [W]} \quad (\text{Ecuación 3}).$$

P_i (W) es la potencia media generada por las personas, artefactos eléctricos u otros equipamientos al interior de las viviendas que es transmitida al espacio por convección y radiación. P_i es directamente proporcional a las horas de uso de la vivienda y al número de personas que la habitan y se suelen utilizar cargas diarias medias interiores E_i (Wh/m²día) normalizadas de ocupación sensible y latente (para días hábiles y no hábiles) y para iluminación y equipamiento, donde S_{viv} corresponde a la superficie de la vivienda en m².

$$S_{cv} = \sum (f_v * A_v * FS * E_s / 24) \text{ [W]} \quad (\text{Ecuación 4}).$$

S_{cv} es la potencia media derivada de la energía solar incidente E_s (Wh/m² día) sobre las superficies A_v (en m²) de los cerramientos traslúcidos o vidriados de la vivienda (ventanas), cuyo valor se ve restringido por la cantidad de energía (%) que logra atravesar el elemento traslucido (FS = factor solar) y el factor de reducción solar o sombra f_v en %.

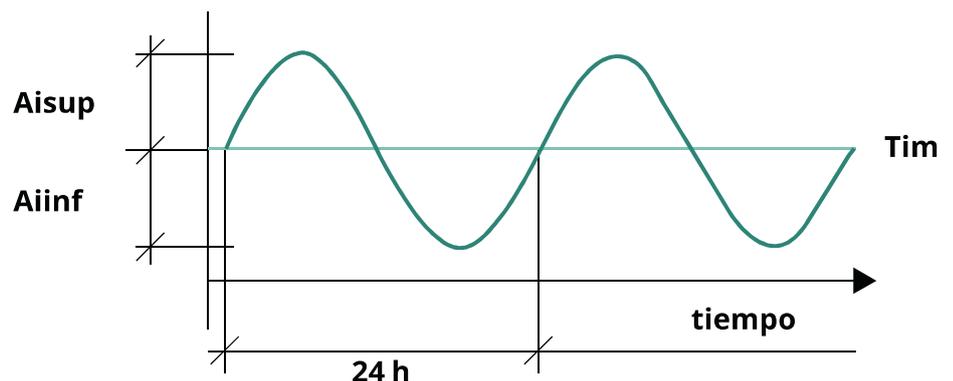


FIGURA 2
Oscilación de la temperatura interior alrededor de T_{im} . Fuente: Lavigne 2003.

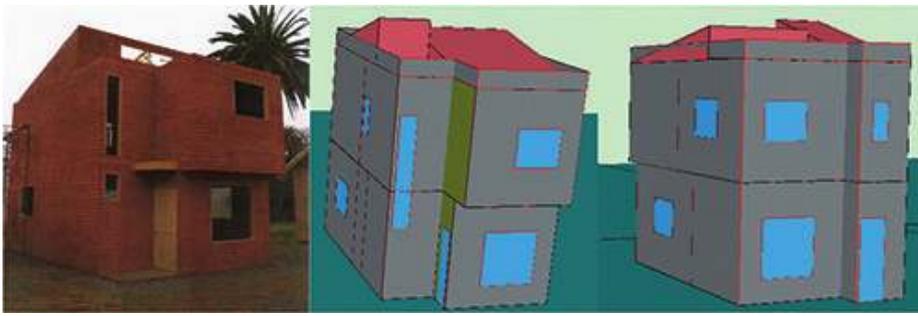


FIGURA 3

Vivienda Biocasa Modular Termo Estructural. Vistas de la construcción y modelación 3D en software CTE_v2.0. Fuente: (Alarcón & Hernández, 2011).

