

*Analysis of office building
thermal performance in
different districts of the
Metropolitan Area, Chile*

Análisis de comportamiento térmico de edificios de oficinas en comunas de la Región Metropolitana, Chile



Autores

BUSTAMANTE, W. Escuela de Arquitectura. Facultad de Arquitectura,
Diseño y Estudios Urbanos. Pontificia Universidad Católica de Chile
E-mail: wbustamante@uc.cl

DE HERDE, A. Architecture et Climat. Université catholique de Louvain, Bélgica
E-mail: andre.deherde@uclouvain.be

ENCINAS, F. Architecture et Climat. Université catholique de Louvain, Bélgica
E-mail: f.encinaspino@uclouvain.be

Fecha de recepción 28/05/2010

Fecha de aceptación 01/12/2010

Resumen

Los edificios de oficina de Santiago normalmente presentan mayor demanda de energía de refrigeración que de calefacción. En esta ciudad, los problemas de sobrecalentamiento en recintos de estos edificios son muy recurrentes. Este trabajo muestra un estudio de comportamiento térmico de 2 edificios de oficina, representativos de los construidos en los últimos 5 años en Santiago. Uno de ellos presenta fachada de muro cortina completamente transparente con uso de vidrio selectivo. El otro es con fachada de muros de hormigón y ventanas de vidrioado simple. Un edificio ampliamente estudiado

en la bibliografía que posee doble piel también ha sido analizado. Se ha podido observar que fachadas con doble piel o completamente vidriadas no son recomendables para la ciudad, si se desea conseguir un alto estándar en el uso de energía para acondicionamiento térmico en estos edificios. La protección solar en elementos vidriados de la fachada, el doble vidrioado hermético, la aislación térmica exterior en muros, en combinación con ventilación nocturna, permite conseguir eficiencia energética en edificios de oficina, acercándose a una demanda nula de energía de refrigeración.

Palabras clave: Energía, oficina, refrigeración.

Abstract

Office buildings in Santiago, Chile normally show higher cooling than heating energy demand. Overheating and high cooling energy demand are recurrent problems in this type of buildings in the city during summer and spring. This paper shows thermal performance of two representative office buildings constructed within the last 5 years in the city. One of them shows a completely glazed façade with selective glazing. A combination of opaque and glazed façade is used in the other one. Another building

widely studied in the bibliography, with a double skin façade was also studied under climate conditions of the mentioned city. Double skin and completely glazed facades show not to be appropriated for reaching energy efficiency in office buildings in Santiago. When using other strategies like the solar protection, double glazing, thermal insulated external walls and nocturnal ventilation in office buildings without double skin, energy efficiency may be reached, tending to zero energy cooling demand.

Key words: Energy, office, cooling.

1. Introducción

En el país se construyen aproximadamente 4,18 millones de metros cuadrados anuales en edificios del sector Industria, Comercio y Establecimientos Financieros (en que se encuentran los edificios de oficinas), de los cuales aproximadamente el 30% se construye en la Región Metropolitana [1]. Para este tipo de edificios, en Chile no existen obligaciones legales que regulen su comportamiento térmico. Su diseño y construcción se hace muy comúnmente en base a modelos o patrones traídos de países desarrollados, aun cuando algunas estrategias utilizadas, tales como la doble piel, son cuestionadas en Europa Central debido a la generación de problemas de sobrecalentamiento en recintos interiores, en especial cuando estas se diseñan con fachadas completamente vidriadas [2,3,4].

El efecto de usar diversas estrategias de diseño arquitectónico y su impacto en las demandas de energía en los edificios de oficina ha sido ampliamente estudiado en diversos países. En un estudio realizado en la ciudad de Londres, un edificio en que se supone una efectiva protección solar, se optimiza el tamaño de ventanas, se minimizan las ganancias internas sin afectar el confort lumínico y se utiliza la ventilación nocturna para enfriamiento, se logra que en una semana de clima típico extremo en la ciudad (con las más altas temperaturas), la demanda de energía de enfriamiento es significativamente menor respecto de idéntica demanda suponiendo el edificio sin la aplicación de las indicadas estrategias. De este modo, el estudio concluye que la protección solar, el uso adecuado de tamaño de ventanas y la disminución de las ganancias internas son relevantes para alcanzar eficiencia energética en el edificio. Con ello la demanda de enfriamiento se reduce en un 23% para una semana de temperaturas consideradas moderadas y en un 40% para una semana de temperaturas extremas, en comparación con idénticas demandas del mismo edificio sin uso de las estrategias indicadas (excluyendo la ventilación nocturna). Al agregar la ventilación nocturna se produce una reducción adicional de un 13% en ambos tipos de semanas [5].

Dados los problemas que se indican para edificios de oficina en climas aun menos severos que el nuestro en período de verano y debido a la escasa información existente en Chile sobre el efecto del uso de ciertos patrones de diseño, en especial la incorporación de fachadas completamente vidriadas en edificios de oficina, se hace importante realizar un estudio que tome edificios representativos de este sector y analizar su comportamiento térmico en todo período del año.

El objetivo de este trabajo es presentar resultados de un estudio que se realiza en la zona urbana de la

Región Metropolitana, en que se han estudiado dos tipos de edificios que se han construido en los últimos años. Se determinan las demandas de energía de calefacción y enfriamiento y se observa la variación de temperatura en el espacio interior de los recintos en días críticos de diferentes estaciones del año. Junto a lo anterior, se asumen ciertas estrategias de mejoramiento térmico de los edificios y se compara con los proyectos originales de estos. Con el fin de tener una referencia respecto de lo que es posible alcanzar en un edificio de oficina en la Región Metropolitana, se presentan resultados de simulaciones de comportamiento térmico de un edificio que se ha propuesto por la Agencia Internacional de la Energía, precisamente para este tipo de comparaciones.

