



ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE SOBRECALENTAMIENTO Y DEL POTENCIAL DE REFRIGERACIÓN POR VENTILACIÓN NATURAL DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN CIUDADES COSTERAS DE CHILE

AN ESTIMATE OF OVERHEATING RISK AND COOLING POTENTIAL USING NATURAL VENTILATION IN SINGLE-FAMILY DWELLINGS IN COASTAL CHILEAN CITIES

MASSIMO PALME
Universidad Católica del Norte
Antofagasta, Chile
mpalme@ucn.cl

CLAUDIO CARRASCO
Universidad de Valparaíso
Valparaíso, Chile
claudio.carrasco@uv.cl

MIGUEL ÁNGEL GALVEZ
Universidad Técnica Federico Santamaría
Valparaíso, Chile
miguelangel.galvezhuerta@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo presenta una propuesta de evaluación de la demanda de refrigeración y de la capacidad de refrigeración pasiva por ventilación natural en viviendas sociales. La propuesta se fundamenta en la EN ISO 13790:2008 que utiliza una metodología casi estacionaria de cálculo. Se evalúa una vivienda con ventanas de doble batiente en las dos fachadas, en las diferentes orientaciones N-S, E-O, NO-SE y NE-SO. Se suponen dos posibles caracterizaciones del interior: poco conectado y muy conectado. Los emplazamientos considerados presentan una variedad climática importante, desde los desiertos del norte hasta los climas con variabilidad estacional más marcada del centro-sur del País. Las ciudades consideradas en el estudio son: Arica, Iquique, Antofagasta, La Serena, Valparaíso, Concepción, Valdivia y Puerto Montt. Los resultados muestran la presencia de demanda de refrigeración en la mayoría de los emplazamientos analizados y una capacidad de evacuar el calor por ventilación natural media variable entre el 20% y el 80% de esta demanda, demostrando la importancia de la utilización de las brisas para la refrigeración de edificio y ciudades del País.

Palabras clave

ventilación, refrigeración, viviendas

ABSTRACT

This article presents a proposal to evaluate cooling demand and passive cooling capacity using natural ventilation in social housing. The proposal is founded on EN ISO 13790:2008, which uses a semi-dynamic calculation method. The dwellings evaluated have double casement windows in the two main facades, which are oriented N-S, E-W, NW-SE and NE-SW. Two possible internal distributions were tested: poorly-connected and well-connected. The locations evaluated have a variety of climates: from the northern deserts to the weather of central and southern Chile with more defined seasonal variability. The cities included in the study are: Arica, Iquique, Antofagasta, La Serena, Valparaíso, Concepción, Valdivia and Puerto Montt. The results show that cooling demand is present in the majority of the locations analyzed and the average capacity for heat evacuation by natural ventilation is between 20% and 80% of this demand, thereby demonstrating the usefulness of breezes for building and city cooling in Chile.

Keywords

ventilation, cooling, houses

INTRODUCCIÓN

En los últimos años a lo largo del mundo el fenómeno del calentamiento global, asociado con la creciente urbanización del territorio y el relacionado efecto isla de calor, ha generado un aumento sensible de las temperaturas estivales y consecuentemente ha aparecido una creciente demanda de refrigeración en edificios de todo tipo, (Santamouris et al. 2015, Bustamante et al. 2011, Kolokotroni et al. 2006). Chile, con su larga costa sobre el Océano Pacífico, tiene el privilegio de poder utilizar las brisas para la evacuación de calor en las ciudades que se asoman al mar. Por el contrario, la planificación urbana y las normativas sobre eficiencia energética no consideran de manera formal ni el sobrecalentamiento de los edificios residenciales, ni la ventilación natural como estrategia de refrigeración pasiva (Palme 2014, Palme y Vásquez 2015). Las políticas energéticas actuales buscan la reducción drástica de las emisiones de gases de efecto invernadero antes de 2020, por lo tanto, desde 2008 se ha venido desarrollando una Reglamentación Térmica (MINVU, 2008) que primariamente se concentró en la reducción de la demanda de calefacción de las residencias, fijando los valores máximos admisibles de las transmitancias térmicas de paredes, techos y suelos ventilados. A partir de 2013, con la introducción del Sistema Nacional de Calificación Energética, se hizo siempre más evidente la limitación de este enfoque, surgiendo la necesidad de incorporar tanto en la Reglamentación como en el Sistema de Calificación conceptos asociados al sobrecalentamiento, como el tamaño y orientación de las ventanas, su protección solar, la inercia térmica y la ventilación natural como estrategias de refrigeración pasiva. En perspectiva futura, la mitigación de las emisiones podría resultar influida más por la reducción de la demanda de refrigeración que no por la reducción de la demanda de calefacción. Políticas energéticas de hoy en día, podrían entonces tener efectos hasta negativos en el futuro (Palme, 2015) y hay investigadores que están generando la propuesta de un nuevo concepto, la "adaptación" (Galderisi et al. 2016), considerando que las medidas de mitigación deberán ser proyectadas en un mundo ya adaptado al cambio global que aparece inevitable. Considerar la demanda de refrigeración como un problema fundamental para las viviendas no significa incentivar la utilización de sistemas de refrigeración activos, por eficientes que estos sean. La primera medida debe mirar a la reducción de la necesidad de enfriar, a través de una buena construcción en términos de adecuada orientación, inercia térmica, protección solar, porcentaje de superficies transparentes, etcétera. En seguida, hace falta estimar las posibilidades de evacuar el calor residual mediante sistemas naturales, como es la ventilación, sea transversal (gobernada por viento) o vertical (gobernada por diferencia de temperatura). Este trabajo se enfoca en la ventilación eólica o gobernada por viento, que es un recurso muy importante en Chile. Estudios realizados en zonas costeras de Norte América, como la ciudad de Los Ángeles, sugieren que sería posible resolver buena parte del problema asociado al calentamiento global a través del aumento de la brisa debido a la mayor diferencia de temperatura entre mar y tierra (Li et al. 2013, Lebassi-Habtezion et al. 2011). El objetivo principal de la investigación es determinar la

