

EVALUACIÓN DEL IMPACTO TÉRMICO EN VIVIENDAS PRODUCIDO POR ÁREAS DE SOMBREAMIENTO EN EDIFICIOS HIPER-DENSOS:

Polígono Toro Mazote, Estación Central, Santiago.

Resumen

El presente artículo busca visibilizar cómo la llegada de edificios hiper-densos, a partir de la densificación en barrios históricos de la comuna de Estación Central, han modificado el acceso solar del contexto urbano como consecuencia de extensas áreas de sombreado. Para ello, se modelan y cuantifican las ganancias solares mediante simulaciones energéticas, evaluando las nuevas condiciones térmicas de las viviendas que están emplazadas bajo los conos de sombra. Los resultados evidencian una problemática de soleamiento, influyendo en las ganancias térmicas de las viviendas que presentan obstrucciones solares.

Palabras claves

Estación Central - Densificación - Radiación - Acceso solar - Confort térmico

Índice

| | |
|--|-----------|
| 1. Problemática de la investigación | 4 |
| 1.1 Introducción | 4 |
| 1.2 Descripción del problema: vacío disciplinar | 4 |
| 1.3 Pregunta de investigación e hipótesis | 6 |
| 1.4 Objetivo general y objetivos específicos | 6 |
| 1.5 Metodología de la investigación | 6 |
| | |
| 2. Marco teórico | 7 |
| 2.1 Concepto de confort | 7 |
| 2.2 La radiación y su influencia en el confort térmico | 8 |
| 2.3 Variables del confort higrotérmico | 8 |
| 2.4 Métodos para evaluar el confort térmico | 10 |
| 2.4.1 Método racional o estático | 10 |
| 2.4.2 Método adaptativo | 11 |
| 2.5 La norma ASHRAE 55 | 11 |
| 2.6 El climograma de Olgyay | 11 |
| 2.7 La carta bioclimática de Givoni | 11 |
| | |
| 3. Presentación del caso de estudio | 13 |
| 3.1 Ubicación | 13 |
| 3.2 Planimetría y materialidad | 14 |
| 3.3 Morfología arquitectónica de las viviendas | 15 |

| | |
|--|-----------|
| 4. Aspectos climáticas del caso de estudio | 15 |
| 4.1 Caracterización climática de Santiago | 15 |
| 4.2 Temperatura medias | 17 |
| 4.3 Horas de luz, horas de radiación y energía solar | 17 |
| 5. Configuración de las simulaciones | 18 |
| 5.1 Simulación soleamiento– Heliodon v2 | 18 |
| 5.2 Simulación temperaturas interiores – Design Builder v6 | 18 |
| 5.2.1 Parámetros utilizados dentro de las viviendas | 19 |
| 6. Resultados | 20 |
| 6.1 Horas de sol y radiación solar: Heliodon v2 | 20 |
| 6.2 Ganancias térmicas: Design Builder v6 | 22 |
| 6.2.1 Resultados piso 6 - con obstrucción solar | 22 |
| 6.2.2 Resultados piso 27 - sin obstrucción solar | 22 |
| 6.3 Comparativa de resultados | 22 |
| 6.4 Evaluación del confort térmico interior | 24 |
| 7. Conclusiones | 25 |
| 8. Referencias bibliográficas | 25 |
| 9. Anexos | 27 |

1. Problemática de la investigación

1.1 Introducción

Es importante recordar la premisa de que la luz solar es una fuente natural esencial para el desarrollo de la vida en las ciudades que habitamos, puesto que iluminar un lugar también implica calentarlo. Los rayos solares (onda electromagnética corta) que inciden en las fachadas de nuestras viviendas resultan ser más relevantes de lo que pensamos, dado que, al impactar en el material de la envolvente, esta última lo absorbe y retransmite esa energía (onda electromagnética larga) hacia el interior del edificio en forma de calor radiante (Gonzalo, 2015). Asimismo, común y erróneamente se piensa que nuestro bienestar térmico se le atribuye únicamente a la temperatura interior del ambiente el cual estamos habitando, sin embargo, el aire caliente es solamente un subproducto de la combinación de factores ambientales del entorno, donde la radiación viene siendo uno de los más importantes (Serra, 1999). Por consiguiente, diseñar y generar sistemas pasivos de calefacción resulta indispensable para mejorar las condiciones climáticas y de bienestar dentro de un edificio, sobre todo en temporadas de invierno donde las temperaturas del ambiente exterior son menores y las horas de luz son más escasas.

Con respecto al manejo de la luz solar, Cárdenas et al. (2012) mencionan que: “el empleo de la energía solar como fuente primaria para la vida humana en las ciudades, requiere de una condición espacial: el acceso solar, pues sin ella no es viable alcanzar una dimensión de la sostenibilidad urbana” (p.25). El acceso solar, es un tema que trasciende a la actualidad debido a las polémicas surgidas por los edificios hiper-densos de gran altura, huéspedes de comunas centrales y peri-centrales en la ciudad de Santiago. Un ejemplo de aquellas comunas peri-centrales es Estación Central, la cual sufrió repentinos y bruscos procesos de verticalización inmobiliaria hiper-densa, que durante el periodo 2011-2016 dio lugar a edificaciones que superan los 30 pisos de altura (Inzulza et al., 2017; Martínez

et al., 2018; Symmes 2017). Estos procesos inmobiliarios fueron posibles debido a la ausencia, que aún se mantiene, de un Plan Regulador Comunal (PRC) propio de la comuna que regula la constructibilidad máxima de los edificios, y por ende la altura máxima final del proyecto arquitectónico. A estos edificios hiper-densos, además de atribuirles diversas problemáticas de hacinamiento, congestión vial y procesos de gentrificación en barrios residenciales históricos, se les cuestiona su verdadera contribución a la planificación y construcción de la ciudad puesto que también afectan las condiciones térmicas y lumínicas de su entorno inmediato con extensas áreas de sombreado, alterando el acceso solar y calidad de los barrios preexistentes (Cárdenas et al., 2016).

Dicho lo anterior, resulta necesario identificar y analizar las consecuencias térmicas que implica habitar una vivienda que está emplazada bajo las áreas de sombreado de los edificios hiper-densos durante prolongadas horas del día. La obtención de ganancias solares radiantes que permitan regular la temperatura interior, sobre todo durante la temporada de invierno, se ha complejizado debido a las obstrucciones solares generadas por el entorno urbano. Por tanto, esta investigación permite comprender y evaluar cómo las áreas de sombreado producidos por edificios hiper-densos impactan en el confort térmico de viviendas aledañas (figura 1).

1.2 Descripción del problema: vacío disciplinar

El planteamiento del problema surge a partir del bloqueo de la radiación solar entre edificaciones la cual se originó a partir de la transformación morfológica urbana de la comuna mediante procesos de densificación. Estos procesos de verticalización inmobiliaria han producido obstrucciones solares en barrios históricos debido a las grandes alturas que alcanzan los nuevos edificios residenciales (Inzulza et al., 2017; Martínez, 2021).

La masiva construcción de edificios hiper-densos en barrios residenciales de la comu-



Figura 1. Casas históricas del barrio emplazadas bajo los conos de sombra proyectados de los edificios hiper-densos; fotografía tomada en calle Toro Mazote, entre calles Coronel Souper y Av. 5 de Abril. (Fuente: Elaboración propia)

na de Estación Central desde el año 2011*, ha modificado las ganancias solares que solían tener las casas históricas, disminuyendo considerablemente las horas de luz, y más aun, las ganancias térmicas provenientes de la radiación solar. Dicho esto, el acceso al sol se puede traducir en luz y calor.

Esta problemática se relaciona con el concepto mencionado anteriormente, el acceso solar. McCann (2008) lo define como: “la continua disponibilidad de luz solar directa que posee una edificación y sin obstrucción de otra propiedad (edificación, vegetación u otro impedimento) (p. 1)”. Las obstrucciones de luz solar entre las edificaciones que se presentan en esta investigación pueden limitar los beneficios lumínicos y energéticos que brinda la radiación al espacio público y privado, afectando la calidad de vida del entorno. Es importante hacer énfasis en la cantidad de horas que incide la radiación solar en las edificaciones, puesto que esa energía es fundamental para mejorar la calidad térmica de

los espacios interiores de las viviendas (Cárdenas & Uribe, 2012; Cárdenas et al., 2016; Inzulza et al., 2017; Cárdenas & Lou, 2019).

Además, es necesario considerar que en los meses de invierno las temperaturas son más frías, y las horas de luz al día son menores, por ende, es probable que durante esos meses los propietarios de las casas históricas del sector presenten inconformidad térmica al interior de sus hogares si no reciben suficiente radiación solar. Hay que destacar que la resolución de esta hipótesis resulta compleja de determinar debido a las dificultades que se presentan, como la obtención de información y el acceso a las casas históricas del sector.

Dicho lo anterior, la presente investigación propone analizar un caso de estudio en la comuna de Estación Central desde un enfoque energético-térmico, como causa de la identificación de un vacío disciplinar en términos de confort térmico interior ligado al concepto de acceso so-

* Las figuras 28 y 29 del anexo muestran imágenes aéreas de la evolución urbana de Estación Central, encabezado por los edificios hiper-densos y sus conos de sombra sobre los barrios históricos.

lar. Por tanto, el enfoque de este estudio es analizar el impacto térmico que genera la radiación solar al interior de las viviendas. Las viviendas seleccionadas para el desarrollo de la investigación están contenidas en un edificio hiper-denso dentro de un polígono representativo de manzanas, puesto que realizar un estudio de todos los edificios hiper-densos de Estación Central significaría una mayor extensión y profundización investigativa.

1.3 Pregunta de investigación e hipótesis

Según las condiciones morfológicas resultantes a partir de la llegada de los edificios hiper-densos a la comuna de Estación Central, ¿cómo y cuánto afectan los conos de sombra al confort térmico de las viviendas próximas a las edificaciones en altura durante la temporada de invierno, específicamente en el solsticio de invierno (21 de junio)?

Dicho lo anterior, se plantea la siguiente hipótesis: los conos de sombra proyectados por los edificios hiper-densos causan una disminución en la temperatura operativa interior de las viviendas que se encuentran en el área de obstrucción solar, modificando el *porcentaje de aceptabilidad térmica** y por ende el confort térmico.

1.4 Objetivo general

Cuantificar las ganancias y pérdidas solares que influyen en las temperaturas interiores, con el propósito de evaluar las condiciones de confort térmico que se generan al interior de las viviendas emplazadas bajo los conos de sombras de los edificios hiper-densos del polígono de estudio (figura 9).

Objetivos específicos

1. **Analizar** las consecuencias de las obstrucciones solares en la vivienda, relacionando las horas de luz y la cantidad de energía recibida en la envolvente.
2. **Comparar** escenarios de bienestar térmico al interior de las viviendas que estén bajo el cono de sombra y fuera de este.
3. **Comprender** los efectos de la radiación solar sobre la habitabilidad de una vivienda.

1.5 Metodología de la investigación

Considerando que la presente investigación aborda y relaciona los conceptos de acceso solar y confort térmico interior, la metodología se llevará a cabo mediante el método cuantitativo. Por consiguiente, el propósito de la investigación es abordar la problemática a través de cálculos numéricos en análisis energéticos de la radiación solar incidente en las viviendas (con presencia y ausencia de obstrucción solar), y posteriormente evaluar sus condiciones de confort térmico interior.

En la literatura del acceso solar se han expuesto diversos estudios que han utilizado la metodología desarrollada por la profesora Dra. Luz Alicia Cárdenas Jirón, la cual consiste en la realización de modelaciones 3D y análisis de radiación solar acumulada con el objetivo de cuantificar y evaluar la radiación solar incidente (medidos en kWh/m²) en la morfología urbana (Cárdenas et al., 2015; Cárdenas et al., 2019; Sarquis, 2018).

En este sentido, la metodología para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación también se guiará de la metodología mencionada anteriormente y se desarrollará en cuatro partes. La primera consiste en la elabo-

* Según los experimentos realizados por Dear & Brager (1998) para el modelo adaptativo del confort térmico, se establecieron rangos de aceptabilidad térmica (80% y 90%) en torno a la temperatura óptima de un recinto y en relación con la temperatura del ambiente exterior. Estos rangos se consideran constantes adecuados para su aplicación en estándares de confort como ASHRAE 55 y ISO 7730.

ración de un levantamiento tridimensional del polígono urbano representativo utilizando el software *Sketchup*, a partir de visitas a terreno e imágenes satelitales de *Google Earth*.