2. Metodología

En primer lugar, para el estudio de comportamiento térmico de edificios de oficina en la Región Metropolitana, se seleccionaron dos edificios de una muestra de 51 que iniciaron construcción en distintas comunas de esta. Se estimaron las demandas de energía de calefacción y de refrigeración de estos edificios, haciendo uso de un software en régimen dinámico (TAS, de Environmentat Design Solutions Limited de Inglaterra). Con el propósito de analizar el comportamiento del edificio bajo el supuesto de que sistema de calefacción o enfriamiento no esté en funcionamiento, se determinó la variación de temperatura interior en diferentes recintos y en días de distintos períodos del año.

Para lo anterior, en estos edificios, se estimaron las ganancias internas de iluminación, personas y equipamiento según se muestra más adelante. Los planos y especificaciones técnicas de los sistemas constructivos se extrajeron de la información disponible de los proyectos en la respectiva Dirección de Obras de la comuna.

Junto a los edificios seleccionados de la Región Metropolitana se hace un estudio de un modelo propuesto por el Programa de Calefacción Solar y Refrigeración de la Agencia Internacional de Energía, como referencia para estudios de comportamiento térmico de edificios [6]. Al edificio se le puede incluir una doble piel con el propósito de estudiar el efecto ambiental (en T° y demandas de energía) que puede generar este tipo de estrategias.

Las simulaciones se realizan con datos climáticos horarios de temperatura, humedad relativa, nubosidad, radiación solar directa y difusa, velocidad y dirección de viento de la ciudad de Santiago.

En una primera evaluación de los edificios, estos se supusieron considerando las especificaciones técnicas del proyecto original. Posteriormente se analiza el comportamiento del edificio con cambios en estos sistemas constructivos y la presencia de protección solar en sus fachadas en la medida que sea pertinente. También se asumió la estrategia de ventilación nocturna con el propósito de disminuir demandas de energía de refrigeración.

2.1 Selección de los edificios

Para la selección de los edificios a estudiar en la Región Metropolitana se aplicó una metodología que permitiera generar casos estadísticamente representativos de estos. Para diferentes comunas de la Región (Santiago, Las Condes, Vitacura, Providencia, Ñuñoa y Huechuraba), con edificios cuyos permisos de edificación se obtuvieron en los últimos 5 años (y que al menos han iniciado su construcción en el período), se generó una base de datos de 51 unidades. Para cada uno de los edificios se generó una ficha con la respectiva información a evaluar.

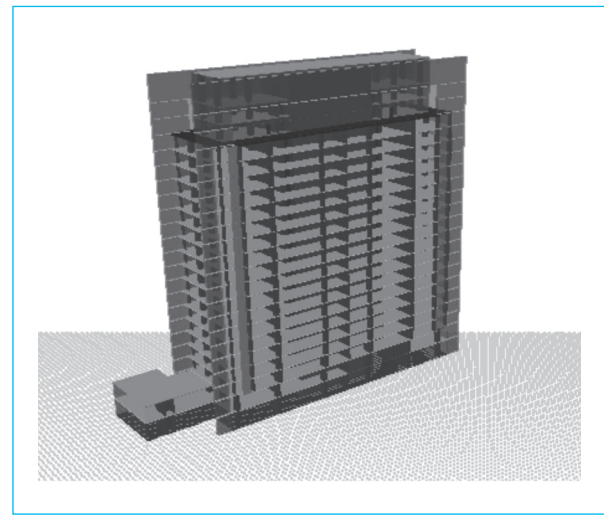
A la muestra de 51 edificios se aplicó un análisis de segmentos de mercado de oficinas, definiendo un edificio representativo de cada segmento y distinguiendo en estos variables dicotómicas en sus atributos característicos. Las variables se recolectaron mediante una visita de inspección a cada uno de los proyectos y de la información extraída de los archivos municipales. Las variables consideradas corresponden a superficie edificada, N° de pisos, N° de oficinas por edificio, agrupamiento, orientación, material de fachadas, tipo de muro cortina, tipo de material vidriado en ventanas, presencia de plantas libres y año de edificación. De este modo se obtienen dos clusters de edificios. El primero de 14 pisos promedio, planta libre, fachada vidriada en un 100%, con doble vidriado hermético (DVH) tipo selectivo en ventanas. El segundo corresponde a un número menor de pisos (promedio de 9), fachada combinada (opaca de hormigón armado combinada con ventanas), ventanas de vidriado simple, vidrio claro. De estos clusters, los edificios más representativos de ambos son: Edificio de Las Condes (cluster 1) de 23 pisos, año de permiso de edificación: 2007. Edificio de Providencia (cluster 2) de 9 pisos, año de permiso de edificación: 2008. A ambos edificios se les ha asignado en este trabajo el nombre de su comuna.

3. Los edificios

3.1 Edificio Las Condes

La Figura 1 muestra la imagen del edificio de Las Condes, que presenta una superficie edificada aproximada de 22.000 m² (excluyendo subterráneos). En la Figura 2 se observa una planta del edificio en sus pisos intermedios.

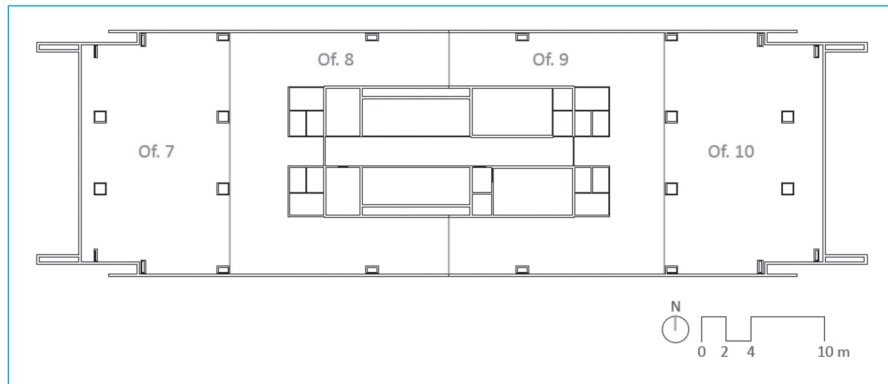
Figura 1 Edificio de Las Condes según imagen de software TAS



En este edificio, estructurado en hormigón armado, se han considerado las siguientes especificaciones técnicas en su envolvente:

- Muro cortina: Doble vidriado hermético (DVH). Cristal Sun Energy Gvb 6 mm, 12 mm de cámara de aire y vidrio claro 4 mm. Transmitancia solar (TS) igual a 0,4 y factor de transmisión de luz (TL) igual a 0,5.
- Piso sobre subterráneo: Hormigón armado (HA) de 150 mm con recubrimiento de baldosa cerámica.
- Cubierta: HA de 150 mm y poliestireno expandido (EPS), densidad 10kg/m³ de 80 mm de espesor.

