

TÍTULO

**ANÁLISIS DE DESEMPEÑO TÉRMICO Y LUMÍNICO
EN EDIFICIOS DE OFICINA A PARTIR DE MONITOREO EXPERIMENTAL**

AUTORA

Rafaela Behrens Pellegrino

Esta edición electrónica ha sido realizada en 2013

Director	Waldo Bustamante Gómez
Curso	Máster Propio en Energías Renovables: Arquitectura y Urbanismo (XII)
ISBN	978-84-7993-940-3
©	Rafaela Behrens Pellegrino
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	Septiembre, 2012



Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).

- **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
- **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
- *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
- *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*

Análisis de desempeño térmico y lumínico en
edificios de oficina a partir de monitoreo experimental

Alumna: Rafaela Behrens Pellegrino

Tutor y Director de Tesis: Waldo Bustamante Gómez

Septiembre, 2012

Índice	Páginas
Introducción	03
El problema	06
Hipótesis	08
Objetivos generales.....	09
Objetivos específicos.....	09
Metodología	10
Clima y Confort Higrotérmico	11
Luz y confort lumínico	22
La envolvente vidriada	29
Descripción de Edificio	37
Resultados del Monitoreo	54
Propuestas de mejoramiento.....	107
Conclusiones	118
Bibliografía	123

Introducción

Las componentes más significativas de la envolvente de los edificios que afectan directamente al confort y la energía por unidad de área, son las ventanas, porque:

La transparencia del vidrio permite que la radiación solar atraviese las ventanas proporcionando luz natural y ganancia de calor al espacio, además de posibilitar vistas exteriores otorgando bien estar, salud y productividad a los ocupantes.

La luz natural contribuye a reducir el consumo de electricidad para iluminación y su refrigeración asociado al uso de la energía.

El correcto diseño de las componentes vidriadas de la envolvente, permite un control en la utilización de la luz natural y ganancia solar, factores cruciales para el desempeño de los edificios, ya que, el consumo de energía por iluminación y refrigeración asociado es entre el 30 y 40% del total del consumo de energía del edificio. En caso contrario, donde no se tiene un control de la luz natural y ganancia solar, pueden existir un impacto negativo sobre el consumo de la energía del edificio, ya que, la energía para refrigeración es proporcional a las ganancias solares, es por eso como altas ganancias solares requieren altos consumo de energía para refrigeración.

En los últimos años, las altas demandas de energía por refrigeración y el confort térmico se han transformado en un problema en los edificios de fachada vidriada.



*Imagen 1: centro de oficinas Nueva las Condes, Santiago de Chile.
Fuente: Elaboración propia 2012.*

En Santiago de Chile, debido a las condiciones climáticas, los edificios de oficinas, demandan mayor energía para enfriamiento que para calefacción. Esto se vuelve más importante al considerar que los edificios construidos en los últimos años son mayoritariamente de fachadas totalmente vidriadas, donde las ganancias solares son elevadas, produciendo sobrecalentamiento, incluso en invierno, y el exceso de luz produce deslumbramiento, problemas comunes en este tipo de edificio.

En algunos edificios se están utilizando protecciones solares o vidrios selectivos. Pero las protecciones solares no solo impactan al consumo de energía del edificio sino también a la luz natural del interior del edificio, que trae como consecuencia un mayor consumo de energía eléctrica para iluminación y una disminución del confort visual de los ocupantes.

La ganancia solar y la luz natural que atraviesa por las ventanas hacia el interior del edificio son un problema crítico en el desempeño de los edificios, que afecta directamente el confort visual y térmico de los ocupantes. Gran parte de los edificios de Chile tienen deficiente desempeño energético tanto en ganancia solar como en luz natural, producto de alta radiación solar incidente sobre las fachadas vidriadas en la época de primavera, verano y otoño. La utilización de protecciones solares sobre las fachadas de los edificios, pueden contribuir a minimizar este problema, sin embargo, las propiedades ópticas y térmicas de la mayoría de las protecciones solares que son utilizadas en Chile son desconocidas y su impacto en el consumo energético del edificio y el confort visual no han sido evaluados. Esta

situación se debe principalmente porque los diseños arquitectónicos de los edificios están más enfocados en la estética, estructura y costos de construcción que en el desempeño energético del edificio. Además, esta condición se relaciona con el bajo nivel de conocimientos y habilidades de los diseñadores para realizar simulaciones de energía en las primeras etapas del diseño.

Las fachadas son sistemas complejos, su rendimiento térmico y la iluminación se pueden predecir con algunas herramientas de simulación, pero también es posible tener base de sistemas probados que puedan asegurar un resultado más preciso respecto a la transmitancia solar y la iluminación para mejorar el proceso de diseño.

Por lo general las protecciones solares tienen un buen comportamiento, pero no existe la suficiente información para seleccionar el sistema más apropiado. En la actualidad no se dispone de una herramienta validada para asegurar un diseño adecuado.

La influencia de las protecciones solares en el rendimiento energético de los edificios y el confort visual de los ocupantes puede ser evaluado mediante prototipo y simulaciones. Los prototipos demandan mucho tiempo y dinero, por eso lo más utilizado para hacer evaluaciones es la simulación con BES (Building Energy simulaciones) y otros software para iluminación natural.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo evaluar el desempeño ambiental de los diferentes tipos de envolventes en los edificios de oficinas de Chile para establecer una serie de estrategias de

mejoramiento, tanto en el confort como en el desempeño energético a través de simulaciones.

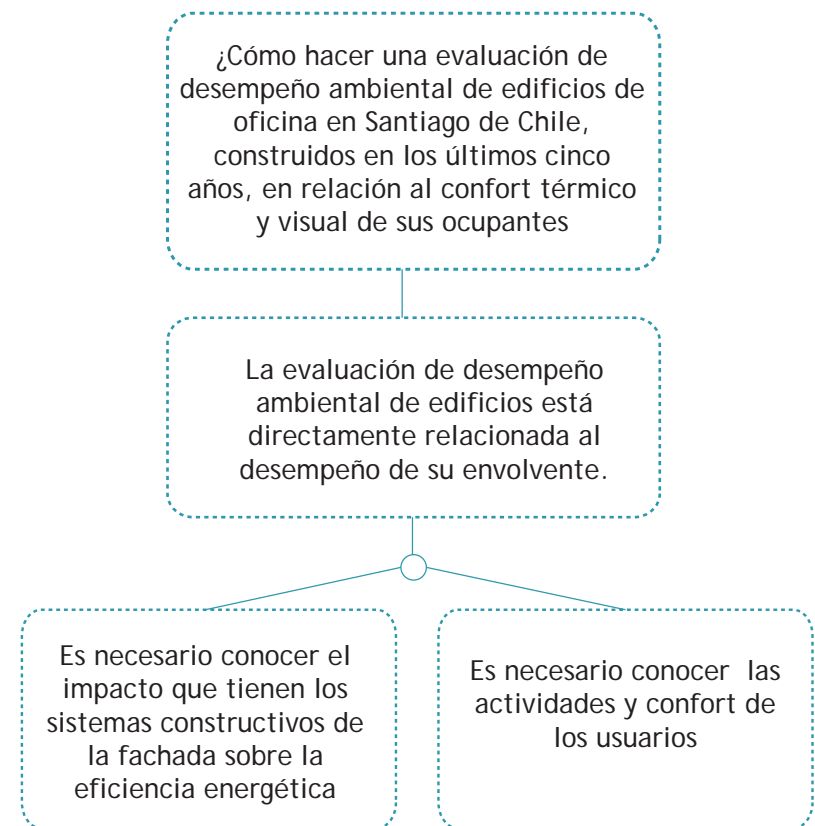


Figura 1: Resumen conceptual de la hipótesis
Fuente: Elaboración propia



El problema

En el país se construyen aproximadamente 4,18 millones de metros cuadrados anuales en edificios del sector Industria, Comercio y Establecimientos Financieros (entre los que están los edificios de oficinas). De estos edificios, aproximadamente el 30% se construye en la Región Metropolitana¹. En Chile no existe un marco regulatorio que tienda a restringir el uso de energía para acondicionamiento térmico en edificios de oficina ni en otro tipo de edificios públicos, tales como edificios educacionales, hospitales, clínicas, edificios de comercio y similares.

El diseño y construcción de edificios de oficina en el país se realiza normalmente en base a modelos o patrones traídos de otros países, aun cuando éstos presenten climas totalmente diferentes a los que existen en Chile y particularmente en su Región Metropolitana, donde se encuentra la ciudad de Santiago. La figura de la izquierda muestra diversos edificios de oficina localizados en distintas comunas de la ciudad.

Aun cuando, ciertas estrategias arquitectónicas usadas en países desarrollados, tales como la doble piel y el uso de fachadas completamente vidriadas han sido cuestionadas desde el punto de vista de su desempeño energético, éstas siguen usándose en el país. A pesar de los problemas de sobrecalentamiento observado en edificios

¹ Instituto Nacional de Estadísticas. Anuario de Edificación 2004. (2004). Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago.

de oficina de Europa Central^{2,3,4}, por ejemplo, con fachadas totalmente vidriadas, éste tipo de sistemas se utilizan en Chile actualmente sin preocupación alguna sobre los efectos en los consumos de energía y en el confort de sus usuarios.

El impacto de usar ciertas estrategias de diseño arquitectónico y su efecto en las demandas de energía en los edificios de oficina ha sido ampliamente analizado en diversos países. En un edificio de la ciudad de Londres, en que se aplica una efectiva protección solar, se optimiza el tamaño de ventanas, se minimizan las ganancias internas sin afectar el confort lumínico y se supone 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 sea significativamente menor respecto de idéntica demanda suponiendo el edificio sin la aplicación de las indicadas estrategias. El estudio concluye que la protección solar, el uso adecuado de tamaño de ventanas y la disminución de las ganancias internas son importantes para lograr un buen desempeño energético en el edificio. Con ello la demanda de enfriamiento se reduce en un 23% para una semana de temperaturas moderadas y en un 40% durante una semana de temperaturas extremas (más altas), en comparación con idénticas demandas del mismo edificio sin uso de las estrategias indicadas (sin considerar la ventilación nocturna). Al agregar la

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.

ventilación nocturna se produce una reducción adicional de un 13% en ambos tipos de semanas⁵.

En Santiago de Chile, un estudio realizado en dos edificios estadísticamente representativos del parque de edificios de oficina construidos en los últimos años, se observa que la demanda de energía de enfriamiento es un edificio con fachada parcialmente opaca equivale a un tercio de un edificio con fachada totalmente vidriada. Este último tipo de edificio no logra un desempeño adecuado en cuanto a sus demandas de energía, aun usando protección solar en las fachadas norte, oriente y poniente. Un desempeño significativamente más eficiente se logra en el edificio con fachada parcialmente opaca, si en él se supone protección solar en las fachadas expuestas a radiación solar directa (norte, este y oeste). Cabe señalar que en los edificios de oficina en Santiago de Chile, en general, las demandas de energía de enfriamiento (aire acondicionado) son muy superiores a las demandas de energía de calefacción^{6,7}.

Dado los problemas indicados de sobrecalentamiento en edificios de oficina en Santiago de Chile, se hace necesario estudiar en profundidad en desempeño de este tipo de edificios en esta ciudad. El objetivo principal de esta tesis es cuantificar el comportamiento de edificios

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 Bustamante W., F. Encinas y A. De Herde (2011). Análisis de comportamiento térmico de edificios de oficinas en comunas de la Región Metropolitana, Chile. *Revista de la Construcción* 10: 64-77.

7 Pino A., W. Bustamante, R. Escobar y F. Encinas (2012). Thermal and lighting behavior of office buildings in Santiago of Chile. *Energy and Buildings*. 47: 441-449.

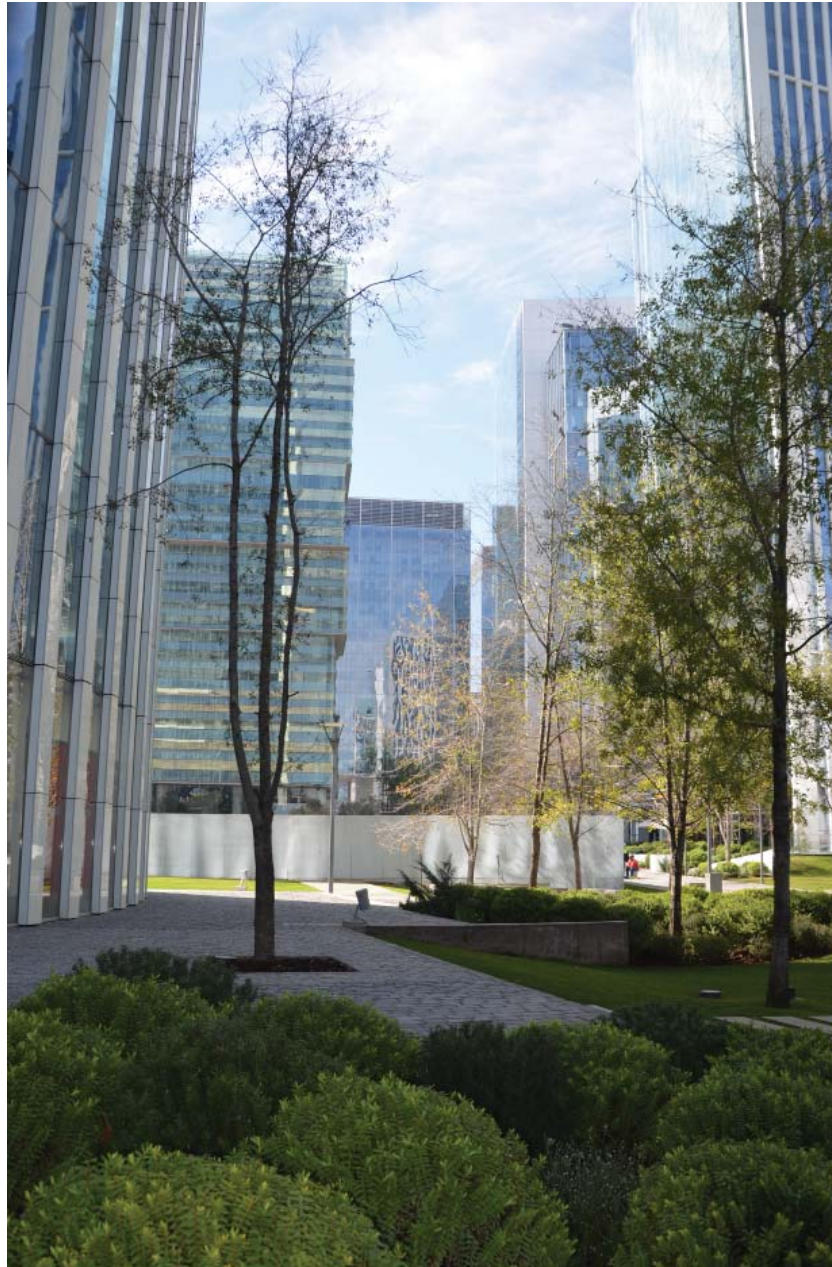


Imagen 3: centro de oficinas Nueva las Condes, Santiago de Chile.
Fuente: Elaboración propia 2012.

de oficina en Santiago, por la vía de mediciones in situ de diversas variables que influyen es este desempeño. Para ello se desarrolla un protocolo de mediciones que permitan recoger información de variables como temperatura interior, temperatura superficial en fachadas, transmisión lumínica y transmisión solar. Para ello se seleccionaron edificios que cuentan con diferentes tipos de fachadas. Los tipos de fachadas consideradas son: totalmente transparentes sin protección solar. Fachadas totalmente vidriadas con protección solar, fachadas parcialmente vidriadas que cuentan con una superficie opaca y sin protección solar exterior.

La pregunta

¿Cómo hacer una evaluación de desempeño ambiental, a través de monitoreo experimental, en los edificios de oficina en Santiago de Chile, construidos en los últimos cinco años, en relación al confort térmico y visual de sus ocupantes?

Hipótesis

La evaluación de desempeño ambiental de edificios está directamente relacionada al desempeño de su envolvente, por lo cual, es importante conocer el impacto que tienen los sistemas constructivos en la fachada (tipo de Acristalamiento + protecciones solares, complejo constructivo de los muros, etc) sobre la eficiencia energética (demanda de energía, refrigeración, temperatura en el interior, etc). Además de las actividades y confort de los usuarios.

Objetivos Generales

- o Evaluar el desempeño térmico y lumínico de los distintos sistemas constructivos de envolvente en los edificios de oficina de Santiago de Chile.
- o Proponer una serie de estrategias que mejoren el confort de las oficinas en estudio.

Objetivos Específicos

- o Conocer los diferentes protocolos y normas internacionales de monitoreo ambiental.
- o Realizar, según una lista de parámetros, la selección de los edificios de oficina más representativos construidos en los últimos 5 años para luego ser evaluados.
- o Establecer de parámetros para evaluar las ganancias solares y la luz natural que se transmite a través de los diferentes sistemas de penetración en los edificios de oficinas seleccionados.
- o Obtener mediciones “in situ” de la irradiancia solar/iluminancia ganada por la diferente fachada
- o Obtener mediciones “in situ” de temperatura y humedad relativa
- o Proponer sistemas de envolvente adecuados para la fachada de clima mediterráneo (Santiago) de Chile a través de simulaciones.

Metodología general

Se propone una metodología que integra el análisis de confort térmico y lumínico para el diseño de edificios de oficina en relación a las variables climáticas de la ciudad de Santiago.

Para ello, se evaluará mediante monitoreo experimental el desempeño térmico y lumínico de diferentes edificios construidos en los últimos cinco años en la ciudad de Santiago.

Para la elección de los casos, se realizará un procedimiento estadístico que parte de un conjunto de datos de los edificios construidos en los últimos cinco años organizados en grupos relativamente homogéneos. Con ellos se determinará las tipologías de edificios más representativos del parque existente en la Región Metropolitana, para luego ser monitoreados.

Luego del análisis de resultados, mediante simulaciones, se entregarán una serie de estrategias que ayuden al desempeño térmico de los edificios que en el monitoreo salieron deficientes.

Objetivos Generales

Objetivos Específicos

Metodología

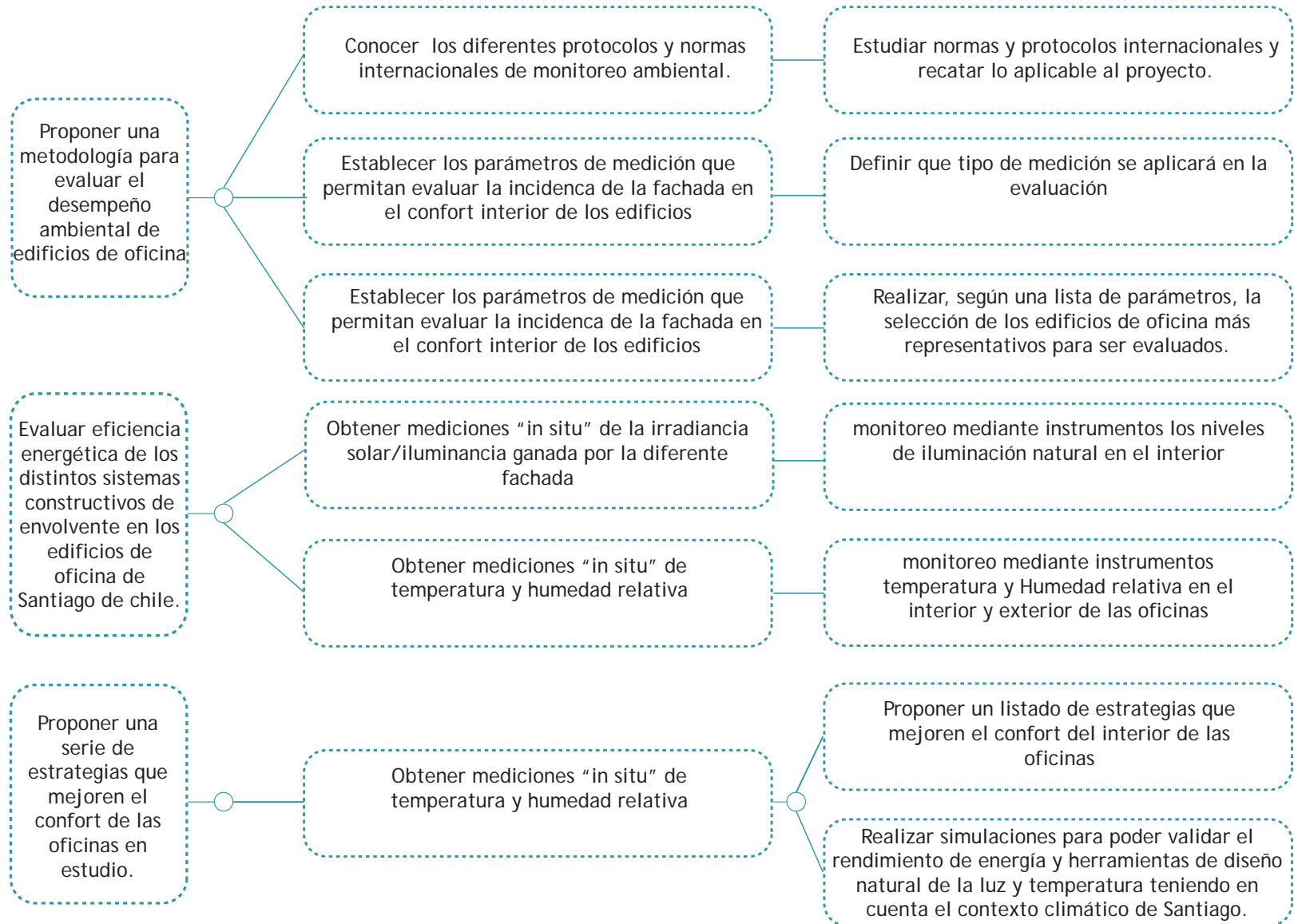


Figura 2: Resumen de la Metodología.
Fuente: Elaboración propia 2012.

El clima

El clima se define por un conjunto de condiciones meteorológicas que se representa por las siguientes variables atmosféricas o también conocidas como parámetros fundamentales: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, precipitaciones, radiación solar.

El clima de una localidad está relacionado al comportamiento de las variables atmosféricas en un periodo de tiempo prolongado de varios años. Además, se identifica, no sólo por sus valores promedios, sino que también por variaciones diarias y estacionales.

El clima de una localidad es influenciado directamente, por el Sol, (por la altura y el ángulo solar), las condiciones físicas de la topografía de lugar (montañas, océano, vegetación, etc).

El clima de una cierta región afecta directamente la forma en que desarrolla toda actividad humana. Particularmente, los factores que lo determinan debieran condicionar el diseño arquitectónico y la selección de las soluciones de construcción de un cierto proyecto. De hecho, un determinado clima incide directamente en las solicitudes climáticas de la envolvente de los edificios y debiera implicar un cuidadoso estudio del ordenamiento de los diferentes espacios de su interior de acuerdo al uso que se dará a estos⁸.

8 Bustamante, W., & Rozas, Y. (2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. (1 ed.). Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (minvu) y Programa País de Eficiencia Energética (cne).

A continuación se describen los parámetros fundamentales que definen un clima y tienen directa relación con la arquitectura.

Temperatura:

La temperatura de aire está depende principalmente por la radiación solar que acumula en el suelo y vuelve al aire en el rango de infrarrojos emitida desde la superficie. La existencia de partículas en suspensión como vapor de agua u otras partículas favorece una mayor temperatura y por el contrario, en un aire muy limpio y seco, la radiación desde el suelo afecta en menor medida la temperatura del aire. Al mismo tiempo, los vientos disipan el calor re-irradiado desde el suelo u otros aportes locales en mayor o menor medida según su velocidad. "Cada 0.3 m/s de velocidad del aire viene a equivaler al descenso de 1°C en la sensación térmica de la persona sometida a esta corriente de aire"⁹

Al aumentar la latitud, la atmósfera contiene menos partículas en suspensión, con lo que se reduce la influencia de la radiación solar en la temperatura. En general, se puede decir que en la atmósfera se produce una reducción de 0.5°C por cada 100 m de ascenso para aire saturado hasta 1°C para aire seco¹⁰.

9 Serra, R. (2004). Arquitectura y Climas. (4 ed.). Barcelona: Gustavo Gil.

10 Dálencón, R. (2008). Acondicionamientos, Arquitectura y Técnica. (1 ed., Vol. 2). Santiago: Editorial ARQ

Humedad:

El aire atmosférico contiene una cantidad de vapor de agua, que varía fundamentalmente en función de la altura y de la temperatura. El aire a mayor temperatura tiene una mayor capacidad de contener vapor de agua, lo que da lugar al concepto de humedad relativa, que se define como la relación expresada en porcentaje entre la cantidad de vapor de agua contenida en el aire a cierta temperatura y la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener el aire a esa misma temperatura ¹¹.

Radiación Solar

Las estaciones del año se diferencian entre sí, por el ángulo que la tierra presenta a la incidencia de la radiación solar, por la inclinación de 23°27' que hay entre el eje de rotación de la tierra y una perpendicular al plano de traslación. Esto produce una diferencia en la cantidad de energía que efectivamente alcanza la superficie de la tierra.

La cantidad de energía disponible en función de la irradiación solar que se puede cuantificar en W/m^2 y depende del ángulo de incidencia del sol sobre la superficie de la tierra: $1.36 W/m^2$ para 90° , $962 W/m^2$ para $45^\circ C$ y $0 W/m^2$ para 0° ¹².

11 Dálencón, R. (2008). Acondicionamientos, Arquitectura y Técnica. (1 ed., Vol.

2). Santiago: Editorial ARQ

12 Idem.

Viento

Los vientos se generan a partir de diferencias de presión en la atmósfera causadas por diversos factores climáticos, en particular por el calentamiento diferenciado de las masas de aire, normalmente mayor sobre la tierra que sobre el mar. El aire en las latitudes entre los trópicos se calienta y sube a las capas superiores de la atmósfera y es reemplazado por el aire frío que proviene de los polos.

Los parámetros del viento que se cuantifican son su velocidad y dirección. Normalmente representada en una gráfica, llamada rosa de los vientos. (Ver gráfico 1.4)

Precipitaciones

Las precipitaciones se forman por aumento de humedad en suspensión hasta el punto de caer por gravedad, se producen por la convección de masas de aire, causada por las barreras geográficas, y su carga de humedad.

La unidad base es: litro por metro cuadrado (l/m^2), normalmente expresado en mm, ya que un litro de precipitación sobre una superficie de $1 m^2$ alcanza una altura de 1 mm.

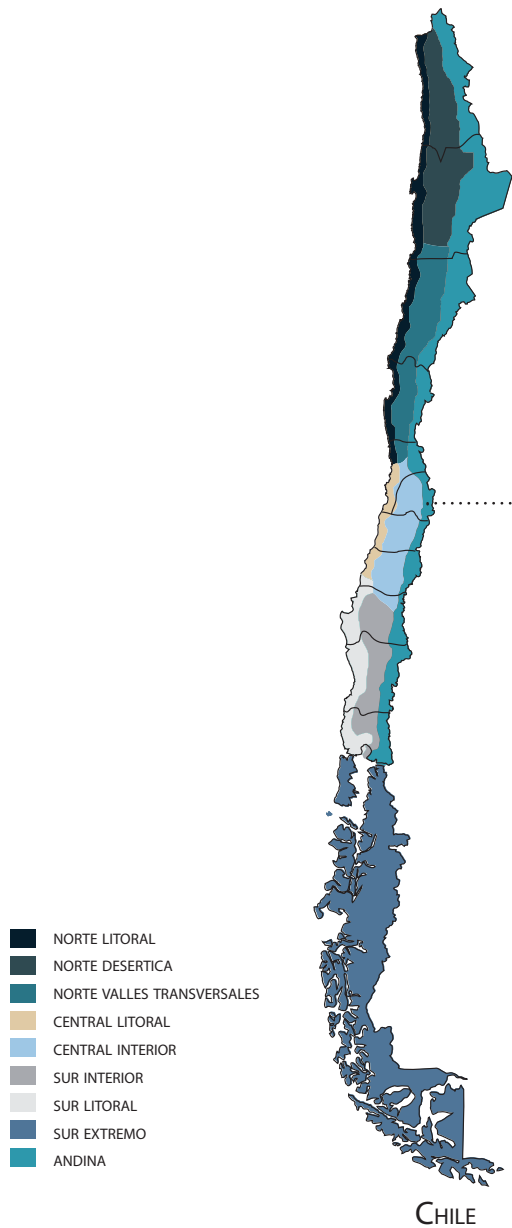
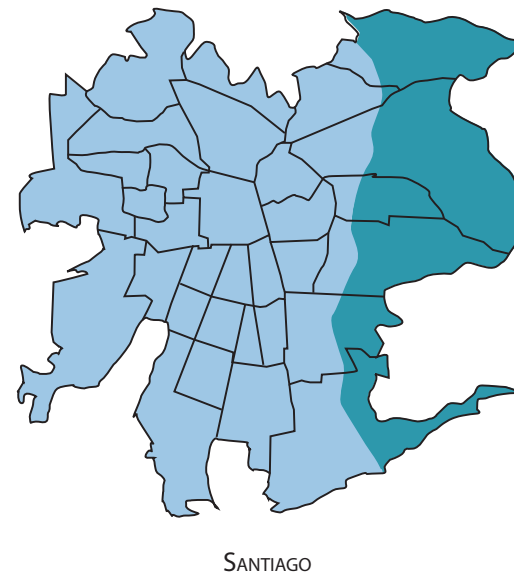


Figura 1.1: Zonificación Climática Habitacional
 Fuente: Elaboración propia.

El Clima de Santiago de Chile

En Chile, existe una norma de zonificación Climática Habitacional¹³, la cual divide al país en 9 zonas climáticas, cada una de las cuales está constituida por una parte del territorio con características similares en cuanto a sus variables meteorológicas. (Ver figura 1.1)

Según esta clasificación, Santiago se ubica en la Zona Central Interior. Se caracteriza por poseer un clima mediterráneo de temperaturas templadas. Sus inviernos duran aproximadamente 4 a 5 meses. Lluvias y heladas aumentan hacia el sur. Fluctuación de temperatura diaria es moderada aumentando hacia el este. Insolaciones intensas en verano, especialmente hacia el NE. Vientos predominantes son principalmente de dirección SW¹⁴.



13 Norma NCh 1079 - 2008, actualmente en estudio, aun no oficializada.
 14 http://www7.uc.cl/sw_educ/vivienda/html/f_zonas.html

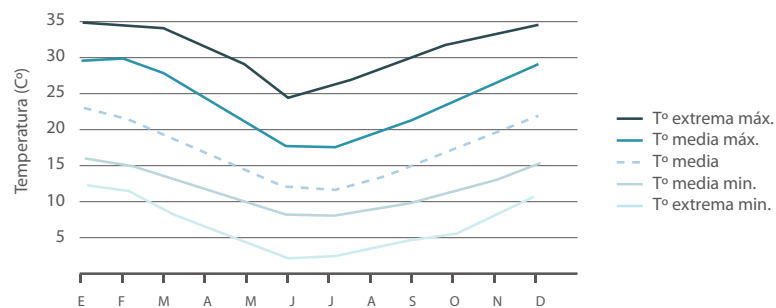


Gráfico 1.1: Variación mensual de la temperatura, Santiago.
Fuente: Elaboración propia a partir de Bustamante et al (2001)

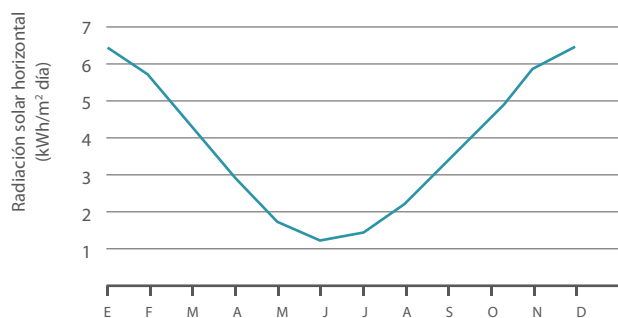


Gráfico 1.2: Variación mensual Radiación, Santiago.
Fuente: Elaboración propia a partir de Bustamante et al (2001)

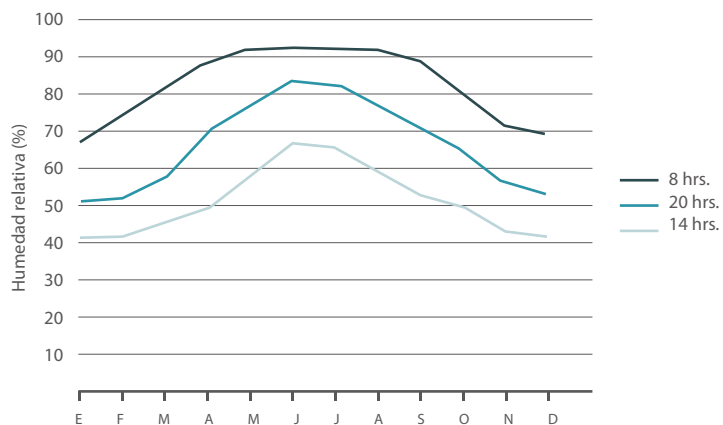


Gráfico 1.3: Variación mensual Humedad Relativa, Santiago.
Fuente: Elaboración propia a partir de Bustamante et al (2001)

Temperatura de Santiago:

Durante el verano, se presentan temperaturas máximas de 35°C y una mínima de 10°C. Durante el invierno, la temperatura máxima es de 25°C, mientras que la mínima es de aproximadamente 2°C.

Oscilación Térmica de Santiago:

Alta oscilación diaria de temperaturas. En veranos estas presentan diferencias de temperatura entre el día y la noche mayores a 17 °C, en prácticamente toda la Zona. En invierno esta oscilación disminuye a aproximadamente 11°C en Santiago.

Radiación Solar de Santiago

Alta radiación solar en verano y baja en invierno. Promedios de radiación solar horizontal total entre 1,4 kWh/m²día (julio) y 6,9 kWh/m²día (enero).

Humedad Relativa de Santiago

Humedad relativa es baja en verano y tiende a subir en invierno. Promedios mensuales entre aproximadamente 50% (enero) y 84% (julio).

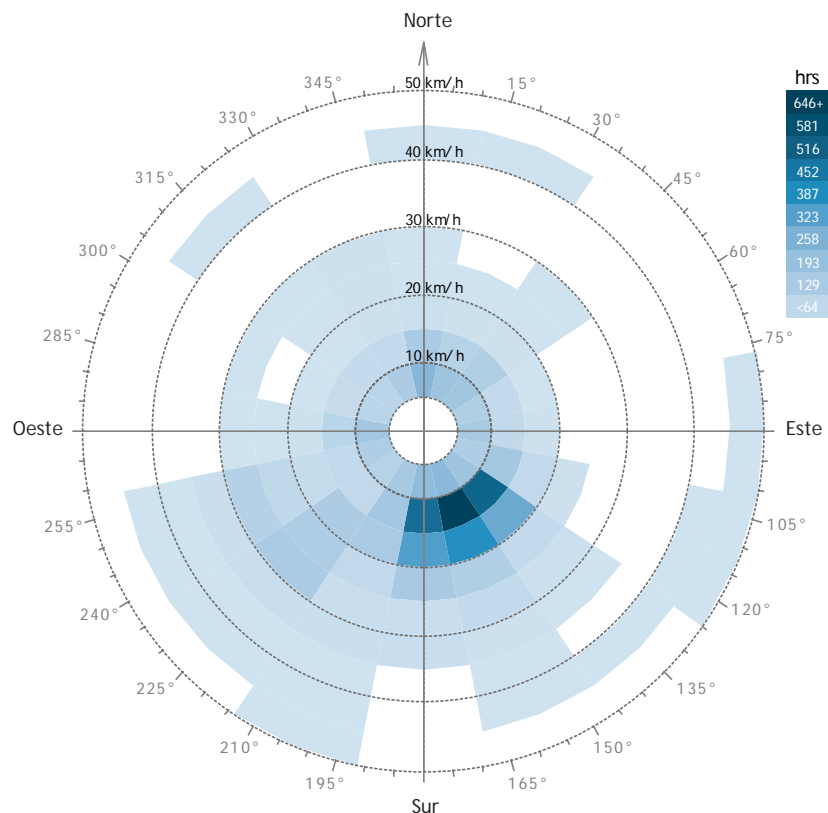


Gráfico 1.4: Rosa de los vientos, Santiago.
Fuente: Elaboración propia a partir información Weather Tool

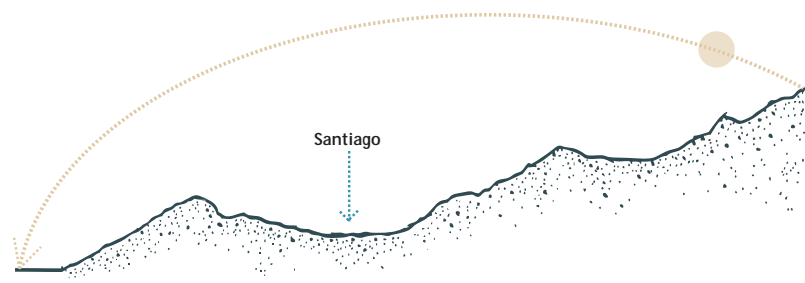


Figura 1.2: perfil de Santiago.
Fuente: Elaboración propia

Precipitaciones de Santiago

Precipitaciones moderadas en el norte de la Zona. Crecen significativamente hacia el sur. Promedios anuales desde 260 mm (Pudahuel, comuna de Santiago). Hacia el sur aumentan las precipitaciones en otoño y primavera, las que bajan en el norte. Máximas de 24 horas desde aproximadamente 75 mm en el norte hasta más de 150 mm en el sur de la Zona.

Vientos de Santiago

Vientos moderados de predominancia Sur-Oeste. Hacia el norte predomina calma en verano.

Condiciones Geográficas de Santiago

La ciudad de Santiago se encuentra aproximadamente en las coordenadas 33°S 70°O altitud media de 567 msnm¹⁵. Está emplazada principalmente en un llano conocido como "cuenca de Santiago", son terrenos planos de baja pendiente en zonas urbanas, que comienzan a ser más sinuosos en zonas cercanas a la cordillera de la costa y de los andes. En general, presencia de edificios cercanos de mediana y gran altura.

15 Dirección Meteorológica de Chile. «Climatología de ciudades: Santiago».

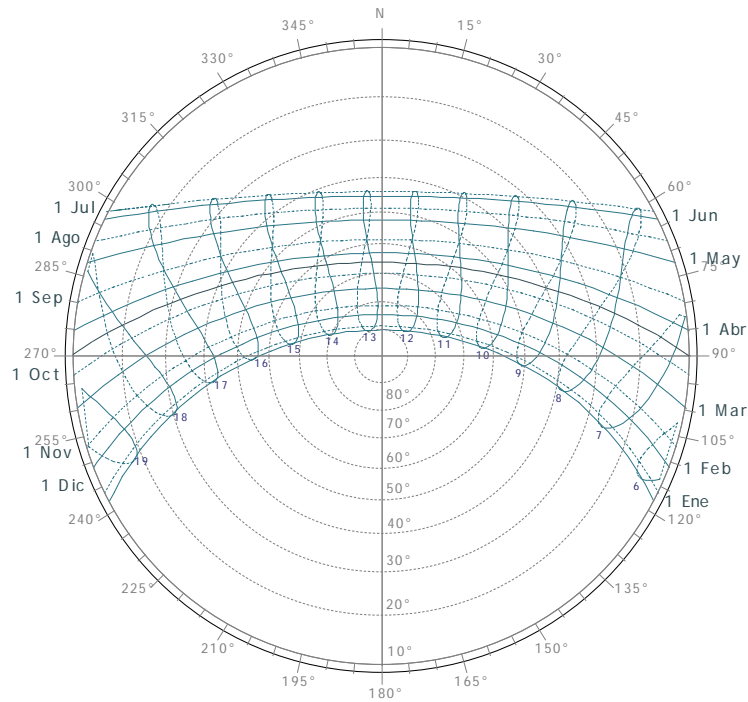


Gráfico 1.5: Carta Solar
Fuente: Programa Ecotect

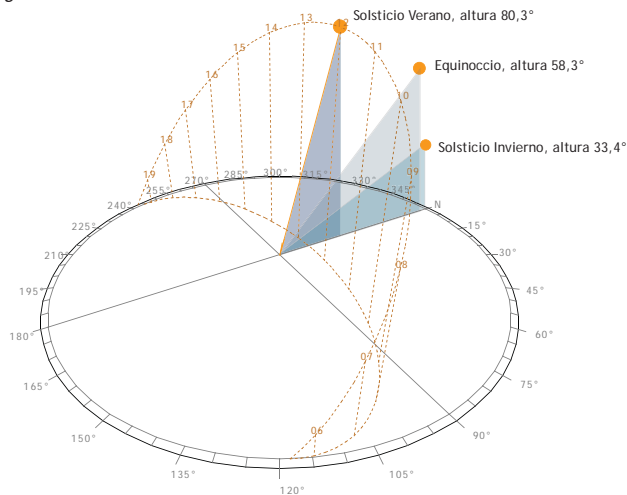


Figura 1.3: Posición del sol en solsticio de invierno y verano y Equinoccio a las 12:00pm.
Fuente: Elaboración propia a partir de Programa Ecotect

Recorrido Solar de Santiago

La trayectoria del sol representada en planta para diferentes días del año es lo que constituye el diagrama de trayectoria solar para diferentes latitudes. Este diagrama permite conocer la posición del sol en cualquier día y hora para tal latitud. (Ver gráfico 1.5)

En ella los círculos concéntricos representan la altura solar y las líneas concéntricas el azimut. El círculo externo corresponde al horizonte (ángulo del sol a 0° respecto de la horizontal). El punto central representa un ángulo de altura solar de 90°.

En el diagrama de trayectoria solar también es posible leer la hora del día en que se localiza el sol desde su salida en el Este hasta la puesta de sol en el Oeste¹⁶.

De esta manera, conociendo la trayectoria del sol de Santiago, se puede determinar lo siguiente:

	Amanecer	Atardecer	Horas de Sol	Máxima altura
Equinoccio	6:45	18:45	12 horas	58.3°
Solsticio Invierno	7:45	17:45	10 horas	22.4°
Solsticio Verano	5:30	19:30	14 horas	80.3°

Tabla 1.1: recorrido del sol
Fuente: Elaboración propia a partir de Programa Ecotect

¹⁶ Bustamante, W., & Rozas, Y. (2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. (1 ed.). Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (minvu) y Programa País de Eficiencia Energética (cne).

Zona de confort higrotérmico

El confort higrotérmico está relacionado con una serie de variables ambientales con las que el cuerpo humano interactúa. Se define como aquel estado en que las personas expresan satisfacción con el ambiente que lo rodea, sin preferir condiciones de mayor o menor temperatura.

A pesar que es muy difícil establecer una zona de confort fija, ya que depende principalmente de aspectos culturales la ASHRAE¹⁷, define una zona de confort para el verano y el invierno con un límite inferior de humedad absoluta de 0,045 g H₂O por kg de aire seco, Aproximadamente corresponde a una Humedad Relativa del 30% a 20,5°C y una Humedad Relativa de 20% a 27°C.

En muchos casos, esto se puede observar, que cuando existe una humedad relativa menor del 25%, las personas sufren de sequedad de la piel, nariz, garganta y ojos. En el caso contrario, cuando existe una humedad relativa alta, se observa incomodidad en las personas, por el exceso de humedad en su piel.

Los límites sugeridos para la zona de confort térmico por ASHRAE, varía con la temperatura aproximadamente entre 60% de HR a 26°C a 80% de RH a 20°C.

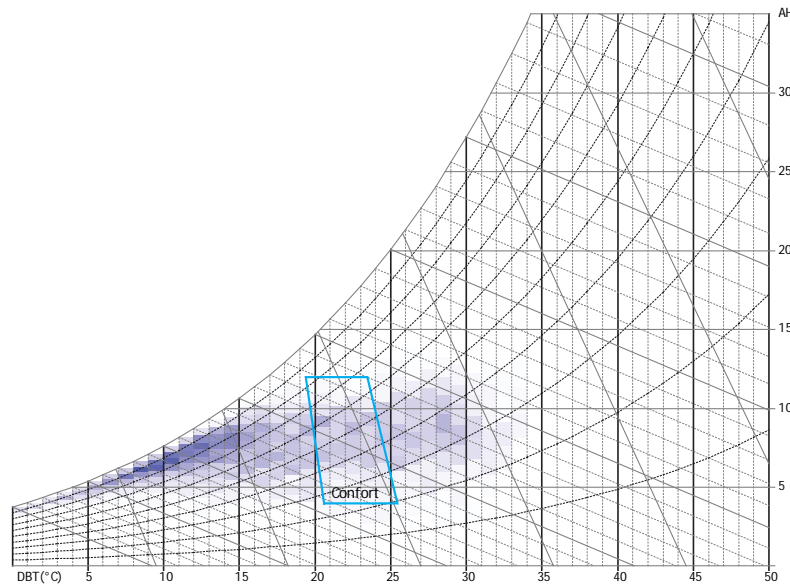


Gráfico 1.7: Gráfico psicrométrico
Fuente: Programa Ecotect

¹⁷ ASHRAE 1997, Chapter 8

Resumen de Variables durante un año en la ciudad de Santiago de Chile

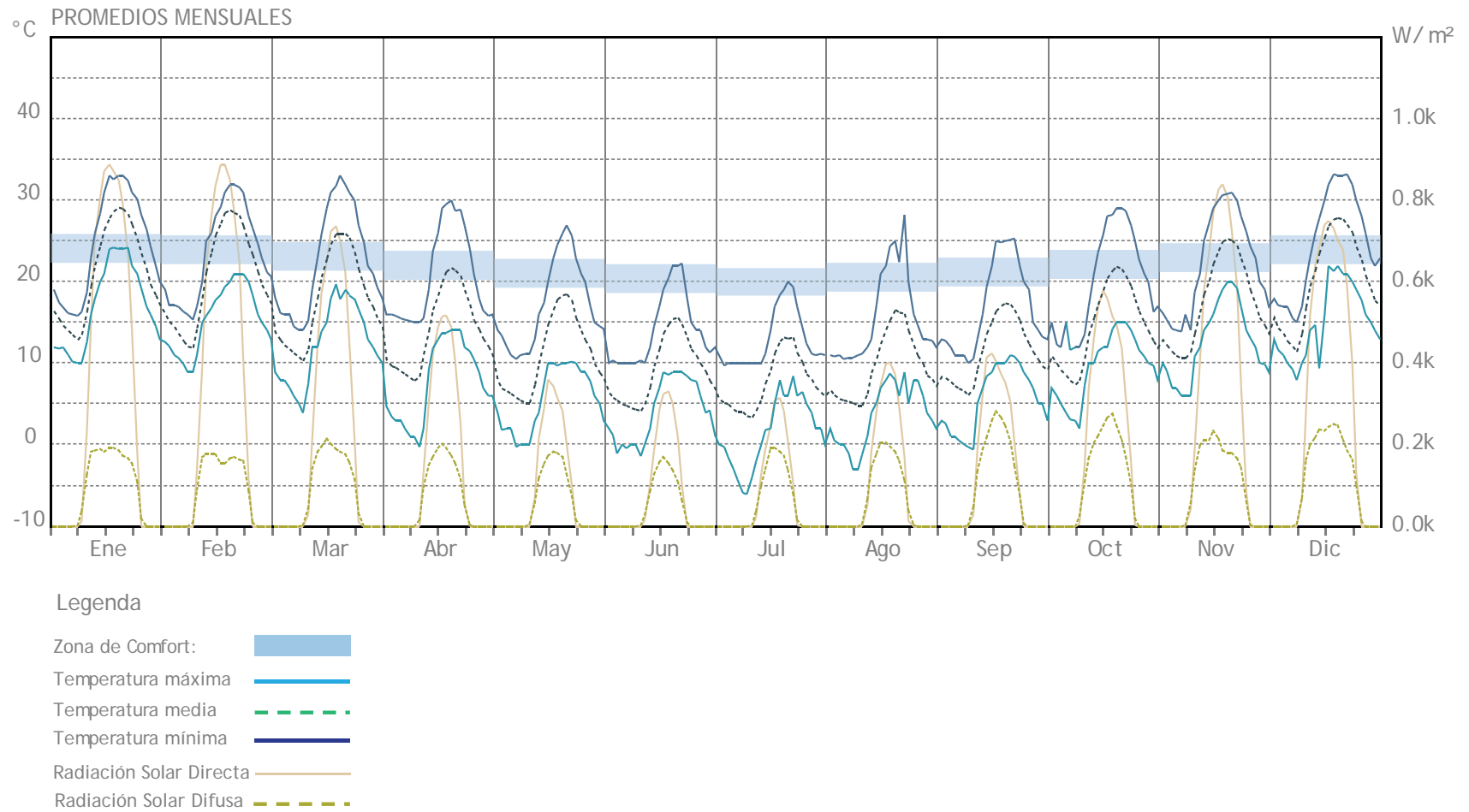


Gráfico 1.8: Resumen de Variables

Fuente: Weather Tool 2011, en base a clima de ASHRAE de EnergyPlus Energy. Se han modificado los colores.

A continuación alguna de la normas nacionales se internacionales relacionadas al confort térmico.

DECRETO SUPREMO N° 594: Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo en Chile

Temperatura

La norma nacional solo se refiere a las condiciones y a las cargas calóricas máximas, de frío o calor, a las cuales los trabajadores al aire libre o bajo techo pueden encontrarse.

No existe referencia a temperaturas ideales de trabajo en ambientes controlados.

Humedad.

La norma nacional no hace referencia a contenidos de humedad máximos en ambientes controlados de oficinas

ASHRAE 55 - 2004: Temperatura

El estándar ASHRAE permite, para valores dados de humedad, velocidad del aire, tasa metabólica y vestimenta, una zona de confort puede ser determinada.

La zona de confort define un rango, en términos de temperatura operativa, condiciones térmicas aceptables o define combinaciones de temperatura del aire y temperatura media radiante que los ocupantes consideran térmicamente aceptable.

Existen dos métodos para determinar este rango.;

La sección 5.2.1.1 del ASHRAE 55 especifica el Graphical Method For Typical Indoor Environments, este método utiliza un método gráfico simplificado para determinar la zona de confort pudiendo ser usado en diversas aplicaciones.

La sección 5.2.1.2 especifica el Computed Method for General Indoor Application, este método utiliza un programa computacional basado en un modelo balanceado de calor para determinar la zona de confort para un amplio rango de aplicaciones.

