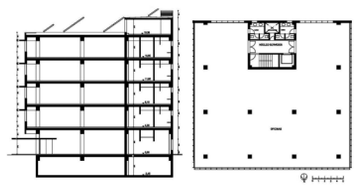
Modelo de análisis integral de factibilidad de utilización de *Thermo Active Building Systems* en edificios de oficinas en Chile



Comprehensive model for the analysis of feasibility of the use of Thermoactive Building Systems in office buildings in Chile

Miguel Galvez-Huerta[1], Rodrigo Barraza[2], Nina Hormazábal[1], Álvaro Curinao[2] y Tomas Gil-Lopez[3]
Universidad Técnica Federico Santa María. [1]Departamento de Arquitectura y [2]Departamento de Mecánica. Avenida España, 1680 – Valparaíso (Chile).
[3] Universidad Politécnica de Madrid. ETSEM. Departamento de Tecnología de la Edificación. Calle José Gutiérrez Abascal, 2 - 28006 Madrid (España).

DOI: http://dx.doi.org/10.6036/9575 | Recibido: 02/12/2019 • Inicio Evaluación: 04/12/2019 • Aceptado: 10/02/2020

ABSTRACT

- The work addresses the construction of a simplified computational model to evaluate the feasibility of the use of Thermo Active Buildings Systems (TABS) for office buildings in Chile, in order to set the theoretical basis for the design and dimensioning of these systems in the Chilean context, taking into account specific local conditions like its high seismic risk and the extreme variation of climates. To do so, an analytic model has been conceived, using the Engineering Equation Solver (EES) software. Firstly, a simple base model for a typical office building has been developed, and has been next applied to the climate conditions of eight climatic zones, ranging from the Atacama Desert to the Patagonia region. The results show a quite different performance of the system depending of the ambient conditions. They also reveal relevant aspects to be considered when designing TABS, such as the control strategies. The information obtained with the model will eventually serve as a base line to choose the appropriate set of design strategies for each climatic zone.
- **Keywords:** TABS, Thermal simulation, Office buildings, Envelope, Thermal comfort.

RESUMEN

El trabajo aborda la elaboración de un modelo para estudiar la viabilidad de la implantación de los TABS (Thermo Active Buildings Systems) en edificios de oficinas en Chile, de forma que permita sentar las bases teóricas su diseño atendiendo a las circunstancias propias del contexto local, principalmente en diferentes realidades climáticas. Para ello se ha trabajado con un modelo analítico, construido en el entorno computacional EES. Se ha desarrollado un modelo base para un edificio de oficinas tipo y se ha aplicado en ocho zonas climáticas chilenas, que van desde el desierto de Atacama a la Patagonia. Los resultados obtenidos han servido para determinar en qué ciudades es más factible aplicar este sistema, cuáles son los aspectos más relevantes a considerar en su diseño, y la demanda energética en cada zona climática estudiada necesaria para el cumplimiento de las condiciones de confort térmico. Esta información servirá de base para incorporar progresivamente diferentes alternativas de manera que se pueda optimizar el conjunto de alternativas más adecuadas para cada zona climática.

Palabras clave: TABS, Simulación térmica, Edificios de oficinas, Envolvente, Confort térmico.

1. INTRODUCCIÓN

Por TABS se entiende Thermally Activated Building System. Es un sistema de climatización por agua que usa la masa térmica de losas y muros de hormigón para regular la temperatura de los ambientes. Para ello, estos elementos constructivos se "activan" térmicamente mediante un serpentín de agua en su interior, funcionando con pequeñas diferencias de temperatura del agua respecto del ambiente. Supone una forma radicalmente distinta de afrontar la climatización, pues el propio edificio sustituye al aire como elemento al que confiar el acondicionamiento térmico de los ambientes [1].