Figura 2 Planta edificio de Las Condes



3.2 Edificio de Providencia

La Figura 3 muestra la imagen del edificio de Providencia. En la figura 4 se observa una planta del edificio en sus pisos intermedios. El edificio es de aproximadamente 3.700 m² construidos, excluyendo subterráneos

Figura 3 Edificio de Providencia según imagen de software TAS

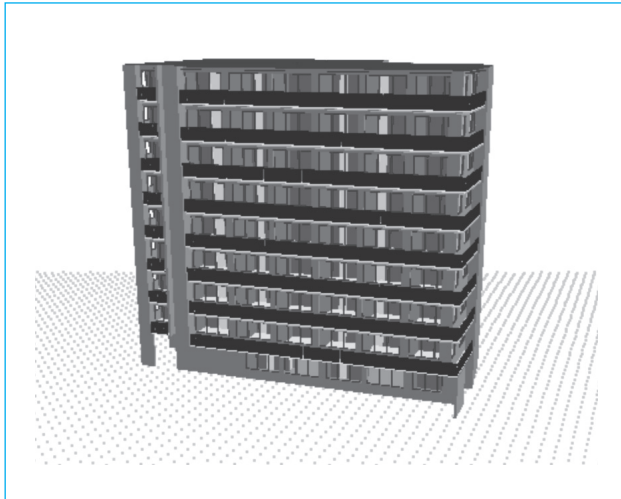
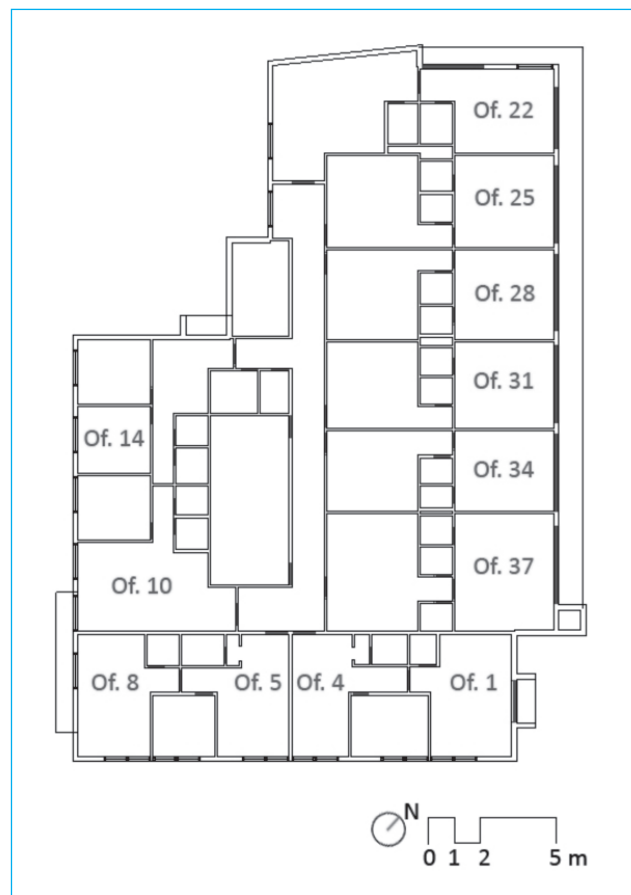


Figura 4 Planta edificio de Providencia



Las especificaciones técnicas de la envolvente de este edificio estructurado en hormigón armado, con paneles divisorios livianos, son:

- Ventanas de vidrioado simple claro. TS igual a 0,87 y TL de luz de 0,9.
- Muros de HA 150 mm.
- Piso sobre subterráneo: HA de 150 mm con baldosa cerámica.
- Cubierta: HA de 150 mm y EPS (10kg/m³) de espesor 60 mm.

3.3 Edificio IEA

Este edificio es de cinco pisos y posee una doble piel, la que se ha supuesto hacia el norte. La Figura 5 muestra el edificio y el detalle de la ventana de su fachada norte y sur. La Figura 6 muestra la planta del edificio. Las especificaciones técnicas de la envolvente consideradas para este edificio que presente paneles divisorios livianos son:

- Muros de HA 150 mm con aislación térmica exterior de poliestireno expandido (15kg/m³) de 50 mm.
- Cubierta de acero cincado, cielo de HA con EPS (10kg/m³) de 80 mm.
- Ventanas de fachadas norte y sur: DVH. Cristal Sun Energy Gvb 6 mm, 12 mm de cámara de aire y vidrio claro 4 mm. TS = 0,4 y TL= 0,5.
- Ventanas de doble piel exterior: vidrioado simple claro. TS= 0,87 y TS=0,9.

3.4 Condiciones de operación, ganancias internas, ventilación e infiltraciones

Las condiciones ambientales de los edificios se establecen, de lunes a viernes, en 20°C mínimo y 26°C máxima (considerado rango de confort térmico) entre 9:00

y 19:00 horas. El resto del día se asume que no existen restricciones de temperatura (no existen sistemas de acondicionamiento térmico en funcionamiento). El fin de semana, se supone que el edificio no funciona.

Para los 3 edificios estudiados se contemplan las siguientes ganancias internas:

Oficinas: Ganancia de iluminación: 12 W/m². Ganancia de equipos: 15 W/m², Ganancia de personas: 10 W/m² de calor sensible y 5 W/m² de calor latente.