Para un determinado set de condiciones, los resultados de los dos métodos son consistentes y ambos pueden ser usados mientras cumplan con los criterios descritos en la respectiva sección.

ASHRAE 55 - 2004: Humedad.

El punto 5.2.2 de ASHRAE 55 establece que los sistemas diseñados para mantener el control de la humedad deben ser capaces de mantener un rango de humedad mayor o bajo 0.012 que corresponde a una presión de vapor de agua de 1.910 kPa (0.277 psi) a un punto de presión estándar o una temperatura de punto de rocío de 16,8°C (62.2°F).

No hay límites de humedad mínimos para el confort térmico, consecuentemente este estándar no especifica un nivel de humedad mínimo. Sin embargo, los factores no térmicos de confort tales como el secado la piel, irritación de las membranas mucosas, sequedad de los ojos y la generación de electricidad estática, pueden poner límites a la aceptabilidad de los ambientes de humedad muy bajos.

CIBSE:

No existe un límite establecido legalmente que determine el rango máximo de temperaturas en edificios de oficinas. El document TheWorkplace (Health, Safety and Welfare) Regulations 1992 (StatutoryInstrument 1992 No, 3004, USA) establece unicamente que “durante el horario de trabajo la temperatura al interior de los lugares de trabajo deberá ser razonable.”

La guía CIBSE A; EnvironmentalDesign, Sección 1., sugiere para oficinas que el rango de temperaturas de confort debiera estar entre 21-23°C en Invierno y 22-24°C en Verano. El rango de Verano se aplica para edificios con sistemas de aire acondicionado. Las temperaturas más altas pueden ser aceptadas en edificio que no posean sistema de aire acondicionado.

Luz y Confort lumínico

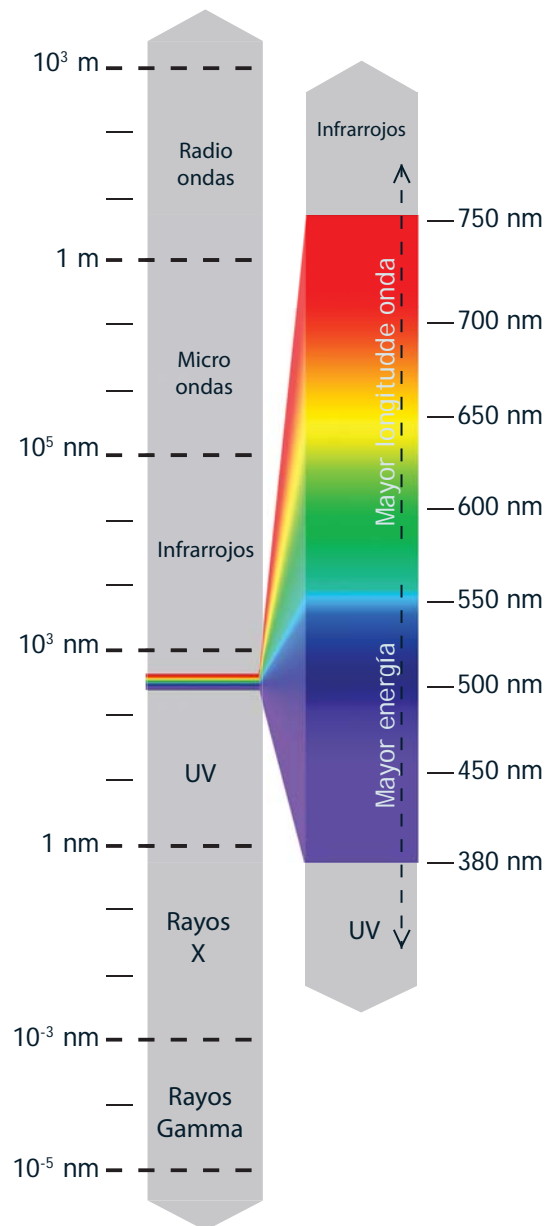


Gráfico 2.1: Espectro luminoso
Fuente: Elaboración propia

La luz

La luz se define como aquella porción del espectro electromagnético a la que nuestros ojos son sensibles. De toda la radiación solar que cae sobre la tierra, la que llega con más intensidad y supone casi la mitad de la energía total, es la radiación visible¹⁸.

La luz es una parte relativamente pequeña del espectro electromagnético y está en una banda angosta entre los infra-rojos de onda corta y la radiación ultravioleta, con longitudes de onda entre 760nm (Rojo) y 380nm (Violeta), como se ve en el gráfico 09.

Flujo Luminoso (Emisión)

Es el flujo con el que la fuente de luz emite energía luminosa en cierta dirección. La potencia con la que una lámpara emite esa luz se mide en Lúmenes. El valor de los lúmenes indica la cantidad de luz que una lámpara emite en todas direcciones.

Intensidad Luminosa

La intensidad luminosa se mide en Candelas y depende de la distancia y la dirección. La intensidad luminosa describe el flujo emitido en una dirección determinada por unidad del ángulo sólido¹⁹ (ver figura 2.1).

11 Lechner, N. 2007, Iluminación Conceptos Generales. Tectónica 24, 4-15.

19 Idem.

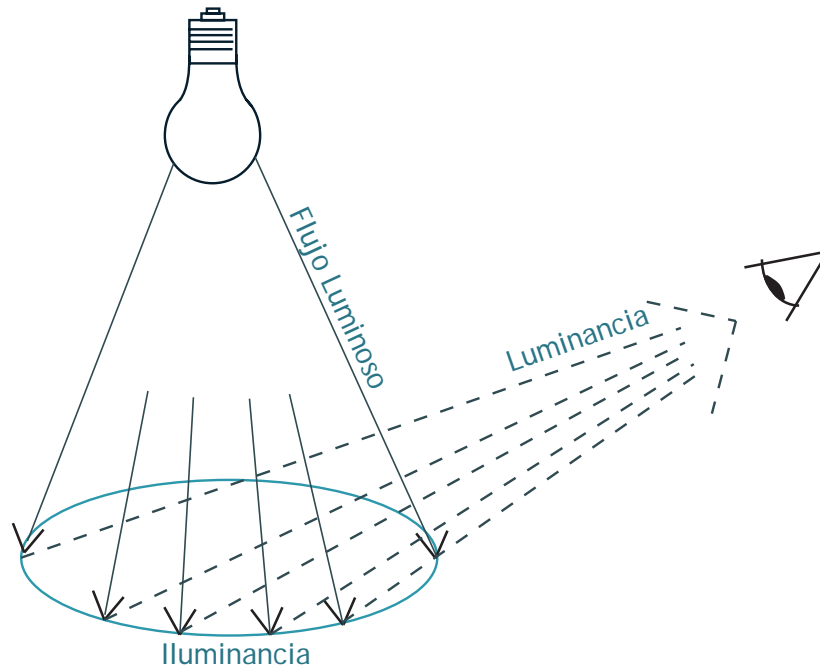


Figura 2.1: Factores de la Luz
Fuente: Elaboración propia

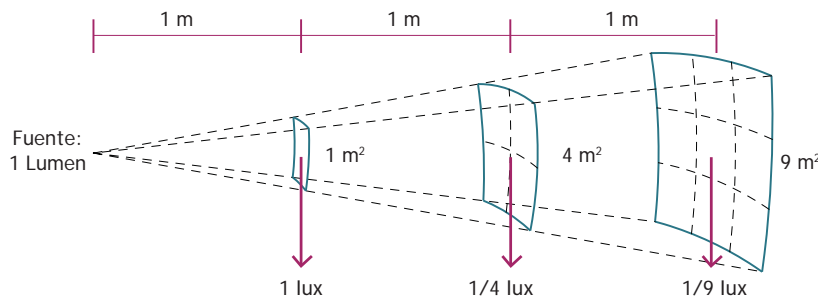


Figura 2.2: Equivalencias de Lux sobre una superficie
Fuente: Elaboración propia

Iluminancia (Incidente)

La iluminancia es igual al número de lúmenes que recibe cada uno de los metros cuadrados de una superficie. Su unidad es el Lux. Un lux es igual a un lumen por metros cuadrado ($\text{Lux} = 1 \text{lm}/\text{m}^2$). (ver figura 2.2).

Luminancia (reflexión)

La luminancia es la cantidad de luz que llega a la superficie de un objeto que luego se refleja y llega a nuestros ojos. También se la define como el brillo de una superficie considerada como fuente de luz. La luminancia de un objeto depende de iluminación, la posición del observado en relación a la fuente emisora. Su unidad es la Candela.

Confort Visual

El confort visual es cuando la persona no siente molestia fisiológica, irritación o distracción en la percepción visual. Dentro de un espacio, el confort visual depende de los niveles de constancia u de las variaciones de luminancia dentro de este espacio.

El deslumbramiento es una de las situaciones que usualmente afectan las condiciones de confort visual y puede derivar en la necesidad de recurrir a la iluminación artificial para compensar los contrastes, a pesar de tener en principio niveles suficientes de iluminación natural²⁰.

De los diferentes parámetros relacionados con el bienestar, los lumínicos

²⁰ Dálencón Renato, Acondicionamientos, Arquitectura y Técnica. Editorial ARQ, Serie Arquitectura y técnica. Santiago de Chile, 2008.

se resumen, muchas veces de forma errónea, en un nivel o cantidad de luz (iluminación), pero lo que el ojo humano ve no son las cantidades de luz que llegan a las superficies, sino las que éstas reflejan hacia el ojo (luminancias)²¹

La radiación solar directa es tan intensa que no es posible considerar la luz solar directa en la iluminación natural interior de los edificios. Su intensidad y el contraste con la penumbra interior producen deslumbramiento, generando un problema. Por otro lado, la luz solar difusa que proviene del entorno y no directamente del sol, es más favorable a las condiciones de trabajo, ya que no produce deslumbramiento.

En resumen, la luz en un espacio es un problema de equilibrio entre las claridades (luminancias) del lugar, donde se busca que el ser humano pueda ver con el mínimo esfuerzo aquello que quiere observar.

Estándares internacionales y nacionales establecen niveles de iluminación requeridos en diversos espacios, donde se desarrollan actividades que requieren niveles mínimos de iluminación. Estos estándares varían para trabajos de oficina entre 300-500 lux. A continuación se resumen algunos de ellos:

DECRETO SUPREMO N° 594: Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo en Chile.

21 Serra, Rafael. Arquitectura y Climas. cuarta Edición. Editorial: Gustavo Gil, SA. Barcelona: 2004.

De la Iluminación, Artículo 103:

Todo lugar de trabajo, con excepción de faenas mineras subterráneas o similares debe estar iluminado con luz natural o artificial, dependiendo de la actividad que ahí se realice.

Los valores mínimos de la iluminación promedio se pueden observar en la tabla 01.

Los valores indicados en la tabla son medidos sobre el plano de trabajo o a una altura de 80 centímetros sobre el suelo del local e el caso de iluminación general.

Cuando se requiera iluminación superior a 1000 Lux, la iluminación general deberá complementarse con luz focalizada, a excepción de aquellos locales que por el proceso industrial que realicen deban permanecer oscurecidos.

De la Iluminación, Artículo 104:

La relación entre iluminación general y localizada deberá mantenerse dentro de los siguientes valores:

Iluminación General (LUX)	Iluminación Localizada (LUX)
150	250
250	500
300	1.000
500	2.000
600	5.000
700	10.000

Tabla 2.1: Rangos recomendados en LUX para iluminación
Fuente: Elaboración propia

Lugar	LUX
Pasillos, bodegas, salas de descanso, comedores, servicios higiénicos, salas de trabajo con iluminación suplementaria sobre cada máquina o faena, salas donde se efectúan trabajos que no exigen discriminación de detalles finos o donde hay suficiente contraste.	150
Trabajo prolongado con requerimientos moderados sobre la visión, trabajo mecánico con cierta discriminación de detalles, moldes en funciones y trabajos similares.	300
Trabajo con pocos contrastes, lectura continuada sobre la visión, trabajo mecánico que exige discriminación de detalles finos, maquinarias, herramientas, cajitas de imprenta, monotipias y trabajos similares.	500
Laboratorio, salas de consulta y de procedimientos de diagnóstico y salas de esterilización.	500 a 700
Costura y trabajos de aguja, revisión prolija de artículos, corte y trazado	1.000
Trabajo prolongado con discriminación de detalles finos, montaje y revisión de artículos con detalles pequeños y poco contraste, relojería, operaciones textiles sobre género oscuro y trabajos similares.	1.500 a 2.000
Sillas dentales y mesas de autopistas.	5.000
Mesa quirúrgica.	20.000

Tabla 2.2: Requerimientos de LUX para cada actividad de trabajo, según Decreto N° 594

De la Iluminación, Artículo 105:

La luminancia (brillo= que deberá tener un trabajo o área según su complejidad, deberá ser la siguiente:

Tarea	Luminancia en cd/m ²
Demasiado difícil	Más de 122,6
Muy Difícil	35,0 - 122,6
Difícil	12,3 - 35,0
Ordinaria	5,3 - 12,3
Fácil	Menor de 5,3

Tabla 2.3: Luminancia recomendada por el artículo 105 del DECRETO SUPREMO 594

De la Iluminación, Artículo 106:

Las relaciones de máxima luminancia (brillantez) entre zonas del campo visual y la tarea visual debe ser la siguiente:

- 5 a 1 Entre tareas y los alrededores adyacentes
- 20 a 1 Entre tareas y las superficies más remotas
- 40 a 1 Entre las unidades de iluminación (o del cielo) y las superficies adyacentes a ellas.
- 80 a 1 En todas partes dentro del medio ambiente del trabajador.

ASHRAE 90.1

El estándar ASHRAE define tres tipos de cálculos para determinar la potencia de iluminación interior:

1.- BuildingAreaMethod

Este método asigna una única densidad interior de iluminación basado en el tipo de edificio que se analiza, multiplicado por un factor de área iluminada bruta. Esto determina un margen de iluminación interior (Interior LightingPowerAllowance ILPA en sus siglas en Inglés) que se puede observar en la tabla 02.

2.- Space by Space Method:

En este método la determinación de la densidad interior de iluminación se desarrolla calculando la potencia máxima permitida para cada espacio por su área iluminada bruta. El cálculo total se desarrolla sumando la densidad interior lumínica para cada uno de esos espacios. En la siguiente tabla, se observan los valores recomendados.

Lugar	W/m2	Lugar	W/m2
Oficina Cerrada	11,8	Lugar para comer	9,7 - 22,6
Oficina abierta	11,8	Cocina	12,9
sala de conferencia	14,0	Baños	9,7
sala de lectura	15,1	Pasillos	5,4 - 10,8
sala de audiencia	3,2 - 28	Escaleras	6,5
Acceso	11,8 - 35,5	Bodega	3,2
Atrio	6,5	sala de maquinas	16,1
Salón	12,9	laboratorio	15,1
Sala de vestir	6,5	Taller	20,5

Tabla 2.4: Valores recomendados para la densidad lumínica por tipo de espacio

3.- Energy Cost Budget Method:

Es un método alternativo que puede ser empleado para evaluar el cumplimiento de todos los diseños propuestos, excepto diseños sin

Lugar	W/m2
Almacen	8,6
área de deporte	11,8
Bar o lugares de ocio	14,0
Cafetería o lugares de comida rápida	15,1
Centro de convención	12,9
Centro de ejercicios	10,8
Cine	12,9
Clínica	10,8
Comedor familiar	17,2
Correo	11,8
Dormitorios	10,8
Estacion de Bomberos o Policías	10,8
Estacionamientos	3,2
Estar familiar	7,5
Gimnasio	11,8
Hospital	12,9
Hotel	10,8
Iglesia	14,0
Librería	14,0
Motel	10,8
Municipalidad	12,9
Museo	11,8
Oficina	10,8
Palacio de justicia	12,9
Penitenciario	10,8
retail	16,1
Sala de maquinas	9,7
Sala de trabajo	14,0
Taller	15,1
Teatro	17,2
Transporte	10,8
Universidad	12,9

Tabla 2.5: Requerimientos de W/ft2 por recintos en el método Building Area Method

Fuente: TABLE 9.5.1, ASHRAE 90.1. Lighting Power Densities Usingthe Building Area Method

sistema mecánico. Esta evaluación se realiza mediante una simulación computacional para calcular el costo energético de diseño para el edificio propuesto, cumpliendo siempre los requerimientos que el estándar exige.

CIBSE: Chartered Institution of Building Services Engineer.

Sobre la iluminación en recintos de oficinas: La iluminación de un recinto deberá garantizar una luz suficiente y el contraste adecuado entre la pantalla y su entorno, teniendo en cuenta el tipo de trabajo y las necesidades de visión del usuario. Los niveles referenciales de lux de CIBSE Lighting Guide, para escritorios de 80 cm de alto en oficinas son 500LUX y para escritorios donde se utiliza un computador disminuye a 300LUX.

IESNA: Illuminating Engineering Society of North America

La iluminación en los puestos de oficina actuales operados primariamente a través de computadores y lecturas impresas en calidades mayores pueden operar en rangos de iluminación entre 300 y 500 lux.

El estándar distingue dentro de la categoría de oficina 3 tipos; Oficinas personales, oficinas en planta abierta y salas de reuniones. El nivel de medición del estándar en un plano de trabajo a 80 cms. considera 400 lux para las oficinas y 300 lux para la sala de reuniones.

La envolvente vidriada

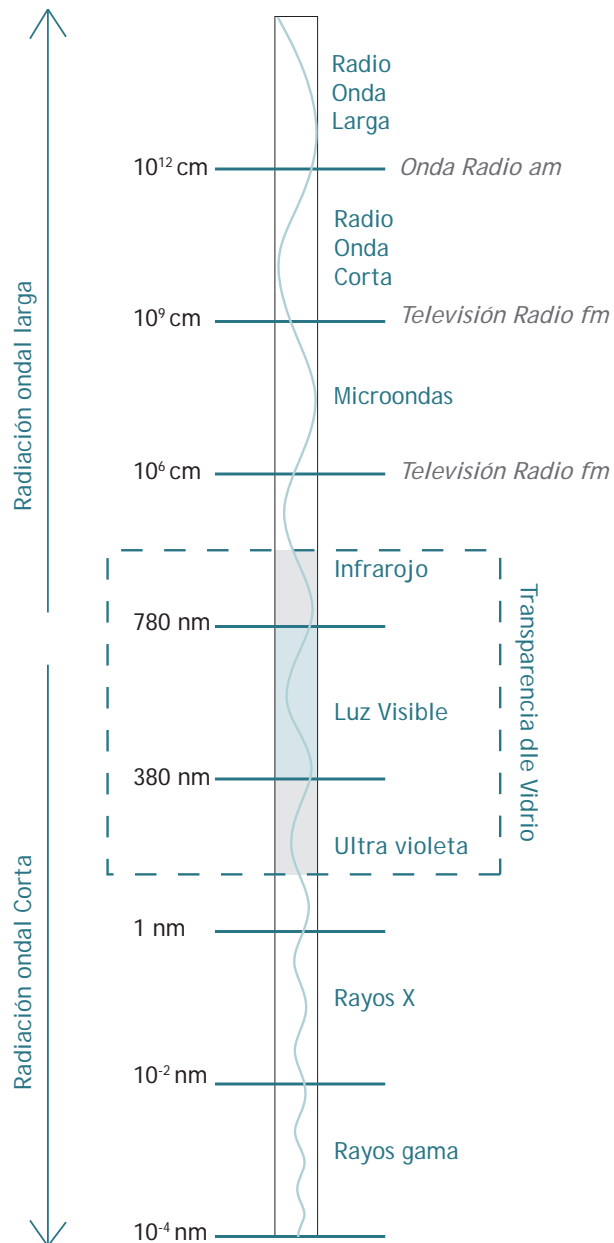


Figura 3.1: transparencia del vidrio
Fuente: Elaboración propia

Propiedades del Vidrio

El Vidrios se define como un material sólido y transparente con una estructura molecular desorganizada, que se obtiene por la fusión de arenas de sílicea con potasa, que es moldeable a altas temperaturas.

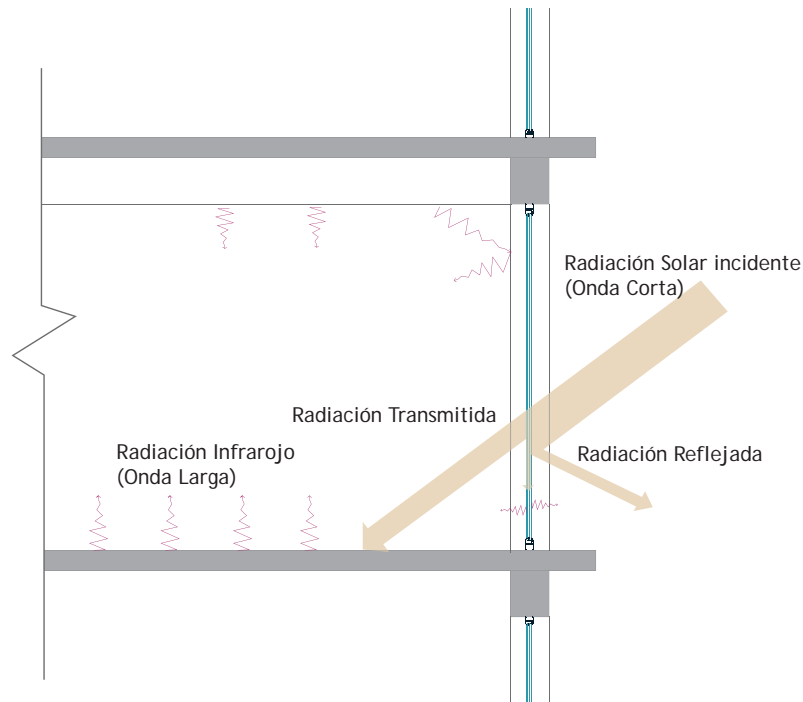
La transparencia del vidrio es una propiedad por la cual se permite transmitir luz, calor radiante y otros tipos de radiaciones específicas dentro del espectro electromagnético²². Esta propiedad hace del vidrio sea un material constructivo único en la arquitectura, ya que, permite cerrar espacios manteniendo un intercambio visual, lumínico y energético. A partir de estas tres características, se han podido desarrollar diferentes tipos de vidrios que permite el control de estos intercambios según los requerimientos de cada proyecto.

Es importante mencionar, que la transparencia del vidrio es relevante en arquitectura sólo en un tramo del espectro de radiación electromagnética, entre 300 y 2.500 nm de longitud de onda, que comprende los siguientes tipos de radiación: Radiación Ultravioleta, radiación de onda corta no visible para el ojo humano; Radiación visible, radiación de onda medianamente corta que permite al hombre la percepción del color de los objetos y es responsable del calor radiante emitido por el sol; y por último, la Radiación infrarroja, radiación de onda larga, invisible para el ojo humano, tiene efectos térmicos de penetración y es emitido por los cuerpos calientes. Ver figura 3.1.

²² Vázquez, C. (2006). El vidrio. (1 ed., Vol. 1, p. 57). Santiago: Editorial ARO.

Es importante aclarar que el comportamiento del vidrio frente a la onda corta y la larga son fenómenos muy diferentes, tal como menciona Vázquez en su libro, el Vidrio:

“Las ondas cortas son emitidas por el sol e irradian luz, calor de onda corta y radiación ultravioleta. Por el contrario las ondas largas son emitidas por los cuerpos que irradian calor produciendo un efecto térmico que modifica el confort de un espacio interior. Para la arquitectura contemporánea vidriada, o de espacios transparentes, generalmente se diseñan considerando solamente los aspectos visuales del material, olvidando que la luz implica calor y que los cuerpos que la reciben la transmiten en una longitud de onda que genera en el espacio interior un ascenso indiscriminado de la temperatura”²³.



Cuando la radiación solar atraviesa una superficies transparentes a la radiación de onda corta, como es el caso del vidrio, ocurren tres fenómeno: una parte de la radiación es absorbida por el material, que luego es re-irradiada hacia el interior y el exterior en forma de onda larga, la otra parte es reflejada y la última parte es transmitida hacia el interior.

Lo anterior se puede ejemplificar en el siguiente caso:

Se tiene un vidrio de 3 mm de espesor, que refleja un 10 % de la radiación solar incidente, transmite un 80% y absorbe un 10%. De este último un 5% es re-irradiado hacia el interior y un 5% es re-irradiado hacia el exterior. Por lo

Figura 3.2: Efecto Invernadero
Fuente: Elaboración propia

²³ Vázquez, C. (2006). El vidrio. (1 ed., Vol. 1, p. 58). Santiago: Editorial ARQ.

tanto el 85% de la radiación solar incidente ingresa hacia el interior, lo que es una vez que la trasmisión total de energía ha penetrado es absorbida por las superficies interiores y las calienta (muros, suelos, muebles, etc). La energía térmica acumulada se cede al ambiente con retardo y amortiguación, por convección y radiación de onda larga, siendo esta radiación del tipo que no atraviesa el vidrio, lo que produce el fenómeno de "Efecto Invernadero"²⁴.

La evolución de la tecnología del vidrio usado en arquitectura ha estado enfocada en el control de sus propiedades para mejorar su comportamiento frente a estos diversos tipos de radiación. Este control de las propiedades se puede resumir en cuatro conceptos: Control Térmico, Control Solar, Control lumínico y Control Radiación ultravioleta.

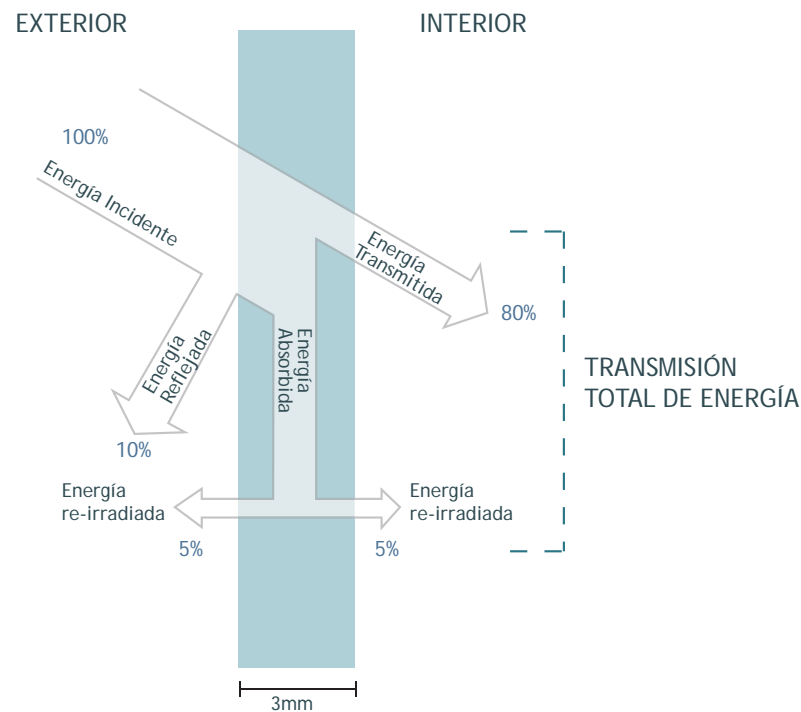


Figura 3.3: Transmisión de la energía a través del vidrio.
Fuente: Elaboración propia

Control Térmico:

El calor se transmite por convección, conducción y radiación desde un medio de mayor temperatura a uno de menor temperatura a una velocidad que depende del medio y la conductividad térmica del material.

El vidrio al ser un material de alta conductividad térmica, lo hace un material muy transmisor, por lo cual, el control frente al calor de onda larga de la emisión de los cuerpos calentados toma mucha importancia.

Dentro de las convenciones que existen para medir comportamiento del

²⁴ El efecto invernadero consiste en el hecho de que la radiación, una vez ha atravesado el vidrio y absorbida por el material interior, es re-emitada con ondas de longitud más grande que en gran parte no pueden volver a atravesar el vidrio.

vidrio frente al calor, encontramos el factor K, el Coeficiente ganancia solar térmica, transmitancias y la Emisividad.

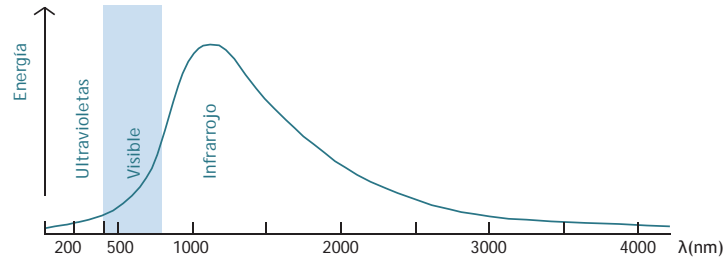


Gráfico 3.1: Onda en relación a la energía emitida.
Fuente: Elaboración propia

Factor K: es una propiedad de cada material e indica la cantidad de calor que transmite, de forma perpendicular, a través de un elemento constructivo sujeto a una diferencia de temperatura del aire de 1°C , durante un cierto tiempo en régimen estacionario. Su valor se expresa en $\text{W}/\text{m}^2\text{C}^{25}$. Mientras más alto es el factor K mayor será el calor que deja pasar, y mientras menor sea el factor k, más lo retardara.

Coefficiente ganancia solar térmica _ Solar Heat Gain Coefficient (SHGS): Es una relación entre el calor total solar que atraviesa por un vidrio, en relación al calor solar incidente perpendicular sobre la superficie del vidrio. Cuanto menor sea el número del coeficiente de un sistema vidrio/película, mejor es la capacidad de reducir el calor.

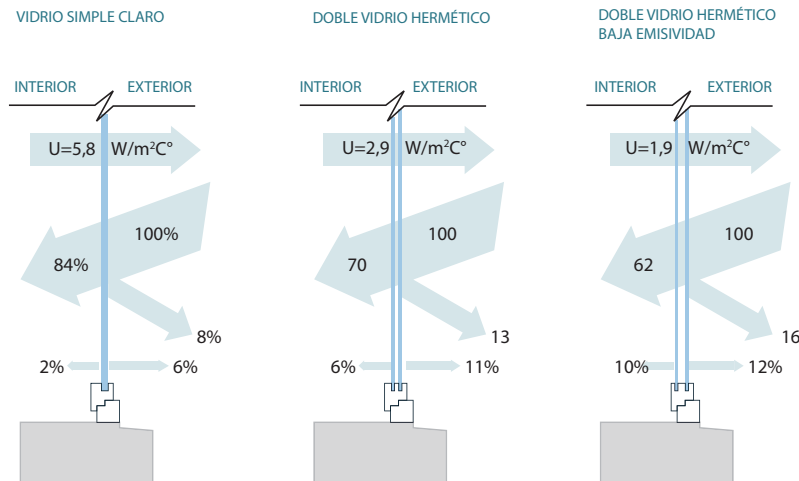


Figura 3.4: Diferentes tipos de Vidrio
Fuente: Elaboración propia

Transmitancia (U): es la cantidad de calor que atraviesa un cuerpo por unidad de tiempo por cada grado de diferencia de temperatura. Se mide en $\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ y cuanto menor sea la transmitancia, mejores son las cualidades aislantes del sistema vidrio.

25 Vázquez, C. (2006). El vidrio. (1 ed., Vol. 1, p. 59). Santiago: Editorial ARQ.

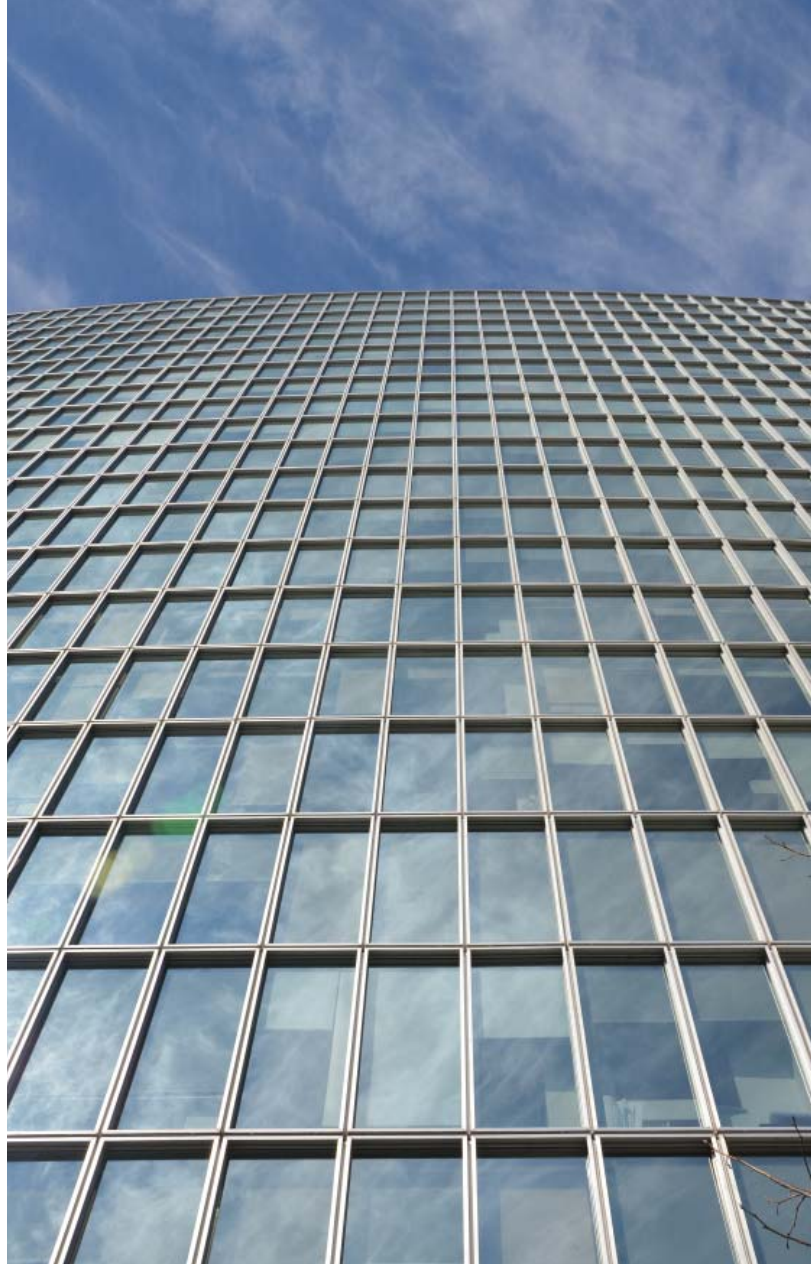


Imagen 3.1: Fachada Vidriada edificio de oficinas en las Condes, Santiago de Chile
Fuente: Elaboración propia

Emisividad: Es la capacidad que tiene el vidrio para absorber o reflejar la radiación de infrarrojos lejanos, expresando la proporción entre la energía emitida por dicho vidrio y la energía que emitiría un cuerpo negro ideal, dada la misma temperatura e igual superficie. Por convención, al cuerpo negro ideal se le ha asignado una emisividad del 100% y a cualquier vidrio una emisividad entre 0% y 100%

Por ejemplo, si un vidrio claro estándar tiene una emisividad de 0.84, significa que emite el 84% de la energía posible para un cuerpo negro a su misma temperatura, o también se puede decir que del total de la radiación de onda larga incidente (la que no atraviesa el vidrio), el 84% será absorbido y el 16% será reflejada.

Conocer los valores de la emisividad, nos permite saber cómo el vidrio re-irradiará al espacio la energía absorbida. Los valores de emisividad generalmente se dan para la superficie exterior e interior del vidrio, ya que pueden ser distintos. Cuanto menor sea la cifra, mejor son las cualidades de aislamiento del vidrio.

Control Solar:

Es la capacidad que tiene el vidrio de permitir el traspaso de la radiación solar.

Para cuantificar el comportamiento del vidrio frente a la radiación solar directa se han definido varios parámetros:

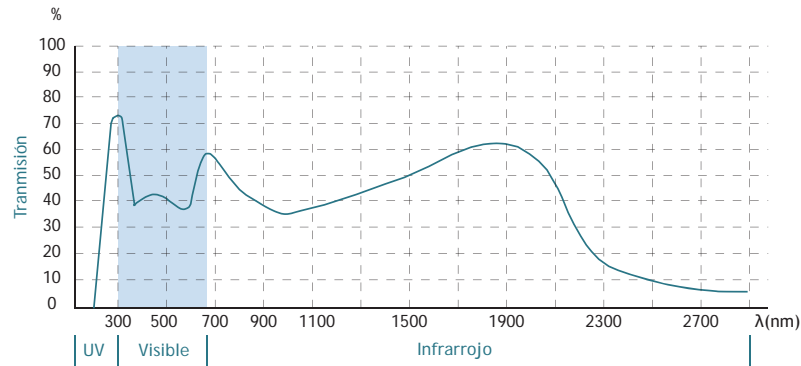


Gráfico 3.2: Porcentaje de transmisión en relación a la longitud de onda
Fuente: Elaboración propia

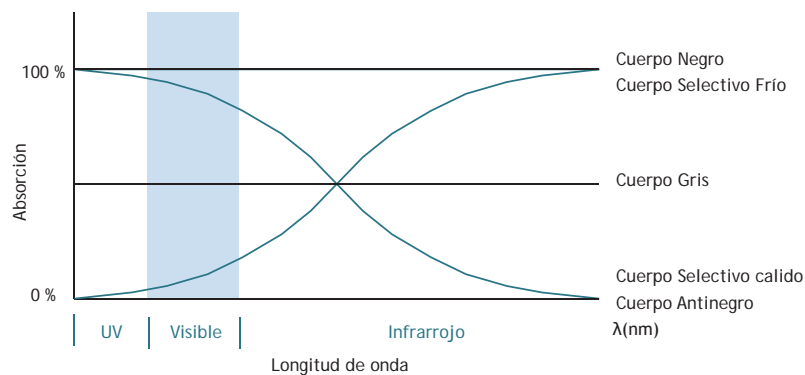


Gráfico 3.3: Porcentaje de Absorción en relación a la longitud de onda
Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de Sombra - Shading Coefficient (SC): es un coeficiente que se relaciona la transmisión total de energía de un vidrio estándar (Cristal Float incoloro de 3mm) con cualquier otro tipo de soluciones vidriadas.

El vidrio estándar permite una transmisión total de energía que llega al 87%, porcentaje al cual se le ha asignado valor 1, permitiendo comparar cualquier tipo de vidrio en función de esta referencia. Por ejemplo, si el coeficiente de sombra de un vidrio es 0.44, equivale a decir que transmite el 44% de la energía que transmite un vidrio estándar. Si un vidrio estándar permite una transmisión total de energía que llega al 87%, el vidrio en cuestión transmite un 44% del 87%, es decir un 38,3%.

Transmisión solar: Es el porcentaje de radiación solar incidente que se transmite a través del vidrio. Cuanto menor sea la cifra, menor es la radiación solar transmitida.

Reflectancia: es un parámetro que indica la cantidad de radiación solar que es reflejada por un vidrio comparada con la radiación solar que incide sobre él. Se mide en porcentajes (0%-100%) o fraccionales (0.0-1.0). Mientras menor sea la cifra, menor es la reflectancia solar.

Absortancia: Es la cantidad de radiación solar que es absorbida por un vidrio, comparada con la radiación solar que incide sobre él. Se puede indicar como valor porcentual (0% a 100%), o bien como un valor fraccional (0.0 a 1.0).

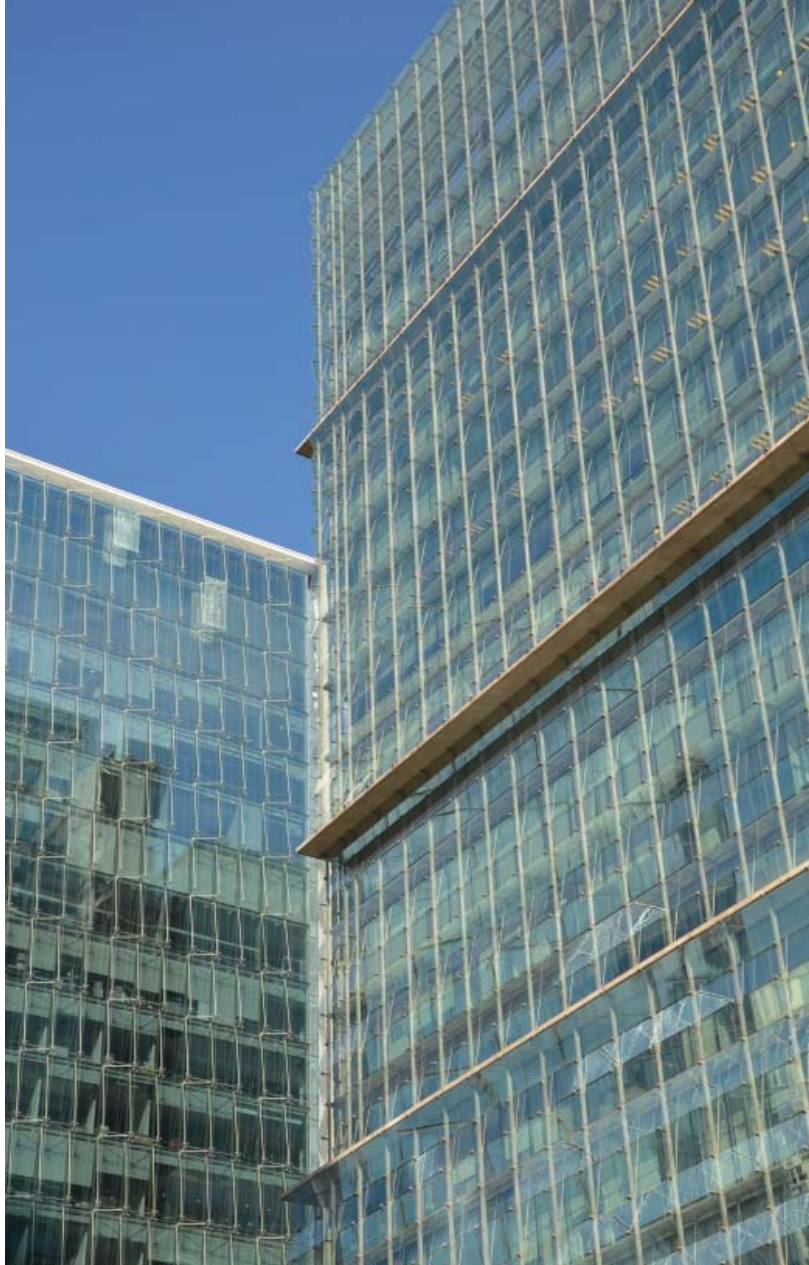


Imagen 3.2: Fachada Vidriada edificio de oficinas en las Condes, Santiago de Chile
Fuente: Elaboración propia

Control lumínico:

Es la capacidad que tiene el vidrio de permitir el traspaso de la de la luz. La luz proviene principalmente del sol y puede reflejarse o refractarse al alcanzar un vidrio. Ver la figura 3.3.

Transmisión Lumínica: una proporción entre la luz que incide en el vidrio y la que traspasa, lo que logra ver el ojo humano. Se expresa en porcentajes y depende de su espesor y de su menos visible será la luz transmitida.

Índice de selectividad solar v/s eficacia luminosa (VLT / SC): Es la relación entre la transmisión lumínica y el coeficiente de sombra. Se mide en número fraccionales. Cuanto más alto sea este número, más eficiente es el vidrio en transmitir la luz visible sin transmitir calor excesivo. Si el valor es mayor a 1.00, mejor será la selectividad espectral de la película.

Control Radiación ultravioleta.

Dentro de las tecnologías que se han desarrollado en los vidrios es el control del traspaso de los rayos ultravioleta. Esto se logra por la incorporación de una lámina delgada y transparente al vidrio. Su control se mide por la convención del factor de transmisión UV.

Transmisión UV: El porcentaje de luz ultravioleta (UV) que bloquea el vidrio. Cuanto menor sea la cifra, menor será la luz UV transmitida.

Descripción de los Edificios

Edificios de Oficina en Santiago de Chile

Para conocer las principales características de los edificios de oficina en Santiago de Chile, se analizó los núcleos donde ellos se agrupan. Con el objetivo de estudiar las propiedades de transmisión de energía solar e iluminación en los edificios de oficina más representativos de la ciudad.

Para la determinación los tipos de edificios que representan las diferentes tipologías construidos recientemente en el área urbana de Santiago se realizó una base de datos con 101 edificios, que representan el 100% de los edificios construidos en los últimos 5 años en 6 municipios de la región metropolitana de Santiago. Estos municipios, caracterizados por concentrar los grandes núcleos de oficinas, son las Condes, Huechuraba, Providencia y Lo Barnechea.

Luego del análisis se logró establecer que las principales características de los edificios de oficina en Santiago son las siguientes:

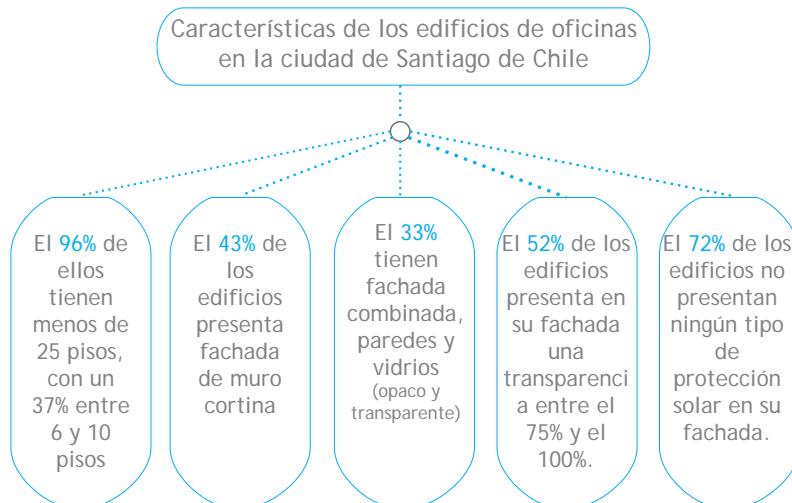


Figura 4.1: característica de los edificios de oficina en la ciudad de Santiago de Chile

Fuente: Elaboración propia

- El 96% de ellos tienen menos de 25 pisos, con un 37% entre 6 y 10 pisos
- El 43% de los edificios presenta fachada de muro cortina y el 33% tienen fachada combinada, paredes y vidrios (opaco y transparente).
- El 52% de los edificios presenta en su fachada una transparencia entre el 75% y el 100%.
- El 72% de los edificios no presentan ningún tipo de protección solar en su fachada.

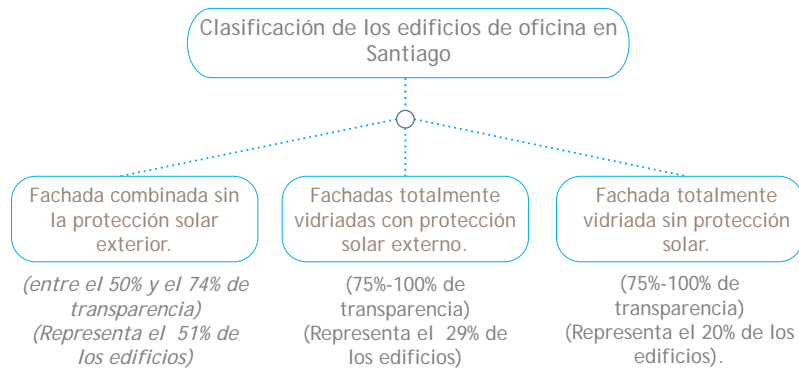


Figura 4.2: Clasificación de los edificios en Santiago de Chile
 Fuente: Elaboración propia

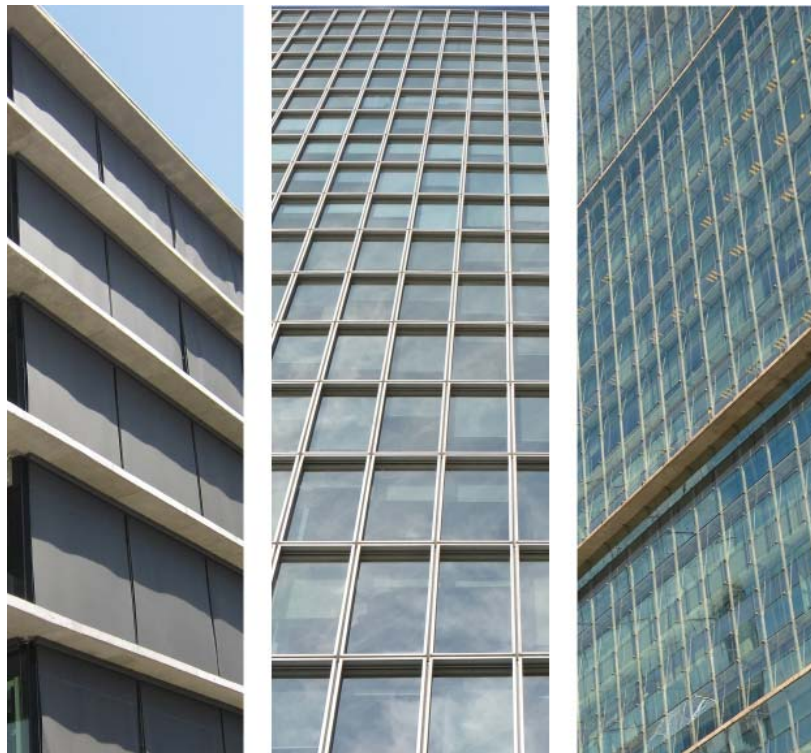


Imagen 4.1: Imágenes de los diferentes tipos de fachadas
 Fuente: Elaboración propia

Luego para el análisis de los núcleos de oficina se consideraron las siguientes variables:

- Porcentaje de transparencia en la Fachada.
- Utilización de protección solar o no.
- Tipo de protección solar
- Utilización de ventanas operables o no.

Finalmente se definieron tres grandes grupos con las siguientes características:

1. Fachada combinada (vidriada y opacas, entre el 50% y el 74% de transparencia), sin la protección solar exterior.
 (Representa el 51% de los edificios)
2. Fachadas totalmente vidriadas (75%-100% de transparencia) con protección solar externo.
 (Representa el 29% de los edificios)
3. Fachadas totalmente vidriadas (75%-100% de transparencia) sin protección solar externo.
 (Representa el 20% de los edificios)

Cuatro edificios de oficina fueron seleccionados, en representación de cada uno de los tres grupos anteriormente mencionados, para realizar el monitoreo de las condiciones ambientales y lumínicas del interior de cada uno de ellos. En el caso del grupo tres se han seleccionado 2 edificios con diferente tipo de vidrio, uno con vidriado simple claro y el otro con vidriado doble claro.

En resumen se tienen lo siguiente edificios seleccionados:

EDIFICIO TIPO 1:

Fachada combinada sin protección solar.

