



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

**IMPACTO DE LA NORMATIVA URBANÍSTICA DE RESGUARDO SOLAR BAJO
CONDICIONES CRÍTICAS DE DESARROLLO URBANO: ESCENARIOS FUTUROS
EN LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN.**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

AUTOR: JOSÉ FELIPE VELOSO AGUAYO
PROFESOR GUÍA: DRA. MARÍA BEATRIZ PIDERIT MORENO

CONCEPCIÓN, 24 de septiembre de 2018

A mi familia, mi pareja y mis amigos...

especialmente a mi amigo Arturo Peña Riffo (*Q. E. P. D.*) y su hermosa familia.

Agradecimientos a:

Alexis Salinas Arriagada y su oficina DGNL STUDIO

División de Desarrollo Urbano. MINVU. Chile

Paulina Liberona y la Dirección de Obras Municipales de Concepción. Chile

Claudia Quiroz Ríos, Paula Ampuero Cárdenas, Roberto Quiroga Schifferli, y a mi querido equipo de la Dirección de Obras Municipales de San Pedro de la Paz. Chile

Resumen

Ante la discusión teórica relacionada con la densificación urbana, el acceso solar de las edificaciones y las nuevas políticas de eficiencia energética, diversos autores analizan la relación entre la irradiancia solar y las obstrucciones solares urbanas, sin contemplar escenarios futuros con un complejo marco normativo aplicado en configuraciones urbanas de alta densidad.

Esta investigación pretende enriquecer esta discusión incorporando una metodología que analiza un posible escenario futuro crítico de alta densificación urbana, mediante el estudio de muestras de realidad virtual que representan la maximización volumétrica que la industria inmobiliaria utiliza regularmente, conjugando las normas urbanísticas vigentes y sus excepciones más recurrentes.

Mediante herramientas validadas de simulación lumínica se analizó 2 muestras urbanas, diseñadas a partir de manzanas y lotes reales de la ciudad de Concepción, desarrolladas a partir de la normativa de Rasantes y la normativa de Estudio de Sombras. Los resultados del análisis apuntan a que ninguna de las 2 normas es capaz de garantizar el resguardo del acceso solar en las edificaciones vecinas en entornos de alta densidad. Sin embargo, se infiere que regulando otras normas urbanísticas como el distanciamiento entre edificios se puede generar un equilibrio favorable entre el acceso solar y la densificación urbana.

Palabras claves: acceso solar, rasantes, estudio de sombras, densificación urbana, normas urbanísticas.

Abstract

Before the theoretical discussion related to urban densification, solar access of buildings and new energy efficiency policies, several authors analyze the relationship between solar irradiance and urban solar obstructions, without contemplating future scenarios with a complex regulatory framework applied in high density urban configurations.

This research aims to enrich this discussion by incorporating a methodology that analyzes a possible critical future scenario of high urban densification, by means of the study of virtual reality samples that represent the volumetric maximization that the real estate industry uses regularly, conjugating the current urban norms and their exceptions. recurrent

Using validated light simulation tools, 2 urban samples were analyzed, designed from apples and real lots from the city of Concepción, developed from the Rasantes regulations and the Shadow Study regulations. The results of the analysis suggest that none of the 2 standards is able to guarantee the protection of solar access in neighboring buildings in high density environments. However, it is inferred that by regulating other urban regulations, such as the distance between buildings, a favorable balance can be generated between solar access and urban densification.

Keywords: solar access, flush, study of shadows, urban densification, urban regulations.

Índice:

Capítulo 1 Introducción	11
1.1 Problemática	11
1.2 Discusión teórica referente	13
1.3 Contribución	17
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Interrogante.....	18
1.4.2 Hipótesis	18
1.4.3 Objetivo General.....	19
1.4.4 Objetivos Específicos	19
1.4.5 Metodología	20
Capítulo 2. Desarrollo	22
2.1 Revisión normativa	22
2.2 Área de Estudio	26
2.3 Escenarios de evaluación.....	31
2.3.1 Muestra N° 1 (Norma de rasantes, artículo 2.6.3. OGUC)	33
2.3.2 Muestra N° 2 (Norma de estudio de sombras, artículo 2.6.11. OGUC)	34
2.4 Escenarios Críticos de Muestras	36
2.5 Clima y Condiciones Ambientales.....	37
2.6 Herramientas de Simulación.....	38
2.7 Parámetros de Simulación	38

Capítulo 3. Resultados	41
3.1 Irradiancia en fachadas.....	41
4.1.1 Irradiancia en fachada Exterior Este.....	42
4.1.2 Irradiancia en fachada Exterior Norte	43
4.1.3 Irradiancia en fachada Exterior Oeste	44
4.1.4 Irradiancia en fachada Exterior Sur	45
4.1.5 Irradiancia en fachada Interior Sur.....	46
4.1.6 Irradiancia en fachada Interior Norte.....	47
3.2 Iluminación en fachadas	48
3.2.1 Iluminación en fachada Interior Sur, en media estación	49
3.2.2 Iluminación en fachada Interior Sur, en invierno.....	50
3.2.3 Iluminación en fachada interior sur, en verano	51
3.2.4 Iluminación en fachada Exterior Sur en media estación	52
3.2.5 Iluminación en fachada Exterior Sur en invierno	53
3.2.6 Iluminación en fachada Exterior Sur en verano	54
3.3 Análisis de resultados	55
3.3.1 Irradiancia.....	55
3.3.2 Iluminación	56
Capítulo 4. Conclusiones.....	61
4.1 Conclusiones respecto de la hipótesis.....	61
4.2 Conclusiones respecto de los objetivos.....	62
4.3 Conclusiones respecto de la metodología.....	62

4.4	Conclusiones respecto de los resultados.....	63
4.5	Continuidad de investigación	63
Capítulo 5.	Referencias bibliográficas.....	64
Capítulo 6.	Anexos	67
	Anexo A: Tabla de cálculo de superficie de sombras en estudio de sombras.	67
	Anexo B: Plano AutoCAD de desarrollo volumétrico de cada edificio.	68

Ilustraciones:

	<i>Ilustración 1: diagrama de interrogante. Fuente: elaboración propia.</i>	13
	<i>Ilustración 2: Gran Concepción, una de las tres áreas metropolitanas chilenas que concentran gran cantidad de edificación en altura. Fuente: anónimo.</i>	13
	<i>Ilustración 3: Configuraciones espaciales de igual Constructibilidad, pero distinto Coeficiente de Ocupación de Suelo (COS): (a) COS 0.47 y 4 pisos; (b) COS 0.24 y 8 pisos; (c) COS 0.17 y 12 pisos; (d) 0.1 y 20 pisos; Fuente: Cárdenas y Uribe 2012.</i>	15
	<i>Ilustración 4: Radiación solar directa en fachadas y suelos de las diferentes configuraciones morfológicas. Fuente: Cárdenas, Vásquez, Zamorano y Acevedo, 2016.</i>	16
	<i>Ilustración 5: Dinámica de investigación y problemática de estudio. Fuente: elaboración propia.</i>	18
	<i>Ilustración 6: Plan Regulador Metropolitano de Concepción. Fuente: Seremi MINVU.</i>	26
	<i>Ilustración 7: zona ZHM-12 del PRMC (área de color anaranjado). Fuente: Seremi MINVU.</i>	27
	<i>Ilustración 8: PRCC zonificación centro. Fuente: Municipalidad de Concepción.</i>	27
	<i>Ilustración 9: PRCC. Fuente: Municipalidad de Concepción.</i>	27
	<i>Ilustración 10: Zonas C1 y C2 del PRCC. Fuente: elaboración propia.</i>	29
	<i>Ilustración 11: Plano de lotes originales. Fuente: elaboración propia.</i>	29

<i>Ilustración 12: Manzana N° 237 y su alrededor. Fuente: elaboración propia.</i>	29
<i>Ilustración 13: Plano de configuración mejorada de lotes, fusionados para optar a artículo 63 LGUC. Fuente: elaboración propia.</i>	30
<i>Ilustración 14: Plano de lotes, con trazado en planta de máximo de edificios, en función de su máximo distanciamiento posible. Fuente: elaboración propia.</i>	30
<i>Ilustración 15: recomendación de altura de piso 2,4 m, del Manual "Neufert" para edificios de oficinas de escala mediana. Fuente: Neufert, Arte de Proyectar en arquitectura.</i>	31
<i>Ilustración 16: Planta de edificio. Fuente: elaboración propia.</i>	33
<i>Ilustración 17: Conformación de volumen de edificio. Fuente: elaboración propia.</i>	33
<i>Ilustración 18: Rasantes en volumen continuo. Fuente: DDU, MINVU.</i>	33
<i>Ilustración 19 : Rasantes en fachada continua. Fuente: DDU, MINVU.</i>	33
<i>Ilustración 20: Resultado final de la conformación volumétrica de los edificios. Fuente: elaboración propia.</i>	33
<i>Ilustración 21: Planta y elevaciones. Fuente: elaboración propia.</i>	33
<i>Ilustración 22: metodología de estudio de sombras. Fuente: anónimo.</i>	34
<i>Ilustración 23: Definición de volumen teórico para estudio de sombras. Fuente: elaboración propia.</i>	34
<i>Ilustración 24: Proyección de sombras del volumen teórico hacia el oriente, poniente y sur. Fuente: elaboración propia.</i>	35
<i>Ilustración 25: conformación de elevaciones de volumen proyectado. Fuente: elaboración propia.</i>	35
<i>Ilustración 26: Plano de definición de 1 edificio, para 1 escenario de muestra. Fuente: elaboración propia.</i>	36
<i>Ilustración 27: Escenario de Muestra, modelado en Rhinoceros. Fuente: elaboración propia.</i>	36
<i>Ilustración 28: Plano de definición de todos los volúmenes. Fuente: elaboración propia.</i>	36
<i>Ilustración 29: ejemplo de tabla 3x3 de cielos en 25 mar. Fuente: Ilumina Chile.</i>	37
<i>Ilustración 30: Promedio anual de frecuencia de cielos. Fuente: Ilumina Chile.</i>	37

<i>Ilustración 31: interfaz de usuario DIVA, dentro del software Rhinoceros. Fuente: elaboración propia.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 32: Barra de comandos de 4 opciones del software DIVA. Fuente: elaboración propia.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 33: Nodos sobre fachada. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 34: ventana de configuración de reflectancia. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 35: ventana de configuración de simulación de radiación. Fuente: elaboración propia.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 36: ventana de configuración de simulación de iluminancia. Fuente: elaboración propia.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 37: Vista en planta de manzana de análisis “Muestra N° 1”, ubicación de las 6 fachadas analizadas. Fuente: elaboración propia.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 38: Vista en planta de manzana de análisis “Muestra N° 1”, ubicación de las 2 fachadas analizadas: Sur Interior y Sur Exterior. Fuente: elaboración propia.</i>	<i>48</i>

Gráficos:

<i>Gráfico 1: Energía disponible en fachadas afectadas por sombras, promedio día en julio por ciudad y configuración morfológica. Fuente: Cárdenas, Vásquez, Zamorano y Acevedo, 2016.</i>	<i>15</i>
<i>Gráfico 2: Frecuencia mensual para cada uno de los cielos estandarizados CIE. Fuente: Ilumina Chile.</i>	<i>37</i>
<i>Gráfico 3: consolidado de irradiancia de cada una de las fachadas analizadas, para la Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.....</i>	<i>55</i>
<i>Gráfico 4: Comparación de promedios de irradiancia entre Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.....</i>	<i>56</i>
<i>Gráfico 5: Iluminación en fachada Sur Interior, para Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.....</i>	<i>56</i>

<i>Gráfico 6: Iluminación promedio en Fachada Sur, para Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.</i>	57
<i>Gráfico 7: Comparación de valores mínimos de iluminación y nivel TDRé en fachada Interior Sur. Fuente: elaboración propia.</i>	58
<i>Gráfico 8: Porcentaje de superficie de fachada fuera del rango TDRé, en fachada Interior Sur. Fuente: elaboración propia.</i>	58
<i>Gráfico 9: Iluminación en Sur Exterior, para Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.</i>	59
<i>Gráfico 10: Iluminación mínima y rango TDRé, fachada Sur Exterior, para Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.</i>	59
<i>Gráfico 11: Iluminación promedio en fachada Exterior Sur, para Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.</i>	60
<i>Gráfico 12: Porcentaje de superficie de fachada Exterior Sur fuera del rango TDRé, en Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.</i>	60

Tablas:

<i>Tabla 1: Actividad y valores mínimos de luminancia recomendados. Fuente: TDRé, tabla 8.2.</i>	12
<i>Tabla 3: Comparación de zonas del PRCC: evaluación posibilidad de generar grandes volúmenes edificados. Fuente: elaboración propia.</i>	28
<i>Tabla 2: Zonas del PRCC. Fuente: Municipalidad de Concepción.</i>	28
<i>Tabla 4: Tabla de volumetrías y superficies máxima posible en función de su constructibilidad, distanciamientos y altura entre pisos.</i>	31

Capítulo 1. Introducción

En el presente capítulo se expondrán los antecedentes generales de la problemática a abordar en la tesis, describiendo los aspectos principales involucrados el tema, las referencias que cimentan las bases teóricas de estudio, así como los objetivos que se propone esta investigación y la metodología trazada para responder a ellos.

1.1 Problemática

El estado de Chile, mediante su Política Energética Nacional ha proyectado al año 2050 como meta de eficiencia energética que el funcionamiento de edificios nuevos del sector residencial, público y comerciales cuenten con estándares OCDE de construcción eficiente, y que nuestros hogares sean más sustentables, disminuyendo significativamente su gasto en energía, mejorando su nivel de confort a la vez que contribuirán a tener ciudades más limpias. Junto con esto se plantea que el sector público de las edificaciones cumpla un rol ejemplificador en cuanto a altos estándares de eficiencia energética y confort de sus usuarios (MINENERGÍA, 2018).

En tal sentido, de la mano con el surgimiento de la Política Energética Nacional que se viene desarrollando desde casi una década, la Dirección de Arquitectura (DA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) consolida exigencias y estándares de calidad mínimos asociados al uso de energía y a las condiciones de clima interior de los edificios, con el objetivo de mejorar la calidad ambiental, la eficiencia y el ahorro en el uso de la energía en la edificación pública, mediante los *“Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, para Licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas Geográficas del País y Según Tipología de Edificios (TDRe)”*, cuya segunda versión fue actualizada desde el año 2015 (MOP, CITEC-UBB, DECON-UC, 2015).

Aun cuando estos estándares técnicos no son de carácter obligatorio para todas las construcciones, se espera que en un futuro cercano sí lo sean, por cuanto el impacto económico y social que tiene limitar la demanda de energía de los edificios y por el rol pedagógico y ejemplificador que tiene el Sector Público en esas necesidades y desafíos país, justifica implementar estos estándares en la mayor cantidad de edificios posibles.

En este sentido, esta investigación analizará la relación entre los estándares de iluminación natural que fija el TDRe, y las posibilidades de accesibilidad solar que resguardan las normativas

convencionales de edificación, a través de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, su Ordenanza General, y los instrumentos de planificación territorial.

La segunda versión de los Términos de Referencia Estandarizados establece que los niveles de iluminancia, tanto para la iluminación natural como artificial se evalúa en el área o plano donde se desarrolla la actividad o tarea, para lo cual se debe definir la iluminancia de objetivo de acuerdo con las diferentes tareas visuales (*Tabla 1*).

ILUMINANCIA MÍNIMA (LUX)	TIPO DE ACTIVIDAD ILUMINACIÓN
30	Circulación en superficies públicas mal encendidas
50	Orientación rápida para visitas de corta duración
100	Tareas visuales estrictamente ocasionales
300	Tareas con exigencias visuales simples
500	Tareas con exigencias visuales medias:
1500-2000	Tareas con elevadas exigencias visuales
3.000 a 10 000	Tareas muy meticulosas

Tabla 1: Actividad y valores mínimos de luminancia recomendados. Fuente: TDRe, tabla 8.2.

Para el caso del estudio de la contribución de luz natural, se establece que la iluminancia de objetivo se encuentre en un rango entre 200 lux y 3000 lux, sobre 3000 lux tendremos riesgo de tener incomodidad visual (MOP, CITEC-UBB, DECON-UC, 2015).

Ante este nuevo paradigma de estándar de edificación en Chile, encontramos diversas estrategias de diseños que debemos asumir en la forma de proyectar las construcciones, los cuales se encuentran en 2 grandes grupos de consideraciones básicas a enfrentar: estrategias a resolver en el edificio, y estrategias que requieren una apropiada relación del edificio con su entorno, como es el caso de: Estrategias de calentamiento pasivo, Estrategias de enfriamiento pasivo, Estrategias de ventilación natural, Estrategias iluminación natural, Acceso a la luz solar y factores climáticos.

Todo apunta a que definir estrategias que respondan adecuadamente a los estándares del TDRe requerirá de la puesta en práctica de conocimientos teóricos de eficiencia energética y sustentabilidad, además de la implementación de metodologías de la construcción que son parte de estos mismos conocimientos.

Sin embargo, para definir estrategias que requieren una relación con su entorno para dar una adecuada respuesta a los estándares del TDRe no siempre bastará con la destreza del diseñador a

cargo del proyecto, puesto que, en los entornos urbanos de alta densidad, el acceso a la iluminación natural pudiera estar limitado por el escenario urbano donde se emplaza el proyecto.

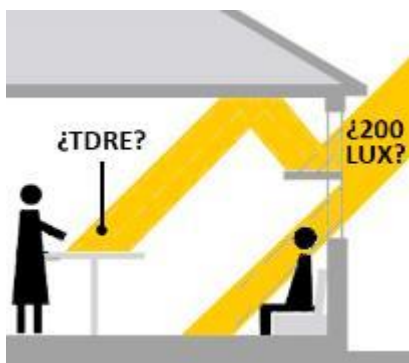


Ilustración 1: diagrama de interrogante. Fuente: elaboración propia.

En este escenario surge las interrogantes ¿El entorno urbano puede limitar el acceso solar de los edificios, entonces, en un escenario crítico de densificación urbana, se podría cumplir con los estándares de iluminación natural que establece el TDRe? ¿Si las obstrucciones solares urbanas impiden que en las fachadas de las edificaciones puedan contar con al menos 200 Lux de iluminancia, de que sirve contar con diseños que potencien el uso de la iluminación natural? (ver *Ilustración 1*)

1.2 Discusión teórica referente

Chile cuenta con tres áreas metropolitanas que en su conjunto concentran cerca de la mitad de la población nacional: Gran Santiago, Gran Valparaíso y Gran Concepción. Habitar en las zonas céntricas de estas ciudades tiene atributos y beneficios que conllevan una demanda de espacio cada vez mayor, y como se observa en la *Ilustración 2*, esto ha generado irrupción de edificaciones de gran altura ya que permite dar cabida a esta mayor demanda de espacio ocupando la misma superficie de suelo urbano (CCHC, 2017).



Ilustración 2: Gran Concepción, una de las tres áreas metropolitanas chilenas que concentran gran cantidad de edificación en altura. Fuente: anonimo.

El mercado inmobiliario busca satisfacer esta demanda de espacio urbano maximizando la superficie edificada, aumentando al máximo la cavidad de terrenos y su capacidad edificatoria con la finalidad de valorizar su inversión. En esta dinámica de crecimiento de la ciudad es que se presentan los principales conflictos urbanos, asociados principalmente a las externalidades negativas que producen los grandes edificios en su entorno inmediato, como, por ejemplo, el bloqueo al acceso a

la luz solar que producen estos entornos altamente densificados, entrando en conflicto directo con los nuevos estándares de iluminación natural contenidos en el TDR.

Estas externalidades negativas se ven agravadas aún más cuando las normas de excepción generan permisividad en las normas urbanísticas generales y de los instrumentos de planificación territorial, como por ejemplo el Artículo 63° LGUC, los Conjuntos Armónicos, o los Estudios de Sombra, que permiten sobrepasar los límites de la normativa tradicional, distorsionando el sentido de la planificación urbana, menoscabando más aun la calidad de vida urbana de su entorno (ALCAINO VARGAS, 2008).

En función de las externalidades negativas que la propia normativa urbanística promueve, Cárdenas y Uribe en 2012 proponen una reflexión en relación con el concepto de acceso solar en función del marco regulatorio chileno, develando un “*eslabón perdido*” entre la regulación que condiciona la forma urbana y la energía solar. Plantea que, si la política energética chilena promueve el uso de la energía solar, esto debería verse reflejado en las regulaciones que definen la forma urbana. Se hace tomar en cuenta en la publicación que las normas urbanísticas contenidas en la Ordenanza General de urbanismo y Construcciones (OGUC) definen los conceptos de rasante, distanciamientos, antejardines, y alturas máximas, para resguardar condiciones de privacidad y asoleamiento de las edificaciones vecinas a los proyectos, sin embargo, como norma de excepción a todo esto, en el año 2001 se incorpora el concepto de Estudio de Sombras (Artículo 2.6.11. OGUC), el cual permite evitar las rasantes respondiendo principalmente a fines estéticos y económicos, más que al acceso solar (El acceso solar a las edificaciones. El eslabón pendiente en la norma urbanística chilena sobre la actividad proyectual, 2012).