cantidad de calor en exceso que es necesario evacuar de las viviendas analizadas y el potencial de hacerlo utilizando la ventilación natural transversal gobernada por viento. Para ello se seleccionaron dos tipologías de vivienda económica, una "bien conectada" y otra "poco conectada", para representar diferentes condiciones de distribución del aire en el interior. Estas viviendas se evaluaron en 4 orientaciones principales: N-S, E-O, NE-SO y NO-SE en diferentes ciudades costeras de Chile: Arica, Iquique, Antofagasta, La Serena, Valparaíso, Concepción, Valdivia y Puerto Montt. La metodología de cálculo utilizada se fundamenta en la ISO 13790:2008 y en estudios previos de Grosso (2011) para otros emplazamientos climáticos. Los resultados esperados son la presencia de calor en exceso en todos los casos analizados durante la temporada de verano (debidos a ganancias solares y a calor generado en el interior de las viviendas) y la posibilidad de evacuar un buen porcentaje de este calor a través de la ventilación natural transversal.

ESTADO DEL ARTE

Las problemáticas del sobrecalentamiento, especialmente relacionadas con la introducción de códigos normativos de eficiencia energética en los edificios, han sido investigadas en diferentes países, generando interés en la doble relación que se genera entre edificio y entorno. Por ejemplo en un estudio se releva el sobrecalentamiento en edificios nuevos de Gran Bretaña, supuestamente diseñados con las mejores reglas de la arquitectura eficiente (Toledo, Crooper y Wright, 2016). De la misma forma, Palme et al. (2010) indican que edificios inteligentes y teóricamente a energía casi cero situados en las montañas del Pirineo catalán tienen en realidad una demanda de refrigeración incluso en meses invernales. En la misma línea, otro estudio identifica en la vivienda PassiveHouse un riesgo de sobrecalentamiento en verano (Macleod, Hopfe y Kwan, 2013), mientras que un estudio considera que el código normativo de Portugal necesita ser revisado a la luz de los cambios climáticos previstos (Oliveira, Camelo y Gonçalves, 2011). Por su parte Holmes y Hacker (2007), identifican en la relación entre cambio climático, confort térmico y demanda de energía uno de los desafíos principales para la arquitectura del siglo XXI. La consideración de la ventilación natural como estrategia de refrigeración pasiva no es nueva, siendo desarrollada desde la antigüedad como una de las típicas soluciones pasivas en la arquitectura de las zonas mediterráneas, especialmente de la costa africana. En tiempos muy recientes, la introducción de códigos de construcción sustentable, ha visto muy limitada la incorporación de metodologías de cálculo de la ventilación natural. La razón principal de esta limitada incorporación es la dificultad de efectuar un cálculo estimativo sin necesitar de un software complejo que pueda resolver de manera iterativa ecuaciones de dinámica de fluidos. La verificación de los códigos normativos debe ser sencilla, para poder permitir a técnicos medianamente especializados de poder efectuar las revisiones del caso sobre los certificados entregados por los proyectistas.