EDIFICIO TIPO 2:

Fachada totalmente vidriada con protección solar.

EDIFICIO TIPO 3-A:

Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar.

EDIFICIO TIPO 3-B:

Fachada totalmente vidriada, con vidrio doble claro, sin protección solar.

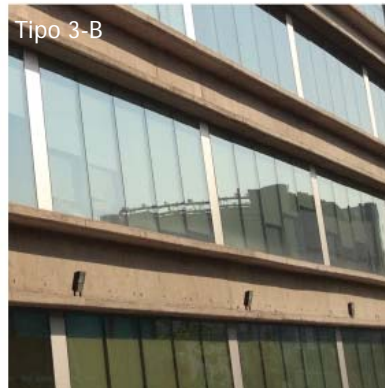
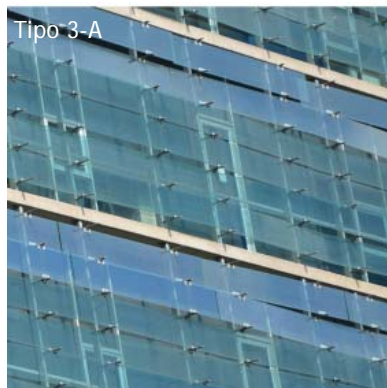
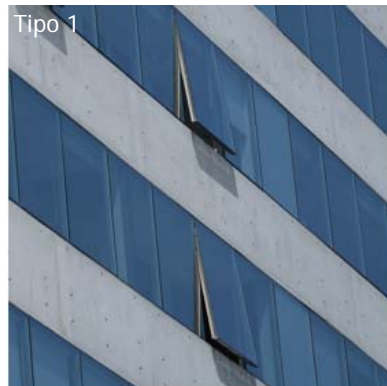
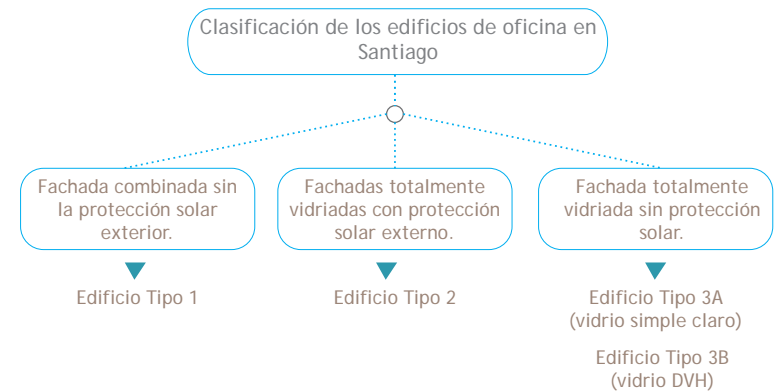


Imagen 4.2: Imágenes de los diferentes tipos de fachadas de los edificios seleccionados
Fuente: Elaboración propia



En necesario aclara, que por acuerdo con los dueños de los edificios, no se dará a conocer el nombre del edificio, ni los autores de los proyectos.

A continuación se describe el núcleo donde se ubica cada uno de estos edificios, las características arquitectónicas y constructivas de cada edificio, y se especifica las características de las fachadas.

Núcleo de edificios de Oficina, Municipio de Huechuraba

Centro de negocios de la comuna de Huechuraba, conocido como “Ciudad Empresarial”, localizado en la zona norte de la ciudad de Santiago. En este centro están construidos dos de los edificios seleccionados, edificio tipo 2 y edificio tipo 3-B.

En esta zona es el principal parque de negocios de Chile, dónde la mayoría de sus edificios son de oficinas, construidos en la última década. En este núcleo empresarial único en el país hay más de 500 empresas y más de 11.000 trabajadores. Aquí coexisten armoniosamente territorios residenciales con grandes instalaciones de empresas e industrias con sectores socioeconómicos de altos ingresos.

Su geografía se caracteriza por ser una zona rodeada de cerros por el norte, sur y oriente, lo que influye en su soleamiento a lo largo del día, tal como se puede observar en las imágenes.

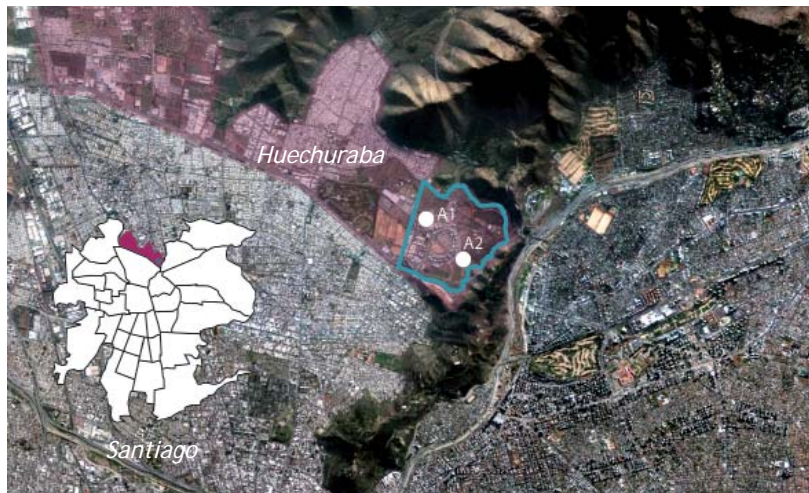


Imagen 4.3: localización de los edificios en la comuna de Huechuraba (en púrpura) en relación a la comuna de Santiago (en blanco). La línea azul, marca los límites de la ciudad empresarial
Fuente: Elaboración propia



Imagen 4.4: imagen aérea donde se observa la sombra proyectada de los cerros que rodean a la ciudad empresarial (línea azul). En blanco la carta solar de Ciudad empresarial
Fuente: Elaboración propia



Figura 4.3: Plano de ciudad empresarial. En púrpura la localización del edificio tipo 2: Fachada totalmente vidriada con protección solar.
Fuente: Elaboración propia



Imagen 4.5: composición de imágenes de la fachada del edificio tipo 2
Fuente: Elaboración propia

Edificio Tipo 2: Fachada totalmente vidriada con protección solar.

Este edificio se localiza en la zona norponiente de la Ciudad Empresarial. Es un edificio de mediana altura de muy alta tecnología.

Esta edificación, se adquirió como un inmueble convencional y fue transformado en "Eficiente"²⁶ con una de las máximas distinciones que entrega la certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)²⁷ a las construcciones sustentables, otorgada por la U.S. Green Building Council (USGBC).

El edificio cuenta con 6 pisos y 5.200 metros cuadrados útiles para oficinas sobre un terreno de 3.500 m². En el primer nivel se habilita una sucursal de un banco. Y en los superiores, oficinas con plantas libres sin pilares, vigas ni muros. La distribución interior de arquitectura está basada en los nuevos conceptos de espacios y estaciones de trabajo que invitan a generar mayores sinergias entre los equipos de trabajos.

Entre las características que le permiten al este edificio certificarse como sustentable por parte del USGBC destacan los ahorros en uso de energía (hasta 50%) y de agua (hasta 75%) comparado

²⁶ Este edificio había sido construido como cualquier otro proyecto sin tener en cuenta los temas de ahorro energético y de agua. Al momento de hacer el proyecto de habilitación, el Dueño decidió hacer de este edificio una iniciativa sustentable y un aporte al medio ambiente, "ser parte de la solución al tema de calentamiento global". Esto significó efectuar una importante inversión y muchas horas de ingeniería y reingeniería para poder lograr ser un edificio Green Building", certificado por "U. S. Green Building Council" dentro de una de las más altas categorías.

²⁷ LEED exige que para poder optar a la certificación se debe superar el estándar de diseño de ahorro energético ASHRAE 90.1-2007 en un 10%. Este edificio supera este estándar en 12%, lo cual significa que alcanza ahorros energéticos superiores al 30% respecto de construcciones convencionales.

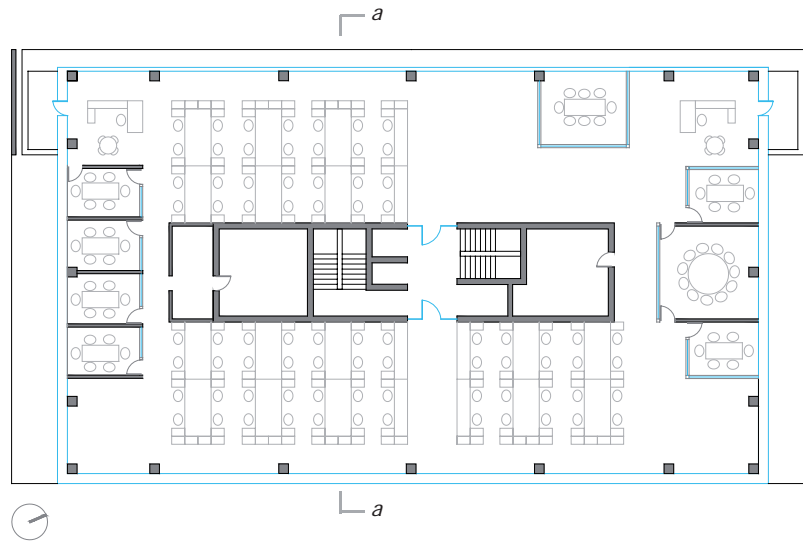


Figura 4.4: Planta estándar edificio tipo 2
Fuente: elaboración propia.

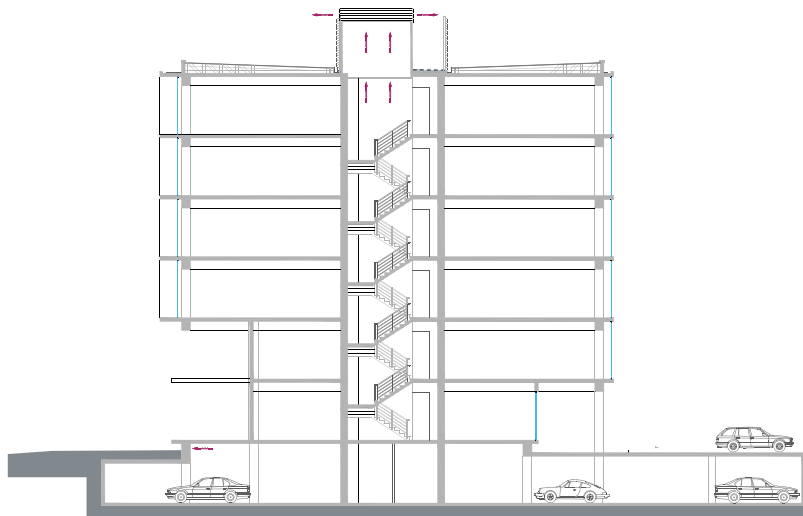


Figura 4.5: Corte aa edificio tipo 2
Fuente: elaboración propia.

con las construcciones tradicionales, ambientes interiores más saludables, disponer de un sistema de tratamiento y reciclaje de aguas y residuos, así como la utilización de materiales que cumplen con normas ambientales certificadas²⁸.

El programa

Se trata de un edificio de 6 pisos, donde en el primer piso se encuentra el hall de acceso, servicio y baños, planta libre de Oficinas, y estacionamientos. Entre el 2º Y 6º piso se consideran planta libre de oficinas subdividido en dos roles, con sus servicios y baños. Finalmente en el nivel de la cubierta se considera la sala de maquinas de los ascensores y sala de aire acondicionado. Cuenta con un subterráneo para estacionamientos y bodegas. Toda la estructura es de hormigón armado.

La envolvente:

La envolvente es completamente vidriada, con ventanas de piso a cielo compuestas por marco de aluminio "Exelentia 43 de Indalum" y vidrio termo panel de las siguientes características:

Por el exterior es de Cristal Pilkington Solar-E de espesor nominal 6 mm. templado cuya resistencia no debe ser inferior a 100 kg. por ml según artículo 4.2.7 de la Ordenanza general de Urbanismo y Construcción. Este cristal considera Coeficiente de sombra 0.52; Coeficiente ganancia térmica 0,45; Luz visible, Transmisión 54%; Reflexión 10%; UV Transmisión

²⁸ <http://portalsustentable.cl>

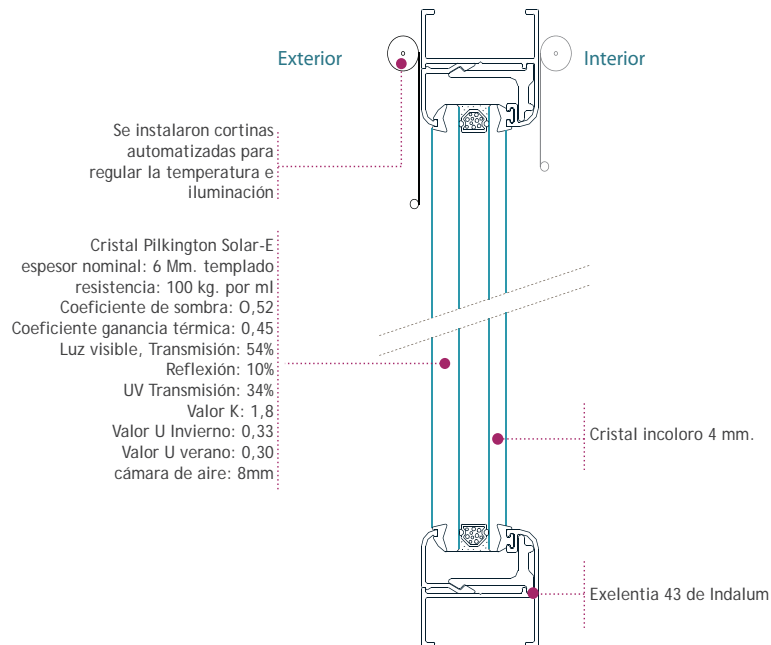
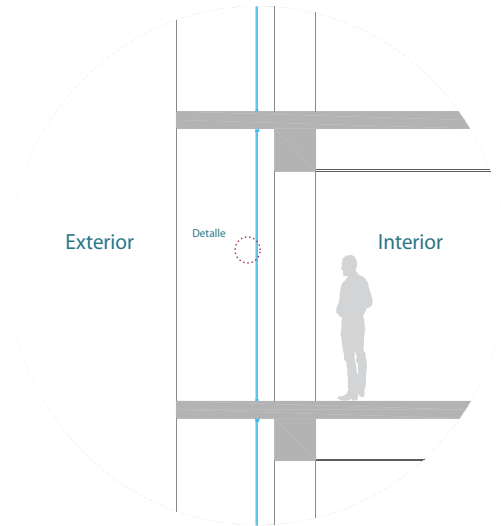


Figura 4.6: detalle de la envolvente vidriada
 Fuente: elaboración propia.

34%; Valor K 1.8; Valor U Invierno 0,33, verano 0,30; cámara de aire; por el interior Cristal incoloro 4 mm.

En el conjunto de ventanas, se consideró la instalación de ventanas fijas y una puerta de abatir de aluminio y termo panel igual al descrito de piso a cielo en cada balcón.

Se instalaron cortinas automatizadas para regular la temperatura e iluminación dependiendo las condiciones climáticas de luz y energía eléctrica.



Imagen 4.6: Edificio tipo 2 con sus protecciones solares activadas en dos horas diferentes del día. Fuente: Elaboración propia



Figura 4.7: Plano de ciudad empresarial. En púrpura la localización del edificio tipo 3B
Fuente: Elaboración propia

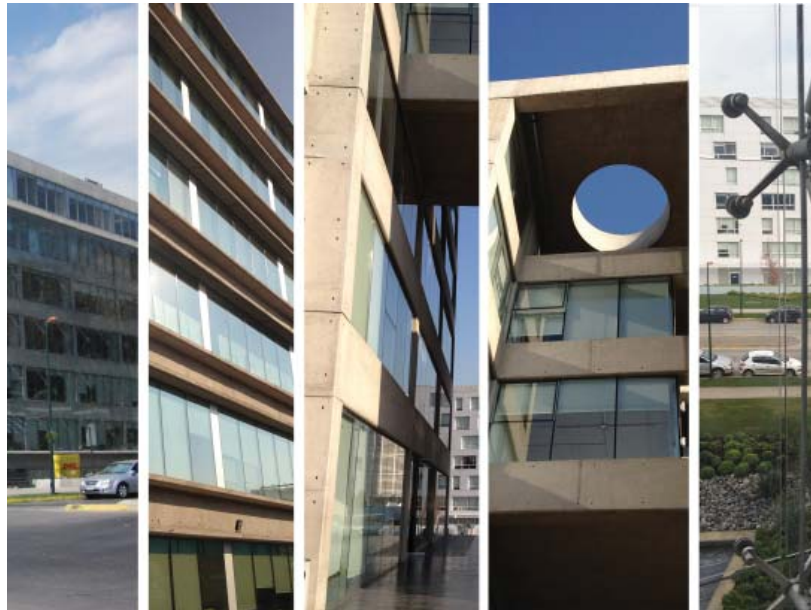


Imagen 4.7: composición de imágenes de la fachada del edificio tipo 2
Fuente: Elaboración propia

Edificio Tipo 3-B: Fachada totalmente vidriada, con vidrio doble, sin protección solar.

Este edificio localizado en la zona norte de la Ciudad Empresarial, se ha clasificado como fachada completamente vidriada por poseer más del 75% de su envolvente acristalada. Es un edificio de 6 pisos de planta libre, construido completamente en hormigón a la vista.

Es un edificio de planta rectangular, compuesta por una grilla de 8x8 metros aproximadamente, donde su lado mayor es de 56 metros y su lado menor de 24 metros.

En su envolvente se pueden distinguir tres tipologías: la fachada norte y oriente se compone por una piel de vidrio doble, mientras que en la fachada sur se compone por un doble muro cortina y la fachada poniente también es vidriada, pero a 8 metros de ella se levanta un gran muro de hormigón a la vista del alto de todo el edificio.

En diferentes medios se describe a este edificio como "es un edificio bioclimático por el muro pantalla de hormigón a la vista que tiene la fachada poniente y el doble muro cortina en la fachada sur, los cuales permiten conseguir un aislamiento térmico en las temporadas de invierno y verano. Esto, junto con el sistema de climatización, puede tener un ahorro energético del 30%"²⁹

Este edificio cuenta con un sistema de climatización de Volumen de Refrigeración Variable (VRV). Es un sistema aire acondicionado que entrega calefacción y/o refrigeración a diferentes zonas, cuyos componentes son una unidad externa que se conecta a través de tuberías de cobre para transportar refrigerante a las unidades internas.

²⁹ Diario Estrategia, Martes 17 de marzo de 2009

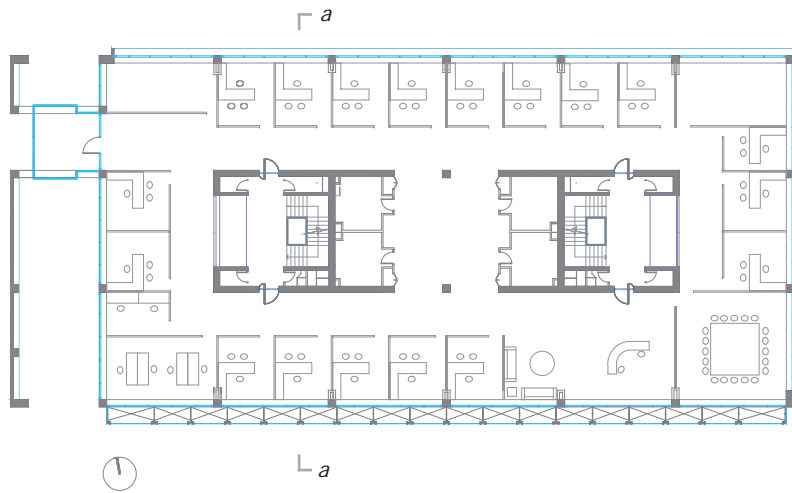


Figura 4.8: Planta estándar edificio tipo 3B: Fachada totalmente vidriada, con vidrio doble, sin protección solar.
Fuente: elaboración propia.

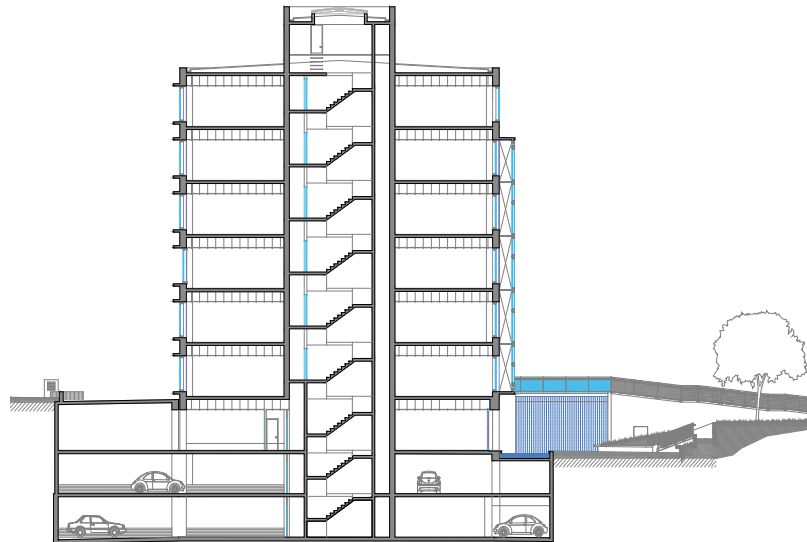


Figura 4.9: Corte aa edificio tipo 3B: Fachada totalmente vidriada, con vidrio doble, sin protección solar.
Fuente: elaboración propia.

El programa:

Es un edificio de 6 pisos y 3 subterráneo, de 12.830 m². Sus 6 plantas son prácticamente iguales, que se caracterizan por su gran flexibilidad, totalmente transparente ya que los pilares los tiene en el cerramiento y en el núcleo. Las plantas al componerse por dos núcleos y dos entradas independientes da la posibilidad que la infraestructura sea utilizada como dos edificios.

Actualmente, las plantas de la mayoría de los pisos se encuentran moduladas por oficinas más pequeñas, completamente cerradas, perdiendo la característica de planta libre que tenía en un principio la arquitectura.



Imagen 4.8: Corte aa edificio tipo 3B: Fachada totalmente vidriada, con vidrio doble, sin protección solar.
Fuente: elaboración propia.

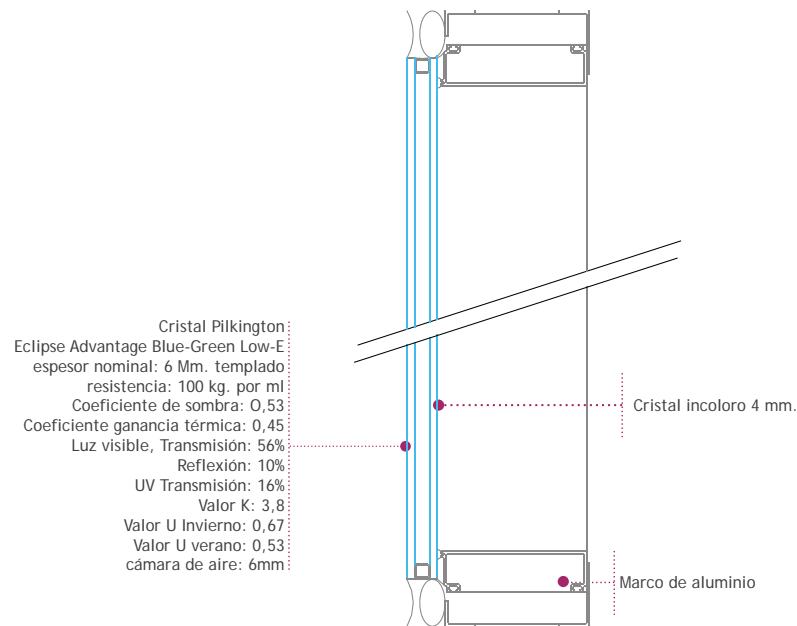
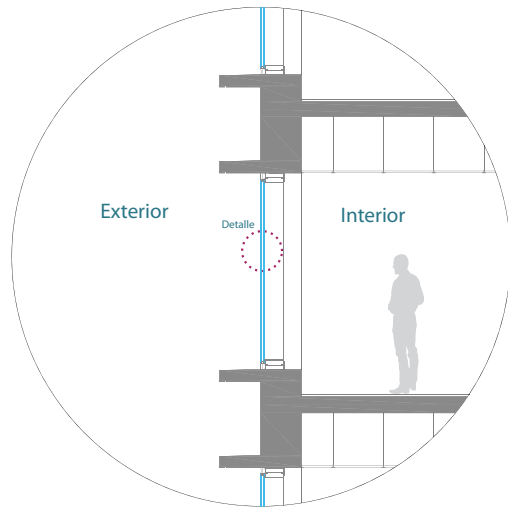


Figura 4.10: detalle de la envolvente vidriada, fachada norte y oriente
Fuente: elaboración propia.

La Envolvente:

Como se ha mencionado anteriormente, en la envolvente se distinguen tres tipologías que se especifican a continuación.

En fachada norte y oriente, se compone por una envolvente de doble vidriado hermético de baja emisividad, con las características que se pueden observar en la figura 4.10.

En la fachada sur, se compone por una doble piel, una piel interior de doble vidriado hermético de baja emisividad y una segunda piel (muro cortina) de vidrio simple claro, tal como se observa en el la figura 4.11.

En la fachada poniente, se compone por una doble piel, una interior de doble vidriado hermético de baja emisividad, y a 8 metros de ésta se levanta un muro de hormigón armado a la vista del alto de todo el edificio, tal como se muestra en la figura 4.8 e imagen.

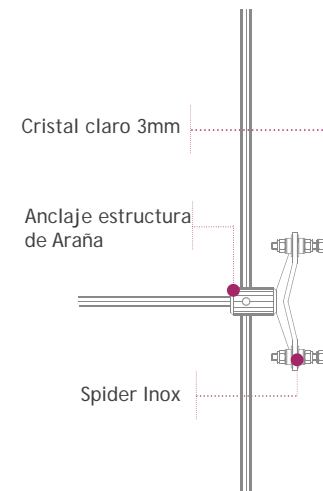


Figura 4.11: detalle de la envolvente vidriada, fachada sur
Fuente: elaboración propia.



Imagen 4.9: La comuna de providencia (en púrpura) en relación a la ciudad de Santiago (en blanco)

Fuente: elaboración propia.



Imagen 4.10: localización del edificio tipo 1: Fachada combinada sin protección solar. Fuente: elaboración propia.



Imagen 4.11: localización del edificio tipo 2: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar. Fuente: elaboración propia.

Núcleo de edificios de Oficina, Municipio de Huechuraba

Providencia, es una comuna del sector oriente de la ciudad de Santiago, se caracteriza por integrar una gran zona residencial con un centro de una dinámica actividad comercial y financiera que se articula en torno a Avenida Providencia y Avenida 11 de septiembre.

Providencia abarca de manera constante el 2% de la población total de la Región Metropolitana de Santiago que aumenta notoriamente durante la jornada laboral, dado a los centros comerciales y financieros con numerosos edificios de oficinas.

Los centros comerciales y financieros como se ha dicho anteriormente, se articulan en torno a ejes de la comuna como es el caso de avenida Providencia y recientemente se está articulando un Nuevo centro en torno al eje avenida Andrés Bello y el río Mapocho.



Imagen 4.12: un día de laboral en la calle providencia Fuente: elaboración propia.



Figura 4.12: localización edificio 3A: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar. Fuente: elaboración propia.

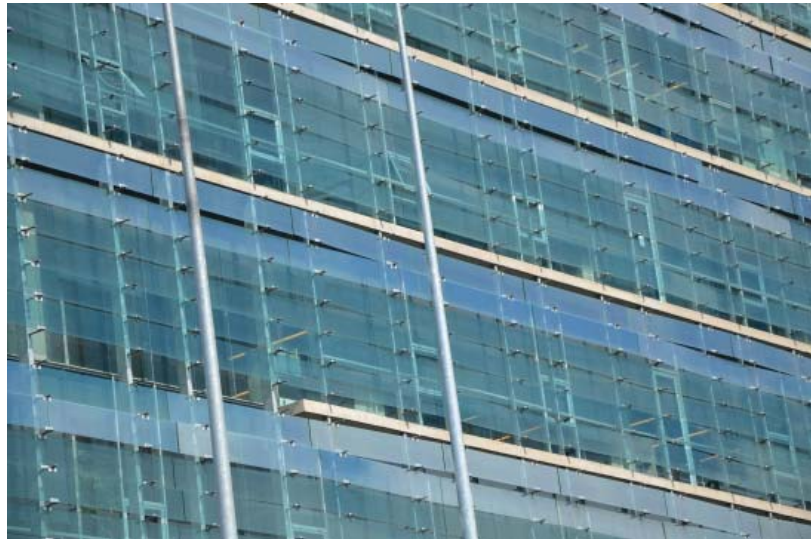


Imagen 4.13: Fachada edificio tipo 3A: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar. Fuente: elaboración propia.

Edificio Tipo 3A: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar.

Este edificio se localiza en la zona sur poniente de la comuna de Providencia. Es un edificio de 15 pisos de altura, dos subterráneos para estacionamientos y 14.400 m² construidos. El edificio alberga un casino, una biblioteca, instalaciones informáticas, diversas salas de clases y centros tecnológicos de la organización, además de las oficinas institucionales de la Casa Central.

El edificio se constituye por una estructura de pilares, vigas y losas de hormigón armado, cuenta con un cerramiento vidriado de doble piel en la fachada norte, oriente y poniente. Los vidrios modulares que componen la segunda piel se traban y desaploman como un tejido que con su reflejo y expresión volumétrica le otorgan un carácter texturado al plano vertical de fachada, buscando una imagen viva propia de un edificio educacional que busca relacionarse con la ciudad³⁰.

El programa:

Se puede observar que la organización de las plantas del edificio intenta la máxima eficiencia, con una trama estructural regular de pilares con una disposición que facilita la resolución y versatilidad del programa. Los núcleos verticales de ascensores, escaleras y zonas húmedas se desplazan en el eje hacia la fachada sur concentrando las circulaciones y servicios.

En la organización del programa del edificio se encuentran cinco tipologías de planta, sin contar los subterráneos. El primer nivel se

³⁰ Plataforma de arquitectura: www.plataformadearquitectura.cl

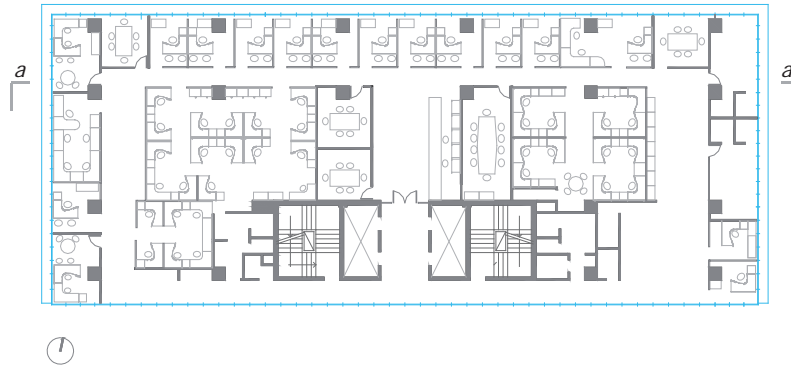


Figura 4.13: Planta estándar edificio tipo 3A: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar.
Fuente: elaboración propia.

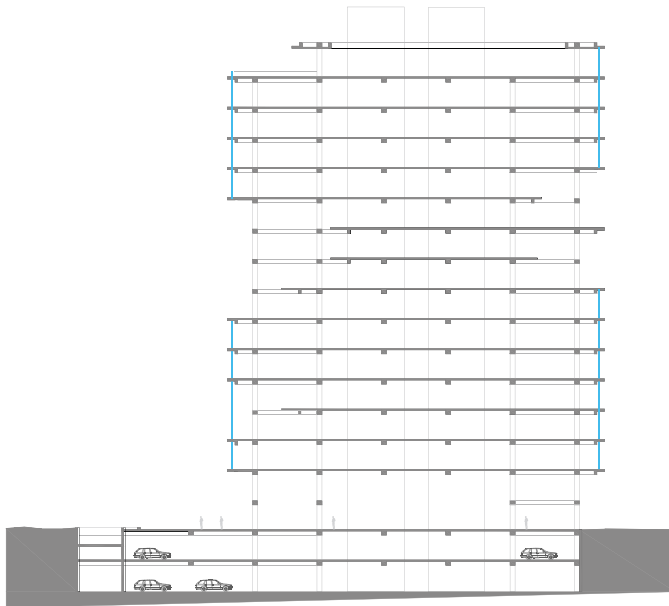


Figura 4.14: Corte aa edificio tipo 3A: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar.
Fuente: elaboración propia.

integra en un gran espacio despejado, permitiendo la continuidad con el patio interior de la sede. En el segundo piso se encuentra el Comedor y en el cuarto piso encontramos la biblioteca. Luego tenemos un piso tipo de oficina, y un último piso que se caracteriza por su planta libre que posibilita transformarse en grandes salones utilizado para actos y conferencias.

La Envolvente:

La envolvente del edificio se compone por dos pieles de vidrio, un primer cierre de vidrio simple claro que posee ventanas abatibles que permiten ventilación natural y un segundo cierre de vidrios reflectivos y pigmentados que controlan la radiación, según el arquitecto.

La piel interior en las fachada nororient, norte y poniente se compone por vidrio incoloro de 8 mm. La piel interior de la fachada Sur, se compone por vidrio de 8 mm laminado pavonado de seguridad 5 + 5 montada sobres estructura de acero.

Como refuerzo, la piel interior posee, cada dos módulos, arbotantes de vidrio de espesor 20 mm y ancho 150 mm por toda la altura. Las fijaciones superiores e inferiores entre cristales de fachada son con silicona. Así mismo, las fijaciones de los arbotantes en los vidrios de fachada son con silicona estructural.

Todas las ventanas proyectantes tienen marcos de aluminio, con sello de estanqueidad.

La segunda piel, en la fachada oriente, norte y poniente, se compone por vidrios templados, Blue Green y Blue Green eclipse (20%), de espesor 8 mm. Según el fabricante, este cristal es reflectivo, pero con un grado de

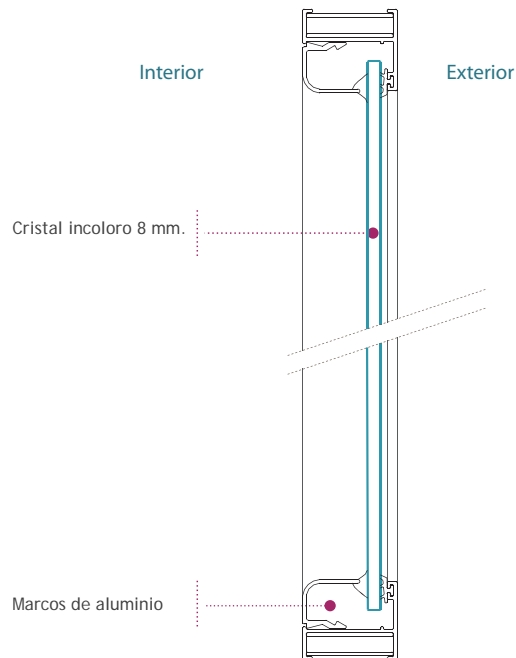
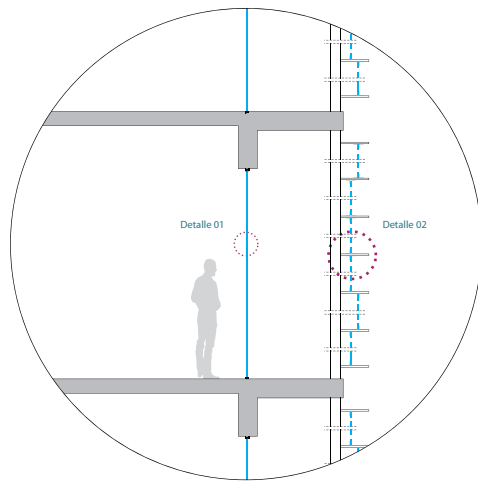


Figura 4.15: detalle de la envolvente vidriada.
Fuente: elaboración propia.

reflexión mínima y alta transmisión de luz visible combinando el control solar y térmico.

La segunda piel se sostiene a la estructura de hormigón armado por unos brazos ejecutados en barra fierro 350/50/12 mm. galvanizados con perforaciones de 10 mm. de diámetro.

La composición de la segunda piel, consiste en la repetición de 4 módulos que incluyen un grupo de 3 paneles en el largo y 6 en el alto de medidas 330 x 49 cm. x 8 mm., con posiciones de cristales distintos dentro de cada uno.

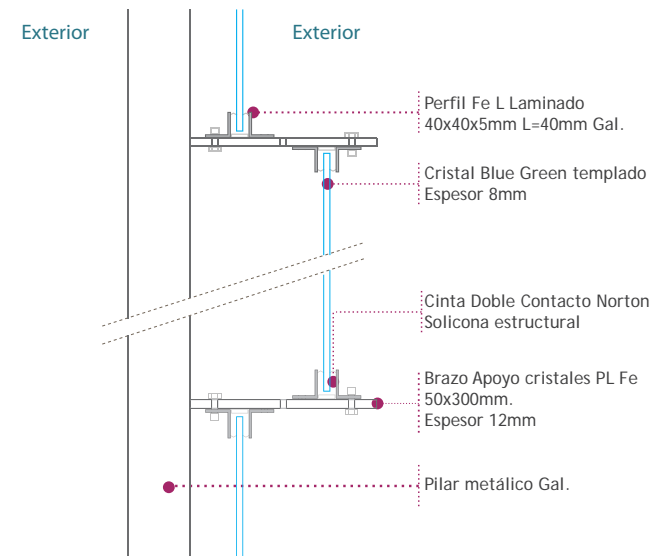


Figura 4.16: detalle de la segunda piel exterior.
Fuente: elaboración propia.



Figura 4.17: localización edificio tipo 1: Fachada combinada, sin protección solar.
Fuente: elaboración propia.

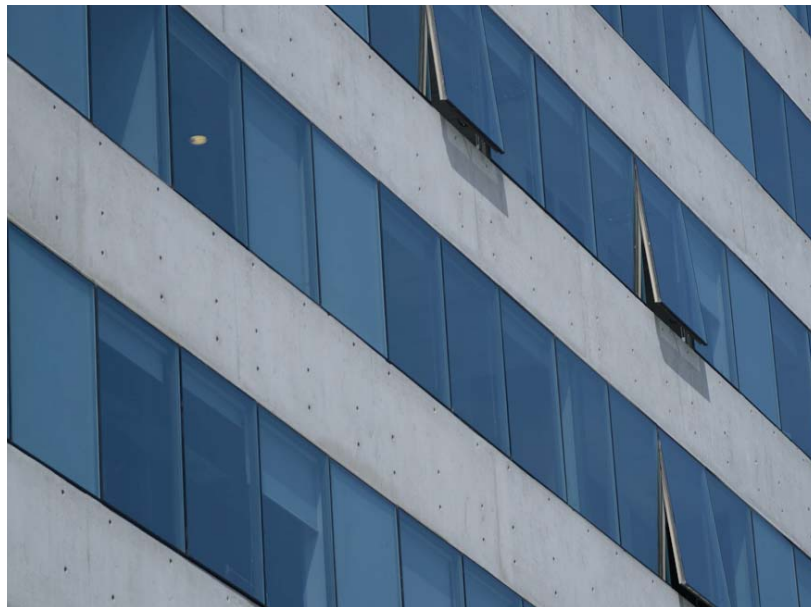


Imagen 4.14: Fachada edificio tipo 1: Fachada combinada, sin protección solar.
. Fuente: elaboración propia.

Edificio Tipo 1: Fachada combinada, sin protección solar.

Este edificio se localiza en el centro de la comuna de Providencia. Es un edificio de 10 pisos de altura, tres subterráneos para estacionamientos y 8.400 m² construidos. El edificio alberga 30 oficinas y un local comercial.

El programa:

En el primer piso, de planta rectangular (10 x 50 m), con el núcleo de circulaciones en el medio se encuentra el hall de entrada de doble altura, un local comercial y cuatro oficinas. En el segundo piso, también se encuentran cuatro oficinas y el piso 3 y 4 comparten la misma planta con 6 oficinas cada uno. Luego del piso 5 al 9, son plantas libre. En el piso 10 se encuentran las salas de máquina y en los tres subterráneos los estacionamientos.

La envolvente:

El edificio está construido en hormigón armado revestido por el interior con un enlucido de yeso y por su exterior, en alguna de sus fachadas, con un enchapado de albañilería.

Su envolvente la hemos catalogado como mixta, ya que es una combinación de vidrio translucido y envolvente opaca.

Todas las ventanas de las oficinas son de termopanel con perfiles de aluminio anodizado. Una de cada 5 ventanas aproximadamente son de abatir y el resto son fijas.

El vidrio interior del termopanel es incoloro de 4mm y el vidrio exterior Advantage Blue Green de Pilkington. Según el fabricante, el vidrio tiene los beneficios de un cristal reflectivo con un grado de reflexión mínima

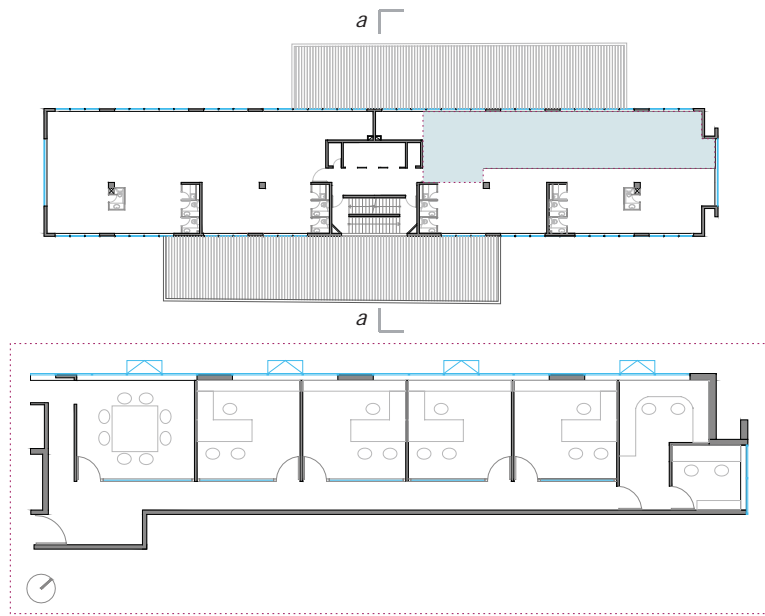


Figura 4.18: Arriba planta estándar edificio tipo 1: Fachada combinada, sin protección solar del piso completo. Abajo, detalle de la distribución de las oficinas.
Fuente: elaboración propia.

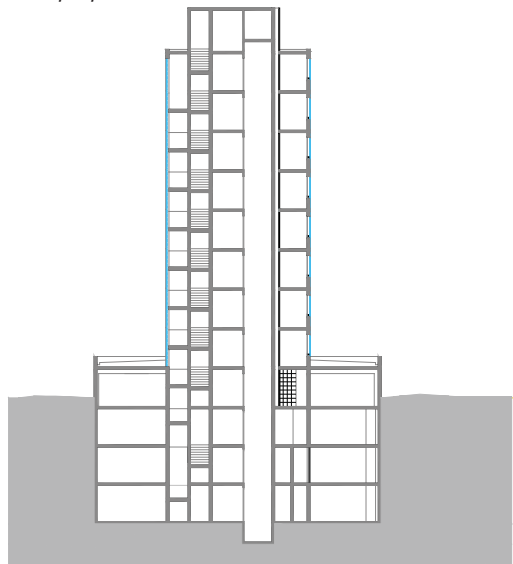


Figura 4.19: Corte aa edificio tipo 3 tipo 1: Fachada combinada, sin protección solar
Fuente: elaboración propia.

y una gran transparencia. Además este cristal posee una capa pirolítica de un material que lo hace ser un vidrio de baja emisividad, lo cual anteriormente sólo se lograba mediante el uso de un termopanel.

Los vidrios del muro cortina de la fachada de acceso también son de Advantage Blue Green de Pilkington, pero en las áreas de visión son de termopanel sellado con silicona estructural y en área de no visión son de vidrio termo endurecido pintado.

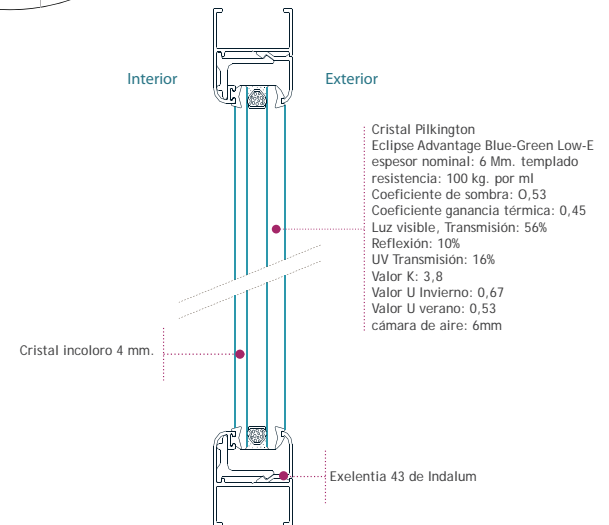
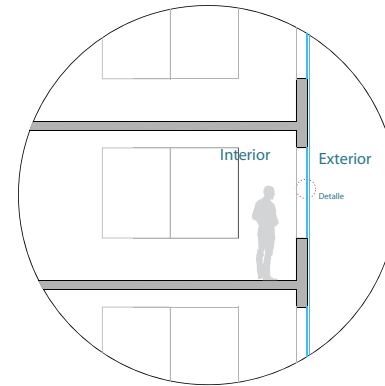


Figura 4.20: detalle de la envolvente vidriada.
Fuente: elaboración propia.

Mediciones

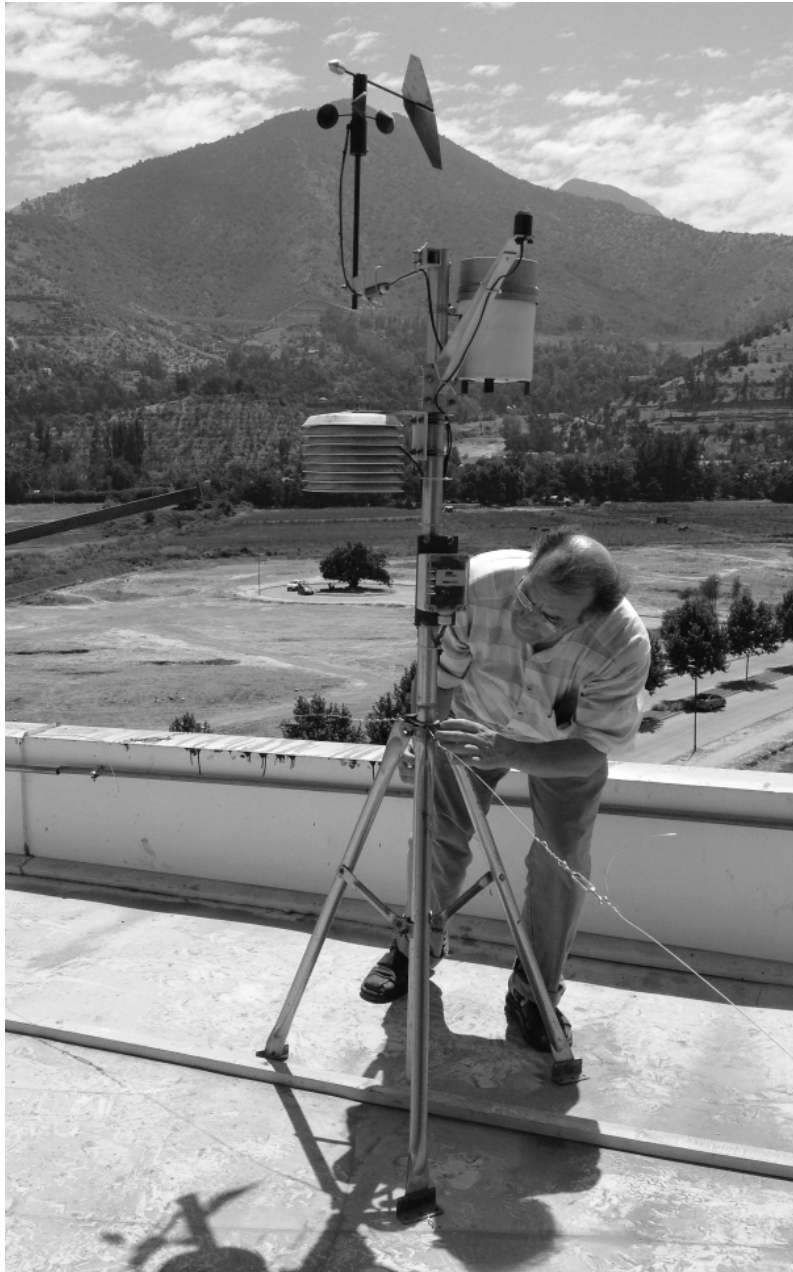


Imagen 5.1: estación meteorológicas localizada en Huechuraba
Fuente: elaboración propia.

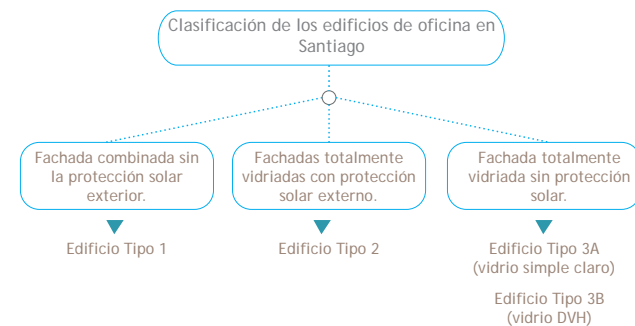
Mediciones:

Los parámetros ambientales o de confort, son aquellas características objetivables de un espacio determinado, que pueden valorarse en términos energéticos y que resumen las acciones que, en dicho espacio, reciben las personas que lo ocupan. Como tales, dichos parámetros pueden analizarse con independencia de los usuarios y son el objetivo directo del diseño ambiental en la arquitectura³¹.

Con el fin de definir un protocolo, las mediciones se han realizado en los diferentes edificios descritos anteriormente. Estas mediciones consideran temperatura interior y exterior, iluminación interior y la transmisión solar a través de las fachadas acristaladas.

Para realizar estas mediciones en los edificios seleccionados, se han escogido cuatro oficinas, cada una de ellas tiene una determinada orientación, sur, norte, este y oeste, en cada uno de estos edificios.