Los esfuerzos de la planificación urbana de las últimas décadas se han concentrado en revertir el complejo fenómeno de expansión urbana, lo cual es responsable de enormes externalidades negativas, como el transporte, el acceso a los servicios y oportunidades sociales, además de los perjuicios hacia el medio ambiente. De esta forma se ha potenciado la densificación de las ciudades, el crecimiento en altura sin medir sus consecuencias. En tal sentido se hace necesario aprovechar los conocimientos generados por las herramientas de última generación respecto de estos conflictos urbanos, a fin de rediseñar una normativa de edificación que asegure una ecuación de equilibrio entre la mayor densidad constructiva posible y la mayor captación solar posible (WEGERTSEDER, y otros, 2016).

Con la finalidad de conocer la relación entre las regulaciones que definen la forma urbana y su impacto en el acceso a la luz solar en las fachadas de los edificios Cárdenas, Vásquez, Zamorano y Acevedo, realizaron un análisis en 5 ciudades chilenas: Santiago, Valparaíso, Concepción, Temuco y Puerto Montt, donde se comparó la energía disponible en fachadas en distintas configuraciones morfológicas de edificaciones que mantenían una misma constructibilidad pero con 4 distintos coeficientes de ocupación de suelo (COS), tal como se observa en la *Ilustración 3*.

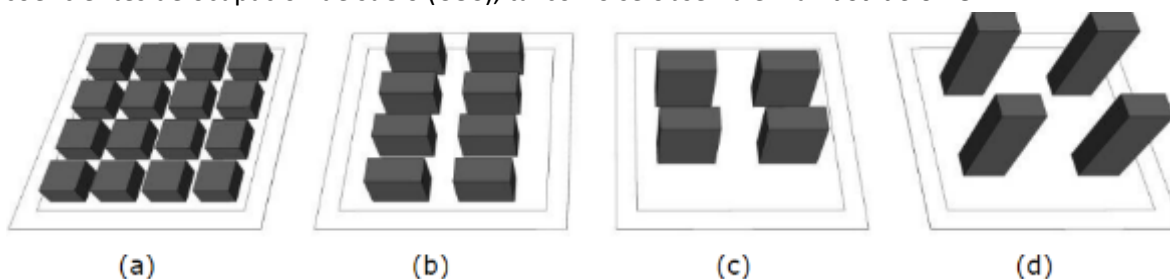


Ilustración 3: Configuraciones espaciales de igual Constructibilidad, pero distinto Coeficiente de Ocupación de Suelo (COS): (a) COS 0.47 y 4 pisos; (b) COS 0.24 y 8 pisos; (c) COS 0.17 y 12 pisos; (d) 0.1 y 20 pisos; Fuente: Cárdenas y Uribe 2012.

Se utilizó simulaciones dinámicas para obtener valores de irradiancia promedio en 1 día de julio. Los volúmenes edificados se distribuyeron de forma equitativa en una manzana conceptual de una hectárea. Tal como muestra la *Ilustración 4* y en el *Gráfico 1*, en el estudio se observó que en la medida que se aumenta la altura edificada y disminuye el coeficiente de ocupación de suelo, mejora la captación energética en las fachadas. También, a medida que disminuye la altura edificada y

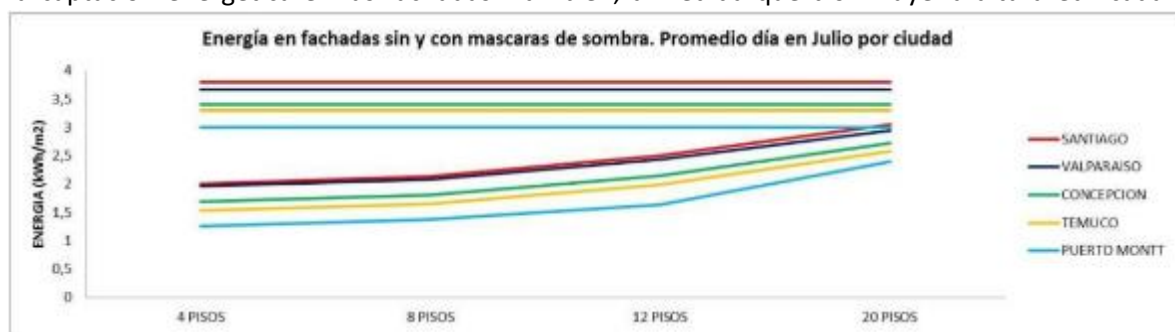


Gráfico 1: Energía disponible en fachadas afectadas por sombras, promedio día en julio por ciudad y configuración morfológica. Fuente: Cárdenas, Vásquez, Zamorano y Acevedo, 2016.

aumenta la ocupación de suelo, las sombras se concentran en los intersticios entre edificios, cubriendo sus fachadas por mayor cantidad de tiempo, comprometiendo la captación energética en

las fachadas (Explorando la luz en modelos de desarrollo inmobiliario. Aplicaciones en cinco ciudades chilenas, 2016).

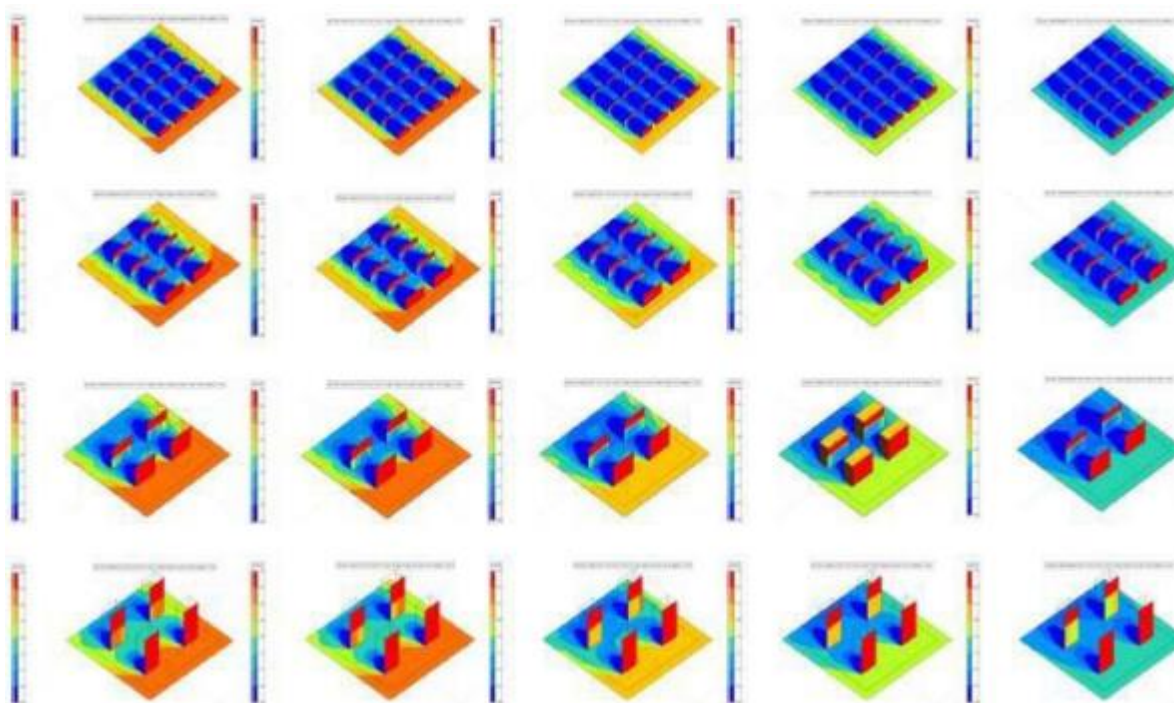


Ilustración 4: Radiación solar directa en fachadas y suelos de las diferentes configuraciones morfológicas.

Fuente: Cárdenas, Vásquez, Zamorano y Acevedo, 2016.

Este estudio entrega información cuantitativa de la relación entre normas urbanísticas ocupación de suelo, constructibilidad y la accesibilidad solar, al mismo tiempo que desmitifica la relación entre la altura de las edificaciones con las grandes sombras urbanas, situación que es anunciada como gran agravante en el análisis de Cárdenas y Uribe en 2012, pero que en definitiva no es tal.

No obstante este gran aporte, se hace necesario realizar un análisis que considere entornos urbanos reales, o de configuración cercana a la realidad, considerando todas las normas urbanísticas aplicables, además de sus excepciones, por cuanto la morfología de las manzanas, la distribución predial, y los intereses inmobiliario de maximizar el espacio construido son la base del diseño de los volúmenes edificados, donde se generan escenarios urbanos de alta complejidad, y donde la posibilidad de redefinir los deslindes prediales en función de una óptima distribución de los edificios sería muy complejo de llevar a cabo.

Los estudios que solo analizan una orientación ideal de edificios nos limitan a saber el rendimiento lumínico de ciertas configuraciones arquitectónicas, haciéndose necesario considerar todas las

obstrucciones solares externas para tener una perspectiva completa del rendimiento lumínico en los edificios (Methodology for assessing daylighting design strategies in classroom with a climate-based method, 2015). Se hace necesario entonces la concreción de un estudio que se inserte en un escenario urbano real, con las complejas obstrucciones solares originadas a partir de la compleja conjugación de normativas urbanísticas.

1.3 Contribución

La presente investigación tiene la intención de nutrir la discusión científica en torno a la relación entre el marco regulatorio de edificación, su capacidad de garantizar un real acceso solar en los edificios, las particularidades de la trama urbana de las ciudades chilenas y sus instrumentos de planificación territorial, el desarrollo urbano en función de los intereses inmobiliario y la real capacidad de cumplir con los estándares de confort lumínico establecidos en los TDRe.

Se aportará valores cuantitativos que permitan desmitificar el impacto en el acceso solar de normas urbanísticas que suponen un resguardo solar, y normas de excepción a estas mismas, utilizando herramientas computacionales de simulación validadas internacionalmente que permitirán conocer el desempeño de un posible escenario futuro crítico y real de nuestras ciudades.

El estudio se centrará en el análisis de la iluminación natural que llega las fachadas de los edificios, dado que las obstrucciones que se generan en la ciudad podrían impedir que se cumpla con estándar de luz del día que requiere el TDRe. En última instancia, este es un aspecto ambiental relevante para ser estudiado, para así conocer el impacto de un posible escenario futuro crítico en el acceso a la iluminación natural. La investigación se llevó a cabo en Concepción, una ciudad chilena intermedia en cuanto a clima y a desarrollo inmobiliario en altura, donde no existen estudios dinámicos de luz natural que considere el crecimiento urbano futuro.

1.4 Objetivos

Los objetivos de esta investigación se plantean en función de una Interrogante, una Hipótesis, un Objetivo General y 3 Objetivos Específicos. La *Ilustración 5* muestra la problemática de estudio y dinámica que pretende abordar esta investigación.

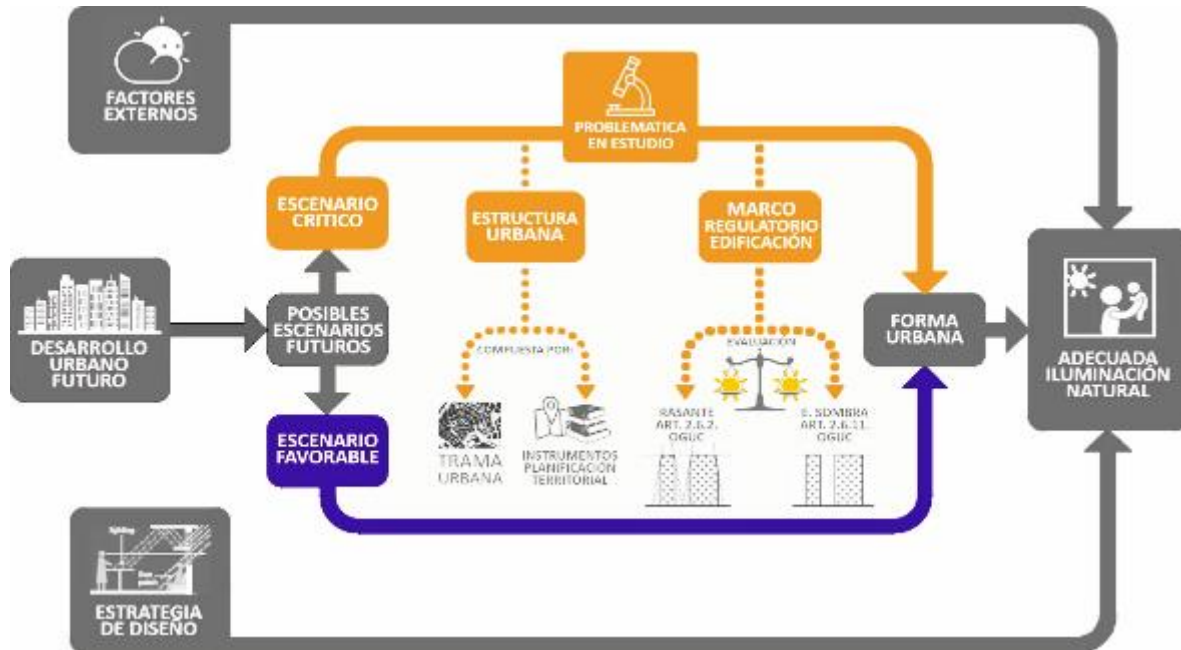


Ilustración 5: Dinámica de investigación y problemática de estudio. Fuente: elaboración propia.

1.4.1 Interrogante

¿Cómo sería el impacto del desarrollo urbano de la ciudad de Concepción en el acceso solar de los edificios, ante un posible escenario futuro crítico donde se construyera las máximas volumetrías posibles a partir de las normas urbanísticas de rasante y estudio de sombras? ¿El desarrollo urbano a partir de estas normativas de resguardo solar permitirían alcanzar niveles de iluminación definidos en el estándar TDRe?

1.4.2 Hipótesis

Ante un posible escenario futuro crítico de la ciudad de Concepción, donde se construyera las máximas cabidas volumétricas posibles de los edificios, en función de las normativas de rasante y estudio de sombras, impactará de forma negativa el acceso solar en fachadas de edificios, depreciando la captación solar a niveles inferiores al estándar TDRe en las circunstancias urbanas más densas de la ciudad.

Al mismo tiempo, el impacto del crecimiento urbano en función de las volumetrías desarrolladas mediante la normativa de estudio de sombra sería por lejos más crítico que las volumetrías desarrolladas con la norma de rasantes, para el acceso solar en fachadas de edificios.

1.4.3 Objetivo General

El objetivo general es comparar el impacto que tienen las normativas de rasante y estudio de sombras en la accesibilidad a la luz natural en las fachadas de las edificaciones, verificando si es posible alcanzar niveles de iluminación definidos en los estándares TDRé, en posibles escenarios críticos del futuro crecimiento de la ciudad, considerando la construcción de las máximas cabidas volumétricas de los edificios en la zona urbana más densa de Concepción.

1.4.4 Objetivos Específicos

Se plantean tres objetivos específicos, los que se describen a continuación:

- A. Definir dos posibles escenarios futuros críticos a través de volumétricas representativas a partir de las normativas de rasante y estudio de sombras, modelando tridimensionalmente las máximas cabidas volumétricas de los edificios en una manzana tipo y su entorno, inserta en la zona urbana más densamente definida en los instrumentos de planificación territorial de Concepción.
- B. Evaluar la irradiancia solar en las fachadas de cada una de las muestras que componen el posible escenario futuro crítico, para conocer su comportamiento e impacto menos favorable.
- C. Evaluar la iluminación solar en las fachadas menos favorables de cada una de las muestras que componen el posible escenario futuro crítico, en tres momentos específicos del año, para conocer y comparar el comportamiento de las muestras analizadas.

1.4.5 Metodología

Para concretar cada uno de los objetivos la metodología responde a cada uno de ellos de acuerdo con las siguientes etapas de desarrollo.

Para cumplir con el Objetivo Específico A: se abordarán 3 subetapas: Definición de área de estudio, Escenarios críticos, y Modelado 3D de escenarios críticos.

Área de Estudio: En una primera instancia se hará una revisión del instrumento de planificación territorial, ley y ordenanza general, y cartografía SIG de Concepción, con análisis planimétrico para determinar las zonas urbanas de la ciudad que tendrán un desarrollo urbano más compacto, y por consiguiente con mayor concentración de sombras sobre las fachadas de los edificios y menor acceso a la luz solar, definiendo una manzana de estudio y su entorno.

Escenarios críticos: Se hará un estudio de la máxima cabida volumétrica de edificación en cada uno de los lotes que conforman el área de estudio, configurando volúmenes simples que consideren 2 escenarios: escenario de variante volumétrica utilizando rasantes (Muestra 1: artículo 2.6.3. OGUyC), y escenario de variante volumétrica utilizando estudio de sombras (Muestra 2: artículo 2.6.11. OGUyC).

Modelado 3D de escenarios críticos: Levantamiento volumétrico de los 2 escenarios futuros analizados, considerando sus máximas cabidas volumétricas que permiten las normativas básicas. La finalidad es obtener 2 maquetas tridimensionales de volumetría simple de la misma zona de estudio, con sus edificaciones, cañones y espacios públicos. Se utilizarán herramientas Rhinoceros y software que utiliza como motor de cálculo validado para este fin.

Para cumplir con el Objetivo Específico B: se abordarán 3 subetapas: Calculo de irradiancia solar, Evaluación del potencial de irradiancia solar, y Comparación de escenarios.

Cálculo de irradiancia solar: Para los dos escenarios definidos se realizará simulaciones dinámicas que permitan evaluar la energía solar recibida en los planos verticales de cada una de las 4 fachadas que conforman la manzana de estudio, y de las 2 fachadas interiores más importante de la manzana.

Evaluación del potencial de irradiancia: Para las distintas fachadas se determinará los valores de radiación recibida en el exterior, obteniendo un mapeo de radiación en escala cromática que

permite cuantificar los valores mínimos, máximos, promedios anuales y distribución de estos en la cada fachada.

Comparación de escenarios: Se comparará la energía recibida en las fachadas de la manzana de estudio en los 2 escenarios evaluados, para cuantificar la influencia real que pudiera llegar tener la volumetría urbana desarrollada a partir de la normativa de rasante o de estudio de sombra en el acceso solar, su distribución, y conocer las fachadas menos favorecidas por el desarrollo crítico de la ciudad.

Para cumplir con el Objetivo Específico C: se abordarán 3 subetapas: Calculo de iluminación solar, Evaluación del potencial de iluminación solar, y Comparación de escenarios.

Calculo de iluminación solar: Para los dos escenarios definidos se realizará simulaciones dinámicas que permitan evaluar la luz solar recibida en los planos verticales de las fachadas menos favorecidas de la manzana de estudio, en distintas horas del día, en tres momentos del año.

Evaluación del potencial de iluminación: Para las distintas fachadas analizadas se determinará los valores de luz recibida en el exterior, obteniendo un mapeo de iluminación en escala cromática que permite cuantificar los valores mínimos, máximos, promedios ponderados y distribución de estos en la cada fachada, al mismo tiempo que el porcentaje de superficie de cada fachada que reciba una iluminación inferior a los que define como mínimo aceptable el estándar TDRe en un recinto interior.

Comparación de escenarios: Se comparará la luz recibida en las fachadas de la manzana de estudio en los 2 escenarios evaluados, para cuantificar la influencia real que pudiera llegar tener la volumetría urbana desarrollada a partir de la normativa de rasante o de estudio de sombra en el acceso solar, en su distribución, y conocer la muestra menos favorecida en un posible desarrollo crítico de la ciudad de Concepción.

Análisis de resultados: el total de información obtenida se organizará de forma visual, mediante gráficos y diagramas que permitan realizar un análisis comparativo de resultados. Esta organización y sistematización de la información de todos los resultados también permitirá generar conclusiones sobre la eficacia de las normativas de resguardo solar aplicables en la ciudad de concepción.

A continuación, se describirá el desarrollo del estudio, el cual se abordará en el capítulo sucesivo.

Capítulo 2. Desarrollo

En el presente capítulo se expondrán los antecedentes generales de desarrollo de esta investigación, describiendo las etapas involucradas en este proceso, los estudios de campo realizados, así como el cumplimiento con la metodología trazada para responder a objetivos del estudio.

2.1 Revisión normativa

Conforma a las definiciones de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, el desarrollo urbano chileno está regido por las disposiciones relativas a planificación urbana, urbanización y construcción que dicta el Presidente de la República, mediante tres niveles de acción:

La Ley General (LGUC), que contiene los principios, atribuciones, potestades, facultades, responsabilidades, derechos, sanciones y demás normas que rigen a los organismos, funcionarios, profesionales y particulares, en las acciones de planificación urbana, urbanización y construcción.

La Ordenanza General (OGUC), que contiene las disposiciones reglamentarias de la ley general y que regula el procedimiento administrativo, el proceso de planificación urbana, urbanización y construcción, y los estándares técnicos de diseño y construcción exigibles en los dos últimos.

Las Normas Técnicas, que contienen y definen las características técnicas de los proyectos, materiales y sistemas de construcción y urbanización, de acuerdo con los requisitos de obligatoriedad que establece la ordenanza general (MINVU, 2017).