METODOLOGÍA

La metodología propuesta se basa en la norma EN ISO 13790:2008, revisada en 2012, sobre el cálculo de las prestaciones térmicas de los edificios. A la hora de estimar la demanda de refrigeración se toman en consideración las ganancias internas y los aportes solares a través de superficies opacas y transparentes durante un período determinado: mes a mes o por el año completo. Los datos necesarios para efectuar la evaluación de las ganancias solares son: las superficies de cada elemento de la envolvente; la radiación solar total incidente sobre cada uno de los elementos para el periodo considerado, en su defecto, se puede obtener multiplicando el valor medio diario por las horas de insolación y por los días del período considerados, los coeficientes de absorción solar de las superficies opacas; los coeficientes de intercambio superficial exterior de los elementos opacos; las transmitancias térmicas de la envolvente los factores de marco de las ventanas; los factores solares de los vidrios; los factores de accesibilidad solar de las ventanas (entorno); los factores de corrección por la presencia de sistemas móviles de protección. El cálculo se realiza de esa forma:

$$GSO = R \times S \times \alpha \times R_{se} \times U \quad (1)$$

Para los elementos opacos, en donde:

1. GSO es la ganancia solar del elemento opaco (J)
2. R es la radiación total del periodo incidente sobre el elemento (J/m²)
3. S es la superficie del elemento (m²)
4. α es el coeficiente de absorción solar del elemento (0-1)
5. R_{se} es la resistencia superficial exterior del elemento (m²K/W)
6. U es la transmitancia del elemento (W/m²K)

Mientras que para los elementos transparentes hay:

$$GST = R \times S \times f_m \times f_{sv} \times f_{pm} \times f_a \quad (2)$$

En donde:

1. GST es la ganancia solar del elemento transparente (J)
2. R es la radiación total del período incidente sobre el elemento (J/m²)
3. S es la superficie del elemento
4. f_m es el factor de marco del elemento (0-1)
5. f_{sv} es el factor solar del vidrio (0-1)
6. f_{pm} es el factor de protección móvil (0-1)
7. f_a es la accesibilidad solar debida a orientación, inclinación y sombras (0-1)

Las ganancias internas se calculan como:

$$GI = \sum P \times S \times t \quad (3)$$

En donde:

1. GI es la ganancia interna (J)
2. P es la potencia de cada fuente de calor – personas, aparatos, etc. (W/m²)
3. S es la superficie de suelo de la vivienda (m²)
4. t es el período considerado (s)

La cantidad de calor ganado total (GT) en el período será entonces:

$$GT = GI + \sum GSO + \sum GST \quad (4)$$

Resultando como la suma de las ganancias internas y de los aportes solares a través de cada uno de los elementos. Parte de este calor, se pierde a través de las paredes y otra parte es eliminada por ventilación natural. Para obtener el potencial de refrigeración por ventilación natural, se sigue este procedimiento: se estima el calor que es necesario evacuar para mantener la temperatura interior por debajo de los 26°C, sin considerar la ventilación, en condiciones semi-dinámicas (la inercia se evalúa con un factor de utilización de las pérdidas); luego se repite el procedimiento para el caso con la ventilación, cuya eficacia depende de numerosos parámetros, entre ellos las propiedades del fluido (calor específico y densidad) y la disposición y tipologías de las ventanas y de las aberturas intermedias entre los locales, que determinan (juntamente con la velocidad y dirección del fluido) el caudal que pasa a través de la vivienda. No obstante, la situación real es más compleja debido a la variabilidad de dirección y velocidad del fluido, y sobre todo al hecho que diferentes disposiciones de ventanas generarán una distribución espacial única del mismo fluido. Luego, entrar en cálculos de dinámica de fluidos sería muy complejo para una función estimativa del potencial de refrigeración, que si llegara a ser considerada para la calificación energética deberá ser necesariamente lo más sencilla posible para poder permitir a un usuario medianamente preparado la inserción de los datos. Para tal finalidad, se reduce la vivienda a una única zona térmica, con un único caudal de aire pasante determinado sobre la base de 5 coeficientes representativos, dependientes de la geometría y de la tipología de las aberturas además que de la direccionalidad y velocidad del fluido. Estos coeficientes son (Grosso, 2011; Heiselberg y Sandberg, 2001):

1. Un coeficiente de descarga $C_{d,e}$ que depende de la tipología y del tamaño de la ventana expuesta al viento
2. Un coeficiente de descarga $C_{d,s}$ que depende de la tipología y del tamaño de la ventana protegida del viento
3. Un coeficiente de paso intermedio C_i entre locales que depende de la ubicación y del tamaño de las conexiones interiores
4. Un coeficiente de presión de entrada $C_{p,e}$ que depen-

de de la incidencia del viento sobre la ventana de entrada y de la geometría del edificio (h es la altura, l el largo de la fachada principal, w el largo de fachada secundaria).

5. Un coeficiente de presión de salida $C_{p,s}$ que depende de la ubicación del vano de salida respecto al campo de viento y de la geometría del edificio.