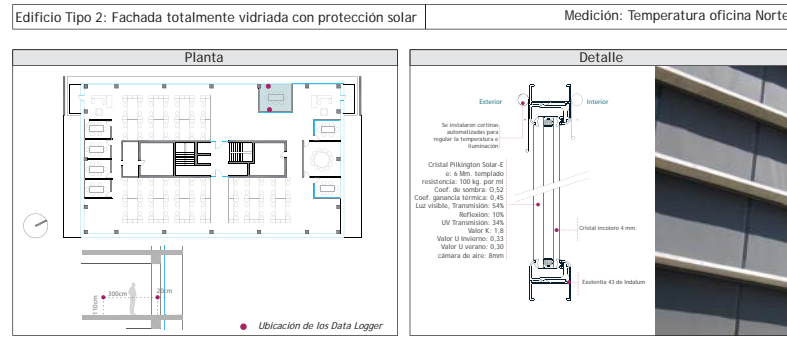
Para obtener los datos climáticos del exterior de cada uno de los centros de oficinas, se han localizado 2 estaciones meteorológicas. Una en Huechuraba y la otra en Providencia.



31 Serra, Rafael. Arquitectura y Climas. cuarta Edición. Editorial: Gustavo Gil, SA. Barcelona: 2004.

Mediciones de Temperatura y Humedad Relativa

Para realizar las mediciones continuas de temperatura y humedad relativa en cada una de las oficinas seleccionadas, se han localizado dos Data Logger o dispositivo electrónico, marca HOBO de dos canales, que registra los datos de temperatura y humedad en el tiempo. Cada uno de estos dispositivos, programado para registrar datos cada 10 minutos, se localizó a una altura de 1.10 metros sobre el nivel del suelo, uno cercano a la oficina, aproximadamente a unos 300 cm a partir de la ventana, cuidando que nunca le llegue el sol directo.



Las mediciones de temperatura y humedad relativa comenzaron en verano (Enero 2012) y cada dos semanas se retirando los datos registrados por los Data Logger.

Para el análisis de los resultados se ha escogido una semana representativa por cada temporada, una de verano y la otra de invierno. En estas semanas se han registrado las temperaturas más altas para el caso de la temporada de verano y las temperaturas más bajas para el caso de invierno.



Figura 5.1: fichas de tipo resumen de resultados
 Fuente: elaboración propia.

Para la presentación de los resultados, se han elaborado unas fichas, donde se resumen características de la envolvente, ubicación de los dispositivos y los resultados de verano e invierno. Se detalla los resultados de los días de fin de semana, por ser días, que en muchos casos, no se activa el sistema de climatización.

A continuación se analizarán los resultados de las oficinas más significativas de cada edificio en las diferentes temporadas. Para conocer los resultados del resto de las oficinas, se adjuntan las fichas de cada una de ellas a continuación de este capítulo.

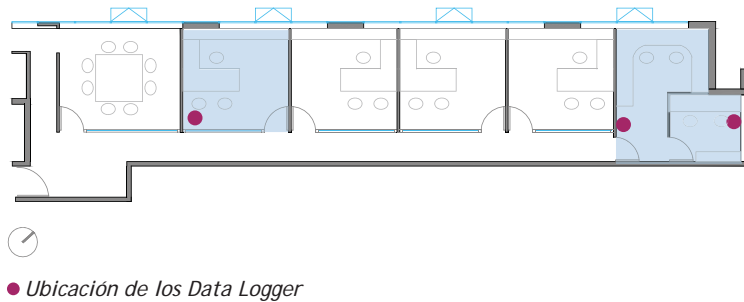


Figura 5.2: planta de localización de los data loggers, edificio tipo 1
Fuente: elaboración propia.

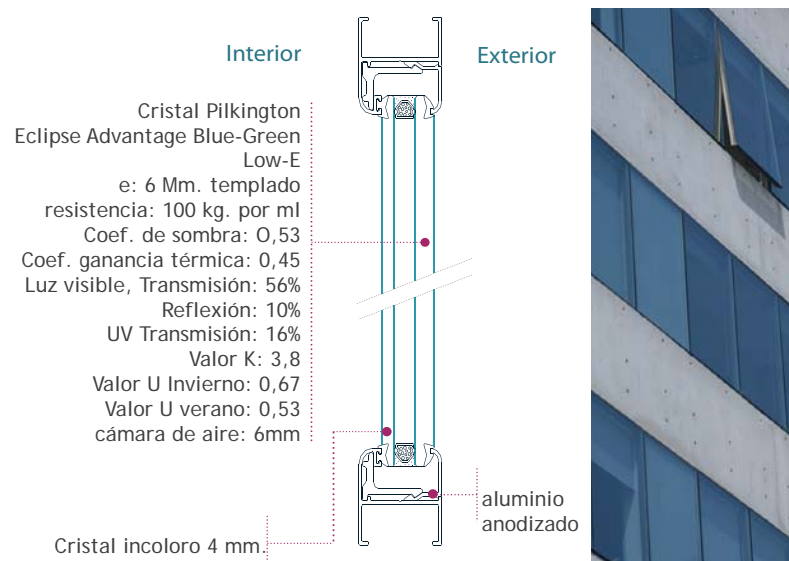


Figura 5.3: detalle de la envolvente
Fuente: elaboración propia.

Resultados Edificio Tipo 1: Fachada Combinada sin protección solar

En relación a establecer un protocolo de medición, se tomaron datos de temperatura y humedad relativa en forma continua en dos puntos de cada oficinas a 110 cm de altura sobre el nivel del suelo. El primer punto esta ubicado aproximadamente a 20 cm de la ventana, procurando que nunca le llegara sol directo y el segundo punto a 300 cm de la ventana, tal como se muestra en la figura 5.4.

La envolvente de este edificio se compone por fachada mixta entre hormigón armado de transmitancia 3,26 W/m²°C y Vidrio DVH de baja emisividad con las características que se ven en el detalle 5.3.

Para analizar los resultados, tomaremos los datos obtenidos de dos oficinas opuestas por cada temporada, para poder establecer comparaciones y conocer su comportamiento.

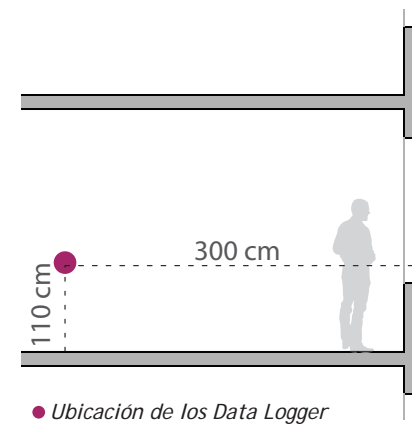


Figura 5.4: esquema en sección de localización de data logger
Fuente: elaboración propia.

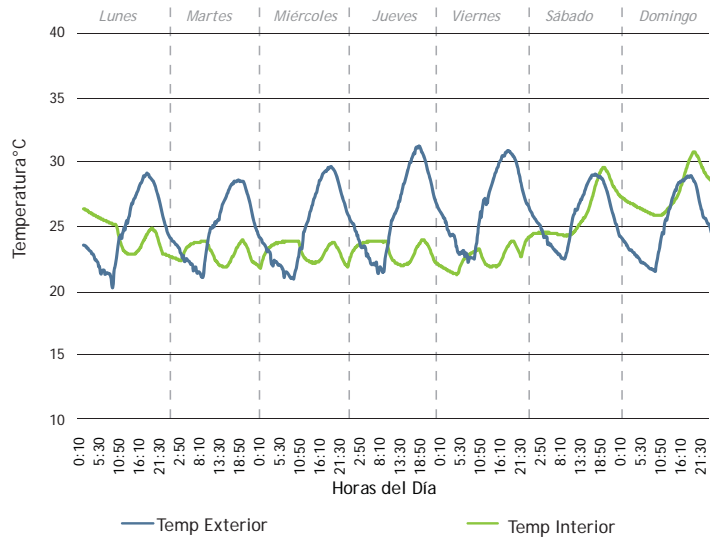


Gráfico 5.1: gráfico de registros de temperatura en una semana de verano en oficina norponiente
Fuente: elaboración propia.

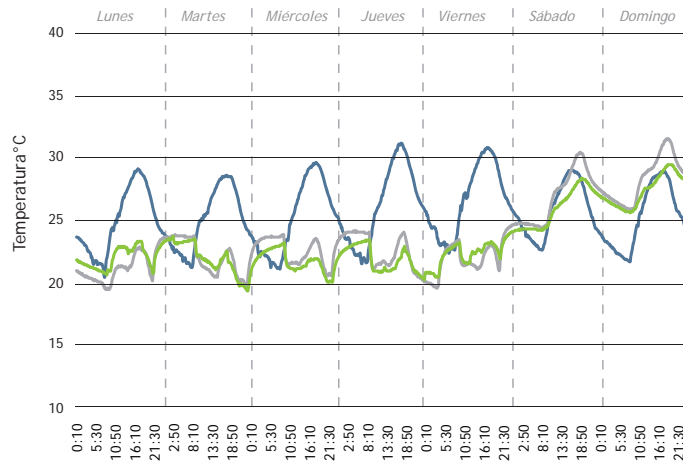


Gráfico 5.2: gráfico de registros de temperatura en una semana de verano en oficina nororiental.
Fuente: elaboración propia.

Resultados de verano

En azul se observa la temperatura exterior, presenta una oscilación térmica aproximadamente de 10°C entre el día y la noche, alcanzando temperaturas máximas de 32°C y una mínima de 20°C.

En verde se tiene la temperatura interior, medida a 300 cm aproximadamente de la ventana en ambas oficinas. Se puede observar que durante la semana laboral (de lunes a viernes) la temperatura interior se mantiene entre los 20 y 25°C producto del aire acondicionado, presentando unas alzas durante la noche debido a la inercia térmica del interior.

Los datos obtenidos del data logger cercano a la ventana, no serán comentados, ya que su comportamiento presenta características muy similares a la temperatura interior de los 300 cm, con excepción de algunos puntos donde se observa un alza entre 1 a 2°C de temperatura respecto a los datos obtenidos en el Data Logger del interior.

Respecto a los datos obtenidos de la humedad relativa interior de las oficinas durante el periodo de verano, se observó una variación promedio entre 45 y 55%, rango que se ha considerado de Confort tanto por ASHRAE 55 y entrevista con los usuarios.

Lo más interesante es observar el comportamiento de la temperatura interior durante el fin de semana, donde no hay presencia de aire acondicionado y se puede conocer el real desempeño higrotérmico del Edificio.

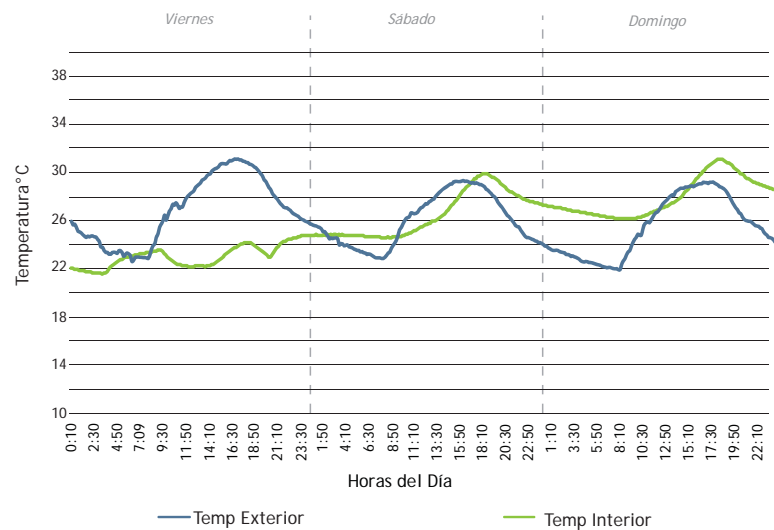


Gráfico 5.3: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de verano en oficina norponiente.
Fuente: elaboración propia.

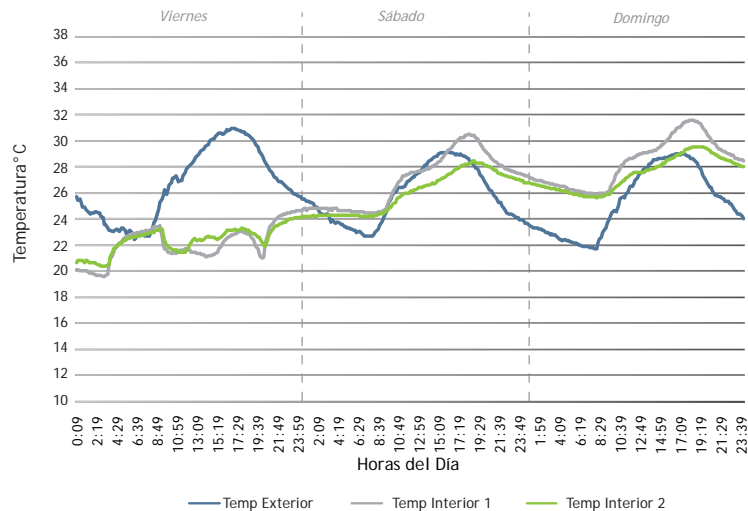


Gráfico 5.4: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de verano en oficina nororiental.
Fuente: elaboración propia.

Se observa un leve sobrecalentamiento en los días sábado y domingo, tanto para la oficina nororiental como norponiente.

La temperatura interior de la oficina nororiental, prácticamente no presenta temperatura más elevadas de la máxima registrada en el exterior durante el fin de semana, se mantiene entre los 26 y 29°C, siendo la máxima exterior 29°C.

Por el contrario, la temperatura obtenida cercana a la ventana, si bien mantiene un comportamiento similar a la temperatura interior, presenta un sobrecalentamiento entre 2 y 5°C aproximadamente sobre la temperatura máxima exterior registrada.

La temperatura interior de la oficina norponiente, presenta un sobrecalentamiento entre 2 y 4°C aproximadamente sobre la temperatura máxima exterior registrada.

En ambas oficinas se observa una baja oscilación interior entre 2 y 5°C aproximadamente en contraste con la oscilación térmica registrada ese fin de semana de 8°C. Además, se observa que el comportamiento de la temperatura interior presenta un retardo térmico de 2 horas aproximadamente, es decir, si la temperatura máxima exterior se alcanzó a las 17:00 hrs, la temperatura interior la obtuvo a las 19:00 hrs.

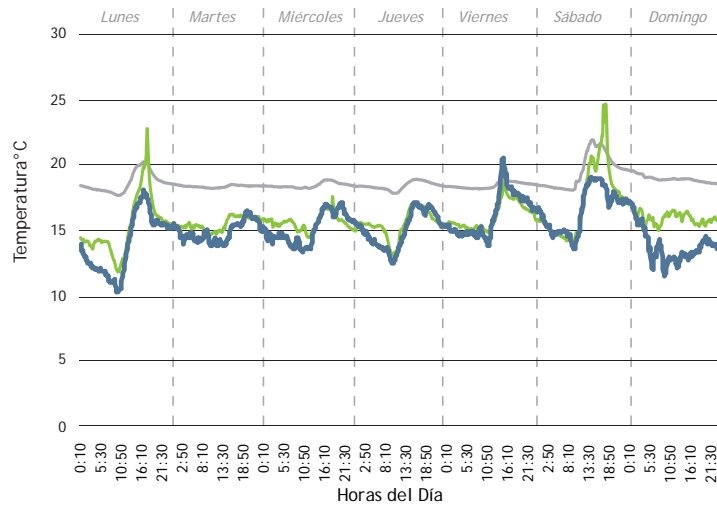


Gráfico 5.5: gráfico de registros de temperatura en una semana de verano en oficina norponiente
Fuente: elaboración propia.

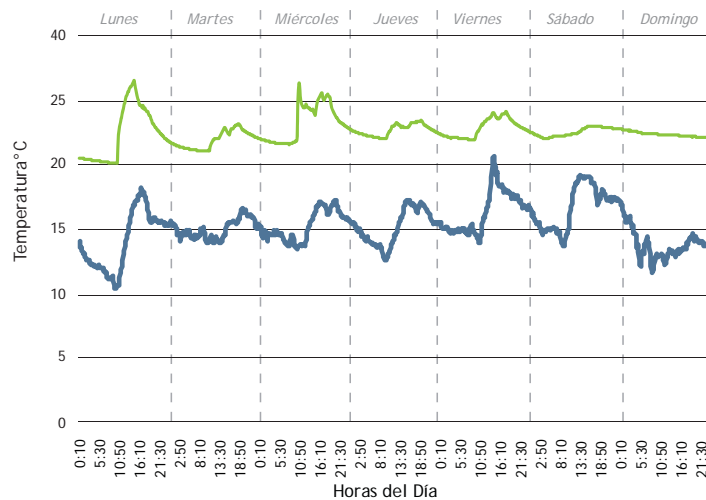


Gráfico 5.6: gráfico de registros de temperatura en una semana de verano en oficina nororiente.
Fuente: elaboración propia.

Resultados de Invierno

En azul se encuentra la temperatura exterior registrada durante una semana representativa de la temporada de invierno. La oscilación térmica promedio es aproximadamente de 5°C entre el día y la noche, alcanzando temperaturas máximas de 21°C y una mínima de 11°C.

En la oficina norponiente, se puede observar que la temperatura interior se mantiene estable entre los 18 y 19°C durante la jornada laboral (8:00-18:00hrs), solo se ve un aumento en el día sábado donde se apaga el termostato. La temperatura se mantiene constante a lo largo de la semana sin importar la variación en la temperatura exterior. Se puede ver que en los días de fin de semana la temperatura interior sigue el patrón de comportamiento de la temperatura exterior, por lo que se podría asumir, que cuando los equipos de aire acondicionado están desactivados (utilizados de lunes a viernes) el comportamiento de la oficina norte tendería a seguir el patrón de la temperatura exterior.

La diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es variable en los días de jornada laboral, ya que la temperatura que la temperatura interior varía mientras que la interior se mantiene constante. En los días de fin de semana se puede observar una diferencia de aproximadamente 5°C.

En la oficina nororiente se observa un comportamiento de la temperatura distinto al de la oficina Norte, la temperatura interior sigue a lo largo de toda la semana los patrones de comportamiento de la temperatura exterior pero con una diferencia de temperatura de 8°C. La oscilación térmica interior varía entre los 20°C y 27°C. Los registros mínimos tanto en el interior como en el exterior son en la madrugada, de 20°C y 11°C

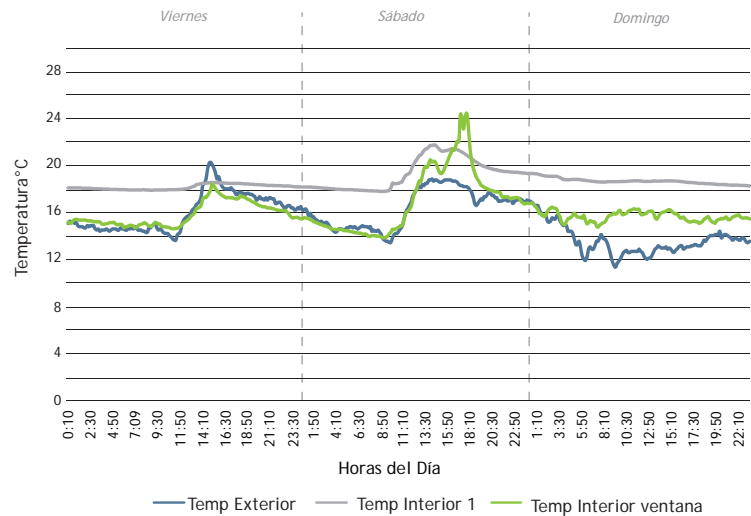


Gráfico 5.7: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de verano en oficina norponiente.
Fuente: elaboración propia.

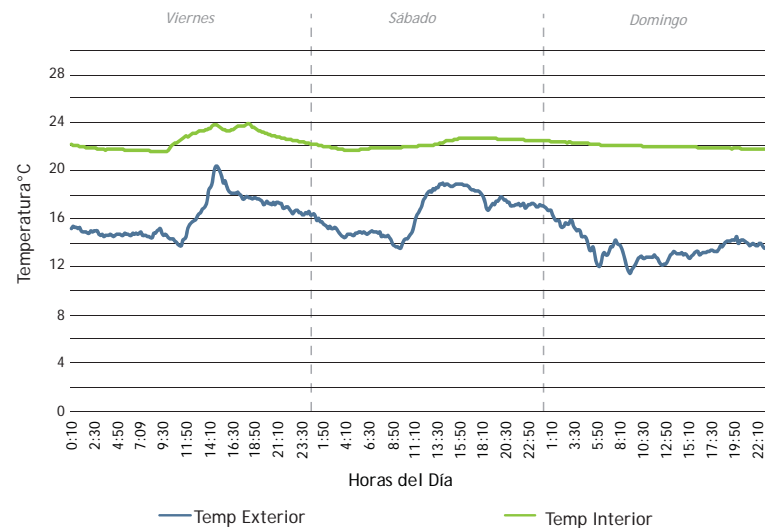


Gráfico 5.8: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de verano en oficina nororiente.
Fuente: elaboración propia.

respectivamente.

Al analizar los días de fin de semana, días sin acondicionamiento, se puede distinguir que la curva de temperatura interior sigue el comportamiento de los registros exteriores en ambas oficinas, pero 5°C sobre la curva exterior en la oficina norte y 7°C en la oficina poniente.

La oscilación térmica interior en la oficina norte es despreciable en los días de actividad laboral y es aproximadamente 4°C en el fin de semana y el día lunes, donde la máxima registrada es de 22°C y la mínima cercana a 18°C. En la oficina poniente la oscilación térmica promedio a lo largo de toda la semana es aproximadamente 5°C.

Respecto a los datos obtenidos de la humedad relativa interior de las oficinas durante el periodo de invierno, se observó un promedio de 41%, porcentaje que se ha considerado de Confort tanto por ASHRAE 55 y entrevista con los usuarios.

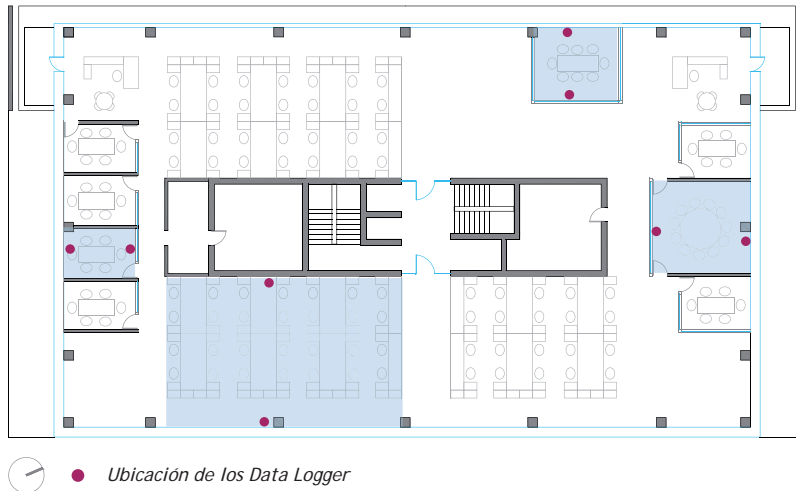


Figura 5.5: planta de localización de los data loggers, edificio 1.
Fuente: elaboración propia.

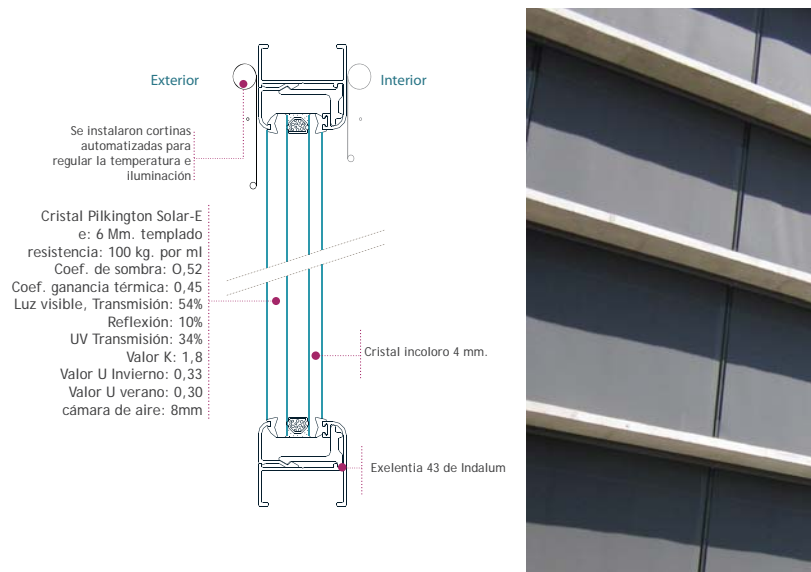


Figura 5.6: detalle envoltente
Fuente: elaboración propia.

Resultados Edificio Tipo 2: Fachada totalmente vidriada con protección solar

En relación a establecer un protocolo de medición, tal como en el caso anterior, se tomaron datos de temperatura y humedad relativa en forma continua en dos puntos de cada oficinas a 110 cm de altura sobre el nivel del suelo. En los casos de la oficina norte, oriente y poniente, el primer punto está ubicado aproximadamente a 20 cm de la ventana, procurando que nunca le llegara sol directo y el segundo punto a 300 cm de la ventana, tal como se muestra en la figura 5.7. En el caso de la oficina Sur, el primer data logger está ubicado aproximadamente a 20 cm de la ventana, mientras que el segundo data logger está ubicado a 900 cm, dada las características de la oficina.

La envoltente de este edificio se compone por fachada completamente vidriada de cristal DVH de baja emisividad con las características que se ven en la figura 5.6. Además, cuenta con una cortina exteriores automatizadas, que se accionan a por los cambios de radiación que le llega a la fachada, permitiendo regular la temperatura e iluminación interior.

Para analizar los resultados, tomaremos los datos obtenidos de dos oficinas opuestas por cada temporada, para poder establecer comparaciones y conocer su comportamiento.



Figura 5.7: esquema en sección de localización de data logger
Fuente: elaboración propia.

● Ubicación de los Data Logger

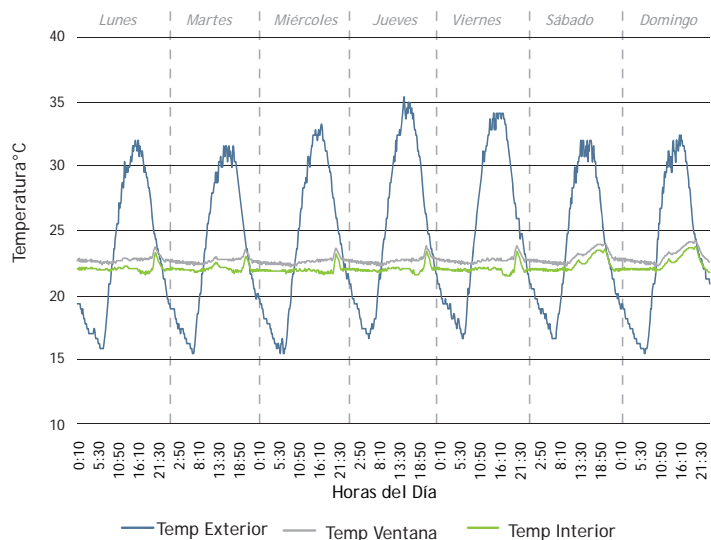


Gráfico 5.9: gráfico de registros de temperatura en una semana de verano en oficina norte.
Fuente: elaboración propia.

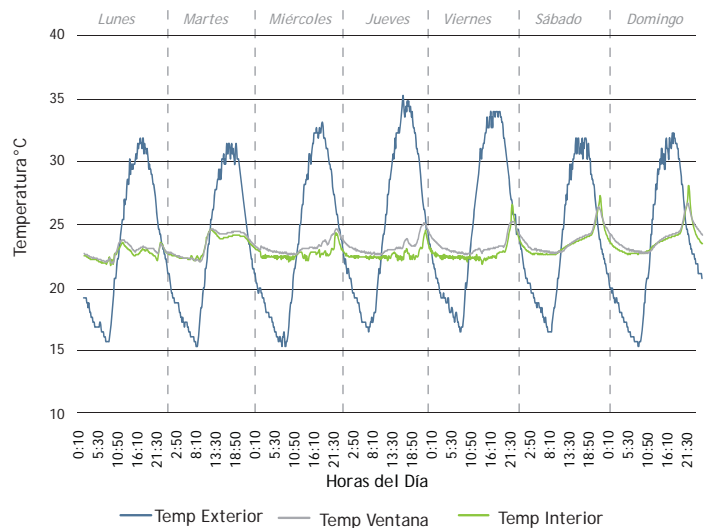


Gráfico 5.10: gráfico de registros de temperatura en una semana de verano en oficina Sur.
Fuente: elaboración propia.

Resultados de verano

En azul se observa la temperatura exterior registrada durante una semana representativa de la temporada de verano. La oscilación térmica presente es aproximadamente de 17°C entre el día y la noche, alcanzando temperaturas máximas de 35°C y una mínima de 15°C.

En verde se tiene la temperatura interior, medida a 300 cm aproximadamente de la ventana en ambas oficinas.

En la oficina norte se puede observar que durante la semana laboral (de lunes a viernes) la temperatura interior se mantiene alrededor de los 23°C, presentando unas alzas de temperatura durante la noche de 1°C. Esta constancia se debe al uso de un sistema de acondicionamiento que durante la noche es desconectado, dejando actuar a la pequeña inercia térmica del interior del edificio que provoca esa pequeña alza en la temperatura.

En los datos obtenidos en la oficina Sur, se puede observar, que al igual que en la oficina norte, la temperatura registrada de lunes a viernes, se mantiene prácticamente constante alrededor de los 23°C, presentando unas alzas entre 2 y 3°C. Posiblemente esto ocurre, por el mismo fenómeno que en el caso anterior, desconexión del sistema de acondicionamiento e influencia de la inercia térmica, pero la diferencia radica en el tamaño, esta oficina es mucho más grande, por lo que su control térmico es más complejo.

Los datos obtenidos del data logger cercano a la ventana, no serán comentados, ya que su comportamiento presenta características muy similares a la temperatura interior de los 300 cm, con excepción de

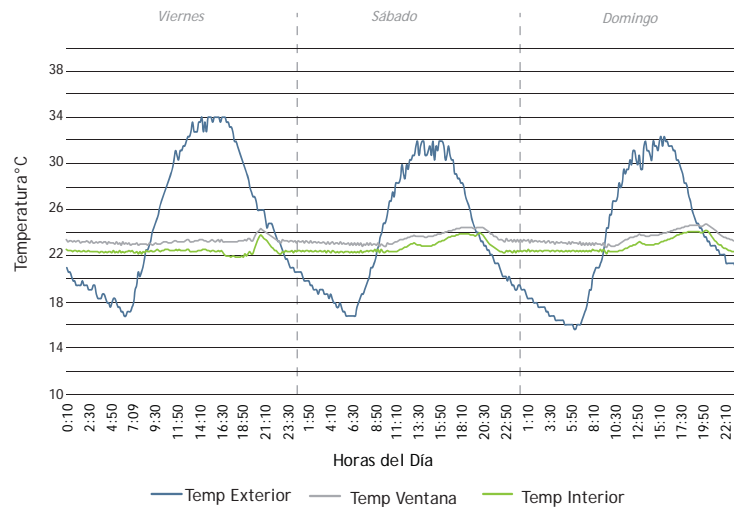


Gráfico 5.11: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de verano en oficina Norte.
Fuente: elaboración propia.

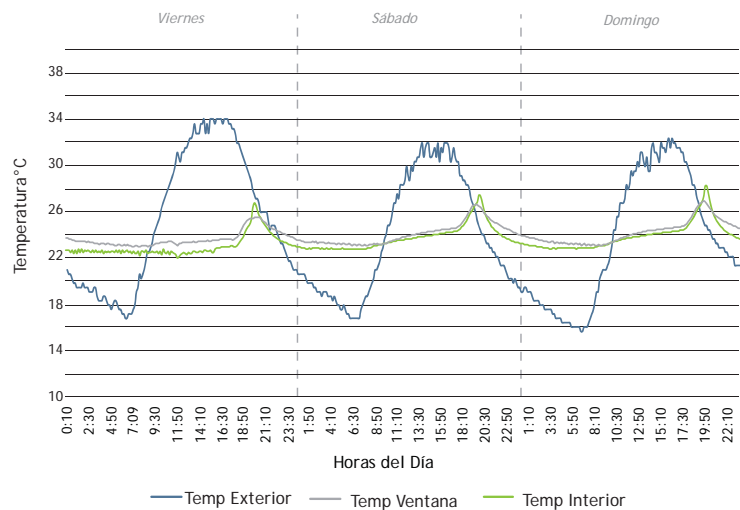


Gráfico 5.12: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de verano en oficina Sur.
Fuente: elaboración propia.

algunos puntos dónde se observa un alza entre 1 a 2°C de temperatura respecto a los datos obtenidos en el Data Logger del interior.

Respecto a los datos obtenidos de la humedad relativa interior de las oficinas durante el periodo de verano, se observó un promedio de 40%, porcentaje que se ha considerado de Confort tanto por ASHRAE 55 y entrevista con los usuarios.

Para conocer el real comportamiento de las oficinas del edificio se apartan los datos obtenidos durante viernes, sábado y domingo de la semana de verano, ya que los equipos de aire acondicionado no se encuentran funcionando durante el fin de semana.

Se puede observar en los gráficos 39 y 40 que la temperatura interior de las oficinas, durante el fin de semana, tiene un comportamiento similar a los días de semana, se identifica una leve diferencia en las alzas nocturnas que sobre pasan los 26°C, pero nunca hay sobrecalentamiento. Esto se debe principalmente al buen comportamiento de la envolvente de vidrio DVH de baja emisividad y la protección solar exterior que se activa al aumentar la radiación en la fachada.

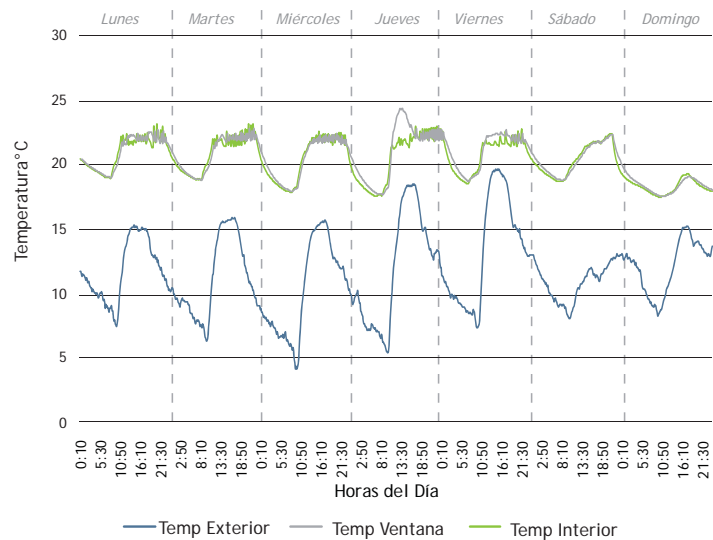


Gráfico 5.13: gráfico de registros de temperatura en una semana de invierno en oficina norte.

Fuente: elaboración propia.

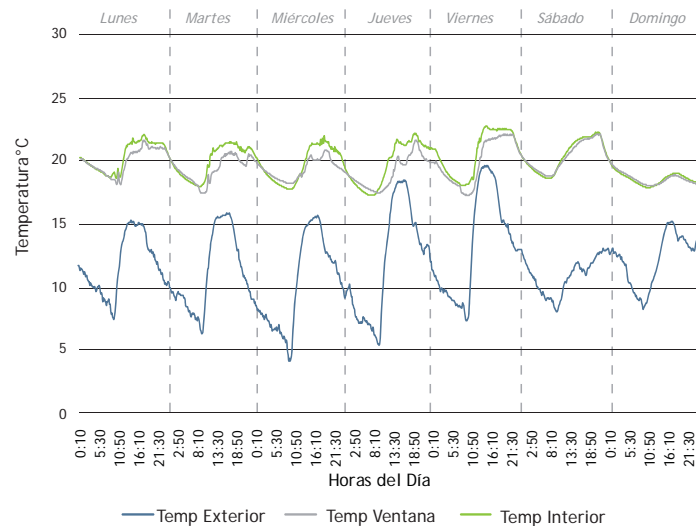


Gráfico 5.14: gráfico de registros de temperatura en una semana de invierno en oficina Sur.

Fuente: elaboración propia.

Resultados de Invierno

Al igual que en las mediciones de verano, en azul se encuentra la temperatura exterior registrada durante una semana representativa de la temporada de Invierno. La oscilación térmica presente es aproximadamente de 10°C entre el día y la noche, alcanzando temperaturas máximas de 19°C y una mínima de 4°C.

En verde y en gris se tienen las temperaturas interiores, medida a 300 cm y a 20 cm aproximadamente desde la ventana respectivamente. En este caso, como ambas temperaturas tiene un comportamiento similar, solo analizaremos la temperatura interior a los 300 cm.

En la oficina norte, se puede observar que la temperatura interior presenta una oscilación entre los 17°C y 23°C, manteniéndose estable en los 23°C durante la jornada laboral (8:00-18:00 hrs). La temperatura mínima de 17°C se presenta alrededor de las 5:00 am, hora que coincide en el registro de la temperatura mínima del exterior, aproximadamente 5°C. Este patrón se repite con algunos matices a lo largo de la semana laboral (lunes a viernes) y cambia su comportamiento en los días de fin de semana.

La diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es aproximadamente 10°C.

En la oficina Sur se observa un comportamiento de la temperatura similar al de la oficina Norte, con la diferencia que todo los registros se obtuvieron 1 o 2°C más bajos. Es decir, la oscilación térmica interior varía entre los 18°C y 22°C, manteniéndose estable en los 22°C durante la jornada laboral. Los registros mínimos tanto en el interior como en

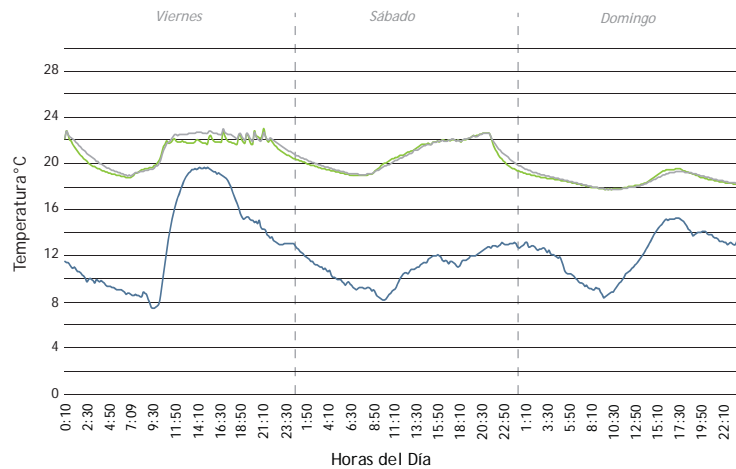


Gráfico 5.15: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de invierno en oficina Norte.
Fuente: elaboración propia.

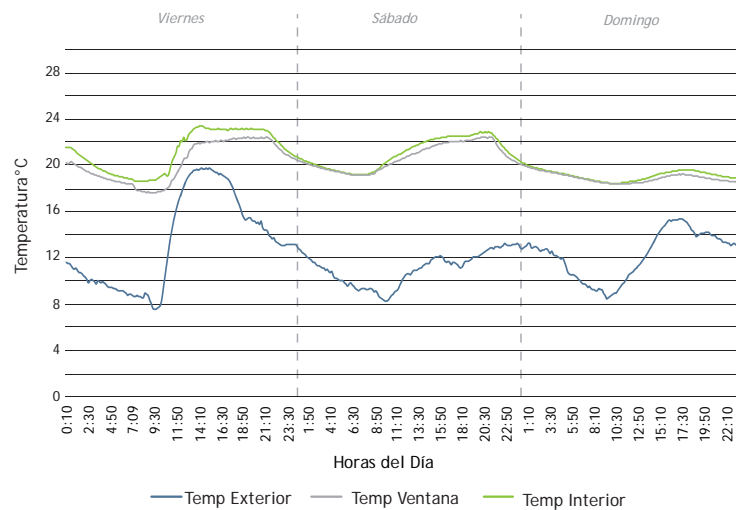


Gráfico 5.16: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de invierno en oficina Sur.
Fuente: elaboración propia.

el exterior son en la madrugada, de 17°C y 4°C respectivamente. La diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es de 10°C aproximadamente.

Esta oscilación alrededor de los 20°C, se debe principalmente a una fuente de calefacción, que logra una cierta estabilización de la temperatura durante el horario de trabajo.

Al analizar los días de fin de semana, días sin acondicionamiento, se puede distinguir que la curva de temperatura interior sigue el comportamiento de los registros exteriores, pero 10°C sobre la curva exterior, tanto en la oficina norte como en la oficina sur.

Para ambas oficinas, la oscilación térmica interior es de aproximadamente 5°C, donde la máxima registrada es de 23°C y la mínima cercana a 18°C. Durante la noche, la temperatura interior logra una leve estabilidad alrededor de los 18°C.

Respecto a los datos obtenidos de la humedad relativa interior de las oficinas durante el periodo de invierno, se observó un promedio de 39%, porcentaje que se ha considerado de Confort tanto por ASHRAE 55 y entrevista con los usuarios.

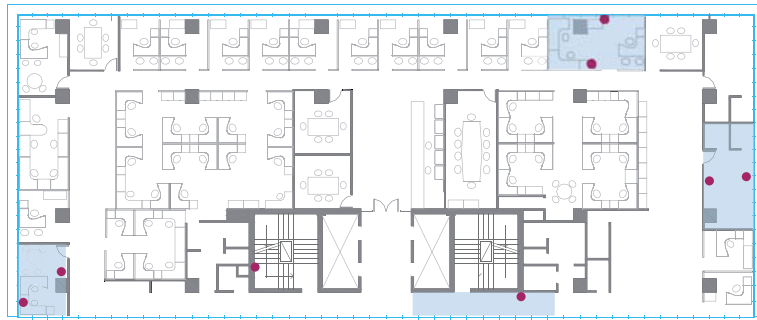


Figura 5.9: planta de localización de los data loggers, edificio 3A: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple
Fuente: elaboración propia.

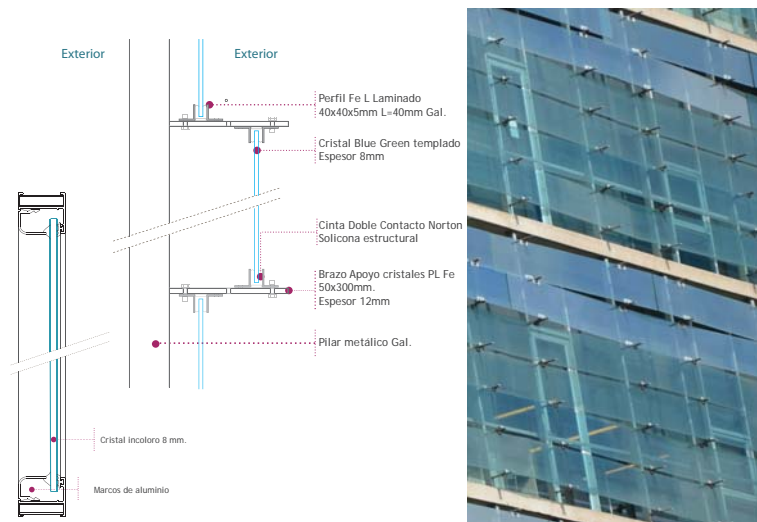


Figura 5.10: detalle envoltura
Fuente: elaboración propia.



Resultados Edificio Tipo 3A: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple

Al igual que en los casos anteriores, se registraron datos de temperatura y humedad relativa en forma continua en dos puntos de cada oficinas a 110 cm de altura sobre el nivel del suelo. El primer punto está ubicado aproximadamente a 20 cm de la ventana, procurando que nunca le llegara sol directo y el segundo punto a 300 cm de la ventana, tal como se muestra en la figura 5.11.

La envoltura de este edificio se compone por una primera piel, que separa el interior del exterior, completamente vidriada de cristal simple y claro. A una distancia de 60 cm hacia el exterior de la primera piel se encuentra otra superficie continua irregular vidriada con las características que se ven en la figura 5.10.

Para analizar los resultados, tomaremos los datos obtenidos de dos oficinas opuestas por cada temporada, para poder establecer comparaciones y conocer su comportamiento.

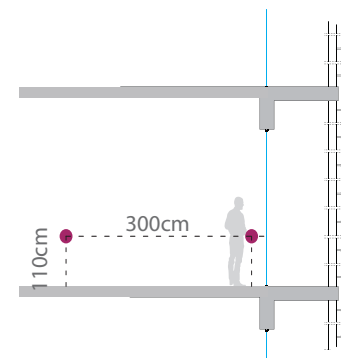


Figura 5.11: esquema en sección de localización de data loggers

Fuente: elaboración propia.

● Ubicación de los Data Logger

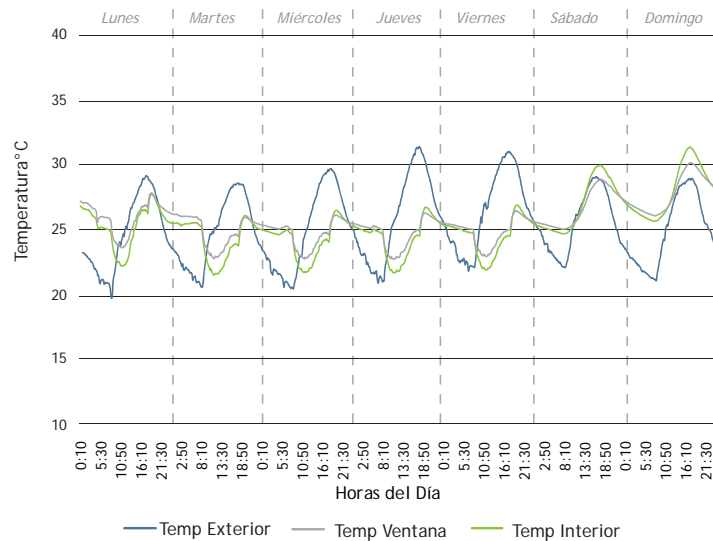


Gráfico 5.17: gráfico de registros de temperatura en una semana de verano en oficina Norte.

Fuente: elaboración propia.

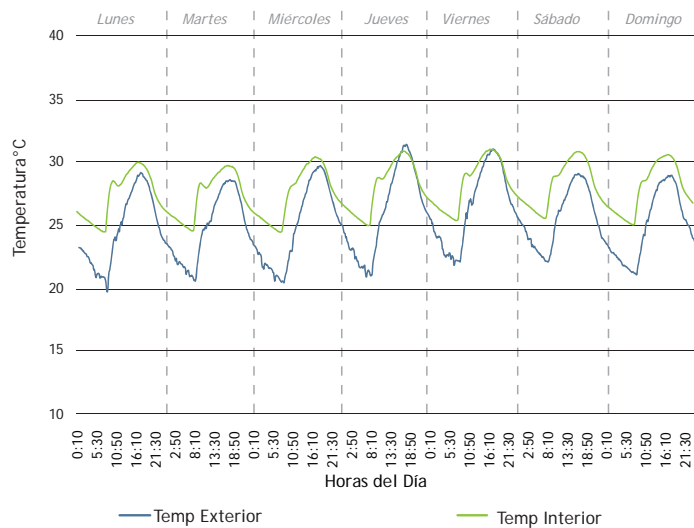


Gráfico 5.18: gráfico de registros de temperatura en una semana de verano en oficina Sur.

Fuente: elaboración propia.

Resultados de verano

En azul se observa la temperatura exterior, presenta una oscilación térmica aproximadamente de 10°C entre el día y la noche, alcanzando temperaturas máximas de 32°C y una mínima de 20°C.

En verde se tiene la temperatura interior, medida a 300 cm aproximadamente de la ventana en ambas oficinas, y en gris, la temperatura medida a 20 cm de la ventana de ambas oficinas.

En la oficina norte, se puede observar que durante la semana laboral (de lunes a viernes) la temperatura interior tiene una oscilación entre los 22 y 27°C. Su comportamiento oscilante responde en sentido inverso a la variación de temperatura exterior, manteniendo a partir de las 17:00 hrs un rango estable entre los 25°C. Vale decir, que durante la jornada laboral (8:00 a 18:00 hrs), se registran los valores más bajos de temperatura interior, debido al aire acondicionado, además se registra una diferencia interior-exterior de temperatura de aproximadamente 8°C.

En la oficina Sur, no existe aire acondicionado, por lo que cual se puede ver observar el real comportamiento del edificios. Se presenta una oscilación térmica interior de aproximadamente 5°C, alcanzando temperaturas máximas de 31°C y unas mininas de 25°C. Se identifica un sobrecalentamiento interior entre 1 y 2°C sobre las temperaturas exteriores máximas registradas, y una diferencia máxima entre el interior y el exterior de 5°C.

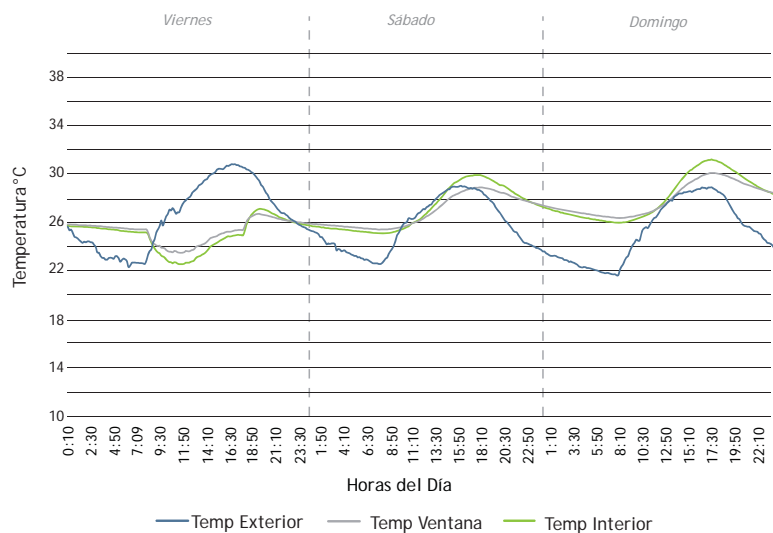


Gráfico 5.19: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de verano en oficina Norte.

Fuente: elaboración propia.