Transversalmente a estos niveles reglamentarios se encuentran las Normas Urbanísticas, definidas como todas aquellas disposiciones de carácter técnico derivadas de la Ley General de Urbanismo y Construcciones de la Ordenanza General y del Instrumento de Planificación Territorial (I.P.T.) respectivo aplicables a subdivisiones, loteos y urbanizaciones tales como, ochavos, superficie de subdivisión predial mínima, franjas afectas a declaratoria de utilidad pública, áreas de riesgo y de protección, o que afecten a una edificación tales como, usos de suelo, sistemas de agrupamiento, coeficientes de constructibilidad, coeficientes de ocupación de suelo o de los pisos superiores, alturas máximas de edificación, adosamientos, distanciamientos, antejardines, ochavos y rasantes, densidades máximas, exigencias de estacionamientos, franjas afectas a declaratoria de utilidad pública, áreas de riesgo y de protección, o cualquier otra norma de este mismo carácter, contenida

en la Ley General de Urbanismo y Construcciones o en la Ordenanza General, aplicables a subdivisiones, loteos y urbanizaciones o a una edificación (MINVU, 2017).

En definitiva, las normativas urbanísticas que definen la morfología de la ciudad en su máximo desarrollo pueden ser agrupadas de la siguiente forma. A continuación, se expondrá la definición de cada una de estas normas urbanísticas:

Uso de suelo: conjunto genérico de actividades que el Instrumento de Planificación Territorial admite o restringe en un área predial, para autorizar los destinos de las construcciones o instalaciones (MINVU, 2017). Según el Artículo 2.1.24. OGUC, los usos de suelo son:

Residencial, Equipamiento, Actividades Productivas, Infraestructura, Espacio Público, Área Verde.

Esta investigación se centra estratégicamente en un destino cuya actividad sea propia de la implementación de edificios en altura, donde el interés de la construcción sea obtener la mayor cantidad de espacio edificado posible, en la menor cantidad de terreno, y por consiguiente un caso crítico de concentración de sombras en fachadas de edificaciones. En tal sentido, un caso extremo de densidad urbana sería posible mediante la intensificación de uso de suelo para Oficinas o Residencias, sin embargo, las oficinas no tienen limitante de densidad habitacional, al mismo tiempo que requieren una mayor altura entre pisos, con lo cual posibilita un desarrollo volumétrico más prominente ante los demás destinos.

La actividad Oficinas se encuentra definida en la clase Servicios del destino Equipamiento, en el Artículo 2.1.33. OGUC, el cual se define como:

“Servicios, en establecimientos destinados principalmente a actividades que involucren la prestación de servicios profesionales, públicos o privados, tales como oficinas, centros médicos o dentales, notarías, instituciones de salud previsional, administradoras de fondos de pensiones, compañías de seguros, correos, telégrafos, centros de pago, bancos, financieras; y servicios artesanales, tales como reparación de objetos diversos” (MINVU, 2017).

Como condicionante de uso de suelo Equipamiento el Artículo 2.1.36. OGUC las escalas de equipamiento, las cuales establecen la categoría vial mínima que debe enfrentar el predio donde se emplaza el equipamiento. Estas son:

Equipamiento Mayor: El que contempla una carga de ocupación superior a 6.000 personas y sólo se podrá ubicar en predios que enfrenten vías expresas y troncales.

Equipamiento Mediano: El que contempla una carga de ocupación superior a 1.000 y hasta 6.000 personas y sólo se podrá ubicar en predios que enfrenten vías colectoras, troncales o expresas.

Equipamiento Menor: El que contempla una carga de ocupación superior a 250 y hasta 1.000 personas y sólo se podrá ubicar en predios que enfrenten vías de servicio, colectoras, troncales o expresas.

Equipamiento Básico: El que contempla una carga de ocupación de hasta 250 personas y sólo se podrá ubicar en predios que enfrenten vías locales, de servicio, colectoras, troncales o expresas.

Coefficiente de Constructibilidad: número que, multiplicado por la superficie total del predio, descontadas de esta última las áreas declaradas de utilidad pública, fija el máximo de metros cuadrados posibles de construir sobre el terreno.

Coefficiente de Ocupación de suelo: número que, multiplicado por la superficie total del predio, descontadas de esta última las áreas declaradas de utilidad pública, fija el máximo de metros cuadrados posibles de construir en el nivel de primer piso.

Altura de edificación: la distancia vertical, expresada en metros, entre el suelo natural y un plano paralelo superior al mismo.

Rasante: Recta imaginaria que, mediante un determinado ángulo de inclinación, define la envolvente teórica dentro de la cual puede desarrollarse un proyecto de edificación.

Distanciamiento: Distancia mínima horizontal entre el deslinde del predio y el punto más cercano de la edificación, sin contar los elementos de techumbre en volado, aleros, vigas, jardineras o marquesinas.

Ochavo: Chaflán que se aplica a un edificio o cerco situado en la esquina de vías de circulación vehicular o peatonal y que en los predios de esquinas rectangulares se constituye como servidumbre de vista.

Franja de declaratoria de utilidad pública: Todos los terrenos consultados en los planes reguladores comunales, planes reguladores intercomunales y planes seccionales destinados a circulaciones, plazas y parques, incluidos sus ensanches, en las áreas urbanas, así como los situados en el área rural que los planes reguladores intercomunales destinen a vialidades.

Agrupamiento de los edificios: El agrupamiento de los edificios se determinará en los Planes Reguladores Comunales o Planes Seccionales y estará destinado a definir las alternativas de emplazamiento de éstos dentro de un predio. Se distinguen tres tipos de agrupamiento de las edificaciones: aislada, pareada y continua.

Edificación aislada: la separada de los deslindes, emplazada por lo menos a las distancias resultantes de la aplicación de las normas sobre rasantes y distanciamientos que se determinen en el instrumento de planificación territorial o, en su defecto, las que establece la presente Ordenanza.

Edificación continua: la emplazada a partir de los deslindes laterales opuestos o concurrentes de un mismo predio y ocupando todo el frente de éste, manteniendo un mismo plano de fachada con la edificación colindante y con la altura que establece el instrumento de planificación territorial.

Edificación pareada: la que corresponde a dos edificaciones emplazadas a partir de un deslinde común, manteniendo una misma línea de fachada, altura y longitud de pareo. Las fachadas no pareadas deberán cumplir con las normas previstas para la edificación aislada. Las normas de distanciamiento y rasantes contenidas en el artículo 2.6.3. OGUC, se aplicarán en forma simultánea y regirán para las edificaciones aisladas, las partes aisladas de edificaciones pareadas y las que se construyan en sectores en que el Instrumento de Planificación Territorial permita edificación aislada por sobre la altura máxima de la edificación continua. El nivel de aplicación general de las rasantes corresponde al nivel de suelo natural, excepto cuando el Plan Regulador Comunal o Seccional permite construcción aislada por sobre la construcción continua, en cuyo caso el nivel de aplicación de las rasantes será el de la altura máxima permitida para la construcción continua.

Antejardín: área entre la línea oficial y la línea de edificación, regulada en el instrumento de planificación territorial.

Retranqueo: escalonamiento vertical que adopta la fachada de un edificio hacia el interior del predio.

2.2 Área de Estudio

Para delimitar el área de estudio, se hará una exhaustiva búsqueda de una manzana urbana representativa, que junto a su entorno directo se encuentre bajo un marco regulatorio permisivo, donde el crecimiento urbano pueda alcanzar gran volumetría y compacidad morfológica. De esta forma se analizarán los instrumentos de planificación territorial, desde mayor a menor escala, para luego analizar la representatividad morfológica de la muestra.

La Ilustración 6 muestra el Plan Regulador Metropolitano De Concepción (PRMC). Se distinguen múltiples zonas del área urbana consolidadas para el uso Habitacional y Mixto (ZHM). En estas zonas se reconocen Centros Cívicos y de Equipamientos (CCE) en diversos lugares y comunas de la ciudad, no obstante, la zona más extensa en superficie y donde se cumplen estas características de forma más intensiva corresponde a la explanada del centro de la comuna de Concepción.

se observa en la *Ilustración 7* que la zona ZHM-12, perteneciente al centro de la comuna de Concepción, posee la más extensa superficie de la ciudad con una trama urbana intensificada de cuadras homogéneas y topografía mayormente plana, cuyo centro cívico y de equipamientos (CCE) se ha consolidado como el más importante, y de mayor escala de la ciudad.

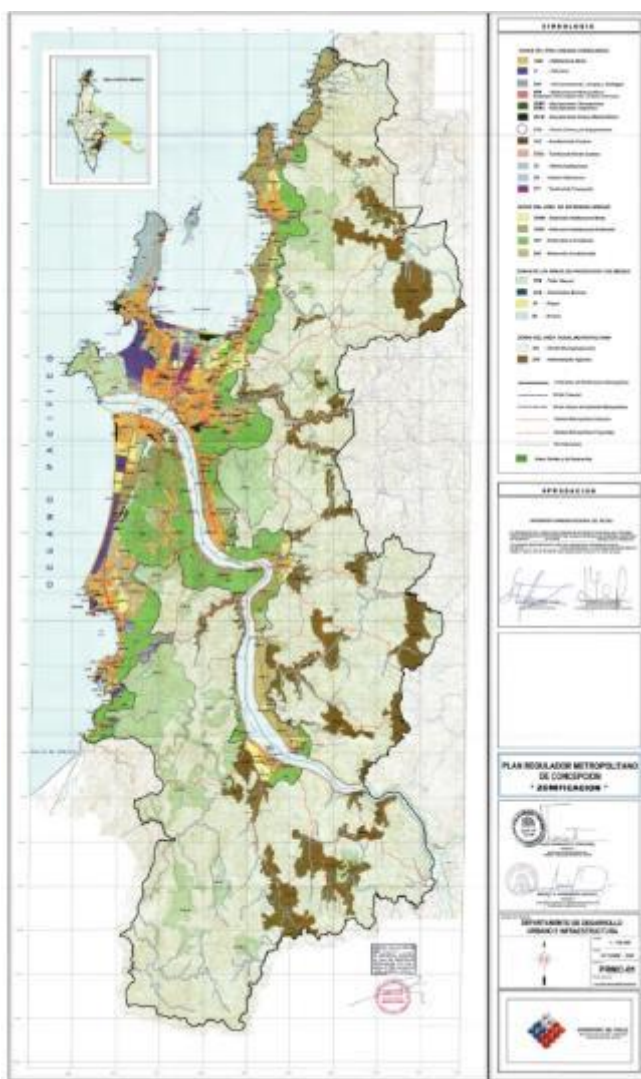


Ilustración 6: Plan Regulador Metropolitano de Concepción.

Fuente: Seremi MINVU.

Por otra parte, la red vial de la zona ZHM-12 está compuesta por áreas de similares características, conformadas por vías locales, colectoras, o de servicio de perfil estrecho en la mayor de su superficie, lo cual, junto con su sistema de agrupamiento principalmente de fachadas continuas, gran altura y escasos distanciamiento de volúmenes aislados, propician un escenario crítico, de densidad volumétrica en sus cañones urbanos, y concentración de sombras sobre las fachadas de los edificios.



Ilustración 7: zona ZHM-12 del PRMC (área de color anaranjado). Fuente: Seremi MINVU.

En el Plan Regulador Comunal de Concepción (PRCC) define 33 zonas y subzonas de diferente uso y características dentro de la comuna. Para lo que define el Plan Regulador Metropolitano como Centro Cívico y de Equipamientos (CCE), establece zonas homogéneas que comprenden un grupo de manzanas y zonas lineales, denominadas Corredores Urbanos (Ilustración 9). A fin de determinar un área de estudio donde se pudiera generar un desarrollo crítico, se prefirió las áreas homogéneas



Ilustración 9: PRCC. Fuente: Municipalidad de Concepción.



Ilustración 8: PRCC zonificación centro. Fuente: Municipalidad de Concepción.

por sobre los corredores urbanos, donde sea posible seleccionar una manzana entre calles angostas y su entorno inmediato (*Ilustración 8*).

Entre las 33 zonas que se indican en la *Tabla 3* se procedió a realizar una evaluación comparativa de las zonas, en función de la permisividad de su normativa, con la finalidad de alcanzar la mayor volumetría dentro de cada uno de los lotes del área de estudio. De esta forma, se valorizó para cada zona: el agrupamiento aislado sobre continuo, constructibilidad, ocupación de suelo, altura máxima, si permite equipamiento de oficinas, si pueden acogerse a disposiciones especiales de PRCC que aumentan su volumen, lo cual se consolidó de una tabla comparativa de zonas, obteniendo 2 zonas: Centro1(C1) y Centro 2 (C2), correspondientes a las áreas definidas por las avenidas Los Carrera, Arturo Prat, Chacabuco y Paicaví.

ZONAS DEL PRCC		BARRIOS
ZONAS HABITACIONALES CONSOLIDADAS	H1	Universitario, Pedro de Valdivia, Lo Pequeño, La Virgen, Lomas de San Andrés
	H2	Lorenzo Avenas, Laguna Redonda, Colbo y Vegas de Nonguén
	H3	Norte, Santa Sabina, Nonguén, Palomares, Pedro de Valdivia Bajo, Andalén, Villa Juan Riquelme
	H4	Norte, Chilanote, A. de la Perdiz, Miraflores – 21 de Mayo y Palomares Acceso
	H5	Tucapel Bajo y Paicaví Oriente
ZONAS HABITACIONALES DE RENOVACION	HR1	Centro Poniente
	HR2	Centro Oriente
	HR3	Laguna Las Tres Pascualas
ZONAS HABITACIONALES DE EXPANSION	HE1	Piñe de Monte
	HE2	Alto Cerezo y Alto El Meruero
	HE3	Valle Paicaví, Tierras Coloradas, Valle Andalén, Camino a Perco
	HE4	Alto Nonguén
CENTROS DE SERVICIOS Y EQUIPAMIENTO	C1	Centro Metropolitano
	C2	Centro
	C3	Centro Especial
	MC	Microcentros
CORREDORES URBANOS	CU1	Corredor Urbano 1 (Jorge Alessandri, Autopista Paicaví, Camino a Bulnes)
	CU2	Corredor Urbano 2 (Alonso de Rivera, J.M. García, Costanera Bío Bío, Camino a Bulnes)
	CU3	CU3a Paicaví (Tramo Intedegunas y Vicuña Macarena) CU3b Lincoyán, Anibal Prieto, Tucapel, Bulnes CU3c Vicuña Macarena (Tramo Paicaví y Puente Andalén), Camino Henriques, 21 de Mayo CU3d Paicaví (Tramo Vicuña Macarena y Bulnes), Manuel Rodríguez, Vicuña Macarena
	CU4	CU4a Paicaví (Tramo Los Carrera y Plaza Pericó), Los Carrera, Chacabuco CU4b Pádua de Valdivia, Acceso Lomas San Andrés, Roosevelt, Hanzabul CU4c Arturo Prat CU4d Colbo, General Novoa, Andalén, Condesos en Tierras Coloradas
ZONAS DE EQUIPAMIENTO Y AREAS VERDES	E1	Equipamiento Recreacional y de Esparcimiento
	E2	Equipamiento Educativo
	E3	Equipamiento de Seguridad
	E4	Equipamiento de Salud
	AV	Áreas Verdes
ZONAS DE PROTECCION	PP	Protección de Paisaje
	PE	Protección Ecológica
ZONAS PRODUCTIVAS Y DE INFRAESTRUCTURA	P	Barridos Industriales Colbo, Palomares y Valle Las Ullas
	PI	Protección de la Infraestructura

Tabla 3: Zonas del PRCC. Fuente: Municipalidad de Concepción.

ZONA	OC. SUELO	CONSTRUC	ALTURA	CONDICIONES	ART ESP	ALT. CONTINUIDAD	DESTINO D.O.P	SERVICIOS	DESTINO VIVIENDA	DESTINO COM. GENERAL	AGRUPAMIENTO	PUNTAJUE
H-2	0,5	3,25	10	672		7,5	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	1
H-2	0,5	5,1	10	672		7,5	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	1
H-3	0,5	3,5	10	672		10	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	1
H-4	0,5	7,5	10	672		10	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	1
H-5	1	6	10	672		10	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	2
HR1	0,8	3,5	10	1197	40	24	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	2
HR2	0,5	8	10	1197	40	28	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	2
HR3	0,5	6	10	1197		5,5	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	2
HE1	0,4	7,4	10,5	437		0	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	1
HE2	0,4	2,5	10,5	440		7,5	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	1
HE3	0,5	4,4	10	672		7,5	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	1
HE4	0,4	3	10	430		7,5	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	1
C1	1	10	10	1197	40	20	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	7
C2	1	10	10	1197	40	40	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	7
C3	0,2	7,5	10	1197	40	6	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	2
CU1	0,5	10	10	1197	40	0	SI	NO	SI	A	3	
CU2	0,5	10	10	1197	40	7,5	SI	SI	SI	A-F-C	4	
CU3a	1	10	10	1197	40	7,5	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	6
CU3b	0,5	10	10	1197	40	24	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	5
CU3c	0,5	10	10	1197	40	7,5	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	5
CU3d	0,5	10	10	1197	40	24	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	5
CU4a	1	10	10	1197	40	24	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	5
CU4b	0,5	10	10	1197	40	7,5	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	5
CU4c	1	10	10	1197	40	24	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	5
CU4d	0,5	10	10	1197	40	24	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A-F-C	4
E1	0,5	5	10	1197		0	SI	NO	SI	A	1	
E2	0,3	5	10	1197		0	NO	NO	NO	A	0	
E3	0,5	5	10	1197		0	NO	NO	NO	A	0	
E4	0,5	10	10	1197		0	NO	NO	NO	A	0	
PP	0,7	3,5	10	1197		7,5	SI	SI	SI	A-F-C	1	
PE	0,5	3	10	1197		0	NO	NO	NO	A	0	
P	0,2	6,5	7,5	1197		0	NO	NO	NO	A	1	
PI	0,4	6,4	10	1197		0	SI	SI	SI	RESTINGIDO	A	1

Tabla 2: Comparación de zonas del PRCC: evaluación posibilidad de generar grandes volúmenes edificados.

Fuente: elaboración propia.

El artículo 40 del plan Regulador Comunal de Concepción ofrece condiciones urbanísticas favorables para alcanzar una mayor volumetría de los edificios. Es así como para la Zona C1 y no para la zona C2 ofrece la posibilidad de disminuir el distanciamiento mínimo del volumen aislado, de 5 m a 4m. de esta forma se procedió a seleccionar la Zona C1 para elegir el área de estudio (*Ilustración 10*).



Ilustración 10: Zonas C1 y C2 del PRCC. Fuente: elaboración propia.

A partir de esta información, se procedió a realizar un análisis más fino, visualizando 2 aspectos: conformación de lotes, y los perfiles viales que cuentan estas zonas. De acuerdo con el plano catastral de lotes generado por la Dirección de Obras de la Municipalidad de Concepción (*Ilustración 11*), la manzana de numeración SII N°237, ubicada entre las calles Freire y Maipú, y las calles Aníbal Pinto y Colo-Colo, es la que posee una mejor distribución de lotes en toda la zona C1, en relación con que sus proporciones resultan similares, formas rectangulares regulares, libres de pasajes o espacios públicos intermedios, con calles de perfil estrecho, al igual que las medias manzanas que le circundan, por ello se estableció como el área de estudio de esta investigación. Observamos en la *Ilustración 11* que, al aplicar normas urbanísticas de distanciamientos y retranqueos, existen pequeños lotes cuya superficie predial haría imposible o improbable un desarrollo de edificaciones en altura.



Ilustración 12: Manzana N° 237 y su alrededor. Fuente: elaboración propia.

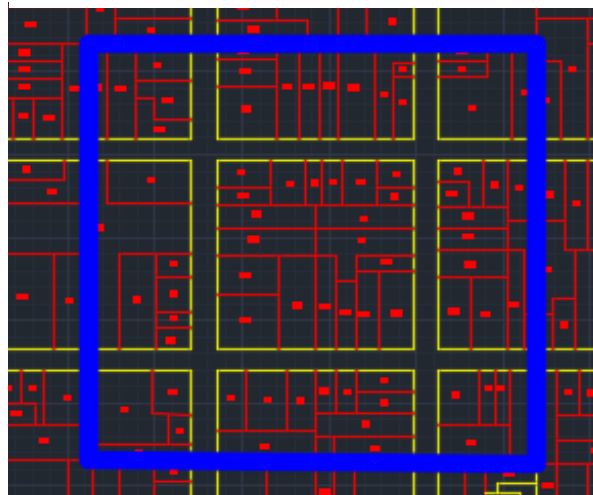


Ilustración 11: Plano de lotes originales. Fuente: elaboración propia.

Ante esta problemática, se determinó realizar una preparación del área de estudio, fusionando lotes pequeños hasta alcanzar la superficie predial mínima que establece el PRCC, y que no tengan un ancho menor a 15m. Tal como se muestra en amarillo en la *Ilustración 13*, el tamaño resultante de los predios sería idóneo para el desarrollo de proyectos, al mismo tiempo que cumpliría con el *espíritu normativo* del instrumento de planificación, específicamente con la escala de edificio que se espera para la zona C1, y se utiliza los beneficios del Artículo 63 LGUC que incentiva la fusión predial.