La fórmula que permite la obtención del caudal (Grosso, 2011) es la siguiente (S son las superficies de los vanos y v es la velocidad del viento):

$$q = v \times \sqrt{\frac{c_{p,e} - c_{p,s}}{\frac{1}{c_{d,e}^2 \times S_e^2} + \frac{1}{c_l^2 \times l^2} + \frac{1}{c_{d,s}^2 \times S_s^2}}} \quad (5)$$

Una vez obtenido el caudal de ventilación, es posible calcular la demanda de refrigeración en los dos casos (con y sin ventilación). Esto se hace de la siguiente manera:

$$CR = GT - (26 - T_m) \times H_t \times \eta \quad (6)$$

Para el caso sin ventilación y

$$CR = GT - (26 - T_m) \times (H_t + H_v) \times \eta \quad (7)$$

Para el caso con ventilación, en donde

1. CR es el calor que hay que evacuar (J)
2. GT son las ganancias totales (J)
3. T_m es la temperatura media diaria del período (°C)
4. H_t es el calor perdido por las paredes por cada grado (J/°C) en el período
5. H_v es el calor perdido por ventilación por cada grado (J/°C) en el período
6. η es el factor de utilización de las pérdidas (adimensional) que toma en cuenta los fenómenos dinámicos y depende de la capacidad térmica del edificio (es diferente en los dos casos, sin ventilación y con ventilación).

El cálculo de H_t se hace con la ecuación:

$$H_t = t \times \sum U_i \times S_i \quad (8)$$

En donde U_i (W/m²K) y S_i (m²) son las transmitancias y superficies de cada elemento de envolvente y t (s) es el período del cálculo. Los efectos de puentes térmicos se desprecian.

H_v se calcula con la siguiente:

$$H_v = t \times \delta \times c_p \times q \quad (9)$$

En donde t (s) es el período, c_p (J/kgK) es el calor específico, q (m³/s) es el caudal y δ (kg/m³) es la densidad del fluido. En lo que respecta al factor de utilización de las pérdidas, este se calcula de la forma siguiente:

$$\eta = (1 - \gamma^{-a_c}) / (1 - \gamma^{-(a_c+1)}) \quad (10)$$

En donde:

1. γ es la relación entre las ganancias y las pérdidas térmicas por transmisión
2. a_c es un parámetro que se obtiene de esa forma:

$$a_c = a_{c,0} + \frac{\tau_c}{\tau_{c,0}} - k \times \frac{A_w}{A_f} \quad (11)$$

En donde a su vez:

1. τ_c es la constante de tiempo en horas definida por

$$\tau_c = t \times \frac{C}{H_t + H_v} \quad (12)$$

Con C capacidad térmica en J/K

$$C = \sum_i \sum_j \rho_{i,j} \times c_{i,j} \times e_{i,j} \times S_j \quad (13)$$

En donde hay que sumar sobre cada capa de material i para cada elemento j de la vivienda y ρ , c, e y S son la densidad, el calor específico, el espesor de la capa y la superficie del elemento.

1. A_w y A_f son las superficies de ventana y pavimento respectivamente
2. k, $a_{c,0}$ y $\tau_{c,0}$ son constantes que se pueden asumir iguales a 13, 8.1 y 17 h respectivamente.

Para tomar en cuenta solamente la ventilación diurna, se puede utilizar la temperatura media de todo el día en el cálculo de las pérdidas por transmisión y la temperatura media entre las 8 y las 20 horas para el cálculo de las pérdidas por ventilación. Esta es la opción tomada en este trabajo, ya que las condiciones de ventilación nocturna podrían ser inaplicables en edificios de tipo residencial, ocupados en la noche. En este trabajo, se evalúa el desempeño de verano de una vivienda con ventanas de doble batiente en las dos fachadas (total 5 m² en cada fachada), en las diferentes orientaciones N-S, E-O, NO-SE y NE-SO. El viento se considera constante desde el Sur-Oeste con una velocidad de 1 m/s. En el cálculo del coeficiente interior, se suponen dos posibles caracterizaciones del interior: poco conectado y bien conectado, representando diferentes posibles distribuciones de las aberturas. Los aportes internos se consideran iguales a 25 W/m² y las propiedades de los cerramientos cumplen de forma estricta la Reglamentación Térmica MINVU en cuanto a transmitancias térmicas de paredes y techos. Esto significa considerar, como representativos, muros de bloque de hormigón en los casos de Arica, Antofagasta, Iquique y La Serena, mientras que para las ciudades de Valparaíso,

Tabla 1: propiedades térmicas de los cerramientos

	U muro (W/m ² K)	M muro (kJ/m ² K)	U techo (W/m ² K)	M techo (kJ/m ² K)	U ventana (W/m ² K)	M interior (kJ/m ² K)
Arica	4	360	0,84	40,5	5,8	90
Iquique	4	360	0,84	40,5	5,8	90
Antofagasta	4	360	0,84	40,5	5,8	90
La Serena	4	360	0,84	40,5	5,8	90
Valparaíso	3	365,4	0,6	54	2,4	90
Concepción	1,7	381,6	0,38	67,5	2,4	107
Valdivia	1,6	387	0,33	67,5	2,4	107
Puerto Montt	1,1	392,4	0,28	81	2,4	107