En la segunda parte, se desarrollará un análisis energético de la potencia solar que incide en las fachadas del edificio hiper-denso que contiene las viviendas a analizar posteriormente. Para aquello se utilizará el software *Heliodon v2*, lo que permitirá cuantificar y graficar las ganancias y pérdidas solares.

La tercera parte consiste en la confección de escenarios comparativos entre dos departamentos de un edificio hiper-denso*, ubicados a diferentes alturas, a partir de la planimetría de los edificios solicitados a la Dirección de Obras Municipales (DOM) de la comuna. Aquello, se trabajará en el software *Design Builder* a través de una modelación tridimensional de ambos departamentos considerando las características de la materialidad de los cerramientos, y con ello, generar una simulación térmica con el propósito de cuantificar la temperatura operativa que se obtiene al interior de cada departamento del edificio, pues uno de los dos departamentos presenta obstrucciones solares por otro edificio hiper-denso. La metodología descrita en este punto se respalda en el proyecto de tesis sobre el comportamiento térmico interior de Rodríguez (2018).

Finalmente, con el programa *CBE Thermal Comfort Tool* se espera obtener gráficos de evaluación del confort térmico al interior de los departamentos, para con ello, definir y comprender las consecuencias de las obstrucciones solares en la habitabilidad de las viviendas.

2. Marco teórico

2.1 Concepto de confort

“La palabra confort se refiere, en términos generales, a un estado ideal del hombre que supone una situación de bienestar, salud y comodidad en la cual no existe en el ambiente ninguna distracción que perturbe física o mentalmente a los usuarios” (Simancas, 2003, p.1). En este sentido, el confort es un concepto subjetivo que brinda sensación de bienestar y es originado por las percepciones de los habitantes en un entorno físico.

En la arquitectura el concepto de confort se clasifica según los parámetros que interactúan con el usuario, y podemos clasificarnos en: confort visual, confort acústico, confort olfativo, confort psicológico, confort térmico (Neila, 2004). La ASHRAE (2010) define confort térmico como: “esa condición de la mente que expresa satisfacción térmica con el entorno y es evaluado de forma subjetiva” (p.3).

Dentro de la disciplina de la arquitectura, la bioclimática es el área especializada en desarrollar estrategias de diseño pasivas para mantener el control ambiental y generar bienestar a los usuarios. Uno de los temas más tratados en esta área es el confort higrotérmico, el cual relaciona principalmente las condiciones de temperatura y humedad de un ambiente, con el objetivo de encontrar el balance térmico óptimo que permita establecer rangos de bienestar. De este modo, se entiende que los factores climáticos que inciden en el diseño y la envolvente de un edificio son los que principalmente intervienen en la sensación del confort térmico.

Por otra parte, para entender la operatividad del balance térmico se deben estudiar los factores condicionantes que influyen en los me-

* Es importante recordar que la problemática inicial de la investigación mencionada en la introducción trata de las consecuencias térmicas sobre las casas históricas del sector, no obstante, para efectos más prácticos dentro de un marco académico investigativo, se establece estudiar las obstrucciones solares y los comportamientos térmicos entre departamentos de los mismos edificios hiper-densos. Esto se debe a la complejidad en la obtención de 2 casos de estudio idénticos (casas históricas) para realizar las simulaciones en la metodología descrita, pues las viviendas a simular y analizar térmicamente deben mantener los mismos parámetros de materialidad y morfología volumétrica.

canismos de intercambio térmico entre usuario y ambiente. “El bienestar es el resultado de la interacción compleja de un conjunto de parámetros. En lo relativo a los aspectos higrotérmicos, el parámetro fundamental es la temperatura, pero no se pueden olvidar el contenido de humedad, el movimiento del aire, la actividad, el tipo de arropamiento, etc. Todos ellos se podrían agrupar en cuatro categorías: parámetros geográficos, parámetros climáticos, parámetros personales y parámetros del espacio interior” (Neila, 2004, p.232).

Los parámetros agrupados en la figura 2 intervienen en los mecanismos de regulación térmica (figura 3), cuyos procesos conllevan generalmente a la pérdida de calor de una persona dentro de un ambiente. Estos mecanismos son: convección, conducción, evaporación y radiación. (Gonzalo, 2015)

Por lo tanto, en el estudio del balance térmico resulta complejo establecer condiciones universales de confort higrotérmico debido a que existen múltiples factores y parámetros que condicionan la subjetividad de bienestar en el ser humano. Sin embargo, en la actualidad es posible trabajar con condiciones medias que permitan a la persona sentirse higrotérmicamente confortable dentro de un espacio determinado (Gonzalo, 2015). Finalmente, es necesario comprender, para que una persona experimente sensaciones de confort térmico es fundamental que los mecanismos fisiológicos, encargados de la termorregulación del cuerpo humano, permitan a la persona alcanzar el balance térmico, esto quiere decir, mantener el equilibrio entre el calor ganado y perdido.

2.2 La radiación y su influencia en el confort térmico

La relevancia de la influencia del sol sobre el bienestar térmico es consecuencia directa de que las radiaciones son una forma de energía que termina transformando en calor. En efecto, el bienestar térmico está estrictamente relacionado con cuatro parámetros fundamentales dentro un ambiente específico, siendo la radiación uno de aquellos. Los demás son: la tempe-

ratura del aire, la humedad y la velocidad del aire.

Todos los objetos, seres vivos e inertes, absorben y reflejan radiación. De hecho, Serra (1999) sostiene la premisa que casi la mitad de los intercambios de energía entre un humano y un ambiente se realizan por medio de la radiación. Por otro lado, en materia de arquitectura, la radiación solar que incide en los materiales de construcción de los edificios de nuestro entorno, específicamente en los cerramientos, influye en la calidad térmica de los recintos. Este fenómeno puede ocurrir de dos maneras: 1) que la radiación ingrese hacia el interior del edificio por medio de una abertura, vano o superficie acristalada; 2) que la radiación sea absorbida por cerramientos opacos, siendo transmitida en forma de calor hacia el interior del edificio (Serra, 1999).

El resultado de ambos procesos es la obtención de una temperatura radiante en los paramentos de una edificación, la cual influye en el desarrollo del balance térmico de los recintos con el medio exterior. En otras palabras, gracias a la radiación solar podemos obtener entornos radiantes que influyan en la temperatura del aire de una edificación, cuyos valores establecerán las condiciones de confort térmico del habitante.

En este sentido, dado los beneficios que otorga la incidencia de la radiación solar en los edificios, resulta de suma importancia comprender que prescindir de radiación en temporadas de frío puede generar consecuencias negativas para el habitar humano.

2.3 Variables para determinar el confort higrotérmico

- **Temperatura seca del ambiente (T_a):** referido al estado térmico del aire en sombra, expresado en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).
- **Temperatura media radiante (T_{mr}):** es la temperatura promedio irradiada por las superficies de un espacio a su interior, expresado en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

| | |
|--|---|
| Parámetros geográficos | Latitud |
| | Altitud |
| Parámetros climáticos | Temperatura |
| | Humedad |
| | Movimiento del aire |
| | Radiación |
| Parámetros personales | Actividad |
| | Arropamiento |
| | Edad |
| | Sexo |
| | Previsibilidad subjetiva |
| Parámetros del espacio interior | Tiempo de ocupación |
| | Gradiente vertical |
| | Radiación de onda larga emitida por los paramentos interiores |
| | Variación periódica de la temperatura |
| | Asimetría radiante entre paramentos |
| | |

Figura 2. Tabla de parámetros vinculados al bienestar térmico (Fuente: Neila, 2004, p.232)

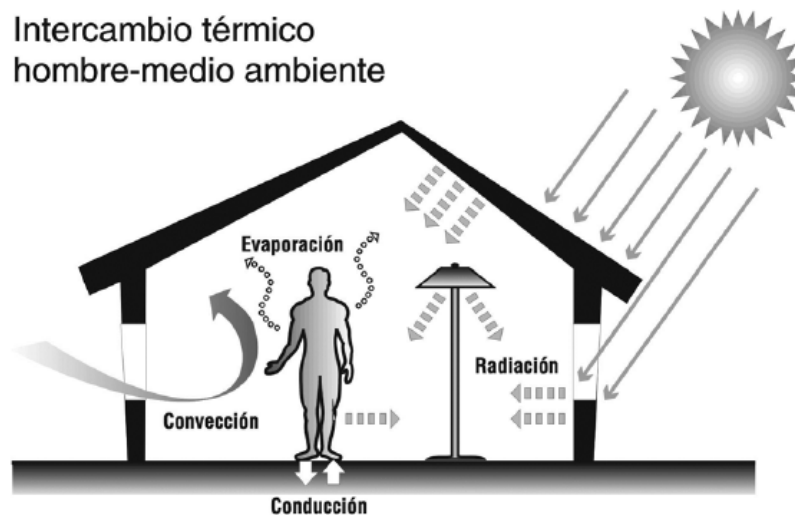


Figura 3. Mecanismos de regulación térmica. (Fuente: Gonzalo, 2015, p.129)

- **Humedad relativa (HR):** es la cantidad de agua que contiene el aire, expresado en porcentajes de saturación (%).
- **Velocidad relativa del aire (V):** definido como la rapidez de las corrientes de aire dentro de un ambiente, expresado generalmente en metros por segundo (m/s).
- **Tasa metabólica o nivel de actividad del ocupante (M):** entendido como la capacidad

del cuerpo humano en producir calor a partir de los alimentos consumidos y la actividad física realizada por el ocupante, expresado en watos por metro cuadrado (W/m²).

- **La ropa del ocupante (clo)*:** es el nivel de arropamiento del individuo, factor de protección y resistencia ante las variaciones térmicas, se expresa en la unidad de medida clo (m²°K/W).

* Un clo equivale a una resistencia térmica de 0,15 m²°C/W (Neila, 2004, p.237)

2.4 Métodos para evaluar el confort térmico

2.4.1 Método racional o estático

Uno de los principales métodos para evaluar el confort térmico es el método racional o estático desarrollado por Fanger (1970), siendo en la actualidad uno de los más extendidos para la estimación de la sensación térmica en espacios interiores. Este modelo combina la teoría del balance térmico con la fisiología de la termorregulación humana para determinar un rango de temperaturas confortables para los ocupantes de un edificio (Diego-Mas, 2015). No obstante, este método se desarrolló en estudios de laboratorio, es decir, al interior de cámaras climáticas, por tanto, se considera que la metodología aplicada es excluyente a la realidad dado que en un contexto real las condiciones ambientales y las actividades de los ocupantes son variables y dinámicas (Jara, 2016).

A partir del cálculo del confort térmico, Fanger establece los índices PMV (voto medio previsto) y PPD (porcentaje previsto de insatisfacción); El primero, basado en una escala de siete

niveles de sensación térmica (figura 5), se obtiene experimentalmente con un grupo de personas que califican la sensación térmica generada por un ambiente específico en función de las seis variables mencionadas anteriormente (figura 4). El segundo, se relaciona directamente con el índice PMV y establece el porcentaje de personas insatisfechas dentro del mismo ambiente (figura 6). “En ningún caso el PPD puede estar por debajo del 5%, lo que quiere decir, que en el espacio más cuidado siempre habrá un porcentaje, aunque sea pequeño, de personas insatisfechas; serán los tradicionalmente friolentos o calurosos por el resto de la gente.” (Neila, 2004, p. 235).

De este modo, si el valor obtenido de PPD dentro de un ambiente térmico está comprendido entre un rango de 5% y 10% de personas insatisfechas, el ambiente resulta ser admisible en la mayoría de los casos. Por el contrario, si el valor se encuentra cercano al 20%, el ambiente se torna complejo de resolver solamente con estrategias pasivas (Neila, 2004). Estos índices, y su respectiva ecuación del cálculo de confort térmico, son utilizados actualmente por las normas ISO 7730 y ASHRAE 55 (Molina & Veas, 2012).

| | | |
|----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Voto medio previsto (PMV) | Variables Ambientales | Temperatura del aire |
| | | Temperatura radiante media |
| | | Velocidad del aire |
| | Variables Personales | Humedad del aire |
| | | Tasa metabólica |
| | | Aislamiento de la ropa |

Figura 4. Tabla de las variables utilizadas en el cálculo del PMV. Elaboración propia.

| PMV | Sensación térmica |
|-----|----------------------|
| +3 | Muy caluroso |
| +2 | Caluroso |
| +1 | Ligeramente caluroso |
| 0 | Neutral |
| -1 | Ligeramente fresco |
| -2 | Fresco |
| -3 | Frío |

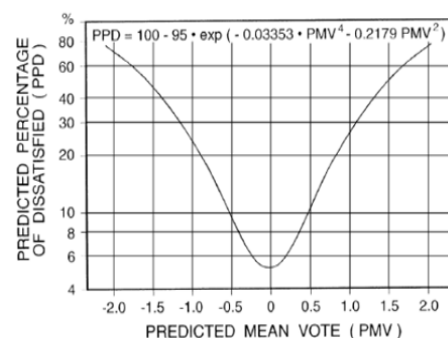


Figura 5 (izq.). Escala de valores de sensación térmica para índice PMV. Elaboración propia.