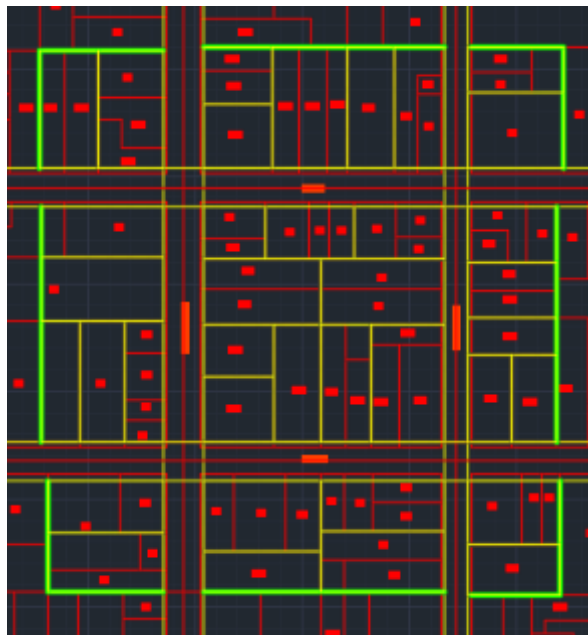


Ilustración 13: Plano de configuración mejorada de lotes, fusionados para optar a artículo 63 LGUC. Fuente: elaboración propia.

También se tomó la decisión de normalizar el perfil vial entre líneas oficiales que se espera para cada una de las calles. De esta forma, cada lote se aproxima a la ocupación de suelo máxima esperable para un edificio aislado por sobre la edificación continua, en un escenario futuro. En función de estas superficies de los lotes corregidos se procedió a calcular la volumetría máxima que pudieran alcanzar los edificios (*Ilustración 14*), expresada en superficie máxima y en altura mínima de esa máxima superficie, lo cual no será necesariamente la altura real de cada proyecto, por cuanto no considera las normas de resguardo solar, pero permite conocer cuan alto pueden ser los volúmenes de cada edificio.

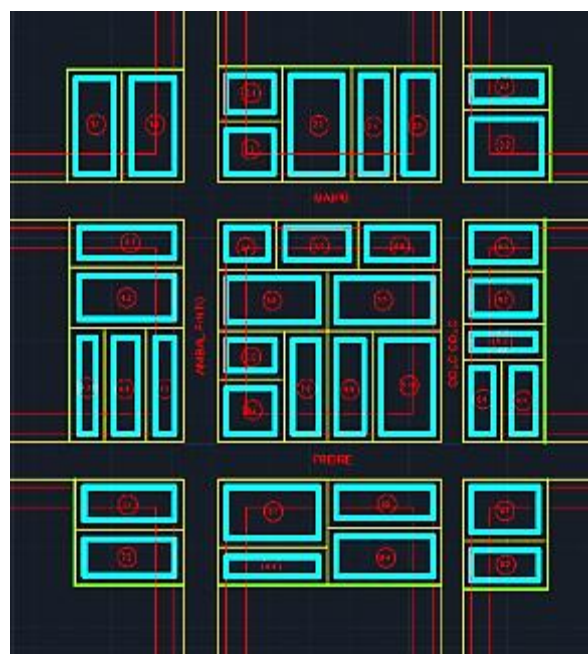
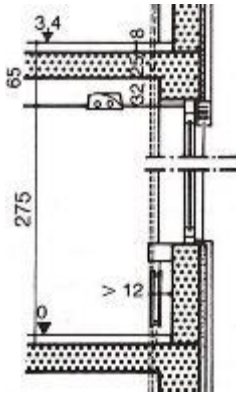


Ilustración 14: Plano de lotes, con trazado en planta de máximo de edificios, en función de su máximo distanciamiento posible. Fuente: elaboración propia.



La altura total del edificio se obtendrá partiendo de la premisa que la altura 1 piso entre losas será de 3,5 m, tal como lo señala la definición OGUC y en sintonía con las recomendaciones del manual “*Neufert, Arte de Proyectar en arquitectura*” para edificios de oficina de pequeña y mediana escala (NEUFERT, 2013), procediendo a evaluar volumetrías y superficies, que nos indica valores preliminares de altura, volumen y superficie total edificada.

Ilustración 15: recomendación de altura de piso 2,4 m, del Manual "Neufert" para edificios de oficinas de escala mediana. Fuente: Neufert, Arte de Proyectar en arquitectura.

2.3 Escenarios de evaluación

En la investigación se definen 2 escenarios críticos de evaluación, uno conformado por las máximas volumetrías posibles de alcanzar con la normativa de rasantes Art. 2.6.3. OGUC, denominado Muestra N°1, y el segundo escenario conformado por la máxima volumetría alcanzable con la normativa de estudio de sombras Art. 2.6.11. OGUC, denominado Muestra N°2. En ambos casos se adoptarán las siguientes consideraciones normativas generales:

Agrupamiento: aislado sobre continuo, con altura máxima teórica de continuidad: 30 m (art. 40 PRCC), profundidad proyectada de continuidad: 10m, altura proyectada de continuidad: 14 m. (4 pisos). De esta forma evitamos retranqueos en el volumen continuo y se extiende la profundidad teórica de continuidad al 100% del predio.

Distanciamientos: el distanciamiento mínimo para volumen aislado será de 4m, para los tramos más bajos del volumen aislado (acogido artículo 40 PRCC), los edificios contemplan un portal en primer piso.

Retranqueo general: todos los edificios tendrán un retranqueo de 4m en sus fachadas (Artículo 40 PRCC), con lo cual la altura máxima teórica de continuidad resultante alcanza los 30m, y altura libre de volumen aislado.

Tabla 4: Tabla de volumetrías y superficies máxima posible en función de su constructibilidad, distanciamientos y altura entre pisos.

Planos inclinados: el artículo 34 del PRCC prohíbe expresamente los planos inclinados de techumbre y fachada en un ángulo superior a 45° en edificios colectivos, permitiéndose sólo tres escalonamientos del volumen, medidos a partir del punto de encuentro de la rasante con el plano de fachada respectivo. En consecuencia, todos los planos de fachadas serán verticales, y las cubiertas horizontales. De esta forma, también se cumple con el requisito del software de simulación UMI.

Altura de piso: la altura de cada piso será de 3,5 m, medido desde nivel de piso terminado a nivel de piso terminado. Los volúmenes se harán coincidir con múltiplos de estas medidas, a fin de no tener conflictos de simulación en el paso siguiente.

Ancho mínimo de plantas: las plantas tendrán un ancho en sus extremos más estrecho mínimo que puede variar entre los 7m a los 10 m. Un ancho inferior a este no se justifica para un edificio en altura.

2.3.1 Muestra N° 1 (Norma de rasantes, artículo 2.6.3. OGUC)

Una vez trazado el volumen en planta, con su tramo aislado, y continuo, se procederá a proyectar la elevación de la fachada más angosta, la cual evidencia las condiciones más críticas de diseño por tener los planos de rasantes más cercano el uno con el otro. Como se ve en la *Ilustración 18* y la *Ilustración 19* la rasante se aplica a partir de la altura máxima de continuidad (MINVU, 2017). Posteriormente las alturas de retranqueo se traspasan por abatimiento al trazado de las otras fachadas y junto con las rasantes y ejes auxiliares se obtiene la volumetría completa del edificio a partir de sus cuatro fachadas (*Ilustración 16* e *Ilustración 17*).

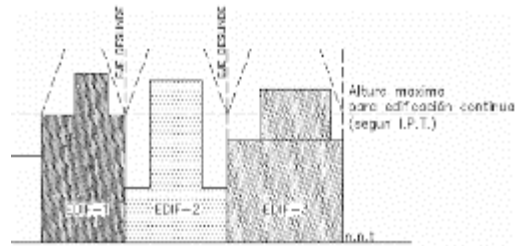


Ilustración 19 : Rasantes en fachada continua. Fuente: DDU, MINVU.

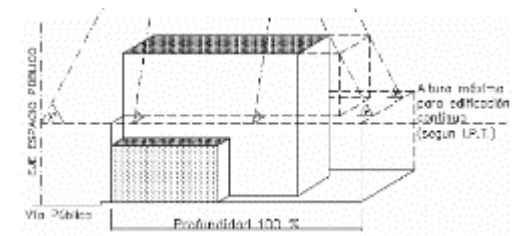


Ilustración 18: Rasantes en volumen continuo. Fuente: DDU, MINVU.

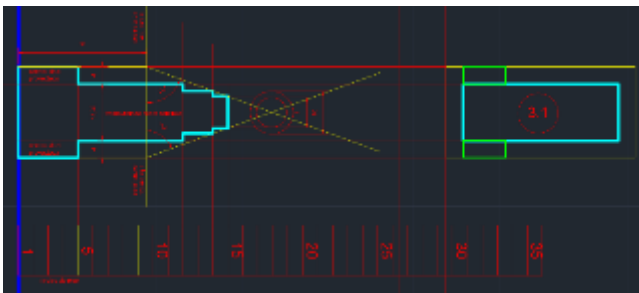


Ilustración 17: Conformación de volumen de edificio. Fuente: elaboración propia.

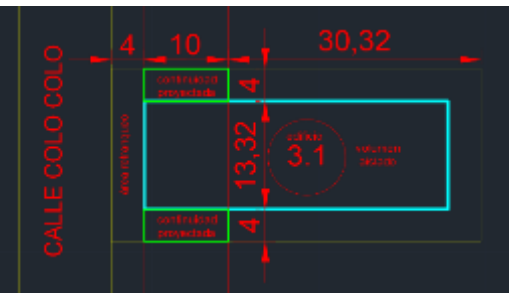


Ilustración 16: Planta de edificio. Fuente: elaboración propia.

Esta es la forma más sencilla y tradicional como se podía obtener una máxima cabida predial, donde, por ejemplo, en el caso de un predio de 21m de frente por 44m de fondo, admite un volumen de casi 50m de alto total, con una superficie construida de 6.589 m².

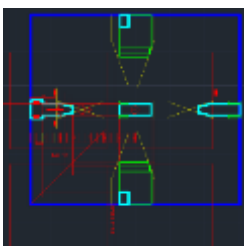


Ilustración 21: Planta y elevaciones. Fuente: elaboración propia.

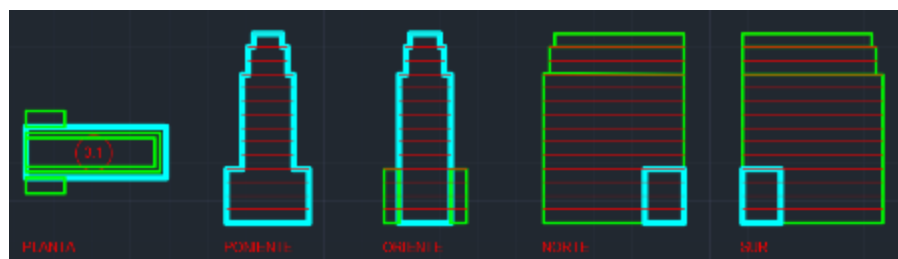


Ilustración 20: Resultado final de la conformación volumétrica de los edificios. Fuente: elaboración propia.

2.3.2 Muestra N° 2 (Norma de estudio de sombras, artículo 2.6.11. OGUC)

Una forma más compleja de obtener una máxima cabida predial consiste en el sistema de Estudio de Sombras. Para este estudio, la normativa ordena hacer una comparación de las sombras parciales de un volumen teórico con las del edificio propuesto, donde las sombras del edificio propuesto nunca podrán superar las del volumen teórico, obviando la normativa de rasantes.

Según la definición Artículo 1.1.2. OGUC, volumen teórico corresponde a: “volumen o envoltente máxima, expresado en metros cúbicos, resultante de la aplicación de las disposiciones sobre superficies de rasante, distanciamientos, antejardines y alturas máximas, cuando las hubiere, en un terreno determinado” (MINVU, 2017). Por otra parte, el edificio propuesto no podrá superar la altura del volumen teórico.

A partir de los 10,5 m de altura, el volumen aislado debe cumplir con un distanciamiento de 1/5 de la altura total de dicho volumen, además de los distanciamientos convencionales. En el caso de edificación aislada sobre la edificación continua, esta se medirá a partir de la altura máxima de continuidad. Las sombras se miden sobre predios vecinos, no sobre bien nacional de uso público (BNUP), en un plano horizontal ubicado en la altura máxima de continuidad. Las sombras se proyectan en dirección oriente y poniente en ángulos de 26° y hacia el sur 57° (MINVU, 2002; MINVU, 2006; MINVU, 2017; MINVU, 2009).

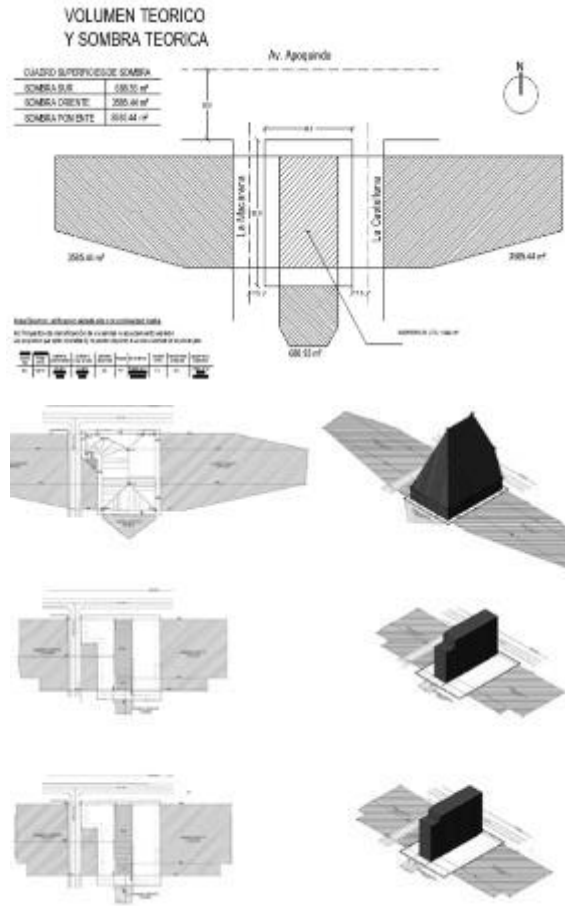


Ilustración 22: metodología de estudio de sombras.

Fuente: anónimo.

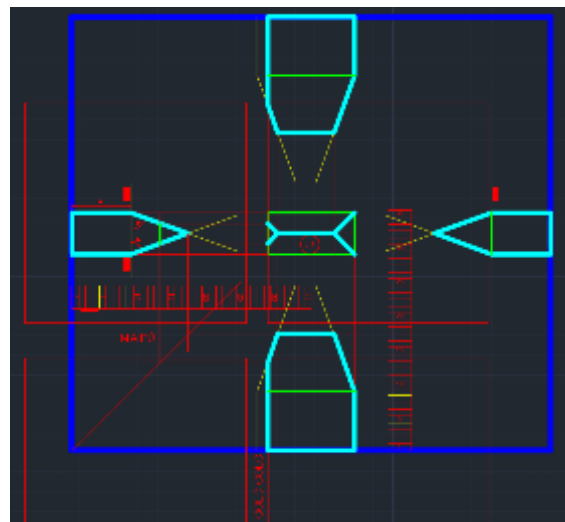


Ilustración 23: Definición de volumen teórico para estudio de sombras. Fuente: elaboración propia.

Conformación del volumen teórico: el procedimiento es similar al anterior, solo que la geometría sigue estrictamente las disposiciones sobre rasantes. Una vez obtenido el volumen teórico se abaten los puntos más altos del volumen sobre un plano virtual ubicado en la altura máxima de continuidad, en los ángulos que la normativa indica, en sus orientaciones oriente, poniente y sur. De esta forma se conforma un polígono de sombra con el cual se calcula la superficie de sombra arrojada hacia cada deslinde.

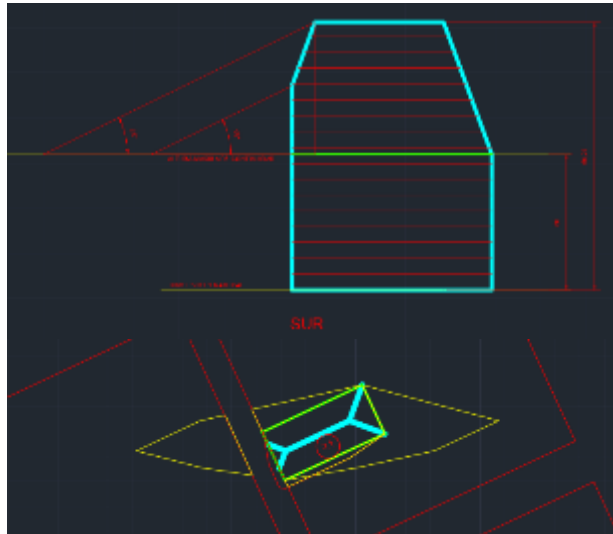


Ilustración 24: Proyección de sombras del volumen teórico hacia el oriente, poniente y sur. Fuente: elaboración propia.

Conformación del volumen proyectado: el procedimiento parte de forma similar al proyecto formado por rasantes del escenario 1, pero, en este caso no se consideran rasantes como limitante volumétrica. Partiendo por la definición de la fachada más angosta, se toma la altura del *volumen teórico*, para asimilarla al nivel de piso de oficina inmediatamente por debajo de esta altura. En este nivel, se determina el distanciamiento a deslindes considerando $1/5$ de la altura por sobre la altura máxima de continuidad, y de esta forma ya tenemos las aristas del volumen más alto. Desde este nivel hacia los pisos inferiores se harán en lo posible 3 escalones hasta alcanzar el distanciamiento mínimo de 4m a deslindes.

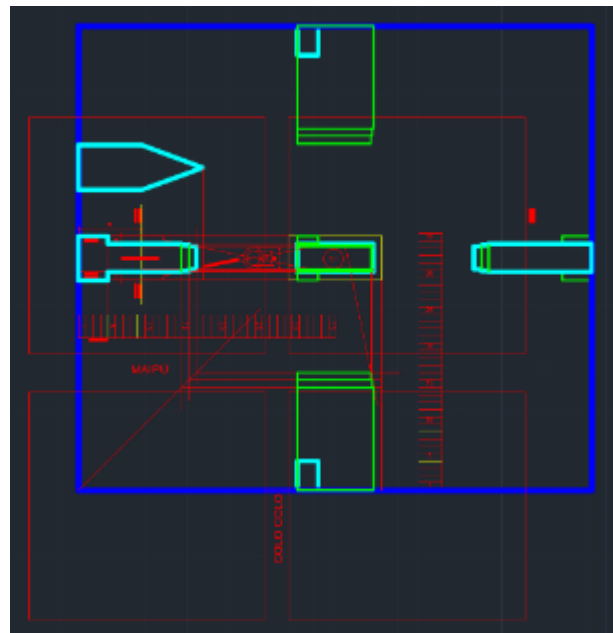


Ilustración 25: conformación de elevaciones de volumen proyectado. Fuente: elaboración propia.

2.4 Escenarios Críticos de Muestras

Cada uno de los volúmenes proyectados (*Ilustración 28*), representa la máxima cabida que pudiera tener una edificación en cada uno de los lotes de la manzana de muestra y su entorno inmediato, como se observa en la *Ilustración 28*. Los escenarios críticos (*Ilustración 27*) se configuran con el modelamiento en Rhinoceros de cada uno de estos volúmenes, para cada una de las Muestras de estudio, resultando un conjunto urbano tridimensional.

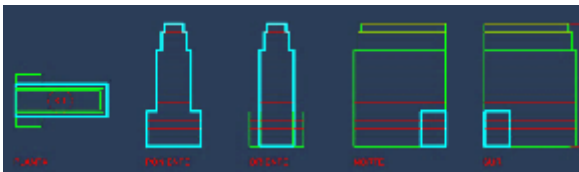


Ilustración 26: Plano de definición de 1 edificio, para 1 escenario de muestra. Fuente: elaboración propia.

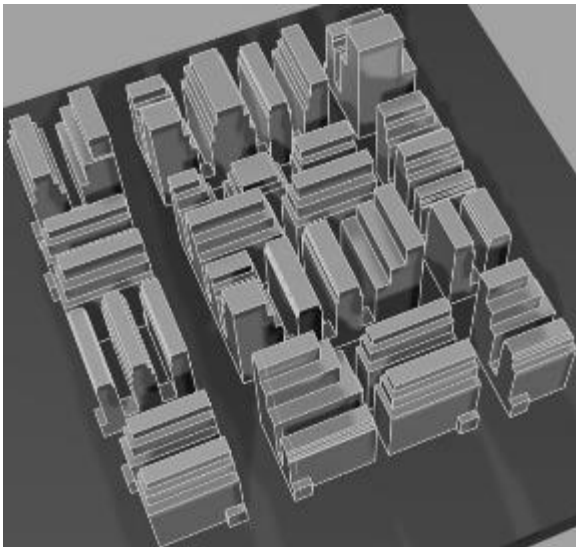


Ilustración 27: Escenario de Muestra, modelado en Rhinoceros. Fuente: elaboración propia.