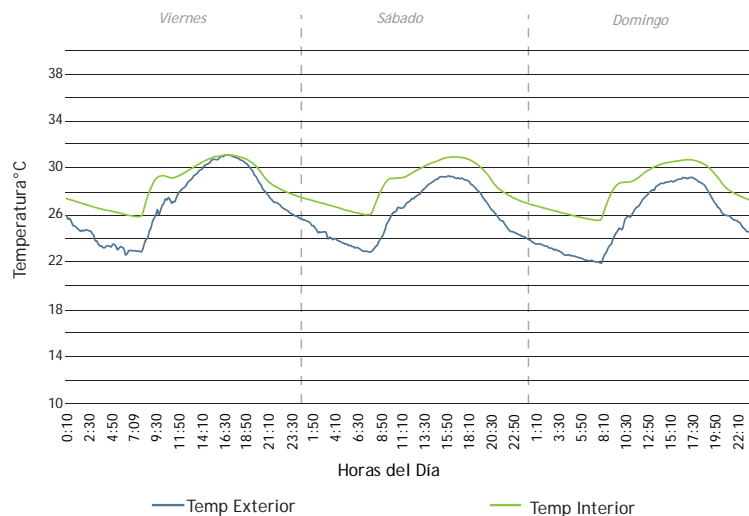


Gráfico 5.20: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de verano en oficina Sur.

Fuente: elaboración propia.

El comportamiento oscilatorio a través del tiempo de la temperatura interior va en relación a la temperatura exterior, sobrepasando en 2°C promedio las máximas registradas y manteniéndose 5°C sobre las mínimas registradas en el exterior. En ningún momento se observa estabilidad en la temperatura.

Observando en detalle los registros de fin de semana (sábado y domingo), días en los cual no está en funcionamiento el equipo de aire acondicionado, podemos identificar, en el caso de la oficina norte, que el comportamiento de la temperatura es muy diferente que en los días laborales.

La estabilidad de temperatura registrada, continua alrededor de los 26°C en las horas nocturnas, pero a diferencia de un día laboral, la temperatura del fin de semana entre 8:00 y 17:00 alcanza su mayor ascenso, sobrepasando la temperatura máxima exterior entre 1 y 2°C.

En el caso de la oficina Sur, al no existir en ningún momento climatización, el comportamiento de la temperatura a través del tiempo se mantiene similar que a los días de semana. Las variantes de temperatura interior entre día y noche, se observa que tienen el mismo comportamiento que la temperatura registrada en el exterior, pero con un sobrecalentamiento entre 2 y 4°C.

Respecto a los datos obtenidos de la humedad relativa interior de las oficinas durante el periodo de verano, se observó un promedio de 39%, porcentaje que se ha considerado de Confort tanto por ASHRAE 55 y entrevista con los usuarios.

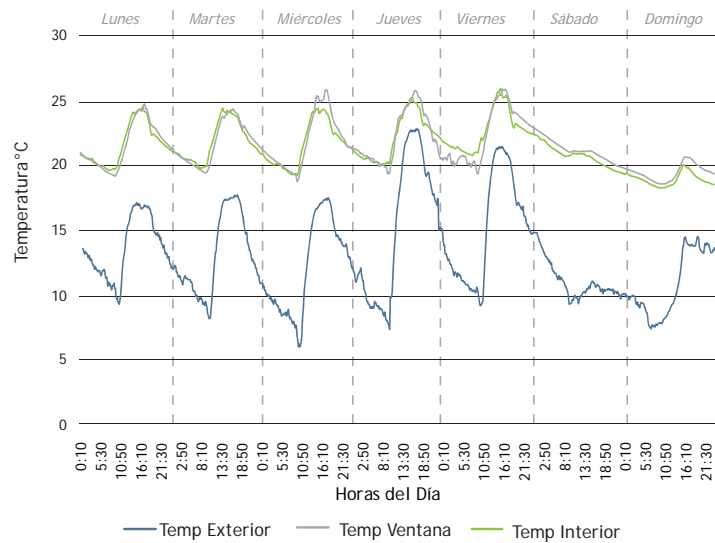


Gráfico 5.21: gráfico de registros de temperatura en una semana de invierno en oficina Norte.

Fuente: elaboración propia.

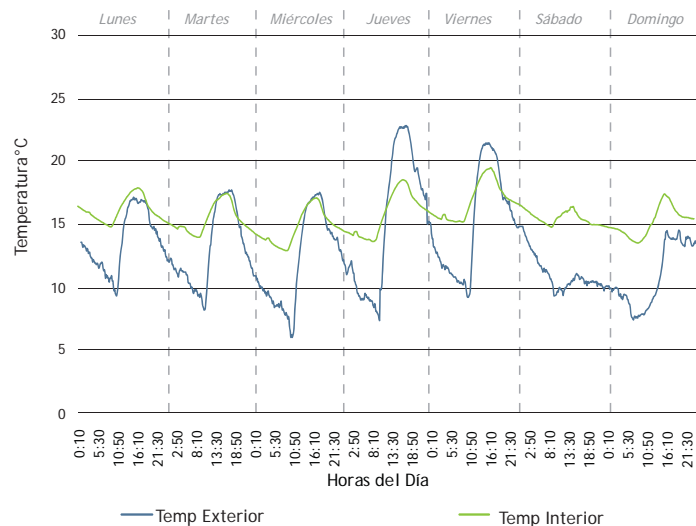


Gráfico 5.22: gráfico de registros de temperatura en una semana de invierno en oficina Sur.

Fuente: elaboración propia.

Resultados de Invierno

En azul se observa la temperatura exterior, que presenta una oscilación térmica aproximadamente de 12°C entre el día y la noche, alcanzando temperaturas máximas de 23°C y una mínima de 6°C.

En verde y en gris se representan las temperaturas interiores, medida a 300 cm y a 20 cm aproximadamente desde la ventana respectivamente. En este caso, como ambas temperaturas tiene un comportamiento similar, solo analizaremos la temperatura interior a los 300 cm.

En la oficina norte, se distingue una oscilación térmica interior de 5°C, presentando máximas de 25°C alrededor de las 16:00 y mínimas de 20°C aproximadamente en la madrugada. Este comportamiento oscilatorio, distinguido entre lunes y viernes, va en relación al comportamiento de la curva de temperatura exterior, coincidiendo el horario del registro de las máximas y las mínimas.

Si bien la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior son aproximadamente 8°C, en el interior nunca se logra estabilidad térmica, esto se debe a la gran pérdida que existe por la envolvente, a pesar del uso de un sistema de climatización.

En la oficina Sur, el registro de temperatura es mucho más bajo que en el caso anterior, ya es un recinto que no utiliza sistema de climatización.

Al igual que en la oficina norte, el comportamiento de la curva de temperatura interior, va en relación al comportamiento de la temperatura exterior, ya que coinciden los horarios donde se han registrados las mínimas y las máximas tanto interiores como exteriores.

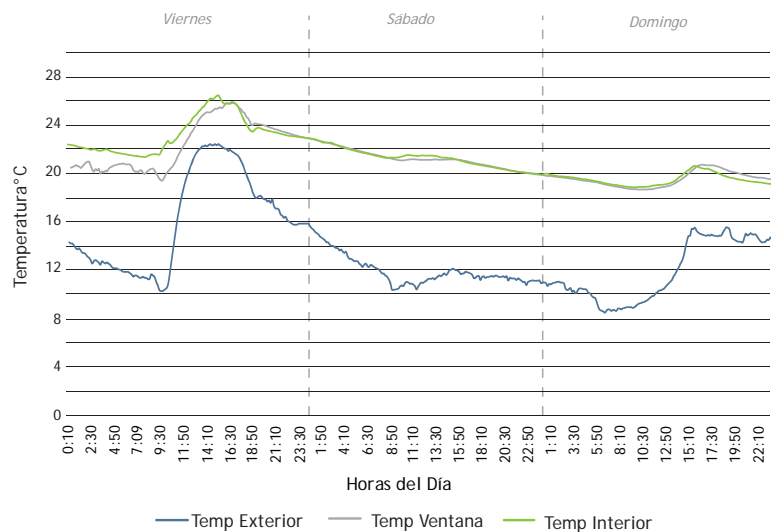


Gráfico 5.23: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de invierno en oficina Norte.
Fuente: elaboración propia.

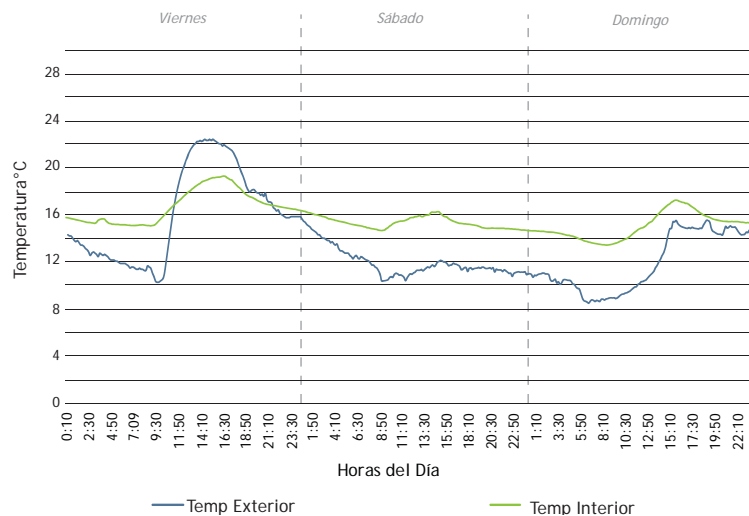


Gráfico 5.24: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de invierno en oficina Sur.
Fuente: elaboración propia.

La oscilación térmica interiores varía entre 2 y 5°C, donde las máximas registradas son 18°C y las mínimas 13°C durante la semana laboral (lunes a viernes). La temperatura interior en ningún momento logra estabilizarse.

Durante el fin de semana, este patrón oscilante se pierde debido principalmente a dos factores: no está en funcionamiento el sistema climatizado y la temperatura exterior presentó una mínima oscilación entre el día y la noche.

Durante los días sábado y domingo, a pesar que se registraron las temperaturas exteriores más bajas de la semana, la temperatura interior de la oficina norte se mantuvo entre los 20 y 22°C. Esta diferencia de 10°C sin sistema de calefacción, se debe principalmente a la inercia térmica presente en el interior.

En el caso de la oficina Sur, la temperatura interior se mantiene entre los 16°C y 14°C, mucho más baja que en la oficina interior, debido principalmente porque a este lado de la fachada, al ser orientación sur, nunca le llega el sol.

Respecto a los datos obtenidos de la humedad relativa interior de las oficinas durante el periodo de verano, se observó un promedio de 17%, porcentaje que se ha considerado de Confort tanto por ASHRAE 55 y entrevista con los usuarios.

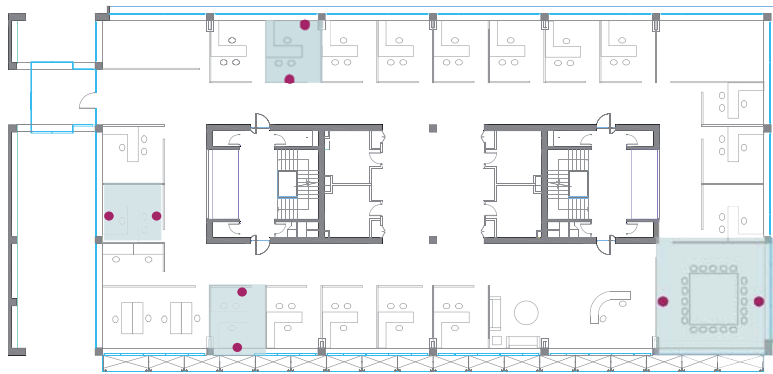


Figura 5.12: planta de localización de los data loggers, edificio 3b: Fachada totalmente vidriada, con vidrio doble.
Fuente: elaboración propia.

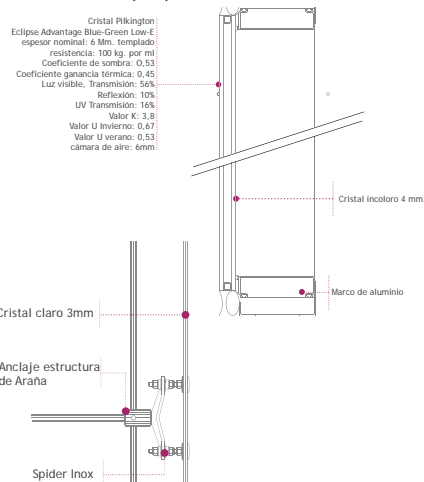


Figura 15.3: detalle envoltente
Fuente: elaboración propia.

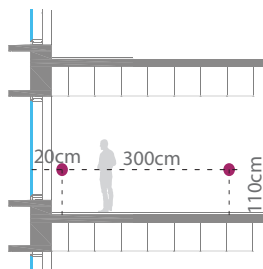


Figura 5.14: esquema en sección de localización de data loggers
Fuente: elaboración propia.

● Ubicación de los Data Logger

Resultados Edificio Tipo 3B: Fachada totalmente vidriada, con vidrio Doble

Al igual que en los casos anteriores, se registraron datos de temperatura y humedad relativa en forma continua en dos puntos de cada oficinas a 110 cm de altura sobre el nivel del suelo. El primer punto está ubicado aproximadamente a 20 cm de la ventana, cuidando que nunca le llegara sol directo y el segundo punto a 300 cm de la ventana, tal como se muestra en la figura 5.14.

La envoltente de este edificio se compone por una primera piel de doble vidriado hermético de baja emisividad, según las características que se pueden observa en la figura 55, además de un pequeño porcentaje de hormigón armado con una transmitancia de $2,1 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

La envoltente de la fachada Sur, además de la primera piel anteriormente descrita, tiene una segunda piel de muro cortina de vidrio simple y claro de espesor 4 mm. Figura 5.13.

En la fachada poniente, a 8 metros de la primera piel, se encuentra un muro de hormigón armado del alto de todo el edificio.

Para analizar los resultados, tomaremos los datos obtenidos de dos oficinas opuestas por cada temporada, para poder establecer comparaciones y conocer su comportamiento. El resultado del resto de las oficinas se puede consultar en las fichas de medición.

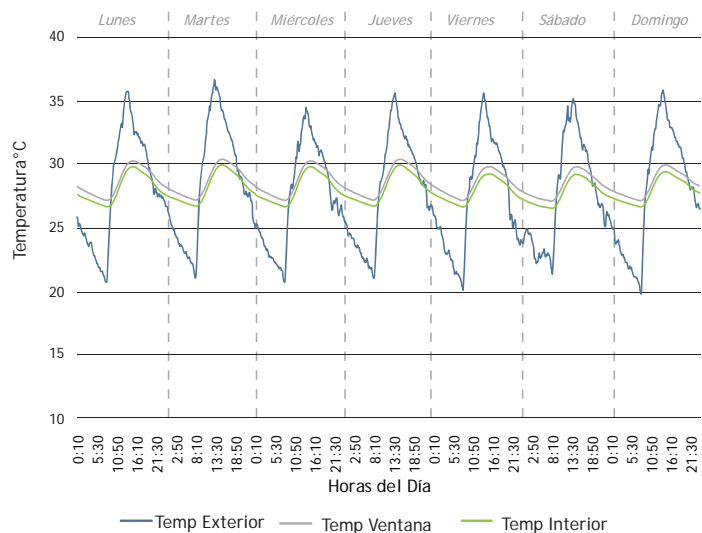


Gráfico 5.25: gráfico de registros de temperatura en una semana de verano en oficina Norte.

Fuente: elaboración propia.

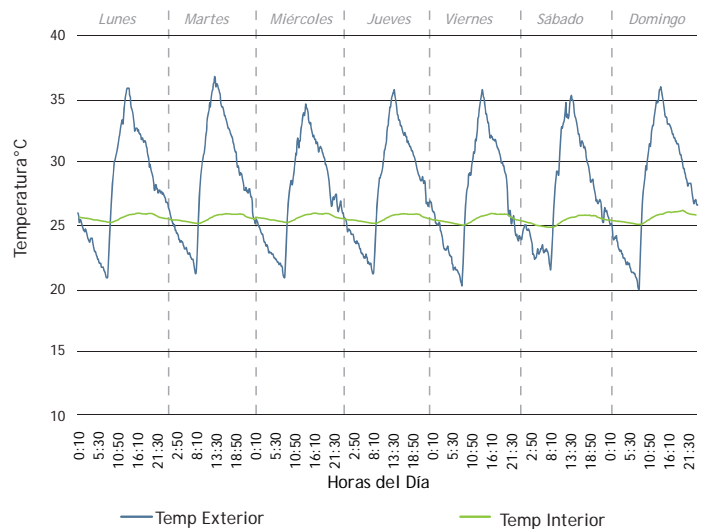


Gráfico 5.26: gráfico de registros de temperatura en una semana de verano en oficina Sur.

Fuente: elaboración propia.

Resultados de verano

En azul se observa la temperatura exterior, que presenta una oscilación térmica aproximadamente de 15°C entre el día y la noche, alcanzando temperaturas máximas sobre los 35°C y una mínima cercana a los 20°C.

En verde se tiene la temperatura interior, medida a 300cm aproximadamente de la ventana en ambas oficinas, y en gris, la temperatura medida a 20 cm de la ventana de ambas oficinas. Como ambas temperaturas tienen un comportamiento similar y la diferencia entre ellas no alcanza 1°C, se comentará sólo la temperatura interior.

En la oficina norte, que no utiliza aire acondicionado, se puede observar que la temperatura interior tiene una oscilación térmica entre los 27 °C y 30 °C que está en relación al comportamiento de la temperatura registrada en el exterior, es decir, se registran las temperaturas máximas interiores al mismo momento que en el exterior, con una diferencia de aproximadamente 5°C, siendo la interior la más baja. En el caso del registro de las temperaturas mínimas, se observa lo mismo, las temperaturas mínimas prácticamente coinciden manteniendo una diferencia de 8°C, siendo en este caso, la temperatura interior la más alta.

En el caso de la oficina Sur, la temperatura interior, prácticamente se podría declarar constante en 25°C, ya que presenta una oscilación mínima de 1°C, entre el día y la noche. La diferencia que presenta con el exterior es aproximadamente 12°C durante el día y 4°C durante la noche.

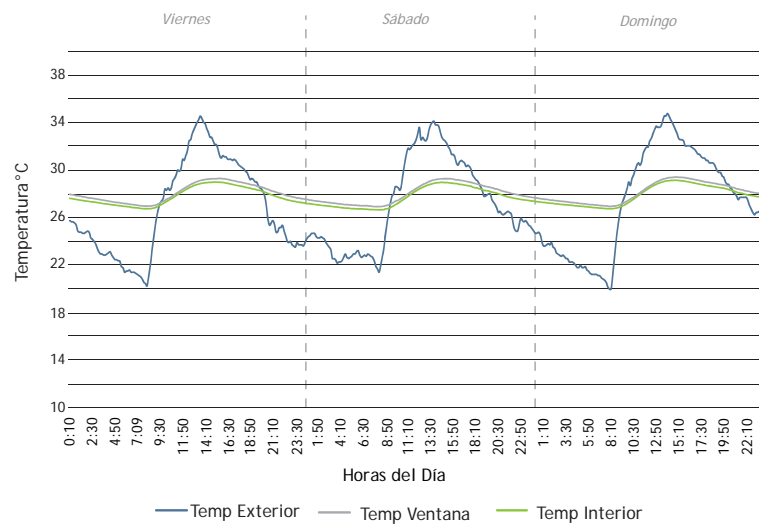


Gráfico 5.27: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de verano en oficina Norte.

Fuente: elaboración propia.

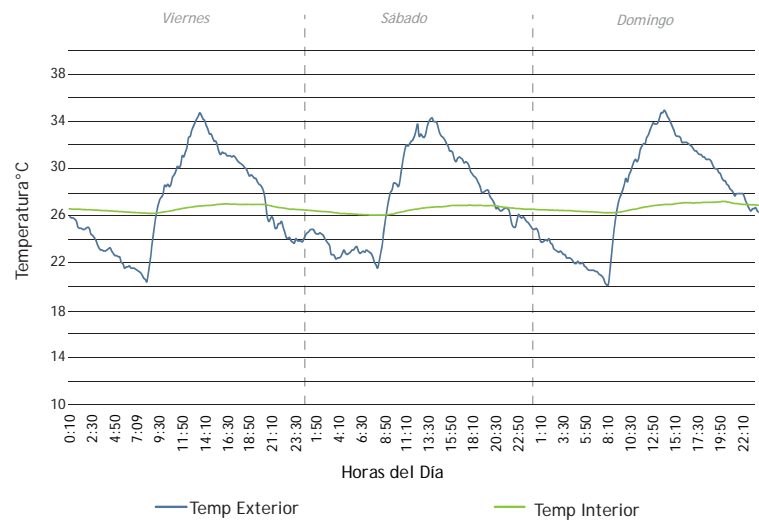


Gráfico 5.28: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de verano en oficina Sur.

Fuente: elaboración propia.

Respecto a los detalles de los registros de temperatura durante el fin de semana, se puede observar que el comportamiento oscilatorio a través del tiempo de la temperatura no presenta grandes diferencias con los registros durante la semana en ambas oficinas. En la oficina norte, esto se debe a que es una oficina vacía sin aire acondicionado. En el caso de la oficina sur, la estabilidad que presenta la temperatura se debe principalmente al uso continuo del sistema de climatización.

Respecto a los datos obtenidos de la humedad relativa interior de las oficinas durante el periodo de verano, se observó un promedio de 37%, porcentaje que se ha considerado de Confort tanto por ASHRAE 55 y entrevista con los usuarios.



Imagen 5.2: Instalando los equipos de medición

Fuente: elaboración propia.

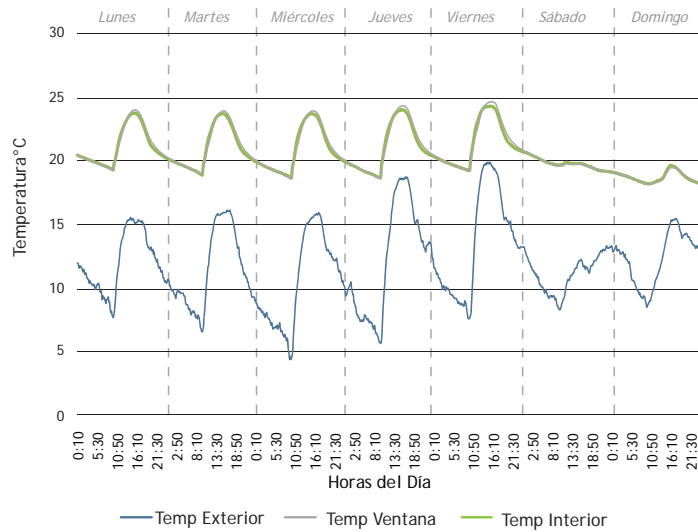


Gráfico 5.29: gráfico de registros de temperatura en una semana de invierno en oficina Norte.

Fuente: elaboración propia.

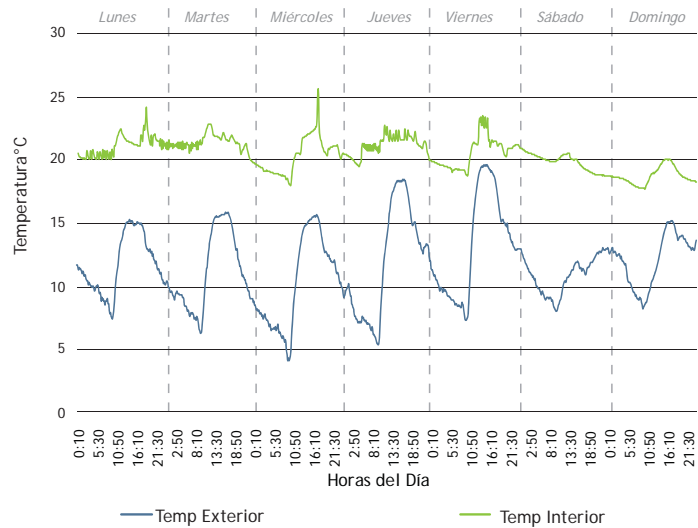


Gráfico 5.30: gráfico de registros de temperatura en una semana de invierno en oficina Sur.

Fuente: elaboración propia.

Resultados de Invierno

En azul se observa la temperatura exterior, que presenta una oscilación térmica aproximadamente de 12°C entre el día y la noche, alcanzando temperaturas máximas de 23°C y una mínima de 6°C.

En verde y en gris se representan las temperaturas interiores, medida a 300 cm y a 20 cm aproximadamente desde la ventana respectivamente. En este caso, como ambas temperaturas tiene un comportamiento similar, solo analizaremos la temperatura interior a los 300 cm.

La oficina norte, sin sistema de climatización, presenta temperaturas con un comportamiento similar a la curva de la temperatura exterior, a diferencia que se mantiene aproximadamente a 8°C sobre la temperatura exterior.

Analizando un día de la semana, podemos observar que las temperaturas más bajas (18°C) se presentan en la madrugada, mientras que las más altas (24°C) se presentan alrededor de las 16:00 hrs, presentando oscilación térmica interior de aproximadamente 6°C. En ningún momento se observa estabilidad en los registros de temperatura interior.

En el caso de esta semana, este comportamiento se repite de lunes a viernes, cambiando el fin de semana principalmente por una baja en la temperatura exterior. En el caso que la temperatura exterior no tenga un cambios, es decir, se comporte periódicamente igual, no debería existir cambios en el interior, ya que no hay un sistema de climatización que lo distorsione.

En la oficina sur, la temperatura interior se mantiene entre los 20°C y 23°C promedio, presentando una oscilación térmica de 3°C.

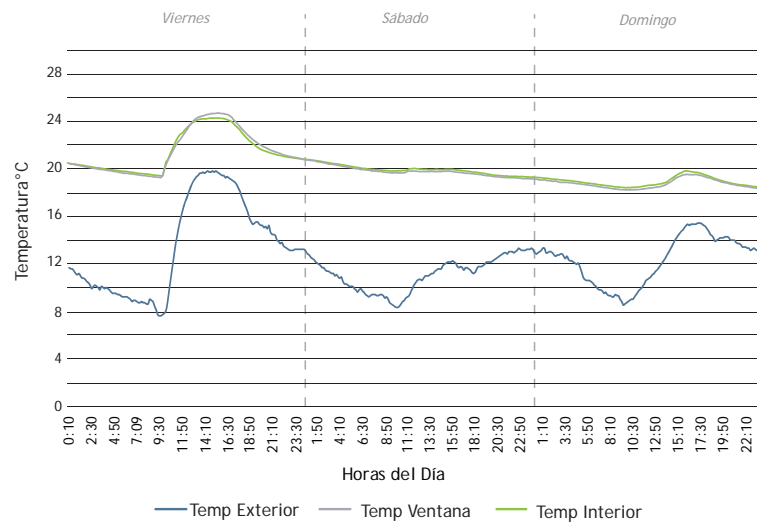


Gráfico 5.31: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de invierno en oficina Norte.
Fuente: elaboración propia.

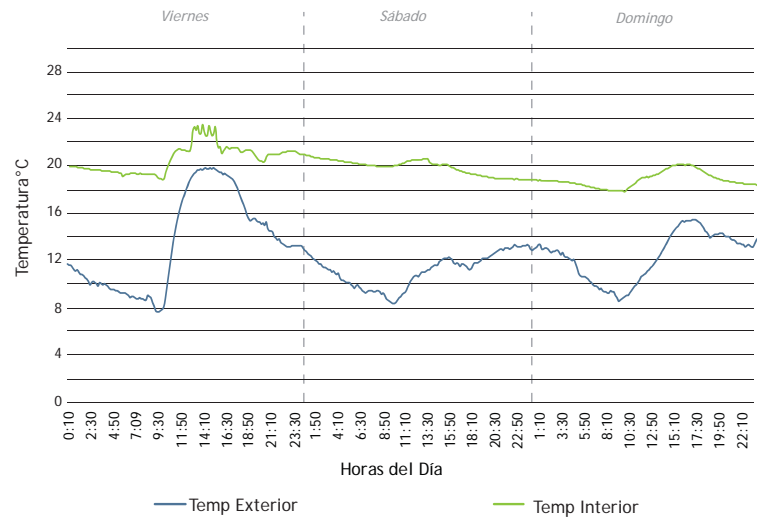


Gráfico 5.32: gráfico de registros de temperatura en un fin de semana de invierno en oficina Sur.
Fuente: elaboración propia.

El comportamiento a través del tiempo, no tiene un ritmo, como en el caso anterior, por el contrario, presenta cierta estabilización en torno a los 20°C en diferentes horas y en diferentes días. Seguramente, esto se debe a que fue utilizada la oficina en esos momentos.

La diferencia interior exterior, varía entre 12°C y 5°C.

Durante los días de fin de semana, donde no está en utilización el sistema de acondicionamiento y tampoco hay interacción de personas, se puede observar el real funcionamiento de las diferentes oficinas. En este caso podemos distinguir que prácticamente no hay diferencias térmicas entre la oficina norte y la oficina sur de este edificio.

La temperatura interior se mantiene entre los 18°C y 20°C y presenta una diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de aproximadamente 10°C.

Respecto a los datos obtenidos de la humedad relativa interior de las oficinas durante el periodo de verano, se observó un promedio de 20%, porcentaje que se ha considerado de Confort tanto por ASHRAE 55 y entrevista con los usuarios.

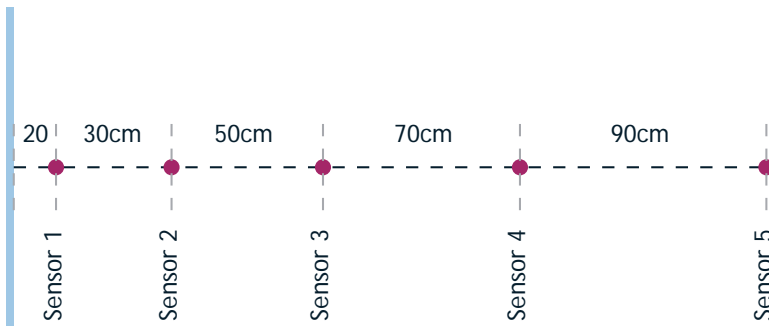


Figura 5.15: Localización de sensores de iluminación según protocolo.
Fuente: elaboración propia.

N° de sensor	Distancia con respecto a la ventana (cm)	Distancia con respecto a sensor anterior (cm)
Sensor 1	20	-
Sensor 2	50	30
Sensor 3	100	50
Sensor 4	170	70
Sensor 5	260	90

Tabla 5.1: Localización de sensores de iluminación según protocolo.
Fuente: elaboración propia.

Mediciones de Iluminación Natural

La moderna paradoja arquitectónica de edificios totalmente revestidos por vidrio y con el alumbrado artificial interior en funcionamiento durante todo el día, no es más que la consecuencia de esta ingenua fe en la artificialidad⁶².

Para realizar las mediciones continuas iluminación natural, se han utilizado medidores de iluminancia T-10A de Konica Minolta, durante algunos días de invierno en los diferentes edificios, con el siguiente protocolo.

Posición sensores interiores

Los sensores deben colocarse en fila desde la ventana hacia el interior, como se muestra en la figura 5.15, de acuerdo a las distancias de la tabla 5.1.

Control del Ingreso de la Luz

Se debe sellar el ingreso de cualquier fuente de lux que no provenga de la ventana que se está midiendo (luz artificial, luz natural proveniente de otras ventanas).

32 Serra, Rafael. Arquitectura y Climas. cuarta Edición. Editorial: Gustavo Gil, SA. Barcelona: 2004.

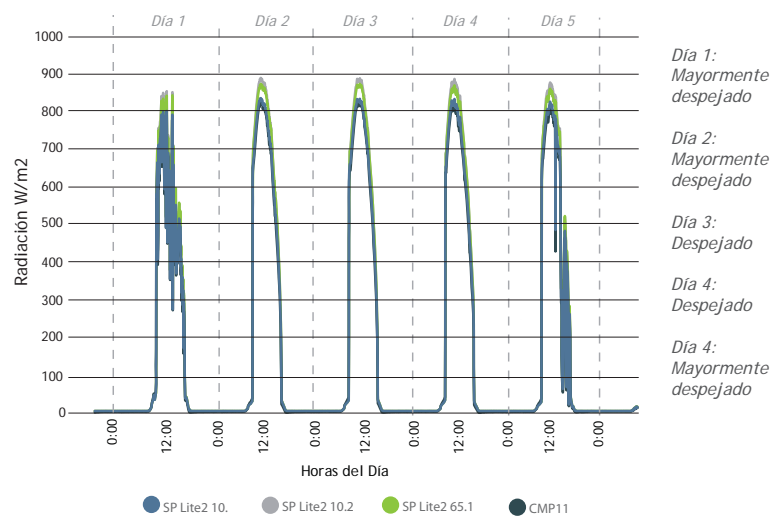


Gráfico 5.33: Resultado de calibración de los sensores.
Fuente: elaboración propia.



Imagen 5.3: Calibración de los sensores.
Fuente: elaboración propia.

Sensor iluminación exterior

Se debe llevar un registro paralelo para tener una referencia de la iluminación exterior. Para ello utilizar el instrumento Datalogging Light Meter, que permite medir y registrar los datos. La iluminación exterior puede ser medida en otro lugar.

Sensores de radiación

Los instrumentos que se utilizarán para estas mediciones son piranómetros Sp Lite de Kipp & Zonnen, con las características que se detallan en la tabla 5.4.

Sensor	Sensibilidad	Factor M
Sp Lite2	65,1 $\mu V/W/m^2$	15360,9831
Sp Lite2	10,2 $\mu V/W/m^2$	98039,2157
Sp Lite2	10,1 $\mu V/W/m^2$	99009,9010
CMP 11	9,15 $\mu V/W/m^2$	109289,6175

Tabla 5.4: Características sensores de radiación.
Fuente: elaboración propia.

Antes de realizar las mediciones fue necesario calibrar los piranómetros con uno de más alta sensibilidad (CMP11, Kipp & Zonnen). Todos estos instrumentos se instalaron en un plano vertical orientado hacia el norte, obteniendo los resultados que se muestran en la figura 5.33.

Como se puede observar, las diferencias de las mediciones de SP piranómetros Lite no fueron significativas. Además, el espectro detectado por piranómetros SP Lite es similar al espectro del CMP11. Solamente se detectó una diferencia menor al 7% en los valores máximos entre el CMP11 y el SP Lite.

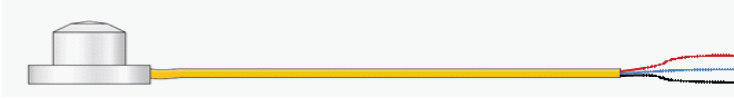


Figura 5.16: Detalle sensor de radiación.
Fuente: Soledad Squella.

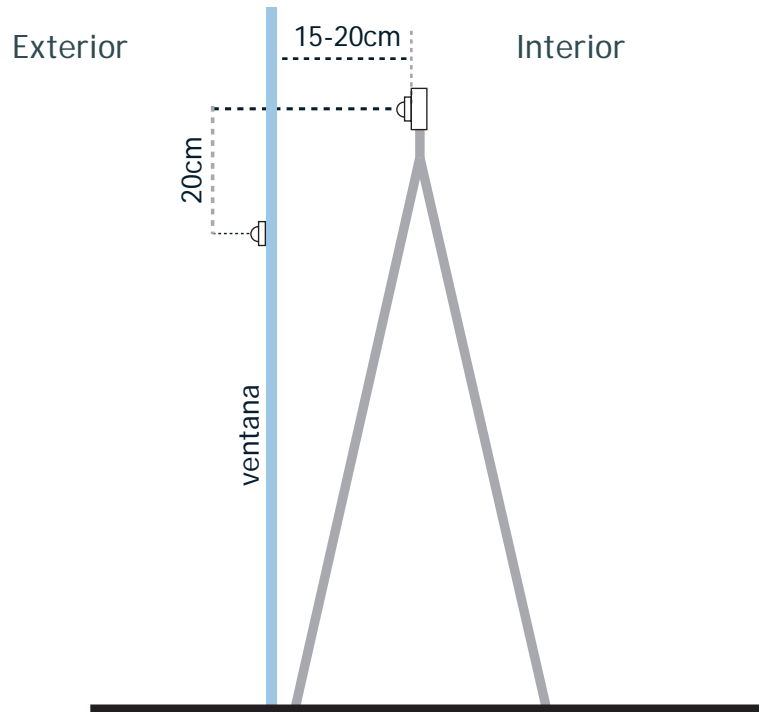


Figura 5.17: Ubicación del sensor de radiación según protocolo.
Fuente: elaboración propia

Posición del Sensor Interior: Sobre trípode, conectado a placa con tornillos. A una distancia de 15 a 20cm de la ventana (dependiendo restricciones del lugar). Ver figura 5.17.

Posición del Sensor Exterior: Adosado a vidrio con cinta doble faz. Su posición es 20 cm por debajo del sensor interior. El sensor se debe quedar perpendicular a la ventana y nivelado verticalmente, para ello usar un nivel de burbujas.

Limpieza: Se debe mantener limpia la ventana del sensor. Para ello se utiliza agua o alcohol y se pasa suavemente el paño que viene con el equipo. Limpiar antes de comenzar una medición.

Clima: Se debe registrar el clima de los días en que se realicen mediciones. Específicamente registrar la T° mínima, T° máxima y una descripción cualitativa (despejado, nublado, etc).

Para la presentación de los resultados, se han elaborado unas fichas, dónde se resumen características de la envolvente, ubicación de los dispositivos y los resultados de iluminancia y radiación.

A continuación se describirán algunos de los resultados obtenidos.

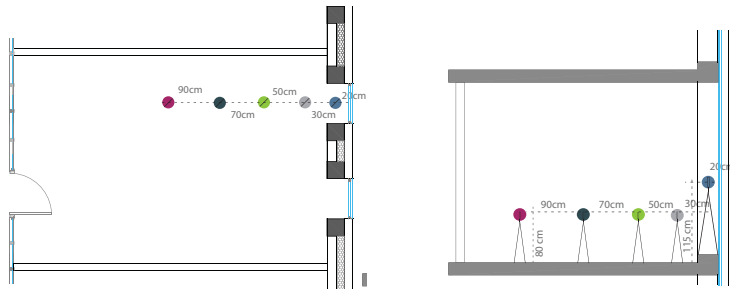


Figura 5.18: Ubicación del sensor de iluminación natural oficina oriente.
Fuente: Elaboración propia.

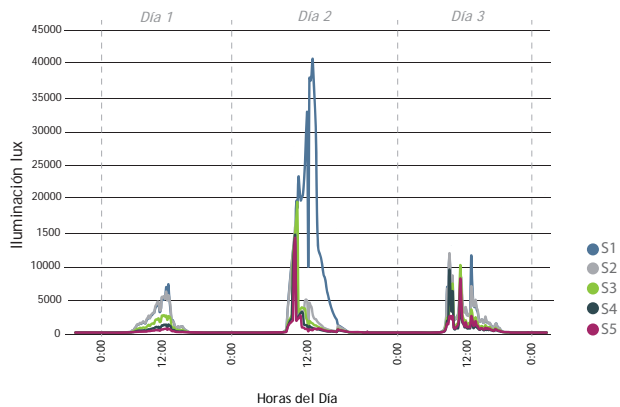


Figura 5.34: resultados de iluminación natural oficina oriente.
Fuente: Elaboración propia.

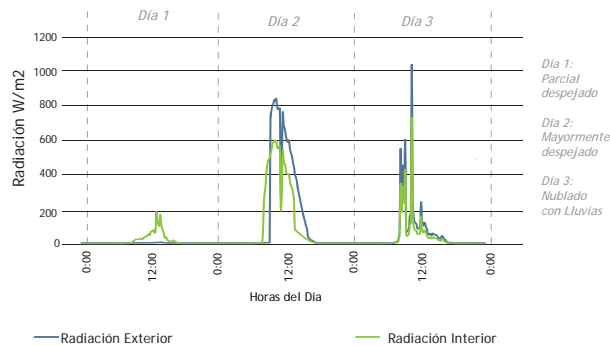


Figura 5.35: Resultados de radiación oficina oriente.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados Edificio Tipo 1: Fachada combinada sin protección solar.

Se realizaron mediciones de iluminación natural continua en días de invierno en dos oficinas en este tipo de edificios (opaco con menos del 50% de acristalamiento simple), uno en el lado oriente y la otra en el lado poniente y se obtuvieron los siguientes resultados.

En la oficina oriente, se localizaron 5 sensores de iluminación de alta precisión según protocolo, tal como se muestra en la figura 5.18. Además se localizaron dos sensores de radiación uno exterior y otro interior.

Los resultados obtenidos en los días de medición se pueden observar en la gráfico 5.34. Este grafico nos indica que la iluminancia en general está sobre los niveles recomendados (300- 500 lux) y se observa un alza muy alta cerca de la ventana, lo que puede sugerir problemas de deslumbramiento, incluso durante el invierno cielo claro (día 2). Los usuarios de esta oficina normalmente utilizan unas cortinas interiores para evitar el deslumbramiento.

Como es de esperar y se observa en la gráfico 5.5, la radiación solar transmitida al interior es inferior a la radiación solar exterior, pero en los días de invierno con cielo despejado alcanza valores sobre los 800 W/m², valores que pueden explicar el sobrecalentamiento en el interior de la oficina. (para ver el grafico de las temperaturas, ir a ficha de iluminación oficina oriente,).

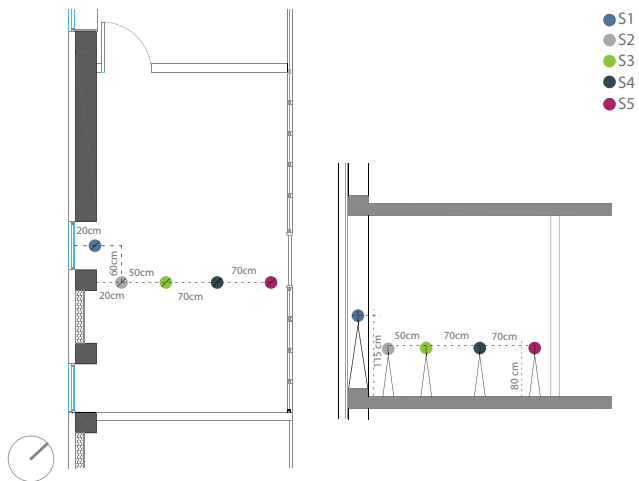


Figura 5.21: Ubicación del sensor de iluminación natural oficina poniente.
Fuente: Elaboración propia.

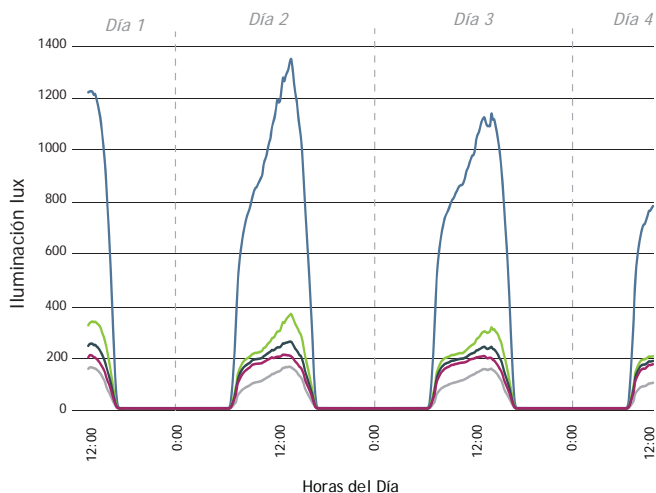


Gráfico 5.36: resultados de iluminación natural oficina poniente.
Fuente: Elaboración propia.

En la oficina Poniente, al igual que en oficina norte se localizaron 5 sensores de iluminación de alta precisión según protocolo, tal como se muestra en la figura 5.21. Además se localizaron dos sensores de radiación uno exterior y otro interior.

Los resultados obtenidos en los días de medición se pueden observar en la gráfico 5.36. Este gráfico nos indica que la iluminancia en general está dentro de los niveles recomendados (300 - 500 lux) con excepción de los niveles cerca de la ventana, lo que puede sugerir problemas de deslumbramiento, incluso durante el invierno con días de cielo claro (día 2). Los usuarios de esta oficina normalmente utilizan cortinas interiores para evitar el deslumbramiento cercano a la ventana.

Como es de esperar y se observa en la gráfico 5.37, la radiación solar transmitida al interior es inferior a la radiación solar exterior, alcanzando máxima de 25 W/m², muy inferior a los registros de la oficina oriente.

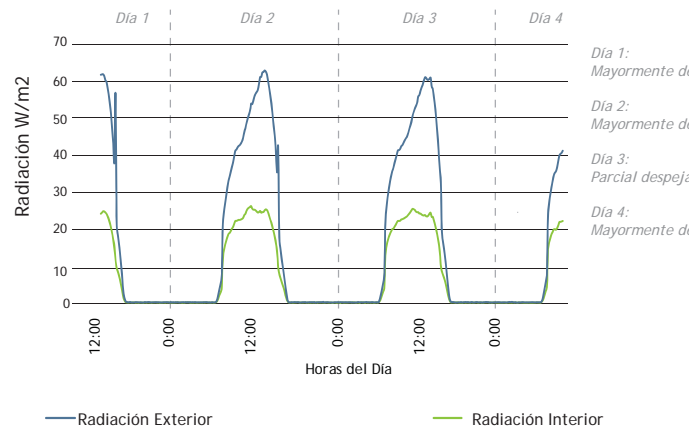


Gráfico 5.37: Resultados de radiación oficina poniente.
Fuente: Elaboración propia.

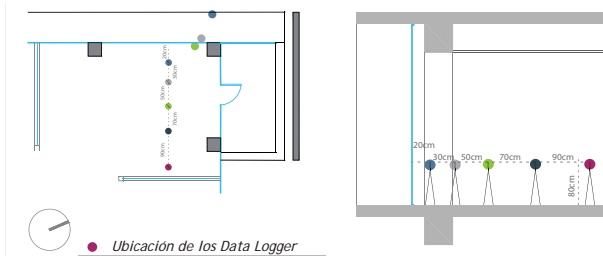


Figura 5.22: Ubicación del sensor de iluminación natural oficina poniente.
Fuente: Elaboración propia.

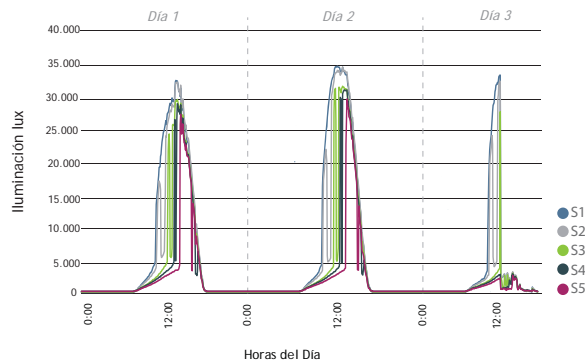


Gráfico 5.38: resultados de iluminación natural oficina nororiental.
Fuente: Elaboración propia.

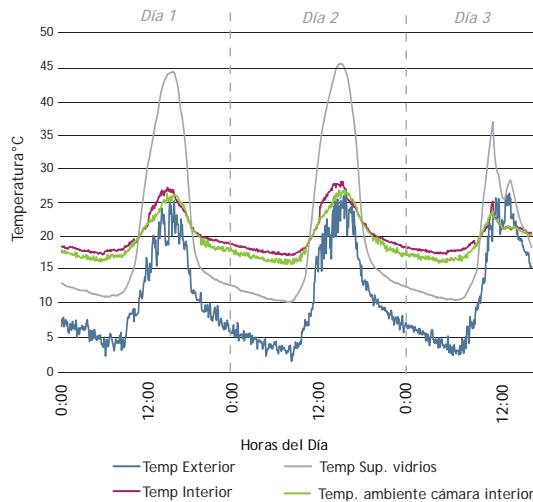


Gráfico 5.39: Resultados de radiación oficina nororiental.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados Edificio Tipo 2: fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, con protección solar.

Se realizaron mediciones de iluminación natural continua en días de invierno en una oficina con orientación norte en este tipo de edificios (fachada totalmente vidriada c protección solar).

Para estas mediciones se localizaron 5 sensores de iluminación de alta precisión según protocolo, tal como se muestra en la Figura 5.22. Además se localizaron dos sensores de radiación uno exterior y otro interior.

Los resultados de iluminación natural obtenidos en los días de medición se pueden observar en la Gráfico 5.38. Este grafico nos indica que la iluminancia en general está sobre los niveles recomendados (300 - 500 lux) y se observa un alza muy alta cerca de la ventana alcanzado hasta los 35.000 lux, lo que puede sugerir problemas de deslumbramiento, incluso durante el invierno de cielo parcialmente despejado. Este edificio cuenta con un sistema automatizado de cortinas exteriores para evitar estos problemas de deslumbramiento.

Se puede observar en la Gráfico 5.39 que la radiación solar transmitida al interior es inferior a la radiación solar exterior, como es de esperar, en los días de invierno con cielo despejado esta alcanza valores un poco superiores a los 300 W/m², debido a que este edificio cuenta con un sistema automatizado de cortinas exteriores, no suelen haber mayores

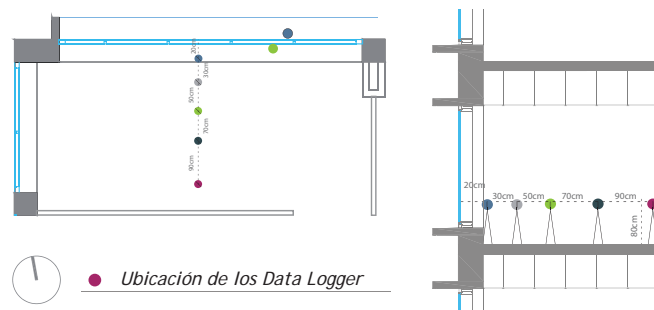


Figura 5.23: Ubicación del sensor de iluminación natural oficina norte
Fuente: Elaboración propia.

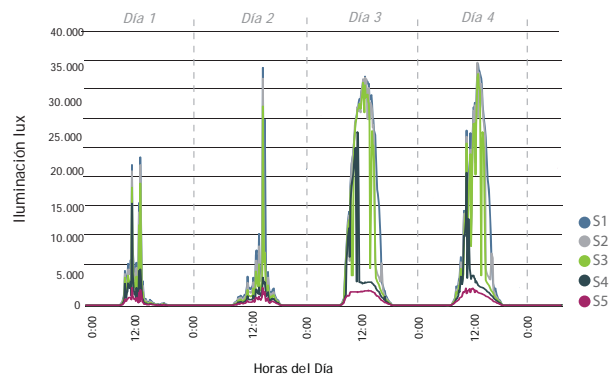


Gráfico 5.40: resultados de iluminación natural oficina norte.
Fuente: Elaboración propia.