Algunas ventajas del sistema son:

- Al utilizar una temperatura de agua más baja que los sistemas convencionales, suponen una reducción general del consumo de energía del sistema y hacen posible emplear fuentes térmicas de baja temperatura [2].
- Por tratarse de un sistema hidrónico de acondicionamiento térmico independiente de la ventilación, permite aprovechar al máximo las ventajas de los sistemas de ventilación 100% aire exterior, entre las que se encuentran la alta calidad del aire [3-5], y la posibilidad de combatir las cargas térmicas latentes, evitando condensaciones, y ayudar al sistema de agua en los momentos de carga punta.
- Desaparecen las unidades terminales a la vista (fancoils, radiadores, convectores). Además, al reducir el caudal de aire a mover al estrictamente necesario para ventilación se puede fácilmente prescindir de falsos techos.

También tiene sus desventajas, entre las que se destacan las pérdidas energéticas, la lentitud de respuesta y la dificultad del control, e inconvenientes como la interferencia con la estructura.

El empleo de estos sistemas en usos no residenciales, especialmente en oficinas, se ha intensificado durante los últimos años, así como la investigación asociada a los mismos. Las principales estrategias para reducir el consumo energético del sistema están en relacionadas con el empleo de adecuados sistemas de control [6], el aprovechamiento de fuentes de energía renovables, especialmente geotérmica [7], o el uso de sistemas pasivos.

Por último, la influencia en el confort térmico de los cambios de la temperatura operativa debido a la lentitud de respuesta del sistema ha sido estudiada siempre desde una perspectiva racional [8], quedando todavía por profundizar en el estudio de esta influencia con modelos adaptativos [9].

El hecho de que Chile sea un país con elevado riesgo sísmico, y que se utilice de manera extensiva el hormigón armado como solución

frente a este problema, hace que las edificaciones chilenas presenten un potencial de uso de los TABS. Sin embargo, ante la inexistencia de estudios al respecto en el ámbito académico local, se impone analizar posibilidades que brinda el sistema para adaptarlo a la realidad del país, caracterizada por su extrema variedad de climas. Como todo sistema de climatización, debe ser estudiado de manera integral. Así, las condiciones climáticas del entorno, la envolvente arquitectónica, el uso del edificio, las soluciones constructivas, la eficiencia energética del sistema, la concepción de la ventilación, el control automatizado, la definición de las condiciones de confort de los ocupantes y el costo del sistema constituyen un extenso cuerpo de variables, casi todas ellas dependientes, que deben estudiarse de forma conjunta.

En este contexto se sitúa la investigación, para la que se ha elaborado un modelo paramétrico que describe el comportamiento dinámico de una planta tipo de un edificio de oficinas que ha sido equipada con losas de suelo y techo activadas térmicamente, para evaluar su comportamiento en ocho localidades chilenas representativas de la variedad climática del país. El análisis se ha realizado exclusivamente en términos de demanda térmica y evolución de temperatura del aire durante días tipo correspondientes al verano, invierno y estación intermedia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. OBJETO DE ESTUDIO

2.1.1. El edificio

El análisis se ha realizado para una de las plantas intermedias (nivel cota 8,10 metros) de un edificio de oficinas cuya planta tipo y sección se muestran en la Figura 1.

La descripción de la materialidad de la envolvente y las condiciones de operación del edifico se describen en el material suplementario.

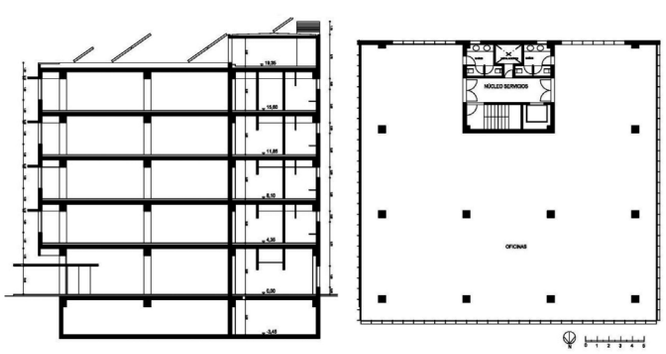


Fig. 1: Edificio de oficinas analizado. Planta tipo y sección

2.1.2. El elemento activado térmicamente

Un sistema TABS presupone la existencia de un paramento de elevada masa térmica en el que se dispone un serpentín por el que circula agua con una diferencia de temperatura respecto del ambiente, que se utiliza para almacenar energía térmica en el elemento constructivo y regular los intercambios convectivo-radiantes con el ambiente. En el caso analizado el elemento activado térmicamente es una losa de hormigón con la siguiente caracterización geométrica (Fig. 2).