$(U^*A_g) + \sum(K_i^*L_i)$ representa la transferencia global U_g de la vivienda (en $W/^\circ C$). Consecuentemente, y luego de un proceso algebraico de reemplazo, la ecuación 2 se puede reescribir como sigue:

$$(T_{im} - T_{em}) = (P_i + S_{cv} + S_{co}) / (0,34 * V * N + U_g) \quad \text{(Ecuación 8)}$$

De este modo, y bajo condiciones de equilibrio energético, para una temperatura promedio interior deseada (T_{im}) se puede obtener la potencia P_i requerida en W, y en el tiempo, la energía demandada en kWh; que al independizarla del tamaño de la vivienda es dividida por la superficie en m^2 . Consecuentemente, la demanda es mediada en kWh/m^2 dentro del tiempo de análisis (generalmente kWh/m^2 al año).

3.2. Cálculo de demanda a partir de Software de Simulación: Determinar el nivel energético presente el interior de una vivienda, en un determinado instante y en espacios habitacionales distintos, no es algo sencillo. Esto responde al estudio dinámico de las variables que se definen en la figura 1. Por ende, resulta necesario e indispensable el uso de programas informáticos de simulación que faciliten dicha tarea, como lo son: Energy Plus o eQUEST (DOE-2), TRNSYS, DesignBuilder, EDSL Tas, entre otros. En época de invierno, o cuando las temperaturas interior y exterior tienden a permanecer más menos constantes, se puede determinar el estado energético interior de la vivienda bajo

régimen permanente sin alejarse mucho de la realidad (LAVIGNE, 2003).

Sin embargo, en análisis de rendimientos energéticos de diferentes edificios combinando análisis estacionarios y dinámicos muestran que las diferencias en los edificios están relacionadas no sólo con las características arquitectónicas y estructurales (posibles contactos con el suelo o espacios alrededor del edificio), sino que también tienen en cuenta las propiedades de la estructura inercial en las variaciones anuales de la demanda de energía. (Evangelisti, Battista, Guattari, Basilicata, & de Lieto Vollaro, 2014). Esto se vincula a los aspectos de efusividad y difusividad planteados por Lavigne (2003), que dan origen a dos tipos de inercia, una inercia de transmisión que utiliza más bien materiales livianos que resultan aislantes y una inercia por absorción que utiliza materiales efusivos que, siendo minerales, resultan pesados, pero cuya acción se debe principalmente a su superficie de intercambio con las superficies de las particiones interiores también de efusividad importante.

Así, cuando la variación inercial es importante (piense en un muro de adobe de gran espesor) la evaluación con enfoques estáticos y simplificados son poco representativos de un desempeño real de la construcción, especialmente durante el verano. Los códigos estacionarios no son capaces de reproducir fielmente el comportamiento energético del edificio, con una posible imprecisa certificación energética del edificio. Resultados de análisis de energía semi-estacionarios deben

contrastarse con uno dinámico en estudios más acuciosos, pues investigaciones han demostrado que en viviendas con inercia térmica importante se sobre estima entre un 25% y 30% el consumo energético de un edificio en la generación de confort térmico en invierno (Evangelisti, Battista, Guattari, Basilicata, & de Lieto Vollaro, 2014)