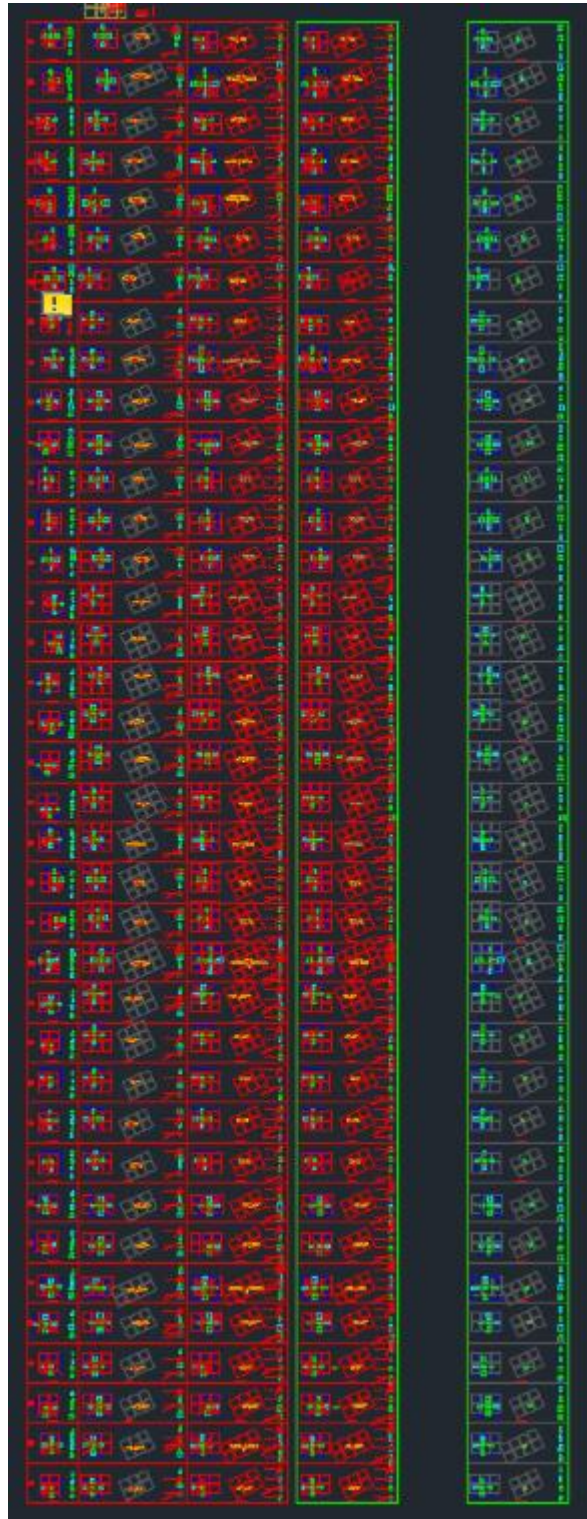


Ilustración 28: Plano de definición de todos los volúmenes. Fuente: elaboración propia.

2.5 Clima y Condiciones Ambientales

Concepción pertenece a la zona Sur Litoral (SL) la cual se caracteriza por ser clima marítimo, lluvioso. Inviernos largos, suelos y ambientes salinos y húmedo. Vientos irregulares de componente SW y N. vegetación robusta. Temperatura templada a fría (INN, 2008).

Concepción se ubica a 36°77' de latitud Sur y 73°05' de longitud Oeste. Estas condicionantes ambientales y geográficas hacen que el promedio de frecuencia predominante anual de tipología de cielos estandarizados para la ciudad es el "overcast sky". Los porcentajes de frecuencia para cada uno de los 4 tipos de cielo CIE standard (claro, claro-túrbido, intermedio y nublado). (ILUMINA-CHILE, 2014) sean los que se muestran en el **Gráfico 2**.

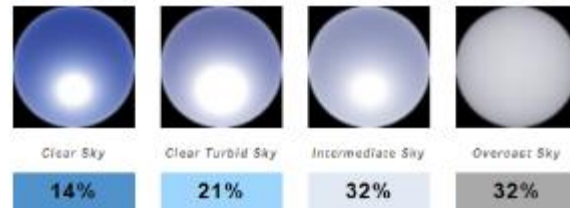


Ilustración 30: Promedio anual de frecuencia de cielos.

Fuente: Ilumina Chile.

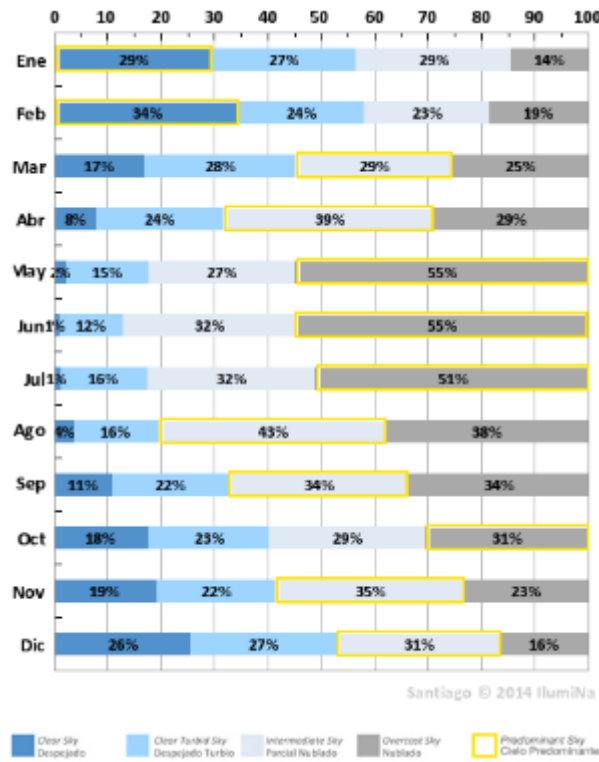


Gráfico 2: Frecuencia mensual para cada uno de los cielos estandarizados CIE. Fuente: Ilumina Chile.

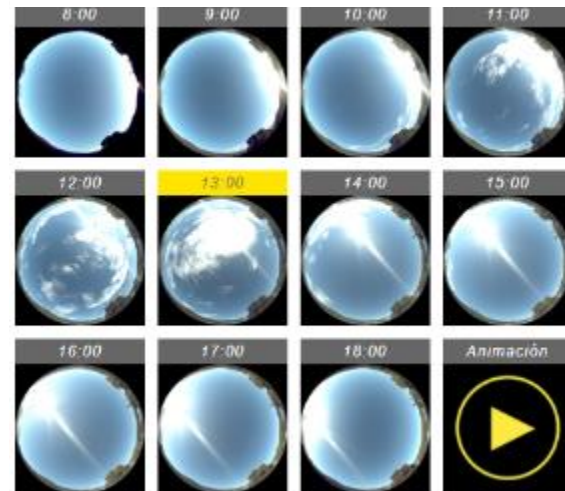


Ilustración 29: ejemplo de tabla 3x3 de cielos en 25 mar.

Fuente: Ilumina Chile.

2.6 Herramientas de Simulación

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó el software de simulación Rhinoceros 5, con licencia de estudiante para la modelación de los escenarios urbanos. Se probó la herramienta UMI para simulación dinámica, una novedosa interfaz de modelado urbano integrado que proporciona datos de energía, iluminación, confort y movilidad (UMI- An urban simulation environment for buildings energy use, daylighting and walkability, 2013). Sin embargo, para el análisis luminoso de Umi se requiere utilizar el complemento Urban Daylight, el cual no admite otros climas distintos a los incorporados por defecto.

Finalmente se utilizó DIVA, una herramienta poderosa que puede analizar visual, fotométrica y energéticamente desde dentro de Rhino *Ilustración 31*(DIVA 2.0: Integrating daylight and thermal simulations using Rhinoceros 3D, Daysim and EnergyPlus, 2011). El análisis usa un método que aprovecha un módulo de Radiance llamado GenCumulativeSky para crear una distribución continua de radiancia cumultaive. Este cielo acumulativo se usa luego en una simulación de rayo hacia atrás de Radiance. Se utilizó DIVA para generar imágenes de irradiación e iluminación sobre nodos. Su barra de comandos 4 opciones configura toda la herramienta: *Location*, *Nodes*, *Materials* y *Metrics* (*Ilustración 32*).

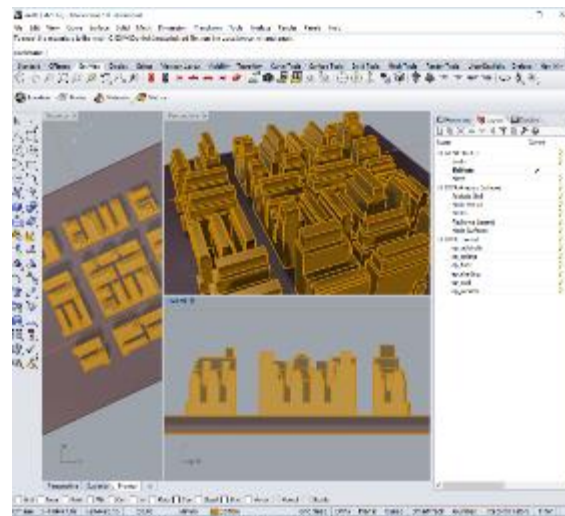


Ilustración 31: interfaz de usuario DIVA, dentro del software Rhinoceros. Fuente: elaboración propia.

2.7 Parámetros de Simulación

Las simulaciones corresponden a 2 grandes grupos, correspondientes a las simulaciones de irradiancia de fachadas, y simulaciones de iluminación de fachada. Las condiciones de borde utilizadas para la simulación de fachadas son las siguientes:



Ilustración 32: Barra de comandos de 4 opciones del software DIVA. Fuente: elaboración propia.

Location: En este punto de entrada se requiere un archivo climático de extensión EPW, ingresando el archivo CHL_Concepcion.856820_IWEC.epw, descargado desde el portal www.Energyplus.net (EnergyPlus), el cual corresponde a un archivo climático validado y reconocido por el programa.

Nodes: En este punto de entrada se configura los nodos de análisis, seleccionando las fachadas a estudiar en cada simulación. Luego el software solicita ingresar la distancia entre los nodos y la superficie de análisis, donde, el software sugiere un rango entre 0,1 a 0,75 m, ingresando una distancia de 0,1m con la finalidad de obtener resultados sobre la fachada del edificio. A continuación, el programa solicita ingresar la distancia entre los nodos de cálculo, sugiriendo un rango de 0,75 a 1,5 m, ingresado una distancia de 1,2m que permite obtener una gráfica legible en la escala de la manzana de muestra, pero manteniendo el mayor detalle posible. Se probó la opción de ingresar módulos de 1m² con la finalidad de obtener resultados por m² de fachada, sin embargo, debido a la escala de simulación, la información gráfica resultante se satura con la grilla trazada, y no permite ver la distribución de los valores de los resultados (Ilustración 33).

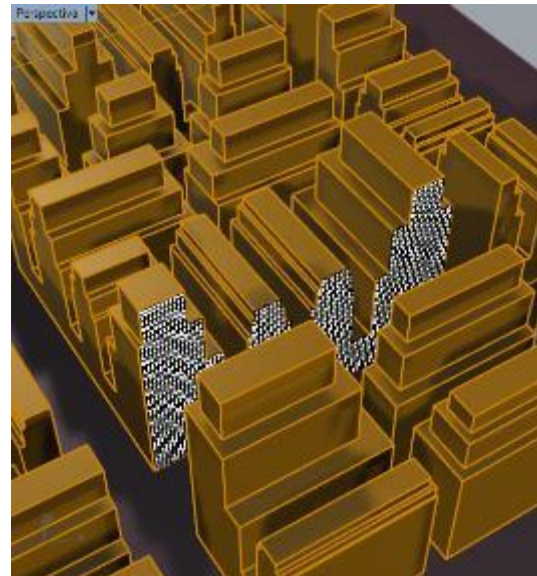


Ilustración 33: Nodos sobre fachada. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 34: ventana de configuración de reflectancia. Fuente: elaboración propia.

Materials: En este punto de entrada se configura la reflectancia de los materiales de fachada. El software reconoce las capas de los volúmenes modelados, aplicando a ellos las reflectancias estandarizadas. De acuerdo con Venegas y su estudio sobre reflectancia en ellos edificios del centro de la ciudad de Concepción, los acabados de los edificios tendrían valores promedio en torno a ρ : 0,43 en fachadas de hormigón con pinturas o acabados lisos de color beige, pudiendo llegar a valores mínimos de ρ : 0,09 en morteros rústicos de color azul

(Reflectancia de las envolventes verticales y su influencia sobre disponibilidad de luz natural en el cañón urbano de la ciudad de Concepción, 2018). En función de este estudio, se utilizó los valores estandarizados más cercanos que ofrece el software, empleado un ρ : 0,35 en fachadas y ρ : 10 para el suelo urbano (*Ilustración 34*).

Metrics: En este punto de entrada se arranca las simulaciones, encontrando diversas posibilidades de análisis. Se utilizaron 2 tipos de simulación: *Radiation Map*, y, *Point-In-Time Illuminance*, ambas de la paleta de simulaciones *Daylight Grid-Based*.

Para el análisis de radiación el software consulta por la métrica de análisis, el día de inicio, y el día de termino, además del rango horario y densidad geométrica. Se utilizaron los valores por defecto para el análisis durante todo el año, utilizando la métrica *Cumulative Sky* (*Ilustración 35*).

Para el análisis de iluminancia en un punto en el tiempo el software consulta el tipo de cielo estandarizado CIE, la fecha y hora, y la unidad de medida. En función de los tipos de cielo predominantes en Concepción se ingresaron cielos *Overcast Sky* en el solsticio de invierno, *Intermediate Sky* en equinoccio y solsticio de verano, con unidades de medida en Lux (*Ilustración 36*).

A partir de estos parámetros de entrada, se arranco las simulaciones de cada escenario y se obtuvieron los resultados que se presentan el siguiente Capítulo.



Ilustración 35: ventana de configuración de simulación de radiación. Fuente: elaboración propia.

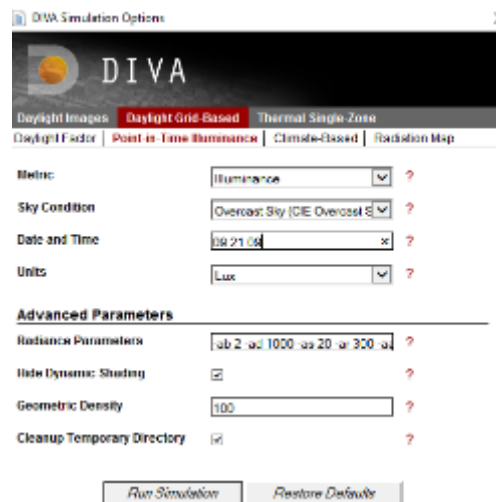


Ilustración 36: ventana de configuración de simulación de iluminancia. Fuente: elaboración propia.

Capítulo 3. Resultados

En el presente capítulo se darán a conocer los resultados de simulación de los 2 escenarios definidos y modelados en el Capítulo 2 Desarrollo. Se realizó simulación dinámica que permita obtener irradiancia anual de las 4 fachadas exteriores de la manzana de estudio, además de un análisis en un corte transversal que permite conocer el desempeño de 2 fachadas hacia el interior de la manzana de estudio.

También se dará a conocer los resultados de análisis de iluminancia que nos permite conocer cómo se distribuye la luz natural en las fachadas de los edificios y comparar sus valores con el rango definido en el TDR de eficiencia energética.

3.1 Irradiancia en fachadas

A continuación, se presentarán los resultados de la simulación de irradiancia para cada una de las fachadas analizadas de la Muestra 1 y Muestra 2.

Los resultados corresponden a valores de radiación anual medida en kWh/m², recibida en cada una de las fachadas interiores y exteriores de la manzana de estudio. Para cada fachada se expondrán valores máximos, mínimos, promedio ponderado y una imagen de mapeo de distribución cromática que representa la radiación recibida en cada nodo que el software superpone sobre la fachada analizada, lo cual permite visualizar la distribución de la energía y su concentración en la fachada.

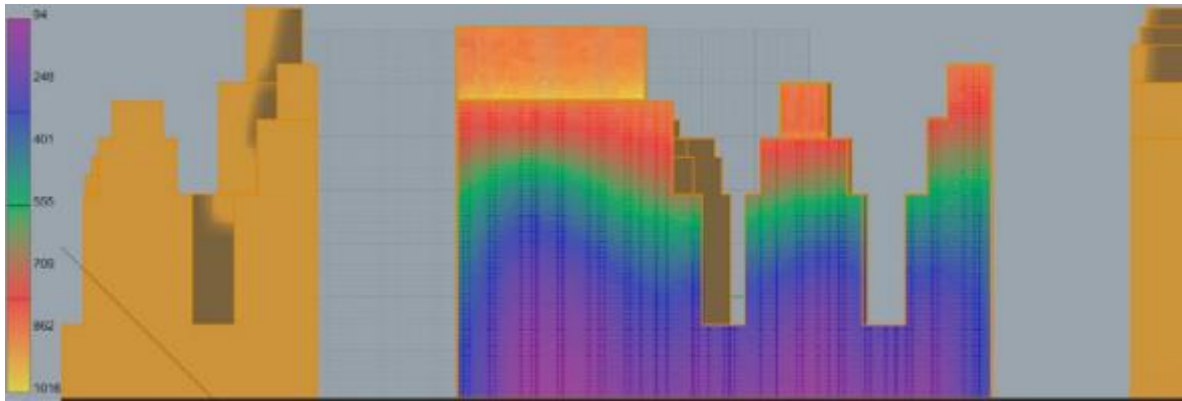
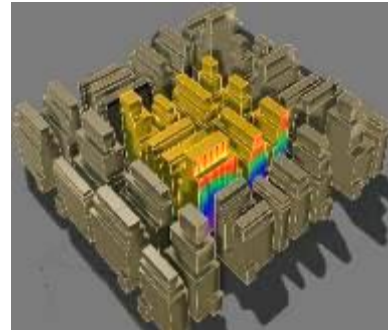


Ilustración 37: Vista en planta de manzana de análisis "Muestra N° 1", ubicación de las 6 fachadas analizadas. Fuente: elaboración propia.

4.1.1 Irradiancia en fachada Exterior Este

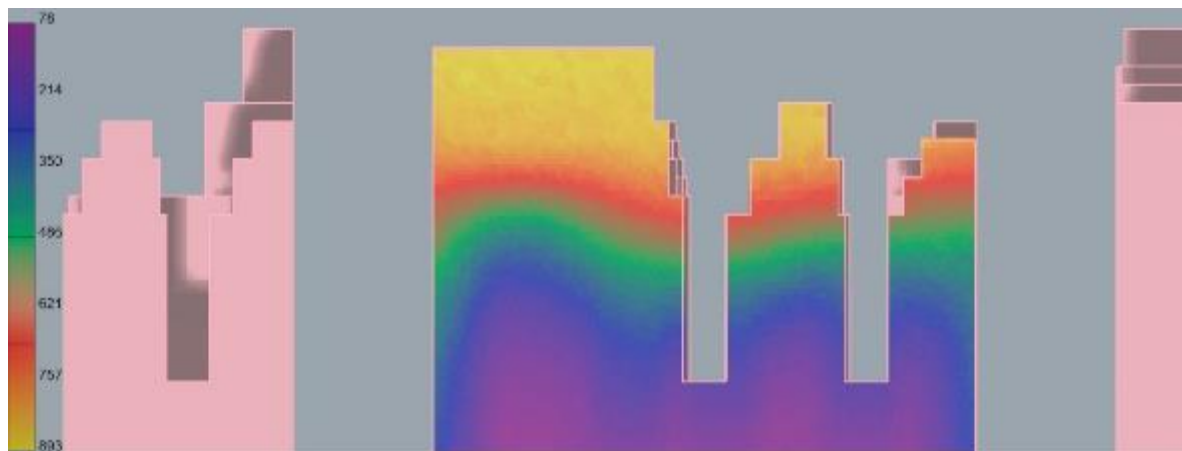
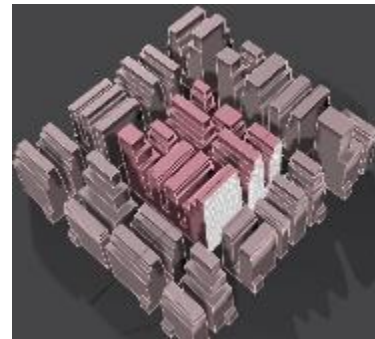
Muestra 1 Este: Los valores de radiación anual se distribuyen concentrando los valores que superan la media anual solo en el tercio superior de las fachadas.

- I mínima anual: 94 kWh/m².
- I máxima anual: 1016 kWh/m².
- I promedio anual: 555 kWh/m².



Muestra 2 Este: Los valores de radiación anual se distribuyen concentrando los valores que superan la media anual solo en el tercio superior de las fachadas más bajas.

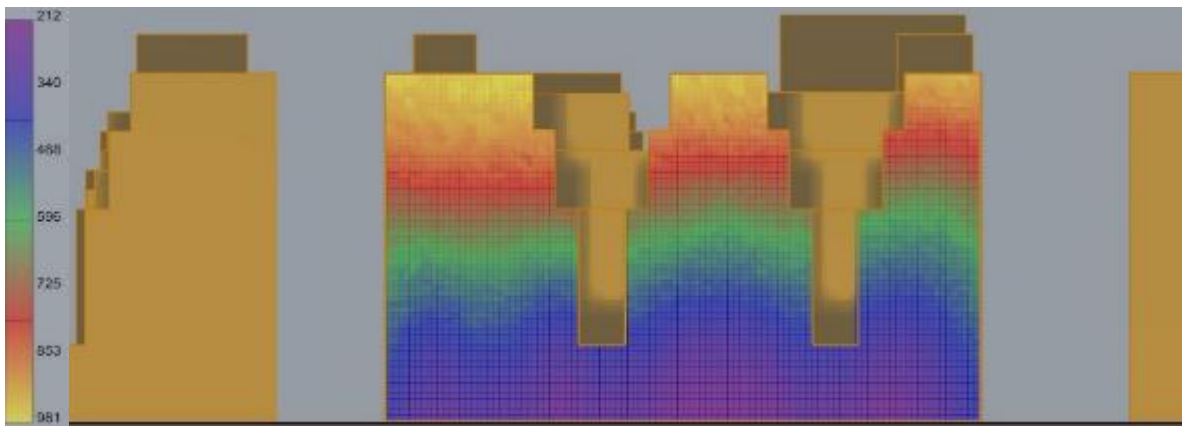
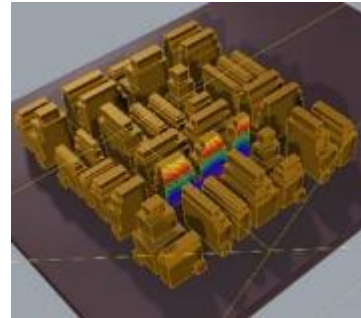
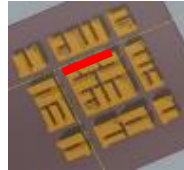
- I mínima anual: 78 kWh/m².
- I máxima anual: 893 kWh/m².
- I promedio anual: 436,4 kWh/m².