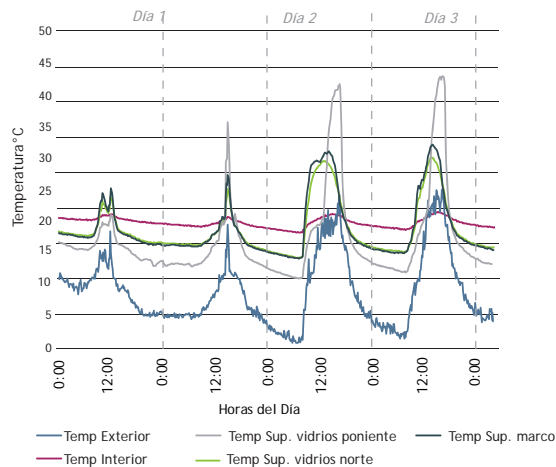


Gráfico 5.41: Resultados de radiación oficina norte.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados Edificio Tipo 3-B: fachada totalmente vidriada, con vidrio doble claro, sin protección solar.

Se realizaron mediciones de iluminación natural continua en días de invierno en una oficina con orientación norte en este tipo de edificios (fachada totalmente vidriada con vidrio doble sin protección solar).

Para estas mediciones se localizaron 5 sensores de iluminación de alta precisión según protocolo, tal como se muestra en la figura 5.23. Además se localizaron dos sensores de radiación uno exterior y otro interior.

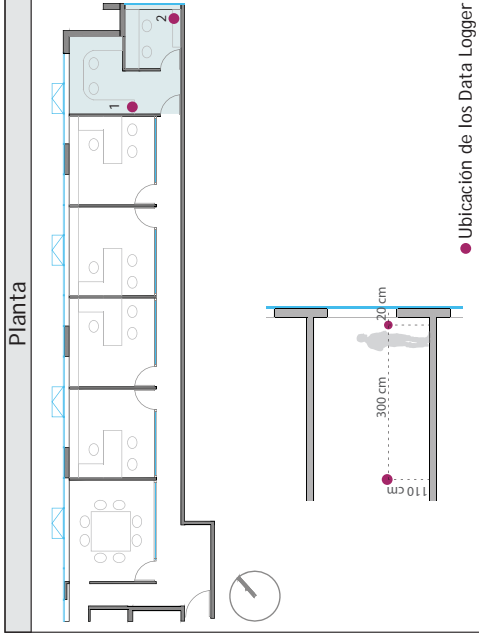
Los resultados de iluminación natural obtenidos en los días de medición se pueden observar en la figura 5.40. Este grafico nos indica que la que la iluminancia en general está sobre los niveles recomendados (300 - 500 lux) y se observa un alza muy alta cerca de la ventana alcanzado hasta los 35.000 lux, lo que puede sugerir problemas de deslumbramiento, incluso durante el invierno de cielo parcialmente despejado (días 4). Usualmente los usuarios de las oficinas utilizan cortinas para evitar el deslumbramiento.

Como es de esperar, se puede observar en la figura 5.41, que la radiación solar transmitida al interior es inferior a la radiación solar exterior, en los días de invierno con cielo parcialmente despejado esta alcanza valores que bordean los 200W/m², valores que pueden explicar el sobrecalentamiento en el interior de la oficina. (Ver ficha de iluminación y radiación del edificio 3b, para ver el grafico de las temperaturas)

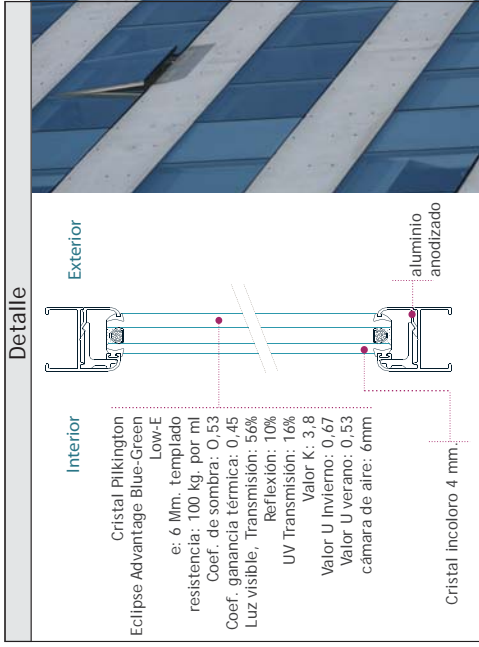
Resultados de Mediciones

Edificio tipo 1: Fachada combinada sin protección solar

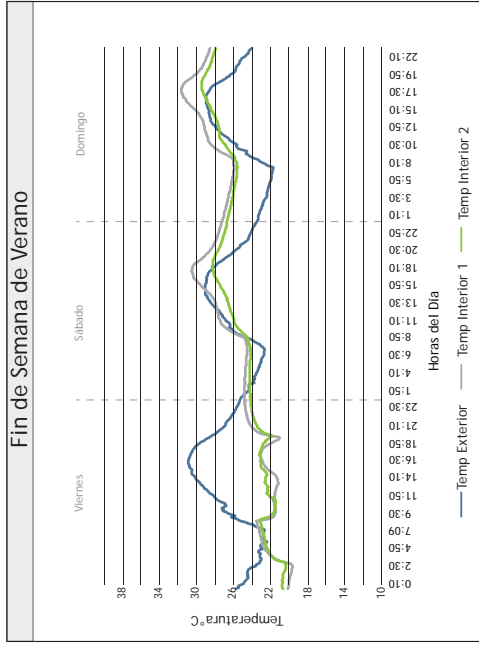
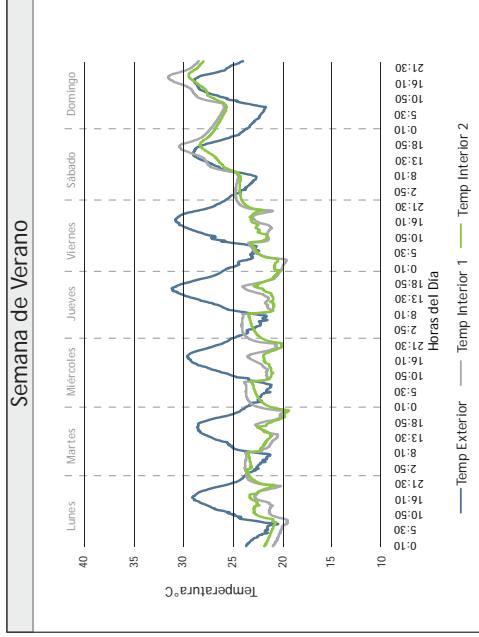
Edificio Tipo 1: Fachada combinada sin protección solar.



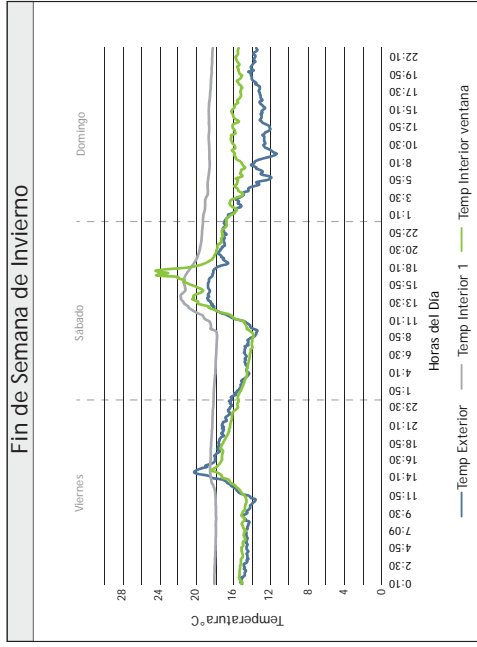
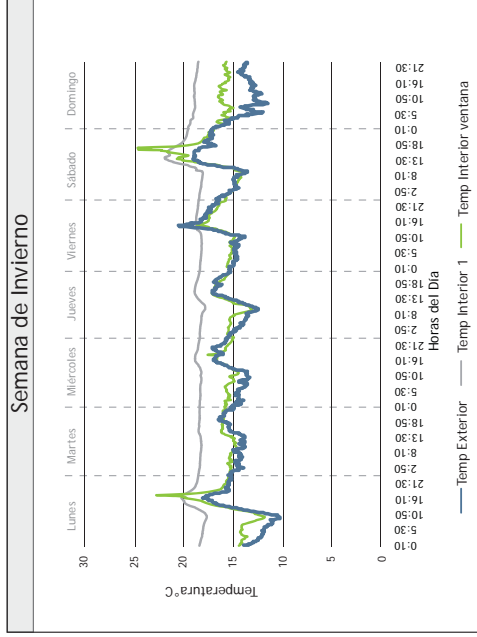
Medición: Temperatura_Oficina Norte



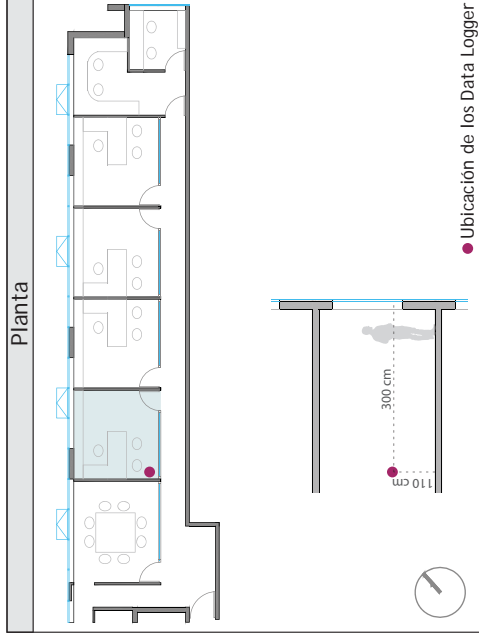
Mediciones Verano



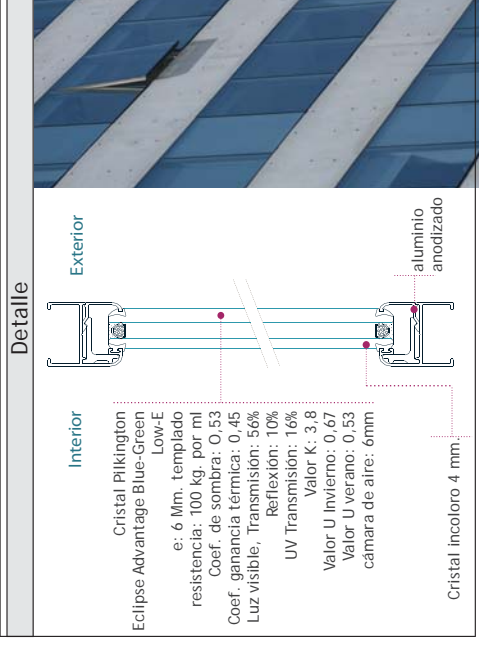
Mediciones Invierno



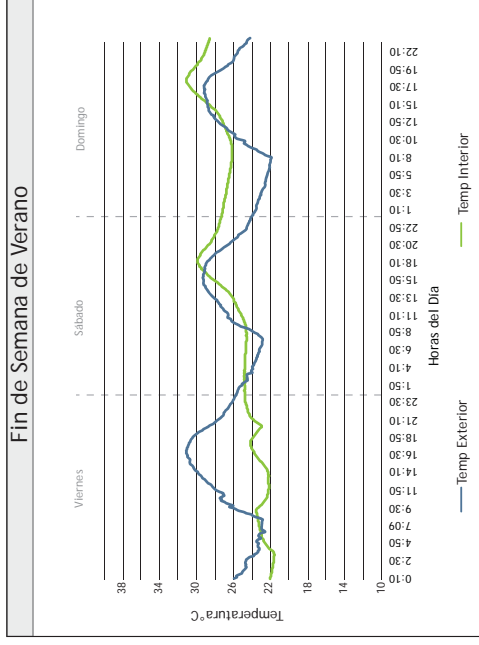
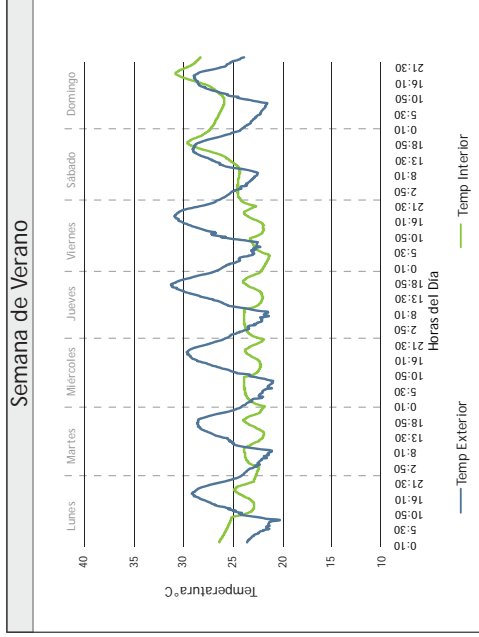
Edificio Tipo 1: Fachada combinada sin protección solar.



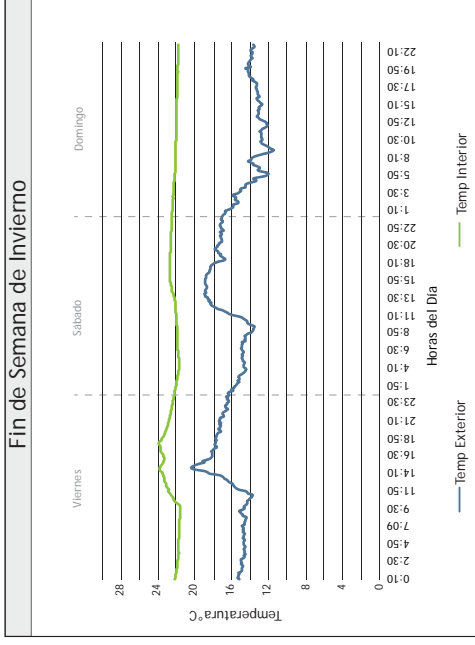
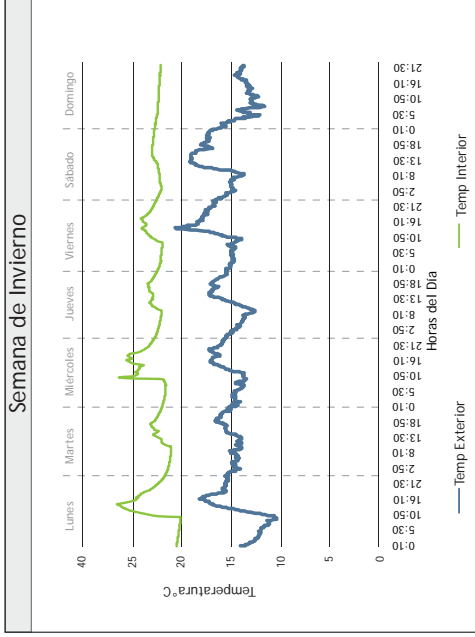
Medición: Temperatura_oficina Poniente



Mediciones Verano



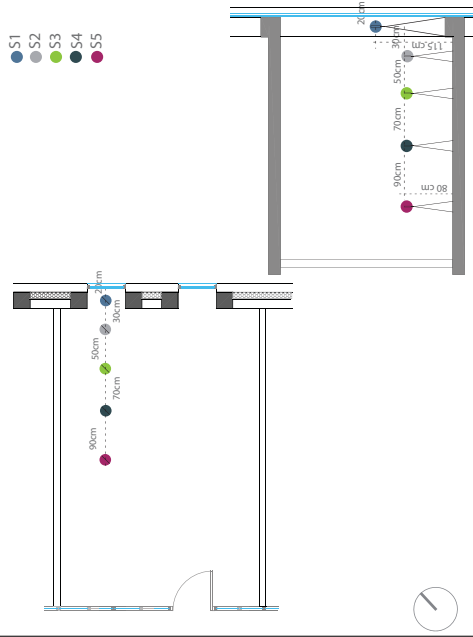
Mediciones Invierno



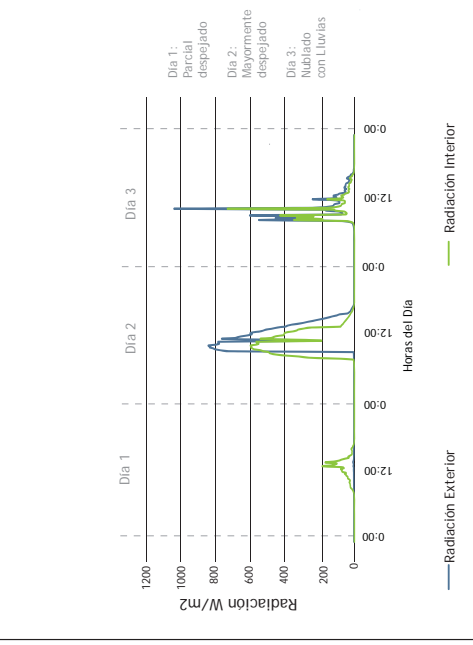
Edificio Tipo 1: Fachada combinada sin protección solar.

Medición: Iluminación y Radiación oficina Norte

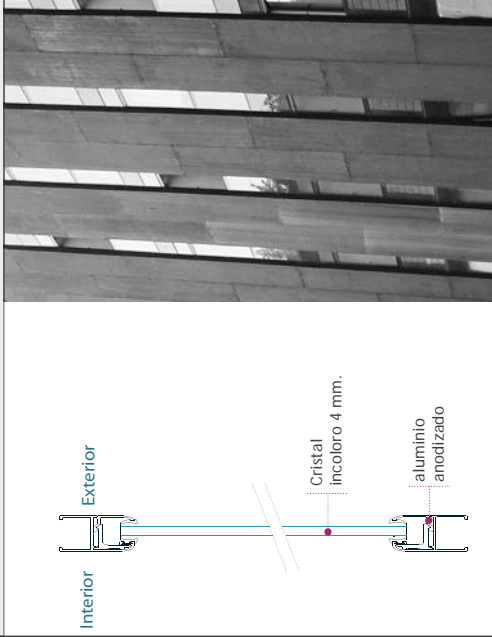
Esquemas en planta de localización de sensores



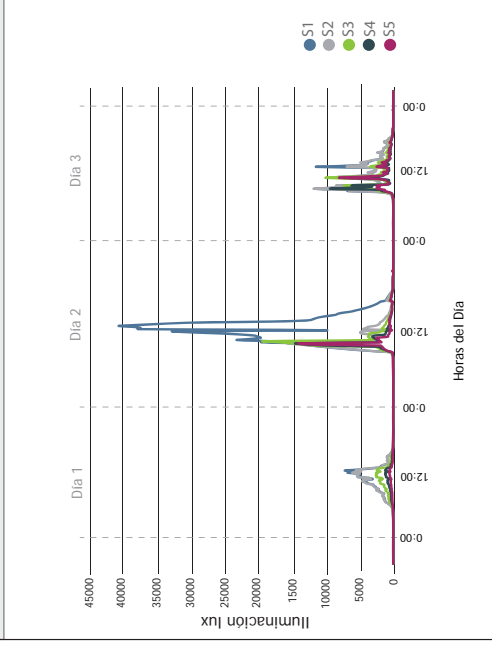
Radiación



Detalles Envolvente



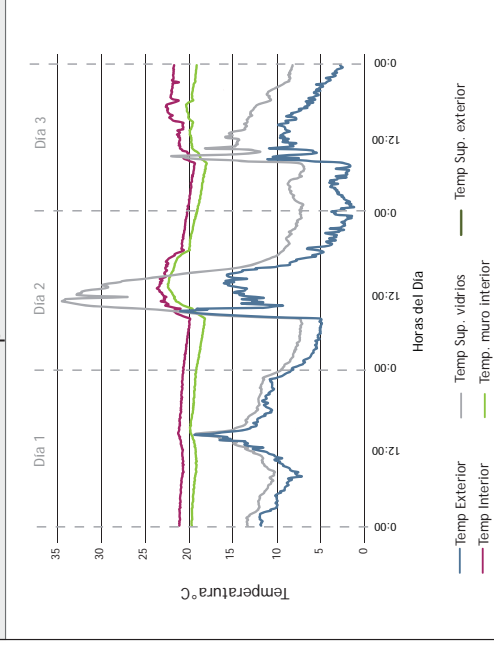
Iluminación



Imagen

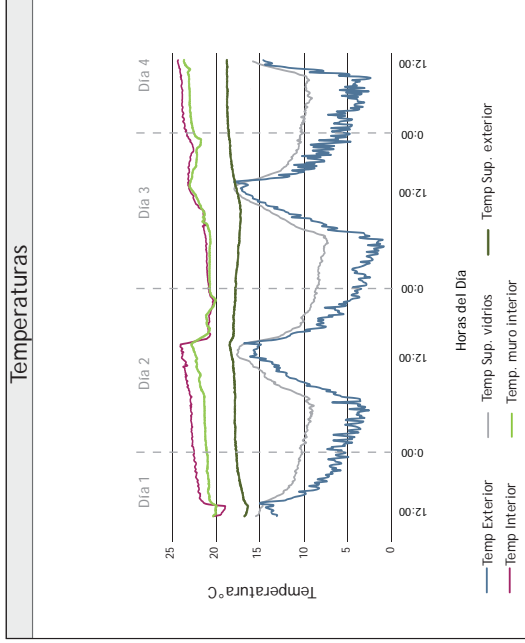
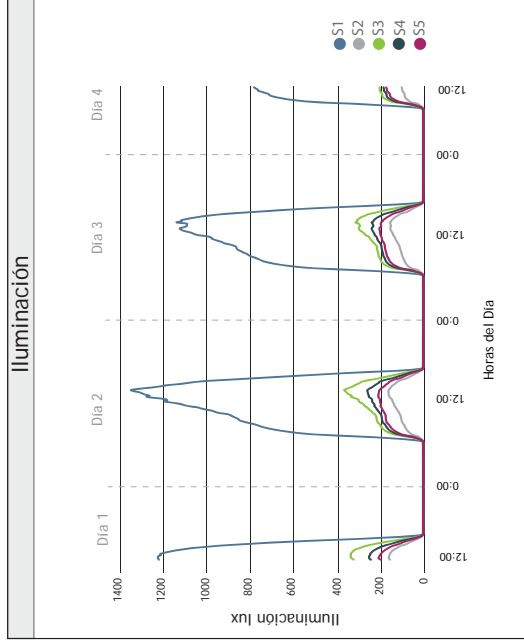
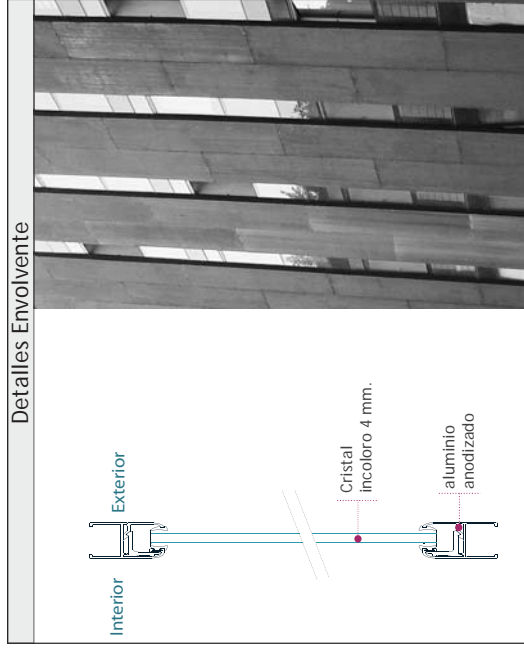
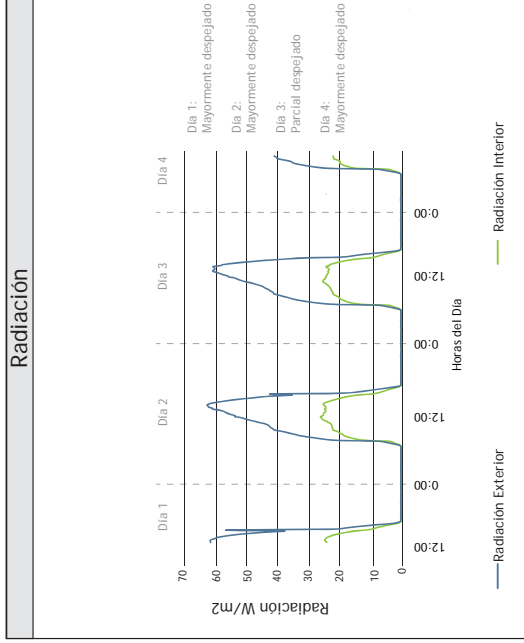
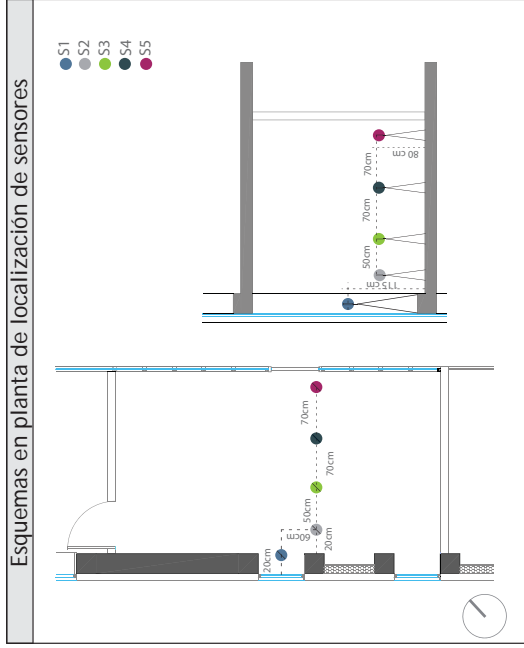


Temperaturas

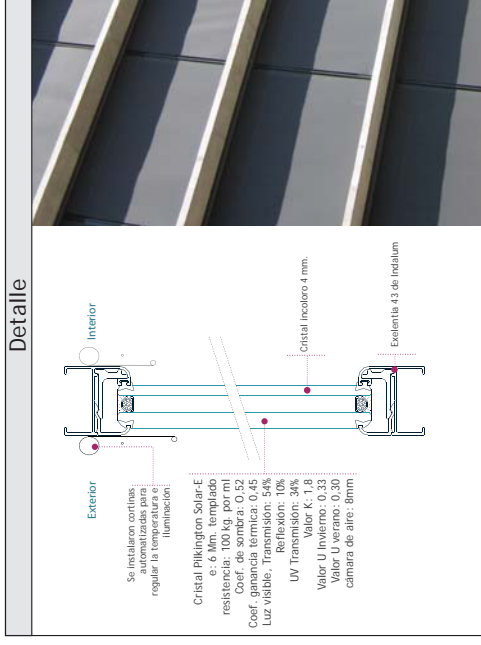
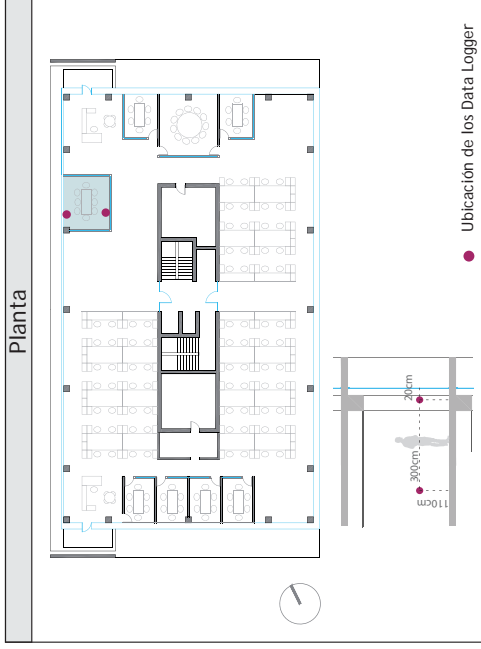


Edificio Tipo 1 : Fachada combinada sin protección solar.

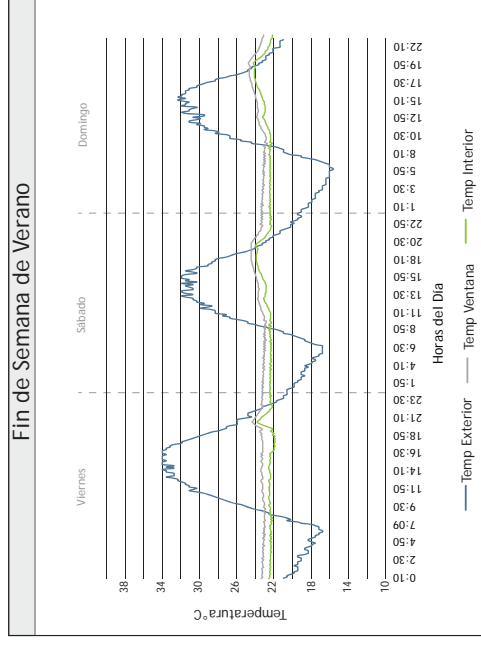
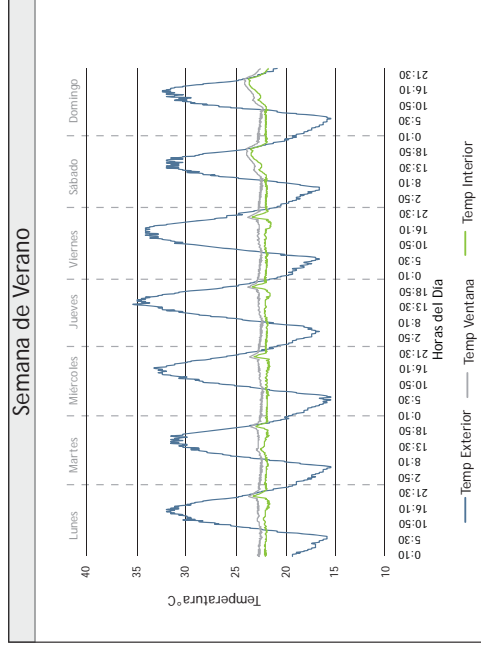
Medición: Iluminación y Radiación oficina Poniente



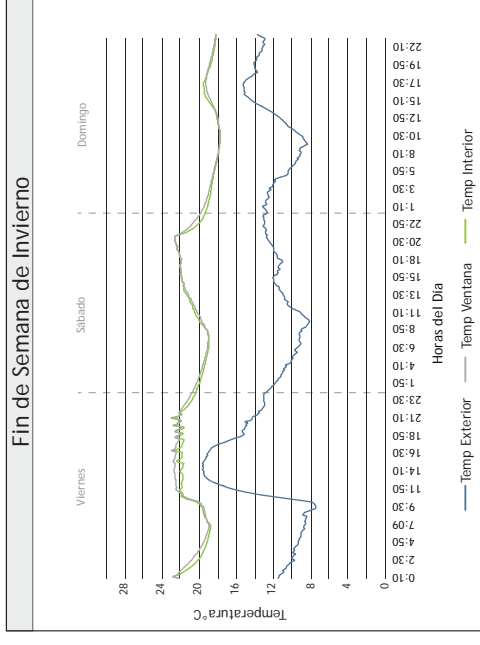
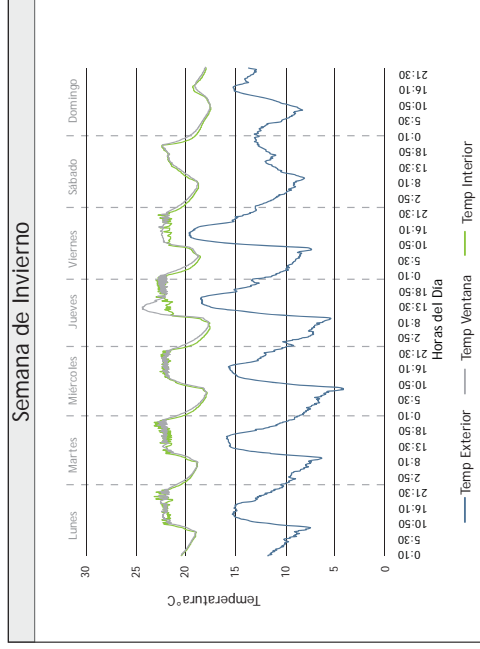
Edificio tipo 2: Fachada totalmente vidriada con protección solar

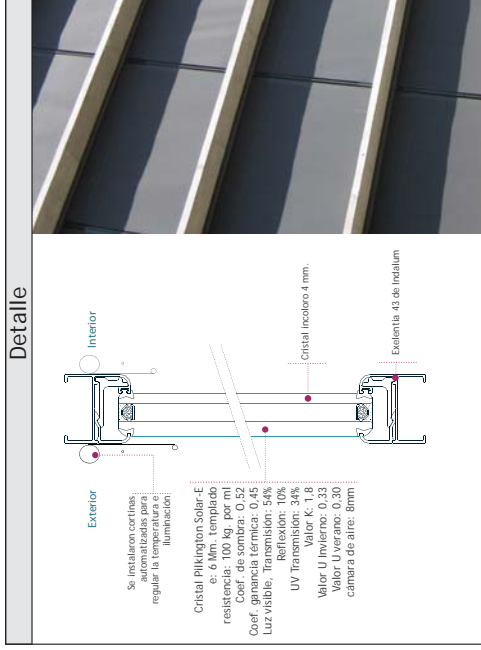
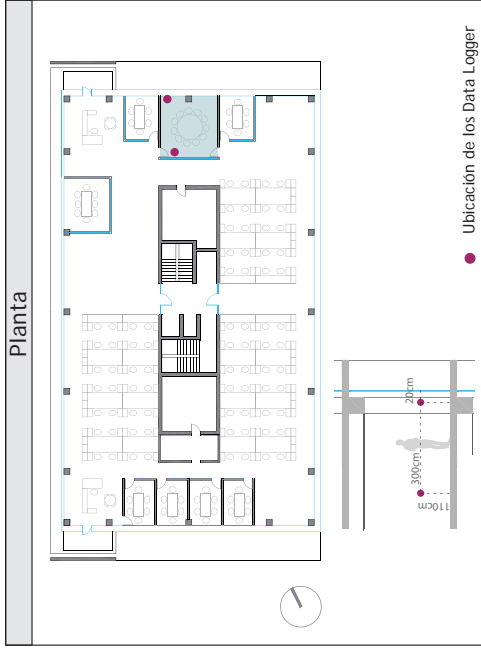


Mediciones Verano

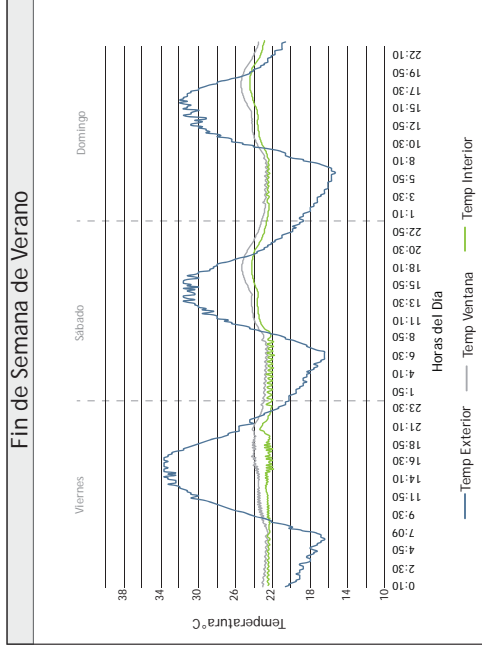
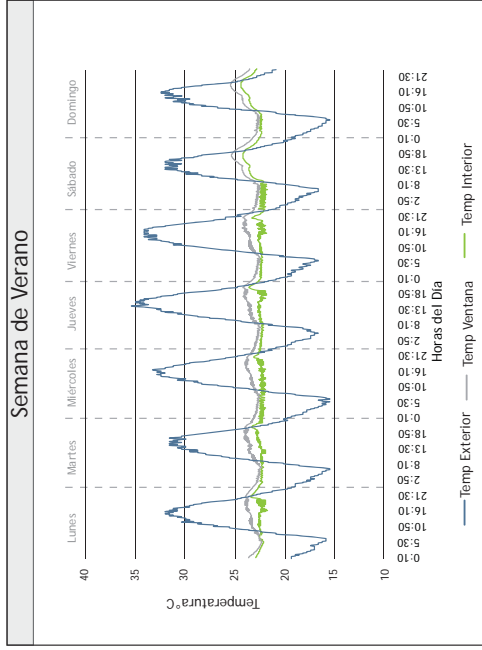


Mediciones Invierno

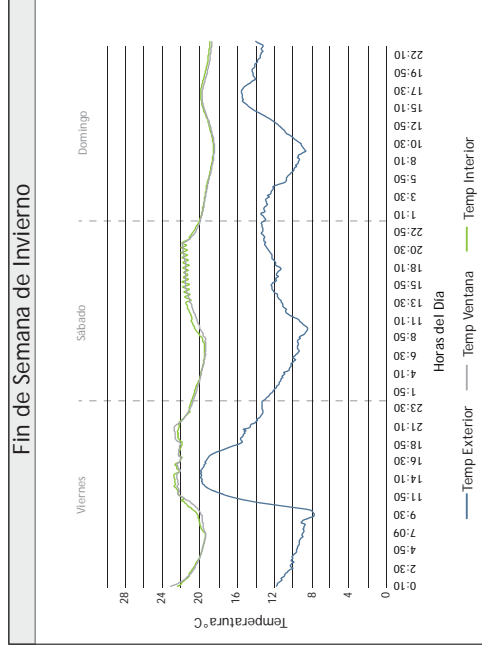
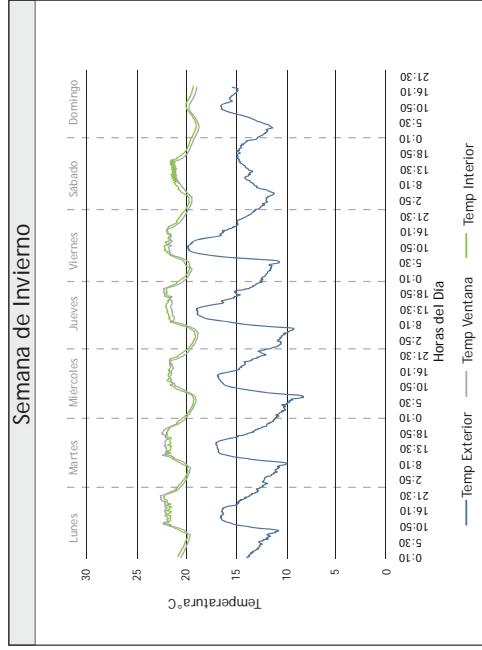


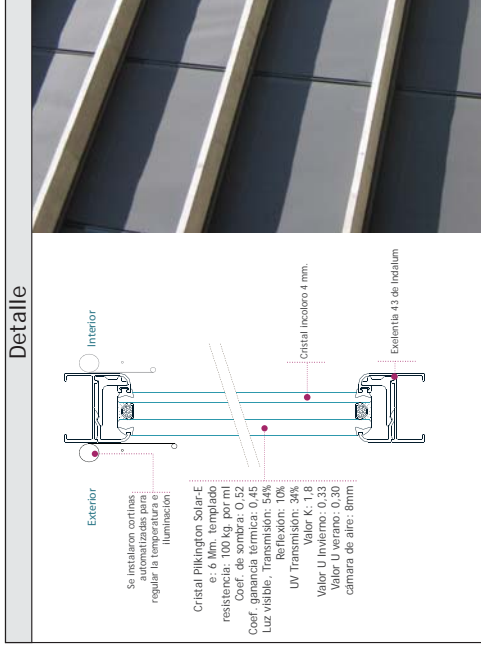


Mediciones Verano

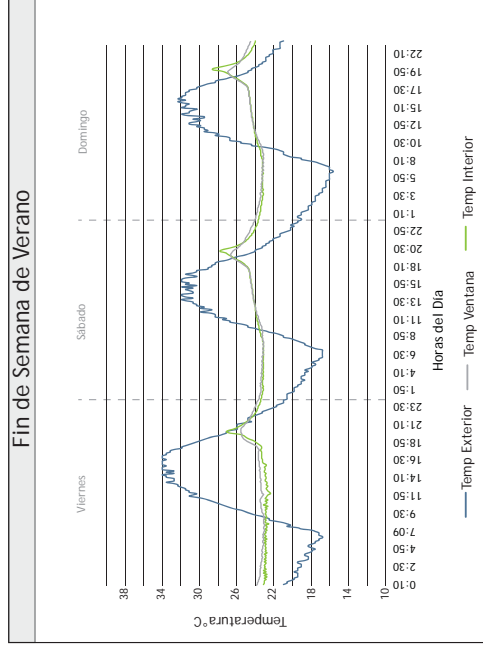
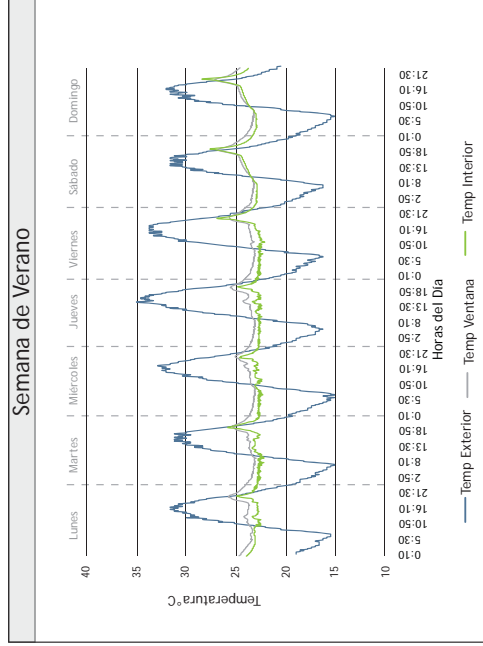


Mediciones Invierno

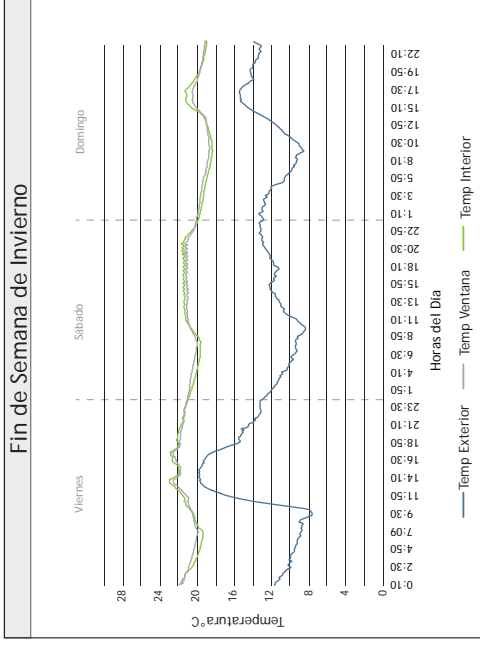
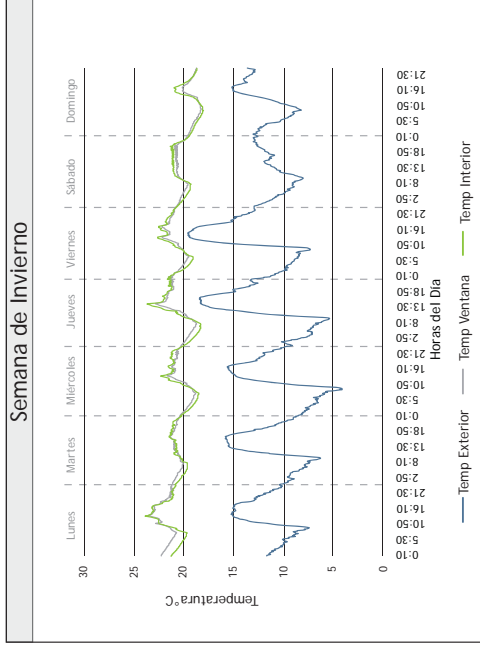


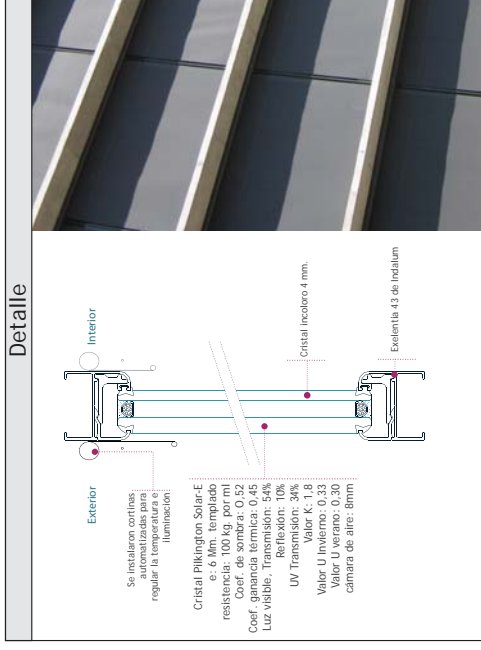


Mediciones Verano

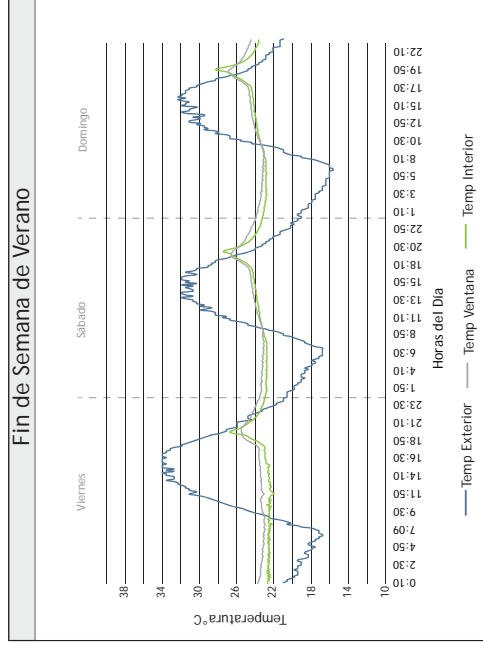
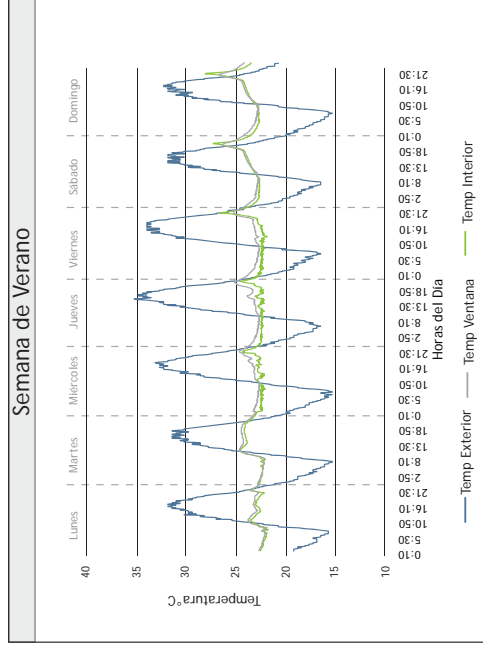


Mediciones Invierno

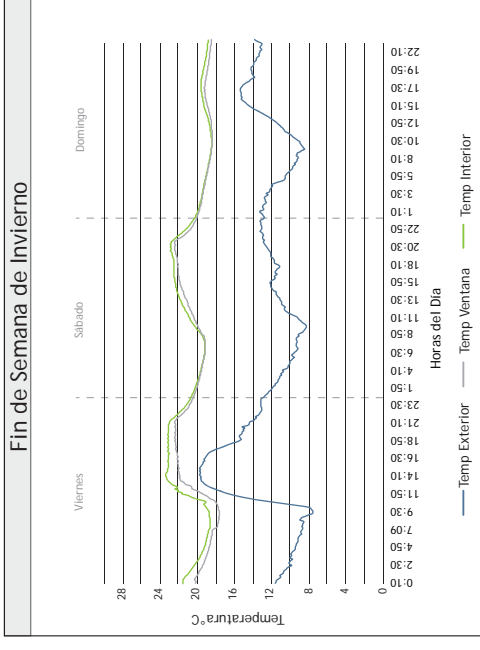
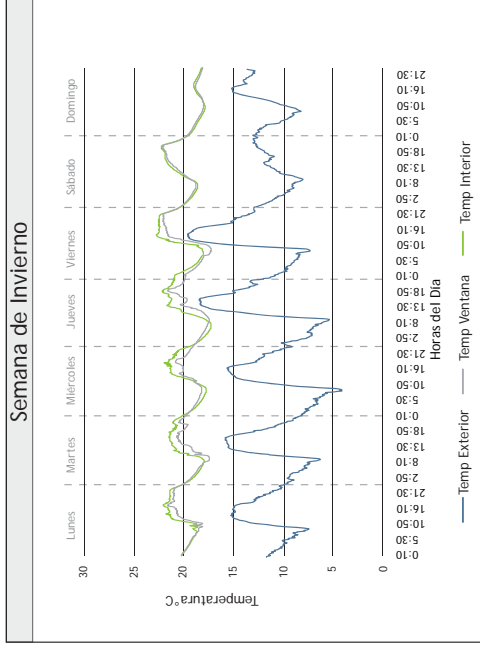




Mediciones Verano

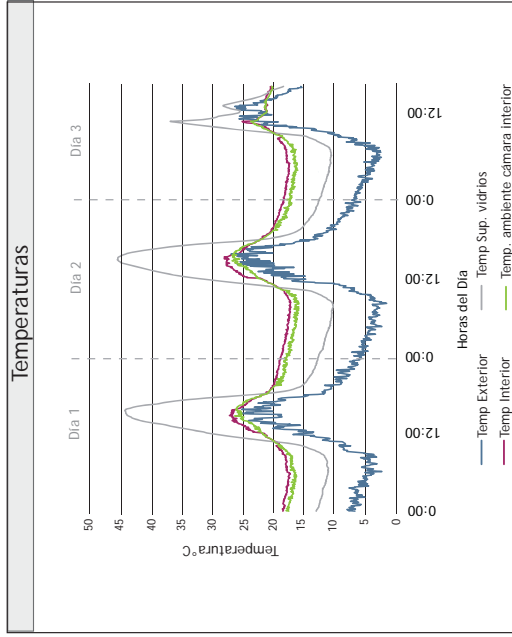
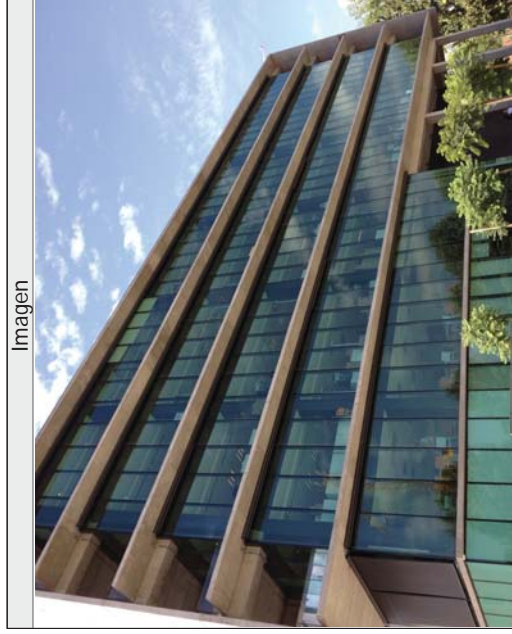
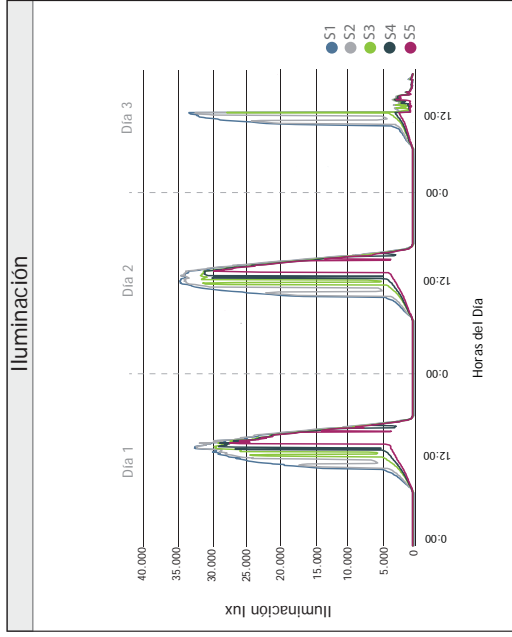
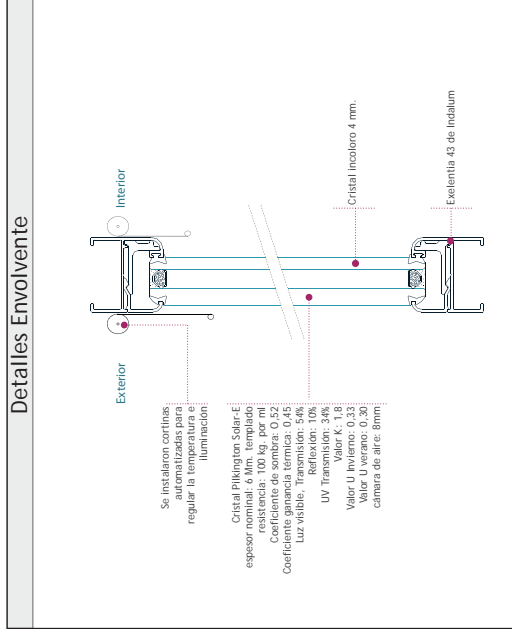
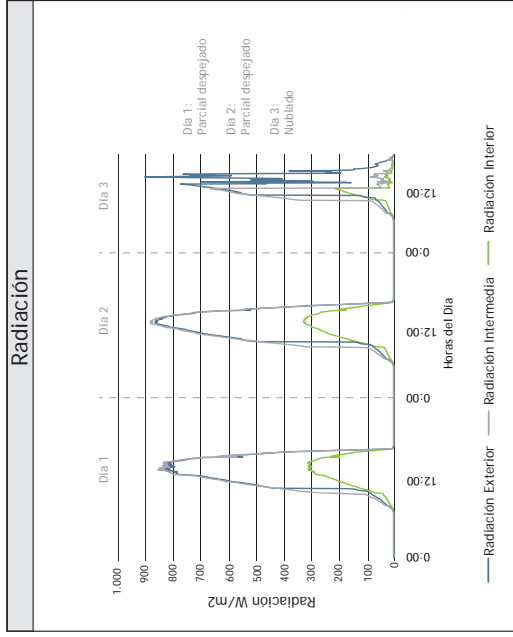
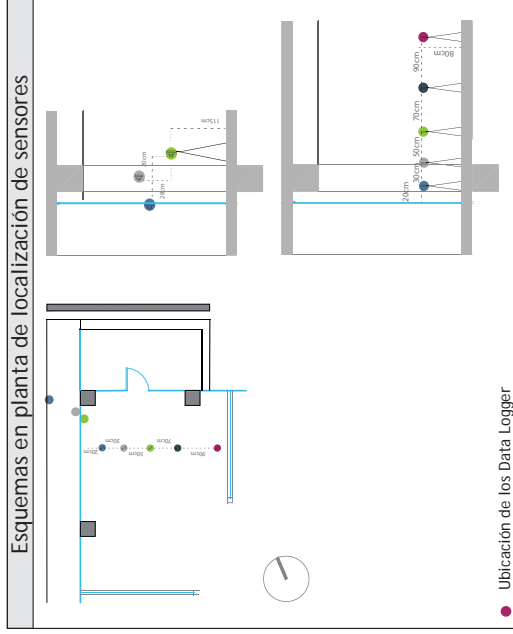


Mediciones Invierno



Edificio Tipo 2: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, con protección solar

Medición: Iluminación y radiación oficina Norte

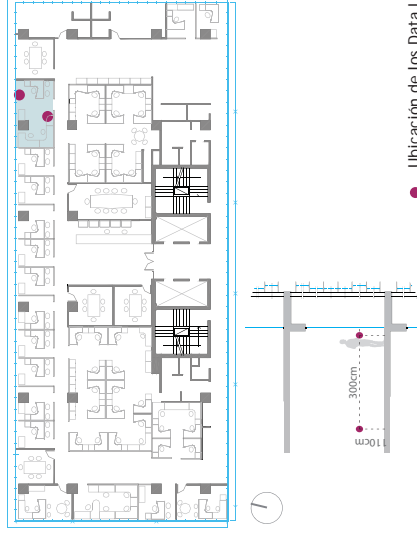


Edificio tipo 3-A: Fachada totalmente vidriada,
con vidrio simple claro, sin protección solar.