Figura 6 (der.). Porcentaje previsto de insatisfechos (PPD) en función del voto medio previsto. Fuente: ASHRAE 55, 2004, p.5.

2.4.2 Método adaptativo

El segundo tipo de método, el adaptativo, incluye variables que no son consideradas en los modelos racionales como: factores demográficos, factores de contexto y factores personales subjetivos. Según la ASHRAE (2013), el modelo adaptativo relaciona e incluye los parámetros climatológicos exteriores con las temperaturas de diseño interiores de las construcciones. Además, este modelo se realiza para analizar espacios ventilados naturalmente.

A diferencia del modelo racional de Fanger, el cual se determinó el cálculo del confort térmico en salas de laboratorio climatizadas, el modelo adaptativo surge de la teoría de que los ocupantes de un edificio se adaptan a las condiciones climáticas interiores de los espacios que habitan (Jara, 2016).

Un estudio realizado por de Dear y Brager (1998), consistió en comparar el modelo estático PMV y el modelo adaptativo con el propósito de observar la relación entre la temperatura de confort y la temperatura media exterior en los resultados de medición para dos situaciones distintas: 1) en edificios climatizados artificialmente; 2) edificios climatizados naturalmente. Los resultados permitieron a los investigadores determinar que existe una influencia de la temperatura del clima exterior sobre los valores internos de confort, validando la teoría de adaptación de los usuarios. La realización de este estudio sentó las bases para el establecimiento del modelo adaptativo en los estándares internacionales como ASHRAE 55 y EN UNE 15251 (de Dear & Brager, 2002; Jara, 2016).

2.5 La norma ASHRAE 55

Esta norma de estándar internacional divide el análisis de espacios interiores en dos tipos: artificialmente acondicionados y naturalmente acondicionados. Para el primer tipo de análisis se utiliza el modelo racional de Fanger (PMV) y para el segundo tipo se utiliza el modelo adaptativo. Además, esta norma permite evaluar el confort térmico de edificaciones ya construidas y en funcionamiento mediante programas de

computadora, por ejemplo, “*CBE Thermal Comfort Tool*”.

Las variables ambientales y personales que se requieren para evaluar el confort térmico de un ambiente específico con la norma ASHRAE 55 dependen del método a partir del cual se va a calcular el confort: 1) para el método PMV se requieren los parámetros de temperatura operativa, velocidad del aire, humedad relativa, tasa metabólica y nivel de arropamiento; 2) para el método adaptativo se requieren los parámetros de temperatura operativa, temperatura media exterior y velocidad del aire.

2.6 El climograma de Olgay

Es una gráfica bioclimática presentada en la década de los sesenta en donde se pueden visualizar las distintas situaciones de confort, según sean las condiciones higrotérmicas para una persona en reposo dentro un determinado ambiente. Como se aprecia en el gráfico (figura 7), es una herramienta que incluye el análisis de la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y la evaporación. En el eje de las abscisas se ubican los porcentajes de humedad relativa (%), mientras que en el eje de las ordenadas se grafica la temperatura del ambiente, medido en grados Celsius (°C) (Gonzalo, 2015).

Dicho lo anterior, esta herramienta de cálculo térmico permite al diseñador analizar y comprender, a partir de los valores iniciales de temperatura y humedad de un espacio, las diferentes estrategias bioclimáticas por las cuales optar para generar ambientes térmicos óptimos, aumentando o disminuyendo los valores de radiación solar, velocidad del aire (ventilación) o porcentaje de humedad, según sea el caso.

2.7 La carta bioclimática de Givoni

Es una carta que está basada en el diagrama psicrométrico y que permite determinar las estrategias bioclimáticas a utilizar en función de las condiciones higrotérmicas del edificio en una época específica del año (figura 8). Además, en el diagrama se delimitan zonas definidas dependiendo de las cualidades de temperatura y

de humedad de una localidad específica, como también de su altitud respecto al nivel del mar (Givoni, 1976).

De este modo, la carta bioclimática de Baruch Givoni resulta una herramienta sumamente útil para determinar el tipo de estrategia(s) necesaria(s) para acondicionar el ambiente interior a fin de alcanzar el bienestar térmico.

Además, esta herramienta permite analizar y comprender la correlación de variables que influyen en la toma de decisiones de diseño, puesto que no solo se consideran los factores climáticos del entorno como la temperatura y la humedad, sino también variables como la masa de la edificación y los sistemas de ventilación, tanto naturales como artificiales.

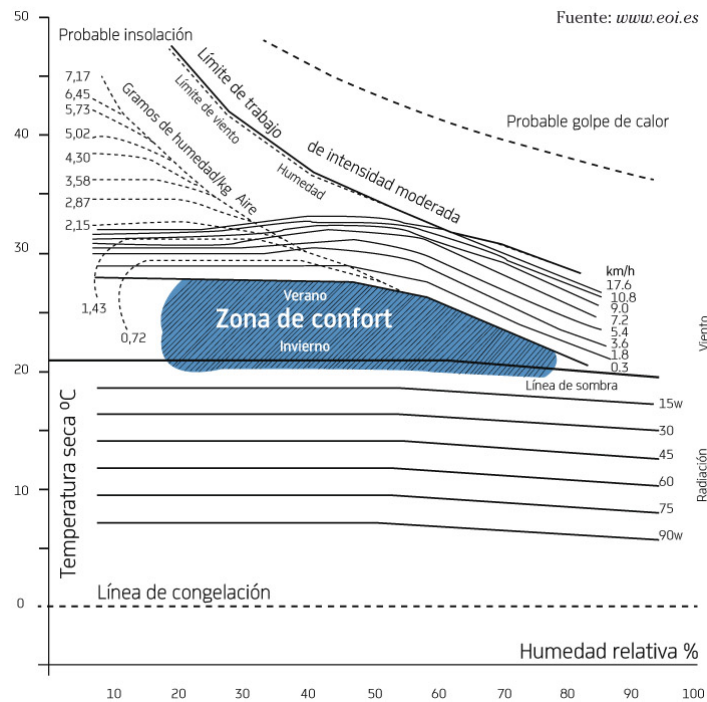


Figura 7. Gráfico bioclimático de Olgay. (Fuente: www.eoi.es)

GRÁFICO PSICOMÉTRICO DE GIVONI

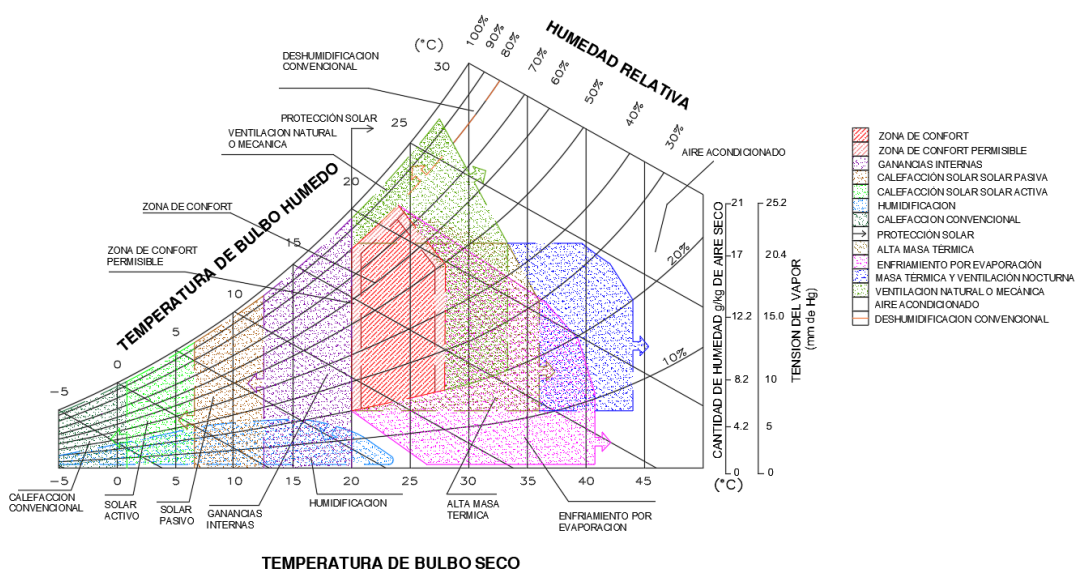


Figura 8. Diagrama psicrométrico de Baruch Givoni, zonificado según las estrategias activas y pasivas de diseño para alcanzar el confort térmico en el proyecto. (Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=ybnkbi03rSU>)

3. Presentación del caso de estudio

3.1 Ubicación

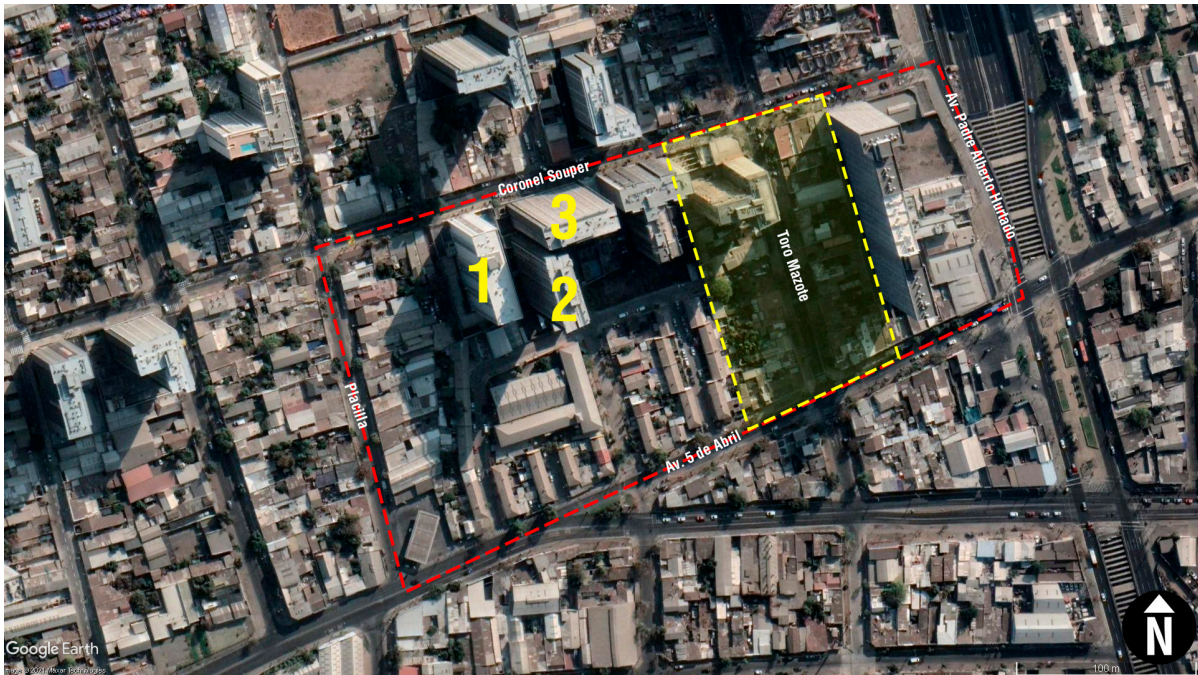


Figura 9. Casos de estudios dentro del polígono Toro Mazote, edificios n°1, n°2 y n°3. (Fuente: Elaboración propia a partir de imagen satelital extraída de Google Earth; imagen correspondiente al día 8 de mayo de 2021)

El caso de estudio a analizar en esta investigación se encuentra en la comuna de Estación Central, ubicada en la ciudad de Santiago. Tal como se menciona anteriormente, esta comuna alberga gran mayoría de los nuevos proyectos inmobiliarios de viviendas en altura, no obstante, para acotar la investigación dentro de un marco académico investigativo, se propone estudiar las obstrucciones solares que ocurren dentro de este polígono de manzana (figura 9).

