

ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE EDIFICIOS DE OFICINA EN COMUNAS DE LA REGIÓN METROPOLITANA DE CHILE

Alan Pino Araya – aapino@puc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica

Waldo Bustamante – wbustamante@puc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Arquitectura.

Rodrigo Escobar – rescobar@ing.puc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica

5. Energía solar y ambiente construido

Resumen: *En la actualidad es común que se requiera más energía para refrigerar un ambiente que para calefaccionarlo, sobre todo en edificios de oficina. En Chile no existen normas legales que regulen el comportamiento térmico de las construcciones y la información de estudios al respecto para climas de Chile es escasa. Este estudio muestra el caso de dos edificios de oficinas, ubicados en la zona urbana de Santiago, con características representativas de los edificios construidos en los últimos 5 años. Uno de ellos presenta fachada de concreto con cerca de un 30% de su envolvente vidriada. El segundo edificio presenta muro cortina con vidriado doble transparente selectivo en todas sus fachadas. En base a simulación computacional, con el software TAS, se puede ver que estos edificios sufren sobrecalentamiento en su interior, no sólo en la época de verano, sino también algunos días de invierno en donde la temperatura ambiental alcanza los 20 °C y existe un bajo índice de nubosidad (alta cantidad de radiación directa). Por otro lado, se puede estimar sus demandas de energía para refrigeración y calefacción, para mantener condiciones de confort térmico al interior de las oficinas en verano e invierno, respectivamente. La protección solar puede ser efectiva en Santiago, pues las condiciones climáticas indican nubosidad casi nula en verano. Adicionalmente, en la Región Metropolitana se presenta una importante oscilación térmica diaria, especialmente en verano, dando posibilidad a ventilar durante la noche y disminuir la carga de refrigeración durante el día. Si se combina la utilización de diversas técnicas como protección solar, vidriado doble selectivo, aislación térmica en muros y/o ventilación nocturna en verano se puede alcanzar una disminución en la demanda de energía para refrigeración de 50% y cerca de 68% para calefacción con respecto a lo que ocurre en la actualidad.*

Palabras-clave: *Simulación Térmica, Edificios de Oficina, Ventilación Nocturna, Protección Solar*

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en Chile no existen obligaciones legales que regulen el comportamiento térmico de edificios. Sólo en la Región Metropolitana, durante el año 2007 fueron autorizados para la construcción cerca de 1,6 millones de metros cuadrados de edificios en el sector Industria, Comercio y Establecimientos Financieros, aproximadamente un 48% del total nacional (INE, 2007). Estos edificios normalmente presentan mayor demanda de energía para refrigeración que calefacción. Es necesario adoptar técnicas que permitan disminuir estos consumos y que sean aplicadas como parte del diseño y construcción del edificio y no como medida correctiva tras años de mal desempeño.

En otros países se ha estudiado el efecto de las distintas estrategias de diseño arquitectónico utilizadas y en impacto que pueden tener en las demandas de energía para climatización. Existe escasa información de estudios de este tipo para climas de Chile, y muchos patrones de diseño son importados de países más desarrollados, que poseen climas distintos a los de Chile, sin saber las consecuencias de incorporar algunos de estos patrones.

Un estudio realizado en la ciudad de Londres (Kolokotroni, Giannitsaris, & Watkins, 2006) para un edificio con protección solar, optimiza tamaño de ventanas, minimiza ganancias internas y aplica ventilación nocturna en época de refrigeración. Del estudio se concluye que una adecuada protección solar y tamaño de ventana puede lograr disminución en la demanda de energía de 23% para una semana de temperaturas moderadas y 40% para una semana de temperaturas extremas. Además, al aplicar la ventilación nocturna se produce una reducción adicional del 13%.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de simulaciones computacionales sobre el comportamiento térmico de edificios con distintos patrones de diseño. De los tipos de edificios de oficinas más construidos en la zona urbana de la Región Metropolitana de Chile durante los últimos 5 años, se han seleccionado 2 edificios con distintas características. Se determinan las demandas de energía de calefacción y refrigeración para todo el año y las temperaturas al interior de los recintos para algunas fechas seleccionadas.

2. METODOLOGÍA

La primera etapa del trabajo consistió en la selección de los edificios a estudiar. Para ello se generó una base de datos con 51 muestras, correspondientes a edificios construidos en la Región Metropolitana durante los últimos 5 años. Para cada muestra se generó una ficha con sus características principales, esto es: superficie construida, número de pisos, tipo de fachadas, tipo de superficie vidriada y número de oficinas por edificio. Se llegó a dos agrupaciones de edificios:

- Grupo 1: planta libre, 14 pisos promedio, fachada 100% vidriada, doble vidriado hermético (DVH) con algún grado de selectividad a la radiación solar.
- Grupo 2: 9 pisos promedio, fachada combinada (opaca de concreto combinada con ventanas), ventanas con vidriado claro de panel simple.

Con los edificios seleccionados, uno de cada grupo, se obtuvo la planimetría desde las respectivas Direcciones de Obras Municipales (DOM). Luego, se realizó la modelación 3D de cada edificio junto a volúmenes que representan los edificios de los alrededores, hasta un radio de 80 m aproximadamente. Con esto se contabiliza el efecto en sombras que producen los edificios contiguos.