4.1.2 Irradiancia en fachada Exterior Norte

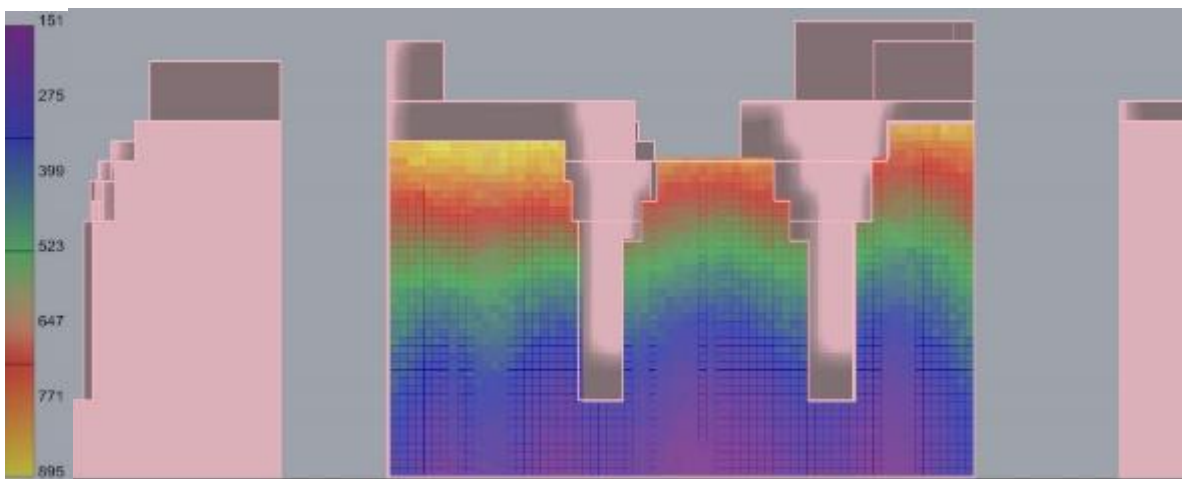
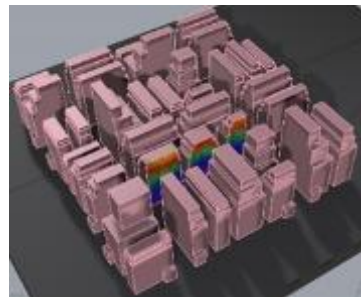
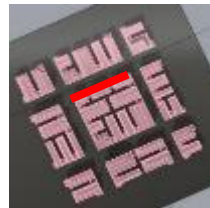
Muestra 1 Norte: Se observa que la radiación anual se distribuye verticalmente de forma gradualmente homogénea, solo el tercio más bajo concentra radiaciones bajo la media anual.

- I mínima anual: 212 kWh/m².
- I máxima anual: 981 kWh/m².
- I promedio anual: 552,7 kWh/m².



Muestra 2 Norte: Se observa que prácticamente la mitad inferior de la fachada concentra radiaciones bajas, inferiores a la irradiancia media anual.

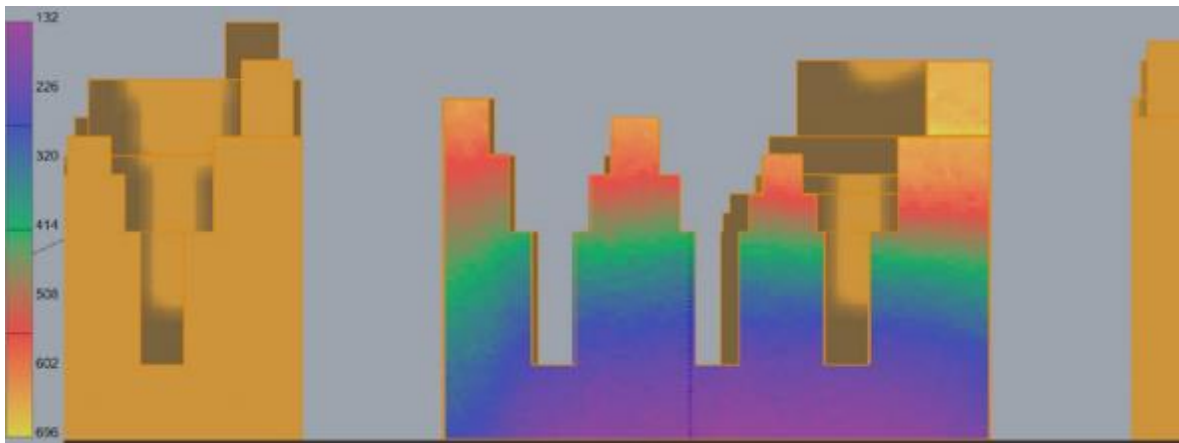
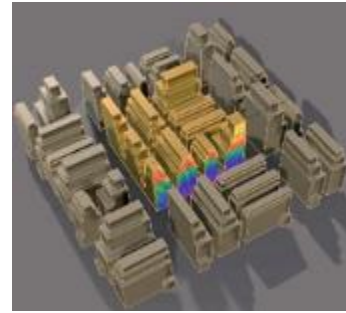
- I mínima anual: 151 kWh/m².
- I máxima anual: 895 kWh/m².
- I promedio anual: 436,8 kWh/m².



4.1.3 Irradiancia en fachada Exterior Oeste

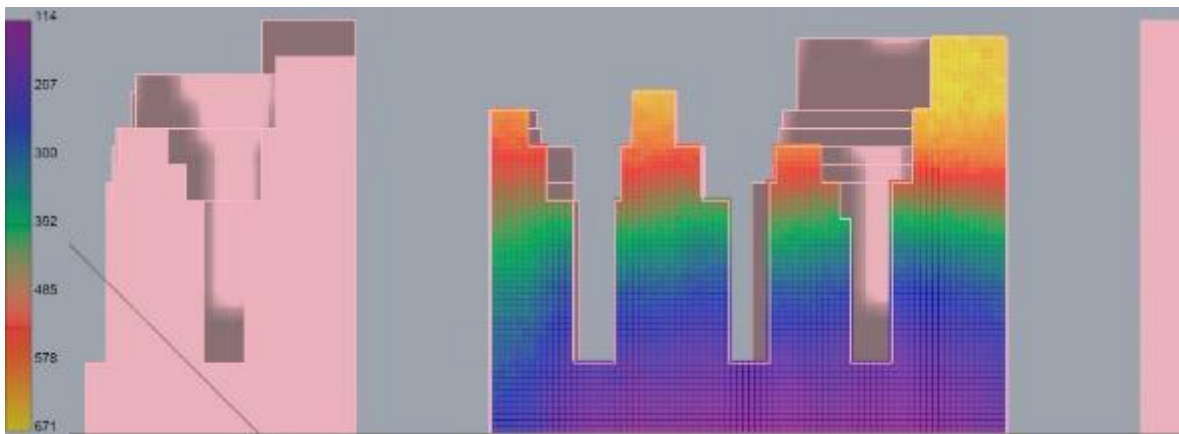
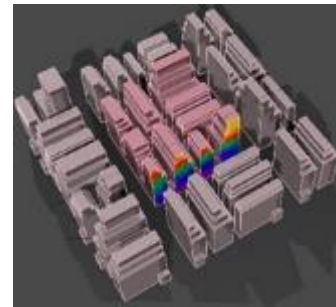
Muestra 1 Oeste: Los valores de radiación anual se distribuyen concentrando los valores inferiores a la media anual en los dos tercios inferiores de las fachadas.

- I mínima anual: 132 kWh/m².
- I máxima anual: 696 kWh/m².
- I promedio anual: 414 kWh/m².



Muestra 2 Oeste: Los valores de radiación anual se distribuyen de forma homogénea concentrando los valores inferiores a la media anual en la media inferior de las fachadas.

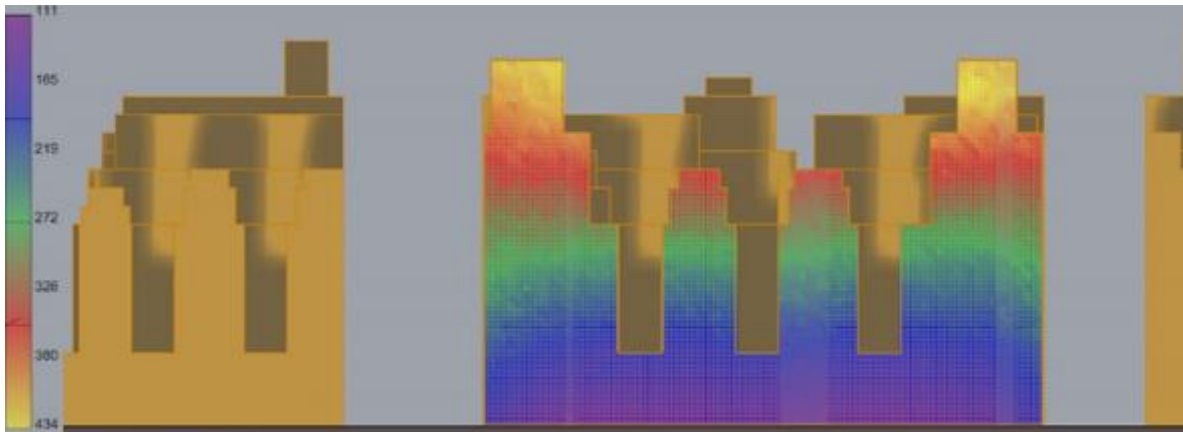
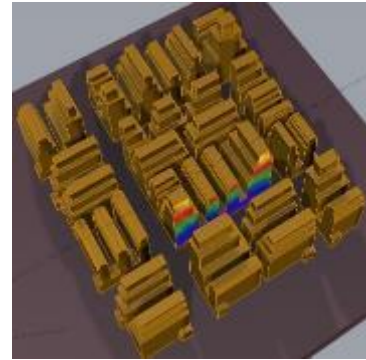
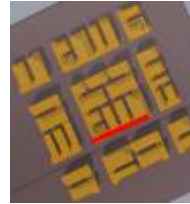
- I mínima anual: 114 kWh/m².
- I máxima anual: 671 kWh/m².
- I promedio anual: 329,2 kWh/m².



4.1.4 Irradiancia en fachada Exterior Sur

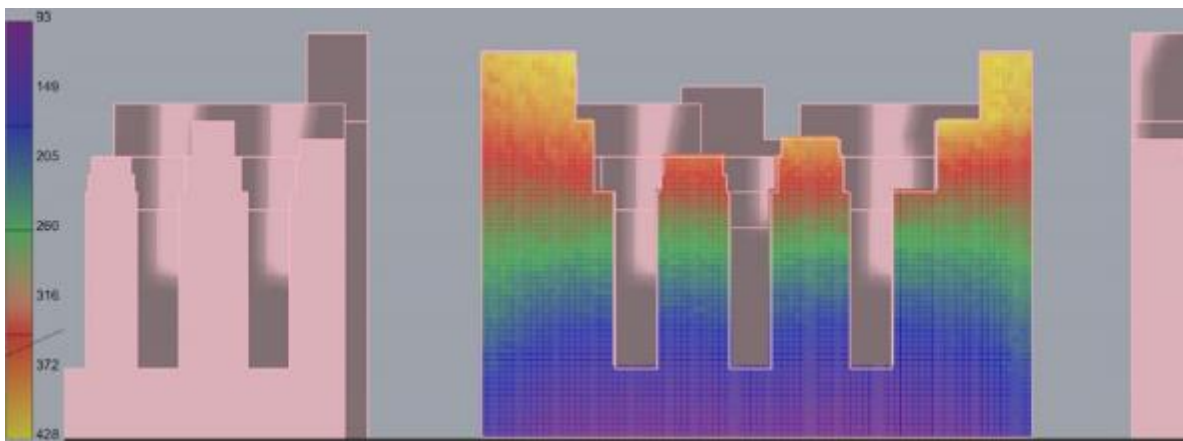
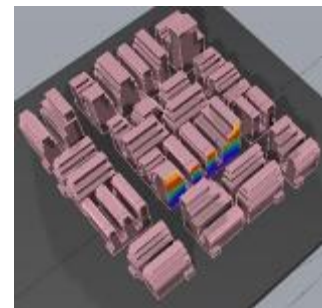
Muestra 1 Sur: los valores de radiación anual corresponden casi a la mitad de la fachada norte. Se distribuye verticalmente de forma homogénea, pero la mitad inferior concentra radiaciones de valores bajo la media anual.

- Irradiancia mínima anual: 111 kWh/m².
- Irradiancia máxima anual: 434 kWh/m².
- Irradiancia promedio anual: 245,3 kWh/m².



Muestra 2 Sur: Los valores de radiación anual cuyos valores son inferiores a la media anual corresponden casi a la mitad inferior de la fachada sur.

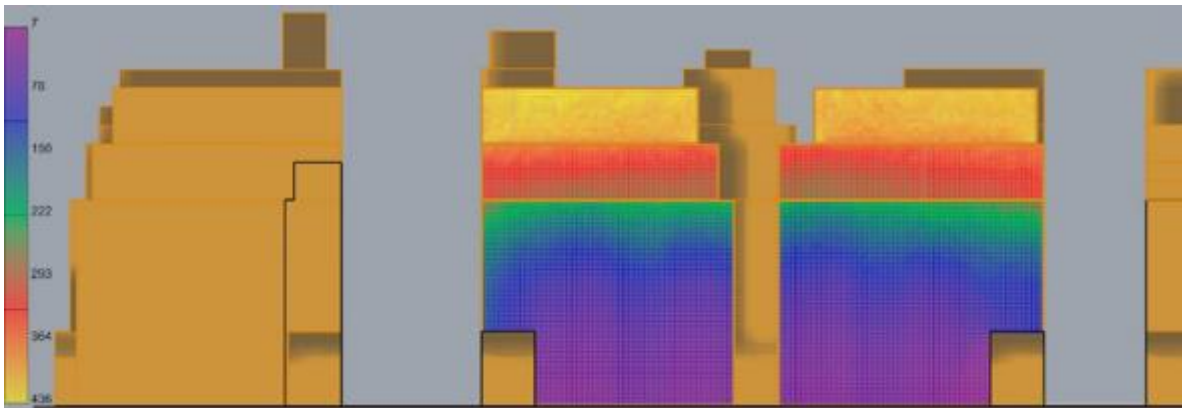
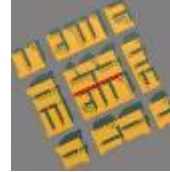
- Irradiancia mínima anual: 93 kWh/m².
- Irradiancia máxima anual: 424 kWh/m².
- Irradiancia promedio anual: 236,6 kWh/m².



4.1.5 Irradiancia en fachada Interior Sur

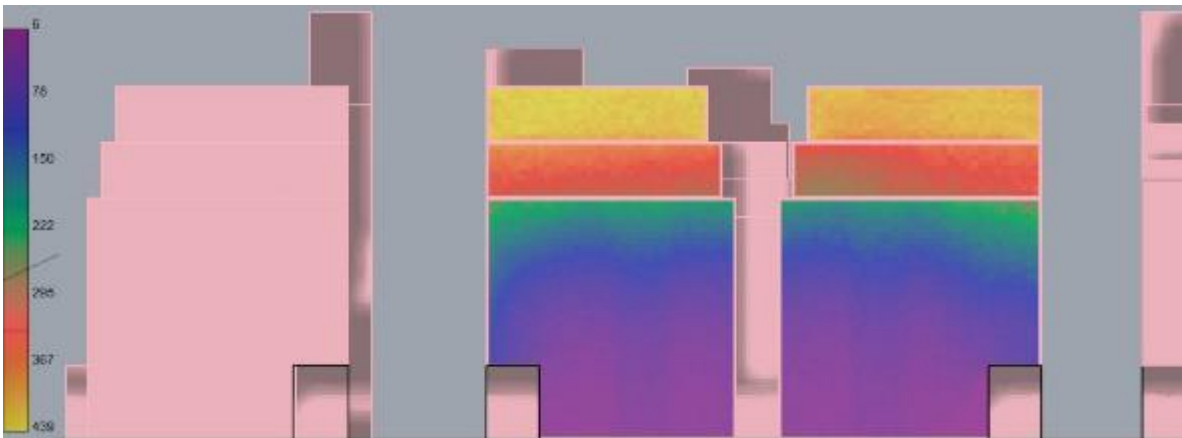
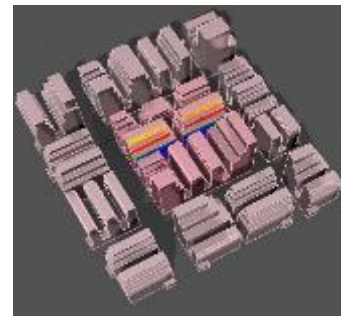
Muestra 1 Interior Sur: Los valores de radiación anual concentran los valores inferiores a la media anual en los dos tercios inferiores de las fachadas, prácticamente el volumétrico principal de los edificios.

- Irradiancia mínima anual: 7 kWh/m².
- Irradiancia máxima anual: 436 kWh/m².
- Irradiancia promedio anual: 221,5 kWh/m².



Muestra 2 Interior Sur: Los valores de radiación anual concentran los valores inferiores a la media anual en los dos tercios inferiores de las fachadas, prácticamente el volumétrico principal de los edificios.

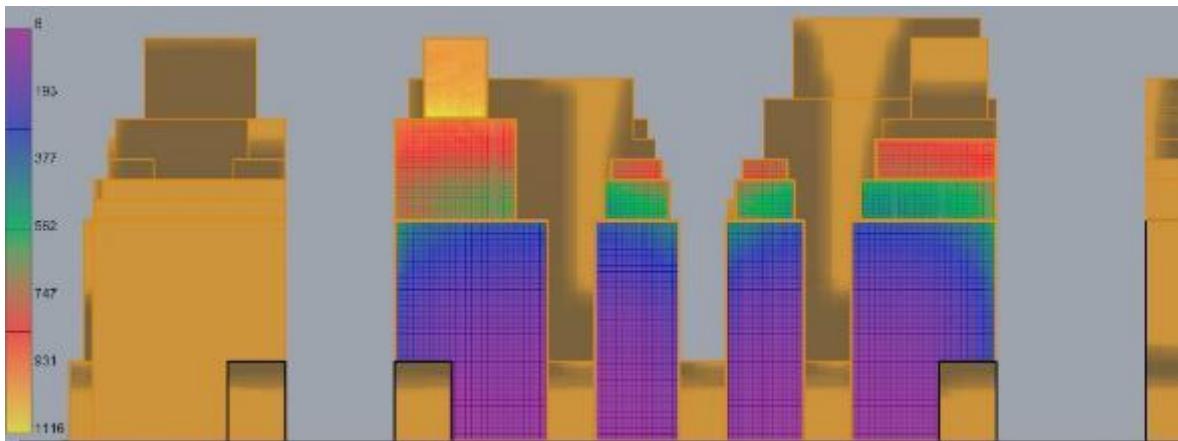
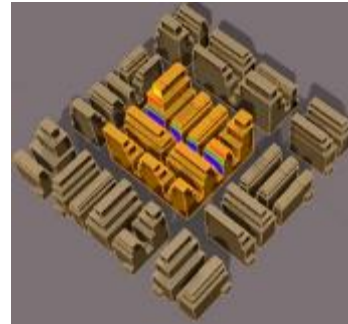
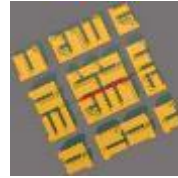
- Irradiancia mínima anual: 6 kWh/m².
- Irradiancia máxima anual: 439 kWh/m².
- Irradiancia promedio anual: 222,5 kWh/m².