Este polígono está delimitado por las calles Coronel Souper al norte, Av. Padre Alberto Hurtado al oriente, Av. 5 de Abril al sur, y Placilla al poniente, y abarca un tramo de la calle Toro Mazote, la cual se ha visto modificada en su grado de densidad debido a la llegada de edificios hiper-densos durante los últimos 5 años. Si bien el polígono se compone de dos manzanas, los criterios de elección fueron la cantidad de edificios hiper-densos y la disposición de estos en las manzanas, pues estas características morfológicas-espaciales han aumentado las áreas de

sombreamiento sobre las casas históricas que aún se emplazan en ese tramo de la calle Toro Mazote dentro del polígono. A su vez, la configuración espacial de los edificios hiper-densos permite establecer finalmente los casos de estudio térmico entre edificios aledaños, dado que representan la misma problemática entre edificios y casas históricas.

Dentro del polígono se seleccionan 3 edificios hiper-densos aledaños que serán objetos de estudio en los análisis termico-energéticos. Las numeraciones y alturas de los edificios que se seleccionaron son:

- Edificio n°1: Coronel Souper 4250 – 50,88 metros (20 pisos).
- Edificio n°2: Coronel Souper 4222 Torre B – 77,83 metros (30 pisos).
- Edificio n°3: Coronel Souper 4222 Torre A – 77,83 metros (30 pisos).

3.2 Planimetría y materialidad

Las edificaciones elegidas para realizar los estudios de incidencias solares resultan ser los departamentos de los mismos edificios hiper-densos, específicamente del edificio n°2 descrito anteriormente. De este modo, los criterios aplicados en la elección de los departamentos del edificio n°2 se generan a partir del análisis de la planimetría de los 3 edificios considerados para la investigación, específicamente de las plantas tipo de arquitectura, las cuales fueron solicitados a la correspondiente Dirección de Obras Municipales de la comuna (figuras 10 y 11).

Se complementó la obtención de datos a partir de una guía de soluciones constructivas

para el acondicionamiento térmico desarrollado por el MINVU, publicado el año 2014.

De este modo, se eligieron los materiales para los muros exteriores y muros interiores tabiques de ambos departamentos, cuyos espesores estaban definidos según la solución constructiva:

1. Muro hormigón armado con revestimiento interior enlucido de yeso; espesor 21 cm.
2. Marco de perfiles metálicos con revestimiento de yeso-cartón; espesor 8 cm

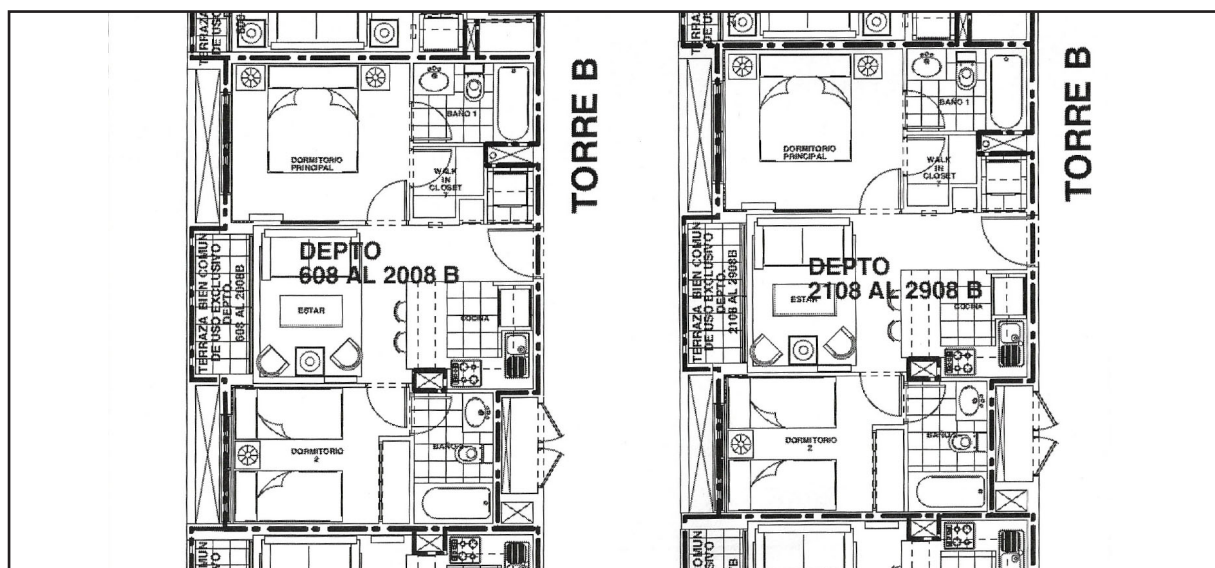


Figura 10. Plantas arquitectura departamentos 608 (izq.) y 2708 (der.). Fuente: DOM Estación Central

| SE VENDE EN FORMA INDIVIDUAL DEPARTAMENTOS 6° PISO TORRE B | | | | SE VENDE EN FORMA INDIVIDUAL DEPARTAMENTOS 27° PISO TORRE B | | | |
|---|----------------|--------------|------------|--|----------------|--------------|------------|
| DEPTO. N° | Superficies m2 | Prorrateo 0% | ROL | DEPTO. N° | Superficies m2 | Prorrateo 0% | ROL |
| 601B | 32,58 m2 | 0,1281% | 1696 - 365 | 2701B | 32,58 m2 | 0,1281% | 1696 - 596 |
| 602B | 32,61 m2 | 0,1283% | 1696 - 366 | 2702B | 32,61 m2 | 0,1283% | 1696 - 597 |
| 603B | 32,60 m2 | 0,1272% | 1696 - 367 | 2703B | 32,74 m2 | 0,1272% | 1696 - 598 |
| 604B | 42,05 m2 | 0,1664% | 1696 - 368 | 2704B | 41,91 m2 | 0,1664% | 1696 - 599 |
| 605B | 42,44 m2 | 0,1679% | 1696 - 369 | 2705B | 42,27 m2 | 0,1679% | 1696 - 600 |
| 606B | 45,00 m2 | 0,1760% | 1696 - 370 | 2706B | 45,28 m2 | 0,1760% | 1696 - 601 |
| 607B | 40,67 m2 | 0,1599% | 1696 - 371 | 2707B | 40,68 m2 | 0,1599% | 1696 - 602 |
| 608B | 45,20 m2 | 0,1777% | 1696 - 372 | 2708B | 45,22 m2 | 0,1777% | 1696 - 603 |
| 609B | 27,02 m2 | 0,1085% | 1696 - 373 | 2709B | 26,77 m2 | 0,1085% | 1696 - 604 |
| 610B | 33,71 m2 | 0,1315% | 1696 - 374 | 2710B | 33,82 m2 | 0,1315% | 1696 - 605 |
| 611B | 33,55 m2 | 0,1319% | 1696 - 375 | 2711B | 33,55 m2 | 0,1319% | 1696 - 606 |

Figura 11. Tablas de superficies (m²) departamentos 608 y 2708. Fuente: DOM Estación Central

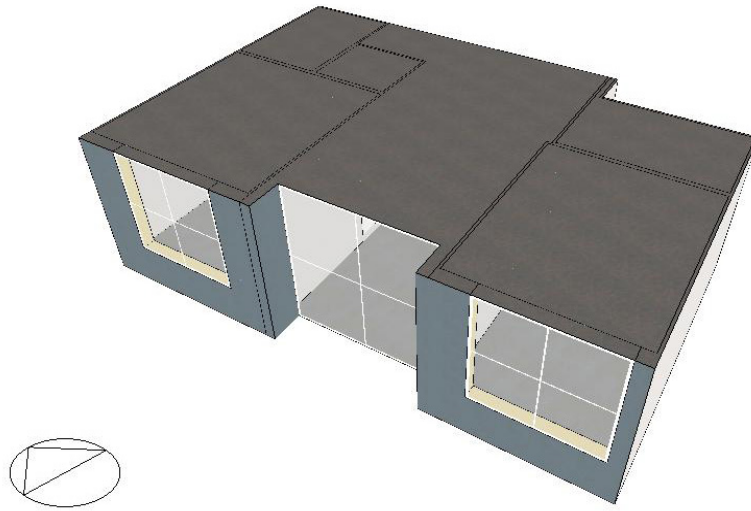


Figura 12. Volumetría vivienda caso de estudio (Fuente: Design Builder)

3.3 Morfología arquitectónica de las viviendas

Para comprender la influencia de la radiación solar sobre el confort térmico de estas viviendas, es necesario obtener dos casos de estudio idénticos y en igualdad de condiciones para que los resultados de las simulaciones puedan ser comparables, siendo la incidencia de la radiación solar uno de los factores determinantes en los valores de la confortabilidad. Dicho lo anterior, las viviendas corresponden a unidades habitacionales unifamiliares en altura, ubicadas en el piso 6 y 27 (figura 12).

Ambos departamentos comparten las siguientes características y parámetros:

- Orientación poniente
- Ubicación en el edificio hiper-denso n°2
- Morfología volumétrica
- Materialidad y espesor de los paramentos verticales y horizontales
- Cantidad de aberturas, puertas y vanos

- 45,2 metros cuadrados aproximadamente
- 2,33 metros de altura entre piso y cielo

4. Aspectos climáticos del caso de estudio

4.1 Caracterización climática de Santiago

En la Región Metropolitana de Chile, la ciudad de Santiago se ubica dentro del rango de clima tipo mediterráneo – templado, presentando condiciones climáticas moderadas. La temperatura media anual es de 13,9 °C, siendo enero el mes más cálido y julio el mes más frío, alcanzando los 22.1°C y 7.7°C respectivamente*. La figura 13 muestra el valle del Maipo con sus temperaturas mínimas, incluyendo a Santiago.

Para conocer las principales características y factores que definen las condiciones del confort termico en la ciudad de Santiago es necesario realizar un diagnóstico general de las variables climáticas que definen este tipo de clima. La figura 14 muestra la caracterización climática de Santiago, presentando los parámetros nece-

* Información extraída de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile | BNC. *Clima y Vegetación Región Metropolitana de Santiago*. sitio web: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/clima.htm#:~:text=La%20temperatura%20media%20anual%20es,con%207%2C7%C2%B0C>.

sarios para realizar simulaciones y obtener resultados más realistas.

Según los valores promedios de temperatura exterior durante el año 2020 (figura 15), los meses más agradables y cercanos a las temperaturas de bienestar térmico son entre marzo-abril y septiembre-octubre, ambos periodos correspondientes a los equinoccios. Mientras que la temporada de invierno es el escenario crítico.

Una de las estrategias de diseño sugeridas para controlar y amortiguar las bajas temperaturas, sería implementar ganancias solares activas y pasivas (Jara, 2016). No obstante, la obtención de radiación solar posible durante la temporada de invierno en Santiago es baja debido a las pocas horas de luz (figura 16). De este modo, junio resulta ser el mes más desfavorable para generar condiciones de bienestar térmico al interior de las viviendas.

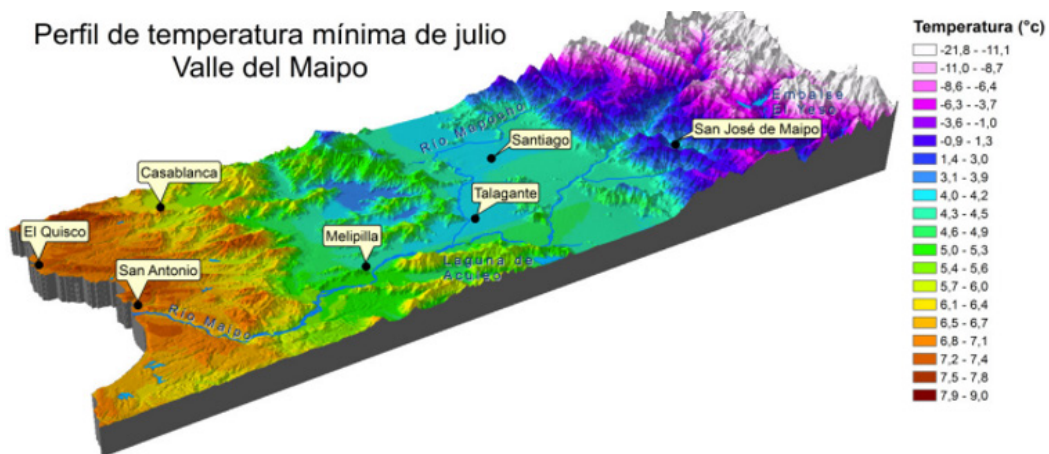


Figura 13. Fuente: Atlas de Cambio Climático de la Zona Semiárida de Chile.

| Caracterización climática año 2020* | |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Clima | Mediterráneo-Templado |
| Altitud | 567 m.s.n.m. |
| Latitud | 33°26'16" sur |
| Longitud | 70°39'01" oeste |
| Temperatura media | 13.9 (°C) |
| Precipitaciones prom. anual | 369.5 mm |
| Humedad relativa | 59.2 (%) |
| Radiación solar | 6.1 (kWh/m ²) |
| Velocidad del viento | 9.8 (km/h) = 2.72 (m/s) |

Figura 14. Caracterización climática de la ciudad de Santiago año 2020. Elaboración propia en base a la dirección meteorológica de Chile - METEOCHILE.