Es necesario conocer algunas características de operación de los edificios. Para ello se estimó la ganancia interna producida por iluminación, ocupación y equipos pequeños. Paralelamente, se estimó la ventilación sanitaria correspondiente y las infiltraciones del edificio. Los detalles se muestran más adelante.

Teniendo una base de datos del clima horario apropiada para la ciudad de Santiago, sumado a lo anterior, se puede comenzar la simulación en régimen dinámico con el software TAS, de Environmental Design Solutions Limited.

Con el propósito de estudiar sobrecalentamiento de los ambientes, se simuló cada uno de los edificios para 2 días del año elegidos, dejando libre el termostato, es decir, sin requerir energía de refrigeración ni calefacción, y por ende, sin mantener las condiciones de confort térmico.

Posteriormente, se fijaron condiciones de confort térmico y se estimó la demanda de energía anual para climatización. En primera instancia se estudiaron los edificios con las características actuales que presenta cada uno, obtenidas de las Especificaciones Técnicas desde la DOM. Luego, se definieron estrategias para mejorar el rendimiento térmico de los edificios y se estipularon distintos escenarios en los cuales se combinan estas estrategias, especificados más adelante.

2.1. Edificios

De acuerdo a las agrupaciones de las muestras indicadas anteriormente, se seleccionó un edificio para grupo. Se le han asignado nombres a los edificios de acuerdo a la comuna en que se ubican. El edificio LAS CONDES pertenece al Grupo 1 y sus principales características son:

- Superficie construida (sin incluir subterráneos): aproximadamente 22.000 m².
- Número de pisos (sin incluir subterráneos): 22
- Elementos estructurales de concreto de 150 mm de espesor en losas y 200 mm en muros.
- Envoltante: Muro cortina con doble vidriado hermético (DVH) selectivo Gravelber Sunergy Azur 6, de 5,85 mm de espesor, 15 mm de cámara de aire y 4 mm de vidrio claro interior. Tiene una transmitancia solar (TS) igual a 0,41 y un factor de transmisión de luz (TL) igual 0,50. El piso sobre subterráneo es de concreto (150 mm) con recubrimiento de baldosa cerámica (8mm). La cubierta está compuesta por concreto (150 mm), Poliestireno Expandido (EPS) de 60mm (0,041 W/m·°C, 15 kg/m³), una cámara de aire de 80 mm y finalmente el techo de acero galvanizado de 0,8 mm de espesor.

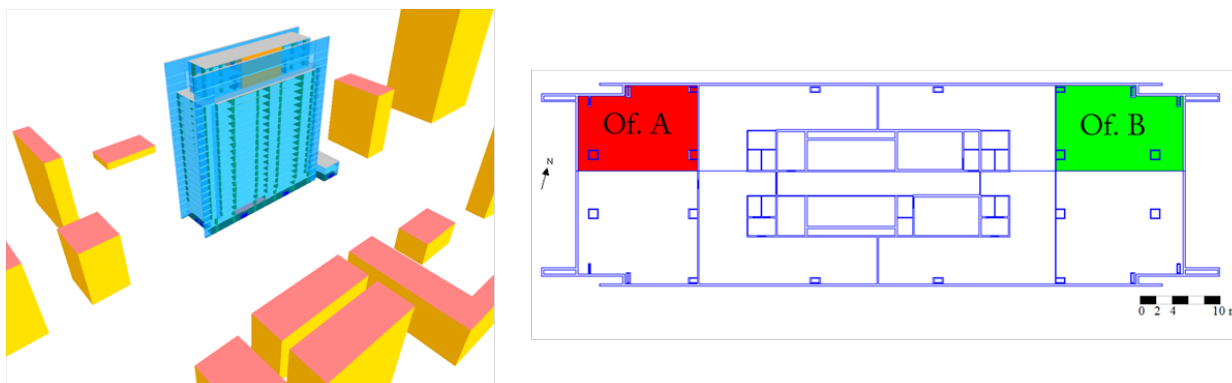


Figura 1: Ilustración de edificio LAS CONDES según software TAS (izquierda). Se puede ver los volúmenes modelados alrededor para percibir el efecto de las sombras producidas por el entorno. A la derecha se muestra la planta “tipo” del edificio con las oficinas A (noreste) y B (noroeste) destacadas para su fácil identificación.

El edificio PROVIDENCIA pertenece al segundo grupo de muestras. Sus características principales son:

- Superficie construida (sin incluir subterráneos): aproximadamente 3530 m².
- Número de pisos (sin incluir subterráneos): 9
- Elementos estructurales de concreto de 150 mm de espesor en losas y muros. Elementos divisorios de paneles livianos.
- Envoltura: combinación de muro estructural con ventanas de vidrio simple claro de 4 mm de espesor ($TS = 0,82$ y $TL = 0,9$). El piso sobre subterráneo es de concreto (150 mm) con recubrimiento de baldosa cerámica (8mm). La cubierta está compuesta por concreto (150 mm), EPS de 60mm ($0,041 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, 15 kg/m^3), una cámara de aire de 80 mm y finalmente el techo de acero galvanizado de 0,8 mm de espesor.