Pasillos y Halls: Ganancia de iluminación: 5W/m².

La tasa de ventilación se supone en 1,0 volumen por hora. La tasa de infiltraciones de aire se supone igual a 0,3 volúmenes por hora.

Tanto las ganancias internas en oficinas, pasillos y halls como la ventilación se asume en las horas de uso del edificio, el cual se supone desde las 9:00 hasta las 19:00 horas en días de semana. Durante el fin de semana no existen tales ganancias ni ventilación, por lo cual solo aplica la infiltración de aire.

Figura 5 Edificio IEA y ventana de fachadas norte y sur

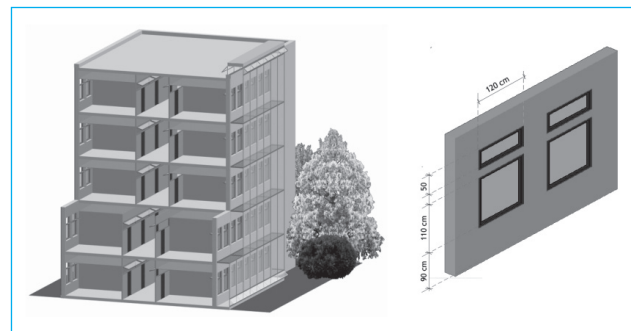
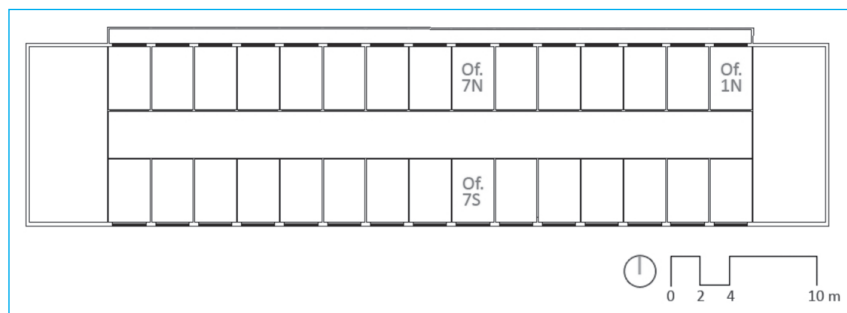


Figura 6 Planta de edificio IEA



4. Clima en la Región Metropolitana

La zona urbana de la Región Metropolitana, en que se encuentran las comunas de los edificios seleccionados pertenece a la Zona Central Interior según la clasificación de la Norma Chilena de Zonificación Climática. Corresponde a un clima mediterráneo, con inviernos de 4 a 5 meses y una importante oscilación térmica diaria, especialmente en verano. El promedio de la temperatura máxima es de 29,7°C en enero y la media mínima es de 13,0°C (Estación meteorológica de Quinta Normal). El promedio de la temperatura máxima y mínima del mes de julio en esta estación meteorológica es de 13,0 y 3,9 °C, respectivamente [7]. La nubosidad es baja en verano, alcanzando valores cercanos a 1,3 y 1,4 octavas en enero y febrero respectivamente y 2,0 octavas en diciembre [8].

5. Resultados de las simulaciones

En primer lugar se realizaron simulaciones de comportamiento térmico suponiendo sistemas constructivos de acuerdo a las especificaciones técnicas de los proyectos (Escenario 1). Luego, conocidos los resultados de demandas de energía para acondicionamiento térmico en esta situación, se realizan simulaciones asumiendo ciertos cambios en la envolvente de los edificios. Estos cambios se refieren tanto a la incorporación de aislante térmico en muros como al tipo de ventana (o superficie vidriada) y a la presencia de protección solar.

5.1 Edificio de Las Condes

En este edificio se realizaron las siguientes simulaciones:

Escenario 1: El edificio se asume con todos sus sistemas constructivos propios del proyecto original extraído de la Dirección de Obras respectiva.

Escenario 2: El edificio se supone con todos los sistemas constructivos originales pero se agrega protección solar en su envolvente. En fachada Norte se asume un alero de 90 cm y en fachadas oriente y poniente se supone protección solar de celosías opacas verticales de modo que en primavera y verano estas fachadas solo reciban radiación solar difusa.

Escenario 3: El edificio en escenario 2 pero agregándole ventilación nocturna a una tasa de renovación de aire de 8 volúmenes por hora. Esta ventilación se aplica entre las 22 horas y las 7:00 horas desde el día domingo hasta al día viernes en la mañana en el

período de octubre a marzo, ambos incluidos, cuando supuestamente se requiere refrigeración (llamado período de refrigeración).

5.1.1 Variación de la temperatura ambiental interior

La Figura 7 muestra la variación de temperatura recintos de orientación oriente y poniente del piso 10 del edificio en un día típico de verano, con alta radiación solar y temperatura ambiente exterior máxima de 29,2 °C y una mínima exterior de 12,9°C. Estos valores extremos son cercanos a los promedios de máximas y mínimas temperaturas en el mes de enero en Santiago. Se observan severos problemas de sobrecalentamiento en los recintos oriente y poniente, con temperatura sobre 40°C en gran parte del período de uso del edificio.

La misma figura muestra el efecto de asumir protección solar en ventanas y el uso de ventilación nocturna. Si bien en los espacios indicados se observa una disminución significativa en la temperatura ambiental, se está lejos de alcanzar condiciones de confort.

La figura 8 muestra la variación de temperatura exterior en el edificio para un día de invierno (13 de agosto) que presenta una baja nubosidad hasta las 16 horas (0,1 octavas promedio) lo que hace que las ganancias solares del edificio sean significativas. Este tipo de días es bastante común en el mes de agosto en Santiago. Se observan problemas de sobrecalentamiento en el interior de los recintos oriente (Of. 10) poniente (Of. 7) y norte (Of. 8) del piso 10 de edificio. En este caso no aplica la comparación con el escenario 3 puesto que la ventilación nocturna se utiliza solamente en períodos de primavera y verano.