4. CASO DE ESTUDIO CON SIMPLIFICACIÓN DE PARÁMETROS

4.1. Descripción de la vivienda: La vivienda de estudio corresponde a una vivienda social denominada "Vivienda Biocasa Modular Termo Estructural". Esta vivienda fue diseñada para responder a la reconstrucción post sismo 27 de febrero de 2010 y presenta un costo de construcción aproximado de 400 UF. La vivienda está certificada por la División Técnica de Estudios del MINVU y, por tanto, atribuible a subsidio CSP (Este subsidio de Construcción en Sitio Propio (CSP) permite elegir el modelo de la vivienda que cada beneficiario desea construir a partir de un catálogo de proyectos de las diferentes empresas constructoras, previamente certificado por con el SERVIU o la División Técnica de Estudios (DITEC) del MINVU). La vivienda de 57 m^2 en dos pisos está construida en base a muros y tabiques termo estructurales con tecnología S.I.P. (Structural Insulated Panel) de $U = 0,51 W/m^2^\circ C$, ventanas de vidrioado monolítico con $U = 5,8 W/m^2^\circ C$, puertas de madera de $U = 3,4 W/m^2^\circ C$ y presenta un cielo aislado de $U = 0,47 W/m^2^\circ C$, y está emplazada en la VI Región, Zona Térmica 3 (Zonificación térmica conforme a reglamentación térmica de la O.G.U.C. Art. 4.1.10. Las áreas de ventanas con orientación al norte suman 5 m^2 , con orientación al sur suman 4 m^2 , con orientación al este suman 1,7 m^2 y al oeste suman 2,4 m^2 . Las superficies de las elevaciones con orientación al norte y sur son de 24 m^2 y al este y oeste son 39 m^2 . El área de la puerta principal (este) es de 1,7 m^2 y al sur 1,6 m^2 . El sobrecimiento es de hormigón armado y recorre una longitud de 22,4 m. La vivienda en dos pisos genera un volumen de 285 m^3 y la losa de entrepiso corresponde a un envigado de madera. No es considerada en los análisis, pues se asume que no existe transferencia entre el piso superior e inferior debido a que presentan igual temperatura).

CÓDIGO 1.2.G.18	Muro de Hormigón Armado de 200mm, con aislante interior de poliestireno expandido.
--------------------	--

A. Único valor de Resistencia (Rt) y Transmitancia (U) Térmica para la solución constructiva

RESISTENCIA TÉRMICA (Rt):	- ($m^2 * K/W$)	TRANSMITANCIA TERMINA (U)	--- ($W/M^2 * K$)
------------------------------	-------------------	------------------------------	---------------------

B. En caso que se modifique el espesor del material aislante manteniendo el resto de la configuración constructiva

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Rt ($m^2 * K/W$)	0.53	0.53	0.65	0.65	0.65	1.01	1.74
U ($W/m^2 * K$)	1.87	1.87	1.52	1.52	1.52	0.98	0.57
Espesor Aislante (mm)	10	10	15	15	15	30	60

TABLA 1

Transmitancias térmicas para diferentes espesores de aislamiento en un muro de hormigón codificada 1.2.G.A8 en el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico. Fuente: MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007).

4.2. Resultados Modelación de la Vivienda en Software Computacional:

La vivienda se modeló en el software de certificación de comportamiento térmico de edificios en Chile CCTE_v2.0. (Ver figura 4). Los parámetros más importantes para la modelación de la vivienda son congruentes con los definidos para su análisis bajo régimen estático. A partir de ello se obtuvo una demanda en calefacción igual a 93,5 kWh/m² y una demanda de refrigeración de 19,1 kWh/m², donde la vivienda de referencia (Aquella que bajo mismas condiciones de diseño y clima cumple con los requerimientos normativos mínimos según O.G.U.C.). Muestra requerimientos de 208,6 kWh/m² y 101,8 kWh/m² respectivamente.

4.3. Supuestos y Estimaciones en la Simplificación de Cálculo Estacionario:

En la determinación de la demanda de energía requerida por la vivienda de estudio se deben establecer los supuestos y las estimaciones que permitan la simplificación del modelo estacionario en congruencia con la modelación dinámica. Parámetros no necesariamente iguales para poder analizar como los resultados derivados de la simplificación del modelo estático difieren de los de la modelación dinámica bajo parámetros de referencia que define dicho programa.