Edificio Tipo 3A: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar

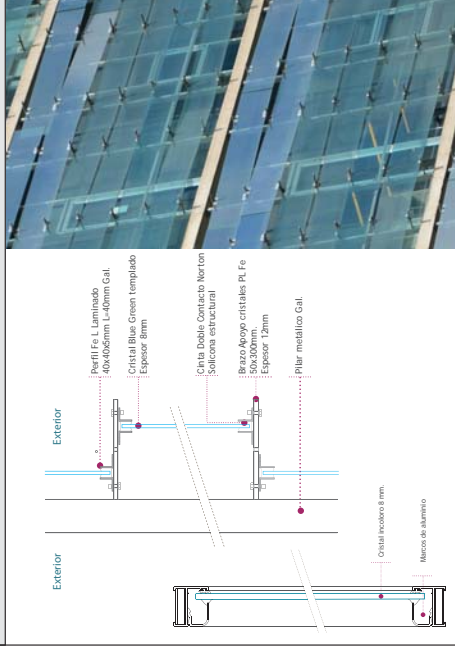
Medición: Temperatura oficina Norte

Planta

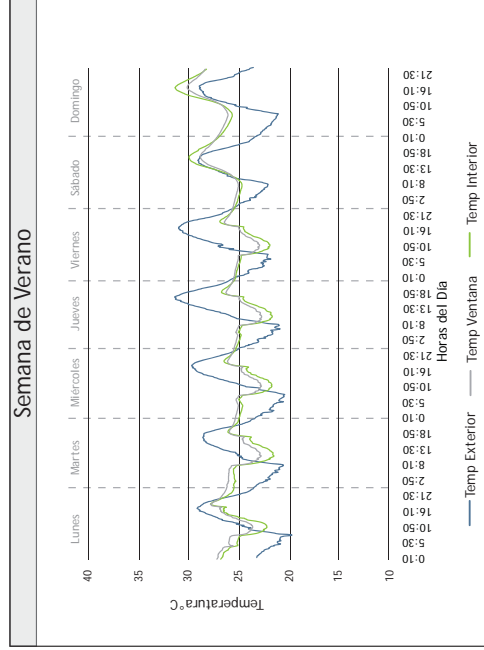


● Ubicación de los Data Logger

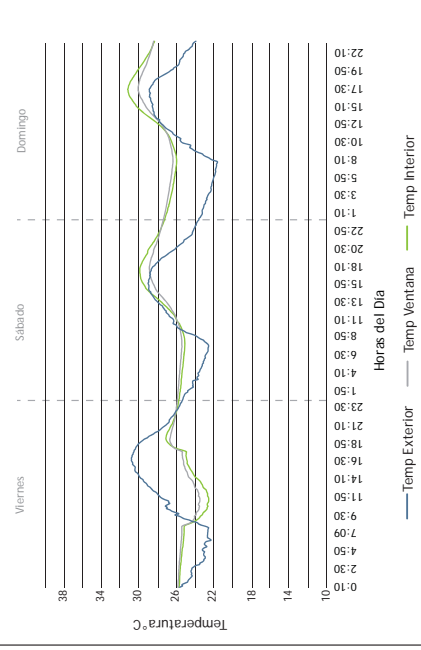
Detalle



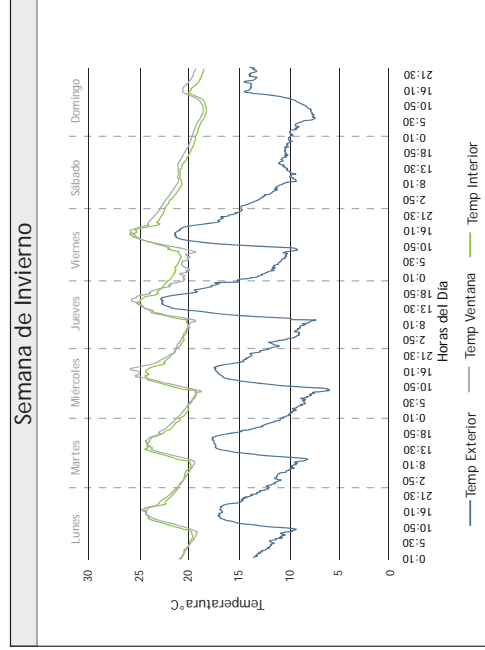
Mediciones Verano



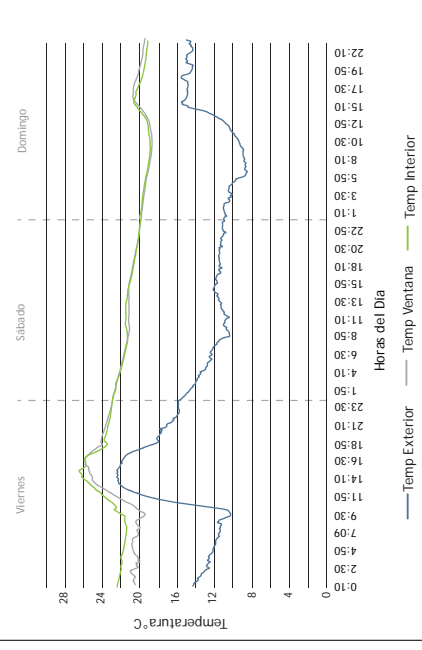
Fin de Semana de Verano



Mediciones Invierno



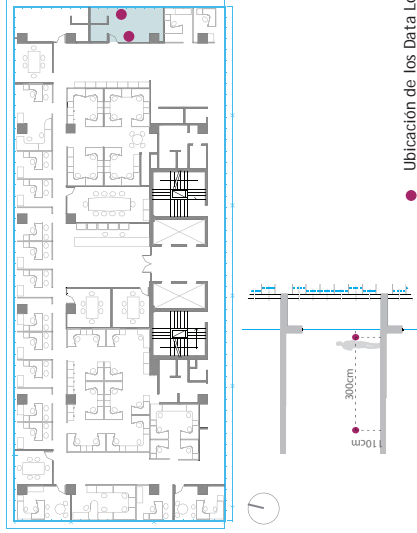
Fin de Semana de Invierno



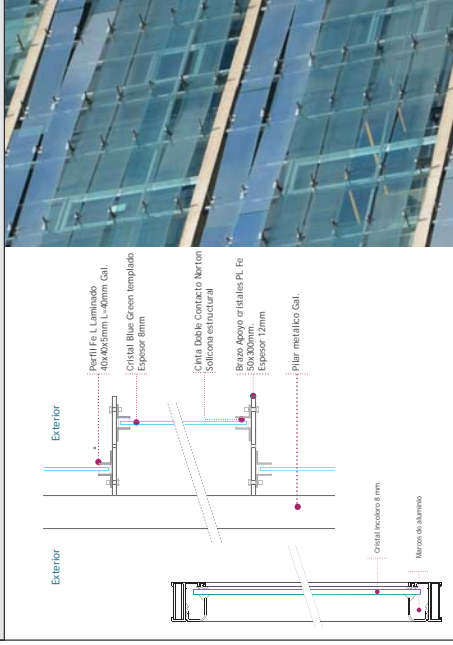
Edificio Tipo 3A: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar

Medición: Temperatura oficina Oriente

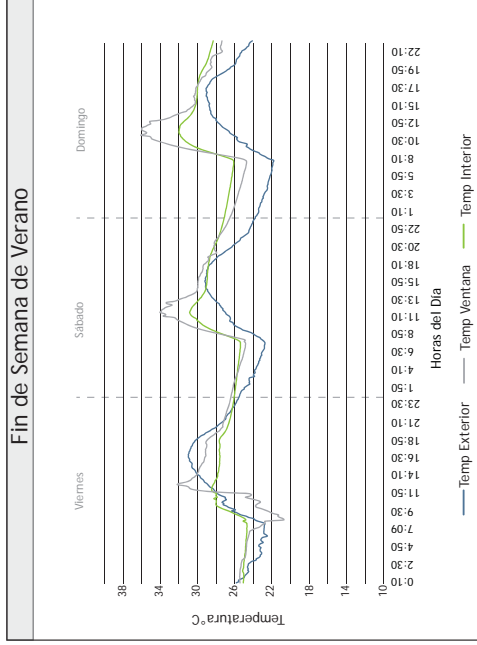
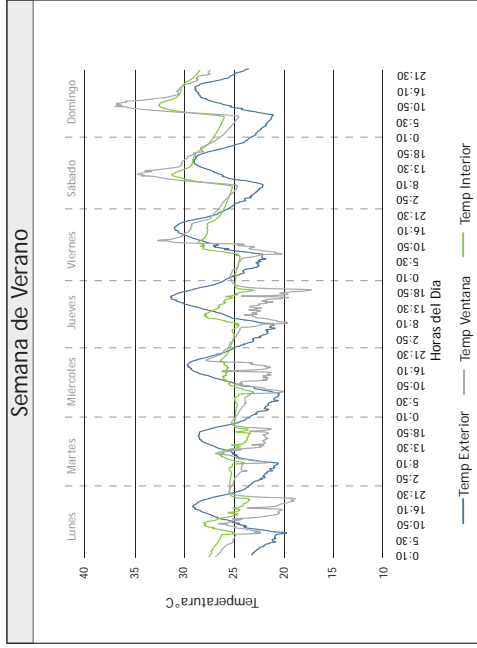
Planta



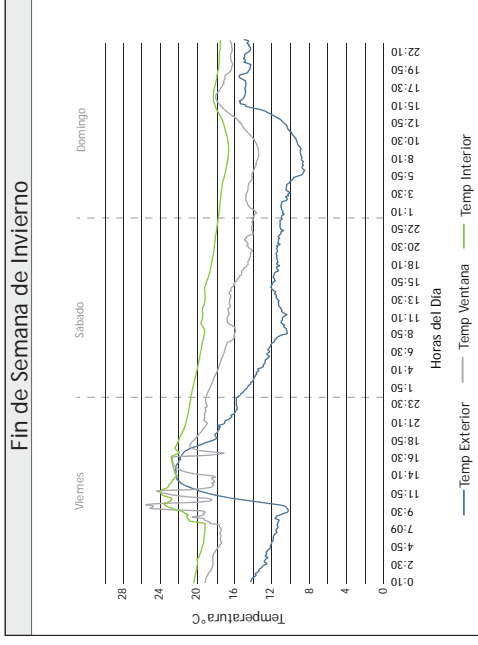
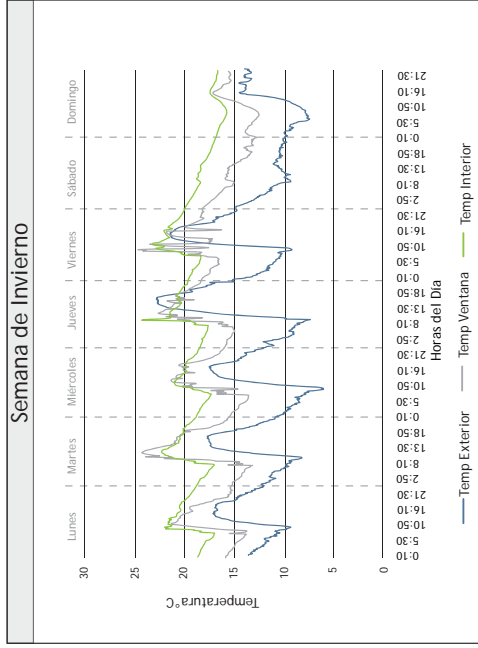
Detalle



Mediciones Verano



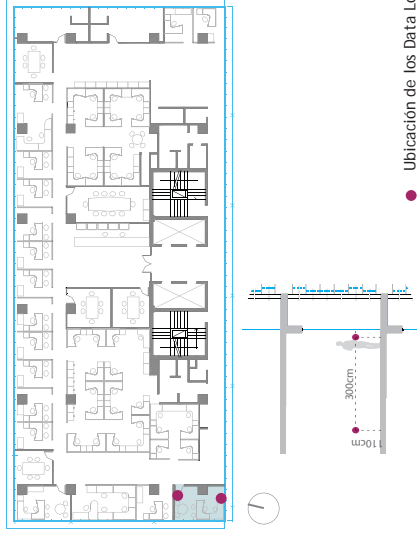
Mediciones Invierno



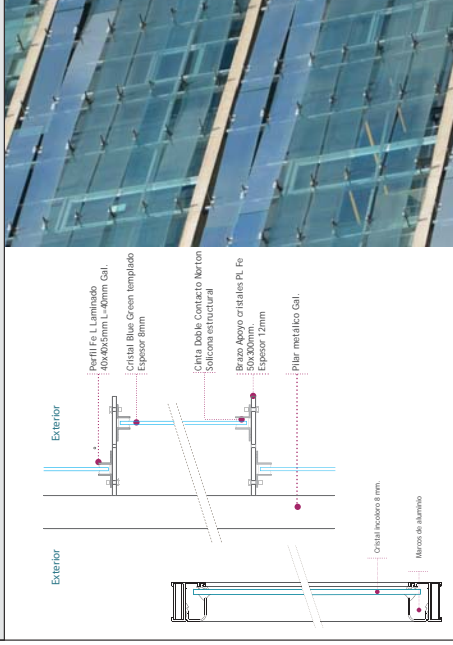
Edificio Tipo 3A: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar

Medición: Temperatura oficina Poniente

Planta

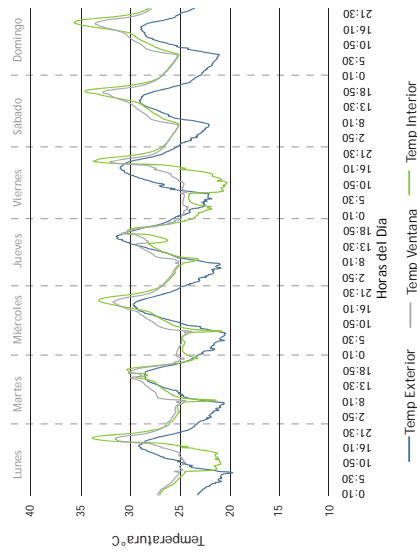


Detalle

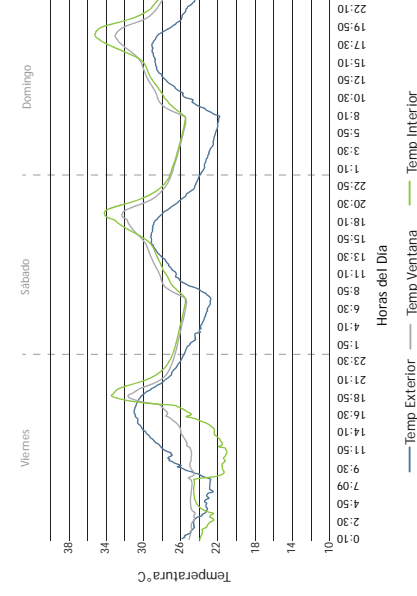


Mediciones Verano

Semana de Verano

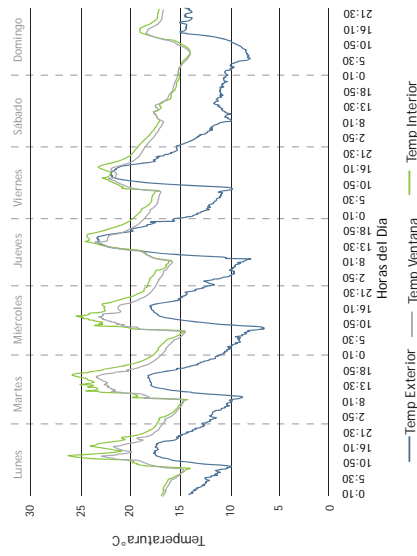


Fin de Semana de Verano

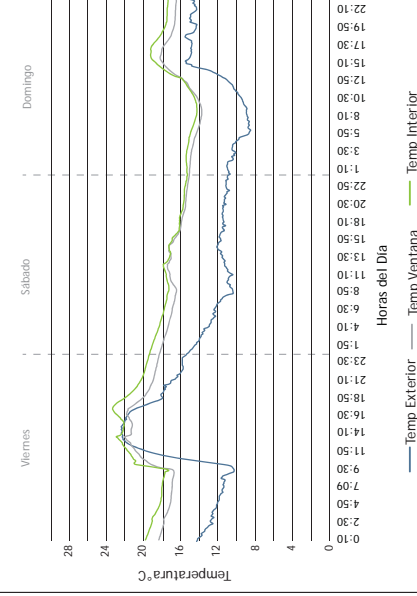


Mediciones Invierno

Semana de Invierno



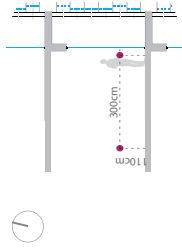
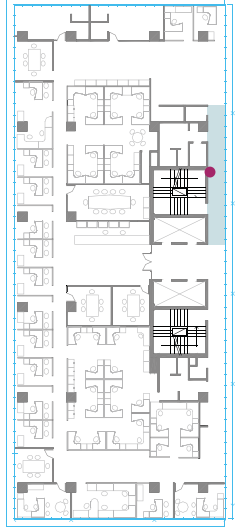
Fin de Semana de Invierno



Edificio Tipo 3A: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar

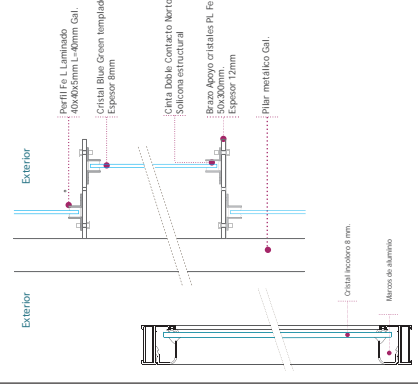
Medición: Temperatura oficina Sur

Planta



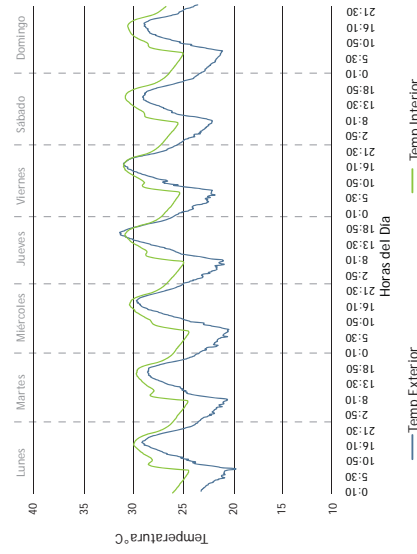
Ubicación de los Data Logger

Detalle

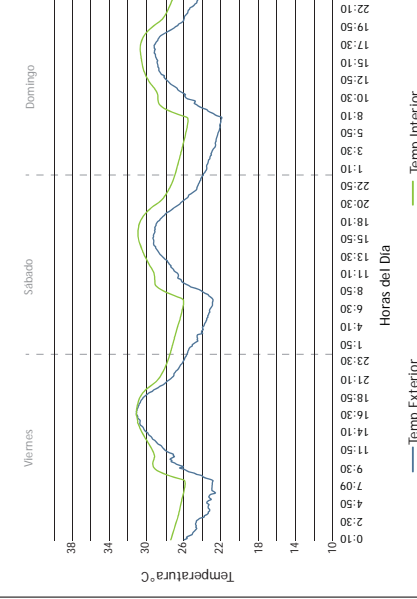


Mediciones Verano

Semana de Verano

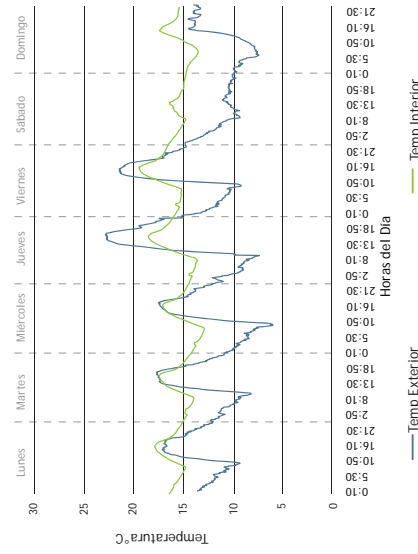


Fin de Semana de Verano

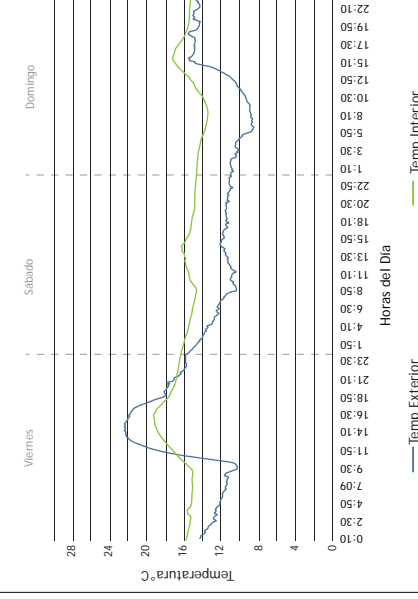


Mediciones Invierno

Semana de Invierno

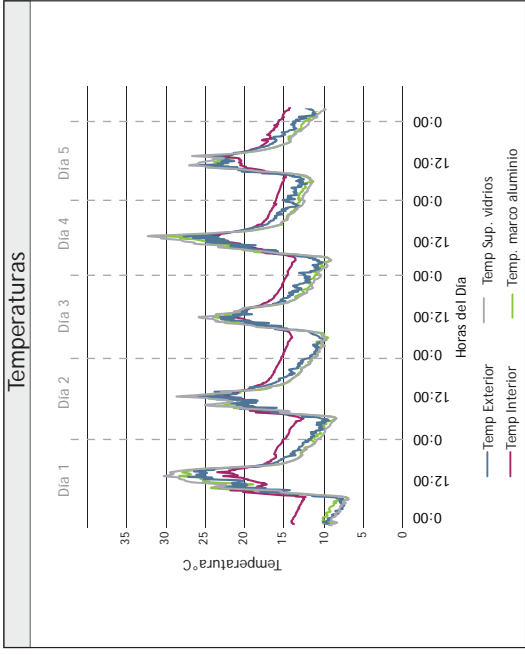
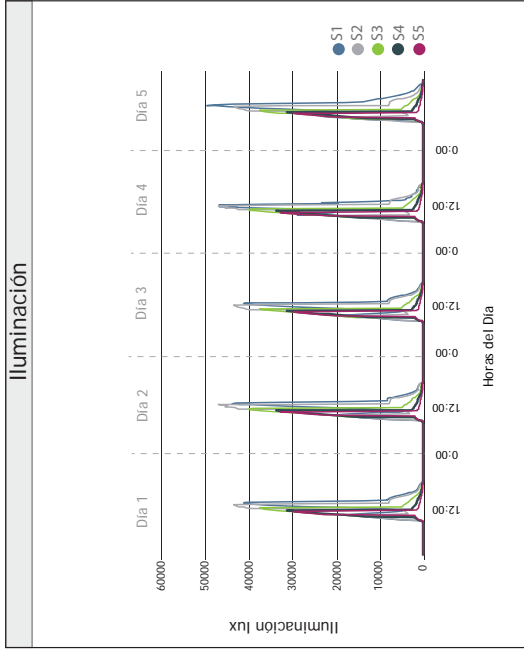
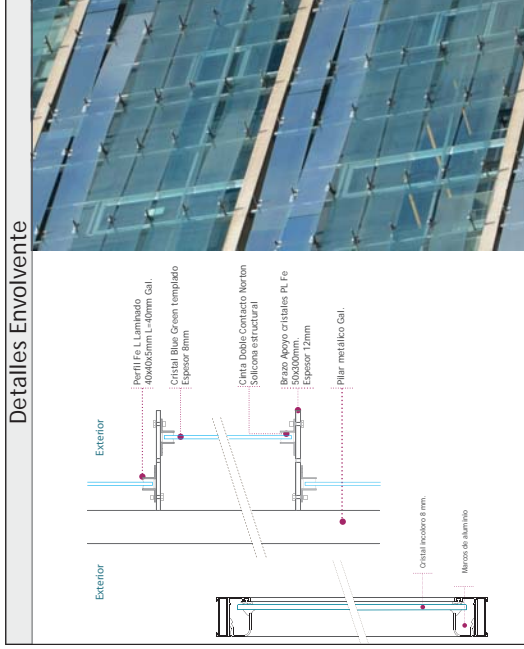
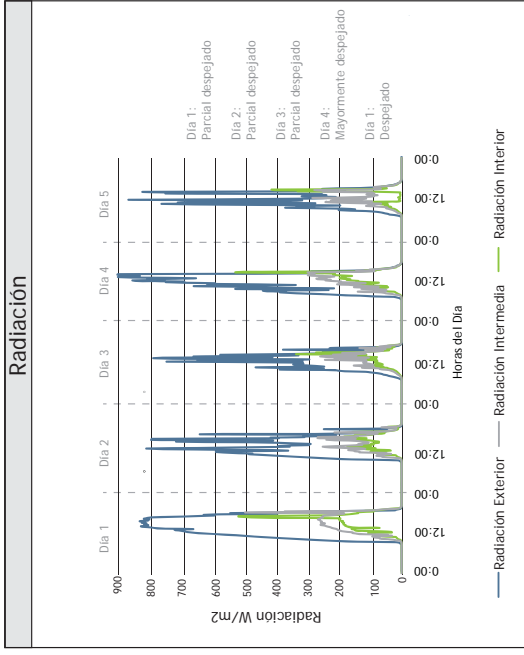
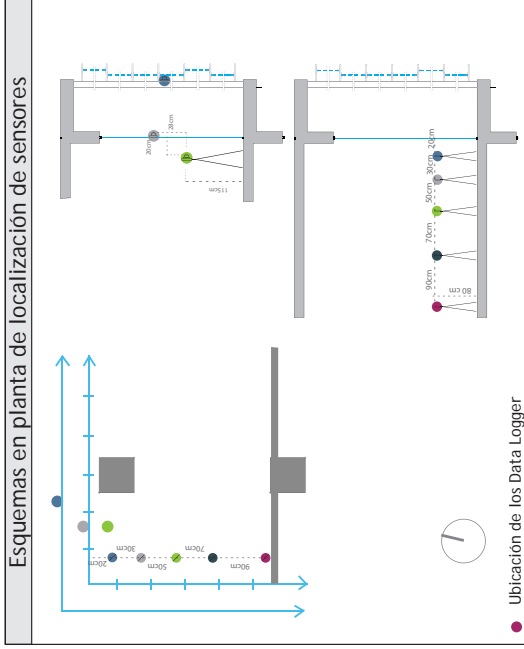


Fin de Semana de Invierno



Edificio Tipo 3A: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar

Medición: Iluminación y radiación oficina Norte

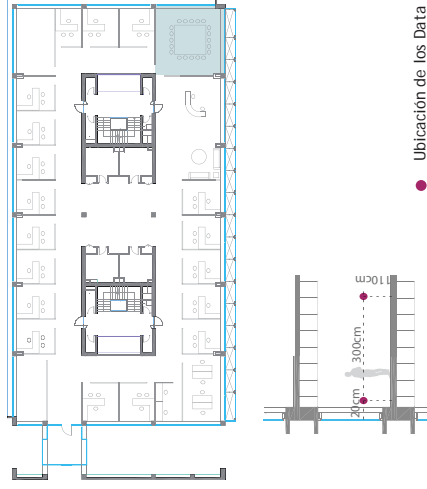


Edificio tipo 3-B: Fachada totalmente vidriada,
con vidrio doble claro, sin protección solar.

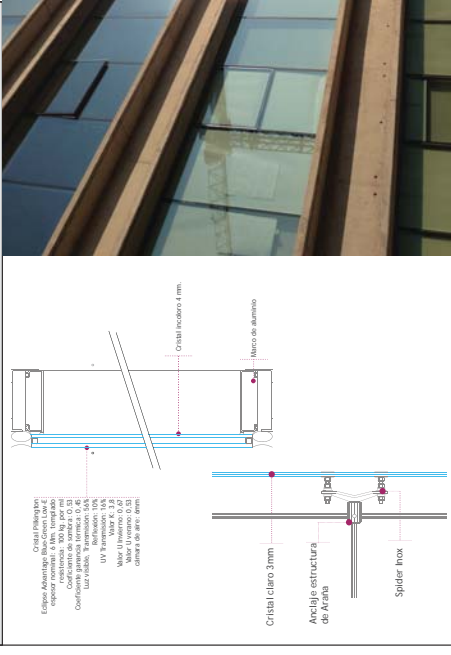
Edificio Tipo 3B: Fachada totalmente vidriada, con vidrio doble claro, sin protección solar.

Medición: Temperatura oficina Oriente

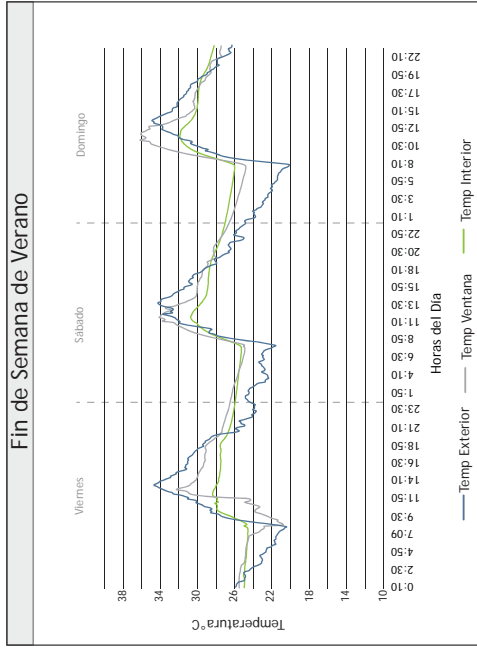
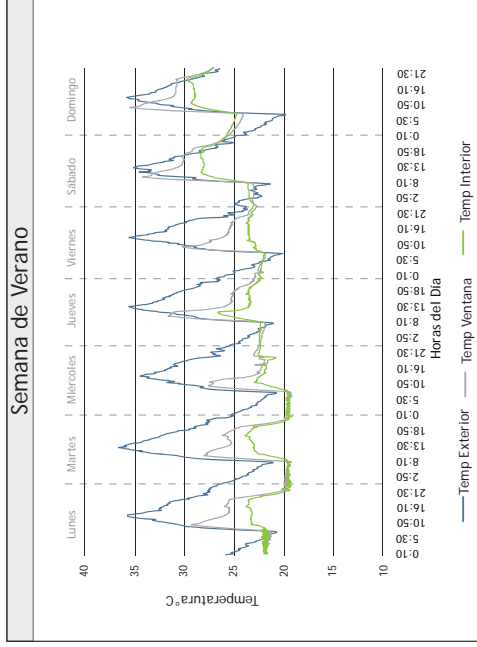
Planta



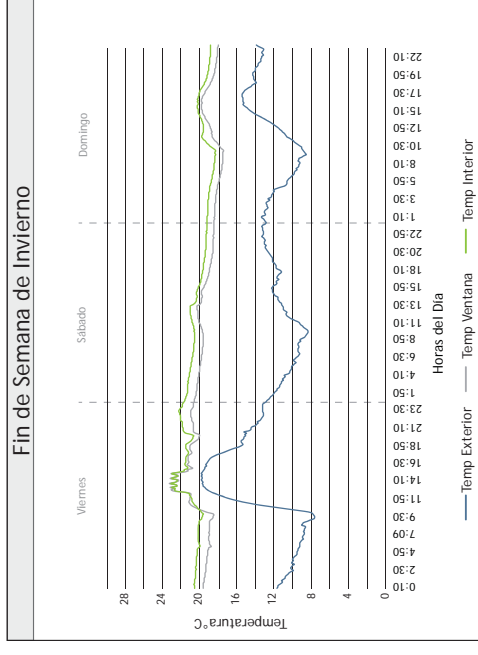
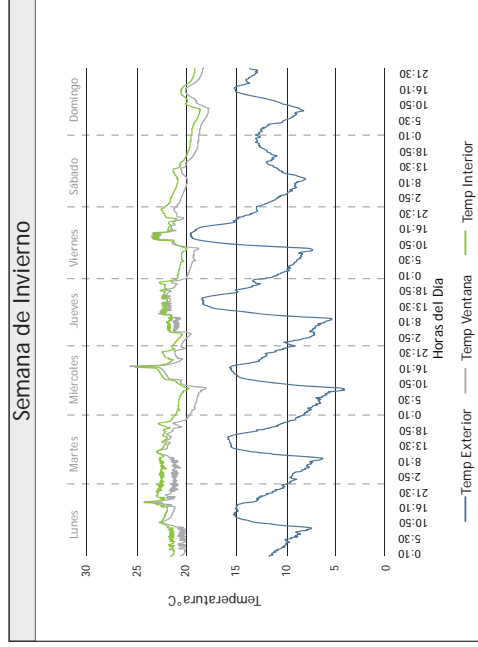
Detalle



Mediciones Verano

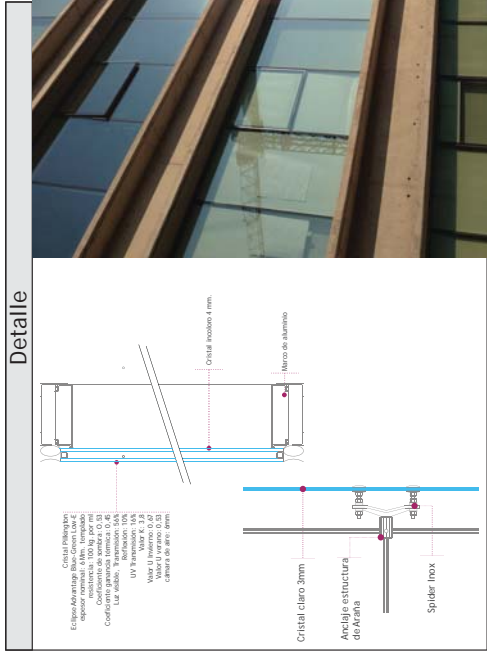
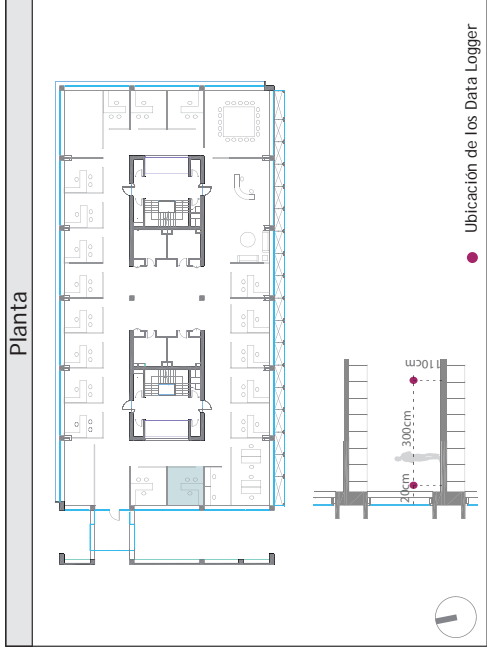


Mediciones Invierno

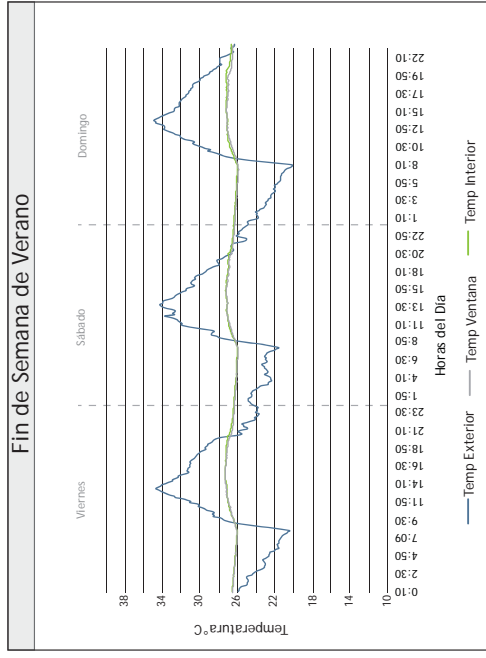
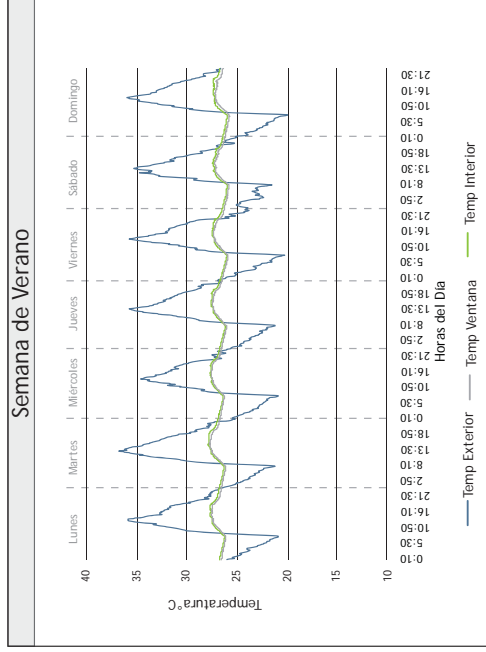


Edificio Tipo 3B: Fachada totalmente vidriada, con vidrio doble claro, sin protección solar.

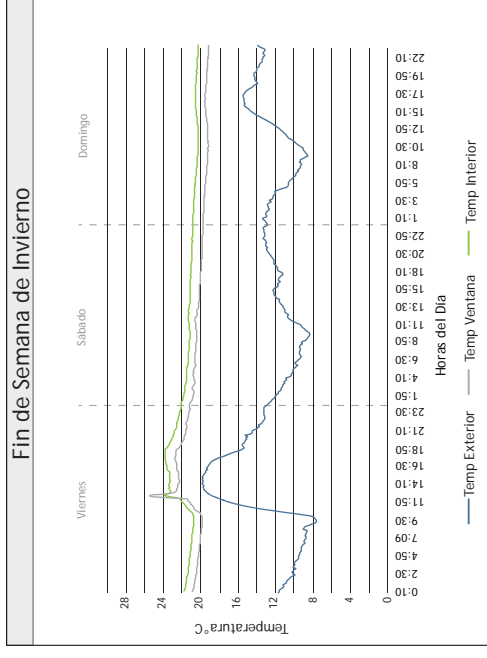
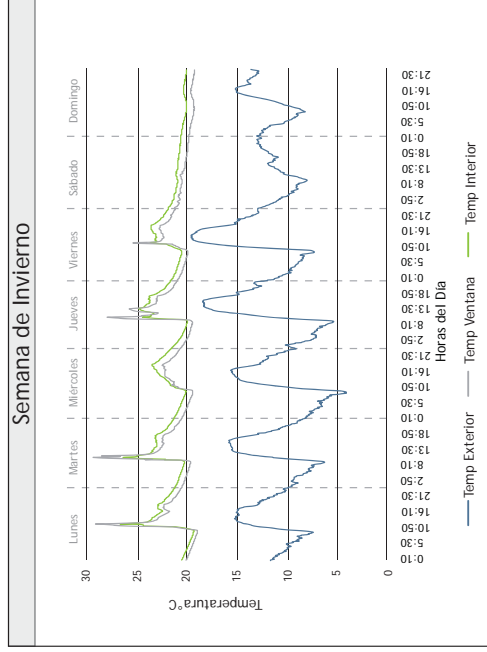
Medición: Temperatura oficina Poniente



Mediciones Verano

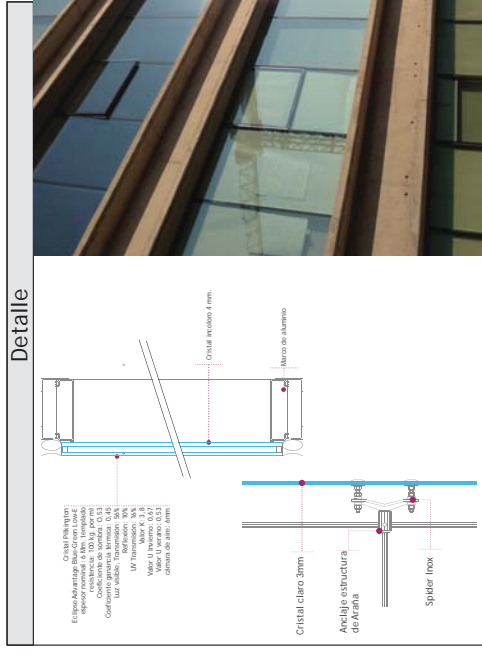
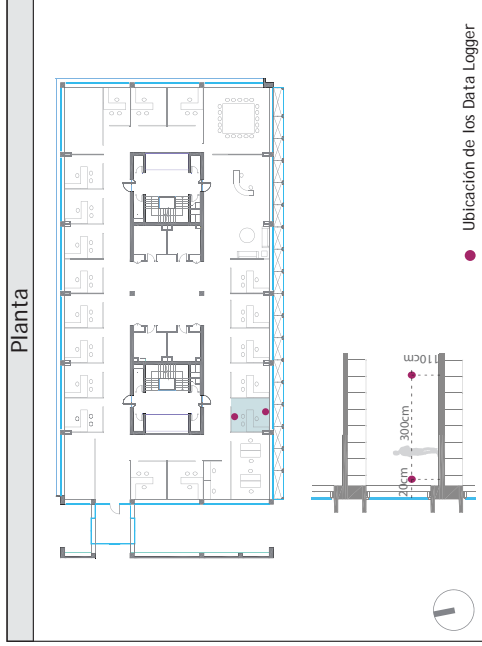


Mediciones Invierno

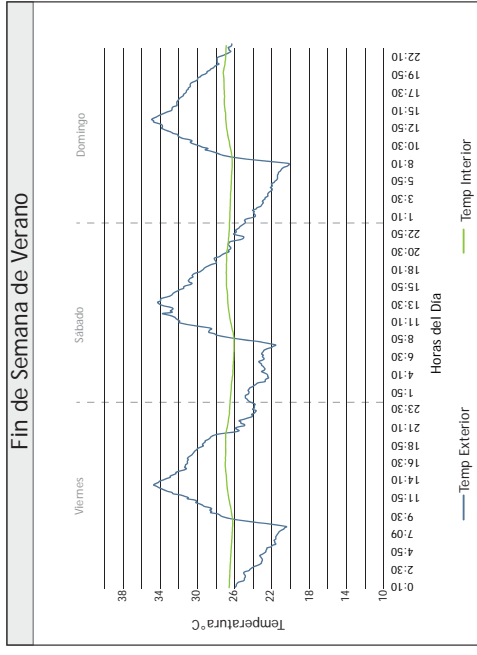
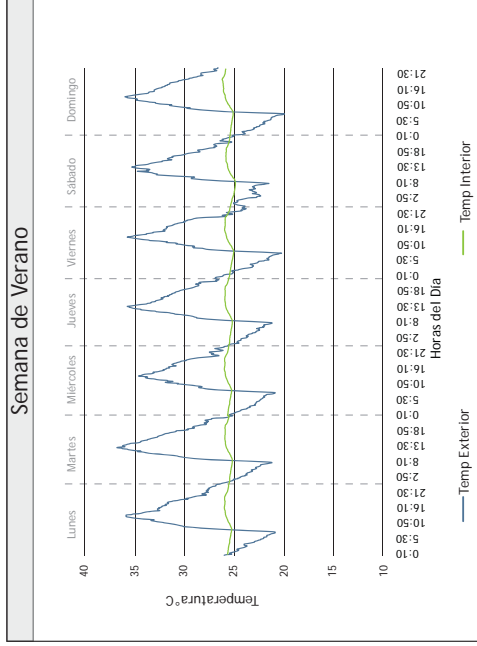


Edificio Tipo 3B: Fachada totalmente vidriada, con vidrio doble claro, sin protección solar.