4.1.6 Irradiancia en fachada Interior Norte

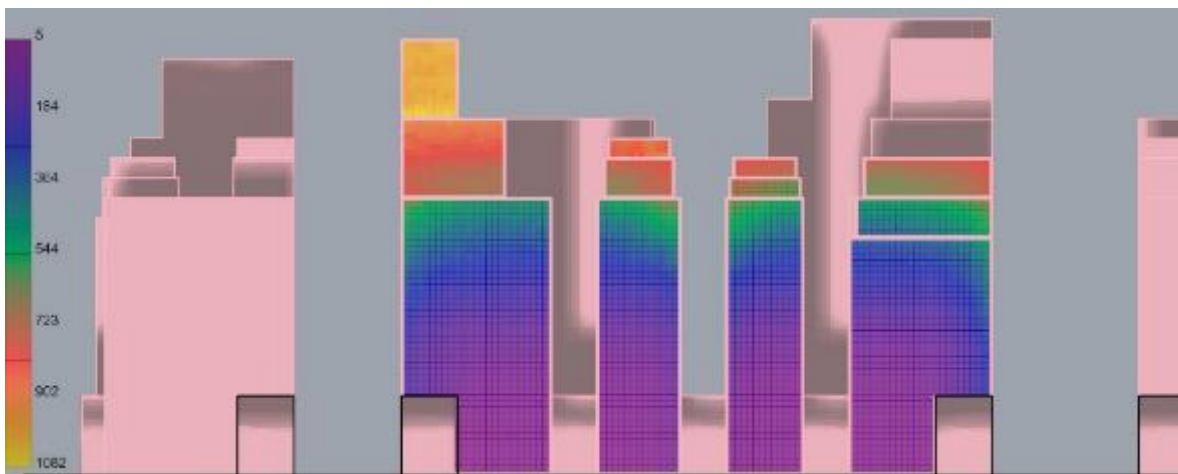
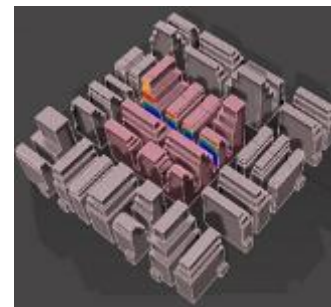
Muestra 1 Interior Norte: Los valores de radiación anual concentran los valores inferiores a la media anual en los dos tercios inferiores de las fachadas, prácticamente el volumétrico principal de los edificios.

- Irradiancia mínima anual: 8 kWh/m².
- Irradiancia máxima anual: 916 kWh/m².
- Irradiancia promedio anual: 462 kWh/m².



Muestra 2 Interior Norte: Los valores de radiación anual concentran los valores inferiores a la media anual en los dos tercios inferiores de las fachadas, prácticamente el volumen principal de los edificios.

- Irradiancia mínima anual: 5 kWh/m².
- Irradiancia máxima anual: 902 kWh/m².
- Irradiancia promedio anual: 444 kWh/m².



3.2 Iluminación en fachadas

A continuación, se presentarán los resultados de la simulación de iluminación para las fachadas de la Muestra 1 y Muestra 2 cuyos resultados de irradiancia fueron más críticos, es decir las fachadas **sur interior**, y **sur exterior** de la manzana en estudio, ubicadas tal como se observa en la *Ilustración 38*.

Los resultados corresponden a valores iluminación natural medidos en Lux recibida en el plano vertical de cada una de estas fachadas. De cada muestra se evaluaron tres días en particular: solsticio de invierno, solsticio de verano, y media estación equinoccio.

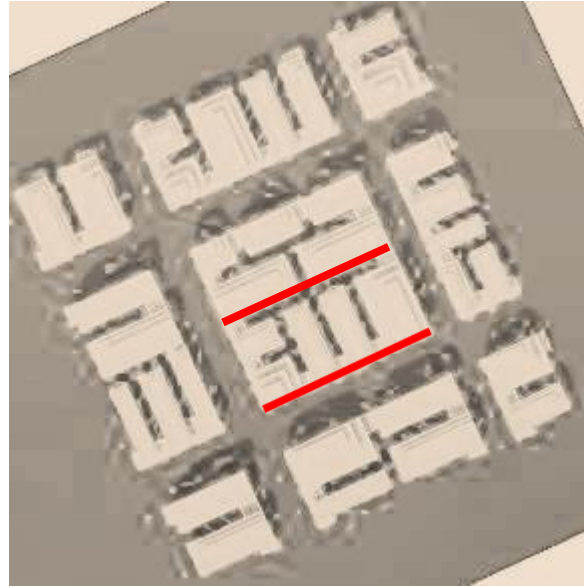
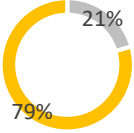
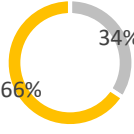
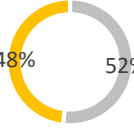
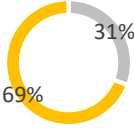
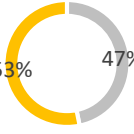
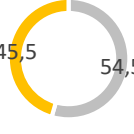


Ilustración 38: Vista en planta de manzana de análisis "Muestra N° 1", ubicación de las 2 fachadas analizadas: Sur Interior y Sur Exterior. Fuente: elaboración propia.

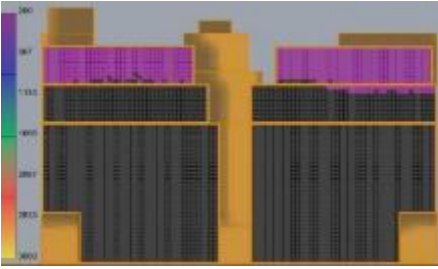
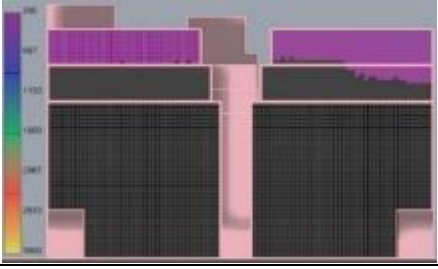
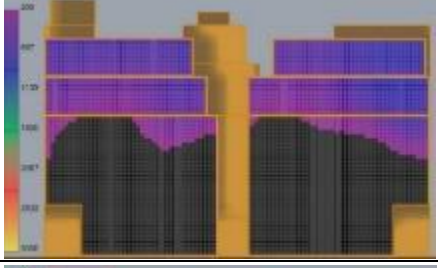



Cada día contempla medición en 3 horarios: 09 horas, 12 horas y 15 horas, conformando una matriz de 3x3 con información de valores máximos, mínimos, promedio ponderado, además de una imagen de mapeo de distribución cromática que representa la luz recibida en cada nodo que el software superpone sobre la fachada analizada, lo cual permite visualizar la distribución de la energía y su concentración en la fachada.

La escala cromática se configuro con los valores máximos y mínimos de iluminación funcional que recomienda estándar TDR_e, correspondiente al rango entre 200 y 3.000 Lux. Aun cuando los valores máximos no son de interés de esta investigación, se utilizó este rango con la finalidad de conocer la distribución y concentración de la luz natural en las fachadas de los edificios. De esta forma el software arroja el porcentaje de nodos que conforman la superficie de análisis, indicando la porción que se encuentran dentro de rango, que porcentajes lo superan, y que porcentajes están por debajo. Del mismo modo, en las fachadas los nodos se tiñen de magenta cuando la luz capturada en la fachada vertical sobrepasa el estándar TDR_e, y de gris los nodos que no alcanza a cumplir con el mínimo, es decir, donde el interior jamás tendrá luz natural suficiente para su funcionamiento.

3.2.1 Iluminación en fachada Interior Sur, en media estación

FACHADA INTERIOR SUR, EQUINOCCIO OTOÑO-PRIMAVERA		
09:00 HORAS	RASANTES	<p>Max.: 1.396 lux Min.: 0 lux Promedio: 337 lux</p> <p>20,6% bajo los 200 lux 00,0% sobre 3.000 lux 79,4% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
	E. SOMBRAS	<p>Max.: 1.378 lux Min.: 0 lux Promedio: 285 lux</p> <p>34,3% bajo los 200 lux 00,0% sobre 3.000 lux 65,7% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
12:00 HORAS	RASANTES	<p>Max.: 895 lux Min.: 0 lux Promedio: 91 lux</p> <p>51,8% bajo los 200 lux 00,0% sobre 3.000 lux 48,2% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
	E. SOMBRAS	<p>Max.: 1.038 lux Min.: 179 lux Promedio: 351 lux</p> <p>30,8% bajo los 200 lux 00,0% sobre 3.000 lux 69,2% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
15:00 HORAS	RASANTES	<p>Max.: 948 lux Min.: 0 lux Promedio: 145 lux</p> <p>46,8% bajo los 200 lux 00,0% sobre 3.000 lux 53,2% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
	E. SOMBRAS	<p>Max.: 984 lux Min.: 0 lux Promedio: 154 lux</p> <p>54,5% bajo los 200 lux 00,0% sobre 3.000 lux 45,5% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>

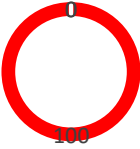
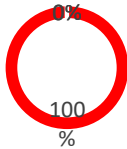
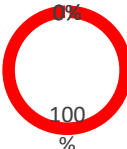
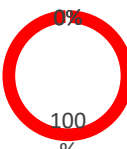
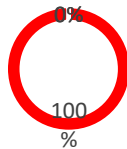
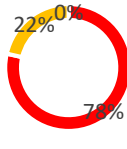
3.2.2 Iluminación en fachada Interior Sur, en invierno

FACHADA INTERIOR SUR, SOLSTICIO INVIERNO		
09:00 HORAS	RASANTES	 <p>Max.: 268 lux Min.: 0 lux Promedio: 27 lux</p> <p>83,5% bajo los 200 lux 0,0% sobre 3.000 lux 16,5% entre 200 a 3.000 lux</p> <p>Donut chart: 17% (entre 200 y 3000 lux), 83% (bajo 200 lux)</p>
	E. SOMBRAS	 <p>Max.: 286 lux Min.: 0 lux Promedio: 23 lux</p> <p>90,1% bajo los 200 lux 00,0% sobre 3.000 lux 9,9% entre 200 a 3.000 lux</p> <p>Donut chart: 10% (entre 200 y 3000 lux), 90% (bajo 200 lux)</p>
12:00 HORAS	RASANTES	 <p>Max.: 895 lux Min.: 0 lux Promedio: 91 lux</p> <p>53,8 % bajo los 200 lux 0,00 % sobre 3.000 lux 46,2 % entre 200 a 3.000 lux</p> <p>Donut chart: 46% (entre 200 y 3000 lux), 54% (bajo 200 lux)</p>
	E. SOMBRAS	 <p>Max.: 930 lux Min.: 0 lux Promedio: 86 lux</p> <p>61,8 % bajo los 200 lux 0,0 % sobre 3.000 lux 38,2 % entre 200 a 3.000 lux</p> <p>Donut chart: 38% (entre 200 y 3000 lux), 62% (bajo 200 lux)</p>
15:00 HORAS	RASANTES	 <p>Max.: 623 lux Min.: 0 lux Promedio: 57 lux</p> <p>66,1% bajo los 200 lux 00,0% sobre 3.000 lux 33,9% entre 200 a 3.000 lux</p> <p>Donut chart: 34% (entre 200 y 3000 lux), 66% (bajo 200 lux)</p>
	E. SOMBRAS	 <p>Max.: 662 lux Min.: 0 lux Promedio: 54 lux</p> <p>79,6 % bajo los 200 lux 0,0 % sobre 3.000 lux 20,4 % entre 200 a 3.000 lux</p> <p>Donut chart: 20% (entre 200 y 3000 lux), 80% (bajo 200 lux)</p>

3.2.3 Iluminación en fachada interior sur, en verano

FACHADA INTERIOR SUR, SOLSTICIO VERANO		
09:00 HORAS	RASANTES	<p>Max.: 3.669 lux Min.: 179 lux Promedio: 842 lux</p> <p>21,8% bajo los 200 lux 13,5% sobre 3.000 lux 64,7% entre 200 a 3.000 lux</p> <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
	E. SOMBRAS	<p>Max.: 3.741 lux Min.: 0 lux Promedio: 467 lux</p> <p>52,0% bajo los 200 lux 17,0% sobre 3.000 lux 31,0% entre 200 a 3.000 lux</p> <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
12:00 HORAS	RASANTES	<p>Max.: 1.342 lux Min.: 107 lux Promedio: 387 lux</p> <p>0,5 % bajo los 200 lux 0,0 % sobre 3.000 lux 99,5 % entre 200 a 3.000 lux</p> <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
	E. SOMBRAS	<p>Max.: 1.396 lux Min.: 107 lux Promedio: 361 lux</p> <p>1,4 % bajo los 200 lux 00,0 % sobre 3.000 lux 98,6 % entre 200 a 3.000 lux</p> <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
15:00 HORAS	RASANTES	<p>Max.: 1.091 lux Min.: 179 lux Promedio: 422 lux</p> <p>19,0 % bajo los 200 lux 00,0 % sobre 3.000 lux 81,0 % entre 200 a 3.000 lux</p> <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
	E. SOMBRAS	<p>Max.: 1.109 lux Min.: 179 lux Promedio: 395 lux</p> <p>23,5 % bajo los 200 lux 0,0 % sobre 3.000 lux 76,5 % entre 200 a 3.000 lux</p> <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>

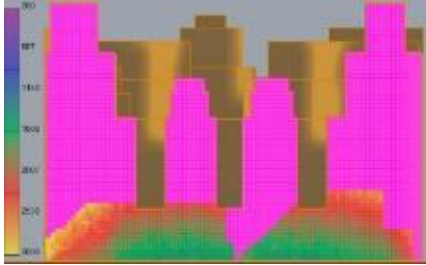
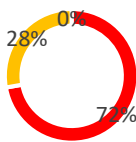
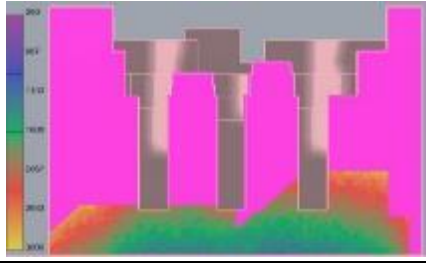
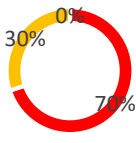
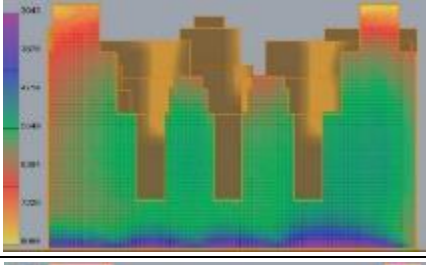
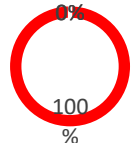
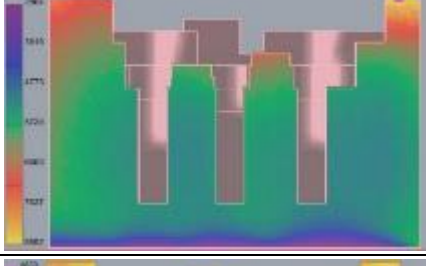
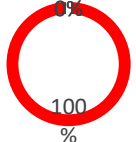
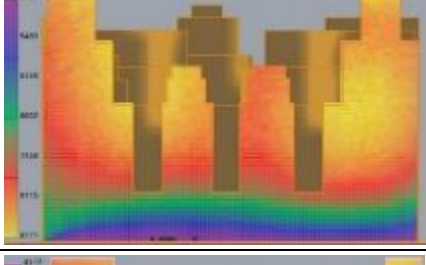
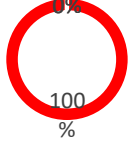
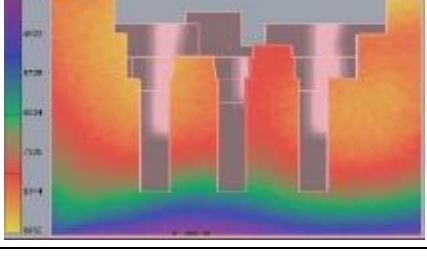
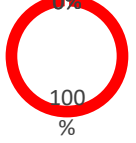
3.2.4 Iluminación en fachada Exterior Sur en media estación

FACHADAS EXTERIOR SUR, EQUINOCCIO OTOÑO-PRIMAVERA		
09:00 HORAS	RASANTES	<p>Max.: 11.277 lux Min.: 6.981 lux Promedio: 8.123 lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 100 % sobre 3.000 lux 00,0% entre 200 a 3.000 lux</p> 
	E. SOMBRAS	<p>Max.: 11.456 lux Min.: 6.981 lux Promedio: 8.111 lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 100 % sobre 3.000 lux 00,0% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
12:00 HORAS	RASANTES	<p>Max.: 9.666 lux Min.: 4.117 lux Promedio: 7.733 lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 100 % sobre 3.000 lux 00,0% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
	E. SOMBRAS	<p>Max.: 9.666 lux Min.: 3.580 lux Promedio: 7.415 lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 100 % sobre 3.000 lux 00,0% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
15:00 HORAS	RASANTES	<p>Max.: 11.456 lux Min.: 3.580 lux Promedio: 8.055 lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 100 % sobre 3.000 lux 00,0% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
	E. SOMBRAS	<p>Max.: 11.098 lux Min.: 2.685 lux Promedio: 7.150 lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 78,5% sobre 3.000 lux 21,5% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>

3.2.5 Iluminación en fachada Exterior Sur en invierno

FACHADAS EXTERIOR SUR, SOLSTICIO INVIERNO		
09:00 HORAS	RASANTES	<p>Max.: 3.043 lux Min.: 358 lux Promedio: 1.497 lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 0,2 % sobre 3.000 lux 99,8% entre 200 a 3.000 lux</p>
	E. SOMBRAS	<p>Max.: 2.864 lux Min.: 358 lux Promedio: 1.374 lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 00,0% sobre 3.000 lux 100 % entre 200 a 3.000 lux</p>
12:00 HORAS	RASANTES	<p>Max.: 10.023 lux Min.: 1.432 lux Promedio: 4.994 lux</p> <p>00,0 % bajo los 200 lux 69,0 % sobre 3.000 lux 31,0 % entre 200 a 3.000 lux</p>
	E. SOMBRAS	<p>Max.: 10.203 lux Min.: 1.074 lux Promedio: 4.506 lux</p> <p>00,0 % bajo los 200 lux 61,1 % sobre 3.000 lux 38,9 % entre 200 a 3.000 lux</p>
15:00 HORAS	RASANTES	<p>Max.: 8.771 lux Min.: 1.432 lux Promedio: 4.657lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 69,5% sobre 3.000 lux 30,5% entre 200 a 3.000 lux</p>
	E. SOMBRAS	<p>Max.: 8.592 lux Min.: 1.074 lux Promedio: 4.158 lux</p> <p>00,0 % bajo los 200 lux 61,2 % sobre 3.000 lux 38,8 % entre 200 a 3.000 lux</p>

3.2.6 Iluminación en fachada Exterior Sur en verano

FACHADAS EXTERIOR SUR, SOLSTICIO VERANO		
09:00 HORAS	RASANTES	 <p>Max.: 32.220lux Min.: 1.432lux Promedio: 20.904lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 72,2% sobre 3.000 lux 27,8% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
	E. SOMBRAS	 <p>Max.: 32.757 lux Min.: 1.074 lux Promedio: 20.355lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 69,9% sobre 3.000 lux 30,1% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
12:00 HORAS	RASANTES	 <p>Max.: 8.055 lux Min.: 3.043 lux Promedio: 5.624 lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 100 % sobre 3.000 lux 00,0% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
	E. SOMBRAS	 <p>Max.: 8.592 lux Min.: 2.864 lux Promedio: 547 lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 100 % sobre 3.000 lux 00,0% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
15:00 HORAS	RASANTES	 <p>Max.: 8.771 lux Min.: 4.833 lux Promedio: 7.619 lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 100 % sobre 3.000 lux 00,0% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>
	E. SOMBRAS	 <p>Max.: 8.950 lux Min.: 4.117 lux Promedio: 7.343 lux</p> <p>00,0% bajo los 200 lux 100 % sobre 3.000 lux 00,0% entre 200 a 3.000 lux</p>  <p>• bajo 200 lux • sobre 3000 lux • entre 200 y 3000 lux</p>

3.3 Análisis de resultados

A continuación, se analizará los resultados presentados en el capítulo anterior, de simulación de los 2 escenarios definidos y modelados en el capítulo 2.3. Se analizarán los resultados de la irradiancia en cada una de las fachadas y también se analizará los resultados de iluminancia en las fachadas de los edificios, además de comparar sus valores con el rango definido en el TDR de eficiencia energética

3.3.1 Irradiancia

En el **Gráfico 3** se observa que la radiación solar anual se concentra mayormente en las fachadas norte y oriente de la manzana de estudio, donde los valores de radiación máxima y promedio prácticamente duplican a los valores de radiación acumulada en las fachadas sur.

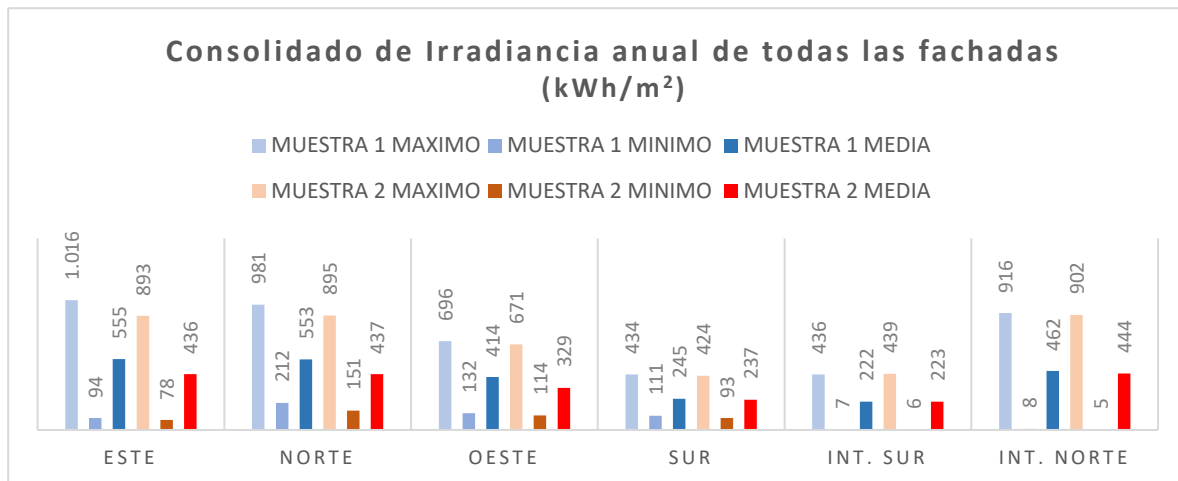


Gráfico 3: consolidado de irradiancia de cada una de las fachadas analizadas, para la Muestra 1 y Muestra 2.