Consecuentemente, se considerará lo siguiente: Características de climáticas medias conforme a NCh 1079-2008, temperatura interior media (T_{im}) igual a 20 °C (Temperatura de confort recomendable para invierno según rangos de normas ISO 7730 y EN-27730), necesidad de energización cuando $T_{em} < T_{im}$, transmitancia térmica lineal (K) solo en piso y es considerado igual a 1,4 W/m²°C según NCh853-2008, factor solar 0,85 (Acrilamiento incoloro monolítico de espesores entre 3 a 6mm.). Factor de absorción $\alpha=0,75$ para colores medios, $R_{se}=0,05$ m²°C/W conforme a NCh853-2008 (Considera el elemento de cerramiento hacia espacio exterior o a local abierto), proporción A_v/A_o igual a 0,15 (como máximo 0,25) cuando no se conozcan las áreas respectivas, en la superficie de techumbre será considera el área de cielo (entretecho ventilado según Nch853-2008), cálculos de transmitancia según Nch853-2008 o conforme a Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del MINVU (ver tabla 1), N será de 1 renovación por hora (h⁻¹), la Irradiancia Solar (E_s) confor-

	Av	Es	F.S.	fv	W
VENTANAS N	5,0	1933	0,85	1	342,3
VENTANAS S	4,0	800	0,85	1	113,3
VENTANAS E	1,7	1810	0,85	1	109,0
VENTANAS O	2,4	1810	0,85	1	153,8
CARGAS EN ELEMENTOS VIDRIADOS (Scv)					718,4

TABLA 2

Determinación de cargas solares en elementos vidriados.

me a Registro Solarimétrico (CNE, PNUD, UTFSM, 2008), y para determinación de las cargas internas P_i se considera $E_i=100$ Wh/m² día para viviendas con equipamiento tradicional. Los factores de sombra en elementos opacos (f_o) se considera 0,8 en muros y puertas, 0,1 en cielo (se considera cubierto) y para elementos vidriados (f_v) se considera 1 (invierno).

4.4. Resultados Modelación Estacionaria Simplificada:

Dadas las condiciones de clima y arquitectura establecidos en el apartado 3.1, los meses en los que la vivienda necesitará calefacción (T_{im} requerida $< T_{em}$) serán: mayo (13,5 kWh/m² mes), junio (30,5 kWh/m² mes), julio (27,1 kWh/m² mes), agosto (19,1 kWh/m² mes) y septiembre (8,1 kWh/m² mes). Las sumatoria de estas cargas mensuales arrojaron una demanda para calefacción al año igual a 98,3 kWh/m². A continuación se muestran los cálculos para el mes más crítico en relación a la demanda resultante (junio).

El cálculo de las cargas P_i y Q_v , según simplificaciones supuestas en apartado 3.3 y conforme a ecuaciones 3 y 6 respectivamente, es:

$$P_i = (100 * 57) / 24 = 237,5 \text{ W}$$

$$Q_v = 0,34 * 285 * 1 * (T_{im} - T_{em}) = 96,9 \text{ W/}^\circ\text{C} * (20 - 7,9) * ^\circ\text{C} = 1172,49 \text{ W}$$

La carga solar en elementos solares sobre elementos vidriados suman 718,4 W y en elementos opacos suma 122,3W. Estos resultados se desprenden de la tabla 2 y 3 respectivamente.

Las cargas transmitidas a través de los elementos de la envolvente, conforme a tabla 4 y ecuación 7, ascienden a $Q' = 191,8 * (20 - 7,9) = 2320,8 \text{ W}$.

Consecuentemente, y aplicando la ecuación 8, se tiene que para lograr equilibrio térmico para una temperatura media $T_{im} = 20^\circ\text{C}$, el valor esperado para P'_i es:

$$(20 - 7,9)^\circ\text{C} = (P'_i + 718,4 \text{ W} + 122,3 \text{ W}) / (96,9 \text{ W/}^\circ\text{C} + 191,8 \text{ W/}^\circ\text{C})$$

$$P'_i = 2652,6 \text{ W}$$

Como P_i es = 237,5W; entonces, se requiere una potencia de 2415,1W adicional. Lo que en energía requerida al mes se traduce a 1738,9kWh (30 días mes y 24 horas día). Es decir, una demanda de energía en el mes de junio igual a 30,5kWh/m² para calefacción de la vivienda de 57 m².