Dada la alta carga interna de los edificios de oficinas, los sistemas TABS son habitualmente requeridos para enfriamiento del recinto a lo largo del año, por lo que su forma genérica en estos usos está asociada a sistemas de enfriamiento a través de techos. En el trabajo presentado este elemento constructivo se dispone en el forjado de una planta intermedia del edificio de oficinas descrito en el siguiente apartado. Esta disposición supone que el forjado intercambia calor por ambas caras con los ambientes con los que se encuentra en contacto.

A este elemento se le ha impuesto un caudal constante de 16 kg/hm^2 (400 kg/h, si se considera que cada circuito abastece a 25 m^2 de superficie). Por su parte, la temperatura de impulsión se hace depender de la temperatura exterior, tal como se indica más adelante en la sección de control del sistema.

2.1.3. Los climas chilenos

Para poder evaluar el comportamiento de estos sistemas en realidades climáticas tan diversas como la chilena, se han seleccionado ocho localidades representativas de los climas considerados en el anteproyecto de norma térmica chilena [10]. Las localidades elegidas (y sus estaciones meteorológicas correspondientes) son:

- Zona A: Huasco (Huasco Sivica)
- Zona B: Calama (Chiu-Chiu)
- Zona C: Salamanca (Curcumen)
- Zona D: Valparaíso (Viña del Mar)
- Zona E: Santiago (Parque O'Higgins)
- Zona F: Puerto Montt (Miraflores)
- Zona G: Temuco (Las Encinas)
- Zona H: Coyhaique (Coyhaique)

2.2. METODOLOGÍA DE MODELACIÓN

2.2.1. Software

La simulación de un sistema TABS puede llevarse a cabo con diferentes softwares. Aunque los modelos CFD son los que arrojan los resultados más prolijos, para el acoplamiento con un modelo de edificio no es necesaria tanta exactitud y pueden emplearse

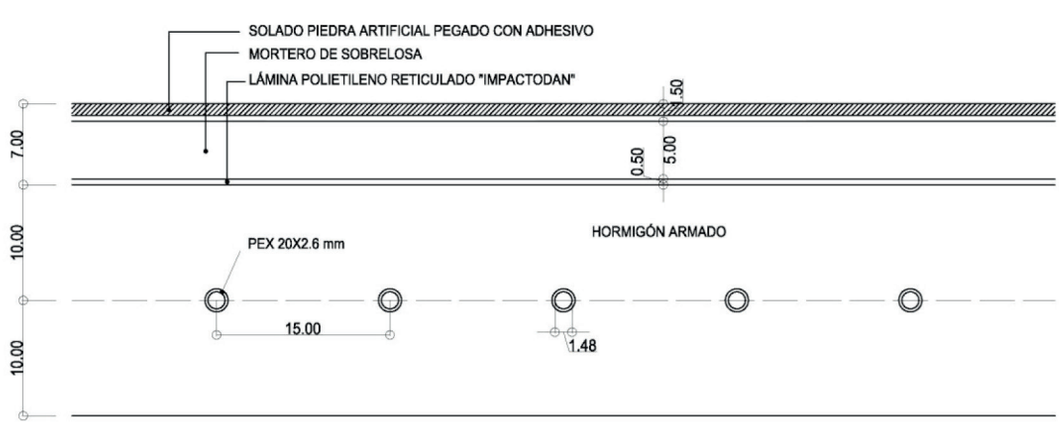


Fig. 2: Detalle de losa activada térmicamente. Cotas en cm

modelos simplificados, con la ventaja de resultar modelos más rápidos de calcular [11]. Una de las posibilidades es restringir a dos dimensiones los modelos de elementos finitos [12].