Tabla 2: dimensiones de la vivienda

	H (m)	L (m)	W (m)	S (m ²)	H/W	L/W
Casa unifamiliar	3.5	10	7	70	0.5	1.43

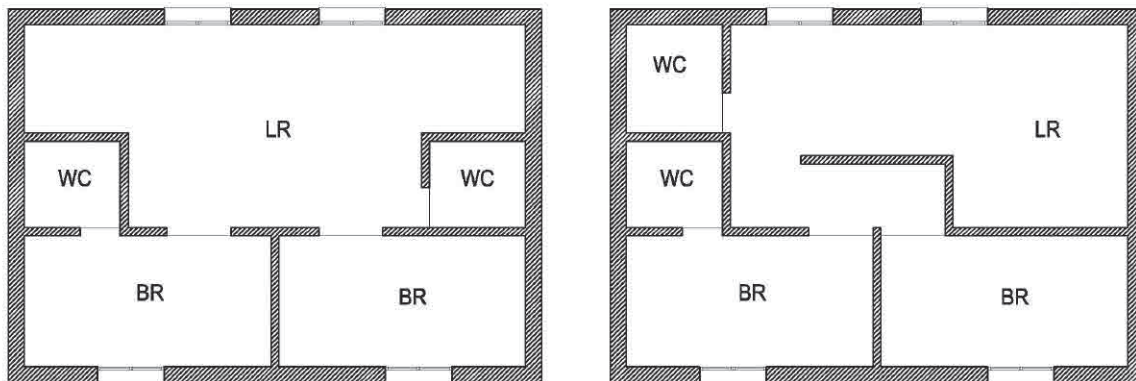


Figura 1: vivienda bien conectada (izquierda) y poco conectada (derecha)

Concepción, Valdivia y Puerto Montt la composición considera bloque de hormigón o ladrillos y materiales aislantes con espesores variables según el requerimiento normativo. Los techos son de material liviano con aislamientos tales de garantizar el cumplimiento normativo, variables entre 30 y 120 mm. El interior se caracteriza en términos de una capacidad térmica total que contribuye al desfase temporal del sobrecalentamiento. Las ventanas se consideran de vidrio sencillo para Arica, Iquique, Antofagasta y La Serena y de DVH para Valparaíso, Concepción, Valdivia y Puerto Montt. El factor solar del vidrio es en todos los casos igual a 0,85 y se considera una corrección por dispositivos de sombra móvil del 50%. En la Tabla 1 se resumen los valores de las propiedades térmicas consideradas, transmitancias y masas térmicas totales de los cerramientos externos y del interior.

En la Tabla 2 se muestran los valores de las relaciones entre altura, largo y ancho de las casas, utilizados en el cálculo de los coeficientes de presión. En la Tabla 3 se muestran los valores de los coeficientes de presión de entrada y salida según orientación, de los coeficientes de carga y descarga para las ventanas y de los coeficientes del interior para los dos casos. También se muestra el caudal de aire para la velocidad del viento de 1 m/s.

Los datos climáticos necesarios para el análisis son las temperaturas medias del período sobre las 24 horas y entre 8 y 20, además de las irradiaciones en todas las superficies. La Tabla 4 resume los valores obtenidos con Meteonorm (temperaturas y radiación horizontal) y utilizando Trnsys para el cálculo de las irradiaciones en fachada.

Tabla 3: valores de los coeficientes para el cálculo del flujo de aire

	C_{pe}	C_{ps}	C_{de}	C_{ds}	C_i (mc)	Q (mc)	C_i (pc)	Q (pc)
Casa 45° respecto al viento	0.10	-0.35	0.70	1.00	0.80	0.94	0.30	0.39
Casa 90° respecto al viento	0.70	-0.20	0.70	1.00	0.80	1.3	0.30	0.56
Casa 0° respecto al viento	-0.50	-0.50	0.70	1.00	0.80	0	0.30	0

Tabla 4: valores de radiación (totales) y temperatura (medias) para el período considerado

	H(MJ/m ²)	N(MJ/m ²)	S(MJ/m ²)	E(MJ/m ²)	O(MJ/m ²)	T _m (°C)	T _{m8-20h}
Arica	2040	740	704	1210	1110	22.6	24.9
Iquique	2125	775	675	1206	1180	21.9	23.4
Antofagasta	2160	817	625	1240	1170	20.1	22.8
La Serena	1880	882	629	1170	1040	17.3	20.3
Valparaíso	1670	835	599	1030	958	21.5	25.2
Concepción	1877	980	591	1134	1128	16.2	19.0
Valdivia	1650	950	582	1021	1017	15.2	18.3
P. Montt	1547	931	545	970	960	13.7	15.7