5.1.2 Demandas de energía

Este edificio presenta una baja demanda de energía de calefacción, lo que es esperable por la importante ganancia interna y solar a través de la fachada completamente vidriada. Esto último también explica la alta demanda de energía de refrigeración en el caso del escenario 1. Aun aplicando estrategias de protección solar, dado el efecto de la radiación difusa y las ganancias internas, el edificio sigue teniendo una alta demanda de energía de refrigeración. Si a lo anterior se agrega ventilación nocturna, a pesar de la importante disminución porcentual de la demanda de energía de refrigeración, el edificio no presenta un estándar de buen comportamiento térmico en el período de refrigeración. Ver Tabla 1.

Figura 7 Variación de temperatura interior en recintos oriente (Of 10) y poniente (Of 7) de piso 10 del edificio Las Condes para diferentes escenarios. Día de verano
Fuente: Elaboración propia

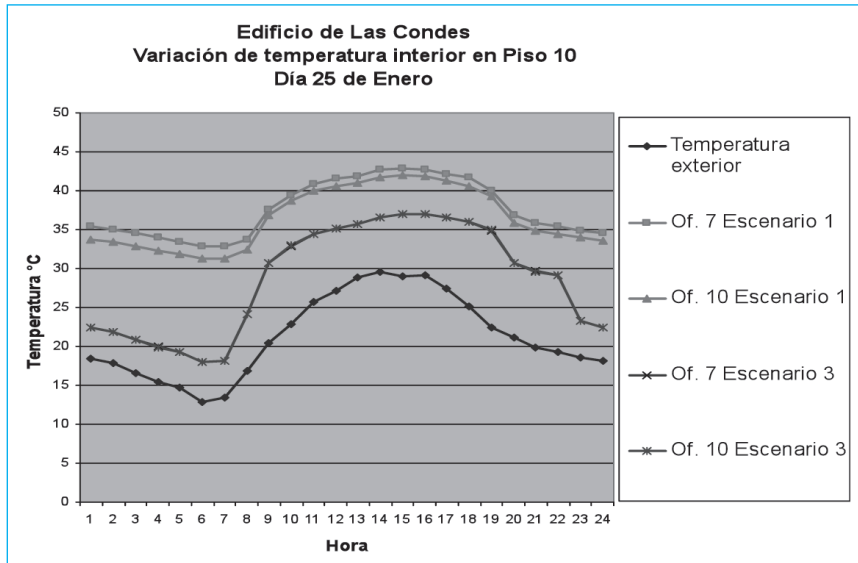


Figura 8 Variación de temperatura interior en recintos de piso 10 del edificio Las Condes para escenario 1. Día de invierno
Fuente: Elaboración propia

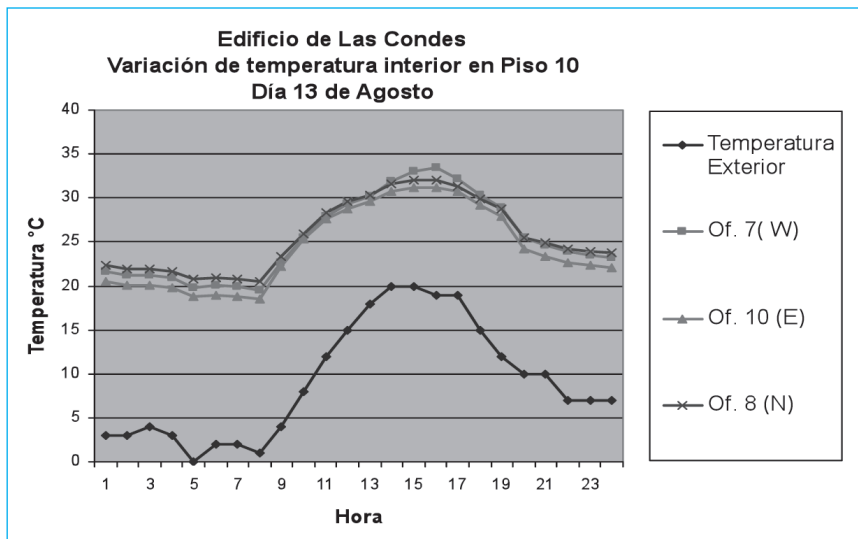


Tabla 1 Demandas de energía de acondicionamiento térmico en edificio de Las Condes según diferentes escenarios
Fuente: Elaboración propia

	Calefacción kWh/m ² año	Refrigeración kWh/m ² año	Disminución de Refrigeración %
Escenario 1: Edificio actual	3,9	62,5	
Escenario 2: Edificio actual con protección solar	5,9	52,1	16,6
Escenario 3: Edificio actual con protección solar y ventilación nocturna	2,4	39,8	36,3

5.2 Edificio de Providencia

En este edificio se realizaron las siguientes simulaciones.

Escenario 1: El edificio se asume con todos sus sistemas constructivos propios del proyecto original extraído de la Dirección de Obras respectiva. Es decir no presenta aislación térmica en muro y las ventanas son de vidrioado simple.

Escenario 2: El edificio se supone con todos los sistemas constructivos originales salvo que se ha cambiado vidrioado simple por doble vidrioado hermético. Esta ventana supone un cristal Termopanel Sun Energy Gvb 6 mm, 12 mm de cámara de aire y vidrio claro 4 mm. TS= 0,4 y TL= 0,5.

Escenario 3: El edificio en escenario 2, pero agregándole aislación térmica de 50 mm exterior al muro de hormigón armado y se asume protección solar en todas las ventanas. Esta protección es vertical en las fachadas poniente y oriente y corresponde a un alero en ventanas norte.

Escenario 4: Se asumen idénticos sistemas constructivos que el escenario 3 pero se agrega ventilación nocturna a una tasa de renovación de aire de 8 volúmenes por hora entre las 22 horas y las 7:00 horas desde el día domingo hasta al día viernes en la mañana en el período de refrigeración.