En este trabajo se ha utilizado el software EES [13]. Se trata de un software habitual en la resolución de problemas de termodinámica, mecánica de fluidos y transferencia de calor, debido a las múltiples funciones incorporadas en su librería [14]. Con este software se ha desarrollado un modelo paramétrico que incorpora las principales ganancias y pérdidas de energía del edificio además de la energía que aporta (o disipa) el TABS y, mediante un modelo transitorio, finalmente calcula la temperatura de aire interior, que es el parámetro escogido para asegurar el cumplimiento de las condiciones de confort térmico.

2.2.2. Modelo de transmisión en TABS

El proceso de transferencia de calor en el interior de un elemento de hormigón activado térmicamente es un complejo en 3D. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, no es necesario realizar un modelo de temperaturas y flujo de calor con ese nivel de detalle. Es posible utilizar herramientas más sencillas capaces de reproducir fielmente las variables de interés. El principal reto es el de modelizar la transferencia de calor que se produce en el interior de la losa de hormigón tanto en su funcionamiento activo (cuando circula el fluido caloportador por las tuberías), como en un funcionamiento pasivo, (la masa térmica acondiciona el interior del recinto sin la necesidad de una fuente o sumidero de energía). En este sentido, en el trabajo se ha combinado un modelo estacionario basado en resistencias térmicas y un modelo transitorio que integra la acumulación térmica en el material.

Para el estado estacionario, se ha adoptado el modelo de resistencias térmicas basado en la norma UNE-EN 15377 [15], que ha sido adoptado por EMPA (Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research) y que se describe en el material suplementario (desarrollo matemático y nomenclatura).

2.2.3. Modelo para determinar la temperatura del aire interior

Para obtener este parámetro, se ha establecido una ecuación de balance, que considera las ganancias y pérdidas del local y la emisión del TABS.

Para ello, en el local se han hecho las siguientes hipótesis:

- De las ganancias solares que llegan al local el 30% son absorbidas por el suelo, el 30% por el mobiliario, y el 40% restante son inicialmente absorbidas por techo y paredes, pero es rechazado finalmente el 90% a través de la ventana (IDAE 2009). Esto hace que el 64% de la radiación recibida se trate como ganancia en el volumen de control [16].
- Se ha despreciado el intercambio radiante entre paredes. Así, el flujo radiante tanto de suelo como techo se incorporan íntegramente al aire.
- El resto de muros también almacenan energía, por lo tanto, también son parte de la masa térmica.

La ecuación, también resuelta por el método de Euler, es la siguiente:

$$\dot{q}_{envolvente} + \dot{q}_{internas} + \dot{q}_{vent+inf} + \dot{q}_{suelo} + \dot{q}_{techo} + 0{,}63\dot{q}_{sol} = mc\frac{\partial T_a}{\partial t}$$

En esta ecuación, los flujos procedentes de suelo y techo son los que transfiere el TABS (convectivo-radiantes) incrementados en cada caso por la parte proporcional de ganancias solares, según las respectivas absortividades de los elementos constructivos.

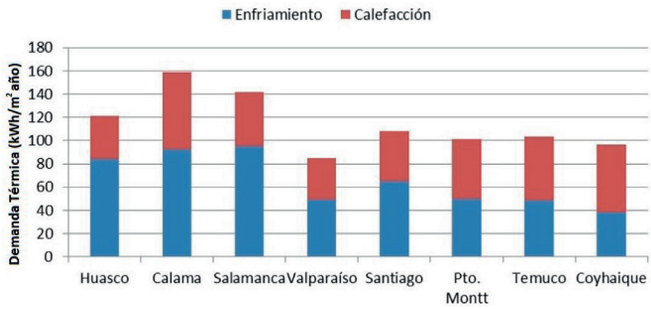


Fig. 3: Demanda térmica (calefacción y refrigeración) anual para las localidades analizadas