5. ANÁLISIS Y DISCUSIONES

Lo primero que se puede analizar es que la vivienda de referencia, es decir, la que cumple con los requerimientos mínimos normativos; presenta una demanda de calefacción que dobla la vivienda de referencia, lo que muestra la ventaja del uso de aislamiento importante en los elementos de envolvente muro. Sin embargo, y pese a este aislamiento importante en comparación a los requerimientos normativos (MINVU, 2016), las cargas por transmisión de energía en los elementos de envolvente Q_t para el mes más crítico (junio) se muestran más importantes en relación a las otras cargas definidas en los cálculos bajo régimen estático. Esto ratifica lo planteado por Blender (2015) cuando hace referencia a que todavía se requiere mucho trabajo para reducir el consumo de energía, sobre todo a nivel reglamentario. De ahí que las exigencias de transmitancia térmica sean, en principio, mayores a los planteados por la OGUC en la búsqueda de eficiencia energética (Hernández & Meza, 2011).

Cabe destacar que en el presente documento se analiza la demanda de energía y no el consumo de energía, aspectos distintos pero que están relacionados directamente y cuya relación queda definida por el rendimiento de los sistemas de instalaciones. Así, si se supone un rendimiento promedio de los sistemas de instalaciones igual a 85%, entonces, bastará con multiplicar la demanda de energía por 1,18 para obtener el consumo.

Surge la discusión respecto a que las comparaciones de modelos deben considerar los mismos parámetros para ser comparables; sin embargo, el presente paper no busca comparar los modelos sino los resultados

	Ao	U	Es	α	fo	W
MUROS N	19,0	0,51	1933,1	0,75	0,8	23,4
MUROS S	18,4	0,51	799,7	0,75	0,8	9,4
PUERTA S	1,6	3,4	799,7	0,75	0,8	5,5
MUROS E	35,6	0,51	1810,0	0,75	0,8	41,1
PUERTA E	1,7	3,4	1810,0	0,75	0,8	13,1
MUROS O	18,0	0,51	1810,0	0,75	0,8	20,8
CIELO	57	0,47	1625,9	1,00	0,1	9,1
CARGAS EN ELEMENTOS OPACOS (Sco)					122,3	

TABLA 3

Determinación de cargas solares en elementos opacos.

	Av/Ao	U	L	KI	W/°C
VENTANAS	13,1	5,8			76,0
MUROS	91,0	0,51			46,4
PUERTAS	3,3	3,4			11,3
CIELO	57	0,47			26,8
PISO			22,4	1,4	31,3
CARGAS POR TRANSMISIÓN (Qt)/ΔT					191,8

TABLA 4

Determinación de cargas transmitidas a través de la envolvente. Fuente: Elaboración Propia a partir de Ecuación 7

obtenidos basados en criterios simplificados en la determinación de demanda para calefacción bajo régimen estacionario y los criterios que define el programa que responde a la normativa vigente. En este contexto, el programa de simulación dinámica mostró una demanda de 93,5 kWh/m² y el modelo simplificado de medición estacionario 98,3kWh/m². Una pequeña diferencia, la que era esperable dado que en invierno las condiciones de temperatura interior y exterior son más estables y que el material presenta una inercia de transmisión mayor a la inercia por absorción asociada a materiales pesados, donde en estos últimos las variaciones son mayores (Evangelisti, Battista, Guattari, Basilicata, & de Lieto Vollaro, 2014).