Tabla 5: valores de radiación (totales) y temperatura (medias) para el período considerado

	Ganancia solar (MJ)	Necesidad refrigeración (kWh/m ²)	Necesidad refrigeración con ventilación (kWh/m ²)	Ahorro energético
ARICA				
Vivienda N-S (mc)	11722	49	33	35%
Vivienda E-O (mc)	13435	56	38	32%
Vivienda NE-SO (mc)	12578	53	29	45%
Vivienda NO-SE (mc)	12578	53	53	0%
Vivienda N-S (pc)	11722	49	42	15%
Vivienda E-O (pc)	13435	56	49	13%
Vivienda NE-SO (pc)	12578	53	42	20%
Vivienda NO-SE (pc)	12578	53	53	0%
IQUIQUE				
Vivienda N-S (mc)	11990	40	11	73%
Vivienda E-O (mc)	13821	47	14	69%
Vivienda NE-SO (mc)	12918	44	7	84%

Vivienda NO-SE (mc)	12892	44	44	0%
Vivienda N-S (pc)	11990	40	25	39%
Vivienda E-O (pc)	13821	47	31	35%
Vivienda NE-SO (pc)	12918	44	22	49%
Vivienda NO-SE (pc)	12892	44	44	0%
ANTOFAGASTA				
Vivienda N-S (mc)	12061	18	2.8	84%
Vivienda E-O (mc)	13955	24	4.4	81%
Vivienda NE-SO (mc)	13008	21	1.8	91%
Vivienda NO-SE (mc)	13008	21	21	0%
Vivienda N-S (pc)	12061	18	8	54%
Vivienda E-O (pc)	13955	24	12	50%
Vivienda NE-SO (pc)	13008	21	7	65%
Vivienda NO-SE (pc)	13008	21	21	0%
LA SERENA				
Vivienda N-S (mc)	11494	2.5	0.17	93%
Vivienda E-O (mc)	12861	3.7	0.25	93%
Vivienda NE-SO (mc)	12177	3.1	0.1	97%
Vivienda NO-SE (mc)	12177	3.1	3.1	0%
Vivienda N-S (pc)	11494	2.5	0.73	71%
Vivienda E-O (pc)	12861	3.7	1.1	70%
Vivienda NE-SO (pc)	12177	3.1	0.56	82%
Vivienda NO-SE (pc)	12177	3.1	3.1	0%
VALPARAÍSO				
Vivienda N-S (mc)	8406	40	27	31%
Vivienda E-O (mc)	9455	44	31	29%
Vivienda NE-SO (mc)	8931	42	24	40%
Vivienda NO-SE (mc)	8931	42	31	0%
Vivienda N-S (pc)	8406	40	34	13%
Vivienda E-O (pc)	9455	44	38	12%
Vivienda NE-SO (pc)	8931	42	34	18%
Vivienda NO-SE (pc)	8931	42	31	0%
CONCEPCIÓN				
Vivienda N-S (mc)	6628	18	0.1	99%
Vivienda E-O (mc)	7878	23	0.2	99%
Vivienda NE-SO (mc)	7254	20	0	100%
Vivienda NO-SE (mc)	7253	20	20	0%
Vivienda N-S (pc)	6628	18	1.6	91%
Vivienda E-O (pc)	7878	23	2.4	90%
Vivienda NE-SO (pc)	7254	20	0.8	96%
Vivienda NO-SE (pc)	7253	20	20	0%

VALDIVIA				
Vivienda N-S (mc)	5900	14	0	100%
Vivienda E-O (mc)	6800	17	0	100%
Vivienda NE-SO (mc)	6257	15	0	100%
Vivienda NO-SE (mc)	6257	15	15	0%
Vivienda N-S (pc)	5900	14	0.8	94%
Vivienda E-O (pc)	6800	17	1.1	93%
Vivienda NE-SO (pc)	6257	15	0.4	97%
Vivienda NO-SE (pc)	6257	15	15	0%
PUERTO MONTT				
Vivienda N-S (mc)	4842	18	0	100%
Vivienda E-O (mc)	5646	21	0	100%
Vivienda NE-SO (mc)	5244	20	0	100%
Vivienda NO-SE (mc)	5244	20	20	0%
Vivienda N-S (pc)	4842	18	0.3	98%
Vivienda E-O (pc)	5646	21	0.4	98%
Vivienda NE-SO (pc)	5244	20	0.1	99%
Vivienda NO-SE (pc)	5244	20	20	0%

RESULTADOS

La Tabla 5 muestra los resultados detallados del análisis: ganancias solares, necesidad de refrigeración con y sin ventilación y ahorro energético obtenido, para cada caso evaluado.