* Los datos climáticos se basan en información recopilada de METEOCHILE; y de los sitios web weatherspark.com, weather-atlas.com y climate-data.org, cuyas bases de datos provienen de ECMWF (Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio), Met-Office (Servicio Meteorológico Nacional del Reino Unido), NOAA (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica, Estados Unidos), entre otros.

4.2 Temperaturas medias*

| MES | Temperaturas año 2020. Estación meteorológica Quinta Normal | | | | | | | | | | HUMEDAD RELATIVA (%) | | |
|-------|---|--------|--------|------|------|----------|----------|-------|------|-------|----------------------|--------|--------|
| | MEDIA | | | | | | EXTREMAS | | | | 12 hrs | 18 hrs | 00 hrs |
| | 12 hrs | 18 hrs | 00 hrs | Máx | Mín | Men-sual | Máx | Fecha | Mín | Fecha | | | |
| ENE. | 18.6 | 29.9 | 24.3 | 31.4 | 13.9 | 22.1 | 34.5 | 26 | 10.3 | 9 | 58 | 32 | 41 |
| FEB. | 16.7 | 29.8 | 23.8 | 31.3 | 12.6 | 21.1 | 35.0 | 18 | 9.5 | 6 | 62 | 29 | 39 |
| MAR. | 14.1 | 27.9 | 21.9 | 29.3 | 11.9 | 19.3 | 35.0 | 5 | 9.2 | 24 | 80 | 36 | 48 |
| ABR. | 10.0 | 24.1 | 17.8 | 25.7 | 9.1 | 15.7 | 33.9 | 2 | 3.9 | 29 | 86 | 38 | 55 |
| MAY. | 6.8 | 20.7 | 13.1 | 22.1 | 6.3 | 12.1 | 30.7 | 25 | 1.8 | 23 | 87 | 41 | 66 |
| JUN. | 4.5 | 13.5 | 8.5 | 14.7 | 3.9 | 7.9 | 24.3 | 14 | -1.1 | 25 | 94 | 59 | 82 |
| JUL. | 4.7 | 14.5 | 8.8 | 16.1 | 4.0 | 8.4 | 23.8 | 14 | -0.2 | 24 | 94 | 55 | 82 |
| AGO. | 4.2 | 16.7 | 10.1 | 18.2 | 3.4 | 9.0 | 25.8 | 21 | -0.9 | 12 | 91 | 45 | 70 |
| SEPT. | 7.5 | 20.5 | 14.5 | 22.1 | 5.9 | 12.5 | 28.3 | 19 | 2.7 | 13 | 88 | 39 | 59 |
| OCT. | 12.2 | 23.9 | 17.1 | 25.5 | 7.3 | 15.5 | 31.2 | 11 | 1.8 | 3 | 68 | 33 | 49 |
| NOV. | 14.9 | 25.9 | 19.5 | 27.4 | 9.4 | 17.8 | 33.2 | 26 | 5.8 | 21 | 65 | 35 | 47 |
| DIC. | 18.2 | 28.6 | 22.5 | 30.2 | 11.4 | 20.6 | 33.5 | 25 | 8.5 | 19 | 53 | 29 | 39 |
| ANUAL | 11.0 | 23.0 | 16.8 | 24.5 | 8.3 | 15.2 | 35.0 | FEB. | -1.1 | JUN. | 77 | 39 | 56 |

Figura 15. Tabla valores de temperaturas y humedad relativa en Santiago, obtenidos de la base meteorológica de Quinta Normal. Fuente: METEOCHILE.

4.3 Horas de luz, horas de radiación y energía solar

| MES | Luz solar y radiación en Santiago | | |
|-------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|
| | MEDIA | | |
| | Horas de luz (h) | Horas de radiación (h) | Energía solar (kWh/m2) |
| ENE. | 14.1 | 9.9 | 9.2 |
| FEB. | 13.3 | 10.0 | 8.3 |
| MAR. | 12.3 | 9.8 | 6.7 |
| ABR. | 11.2 | 9.4 | 4.9 |
| MAY. | 10.4 | 8.6 | 3.4 |
| JUN. | 10.0 | 8.3 | 2.8 |
| JUL. | 10.2 | 8.3 | 3.1 |
| AGO. | 10.9 | 8.6 | 4.1 |
| SEPT. | 11.9 | 9.0 | 5.6 |
| OCT. | 12.9 | 9.0 | 7.3 |
| NOV. | 13.9 | 9.6 | 8.7 |
| DIC. | 14.3 | 9.8 | 9.4 |
| ANUAL | 12.1 | 9.1 | 6.1 |

Figura 16. Tabla valores medios para horas de luz, radiación y potencial solar en Santiago. Fuente: weather-spark

* Los valores de temperaturas medias utilizados para el desarrollo de esta investigación se basaron en los datos de la última edición del anuario meteorológico de Chile: "anuario meteorológico 2020"; publicado el año 2021 por METEOCHILE. Asimismo, se selecciona la base meteorológica de Quinta Normal puesto que es la más cercana al caso de estudio.

5. Configuración de las simulaciones

5.1 Simulación soleamiento – Heliodon v2

Para la realización de las simulaciones de soleamiento y energía solar se genera un levantamiento 3D de los edificios. Luego, para determinar el correspondiente recorrido solar sobre la ciudad de Santiago se deben definir en el software los parámetros de ubicación, altitud sobre el nivel del mar, latitud, longitud y zona horaria. Estas configuraciones, detalladas en el punto 5.2, son necesarias para realizar las simulaciones de la cantidad de horas de sol y de radiación solar que reciben las envolventes de los edificios en cuestión. La figura 17 muestra el emplazamiento de los edificios n°1, n°2 y n°3 en el contexto urbano, de color amarillo, naranja y azul respectivamente.

5.2 Simulación térmica – Design Builder v6

Para la obtención de los valores de las temperaturas al interior de las viviendas, se decide

generar simulaciones simultáneas para dos viviendas del mismo edificio, ambas con la misma cantidad de metros cuadrados habitables, materialidad de cerramientos y orientación; departamento 608 y departamento 2708. Las simulaciones se llevarán a cabo mediante el software *Design Builder v6*, el cual trabaja en base al motor de modelación y análisis energético Energy Plus. Para la simulación del sitio modelado en cuestión, se consideran los siguientes datos:

- **Plantilla de ubicación y clima:** Quinta Normal (correspondiente a la estación de datos meteorológicos más cercana).
- **Latitud:** -33,38°; **Longitud:** -70,78°.
- **Altitud sobre el nivel del mar:** 474 m.
- **Exposición al viento:** 3-Exposed (expuesto).
- **Zona horaria:** (GMT -04:00) Santiago.

El cálculo térmico se desarrolla a partir de los valores de temperaturas, humedad relativa, ventilación natural y radiación solar incidente en la envolvente de los departamentos. No obs-

Santiago Chile (33° 26' S) | 21-Jun 15:00 (ST)

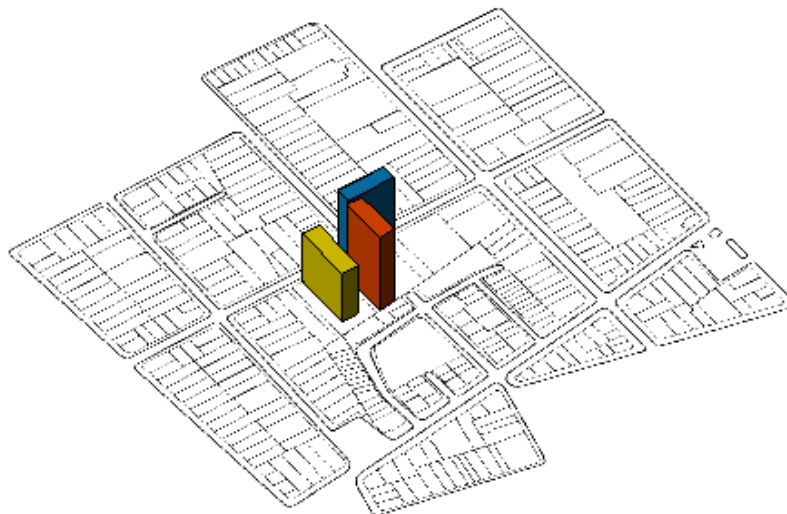


Figura 17. Emplazamiento de los edificios hiper-densos n°1, n°2 y n°3; Imagen generada para la simulación de soleamiento en el solsticio de invierno. Fuente: Heliodon v2.

tante, el análisis se enfoca principalmente en la influencia de radiación solar sobre el confort térmico y la habitabilidad al interior de las viviendas.

Por último, se define el periodo de la simulación térmica, el cual se realizará durante las 24 horas del día 21 de junio (solsticio de invierno). Esta configuración permitirá obtener valores térmicos cada una hora al interior de la vivienda.

Por otro lado, el software *Design Builder v6* permite obtener diagramas solares a partir de la volumetría 3D del modelo. De este modo, se puede apreciar cómo la sombra del edificio n°1 produce áreas de sombreado en el edificio n°2 durante las horas de la tarde, obstruyendo las ganancias solares del departamento 608. Este fenómeno ocurre tanto en invierno como en verano (figuras 18 y 19).

5.2.1 Parámetros utilizados al interior de las viviendas

- **Plantilla de uso:** *Residential – Dwelling unit (with kitchen)* (unidad de vivienda residencial con cocina)
- **Altura de los departamentos:** 2,33 metros, de piso a cielo. (espesor losa entrepisos: 15 cm.)
- **Densidad de ocupación:** 0,0885 personas/m² (se estima que en cada una de las viviendas habita una familia de 4 integrantes; departamentos correspondientes a 45,2 m²)
- **Actividad metabólica:** Reposo en habitación – 1.0 MET.
- **Vestimenta (clo):** invierno - 1,00.
- **Parámetros desactivados para la simulación:** computadoras, equipos de oficina,

iluminación artificial, ventilación mecánica, calefacción, refrigeración y gastos.

- **Ventilación:** Dado que la simulación se realiza al interior de viviendas residenciales, se decide no utilizar sistemas de climatización artificial. Dicho esto, se considera la opción de ventilación natural calculada por el software.

- **Materialidad*:**

1. Muros exteriores de hormigón armado con revestimiento interior enlucido de yeso.

(capa exterior) Hormigón Armado 2300 kg/m³ – espesor: 20cm.

(capa interior) Gypsum Plastering (enlucido de yeso) – espesor: 2cm.

U-Value (transmitancia térmica): 3.0 (W/m²-K)

2. Muros interiores (particiones/tabiques) de marco de perfiles metálicos con revestimiento de yeso-cartón.

(capa exterior) Gypsum Plastering (enlucido de yeso) – espesor: 1cm

(capa interior) Metals-steel (marco perfil metálico) – espesor: 6cm.

(capa exterior) Gypsum Plastering (enlucido de yeso) – espesor: 1cm

U-Value (transmitancia térmica): 0,9 (W/m²-K)

* Es importante mencionar que, dado que el software *Design Builder* es desarrollado en países extranjeros, los materiales y métodos constructivos disponibles en el software no corresponden a las materialidades utilizadas en Chile. Dicho esto, los materiales de muros exteriores e interiores mencionados fueron de elaboración propia a partir de una guía desarrollada por el MINVU del año 2014: “Listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico”.