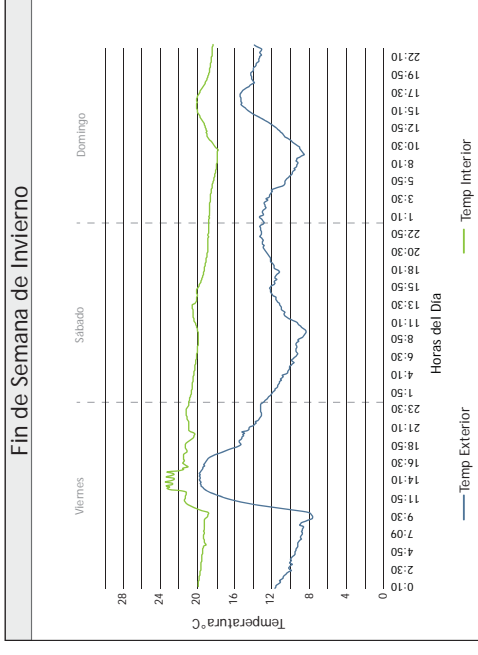
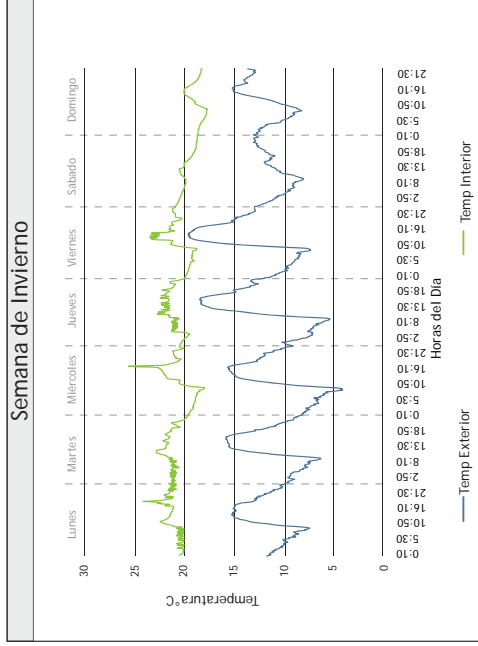
Medición: Temperatura oficina Sur



Mediciones Verano



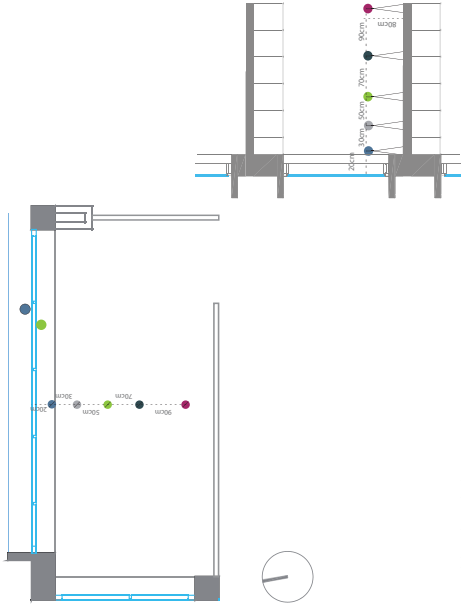
Mediciones Invierno



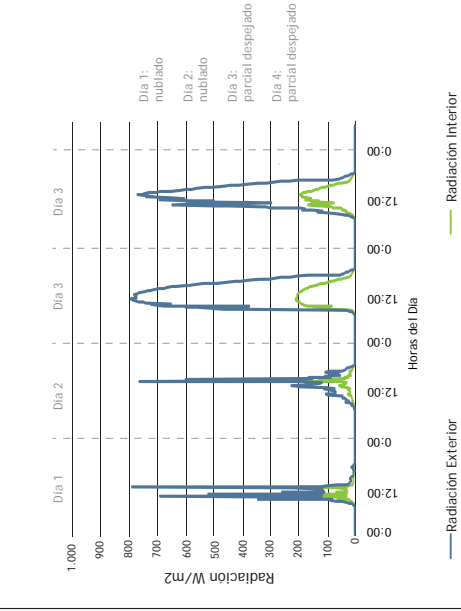
Edificio Tipo 3-B: Fachada totalmente vidriada, con vidrio doble claro, sin protección solar.

Medición: Iluminación y radiación oficina Norte

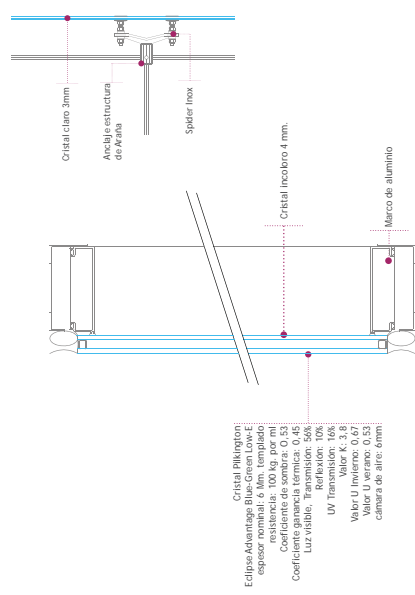
Esquemas en planta de localización de sensores



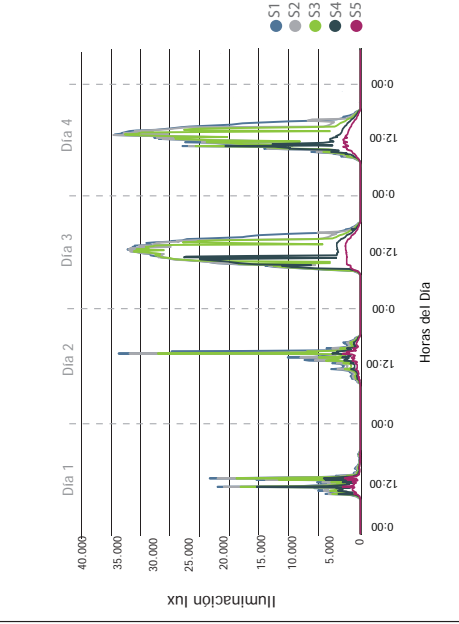
Radiación



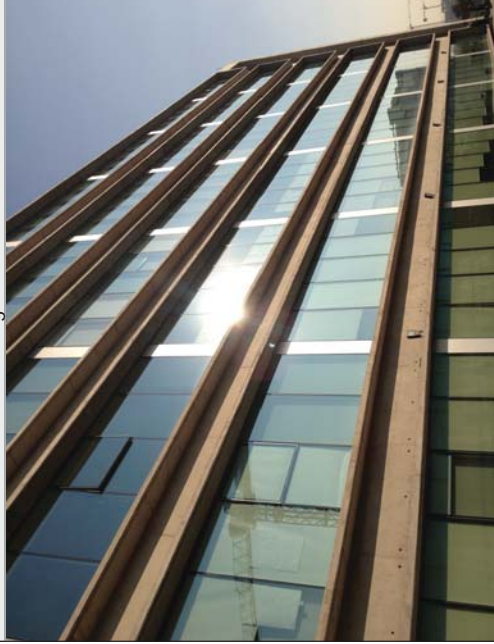
Detalles Envolvente



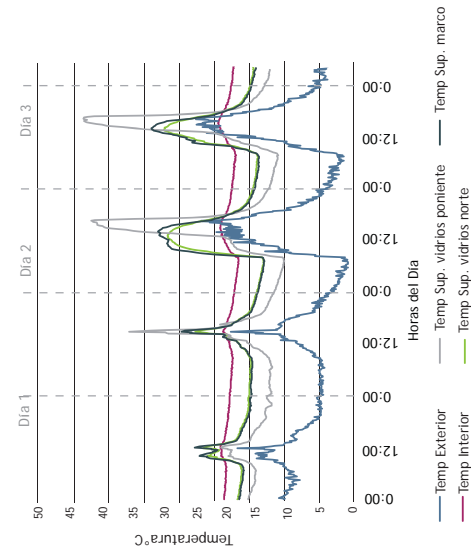
Iluminación



Imagen



Temperaturas



Estrategias de Mejoramiento Térmico Mediante Simulación de
Desempeño Energético en Régimen Dinámico

Estrategias de Mejoramiento Térmico Mediante Simulación de Desempeño Energético en Régimen Dinámico

El presente capítulo tiene por objetivo evaluar las posibles mejoras que podrían incorporarse a los edificios estudiados, tanto para disminuir sus consumos de aire acondicionado como para mantener, a través de métodos pasivos, la temperatura interior cercana a rango de confort.

El objetivo es evaluar que mejoras se podrían incorporar a estos edificios sin modificar de mayor manera la arquitectura ni la estética de los edificios, es decir, proponer estrategias pasivas que no modifiquen las características que los edificios estudiados poseen. Algunas de estas estrategias son la incorporación de protecciones solares que se añaden sobre los elementos vidriados pero que mantengan las proporciones de vanos y elementos opacos, manteniendo así las características de cada fachada. También se evaluaron estrategias como la incorporación de aislante térmico, mejoramiento de la calidad de las ventanas y la utilización de ventilación nocturna en la época de alta temperatura.

Se ha dejado fuera de evaluación al edificio tipo 2, de fachada completamente vidriada con protección solar, ya que incorpora estrategias de control térmico y lumínico que permiten que su funcionamiento se mantenga dentro de los rangos de confort con un bajo consumo de aire acondicionado, se decidió evaluar tres de los cuatro edificios monitoreados, para ver como los edificios tipo 1: fachada combinada, tipo 3-A: Fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar, y tipo 3-B: Fachada totalmente vidriada, con vidrio doble claro, sin protección solar, podrían mejorar sus respectivas comportamientos a través de las estrategias antes comentadas.

Para esta evaluación se propuso un proceso avanzado de simulación y modelamiento térmico por medio del software de evaluación de desempeño energético en régimen dinámico TAS (Software inglés, www.edsl.net), validado internacionalmente y utilizado por consultoras especializadas en países desarrollados. Estas simulaciones facilitan y fundamentan la toma de decisiones para el diseño de edificio con el fin de lograr un buen comportamiento térmico en invierno, verano y períodos intermedios.

Los estudios de comportamiento térmico se realizan con información horaria de variables climáticas (temperatura, humedad relativa, radiación solar directa y difusa, nubosidad, velocidad y dirección del viento).

Consideraciones del Clima donde se emplaza los edificios

El clima considerado en el estudio corresponde al de la ciudad de Santiago de Chile. Para un año representativo del clima del lugar se han considerado datos horarios de variables tales como radiación solar, temperatura, humedad relativa, intensidad y dirección de viento y nubosidad. (Para mayor información respectiva al clima ver capítulo I: Clima y confort higrotérmico)

Del clima se desprende que el edificio estará sometido a solicitaciones de riesgo de sobrecalentamiento en verano (lo que requiere protección solar en elementos vidriados) y menor medida en invierno es necesario contar con estrategias de protección térmica y acceso al sol.

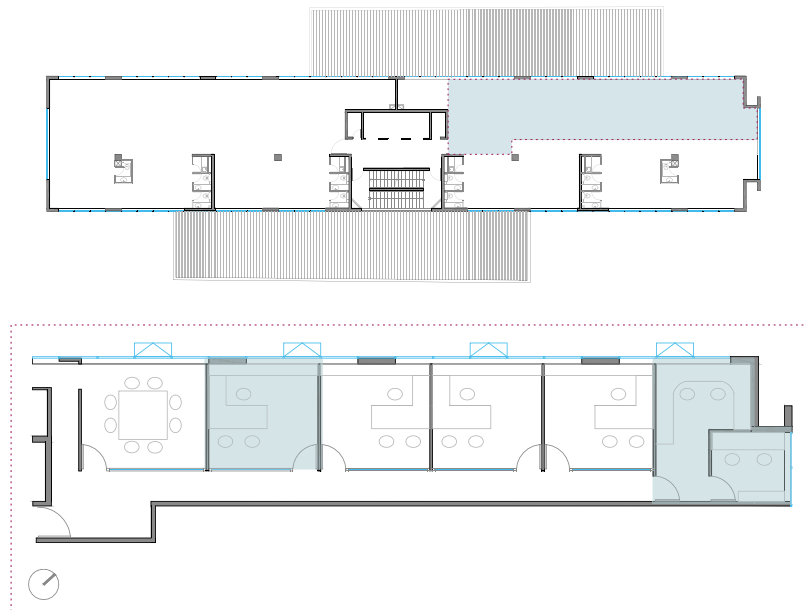


Figura 6.1: planta de localización oficinas simuladas, edificio tipo 1
Fuente: elaboración propia.

Edificio Tipo 1: Fachada Combinada Sin Protección Solar.

Orientación

El diseño del edificio presenta en todas sus fachadas una envolvente combinada donde la superficie vidriada no supera el 70%. En el caso de este edificio la zona de oficinas analizadas corresponde a parte del total del edificio, esta zona corresponde a las orientaciones, norponiente y nororiente, por lo cual analizo una oficina en cada una de estas para obtener resultados representativos.

El edificio y condiciones de operación.

La envolvente de edificio se asume con las siguientes características.

- Muros perimetrales en contacto con el ambiente exterior: Hormigón Armado de espesor 200 mm
- Muros divisorios: Hormigón Armado de espesor 200 mm.
- Losa con Hormigón Armado
- Cielo liviano
- Ventanas y puertas vidriadas de la envolvente: Doble vidriado hermético. Marcos de aluminio.

Respecto de las condiciones de operación, se asume que los diversos recintos del edificio, presentan una temperatura interior entre de 18°C y 23°C en la época de verano y entre 20°C y 26°C en la época de invierno, entre las 9:00 y las 20:00 horas de los días hábiles. El resto de tiempo se asume que no existe acondicionamiento térmico (temperatura libre).

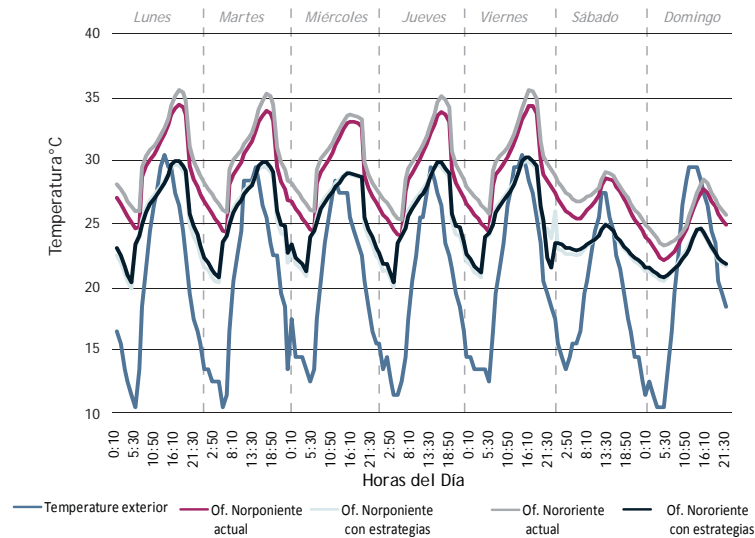


Gráfico 6.1: Gráfico de temperaturas simuladas en una semana de verano, edificio tipo 1
 Fuente: elaboración propia.

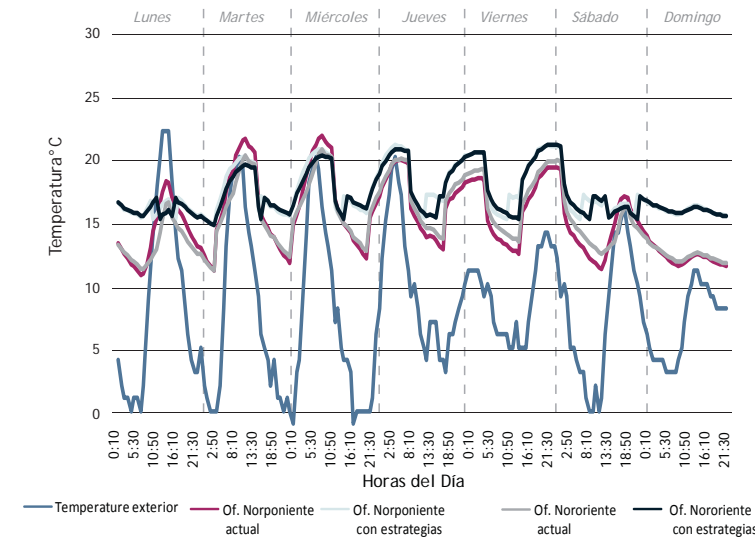


Gráfico 6.2: Gráfico de temperaturas simuladas en una semana de invierno, edificio tipo 1
 Fuente: elaboración propia.

La ventilación se asume en 1.0 volumen por hora durante las horas de uso. Adicionalmente se asumió en todos los recintos una infiltración de aire de 0.3 volumen por hora durante todo el día.

Análisis y estudios de sistemas pasivos de acondicionamiento térmico

Se simuló el desempeño térmico de cada una de las oficinas sin considerar ningún sistema activo de acondicionamiento térmico (Aire acondicionado), obteniéndose las temperaturas libres en las oficinas tal como se observa en los gráficos 6.1 y 6.2.

Luego se calcularon las demandas de energía de calefacción y refrigeración por cada una de estas oficinas simuladas necesarias para mantener la temperatura dentro del rango de confort térmico observado en el monitoreo experimental.

El gráfico 6.3 muestra las demandas de energía de calefacción y refrigeración en cada recinto simulado, teniendo en consideración las condiciones de operación y sistemas constructivos indicados para cada caso.

A partir de lo observado en estos resultados, se propusieron 3 estrategias de mejoramiento pasivo³³ que no interfieren de mayor manera en la estética y arquitectura del edificio.

³³ " estrategias pasivas", abarca el diseño general de edificios energéticamente eficientes y de bajo consumo de energía. La gama completa de técnicas pasivas son considerados, tales como la orientación correcta de la construcción, las cantidades apropiadas de la ventilación y el sombreado, el máximo uso de la luz natural y el nivel apropiado de la masa térmica, así como el uso de los recursos renovables en preferencia a los productos no renovables

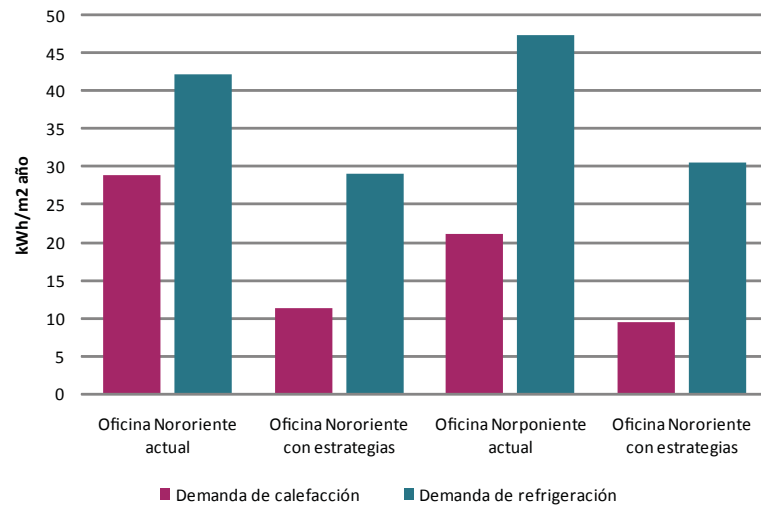


Gráfico 6.3: Gráfico de demandas de energía de calefacción y refrigeración, edificio tipo 1
Fuente: elaboración propia.

Para reducir las demandas de calefacción se propuso la incorporación de aislante térmico en los muros perimetrales opacos.

Para reducir la demanda de refrigeración se incorporó un sistema de protección solar que impide el ingreso de radiación directa en la época de verano y la permite en la época de invierno. Además en la época de mayor temperatura se utilizó una estrategia de ventilación nocturna, como mecanismo de enfriamiento.³⁴

Se puede observar que a través de la incorporación de estas tres estrategias pasivas, la temperatura interior de las oficinas simuladas, en época de verano, se reduce en promedio en 5 °C en relación a la simulación sin la incorporación de las estrategias. En la época de invierno se observa un aumento de aproximadamente 4 °C con respecto a las oficinas sin la incorporación de las estrategias antes mencionadas.

Las temperaturas obtenidas con las estrategias, tanto en verano como en invierno, se acerca más al rango de confort que las temperaturas obtenidas sin las estrategias. Esto permite disminuir la demanda energía de calefacción en un 60% y la demanda de energía de refrigeración en 35%.

³⁴ La Estrategia de ventilación nocturna o enfriamiento convectivo es cuando el aire frío nocturno se introduce a las oficinas haciendo disminuir la temperatura de aire. Este tipo de ventilación es muy efectiva cuando las oficinas en su interior presenta elementos de alta inercia, los que se enfrían y al día siguiente absorben el calor del aire haciendo disminuir su temperatura. Ello provoca amortiguamiento de la oscilación térmica exterior y a su vez retarda dentro del día la hora en que se produce la temperatura máxima interior respecto de la exterior.

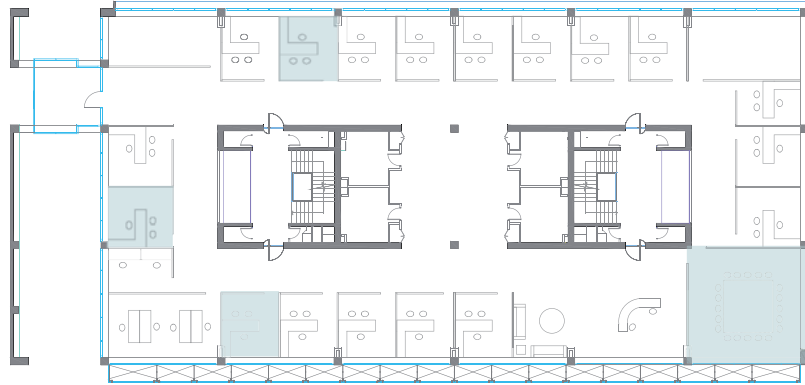


Figura 6.2: planta de localización oficinas simuladas, edificio tipo 3b
Fuente: elaboración propia.

Edificio tipo 3b: fachada totalmente vidriada, con vidrio doble claro, sin protección solar.

Orientación

El diseño del edificio presenta en todas sus fachadas una envolvente combinada donde la superficie vidriada supera el 75%. En las cuatro orientaciones (norte, sur, oriente, poniente) existen recintos que requieren de altos niveles de confort térmico, por lo cual se tomaron una oficina en cada una de estas orientaciones para obtener resultados representativos.

El edificio y condiciones de operación.

La envolvente de edificio se asume con las siguientes características:

- Muros perimetrales en contacto con el ambiente exterior: Hormigón Armado de espesor 200mm
- Muros divisorios: tabiques de estructura metálica liviana.
- Losa con Hormigón Armado
- Cielo liviano
- Ventanas y puertas vidriadas de la envolvente: Doble vidriado hermético. Marcos de aluminio.

Respecto de las condiciones de operación, se asume que los diversos recintos del edificio, con la excepción de bodegas, presentan una temperatura interior entre de 18°C y 23°C en la época de verano y entre 20°C y 26°C en la época de invierno, entre las 9:00 y las 20:00 horas de los días hábiles. El resto de tiempo se asume que no existe

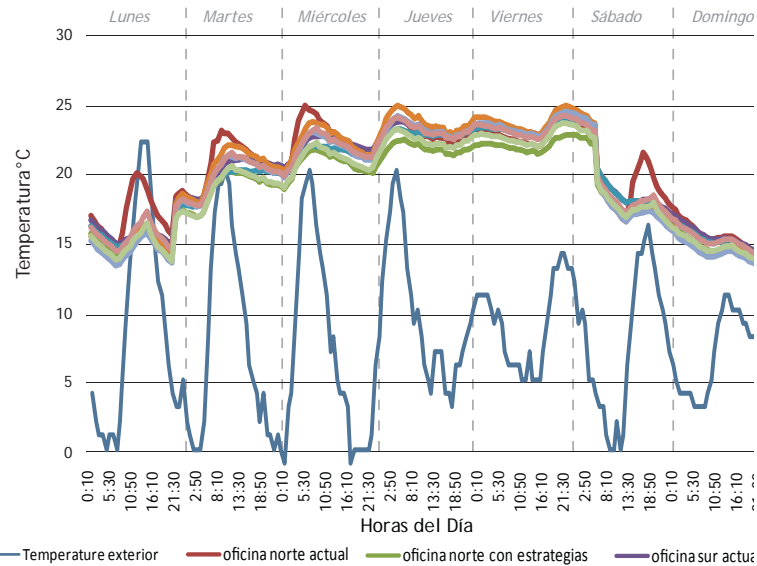


Gráfico 6.4: Gráfico de temperaturas simuladas en una semana de verano, edificio tipo 3b

Fuente: elaboración propia.

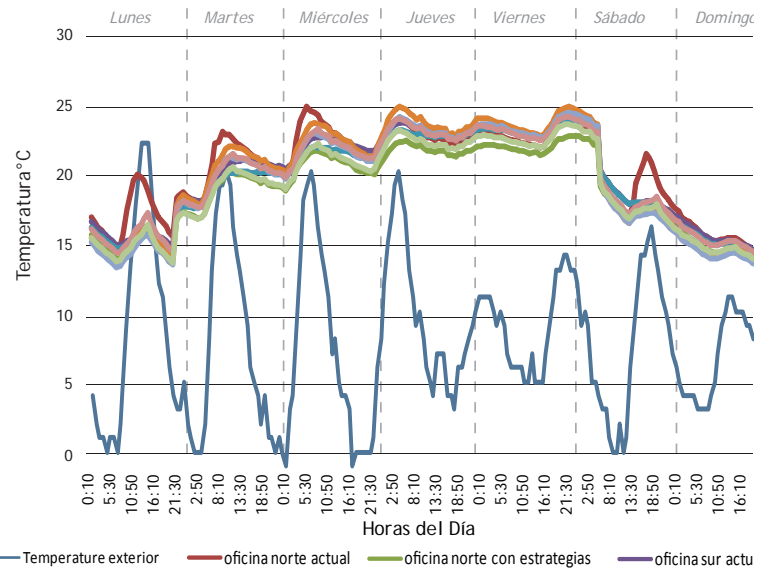


Gráfico 6.5: Gráfico de temperaturas simuladas en una semana de invierno, edificio tipo 3b

Fuente: elaboración propia.

acondicionamiento térmico (temperatura libre).

La ventilación se asume en 1.0 volumen por hora durante las horas de uso. Adicionalmente se asumió en todos los recintos una infiltración de aire de 0.3 volumen por hora durante todo el día.

Análisis y estudios de sistemas pasivos de acondicionamiento térmico

Se simuló el desempeño térmico de cada una de las oficinas sin considerar ningún sistema activo de acondicionamiento térmico (Aire acondicionado), obteniéndose las temperaturas libres en las oficinas tal como se observa en los gráficos 6.4 y 6.5.

Luego se calcularon las demandas de energía de calefacción y refrigeración por cada una de estas oficinas simuladas necesarias para mantener la temperatura dentro del rango de confort térmico observado en el monitoreo experimental.

El gráfico 6.6 muestra las demandas de energía de calefacción y refrigeración en cada recinto simulado, teniendo en consideración las condiciones de operación y sistemas constructivos indicados para cada caso.

A partir de lo observado en estos resultados, se propusieron 2 estrategias de mejoramiento pasivo que no interfieren de mayor manera en la estética y arquitectura del edificio.

Dado que las demandas de calefacción obtenidas en este caso se acercan a cero y son despreciables, no se propusieron medidas para el mejoramiento en este ámbito.

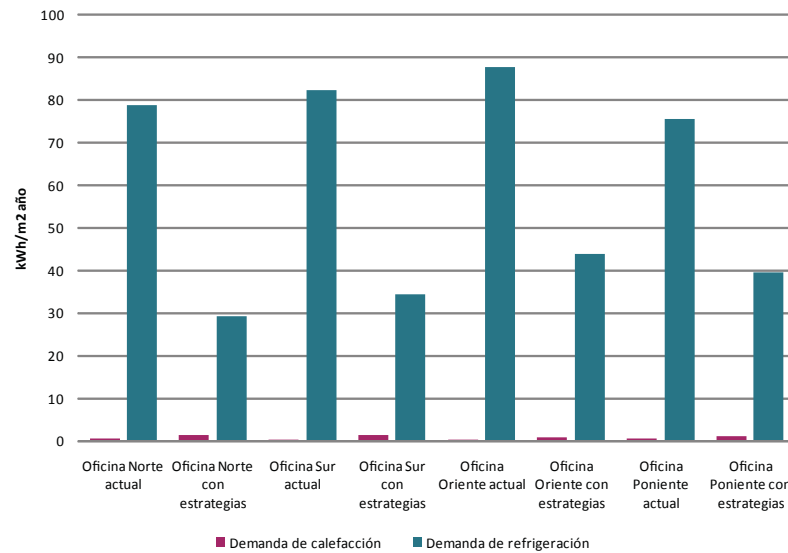


Gráfico 6.6: Gráfico de demandas de energía de calefacción y refrigeración, edificio tipo 3b

Fuente: elaboración propia.

Para reducir la demanda de refrigeración se incorporó un sistema de protección solar que impide el ingreso de radiación directa en la época de verano y la permite en la época de invierno. Además en la época de mayor temperatura se utilizó una estrategia de ventilación nocturna.

Se puede observar que a través de la incorporación de estas estrategias pasivas, la temperatura interior de las oficinas simuladas, en época de verano, se reduce entre 8 °C y 10 °C en promedio en relación a la simulación sin la incorporación de las estrategias.

Las temperaturas obtenidas con las estrategias, en verano, se acerca más al rango de confort que las temperaturas obtenidas sin las estrategias. Esto permite disminuir la demanda de energía de refrigeración en 55% en promedio.

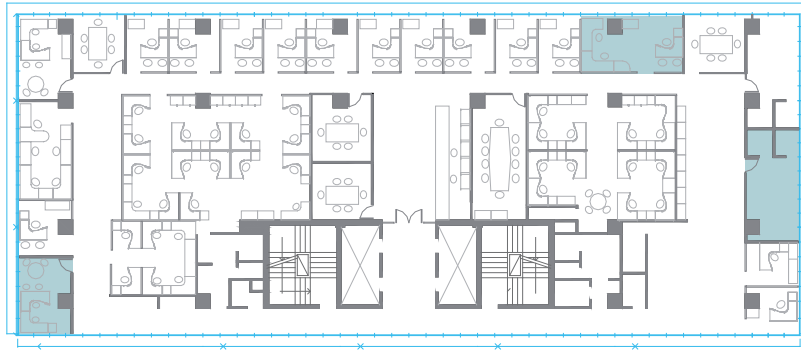


Figura 6.3: planta de localización oficinas simuladas, edificio tipo 3a
Fuente: elaboración propia.

Edificio tipo 3a: fachada totalmente vidriada, con vidrio simple claro, sin protección solar.

Orientación

El diseño del edificio presenta en todas sus fachadas una envolvente completamente vidriada. En tres de las orientaciones (norte, oriente, poniente) existen recintos que requieren de altos niveles de confort térmico, por lo cual se tomaron una oficina en cada una de estas orientaciones para obtener resultados representativos.

El edificio y condiciones de operación.

La envolvente de edificio se asume con las siguientes características

- Doble piel vidriada con vidrio simple.
- Muros divisorios: tabiques de estructura metálica liviana
- Losa con Hormigón Armado
- Cielo liviano

Respecto de las condiciones de operación, se asume que los diversos recintos del edificio, con la excepción de bodegas, presentan una temperatura interior entre de 18°C y 23°C en la época de verano y entre 20°C y 26°C en la época de invierno, entre las 9:00 y las 20:00 horas de los días hábiles. El resto de tiempo se asume que no existe acondicionamiento térmico (temperatura libre).

La ventilación se asume en 1.0 volumen por hora durante las horas de uso. Adicionalmente se asumió en todos los recintos una infiltración de aire de 0.3 volumen por hora durante todo el día.

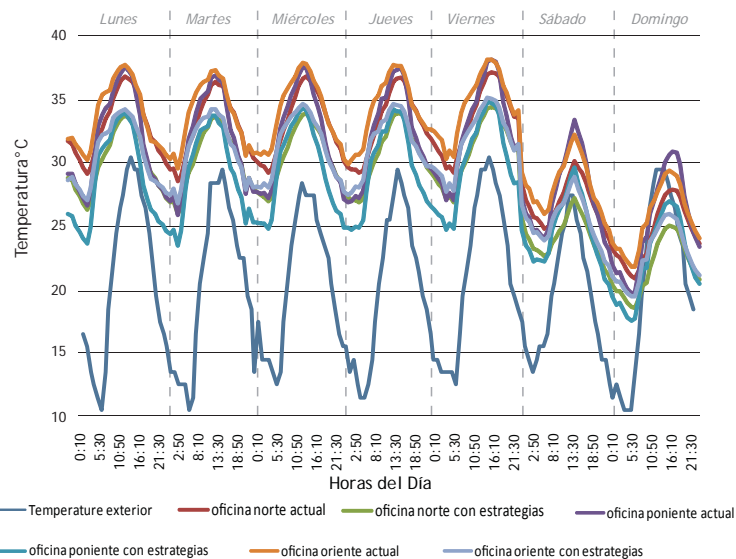


Gráfico 6.7: Gráfico de temperaturas simuladas en una semana de verano, edificio tipo 3a

Fuente: elaboración propia.

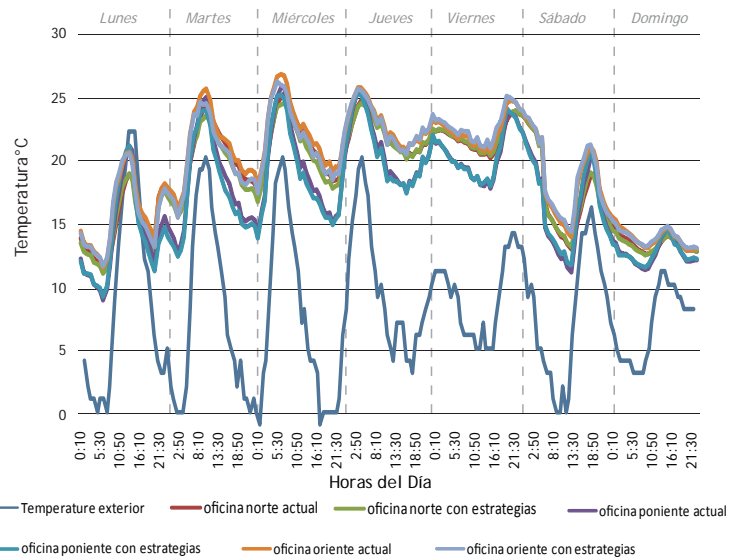


Gráfico 6.8: Gráfico de temperaturas simuladas en una semana de invierno, edificio tipo 3a

Fuente: elaboración propia.

Análisis y estudios de sistemas pasivos de acondicionamiento térmico

Se simuló el desempeño térmico de cada una de las oficinas sin considerar ningún sistema activo de acondicionamiento térmico (Aire acondicionado), obteniéndose las temperaturas libres en las oficinas tal como se observa en las gráfico 6.7 y 6.8.

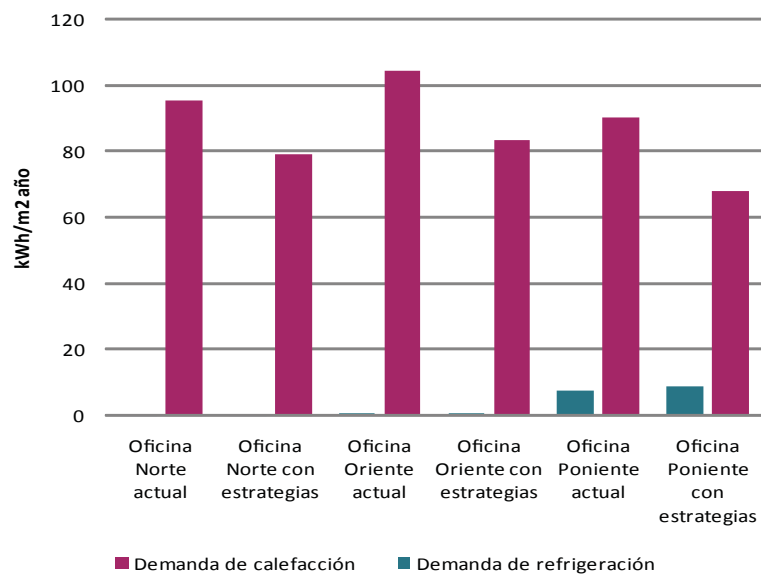
Luego se calcularon las demanda de energía de calefacción y refrigeración por cada una estas oficinas simuladas necesarias para mantener la temperatura dentro del rango de confort térmico observado en el monitoreo experimental.

El gráfico 6.9 muestra las demandas de energía de calefacción y refrigeración en cada recinto simulado, teniendo en consideración las condiciones de operación y sistemas constructivos indicados para cada caso.

A partir de lo observado en estos resultados, se propusieron 2 estrategias de mejoramiento pasivo que no interfieren de mayor manera en la estética y arquitectura del edificio.

Para reducir la demanda de refrigeración se incorporó reemplazo el vidrio de la fachada exterior por un vidrio de mayor reflectancia, para disminuir el sobrecalentamiento por radiación solar. Además en la época de mayor temperatura se utilizó una estrategia de ventilación nocturna.

Se puede observar que a través de la incorporación de estas estrategias pasivas, la temperatura interior de las oficinas simuladas, en época de verano, se reduce entre 3°C en promedio en relación a la simulación sin la incorporación de las estrategias.



Las temperaturas obtenidas con las estrategias, en verano, se acerca más al rango de confort que las temperaturas obtenidas sin las estrategias. Esto permite disminuir la demanda de energía de refrigeración en 20% en promedio.

Gráfico 6.9: Gráfico de demandas de energía de calefacción y refrigeración, edificio tipo 3a
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Conclusiones

En Chile se construyen aproximadamente 4,18 millones de metros cuadrados anuales en edificios corporativos e industriales, de los cuales el 30% se construye en Santiago, Región metropolitana de Chile. En el país aún no existe norma que regulen el uso de la energía para acondicionamientos térmicos de los edificios de oficina, aún no se toma conciencia del gran impacto ambiental que se está produciendo al permitir la exportación de diseños desde otros países con climas completamente diferentes al nuestro, que para su correcto funcionamiento requieren de un altísimo consumo de energía.

Como se ha dicho anteriormente, el diseño y construcción de edificios de oficina en el país se realiza normalmente en base a modelos o patrones traídos de otros países, aun cuando éstos presenten climas totalmente diferentes a los que existen en la ciudad de Santiago. Esta “importación” de diseños arquitectónicos trae como consecuencia una serie de impactos tanto en el consumo energético como en el confort de los usuarios.

Como se ha analizado a lo largo de la tesis, el utilizar ciertas estrategias, tales como la doble piel y el uso de fachadas completamente vidriadas, trae grandes problemas en relación a su desempeño energético, tales como el sobrecalentamiento, producto del efecto invernadero y el deslumbramiento por el escaso control lumínico, que para su solución requiere de una alta demanda de energía para llegar a los niveles de confort de los usuarios. Actualmente, este tipo de estrategias es muy utilizado en Chile sin preocupación alguna sobre los efectos en los consumos de energía y en el confort de sus usuarios.



*Imagen 7.1: espacio para oficinas con problemas de altos contraste en iluminación.
Fuente: Elaboración propia*



*Imagen 7.2: oficina con problemas de deslumbramiento.
Fuente: Elaboración propia*

El impacto de usar ciertas estrategias de diseño arquitectónico y su efecto en las demandas de energía en los edificios de oficinas que se ha analizado durante el estudio, nos permite concluir que **en un edificio en la ciudad de Santiago al que se le aplican una serie de estrategias pasivas como una efectiva protección solar, optimizar el tamaño de las ventanas, utilizar un vidrio de baja emisividad, minimizar las ganancias internas sin afectar el confort lumínico de los usuarios y utilizar ventilación nocturna para el enfriamiento, logra que en una semana de verano representativa en la ciudad (con las más altas temperaturas), la demanda de energía de enfriamiento sea significativamente menor respecto de idéntica demanda suponiendo el edificio sin la aplicación de las indicadas estrategias.** Para una semana de invierno representativa (con las más bajas temperaturas) la demanda para calefacción es prácticamente nula.

A partir de los edificios analizados se puede concluir que la incorporación de estrategias pasivas sin alteración en el diseño arquitectónico, tales como la utilización de protección solar, la ventilación nocturna y la disminución de las ganancias internas son importantes para lograr un buen desempeño energético en el edificio. Gracias a estas estrategias la demanda de enfriamiento se reduce en un 40% promedio para una semana representativa de verano (altas temperaturas exteriores) y la demanda de calefacción se reduce en un 60% promedio durante una semana representativa de invierno (temperaturas bajas exteriores), en comparación con idénticas demandas del mismo edificio sin uso de las estrategias indicadas.

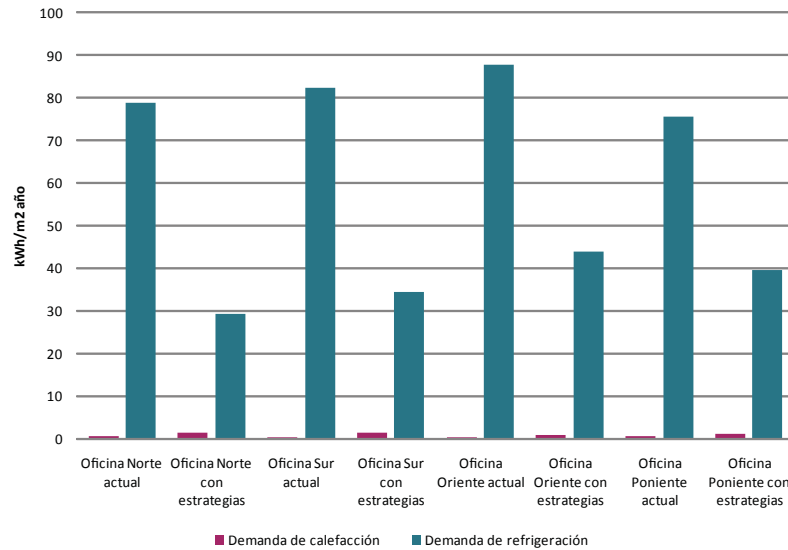


Gráfico 7.1: Gráfico comparativo de demandas de energía de calefacción y refrigeración, para un edificio de fachada totalmente vidriada, con vidrio doble claro, sin protección solar, en estado natural y con incorporación de estrategias pasivas. Fuente: elaboración propia.

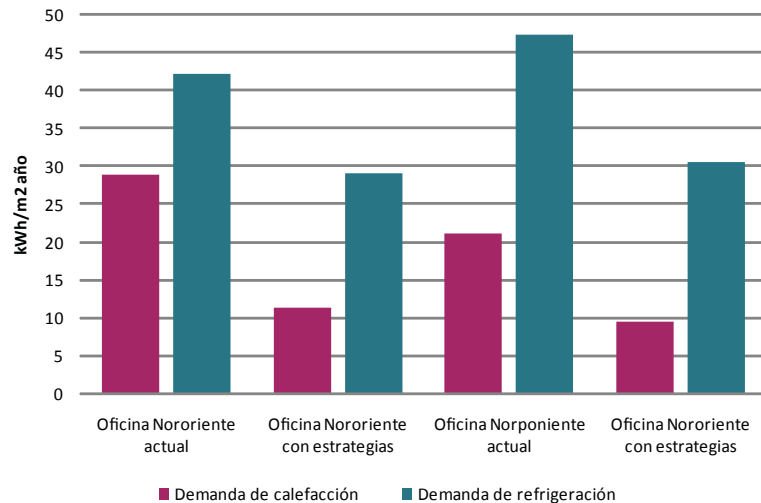


Gráfico 7.2: Gráfico comparativo de demandas de energía de calefacción y refrigeración, para un edificio de fachada combinada, con vidrio doble claro, sin protección solar, en estado natural y con incorporación de estrategias pasivas. Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, se puede concluir que en si se compran el comportamiento energético de un edificio de fachada combinada, donde la superficie vidriada no supera no supera el 70% con un edificio de fachada completamente vidriada, se observa que la demanda de energía de enfriamiento del primer edificio equivale a un tercio de un edificio con fachada totalmente vidriada. En el caso que al edificio de fachada completamente vidriada se le agregan unas protecciones solares "inteligentes" que controlen la radiación solar directa, como es el caso del edificio Tipo dos del estudio (edificio tipo 2: fachada completamente vidriada con protección solar) el desempeño energético es considerablemente más eficiente.

A partir de las simulaciones realizadas es importante destacar que en los edificios de oficina en Santiago de Chile, en general, las demandas de energía de enfriamiento son muy superiores a las demandas de energía de calefacción

En resumen se puede concluir

- 1.- Los diseños arquitectónicos importados de otros países con climas diferentes al de la ciudad de Santiago, presentan un mal comportamiento térmico y en algunos casos lumínico. La demanda de energía para llegar a los niveles de confort de los usuarios son altísimos y por lo general no hay un control en ello.
- 2.- La orientación de las oficinas no tiene gran impacto en el comportamiento térmico del edificio, no así el comportamiento lumínico, que en muchos casos, se observó deslumbramiento. En las mediciones in situ, se recogieron mediciones sobre los 2.500 lux, valores que superan el rango de 300-500 lux recomendado por las normas internacionales para el bien estar de los usuarios.

3.- El correcto diseño de las componentes vidriadas de la envolvente, permite un control en la utilización de la luz natural y ganancia solar, factores cruciales para el desempeño de los edificios, ya que, el consumo de energía por iluminación y refrigeración asociado es entre el 30 y 40% del total del consumo de energía del edificio.

4.- Las protecciones solares no solo impactan al consumo de energía de climatización del edificio sino también a la luz natural del interior del este, que trae como consecuencia un mayor consumo de energía eléctrica para iluminación y una disminución del confort visual de los ocupantes

5.- Se puede reducir la demanda de energía para refrigeración, al introducir estrategias pasivas que no modifiquen notoriamente el diseño arquitectónico, en más de un 40%.

6.- Al cambiar el vidrio simple y claro de una fachada por uno DVH de baja emisividad, el sobre calentamiento disminuye por lo tanto la demanda de energía por refrigeración baja en aproximadamente un 25%.

7.- El problema principal en los edificios de fachada vidriada es el consumo de energía para refrigeración, en muchos casos la energía demandada para calefacción es despreciable, por lo cual, las estrategias pasivas que toman mayor importancia, son la ventilación y las protecciones solares cuando no se quiere modificar notoriamente el diseño arquitectónico.

8.- El correcto diseño de las componentes vidriadas de la envolvente, permite un control en la utilización de la luz natural y ganancia solar, factores cruciales para el desempeño de los edificios, ya que, el consumo de energía por iluminación y refrigeración asociado es entre el 30 y 40% del total del consumo de energía del edificio.

Debemos empezar a valorar la arquitectura no sólo por su valor estético y espacio proporcionados como se ha hecho hasta el momento sino también en términos de energía, como suma compleja de luz y color, sonido, temperatura y calidad del aire. (SERRA, 2004)

Esta tesis se desarrolla en el marco del proyecto de investigación FONDECYT 1111001, financiado por la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (Chile) cuyo título es: "Evaluation of different types of glazing and shading systems for improving energy performance and occupant's visual comfort of offices in Central Chile".

Bibliografía

Bibliografía

LIBROS:

Ábalos, I.; Herreros, J.

Técnica y arquitectura en la ciudad contemporánea.
1950-1990. Madrid: Nerea, 1992. [721 A117t 1992]

Allen, Edward.

Construcción: cómo funciona un edificio: principios elementales.
Barcelona: Gili, 1982. [690 A425h.E 1982].

Banham, Reyner.

La arquitectura del entorno bien climatizado.
Buenos Aires: Infinito, 1975. [696 B216a.E 1975].

Bedoya, César.

Las técnicas de acondicionamiento ambiental: fundamentos
arquitectónicos.
Madrid: Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas,
1992. [696 B412t 1992]

Behling, Sophia

Sol power: la evolución de la arquitectura sostenible.
Naucalpan, México: Gustavo Gili, c2002. [720.472 B419s.E 2002].

Bustamante W, R. Cepeda. FD. Encinas P. Martinez. Y. Rozas.

Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social
MINVU/CNE. 2009

Casals, A.; Falcones, A.; González, J. L.

Claves del construir arquitectónico. Tomo III. Elementos de las
instalaciones y la envolvente.
Barcelona: G.Gili, 1997. 2 v. [721 G643c 1997].

D´Alencon, R;

Acondicionamientos.
Santiago: Ediciones ARQ 2008.

Daniels, Klaus.

Advanced building systems: a technical guide for architects and
engineers.
Basel: Birkhauser, 2004. [690.0285 D186g.I 2003]

De Herde, André y Allan Liébard.

Traté d'architecture et d'urbanism bioclimatiques.
París. Observatoire des énergies renouvelables. 2005.

Claudio V.

El Vidrio : Arquitectura Y Técnica
Santiago, Universidad Catolica De Chile, 2006

Givoni, Baruch.

Climate considerations in building and urban design.
Nueva York, John Wiley and Sons, 1998.

Koch-Nielsen, Holger.

Stay cool. A design guide for the built environment in hot climates.
Londres, Earthscan, 2007.

Kreider, Jan y A. Rabl.

Heating and cooling of buildings design for efficiency.

Nueva York, McGraw-Hill, 1994.

Lavigne, Pierre.

Arquitectura climática. Una contribución al desarrollo sustentable.

Tomo 1. Bases físicas.

Talca, Universidad de Talca, 2003.

Lechner, Norbert.

Heating, cooling, lighting: design methods for architects.

Nueva York, John Wiley and Sons, 2001.

Lechner, Norbert.

Iluminación natural (I).

Tectónica, 24, (2008, Abril).

Lechner, Norbert.

Iluminación artificial (II).

Tectónica, 26, (2007, septiembre).

Neila, Fco. Javier.

Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental.

2a. ed. Madrid: Munilla-Lería, 1997.

Olgay & Olgay

Solar Control & Shading Devices.

New Jersey, Princeton University Press, 1957

Santamouris, Matt y D. Asimakopoulis.

Passive cooling of buildings.

Londres, James and James, 1996.

Wright, D.

Natural solar architecture a passive primer

New York : Van Nostrand Reinhold, c1978

Serra, R.

Arquitectura y Climas

aa. ed. Barcelona: Gustavo Gil, 2004.

Serra, R.; Coch, H.

Arquitectura y energía natural

Barcelona: Edición de la Universitat Politècnica de Catalunya, 1995.

[ISBN: 84-7653-505-8].

Szokolay, Steven

Introduction to architectural science. The basis of sustainable building.

Londres, Elsevier, 2004.

NORMAS Y PROTOCOLOS

Protocolo Internacional de Medida y Verificación

Conceptos y Opciones para Determinar el Ahorro de Energía y Agua

Volumen 1

Efficiency Valuation Organization, Septiembre 2010

International Performance Measurement & Verification Protocol
Concepts and Practices for Improved Indoor Environmental Quality
Volume II
March 2002

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), (2004).

Standard 55-2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta: ASHRAE.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), (2007).

Standard 62.1-2007 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta: ASHRAE.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), (2007).

Standard 90.1-2007 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, Atlanta: ASHRAE.

Ministerio de Salud (MINSAL), (1999). Decreto Supremo N° 594,
Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares trabajo. Santiago: MINSAL.

Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), (2012).

SLL Code for Lighting (Society of Light and Lighting). UK: CIBSE.

Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), (2000).

The IESNA lighting handbook. Reference & Application. USA: IESNA.

Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), (2006).

Guide A: Environmental Design. UK: CIBSE.

ISO 7730: International Standar

Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.

Second edition, 1994