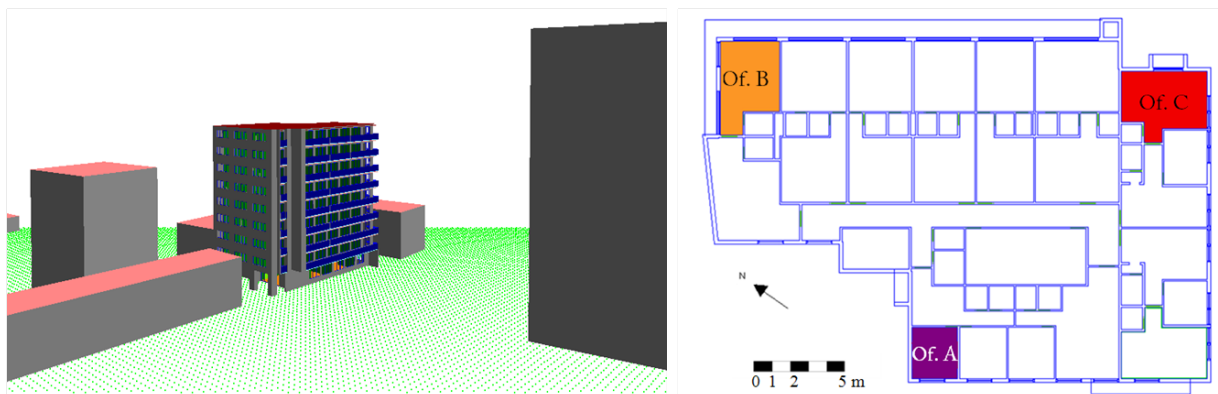


Figura 2: Ilustración de edificio PROVIDENCIA según software TAS (izquierda). Se puede ver los volúmenes modelados alrededor para percibir el efecto de las sombras producidas por el entorno. A la derecha se muestra la planta “tipo” del edificio con las oficinas A (oeste), B (norte) y C (este) destacadas para su fácil identificación.

2.2. Condiciones de Operación y Ganancias Internas.

Para ambos edificios se consideraron las mismas condiciones internas de utilización. La ganancia interna se estimó para ocupación de personas, iluminación y equipos de oficina. El horario en que se experimentan estas ganancias es de 9 a 19 horas para los recintos de oficinas. Áreas comunes como baños y salas auxiliares no fueron consideradas por no tener un horario de funcionamiento. Hall de acceso de cada uno de los edificios tiene funcionamiento las 24 horas del día, pero sólo se consideró la ganancia por iluminación.

Investigaciones anteriores han estimado la emisión de calor de las personas distinguiendo entre calor sensible y latente. En particular, el Chartered Institution of Building Services Engineers plantea que un hombre sentado con trabajo moderado emite 140 W. Normalizando este valor para una población mixta, en donde el porcentaje de mujeres es un 45% del total y la temperatura de bulbo seco es de 22 °C, un individuo promedio emite 130 W. De este valor, 84 W corresponden a calor sensible y 46 W a calor latente (CIBSE, 1999). Considerando las zonas destinadas a oficina y el tamaño de éstos recintos en los edificios estudiados, se estima para un piso “tipo” de oficinas una densidad de 0,107

personas/m², es decir, 9,3 m²/persona. Con ello se obtuvo ganancias de calor sensible y latente por ocupación de 9,0 W/m² y 5,4 W/m², respectivamente.

Se estimaron las ganancias internas correspondientes a la iluminación en 12 W/m² y para los equipos pequeños en 15 W/m². Durante los años 2000 a 2002 se llevó a cabo en el Reino Unido un estudio basado en encuesta a 30 edificios de oficinas climatizadas mecánicamente (Knight & Dunn, 2003). Los principales resultados que se obtuvieron corresponden a rangos de ganancias internas desglosadas en ocupación, iluminación y equipos pequeños. Para el caso de iluminación el rango va desde 6,2 a 33,9 W/m² con una media normalizada por densidad de personas de 12,7 W/m². Respecto a los equipos pequeños se obtuvo un rango entre 5,7 y 34 W/m² y una media normalizada de 17,5 W/m².

2.3. Ventilación e infiltración

Durante las horas de funcionamiento del edificio, entre 9 y 19 horas, se consideró la utilización de ventilación mecánica para cumplir con normas sanitarias. La American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers plantea que una persona trabajando en una oficina requiere 10 l/s (36 m³/h) de aire exterior (ASHRAE, 1999). Bajo los mismos supuestos anteriores de densidad de personas de 9,3 y considerando una altura de cada oficina de 2,7 m, se obtiene un volumen personal de aproximadamente 25,7 m³/persona. Luego, es necesaria una ventilación de 1,4 recambios de volumen por hora (ach).

Existen diversos métodos para calcular las infiltraciones de un edificio, sin embargo se requiere de datos empíricos como el área efectiva de infiltraciones o caudales de aire de viento y efecto chimenea (ASHRAE, 2009). Como no se cuenta con aquellos valores, y los resultados de las simulaciones no serán utilizados para dimensionamiento de sistemas de climatización o similares, se considera una infiltración de 0,3 ach durante las 24 horas y para todos los recintos de cada edificio.