5. CONCLUSIONES

Los análisis evidencian que a partir del cálculo de la demanda de energía bajo régimen estacionario, para el caso de estudio calefacción (principal consumo en viviendas) y simplificado (Entendiéndolo como una simplificación de los procesos y estandarización de variables para el modelo estacionario), permiten comprender las variables y los principales aspectos vinculados a la eficiencia energética en viviendas. Mostrando para el caso de estudio, que los resultados bajo un modelo estacionario simplificado presentaron una variación de solo 5,13% respecto a la modelación dinámica. Respondiendo favorablemente a la hipótesis plantada en la metodología, ya que se estudia una vivienda con inercia térmica de transmisión importante (soluciones constructivas livianas y aisladas).

En la determinación de la demanda de energía en viviendas donde prime la inercia térmica por absorción, la recomendación es utilizar modelos dinámicos computacionales, sobre todo en época de verano.

Para el caso de estudio se evidencia que, independiente de la metodología usada en la estimación de la demanda para calefacción, la normativa vigente no presenta un buen desempeño en la búsqueda de la eficiencia energética habitacional. Esto se desprende de la simulación dinámica, la que muestra una demanda de energía para calefacción en la vivienda de referencia (aquella que cumple la normativa) de un 123% mayor respecto a la vivienda de estudio.

Finalmente, se concluye que la simulación estacionaria presentada en el presente documento es útil en la determinación de la demanda para calefacción en viviendas

de baja inercia térmica por absorción, planteando desafíos para nuevas investigaciones que permitan generalizar las observaciones y los resultados presentados en el caso de estudio y, desafíos normativos en respuesta a la búsqueda de viviendas más comfortable y eficientes energéticamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Chilena de Eficiencia Energética AChEE. (2016). *Línea Desarrollo Edificación*. Obtenido de www.acee.cl/area-edificacion/.
- Alarcón, F., & Hernández, L. (2011). *Tesis de Grado Ingeniería en Construcción: Evaluación de Sustentabilidad de Vivienda Bio Casas Modular Termo Estructural*. Santiago: Escuela de Obras Civiles y Construcción UCEN.
- Blender, M. (10 de Marzo de 2015). *La Reglamentación Térmica, una mirada a 15 años de vigencia*. Obtenido de *Arquitectura y Energía*: <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/la-reglamentacion-termica/>.
- CNE, PNUD, UTFSM. (2008). *Manuales - Registro Solarimétrico*. Obtenido de *Solenergy*: <http://www.solenergy.cl/manuales/RegistroSolarimetrico.pdf>
- Evangelisti, L., Battista, G., Guattari, C., Basilicata, c., & de Lieto Vollaro, R. (2014). *Analysis of Two Models for Evaluating the Energy Performance of Different Buildings*. *Sustainability Journal (ISSN 2071-1050)*, 5311-5321.
- Hernández, H., & Meza, L. (2011). *Propuesta de una metodología de certificación de eficiencia energética para viviendas en Chile*. *Revista de la Construcción vol.10 no.1*, 53-63.
- LAVIGNE, P. (2003). *Arquitectura climática: una contribución al desarrollo sustentable*. Talca: Universidad de Talca.
- Lavigne, P. (2003). *Tomo I: Una contribución al desarrollo sustentable*. En P. Lavigne, *Arquitectura Climática* (pág. 115). Talca: Universidad de Talca.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (01 de Junio de 2007). *Centro de documentación*. Obtenido de *Lista de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico*: http://www.minvu.cl/opensite_20061113124959.aspx
- MINVU. (21 de Abril de 2016). *Ordenza General de Urbanismo y Construcciones D.S. N°47*. Obtenido de *Marco Normativo - Decretos Vivienda*: http://www.minvu.cl/opensite_20061113165715.aspx
- Yang, L., Yan, H., & Lam, J. C. (27 de Noviembre de 2014). *Thermal comfort and building energy consumption implications*. *Applied Energy*, 164-173. Obtenido de *Elsevier*: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913008921>.

AUTORES:

Héctor Hernández L.
Escuela de Obras Civiles y Construcción.
Facultad de Ingeniería.
Universidad Central de Chile

Corresponding author:
hhernandezl@ucentral.cl