2.2.4. Características del controlador

Debido a la integración del uso de la masa del edificio como almacenamiento térmico, la estrategia de control y el diseño de un controlador juegan un papel fundamental para lograr simultáneamente el confort térmico y la eficiencia energética durante su operación. Mucho se ha escrito sobre las estrategias de control para los TABS [17], que se dividen principalmente en modelos de control convencionales y modelos de control predictivos. Estos últimos permiten optimizar el comportamiento del sistema simultáneamente en términos de eficiencia energética y confort térmico. Sin embargo, tiene el inconveniente de requerir de mayor gasto computacional [18]. Por ello, dado que el objetivo de este trabajo no es optimizar la implementación del sistema sino establecer líneas generales de su funcionamiento, modelos de control y comportamiento en diversos climas, se ha estimado más conveniente usar un controlador convencional, que se describe en el material suplementario.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DEMANDA TÉRMICA

En la Figura 3 se puede apreciar la diferencia que existe en cuanto a la energía total demandada en cada una de las zonas. Si bien las diferencias no son significativas, se puede apreciar que la zona norte (Huasco, Calama y Salamanca) es la que demanda una mayor cantidad de energía para mantener las condiciones de confortabilidad. Esto radica principalmente en que requieren una mayor cantidad de energía destinada al enfriamiento del recinto, superior a la que se requiere en el resto del país. Dado que las ganancias internas y la protección son iguales para todos los modelos, este aumento de energía requerida para el enfriamiento se basa en las ganancias a través de la envolvente y las ganancias solares.

En el norte predominan las altas temperaturas durante el verano, especialmente en las zonas interiores desérticas como Calama, que se caracterizan por sus altos niveles de radiación solar directa. Es por ello comprensible, esta mayor demanda de energía para refrigeración. Por su parte, a diferencia de las zonas interiores, las zonas costeras de similar latitud, como Huasco, se caracterizan por tener temperaturas mínimas no tan bajas, por lo que la energía destinada a la calefacción en los meses fríos es sensiblemente menor.

A esto sin duda contribuye que en estas zonas interiores la gran oscilación térmica dificulta el control de la temperatura interior, produciendo una alternancia en el funcionamiento del sistema entre calefacción y enfriamiento, lo que se traduce en un mayor consumo de energía y por lo tanto un uso ineficiente de la misma.

Siguiendo el análisis de la figura anterior, las ciudades de la zona central, Valparaíso y Santiago, presentan una demanda energética menor, pero relativamente similar entre ellas (85 y 108 kWh/m²año, respectivamente). Al detallar la demanda energética mensual en ambas ciudades (Figuras 4.1 y 4.2), se puede apreciar un comportamiento muy diferente: Valparaíso, como ciudad costera, requiere una potencia térmica para calefacción estable durante el año. En cambio, Santiago, ubicado en un valle interior, está inmerso en condiciones climáticas un poco más extremas con veranos más calurosos e inviernos con bajas temperaturas.

En la Figura 3 se puede también apreciar que las localidades del sur de Chile (Temuco, Puerto Montt y Coyhaique) tienen un valor de demanda energética anual semejante a las de la zona

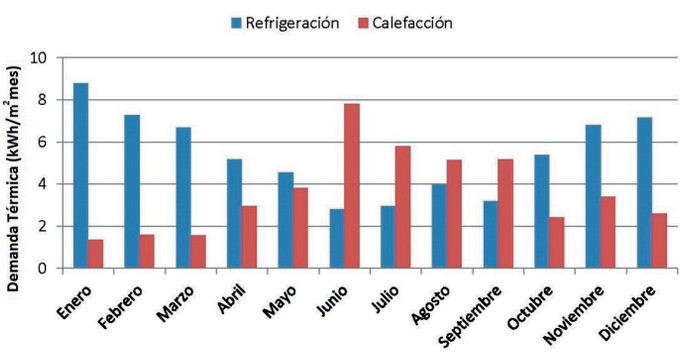


Fig. 4.1: Santiago. Evolución mensual de la demanda térmica (calefacción y refrigeración)