5.2.1 Variación de la temperatura ambiental interior

Para idénticos días tipo utilizados en el análisis del edificio anterior se estudia la variación la temperatura interior en los recintos. Se observa en la Figura 9 (día de verano, zonas de piso 5) que en el escenario 1 se produce sobrecalentamiento en el ambiente interior

en recintos poniente (Of 8 y Of 14 de Figura 3), con temperaturas cercanas a los 35 °C. Sin embargo para el escenario 4 este fenómeno se reduce significativamente aun cuando las temperaturas siguen estando en gran parte del día por sobre el rango de confort. Es preciso indicar que en este edificio no se observaron problemas de sobrecalentamiento en el día 13 de agosto, tal como se dio en al edificio de Las Condes.

5.2.2 Demandas de energía

En edificio presenta una mayor demanda de energía de calefacción que en el caso del edificio de Las Condes, debido a la presencia de vidrioado simple en ventanas y muros de hormigón armado con aislación térmica en la envolvente. Se observa que la sola presencia de DVH en ventana (escenario 2) hace disminuir la demanda de energía de calefacción levemente. Esta disminuye de modo significativo cuando se agrega aislante térmico en muro en su cara exterior. Ello hace aumentar levemente la refrigeración respecto del caso anterior, probablemente por la menor disipación de calor a través del muro. La inercia térmica aportada por el muro con aislante exterior genera una importante disminución en las demandas de energía de refrigeración al suponer ventilación nocturna de 8 renovaciones de aire por hora y aplicando la estrategia de protección solar en ventanas expuestas a la radiación solar directa. Ello implica una disminución de cerca del 55 % en refrigeración respecto de la situación original. Ver tabla 2.

5.3 Edificio de IEA

En este edificio se realizaron las siguientes simulaciones.

Escenario 1: Edificio con aperturas de la doble piel y de las oficinas del edificio cerradas, en todo período del año.

Escenario 2: Ventanas de las oficinas del edificio cerradas y ventana inferior y superior de la doble piel abiertas en período de refrigeración. En el resto del año se suponen ventanas cerradas en el edificio y en la doble piel.

Escenario 3: En período de refrigeración, se suponen ventanas del edificio cerradas en el día y abiertas en la noche (en un 30%) con el fin de generar ventilación nocturna. Doble piel abierta tal como en escenario 2. En el resto del año se suponen ventanas cerradas del edificio y de doble piel.

Escenario 4: Se elimina doble piel en edificio. Se asume protección solar (alero) en ventanas norte. En período de refrigeración se genera ventilación nocturna en el edificio tal como en 3. En el resto del año se asumen ventanas de doble piel y del edificio cerradas.

5.3.1 Variación de la temperatura ambiental interior

En el caso del día 25 de enero, como es de esperar, se observan severos problemas de sobrecalentamiento en el escenario 1. La temperatura en la doble piel

Figura 9 Variación de temperatura interior en recintos de orientación poniente de piso 5 del edificio de Providencia para diferentes escenarios. Día de verano
Fuente: Elaboración propia

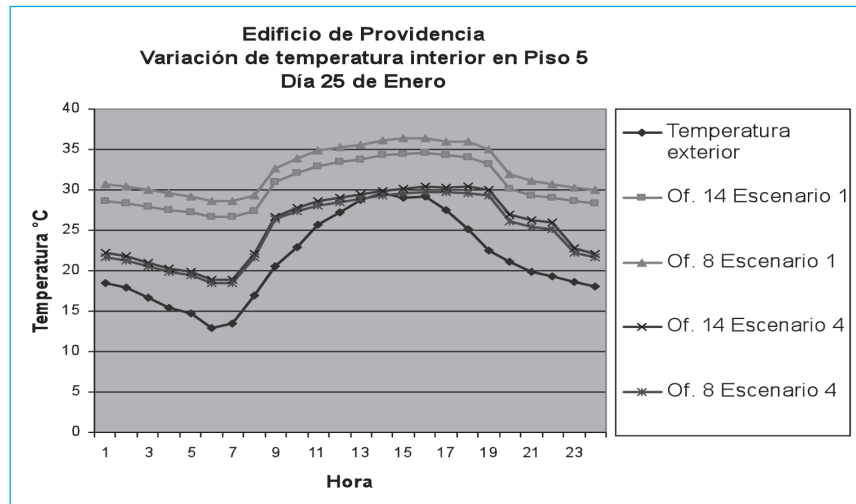


Tabla 2 Demandas de energía de acondicionamiento térmico en edificio de Providencia según diferentes escenarios
Fuente: Elaboración propia

	Calefacción kWh/m ² año	Refrigeración kWh/m ² año	Disminución de Refrigeración %
Escenario 1: Edificio actual	19,2	26,8	
Escenario 2: Edificio actual con DVH	17,7	23,4	12,7
Escenario 3: Edificio actual con DVH, protección solar y muro con aislación térmica	8,2	25,2	6,0
Escenario 4: Edificio actual con DVH, protección solar, muro con aislación térmica exterior 50 mm y ventilación nocturna	9,7	12,2	54,5

supera los 37°C y en oficinas del piso 4 sobrepasa los 32°C. Sin embargo en el edificio supuesto sin doble piel, protección solar en ventanas norte y ventilación nocturna (escenario 4), el edificio muestra temperatura interior que llegan a ser levemente inferiores a la exterior. Ver Figura 10.

En cuanto a temperatura, el edificio en escenario 4 no mostró problemas de sobrecalentamiento en sus recintos, en el día de invierno que se analizó para los restantes casos de estudio (13 de agosto). En el escenario más crítico, en que se considera la doble piel completamente cerrada (escenario 1), la temperatura alcanzó un máximo de 27,7 °C en oficinas de orientación norte de piso 4 del edificio. Ello indica sobrecalentamiento en este día de invierno, lo que debiera obligar a abrir al doble piel para disminuir la temperatura interior. En orientación sur, no se observan problemas de confort. Ver figura 11.