2.4. Clima

En la Región Metropolitana se presenta un clima templado cálido con lluvias invernales. La ciudad de Santiago (33°26'16"S 70°39'01"O), capital regional y del país, se ubica a una altitud media de 570 m.s.n.m. Tiene una larga estación seca, de 7 a 8 meses. La base de datos de clima necesaria para realizar las simulaciones contempla: Radiación solar global y difusa, porcentaje de cobertura de nubes, temperatura de bulbo seco, humedad relativa, velocidad y dirección del viento. Los datos deben ser en base horaria, ya que las simulaciones que realiza el software son de carácter dinámico. La base de datos de clima empleada, International Weather for Energy Calculations (IWEC), es resultado del proyecto ASHRAE Research Project 1015. Sus datos de clima típico son apropiados para la realización de simulaciones de cálculo de energía en edificaciones (ASHRAE, 2001).

2.5. Condiciones de confort

Las condiciones de confort consideradas para este trabajo se basan en las planteadas por la ASHRAE (2001). Estas condiciones se suponen para una persona sentada con trabajo moderado, varían dependiendo de la estación del año, basándose que en verano se utiliza ropa más ligera que en invierno. Para verano se considera como confort térmico cuando la temperatura está en un rango de 23-26,5 °C y humedad relativa del ambiente de 24-65%. Para la estación invernal el rango de temperatura es de 20-23,5°C y de humedad relativa 30-70%.

2.6. Escenarios

Para cada uno de los edificios en estudio se definieron distintos escenarios. Para ambos casos el primer escenario corresponde al edificio original y a medida que se plantea un nuevo escenario se agregan técnicas constructivas o de operación que permiten mejorar el desempeño térmico del edificio.

2.6.1. Edificio LAS CONDES

Escenario 1: Edificio se supone con sus características actuales. Principalmente, muro cortina con doble vidriado hermético (DVH) selectivo Gravelber Sunergy Azur 6, de 5,85 mm de espesor, 15 mm de cámara de aire y 4 mm de vidrio claro interior. Características: TS=0,41 y TL=0,50.

Escenario 2: Edificio con características actuales más protección solar. En fachada Norte se asume alero horizontal de 1 m de profundidad en todo el ancho de la fachada, con 0,1 m de separación con el muro. En fachadas Este y Oeste se

asume protección solar en forma de celosía vertical de 0,3 m de ancho de aleta y separación de 0,1 m entre aletas en toda la altura del muro cortina, a 0,5 m de separación del muro. La inclinación de éstas depende de la fachada (E u O), pero en ambos casos se acomodaron para formar un ángulo de 60° con respecto a la dirección Sur y así evitar la radiación directa durante el período comprendido entre el 21 de Septiembre y 21 de Marzo (equinoccios) aproximadamente.

Escenario 3: Edificio de escenario 2 más ventilación nocturna. Este edificio no tiene opción de apertura de ventanas, por lo que la ventilación, tanto diurna como nocturna, debe ser mecánica. Se considera ventilación nocturna forzada desde las 22 horas del día domingo hasta las 8 horas del día viernes para el periodo considerado entre octubre y marzo, inclusive.

2.6.2. Edificio PROVIDENCIA

Escenario 1: Edificio se supone con sus características actuales. Principalmente, muro sin aislación térmica y vidrio claro simple de 4 mm de espesor.

Escenario 2: Edificio con características actuales, pero sus vidrios fueron cambiado por vidrio doble hermético (DVH) selectivo Gravelber Sunergy Azur 6, de 5,85 mm de espesor, 15 mm de cámara de aire y 4 mm de vidrio claro interior. Características: TS=0,41 y TL=0,50.

Escenario 3: Edificio de escenario 2 más protección solar. En fachada Noroeste se asume alero horizontal de 0,9 m de profundidad en todo el ancho de la ventana. En fachadas Noreste, Sureste y Suroeste se asume protección solar en forma de celosía vertical de 0,3 m de ancho de aleta y separación de 0,1 m entre aletas en toda la altura de la ventana. La inclinación de éstas depende de la fachada, pero en todos los casos se acomodaron para formar un ángulo de 60° con respecto a la dirección Sur y así evitar la radiación directa durante el período comprendido entre el 21 de Septiembre y 21 de Marzo (equinoccios) aproximadamente. Finalmente se agrega aislación térmica en muros exteriores correspondiente a EPS de 50 mm de espesor.

Escenario 4: Edificio de escenario 3 más ventilación nocturna. Se considera ventilación natural nocturna, debido a la apertura de ventanas en un 50% desde las 22 horas del día domingo hasta las 8 horas del día viernes para el periodo considerado entre octubre y marzo, inclusive.

3. RESULTADOS

Se buscó caracterizar el comportamiento de la temperatura ambiental al interior de los edificios sin ser éstos climatizados, para ello se dejó libre el termostato y se simularon 2 días. El primero corresponde a un día de verano (14 de Enero) en donde la temperatura de bulbo seco alcanza los 33 °C. El segundo día elegido corresponde al 20 de julio, día de invierno donde se tiene baja nubosidad (0,1 promedio) y temperatura máxima de 20 °C.