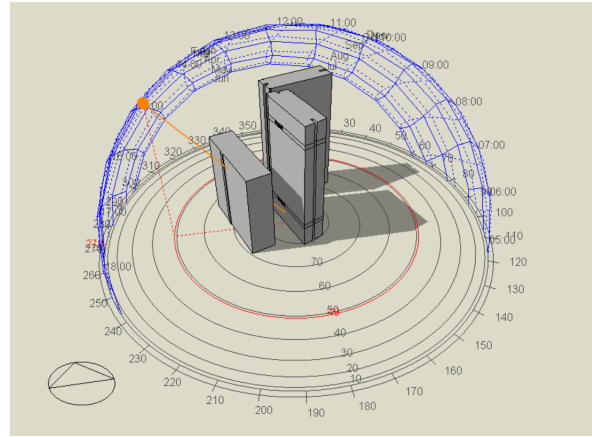
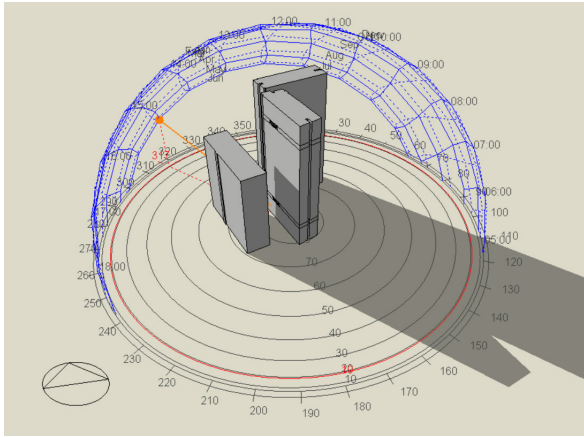


Figura 18 (izq.). Diagrama solar 21 junio a las 15:00 hrs. Fuente: Design Builder v6.

Figura 19 (der.). Diagrama solar 21 diciembre a las 15:00 hrs. Fuente: Design Builder v6.

6. Resultados

6.1 Horas de sol y radiación solar: Heliodon v2

Las figuras 20 y 21 muestran una simulación solar para el solsticio de invierno (21 de junio) sobre el conjunto de edificios hiper-densos.

Podemos apreciar superficies de colores sobre las fachadas de los edificios, mostrados en axonométrica, las cuales representan la cantidad de horas de sol por cada metro cuadrado. En el caso de la fachada poniente del edificio n°2 se evidencia una disminución del acceso solar, representado en colores más oscuros.

La tabla a continuación (figura 22) muestra los valores para cada fachada del edificio n°2, incluyendo la techumbre. Según los valores entregados por el software*, se observa que la fachada más perjudicada por las obstrucciones solares es la fachada norte (no se considera la fachada sur puesto que no recibe radiación solar durante el día). No obstante, para el desarrollo de esta investigación se selecciona la fachada

poniente como caso de estudio y lugar de emplazamiento para ambos departamentos puesto que presenta obstrucciones solares de manera parcial, logrando así ubicar un departamento en los pisos inferiores y el otro en los pisos superiores, donde no se presentan áreas de sombra.

La fachada poniente, con una superficie total de 3.469 (m²) aprox., presenta zonas donde se obtuvo 1.0 hora, y otras 4.0 horas de soleamiento durante el día 21 de junio. De este modo, la media aproximada de radiación solar incidente por metro cuadrado en la fachada es de 0.3 kWh, pudiendo alcanzar el valor mínimo de 0.1 kWh para los pisos inferiores más perjudicados y 0.5 kWh en las zonas que no presentan obstrucciones solares. Asimismo, en la figura 23 vemos el gráfico de energía solar teórica disponible y recibida en la fachada poniente del edificio n°2 medidos en kWh, durante las 24 horas del solsticio de invierno. El valor de energía recibida lo determinan las obstrucciones solares, correspondientes a los conos de sombra del edificio n°1.

* Los resultados de la simulación solar corresponden a valores aproximados, los cuales se deben calibrar con valores reales obtenidos en terreno. Además, estos resultados aproximados y teóricos surgen a partir de condiciones óptimas de radiación y luz solar, siendo esta simulación un caso hipotético y más favorable para el clima de Santiago debido que durante la temporada de invierno la posibilidad de presenciar cielo despejado es baja (METEOCHILE).

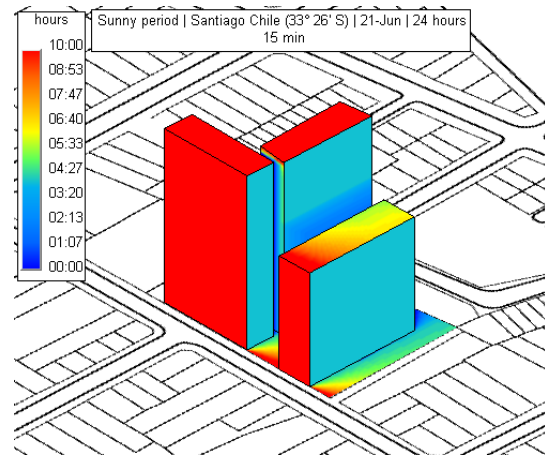
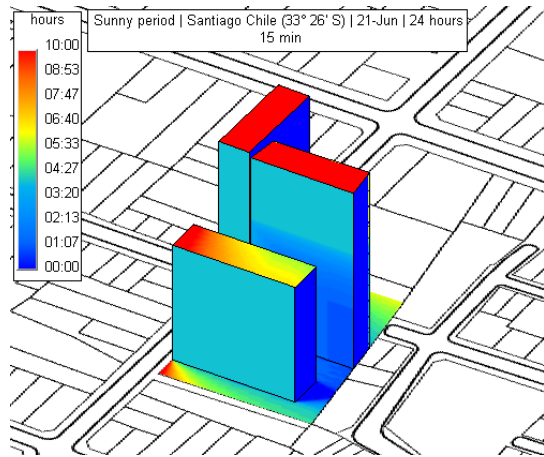


Figura 20 (izq.). Horas de sol en las fachadas del conjunto, vista suroeste. Fuente: Heliodon v2

Figura 21 (der.). Horas de sol en las fachadas del conjunto, vista noroeste. Fuente: Heliodon v2

| EDIFICIO 2 | Area (m ²) | Min sunlight time (h) | Max sunlight time (h) | Min local flux (kWh/m ²) | Max local flux (kWh/m ²) | Total energy (kWh) |
|------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Techumbre | 612.9 | 10.0 | 10.0 | 2.1 | 2.1 | 1292.8 |
| Norte | 1071.2 | 0.0 | 10.0 | 0.0 | 3.6 | 520.7 |
| Sur | 1172.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Oriente | 3200.8 | 0.0 | 6.0 | 0.0 | 1.5 | 2377.2 |
| Poniente | 3469.0 | 1.0 | 4.0 | 0.1 | 0.5 | 1150.7 |

Figura 22. Tablas valores del edificio N°2 de la simulación de soleamiento y energía solar. Elaboración propia en base a los datos entregados por Heliodon v2.

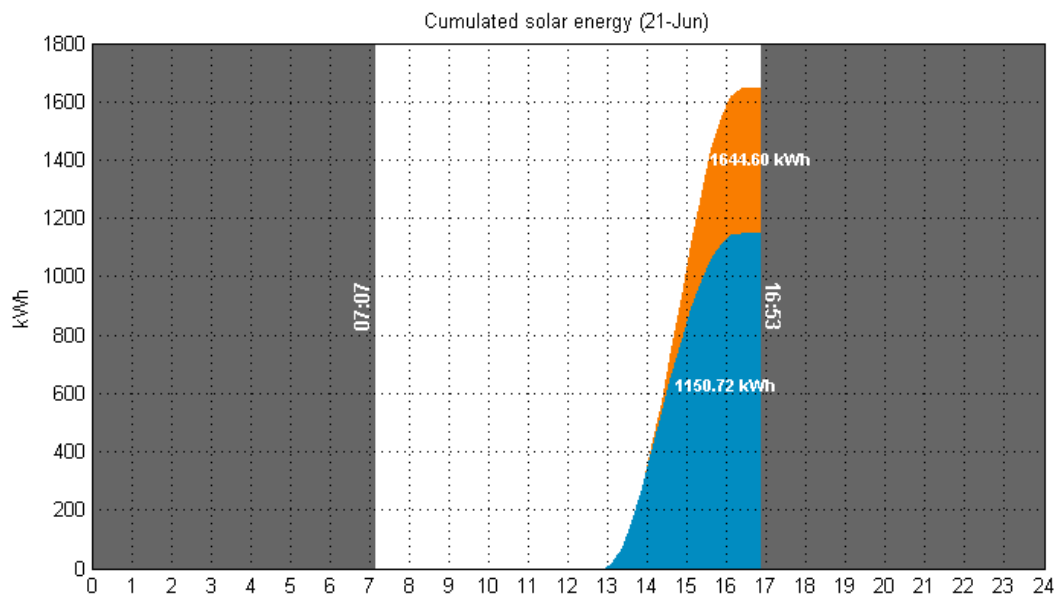


Figura 23. Gráfico energía solar disponible y recibida en la fachada poniente del edificio n°2 durante el solsticio de invierno. Imagen entregada por el software Heliodon v2.

6.2 Ganancias térmicas: Design Builder v6

La finalidad de estas simulaciones es obtener una comparativa de resultados* entre los dos departamentos durante el transcurso del día, debido que las ganancias solares varían dependiendo de las temperaturas exteriores, la trayectoria del sol, la cantidad de radiación solar incidente en la envolvente, además de las obstrucciones solares que se presentan en el contexto urbano.

Puesto que el objetivo de esta investigación es cuantificar cuánto afectan los conos de sombra al confort termico interior de las viviendas, y dado que la radiación empieza a incidir desde las 13:00 hrs. en la fachada poniente del edificio n°2, se decide analizar las ganancias térmicas para ambos departamentos desde las 13:00, hasta las 17:00 aproximadamente donde la luz y radiación solar es mínima.

6.2.1 Resultados piso 6 - con obstrucción solar

Según la simulación de *Heliodon v2*, el piso 6 recibe una cantidad de soleamiento aproximada de una hora y media (13:00-14:30). Esto se debe a la obstrucción solar producida por el cono de sombra del edificio n°1 sobre el edificio n°2.

A pesar de que el piso 6 reciba solamente una hora y media de soleamiento, el cálculo de temperaturas se realiza hasta las 17:00 hrs., dado que el departamento puede seguir recibiendo radiación reflejada desde otras superficies de su entorno inmediato.

Dicho esto, para el departamento 608, entre las 13:00 y 17:00 horas aprox., se logra obtener al interior de la vivienda una temperatura ope-

rativa** media de 17,99 °C para una temperatura media exterior de 12,15 °C (figura 24).

6.2.2 Resultados piso 27 - sin obstrucción solar

Por otro lado, el piso 27 al no contar con obstrucciones solares, recibe una cantidad de soleamiento aproximada de cuatro horas, por ende, al interior del departamento 2708 se logra obtener una temperatura operativa media de 19,18 °C para una temperatura media exterior de 12,15 °C (figura 25).

6.3 Comparativa de resultados

Entre los valores de temperatura radiante media de los cerramientos de ambos departamentos, existe una diferencia de 0,89 °C. Además, existe una mayor diferencia entre las temperaturas operativas medias de las viviendas, cuyo valor alcanza los 1,19 °C.

A partir de los resultados obtenidos en esta simulación se infiere que estas diferencias ocurren debido a la cantidad de horas sol que recibe cada departamento, siendo el piso 6 el escenario más crítico de este análisis. Por tanto, la diferencia entre ambas temperaturas, radiantes y operativas, está directamente relacionada con la cantidad de soleamiento sobre los cerramientos de los departamentos. De modo que, al recibir mayor cantidad de radiación solar, el piso 27 logra obtener mejores resultados térmicos interiores.

* Al igual que en la simulación de *Heliodon v2*, los resultados obtenidos en esta simulación de ganancias térmicas corresponden a resultados aproximados, los cuales deben ser comparados y calibrados con resultados medidos en terreno.

** Cabe mencionar que la temperatura operativa se obtiene del promedio entre la temperatura del aire interior y la temperatura radiante de los cerramientos.