La figura 2 muestra la demanda de refrigeración de una vivienda promedio en las ciudades estudiadas y la misma demanda considerando la ventilación natural.

Figura 2: potencial de refrigeración por ventilación

Como se puede apreciar, el potencial de refrigeración por ventilación natural es del orden del 20% en los casos de Arica y Valparaíso, del 40-50% en los casos de Antofagasta e Iquique, del 60-70% en los demás casos. Cabe destacar que las demandas de refrigeración son bastantes elevadas, menos que en el caso de La Serena. Esto se debe a la combinación del emplazamiento climático y de la materialidad de la construcción. A pesar de tener menos aportes solares, las ciudades del centro-sur tienen sobrecalentamiento debido a los aportes internos que no se evacúan por las paredes y techos, que tienen valores de transmitancia menores.

CONCLUSIONES

En este artículo se han presentado los resultados de la aplicación en una sencilla y rápida metodología EN ISO 13790:2008 para estimar la demanda de refrigeración y el potencial de refrigeración por ventilación natural (dirigida por viento) en viviendas unifamiliares de diferentes ciudades costeras de Chile. Los resultados muestran la presencia

de demanda de refrigeración en casi todos los emplazamientos estudiados, debido a los aportes internos y a las ganancias solares, además que al cumplimiento estricto de la Reglamentación Térmica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Se detecta una esperada capacidad de evacuación de calor por ventilación natural, que llega a ser casi del 100% en las ciudades del sur, en donde el aire es más fresco incluso en verano, siempre y cuando las viviendas se encuentren bien orientadas. En algunos emplazamientos, con temperaturas diurnas mayores, como es el caso de Arica y de Valparaíso, la evacuación de calor es más limitada y los factores de distribución interna de las viviendas empiezan a cobrar sentido. Por ejemplo, en el caso de Valparaíso, una vivienda perfectamente orientada y con buena conexión interior tiene una posibilidad de evacuar el calor en un 40%, mientras que si está orientada a 45° y poco conectada solamente del 12%. Estos resultados confirman las hipótesis iniciales: las casas construidas siguiendo los estándares actuales están en riesgo de sobrecalentamiento durante la temporada de verano, sin embargo este riesgo puede ser notablemente disminuido utilizando la ventilación natural transversal dirigida por viento. La sencillez de un cálculo como el realizado permitiría además la incorporación en las herramientas para la calificación energética de las viviendas, contribuyendo a un avance importante hacia una construcción más sustentable. Trabajos futuros verán la incorporación de la ventilación vertical por efecto de la diferencia de temperatura igualmente importante en la estimación del potencial de refrigeración, y la comprobación de los resultados utilizando modelos de cálculo dinámicos más precisos. Una aplicación muy importante será además la evaluación a diferentes escalas de las brisas disponibles en determinados sectores urbanos y de la capacidad de evacuación de calor que pueden generar. Esto abre un campo nuevo de investigación, en donde la planificación urbana

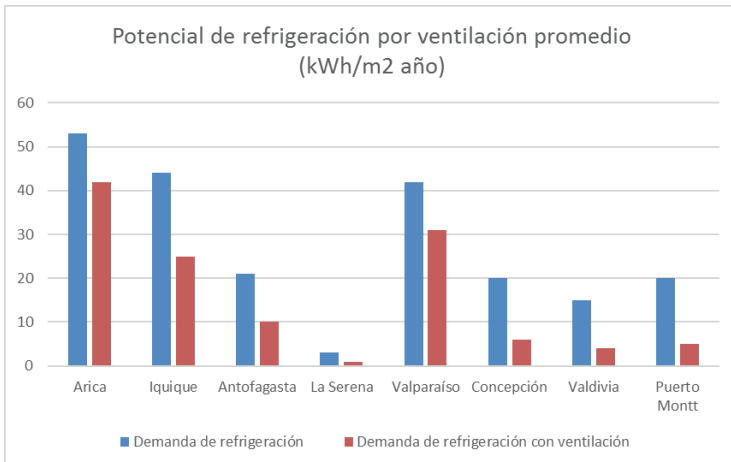


Figura 2: potencial de refrigeración por ventilación

y la eficiencia energética de los edificios comienzan a dialogar. La disponibilidad de las brisas, que aquí se consideran fijas en dirección y velocidad, depende en realidad de diferentes parámetros de conformación urbana, como queda evidenciado por diferentes estudios (Santamouris y Wouters 2006, Ng 2009, Ghiaus et al. 2006). Un enfoque que considere además los cambios en el clima urbano provocado por la urbanización creciente y por el calentamiento global será uno de los campos de desarrollo más importantes de los próximos años en el área de la arquitectura y el urbanismo sustentable.