Por otro lado, se simularon los escenarios planteados anteriormente para ambos edificios durante todo el año y se obtuvo resultados de demandas de energía para climatización.

3.1. Variación temperatura ambiental interior en edificio LAS CONDES

Se consideró el piso 11 para las pruebas, específicamente las oficinas A y B, que se orientan al Noroeste y Noreste, respectivamente.

Los resultados indican que la inercia térmica del edificio es elevada, en verano no se logra bajar la temperatura al interior de las oficinas durante la noche. Las temperaturas interiores, para un día de calor en verano, pueden llegar a los 40 °C e incluso sobrepasar esta temperatura, alcanzando los 44 °C en las oficinas al poniente al final de la jornada (en línea con la últimas horas de sol) (Fig. 3).

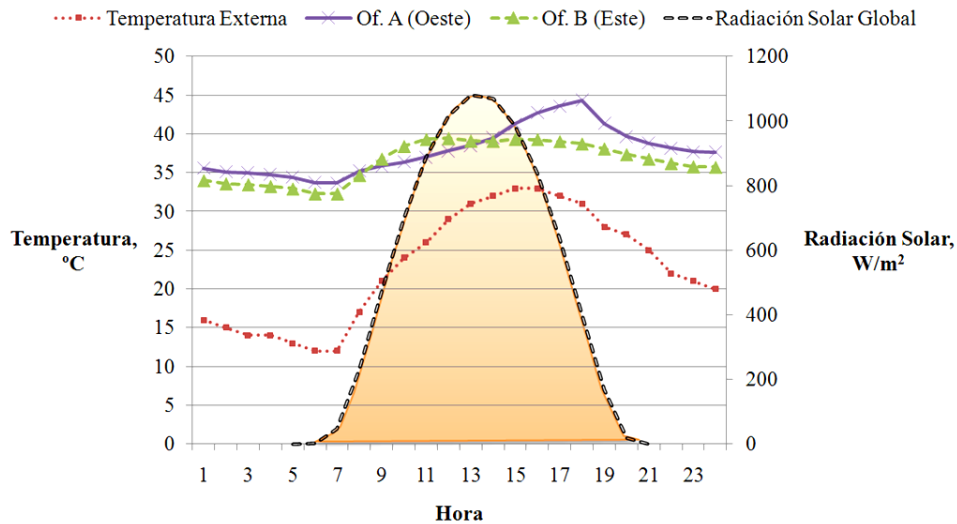


Figura 3: Variación de temperatura interior de bulbo seco en oficinas A y B de edificio LAS CONDES para el día 14 de enero. Se grafica también la radiación solar global del día.

Incluso en invierno, cuando la temperatura exterior alcanza los 20 °C y se tiene alta radiación solar directa, ocurre sobrecalentamiento, como es el caso del 20 de Julio, llegando a 30 °C en el interior de las oficinas. Las temperaturas comienzan a elevarse cuando comienza la jornada laboral (debido a las ganancias internas) y aumenta con el aporte de energía por ganancia solar (Fig. 4).

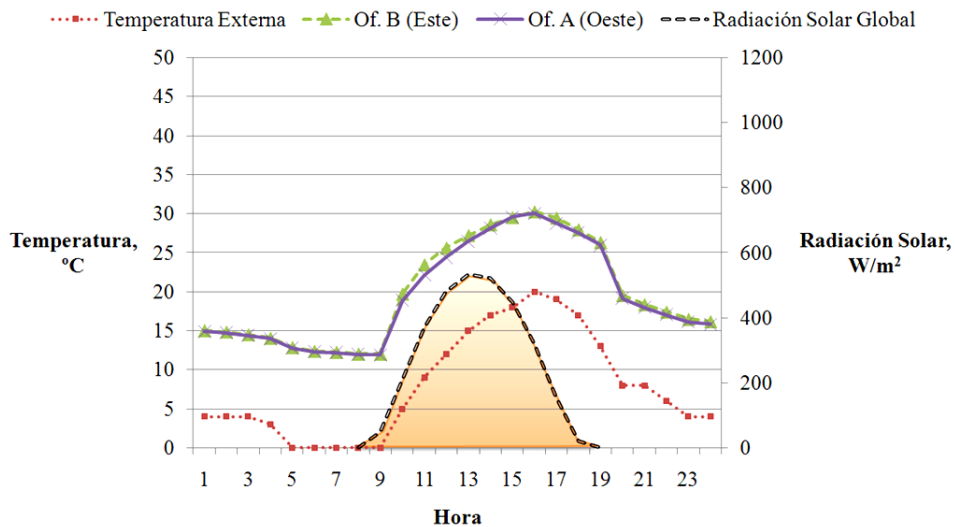


Figura 4: Variación de temperatura interior de bulbo seco en oficinas A y B de edificio LAS CONDES para el día 20 de julio. Se grafica también la radiación solar global del día.

3.2. Variación temperatura ambiental interior en edificio PROVIDENCIA

Se consideró el piso 5 para las pruebas, específicamente las oficinas A, B y C, que se orientan al Oeste, Norte y Este, respectivamente.

Para el día 14 de enero se observa que el comportamiento de la temperatura interior de las oficinas no depende mucho de la orientación en la que se encuentra. Se produce sobrecalentamiento principalmente en la segunda mitad del día, alcanzando los 35 °C, como se observa en la Fig. 5.