Confort Térmico Edificio n°2. - Departamento 608

21 Jun - 21 Jun, Hourly

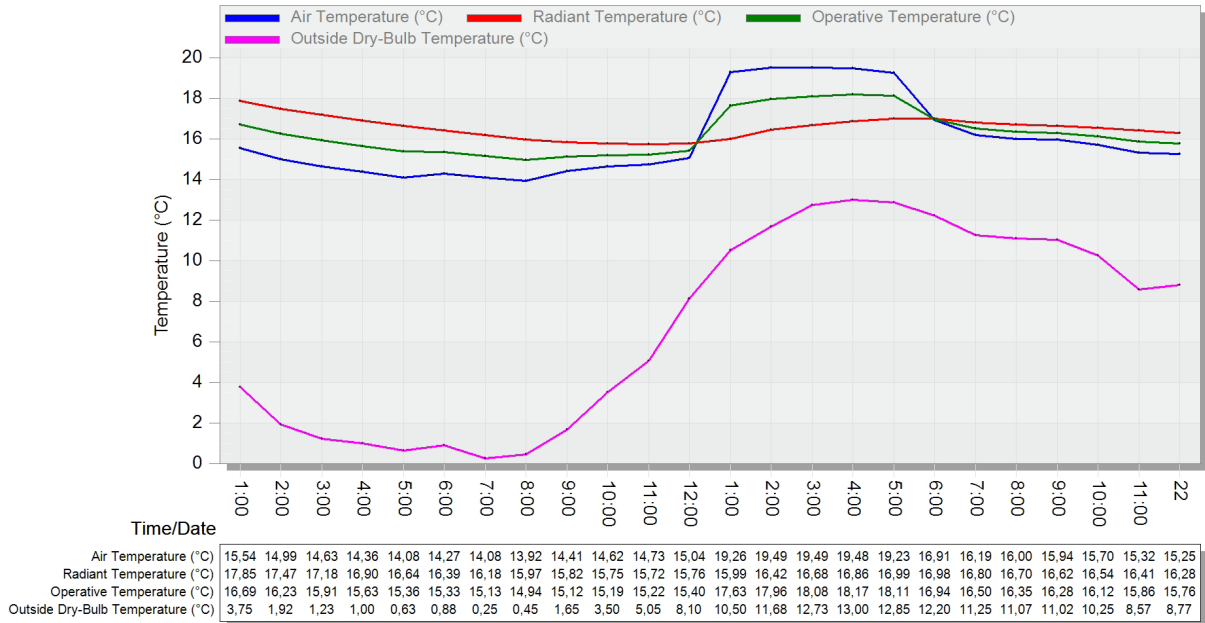


Figura 24. Resultados temperaturas, ganancias solares y balance térmico departamento 608. Imagen entregada por Design Builder v6.

Confort Térmico Edificio n°2. - Departamento 2708

21 Jun - 21 Jun, Hourly

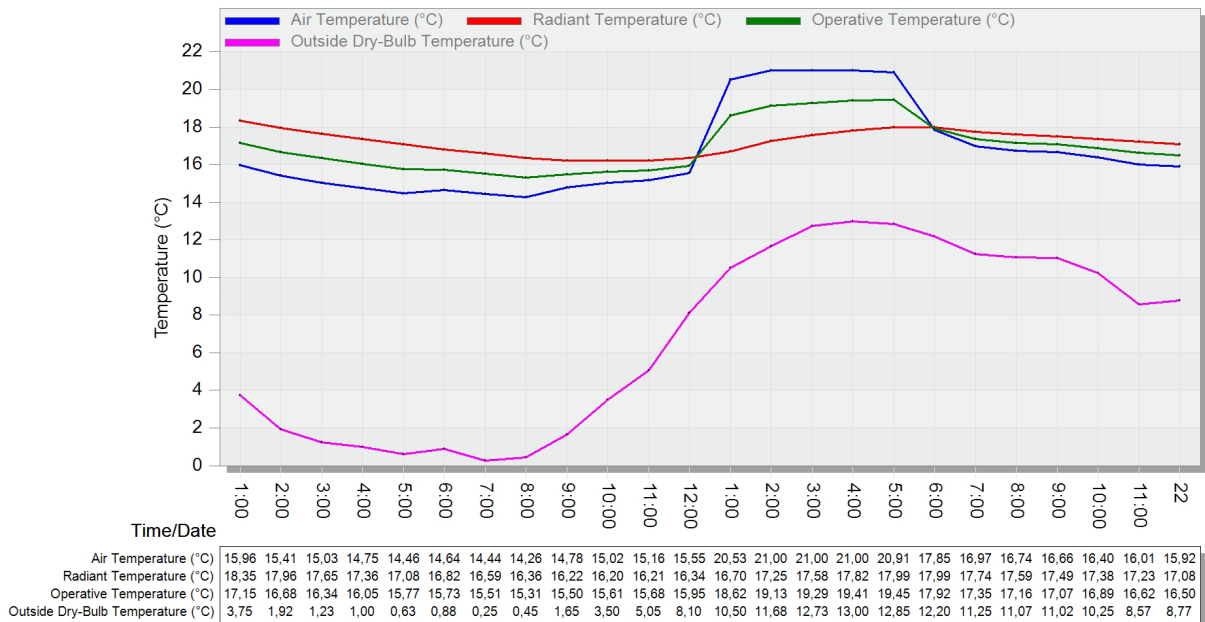


Figura 25. Resultados temperaturas, ganancias solares y balance térmico departamento 2708. Imagen entregada por Design Builder v6.

6.4 Evaluación del confort térmico interior

Es necesario mencionar que el método adaptativo de la ASHRAE 55 – 2020 es aplicable únicamente para espacios ventilados naturalmente, además de cumplir ciertos criterios específicos:

a) No hay un sistema de enfriamiento mecánico instalado. No hay ningún sistema de calefacción en funcionamiento; b) Tasas metabólicas que oscilan entre 1,0 y 1,3 met; y c) Los ocupantes son libres de adaptar su ropa a las condiciones térmicas interiores y/o exteriores dentro de un rango de al menos 0,5 – 1,0 clo.

Todos los parámetros y variables definidas para las simulaciones cumplen para los criterios del modelo adaptativo previamente menciona-

dos y establecidos por ASHRAE 55 – 2020, lo cual valida la simulación y la posterior evaluación del confort térmico en las viviendas.

Finalmente, a partir de los valores de temperatura operativa y de temperatura exterior obtenidos en las simulaciones previas, se procede a introducir los valores en el programa *CBE Thermal Comfort Tool* para evaluar la situación de confort térmico en ambas viviendas (figuras 26 y 27). Según el método de análisis adaptativo, el departamento 608 no generaría condiciones de confort térmico, ubicándose fuera de los límites de aceptabilidad del 90% y bajo el 80%. Por el contrario, el departamento 2708 sí se encontraría en condiciones óptimas de confort térmico, ubicándose dentro del rango del 90% aceptabilidad térmica.

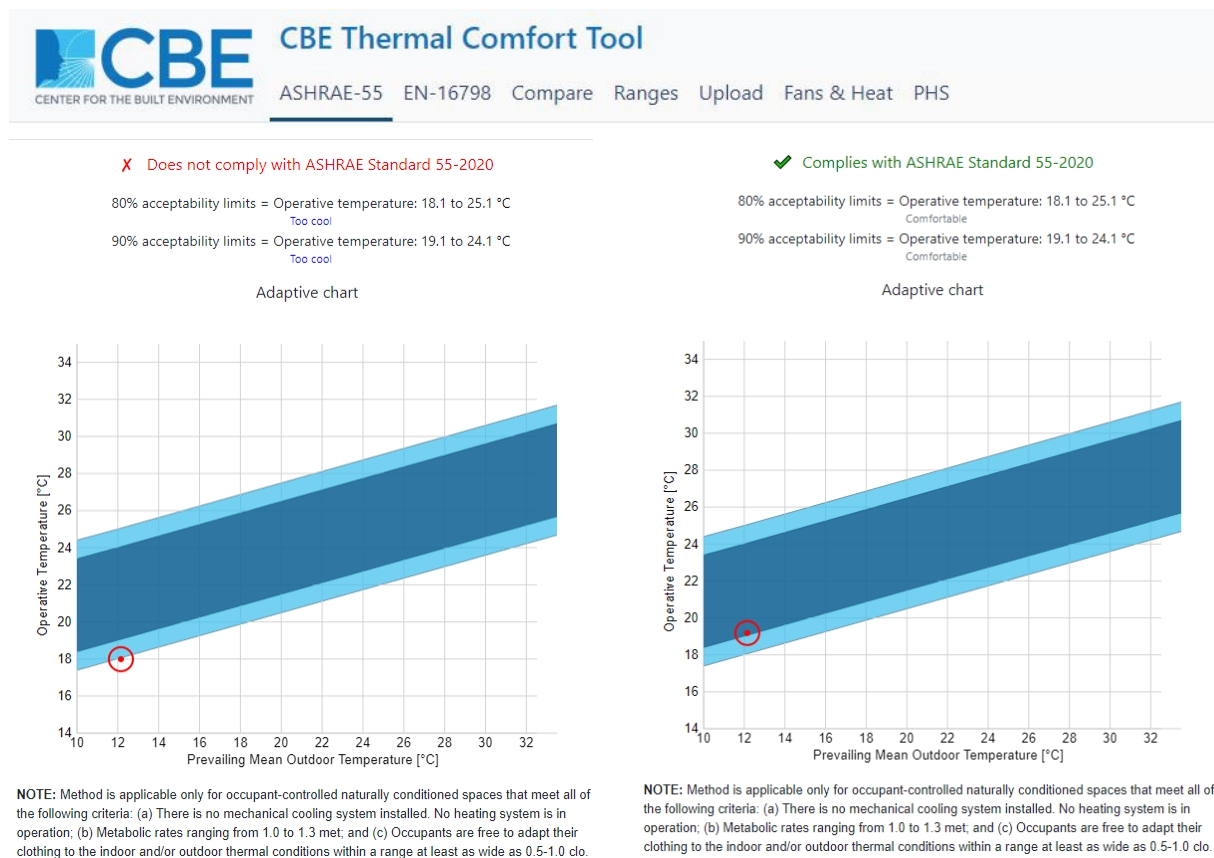


Figura 26 (izq.). Gráfico evaluación confort térmico modelo adaptativo depto. 608.

Figura 27 (der.). Gráfico evaluación confort térmico modelo adaptativo depto. 2708.

Elaboración propia en base a información entregada por el programa CBE Thermal Comfort Tool.

7. Conclusiones

El correcto reconocimiento de las condiciones climáticas y el estudio de los elementos urbanos que componen un ambiente construido, permiten establecer lineamientos o soluciones en las etapas iniciales del diseño arquitectónico, cuyos aportes deben velar por el bienestar térmico de los habitantes de una vivienda.

Con relación al caso de estudio, los resultados demuestran que los conos de sombra afectan tanto en la cantidad de energía como en los valores térmicos interiores que obtienen los departamentos, puesto que la radiación que incide en los cerramientos está relacionada con la temperatura interior de un ambiente. Para este estudio específico, las obstrucciones solares durante las horas de la tarde del solsticio de invierno disminuyeron en 1,19°C la temperatura operativa del departamento que presenta obstrucciones solares. Asimismo, según el estándar ASHRAE 55 - 2020, esta disminución en la temperatura operativa modificó el porcentaje de aceptabilidad térmica de la vivienda, ubicándola bajo el rango del 80%, afectando la habitabilidad de los usuarios.

Un aspecto relevante a considerar es que los resultados obtenidos por ambos softwares son aproximaciones, y que el desarrollo de ambas simulaciones se efectuaron en escenarios óptimos de radiación. Por ende, la demostración realizada en esta investigación resulta ser válida para un contexto específico. De este modo, la resolución de la hipótesis planteada no es aplicable para todas las viviendas que se encuentren bajo áreas de sombreado.

Dicho lo anterior, es necesario empezar a reconocer la radiación solar como un recurso fundamental para el habitar humano, puesto que la ausencia de radiación disminuye y deteriora las condiciones de bienestar térmicas. Sobre todo en el contexto actual de emergencia climática, donde el uso excesivo de energías convencionales no renovables, para climatizar edificaciones térmicamente, puede acelerar el proceso de calentamiento global.