5.3.2 Demandas de energía

Las demandas de energía de este edificio para diferentes escenarios se muestran en Tabla 3. Cabe indicar que

en todos los escenarios se supone que las ventanas de las oficinas y de la doble piel permanecen cerradas en el período de calefacción (abril a septiembre). En este estudio, principalmente se asumen variaciones en las estrategias aplicadas para periodo de refrigeración.

Las demandas de calefacción no muestran grandes variaciones para los distintos escenarios, alcanzándose el mayor valor cuando el edificio se supone sin doble piel. Se observa entonces el rol positivo que juega la doble piel en invierno, pero su impacto en las demandas no es significativo. En cuanto a las demandas de refrigeración, lo lógico es al menos mantener las ventanas superiores e inferiores de la doble piel abierta (Escenario 2). La ventilación nocturna genera un impacto significativo en la disminución de la demanda de refrigeración (Escenario 3), disminuyendo la respectiva demanda de energía en alrededor de un 42% respecto del escenario 2. El comportamiento del edificio en período de refrigeración alcanza un mayor estándar si se elimina la doble piel, asumiendo protección solar en ventanas norte y se usa ventilación nocturna. Se logra una disminución de un 48,5% en la demanda de refrigeración respecto del caso anterior (Escenario 3).

Figura 10 Variación de temperatura interior en recintos de orientación norte del edificio IEA para diferentes escenarios. Día de verano
Fuente: Elaboración propia

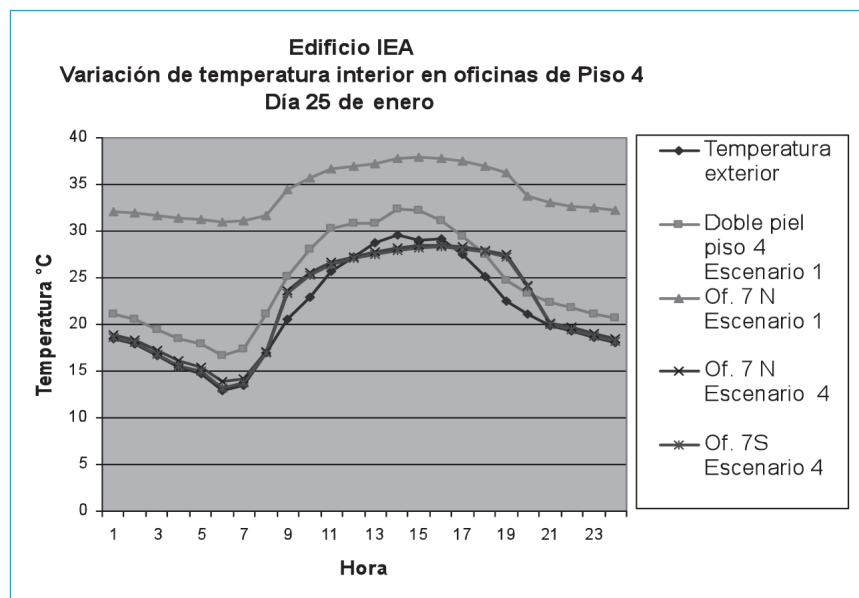


Figura 11 Variación de temperatura interior en recintos norte (Of 7N) y sur (Of 7S) de piso 4 del edificio IEA para escenario 1. Día de invierno
Fuente: Elaboración propia

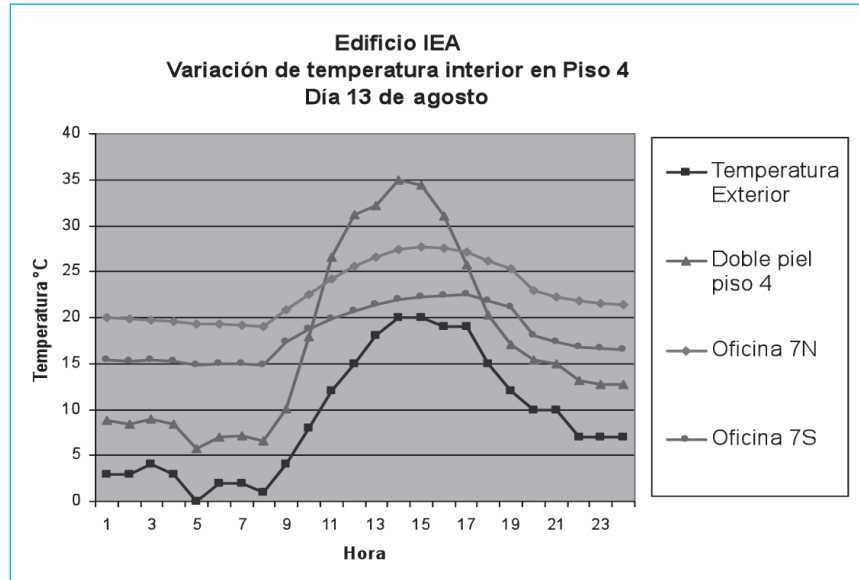


Tabla 3 Demandas de energía de acondicionamiento térmico en edificio IEA según diferentes escenarios
Fuente: Elaboración propia

	Calefacción kWh/m ² año	Refrigeración kWh/m ² año	Disminución de Refrigeración %
Escenario 1: Doble piel y edificio con ventanas cerradas	9,8	25,6	
Escenario 2: Ventanas de edificio cerradas y doble piel abierta en período de refrigeración	9,9	22,7	11,3
Escenario 3: Período de refrigeración: Ventanas edificio cerradas en el día y abiertas en la noche (ventilación nocturna). Doble piel abierta	10,2	13,2	48,3
Escenario 4: Período de refrigeración: Ventanas edificio cerradas en el día y abiertas en la noche (ventilación nocturna). Sin doble piel y protección solar en ventanas norte del edificio	11,6	6,8	73,4

6. Conclusiones

Se ha analizado el comportamiento térmico de dos edificios de oficina construidos en la Región Metropolitana de Chile. Las tipologías de estos edificios son representativas de lo que se ha construido en comunas de esta Región en los últimos 5 años y corresponden a patrones de diseño muy diferentes. Uno de ellos, con muro cortina completamente vidriado y el otro con fachada mixta entre opaca y vidriada. En ambos casos, la demanda de calefacción es inferior a la demanda de refrigeración. Al comparar el comportamiento térmico de ambos, se observan diferencias muy significativas. El edificio con muro cortina 100% vidriada presenta un mejor comportamiento en período de calefacción que el edificio con fachada combinada (opaca y vidriada), debido a la alta ganancia solar e interna y el uso de doble vidriado hermético en la envolvente. El último edificio presenta una envolvente con muros sin aislación térmica y vidriado simple en ventanas.