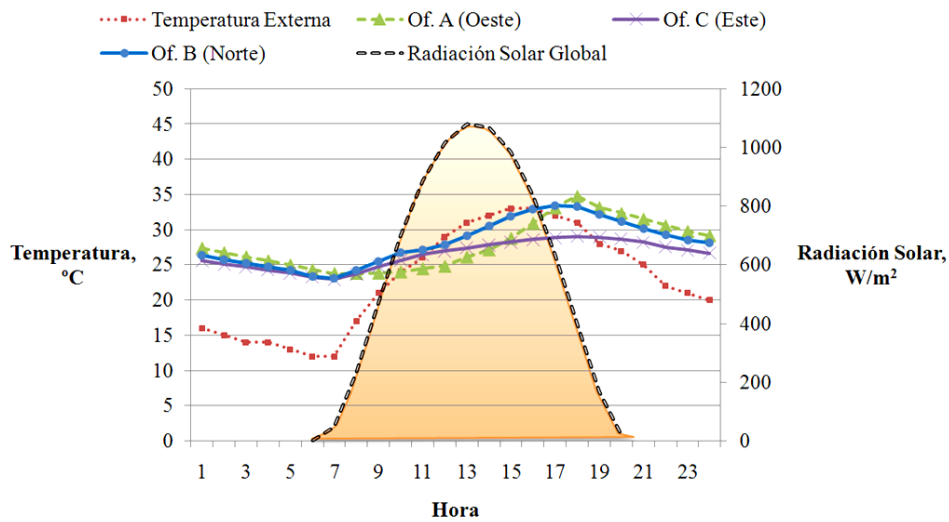


Figura 5: Variación de temperatura interior de bulbo seco en oficinas A, B y C de edificio PROVIDENCIA para el día 14 de enero. Se grafica también la radiación solar global del día.

Para un día de invierno con temperatura exterior de 20 °C y alta radiación solar directa, al igual que en el edificio LAS CONDES, la temperatura de las oficinas comienza a aumentar en cuanto comienza la jornada laboral, luego se agrega el efecto de la ganancia solar. Las oficinas de oriente y poniente se mantienen bajo las temperaturas de las condiciones de confort térmico mencionadas anteriormente, por lo que los ocupantes del edificio sentirían frío. Al contrario, en la oficina orientada al norte se alcanzan temperaturas de 28 °C, superando la temperatura límite de confort para invierno, generando sensación de calor en los ocupantes (Fig. 6).

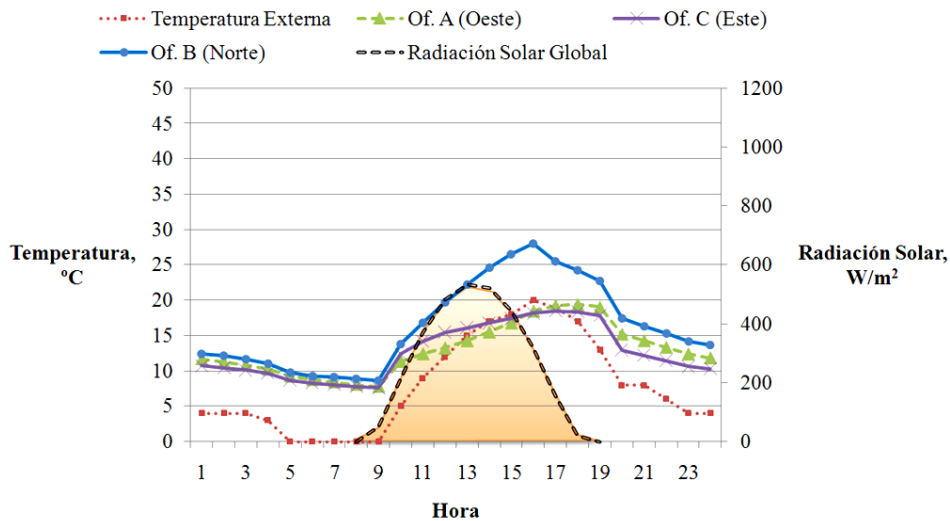


Figura 6: Variación de temperatura interior de bulbo seco en oficinas A, B y C de edificio PROVIDENCIA para el día 20 de julio. Se grafica también la radiación solar global del día.

3.3. Demanda energía edificio LAS CONDES

Debido a que el 100% de la envolvente del edificio es vidriada, la ganancia solar es muy importante y se ve reflejada en la alta demanda de energía al año para refrigeración. Si el muro cortina no contara con vidrio selectivo los resultados serían más extremos. Contrariamente, en invierno la energía necesaria para calefacción es muy baja, también producto de la ganancia solar.

Como es de esperarse, al instalar protección solar en las fachadas norte, este y oeste, la ganancia solar disminuye considerablemente esto causa un impacto positivo en verano, disminución en más de 10 kWh/m²·año, pero un efecto negativo en invierno (aumento de demanda de calefacción). Sin embargo, el resultado global (calefacción + refrigeración) es positivo, ya que el ahorro en verano es muy superior al gasto adicional en invierno.