8. Referencias bibliográficas

- Anuario Meteorológico 2020. Dirección General de Aeronáutica Civil. Dirección Meteorológica de Chile. METEOCHILE.
- Atlas de Cambio Climático de la Zona Semiárida de Chile. Fondo de Protección Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile.
- ASHRAE (2004) Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE Standard 55-2004, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- ASHRAE (2010) Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE Standard 55-2010, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- Cárdenas Jirón, L. y Chang Lou, J. (2019). Acceso solar en espacio urbano: simulaciones energéticas para su mitigación en alta densidad inmobiliaria residencial. Santiago Centro Sur. Revista 180, 44 (95-109). [http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-44.\(2019\).art-630](http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-44.(2019).art-630)
- Cárdenas Jirón, L. A., & Uribe Araya, P. (2012). Acceso solar a las edificaciones: El eslabón pendiente en la norma urbanística chilena sobre la actividad proyectual. Revista de Urbanismo, 14(26), 21-42. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2012.20922>
- Cárdenas Jirón, L., Vásquez Palau, J., Zamorano Arévalo, J. y Acevedo Saavedra, C. (2016). Explorando luz solar en modelos de desarrollo inmobiliario. Aplicaciones en cinco ciudades chilenas. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142323>
- Cárdenas Jirón, L., & Vásquez, J. (2015). Potencial solar en fachadas integrando la densidad urbana: una mirada crítica a la norma urbanística chilena. REVISTA AUS 18, 58-63.
- de Dear, R.J. & Brager, G.S. (2002) Energy and Buildings, 34, 549-561.

- de Dear, R.J. & Brager, G.S. (1998) Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. *ASHRAE Transactions*, 104, 145-167.
- Diego-Mas, J. A. (2015). Evaluación Del Confort Térmico Con El Método De Fanger. *Ergonautas*. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible online: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php>
- Fanger, P.O. (1970) *Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering*. McGraw-Hill.
- Givoni, B. (1998) *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York. Van Nostrand Reinhold.
- Gonzalo, G.E. (2015) *Manual de arquitectura bioclimática*. (5ta edición). Editorial (s/f). ISBN 950-43-9028-5
- Inzulza, J., Wolff, C., & Vargas, K. (2017). Acceso solar: Un derecho urbano para la calidad de vida vulnerado desde la gentrificación contemporánea. El caso de la comuna de Estación Central, Chile. *Revista 180*. 39.
- Jara, P. (2016) Confort térmico, su importancia para el diseño arquitectónico y la calidad ambiental del espacio. *Revista arquitectura y cultura*, n° 7 (Arquitectura y bienestar sostenible), 106-121.
- Martínez, J. P., & López, E. (2018). Vivienda masiva en barrios centrales: ¿quién es responsable de la densificación excesiva?. *ARQ (Santiago)*, (98), 144-153. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962018000100144>
- Martínez, Y. (2021) La gobernanza urbana desde el Desarrollo inmobiliario. Comuna de Estación Central 2005 y 2017. *Revista Políticas Públicas*. 14. (1). 65-84. <https://doi.org/10.35588/pp.v14i1.5024>
- McCann, C. (2008). *A Comprehensive Review of Solar Access Law in the United States*. Florida. Ed., Florida Solar Energy Research and Education Foundation
- Molina, C, & Veas, L. (2012). Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno. *Revista de la construcción*, 11(2), 27-38. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2012000200004>
- Neila, F.J. (2004), *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería.
- Rodríguez-Martínez (2018) Comportamiento y variación del confort térmico de la vivienda de interés social en clima cálido húmedo, a partir del proceso de transformación y adecuación de la morfología y envolvente de la edificación. Estudio de Caso: Proyecto Villa María etapa I – Guamal Meta. [Proyecto de Tesis, Universidad Católica de Colombia]. <https://hdl.handle.net/10983/18237>
- Rosales Villa, D. E. (2018) Evaluación del confort térmico en la universidad de la costa en la ciudad de Barranquilla. [Trabajo de fin de máster, profesor guía: Morejón, M.B. Universidad de la Costa de Colombia]. <http://hdl.handle.net/11323/844>
- Sarquis, M.J. (2018) Acceso solar y morfología urbana en procesos de densificación en altura. Caso de estudio: Comuna de San Miguel en Santiago de Chile. [Tesis fin de Magíster, profesora guía: Cárdenas-Jirón, L.A. Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170721>
- Serra, R. (1999) *Arquitectura y climas*. Gustavo Gili.
- Simancas, K. C. (2003). Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo. [Tesis doctoral, profesor guía: Serra, R. Universitat Politècnica de Catalunya]. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). <http://hdl.handle.net/10803/6113>.
- Symmes, L.R. (2017) Ciudad vertical: la “nueva forma” de la precariedad habitacional comuna de Estación Central, Santiago de Chile. *Revista 180*. 39.

9. Anexos

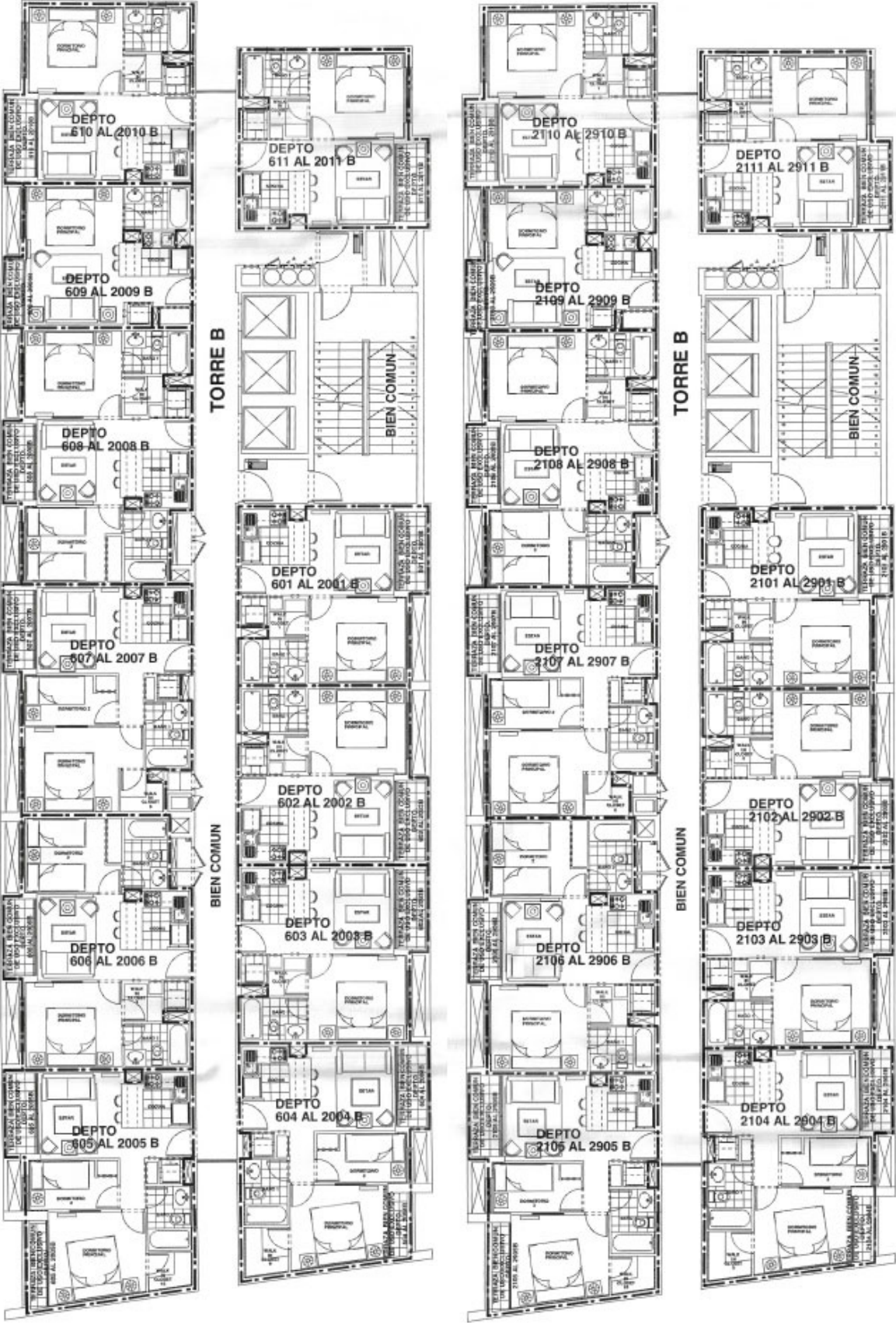


Figura 28. Imagen satelital de la comuna de Estación Central en el año 2009. (Fuente: Google Earth Pro)



Figura 29. Imagen satelital de la comuna de Estación Central en el año 2022. (Fuente: Google Earth Pro)

Planimetría edificio n°2; plantas tipo pisos 6 al 20 y 21 al 29.



Extracto del listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico, MINVU, 2014.

MINVU – DITEC

– EDICIÓN 11 –

MARZO DE 2014

LISTADO OFICIAL DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO

E 1 1

| | |
|---------------------------|--|
| Código 1.2.G.A4 | Muro de Hormigón Armado de 200 mm , con revestimiento interior |
|---------------------------|--|

A. Único valor de Resistencia (Rt) y Transmitancia (U) Térmica para la solución constructiva

| | | | |
|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| RESISTENCIA TÉRMICA (Rt): | 0.33 (m ² *K/ W) | TRANSMITANCIA TÉRMICA (U) | 3.0 (W/m ² *K) |
|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|

B. En caso que se modifique el espesor del material aislante manteniendo el resto de la configuración constructiva:

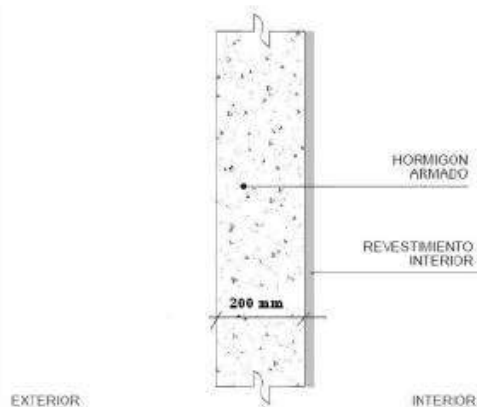
| | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Rt (m ² *K/ W) | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U (W/m ² *K) | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Espesor Aislante (mm) | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

| | | | | |
|---|----------|----------|-----------------|-----|
| Descripción de la Solución Constructiva | Genérico | X | Marca Comercial | --- |
|---|----------|----------|-----------------|-----|

Muro de hormigón armado de 200 mm de espesor o superior más un revestimiento interior consistente en placa de yeso cartón de 10 mm o enlucido de yeso de 20 mm.

| Forma de cumplir con las exigencias | | | Densidad material aislante | Institución | Vigencia | |
|-------------------------------------|-----|-------------------|----------------------------|-------------|---|---------|
| Certificado de ensaye | --- | Cálculo (NCh 853) | X | --- | Instituto Chileno del Cemento y el Hormigón | NCh 853 |

Corte:



Detalle (opcional)

| | |
|----------------------------------|---|
| Código 1.2.G.A4 | Muro de Hormigón Armado de 200 mm , con revestimiento interior |
|----------------------------------|---|

A. Único valor de Resistencia (Rt) y Transmitancia (U) Térmica para la solución constructiva

| | | | |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| RESISTENCIA TÉRMICA (Rt): | 0.33 (m² *K/ W) | TRANSMITANCIA TÉRMICA (U) | 3.0 (W/m² *K) |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------|

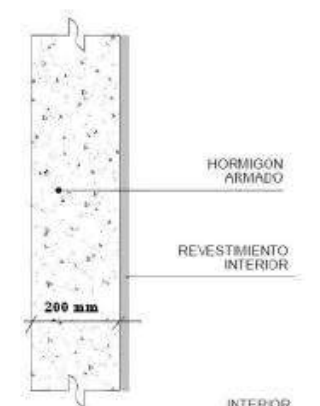
B. En caso que se modifique el espesor del material aislante manteniendo el resto de la configuración constructiva:

| | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Rt (m² *K/ W) | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U (W/m² *K) | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Espesor Aislante (mm) | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

| | | | | |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|
| Descripción de la Solución Constructiva | Genérico | X | Marca Comercial | --- |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|

Muro de hormigón armado de 200 mm de espesor o superior más un revestimiento interior consistente en placa de yeso cartón de 10 mm o enlucido de yeso de 20 mm.

| Forma de cumplir con las exigencias | | | | Densidad material aislante | Institución | Vigencia |
|--|-----|-------------------|----------|-----------------------------------|---|-----------------|
| Certificado de ensaye | --- | Cálculo (NCh 853) | X | --- | Instituto Chileno del Cemento y el Hormigón | NCh 853 |

| | |
|--|----------------------------------|
| <p>Corte:</p>  | <p>Detalle (opcional)</p> |
|--|----------------------------------|