REFERENCIAS

BUSTAMANTE, Waldo, DE HERDE, André, ENCINAS, Felipe. Analysis of office building thermal performance in different districts of the Metropolitan Area, Chile. *Revista de la Construcción*, vol. 10, (n° 1): pp. 64-77, April 2011.

KOLOKOTRONI, Maria, GIANNITSTARIS, Ioannis, WATKINS, Richard. The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. *Solar Energy*, vol. 80, (n° 4): pp. 383-392, April 2006.

GALDERISI, Anna, MAZZEO, Giuseppe, PINTO, Fulvia. Cities Dealing with Energy Issues and Climate-Related Impacts: Approaches, Strategies and Tools for a Sustainable Urban Development. *En: Smart Energy in the Smart City. Urban Planning for a Sustainable Future*. Springer Ed. 2016, pp.199-217

GHIAUS, Christian, ALLARD, Francis, SANTAMOURIS, Matheos, GEORGIAKIS, Constatinus, NICOL, Fergus. Urban environment influence on natural ventilation potential. *Building and Environment* 2006, vol. 4, (n° 1): p. 395-406.2006.

GROSSO, Mario. *Il raffrescamento passivo degli edifici*. Maggioli Ed. Milano 2011

HOLMES, Michael, HACKER, Jacob. Climate change, thermal comfort and energy: Meeting the design challenges of the 21th Century, *Energy and Buildings* 2007, vol. 39, (n° 7): p. 802-814.2007.

HEISLEBERG, Per, SANDBERG, Mats. Evaluation of Discharge Coefficients for Window Openings in Wind Driven Natural Ventilation. *International Journal of Ventilation*, vol.5, (n° 1): pp. 43-52.March 2016.

ISO 13790/2008 (rev. 2012) Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling.

LEBASSI-HABTEZION, Bereket, GONZÁLEZ, Jorge, BORNSTEIN, Robert. Modeled large-scale warming impacts on summer California coastal cooling trends. *Journal of Geophysical Research*, vol. 116, (n° D20): pp. 1-11, 2011.

LI, Haiquin. KANAMITSU Masao, HONG, Song-You, YOSHIMURA, Kei, CAYAN, Daniel, MISRA, Vasubandhu, SUN, Liquiang. Projected climate change scenario over California by a regional ocean-atmosphere coupled model system. *Climatic Change*, vol.122,(n° 4): pp. 609-619, december 2013.

MINVU, *Manual de aplicación de la reglamentación térmica.[en línea]*, 2008. Disponible en: <www.minvu.cl/opensite_20070417155724.aspx>

MCLEOD, Robert. HOPFE, Cristina, KWAN, Alan. An investigation into future performance and overheating risks in passive house dwellings. *Building and Environment*, (n° 70), p. 189-209.2013

OLIVEIRA, Marta, CAMELO, Susana, GONÇALVES, Helder. Assessment of the Portugese building thermal code: Newly revised requirements for cooling energy needs used to prevent the overheating of buildings in the summer. *Energy*, vol. 36, (n° 5): p. 3262-3271, May 2011.

EDWARD,ng. Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. *Building and Environment*, vol. 44, (n° 7), p. 1478-1488.July 2009.

PALME, Massimo. Energy certification process in Chile: steps to dynamic simulation of buildings' energy performance. *En: Proceedings of the Passive and Low Energy Architecture Conference*, (Amehdabad, India, December 2014).

PALME, Massimo. The possible shift between heating and cooling demand of buildings under climate change conditions: are some of the mitigation policies wrongly understood? *En: Mediterranean Green Buildings and Renewable Energy*. Springer Ed. In press

PALME, Massimo, VÁSQUEZ, Amanda. Energy labeling of residential buildings in Chile: comparing steady-state evaluations and dynamical simulation results. *En: Proceedings of the Building Simulation Conference*, (Hyderabad, India, December 2015).

PALME, Massimo, ISALGUÉ, Antonio, COCH, Helena, SERRA, Rafael. Energy consumption and robustness of buildings. *En : Proceedings of the Central Europe towards Sustainable Buildings Conference*,(Praga, República Checa, June 2010).

SANTAMOURIS, Matheos, WOUTERS, Peter. *Building Ventilation: The State of Art*, USA.Earthscan, 2006

SANTAMOURIS, Matheos, CARTALIS, Constantinos, SYNNEFA, Afroditi, KOLOKOTSA, Dania. On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings – a review. *Energy and Buildings* , vol. 98, :pp. 119-124 ,2015.

TOLEDO, Linda, CROPPER, Paul, WRIGHT, Andrew. Unintended consequences of sustainable architecture: Evaluating overheating risks in new dwellings. *En: Proceedings of the Passive and Low Energy Architecture Conference*, Los Angeles, USA, July 2016.