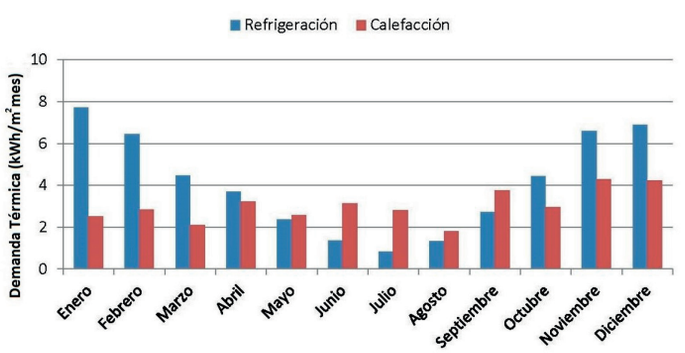
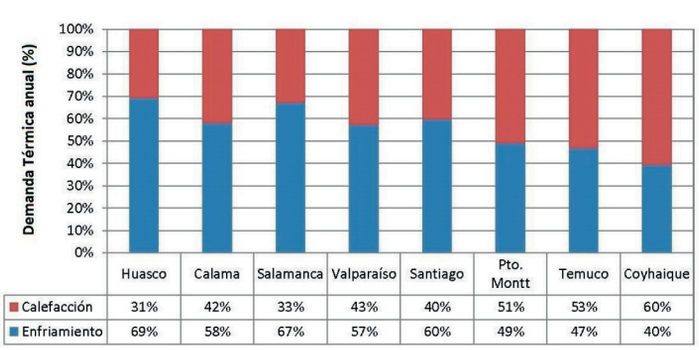


Fig. 4.2: Valparaíso. Evolución mensual de la demanda térmica (calefacción y refrigeración)

central del país. Sin embargo, en ellas ocurre el fenómeno de que la energía térmica requerida anualmente para calefacción es igual o mayor que la requerida para enfriamiento, tal como muestra la



	Huasco	Calama	Salamanca	Valparaíso	Santiago	Pto. Montt	Temuco	Coyhaique
Calefacción	31%	42%	33%	43%	40%	51%	53%	60%
Enfriamiento	69%	58%	67%	57%	60%	49%	47%	40%

Fig. 5: Distribución de la demanda en % de calefacción y refrigeración por zonas climáticas

Figura 5. Este fenómeno puede ser explicado porque en esta zona las temperaturas mínimas comienzan a disminuir rápidamente con respecto a la zona central, siendo los inviernos lluviosos y fríos, lo que hace aumentar las pérdidas por infiltración y envolvente térmica que dependen fundamentalmente de la temperatura exterior, en especial durante los días sin ganancias internas (sábado y domingo).

3.2. TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Otro factor importante a considerar es la cantidad de horas en las que el sistema activó el hormigón, o sea, que debía circular agua a través de las tuberías mediante el accionamiento de la bomba, siendo una consideración importante si se quiere evaluar en un trabajo futuro los costos asociados al funcionamiento de este sistema, y un parámetro a considerar para conocer el grado de control que se puede tener de los TABS.

La Figura 6 muestra las horas de operación de la bomba en los TABS durante el año en cada zona estudiada. No es posible realizar alguna conclusión sobre las horas de demanda de la bomba por zona, ya que no se logra apreciar un patrón de comportamiento según zona norte-centro-sur o costa-interior. Sin embargo, sí se puede obtener información sobre la elección del sistema de control. El requerimiento de menos horas de uso de la bomba puede indicar un mejor ajuste del sistema de control para esa zona, o que las condiciones ambientales en la zona facilitan el control de los TABS. En este caso, Puerto Montt y Huasco requerirían una menor cantidad de horas del TABS en forma activa.

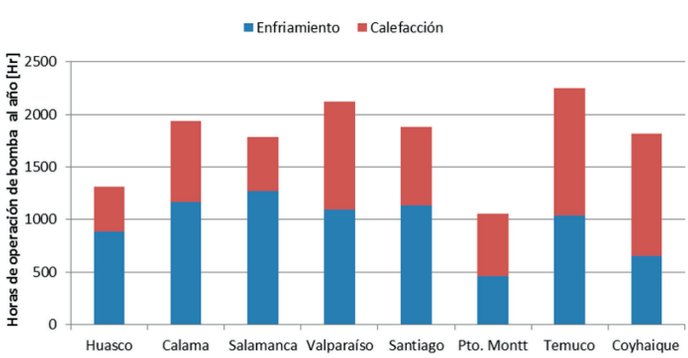


Fig. 6: Horas anuales de funcionamiento del sistema para las localidades analizadas

Analizando en conjunto la demanda energética y las horas de operación de la bomba en cada zona se puede apreciar que en las localidades de Calama y Salamanca existe una demanda de energía mayor, para un régimen de operación de la bomba semejante al de otras ciudades.