Si además de la protección solar se agrega ventilación nocturna (10 pm a 8am) durante los meses de refrigeración (octubre a marzo) se obtiene un ahorro de energía para climatizar en verano sin perjudicar el gasto de energía para calefaccionar en invierno. Ver Tab. 1.

Tabla 1: Resultado de la simulación de los distintos escenarios para edificio LAS CONDES. Se muestran los valores de energía en kWh/m² para todo el año, separado entre calefacción y refrigeración. Además del total (suma de ambos).

Demanda Energía LAS CONDES	Calefacción (variación respecto a caso base)	Refrigeración (variación respecto a caso base)	Calefacción + Refrigeración (variación respecto a caso base)
	kWh/m ² ·año	kWh/m ² ·año	kWh/m ² ·año
Escenario 1: Edificio actual (caso base).	1,2	60,1	61,3
Escenario 2: Edificio actual con protección solar en fachadas N, E y O.	1,5 (+25%)	49 (-18,9%)	50,5 (-17,6%)
Escenario 3: Protección solar (N, E y O) y ventilación nocturna.	1,5 (+25%)	45,5 (-24,3%)	47,0 (-23,3%)

3.4. Demanda energía edificio PROVIDENCIA

Para este edificio, a diferencia del edificio LAS CONDES, la energía para refrigeración está en el mismo orden de magnitud que la calefacción, sin embargo sus valores siguen siendo elevados.

Al aplicar DVH selectivo en todas las ventanas se obtiene un ahorro importante tanto en verano como invierno, sin embargo la energía total de climatización sigue estando sobre los 30 kWh/m²·año.

Para el escenario 3, en donde se agrega protección solar y aislación en muros exteriores se obtiene un doble efecto que neutraliza el resultado global. Por un lado, la protección solar disminuye la demanda en verano pero la aumenta en invierno (no es cuantificable en este estudio pues no se consideró un escenario sólo con protección solar). Por otra parte, la aislación de muros aumenta la inercia térmica en el edificio. Esto tiene un impacto negativo en verano, aumentando la demanda respecto al escenario 2, pero en invierno el efecto es positivo, logrando ahorros de casi 75% con respecto al caso base.

Para superar el efecto negativo causado por la aislación de muros durante la época de refrigeración, se aplicó ventilación natural nocturna. Se puede ver en la Tab. 2 que en el escenario 4 es el más favorable de todos, aunque la ventilación nocturna aumenta la demanda en invierno, en verano su disminución es mayor, causando una reducción total de la demanda de energía de climatización del edificio en un 50% anual.

Tabla 2: Resultado de la simulación de los distintos escenarios para edificio PROVIDENCIA. Se muestran los valores de energía en kWh/m² para todo el año, separado entre calefacción y refrigeración. Además del total (suma de ambos).

Demanda Energía PROVIDENCIA	Calefacción (variación respecto a caso base)	Refrigeración (variación respecto a caso base)	Calefacción + Refrigeración (variación respecto a caso base)
	kWh/m ² ·año	kWh/m ² ·año	kWh/m ² ·año
Escenario 1: Edificio actual (caso base).	13,6	23,3	36,9
Escenario 2: Edificio actual con vidrio DVH selectivo.	10 (-26,5%)	20,9 (-10,3%)	30,9 (-16,3%)
Escenario 3: DVH selectivo, protección solar y muros exteriores con aislación.	3,5 (-74,3%)	22,1 (-5,2%)	25,6 (-30,6%)
Escenario 4: DVH selectivo, protección solar, muros exteriores con aislación y ventilación natural nocturna.	4,4 (-67,6%)	13,8 (-40,8%)	18,2 (-50,7%)

4. CONCLUSIONES

Se han estudiado dos edificios en Santiago de Chile que presentan distintos patrones de diseño. El primer edificio, llamado LAS CONDES, presenta envolvente 100% vidriada (muro cortina) de doble vidriado hermético selectivo y 22

pisos de altura. El segundo edificio, PROVIDENCIA, presenta fachada combinada entre opaca y vidriada, con 9 pisos de altura.

Ambos edificios requieren más energía para refrigerar (en verano) que para calefaccionar (en invierno). Sin embargo, el comportamiento térmico de ambos presenta diferencias significativas. El edificio con muro cortina (LAS CONDES) requiere más de 2,5 veces la energía que demanda el edificio de fachada combinada (PROVIDENCIA) para refrigeración. Esto es debido que, al tener 100% de fachada vidriada, la ganancia solar es muy relevante. Sin embargo, su comportamiento en invierno es mejor que el del edificio de fachada mixta, gracias a la ganancia solar e interna y a que posee doble vidriado hermético.

El fenómeno de sobrecalentamiento se da en ambos edificios durante el verano, pero el edificio LAS CONDES también presenta problemas durante algunos días de invierno en que la temperatura exterior alcanza los 20 °C y hay baja nubosidad (0,1). Es necesario en tanto aplicar técnicas para mejorar el comportamiento térmico de ambos edificios.

Si se considera cambiar las ventanas del edificio PROVIDENCIA de vidrio simple a DVH selectivo, se observan leves disminuciones en las demandas de energía tanto en verano (de 23,3 a 20,9 kWh/m²·año) como en invierno (de 13,6 a 10 kWh/m²·año). Obteniendo un mejor comportamiento que antes, pero sin llegar a ser de alto nivel.