Sin embargo, el edificio con fachada completamente vidriada presenta una alta demanda de energía de refrigeración, siendo esta aproximadamente 2,3 veces que la del edificio con fachada combinada. El fenómeno de sobrecalentamiento se observa en ambos edificios, siendo más severo en el primero de ellos. Incluso en este último (fachada 10% vidriada) se observa el problema en períodos de invierno, en días con temperatura relativamente alta y con baja nubosidad. Es posible concluir que en general un edificio de oficina con fachadas vidriadas presenta un comportamiento significativamente más deficiente que edificios con fachadas solo parcialmente vidriadas en combinación con muros opacos. Ello en especial por la significativa mayor demanda de energía que se observa en el primero, en el que también se da un alto riesgo de sobrecalentamiento en recintos interiores, lo que ocurre principalmente en primavera-verano pero que también se da en días de invierno.

Si al edificio de fachada combinada se supone doble vidriado hermético en ventanas y aislación térmica exterior en muro de hormigón armado, se logra disminuir significativamente la demanda de energía de calefacción, llevándola a menos de 10 kWh/m² año. En este edificio se muestra la efectividad de suponer ventilación nocturna en el edificio con el mejoramiento descrito. Esta ventilación debe usarse en combinación con protección solar en ventanas que actúe en el pe-

ríodo de refrigeración. Con ello se logra un edificio con un alto estándar térmico para períodos de refrigeración, lo que se suma a su buen comportamiento en período de calefacción. En el caso del edificio con fachada 100% vidriada, aunque se use vidrio selectivo no se logra un buen comportamiento en período de refrigeración. Los mejoramientos que se proponen en este trabajo no logran superar el comportamiento en período de refrigeración del edificio con fachada combinada, aun en su condición inicial, es decir tal cual es el proyecto original.

Ninguno de los edificios estudiados presenta una doble piel. El impacto de esta se hace con un edificio estudiado en la bibliografía y que se ha supuesto en Santiago. Claramente la doble piel no ofrece un buen comportamiento térmico del edificio. De tenerla, su efectividad en el objetivo de proteger al edificio de la acción del clima exterior en todo período del año se logra con una compleja operación de sus aperturas, las que requieren ser abiertas en ciertas horas de algunos días de invierno, para evitar sobrecalentamiento en los recintos de orientación norte del edificio.

El mejor comportamiento en los edificios estudiados se obtiene con fachadas parcialmente vidriadas, con doble vidriado hermético, protección solar exterior opaca en ventanas (las que deben ser verticales en orientación poniente) y ventilación nocturna.

Finalmente, el uso de vidrios selectivos en fachadas completamente vidriadas, aun en el caso de considerarlos en doble vidriado hermético, permite disminuir significativamente la ganancia solar en el edificio, pero no logra eliminar el riesgo de sobrecalentamiento en períodos de refrigeración. Incluso en Santiago no lo hace suficientemente en períodos de calefacción, cuando en ciertos días existe alta radiación solar incidente en fachadas de distintas orientaciones. Para lograr un alto estándar en el comportamiento térmico en este tipo de edificios debe entonces usarse protección solar, lo que parece un contrasentido cuando se desea tener alta transparencia en la envolvente. El uso de vidrios selectivos con propiedades de menor transmitancia solar que la supuesta en este trabajo, probablemente disminuirá el riesgo de sobrecalentamiento aquí observado, y por consecuencia, descenderá la demanda de refrigeración. Ello sin embargo, probablemente tendrá un impacto en el confort visual, fenómeno que se estudia como continuidad al presente trabajo.

7. Bibliografía

1. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. Anuario de Edificación 2004. (2004). Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago.
2. MANZ, H. y TH. FRANK, (2005). Thermal simulation of buildings with double-skin façades. *Energy and Building*, 37: p. 1114-1121.
3. GRATIA, E. and A. DE HERDE, (2004). Is day natural ventilation still possible in office buildings with a double skin façade?. *Building and Environment* 39: p. 399-409.
4. GRATIA, E. y A. DE HERDE, (2007). Are energy consumption decreased with the addition of a double skin? *Energy and Building* 39: p. 605-619.
5. KOLOKOTRONI, I. GIANNITSARIS y R. WATKINS, (2006). The effect of Lonfon urban heat island summer cooling demand and night ventilation strategies. *Solar Energy* 80: p.383-392.
6. VAN DIJK, D. IEA, task 27 (Sin año de publicación). Performance of solar facade components. Performance, durability and sustainability of advanced windows and solar components for building envelopes. Subtask A. Reference office for thermal, solar and lighting calculations. TNO Building and Construction Research. Division of Buildings and Systems. Delft, The Netherlands.
7. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (2008). NCh 1079-2008 Arquitectura y Construcción. Zonificación climática habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. INN, Santiago
8. BUSTAMANTE W., R. CEPEDA; F. ENCINAS, P. MARTÍNEZ e Y. ROZAS (2009). Guía para la eficiencia energética en Vivienda Social. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Santiago.

Este trabajo se realiza en el marco del proyecto FONDECYT N° 1090602. Enfriamiento ambiental de edificios de oficina a través de ventilación nocturna.