Por otra parte, las ciudades en las zonas centro y sur del país requieren una cantidad de energía similar durante el año para mantener las condiciones de confort al interior del recinto. Sin embargo, la ciudad de Puerto Montt requiere una menor cantidad de horas de funcionamiento activo del TABS en comparación con las otras zonas. Esta diferencia, al igual que ocurre en el caso de Huasco, radica en el controlador escogido y en el factor de corrección de la curva de suministro de agua, (*CF*=6/–6, según lo indicado en el material suplementario) lo que supone temperaturas mayores para calefacción y menores para refrigeración y conlleva una mayor demanda de energía.

4. CONCLUSIONES

En el estudio comparativo realizado se ha evaluado el potencial de implementación de los TABS en distintas zonas climáticas en Chile. Para ello se ha creado un modelo paramétrico que permite simular la variación diaria de la temperatura del aire en el interior de un edificio acondicionado mediante TABS, obteniendo la demanda energética requerida (energía transferida entre el agua y el núcleo de hormigón) y el tiempo de operación de la bomba al año.

El modelo considera el comportamiento de las cargas térmicas por la envolvente, las ganancias solares, las ganancias internas y las cargas por ventilación e infiltración; siendo las ganancias internas las cargas predominantes durante la ocupación. Estas cargas hacen que durante la mayor parte del año se requiera refrigeración en el recinto. Sin embargo, durante los periodos sin ocupación, las cargas por infiltración y envolvente térmica predominan generando pérdidas de energía desde el recinto hacia el exterior, lo que conlleva a la necesidad de calefacción en estos periodos. Esta demanda de calefacción se incrementa a medida que las temperaturas exteriores son menores.

El sistema se ha implantado con un modelo de control convencional cuyo controlador central regula: (i) el accionamiento de la bomba (abertura y cierre de válvulas) a través de la medición de una variable de control, que en este caso es la temperatura del aire interior; y (ii) la temperatura de suministro del agua, que varía según la temperatura del aire exterior

Los resultados del modelo muestran que la ciudad de Valparaíso (litoral central) presenta la menor demanda de energía (85 kWh/m^2·año), siendo la ciudad de Puerto Montt (litoral sur) la que presenta el menor tiempo de operación de la bomba (1.055 horas/año). Esto significa que estos lugares son los que presentan un mayor potencial respecto al resto de zonas climáticas para utilizar los TABS. Además, las zonas del litoral en general tienen temperaturas más estables que a las zonas interiores, lo que implica que la oscilación de temperatura es menor durante el día, ayudando a disminuir la demanda de calefacción y refrigeración

Por otro lado, la zona norte tiene una serie de desventajas: mayores ganancias externas producto de la mayor radiación incidente y mayores temperaturas máximas son contraproducentes con un edificio de oficinas, que intrínsecamente requiere refrigeración.

Por el contrario, en la zona sur interior y el extremo sur aumenta la demanda de calefacción, debido a las menores temperaturas de la zona, que incrementan las cargas por infiltración y la envolvente durante los días sin ocupación

Respecto al modelo de control implementado, el modelo convencional es útil para otorgar valiosa información sobre el comportamiento de los TABS. Sin embargo, no optimiza al máximo el potencial que poseen, ya que es susceptible que ocurran episodios de alternancia entre calefacción y refrigeración durante el mismo día. Esto refleja una de las carencias y limitaciones del modelo de control convencional respecto al modelo predictivo, ya que es contraproducente enfriar un recinto cuando está descendiendo la temperatura exterior, lo que acelera la disminución de temperatura y aumenta la posibilidad de que el espacio requiera calefacción en algunas horas más si la noche es fría.