Al aplicar protección solar al edificio con fachada 100% vidriada se obtienen reducciones de demanda de refrigeración de 60 a 49 kWh/m²·año, pero aumenta levemente la demanda de calefacción de 1,2 a 1,5 kWh/m²·año. La recomendación de aplicar protección solar parece ser efectiva pero se contrapone con la idea de tener un diseño con alta transparencia en su envolvente. En el edificio con fachada combinada la protección solar es aplicada en combinación con aislación de muros exteriores. El efecto que se obtiene en verano es peor que sólo con DHV selectivo, pues se incrementa la inercia térmica del edificio. Sin embargo, el comportamiento en invierno es mejorado considerablemente, llegando a ser de alto nivel al requerir sólo 3,5 kWh/m²·año para calefacción.

Luego, además de las modificaciones aplicadas anteriormente se implementa ventilación nocturna de 8 volúmenes por hora desde las 10 pm a las 8 am de domingo a viernes en el período de refrigeración (octubre a marzo). El edificio de fachada 100% vidriada muestra una disminución en la demanda para refrigeración de 24% con respecto a la configuración original, sin presentar modificaciones durante la época de invierno. El edificio PROVIDENCIA muestra un leve aumento en la energía de calefacción, principalmente por las fechas de transición de estaciones (invierno-primavera, verano otoño) en donde se ventila en la noche y es necesario calefaccionar para alcanzar condiciones de confort. Los resultados obtenidos para este edificio en verano son significativos. Se llega a un consumo de casi 14 kWh/m²·año para refrigeración, lo que corresponde a menos del 60% de la demanda original.

El mejor desempeño térmico de los edificios estudiados en este trabajo se obtiene con doble vidriado hermético selectivo, protección solar en fachadas norte, este y oeste, aislación de muros exteriores para fachada opaca y ventilación nocturna durante los meses de refrigeración.

En conclusión, el edificio de fachada combinada puede mejorar su desempeño térmico al aplicar las técnicas plantadas en este trabajo, llegando a demandar menos del 50% de la energía total anual para climatización (calefacción + refrigeración) respecto al edificio original (sin modificar). Para el caso del edificio de fachada vidriada, las técnicas planteadas no son suficientes para llegar a un valor aceptable de demanda de energía. Si bien se obtiene un ahorro global en climatización anual del 23%, no se alcanza si quiera a consumir menos que el edificio PROVIDENCIA en su estado original.

Agradecimientos

Este trabajo se realiza en el marco del proyecto FONDECYT N° 1090602. El autor Alan Pino Araya es becario CONICYT.

REFERENCIAS

- ASHRAE. (2001). *ASHRAE Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.* Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. (2009). *ASHRAE Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.* Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. (2009). *ASHRAE Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.* Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. (1999). *ASHRAE Standard 62 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.* Atlanta: ASHRAE.

- ASHRAE. (1999). ASHRAE Standard 62. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. (2001). International Weather for Energy Calculations (IWEC Weather Files) Users Manual and CD-ROM. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta: ASHRAE.
- CIBSE. (1999). Environmental design. Chartered Institution of Building Services Engineers. *CIBSE Guide A* .
- INE. (2007). Anuario de Edificación 2007. Instituto Nacional de Estadísticas . Santiago, Chile.
- Knight, I., & Dunn, G. (2003). Evaluation of Heat Gains in UK Office Environments. *Proceedings of CIBSE / ASHRAE Conference*. Edinburgh, 24-26 September 2003.
- Kolokotroni, Giannitsaris, I., & Watkins, R. (2006). The effect of London urban heat island summer cooling demand and night ventilation strategies. *Solar Energy*, vol. 80 , 383-392.

THERMAL BEHAVIOR ANALYSIS OF OFFICE BUILDINGS LOCATED IN THE METROPOLITAN ZONE OF CHILE

Abstract: Nowadays is common to require more energy for cooling an environment than the necessary for heating it, especially inside office buildings. There are no legal regulations about thermal performance of buildings in Chile, and the available information corresponding to different Chilean climates is limited. This paper shows the performance of two representative buildings constructed in Santiago within 5 years. One building has a concrete façade with almost 30% of its enveloping surfaces glazed, the other one has a radiation selective double-glazed curtain wall in all its façade. Based in computer simulated results, it can be inferred that both buildings present overheating during summer and, during certain winter days the fully glazed building also presents this phenomena. In addition, energy consumption for heating and cooling can be estimated in order to keep thermal comfort condition inside the buildings. Solar protection in Santiago may be an effective measure to decrease cooling demands due to solar radiation because of the rarely presence of cloud cover in summer. In Santiago, during summer, the thermal oscillation between day and night is important, so nocturnal ventilation may help to release the heat stored inside during the day. If different strategies like solar protection, double glazing, thermal insulation in exterior walls and nocturnal ventilation are combined, energy requirements for cooling can be decreased up to 50% and about 68% for heating compared with actual energy demands.

Keywords: Thermal Simulation, Office Buildings, Nocturnal Ventilation, Solar Protection