Es importante resaltar la relevancia que tienen los parámetros de control adoptados (temperatura de referencia, temperatura controlada, límites de confort para el accionamiento de la bomba y curva de temperatura de suministro del agua) en el resultado obtenido. Esta selección se hace para garantizar el confort térmico de los espacios, por lo que puede afirmarse que el modelo concebido en el trabajo es muy sensible tanto al criterio de confort térmico adoptado como al modo de controlar el sistema para lograrlo.

REFERENCIAS

[1] M. Kiel, Thermally Activated Surfaces in Architecture. Princeton Architectural Press, 2010.
[2] B.W. Olesen, Hydronic radiant and cooling of buildings using pipes embedded in the building structure. 41 AICARR Conference, Milán, 2000.
[3] G.P. Henze, C. Felsmann, D.E. Kalz, S. Herkel, Primary energy and comfort performance of ventilation assisted thermo-active building systems in continental climates. Energy and Buildings 40 (2008) 99-111.
[4] T. Gil-Lopez, J. Castejón-Navas, M.A. Galvez-Huerta, V. Gomez-Garcia, Predicted percentage of dissatisfied and air age relationship in ventilation systems: Application to a laboratory. HVAC & Research 19 (2013) 76-86.
[5] T. Gil-Lopez, M.A. Galvez-Huerta, J.Castejon-Navas, V. Gomez-Garcia, Energy savings and hygrothermal conditions. Improvement in stores with intensive pedestrian traffic by means of high efficient air curtain systems. Energy and Buildings 67 (2013) 608-615.
[6] B. Lehmann, V. Dorer, M. Gwerder, F. Renggli, J. Todtli, Thermally activated building systems (TABS): Energy efficiency as a function of control strategy, hydronic circuit topology and (cold) generation system. Applied Energy 88 (2011) 180-191.
[7] F. Fellin y K. Sommer, Study of a low energy office building with thermal slabs and ground coupled heat pump. Proceedings 58th ATI Conference. Padua, 2003.
[8] J. Kolarik, Simulation of energy use, human thermal comfort and office work performance in buildings with moderately drifting operative temperatures. Energy and Buildings 43 (2011) 2988–2997.
[9] R.J. de Dear, Progress in thermal comfort research over the last twenty years. Indoor Air 23 (2013) 442-461.
[10] NTM11/2 2014. Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 2: Comportamiento higrotérmico (Anteproyecto).
[11] Lin Su, N. Li, X. Zhang, Y. Sun, J. Qian. Heat transfer and cooling characteristics of concrete ceiling radiant panel. Applied Thermal Engineering 84 (2015) 170-179.
[12] M.A. Galvez-Huerta, N. Hormazabal Poblete, P. Sills Garrido, T. Gil-Lopez, R. Felices-Puertolas. Thermal performance under winter conditions of a reflective insulation based wall panel for emergency houses in Chile. Dyna 94 (2019) 421-425.
[13] Engineering Equation Solver (EES) V10.179, http://www.fchart.com/ees/
[14] S. Klein y G. Nellis, Mastering EES, F-Chart Software, 2012.
[15] UNE-EN 15377. Sistemas de calefacción en edificios. Parte 1: Determinación de la capacidad nominal de diseño de calefacción y refrigeración. Parte 2: Diseño, dimensionado e instalación. AENOR, 2009.
[16] IDAE (2009) "Condiciones de aceptación de programas alternativos a LIDER y CALENER". Gobierno de España. Madrid, pp. 24 y 25.
[17] M. Sourbron, Dynamic thermal behaviour of buildings with concrete core activation. pp. 157-160. Tesis doctoral. Facultad de Ingeniería, KU Leuven, 2012.
[18] M. Schmelas, T. Feldmann, E. Bollin, Adaptive predictive control of thermo-active building systems (TABS) based on a multiple regression algorithm. Energy and Buildings 103 (2015) 14–28.

MATERIAL SUPLEMENTARIO

https://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/9575-1.pdf