Fuente: elaboración propia.

Las fachadas interiores presentan una dispar acumulación de radiación solar, donde los valores más altos son similares a sus homólogos exteriores, sin embargo, sus valores mínimos son casi casi inexistentes.

El **Gráfico 4** muestra la diferencia de radiación solar entre los casos de estudio (muestra 1 y muestra 2) para las diferentes fachadas analizadas, se ha detectado que la diferencia entre muestras es leve. Solo sobresale en los casos más favorables, llegando a un 21%, y se hace menos relevante en los casos más críticos, donde los valores de radiación acumulada son similares. De esta forma se hace

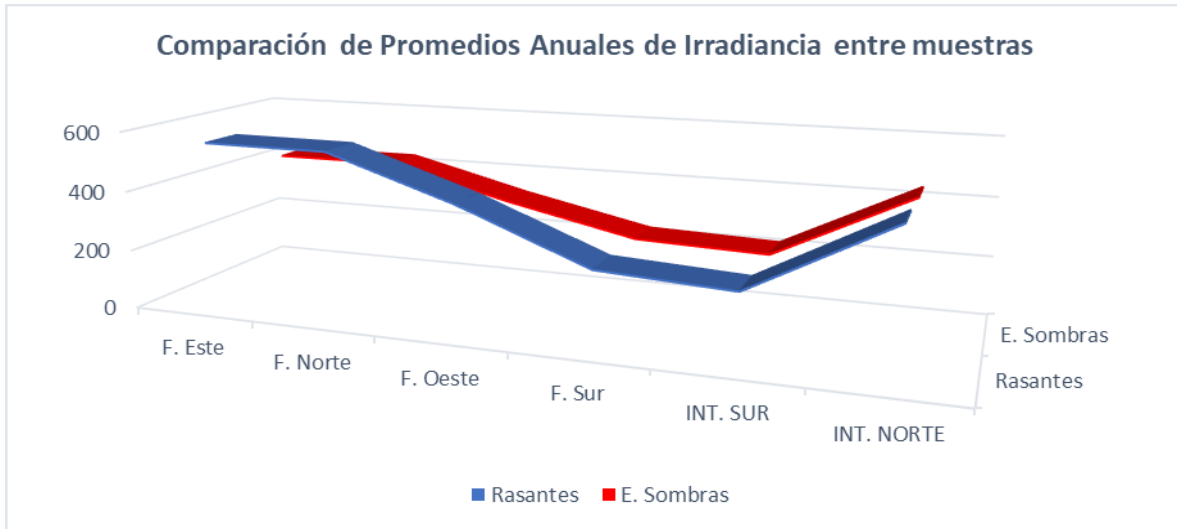


Gráfico 4: Comparación de promedios de irradiación entre Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.

necesario analizar la cantidad de iluminación que llega a las fachadas de los casos más críticos a fin de obtener una íntegra percepción de las diferencias entre muestras.

3.3.2 Iluminación

Resultados de la Iluminación en fachada Interior Sur: Se observa en el **Gráfico 5** un comportamiento muy similar entre muestras, donde solo los valores máximos se encuentran sobre el rango aceptado por el TDR de 200 Lux, y predomina solo en la temporada de verano, en las

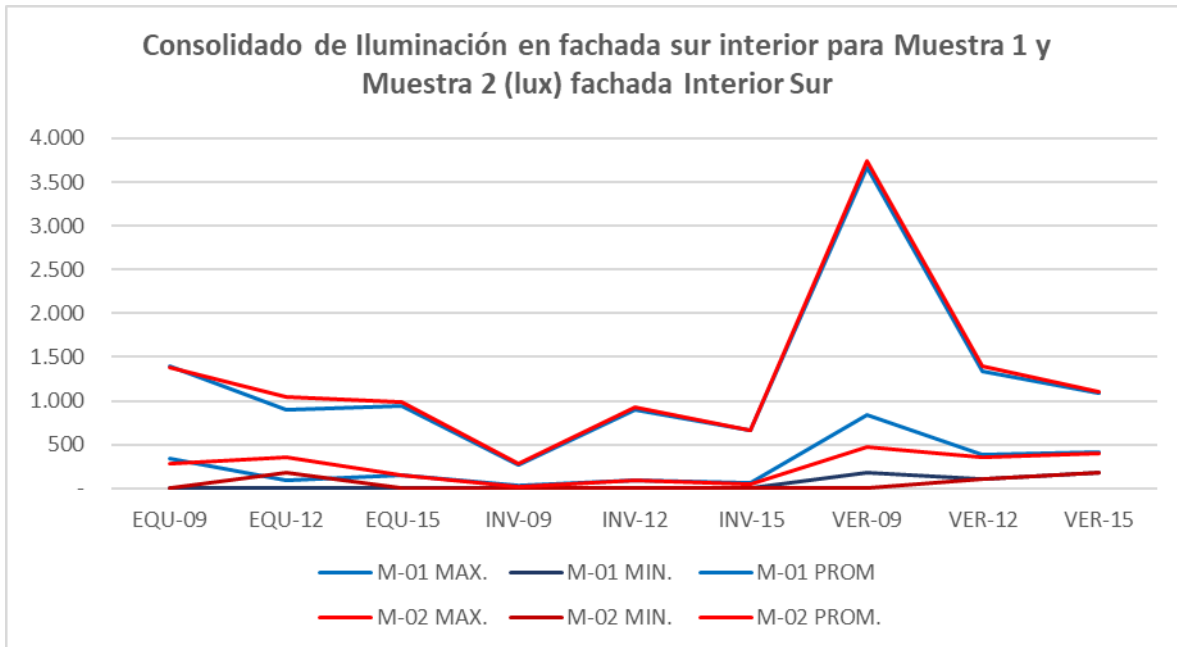


Gráfico 5: Iluminación en fachada Sur Interior, para Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.

primeras horas de la mañana. En invierno los valores máximos alcanzados se encuentran levemente sobre los 200 Lux, donde las mínimas caen casi a valores prácticamente imposible aportar luz solar útil hacia el interior de los recintos. Un análisis más detallado de los valores mínimos extremos nos muestra que solo en verano y en la media estación los valores se acercan al rango sobre 200 Lux, pero sin embargo se encuentra en valores nulos de iluminación natural en invierno.

Los valores más representativos de las muestras son los promedios anuales. Al analizar el **Gráfico 6** estos valores de iluminación que llega a las fachadas se observan que durante todo el año estos valores bordean la mínima de 200 lux que admite el TDRé, superándola solo en el verano. En este indicador es donde se observa una diferencia entre muestras, la cual es significativa solo en verano, y en la media estación. Esta diferencia está por debajo de los 500 Lux en verano y la media estación, con lo cual, hacia el interior de los recintos pudiera ser un aporte moderado en iluminación natural.

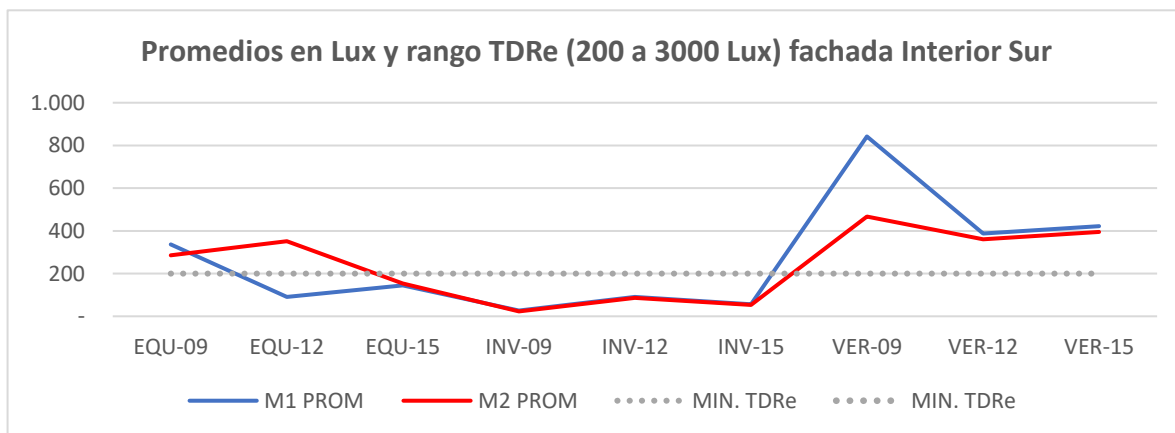


Gráfico 6: Iluminación promedio en Fachada Sur, para Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.

En los meses de invierno los valores promedios entre muestras son casi idénticos y muy cercanos a la mínima percepción de luz visible, es decir, no existe aporte de luz natural útil al interior de los recintos.

Como es de esperar en el **Gráfico 7** se observa para las dos muestras analizadas, en invierno la fachada sur interior posee el mayor porcentaje superficie con insuficiente luz solar para su uso, llegando casi a un 100% de esta en las primeras horas de la mañana.

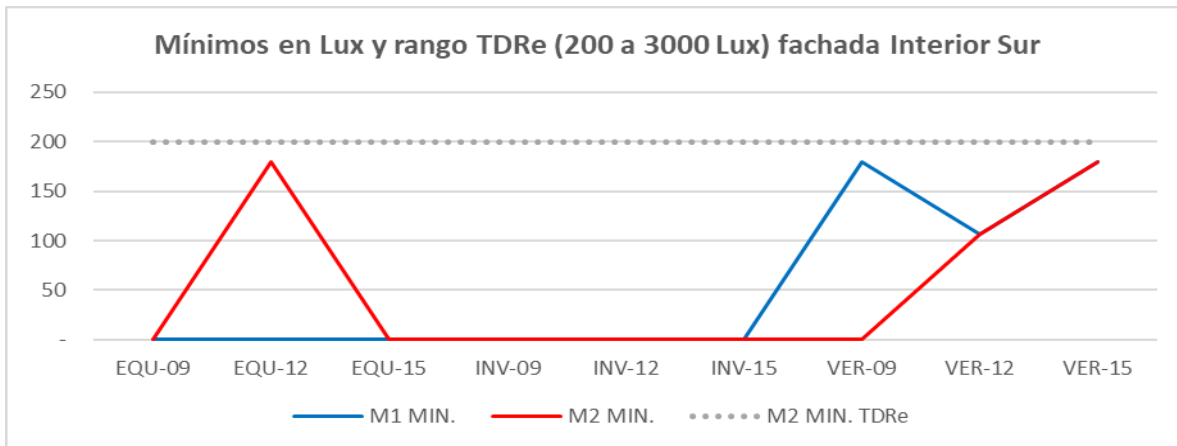


Gráfico 7: Comparación de valores mínimos de iluminación y nivel TDRé en fachada Interior Sur. Fuente: elaboración propia.

Si bien se observa leves diferencias de cobertura de luz solar entre muestras, estas tienen un comportamiento muy similar, y se asemejan sus valores en los momentos más críticos y más favorable.

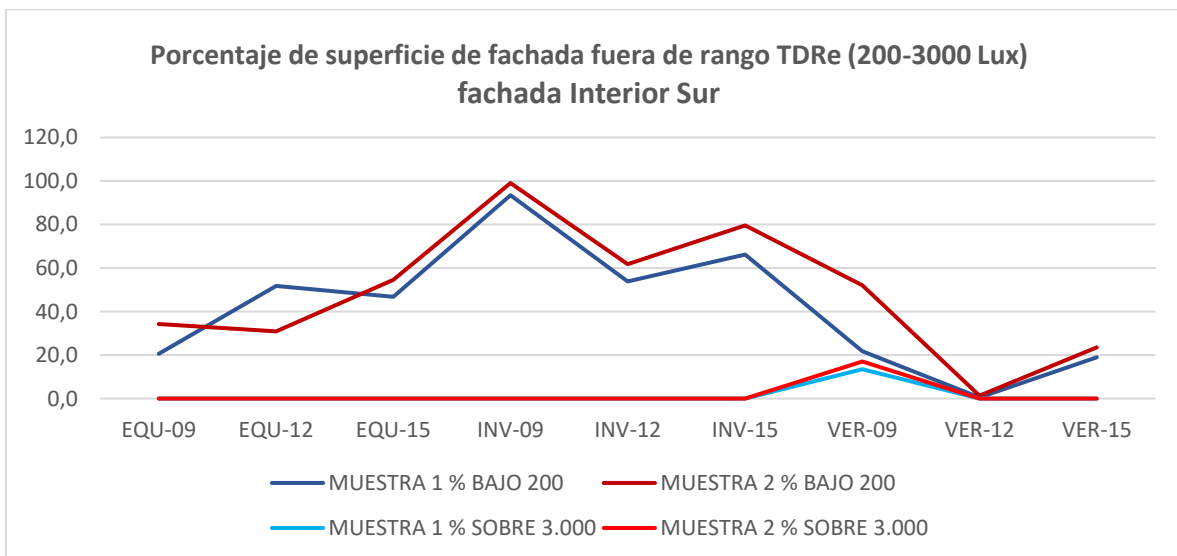


Gráfico 8: Porcentaje de superficie de fachada fuera del rango TDRé, en fachada Interior Sur. Fuente: elaboración propia.

Resultados de la Iluminación en fachada Exterior Sur: En el caso de la fachada sur exterior se observa en el **Gráfico 9** que se acentúan las similitudes en el comportamiento entre muestras, donde los valores extremos máximos, extremos mínimos y promedios se encuentran sobre el rango aceptado por el TDR de 200 Lux, solo en invierno, los valores extremos mínimos se encuentran bordeando el mínimo aceptado. En verano los valores máximos y promedios alcanzados pueden llegar a triplicar al resto de los valores obtenidos, lo cual indicaría que en las primeras horas de la mañana existiría una provechosa fuente de luz natural hacia el interior de los recintos.

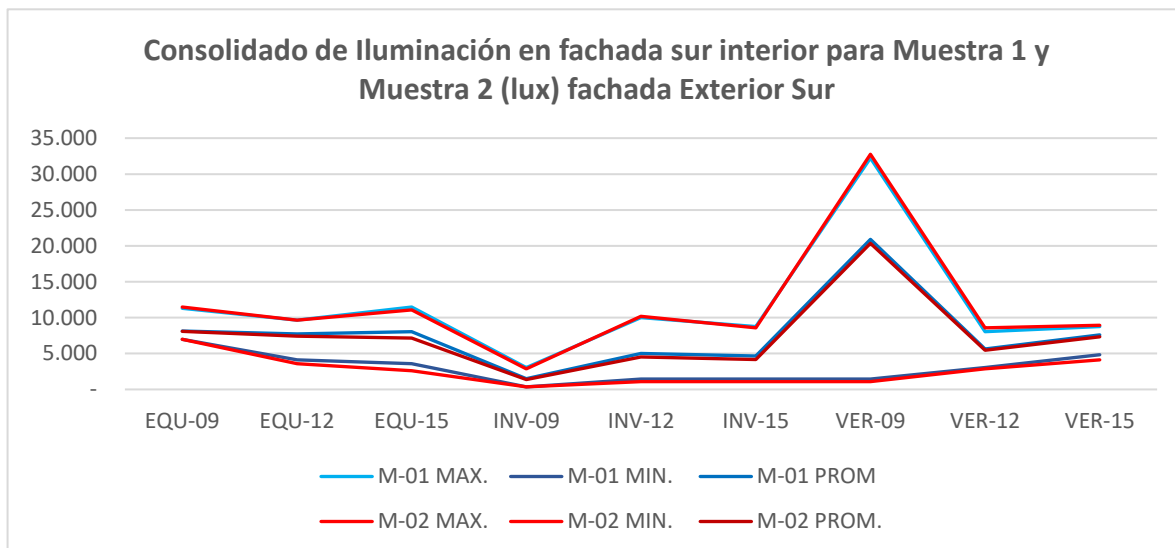


Gráfico 9: Iluminación en Sur Exterior, para Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.

En el **Gráfico 10** se observa que a diferencia de la fachada sur interior, en un análisis de los valores mínimos extremos nos muestra que solo en las primeras horas del invierno los valores disminuyen acercándose al valor mínimo de 200 Lux, pero ya hacia el mediodía, la disponibilidad de iluminación mejora favorablemente alcanzando valores superiores a los 1.000 Lux.

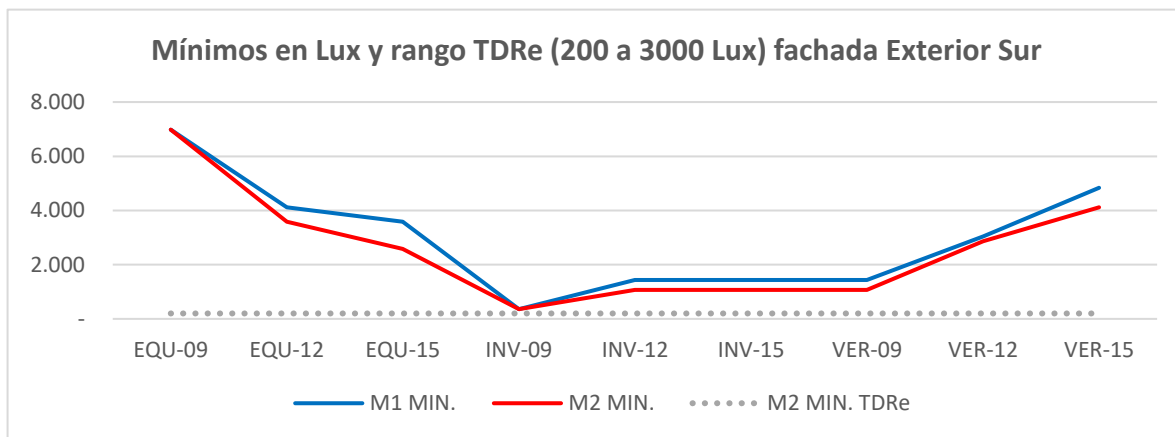


Gráfico 10: Iluminación mínima y rango TDR, fachada Sur Exterior, para Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.

En el caso de la fachada sur exterior, el **Gráfico 11** muestra los promedios anuales durante todo el año estos valores se mantienen por sobre la mínima de 200 lux que admite el TDRé, acercándose al valor mínimo solo en las primeras horas del invierno. En este indicador no se observa una diferencia significativa en el comportamiento entre muestras, registrando curvas casi idénticas, pero con diferencia en valores que pueden llegar a los 900 Lux en la tarde de la media estación. No obstante, esta diferencia de valores, en ambas muestras contarían con provechosos aportes iluminación natural.

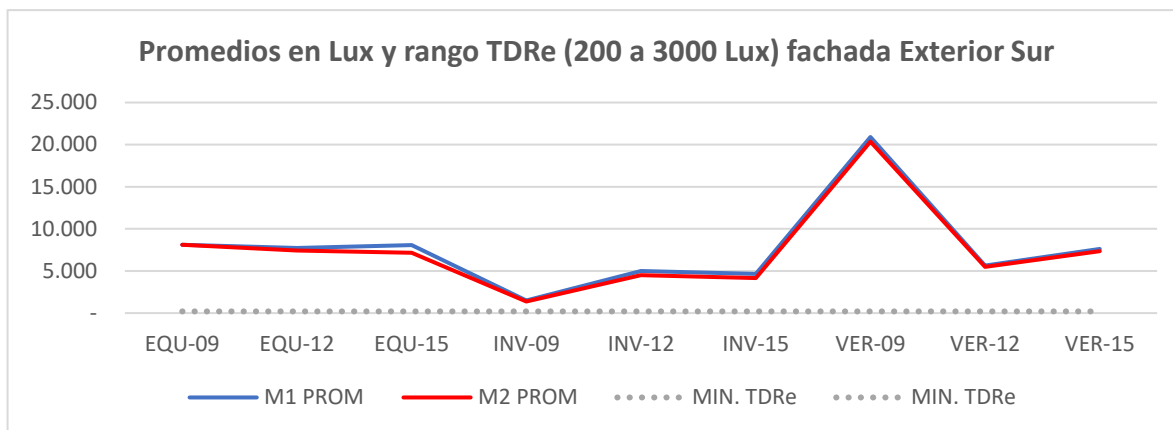


Gráfico 11: Iluminación promedio en fachada Exterior Sur, para Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.

En los meses de verano los valores promedios entre muestras son similares, y tan altos que probablemente se requiera protecciones solares en la fachada. A diferencia de la fachada sur interior, se observa que la mayor parte del año en ambas muestras se encuentran sobre el nivel TDRé 200Lux, en consecuencia, los recintos interiores podrían contar con luz solar suficiente para su uso la mayor parte del tiempo, por cuanto más del 50% de la superficie de las fachadas cuenta con valores de iluminación superiores al nivel TDRé 3.000Lux la mayor parte del año, a excepción de las primeras horas de invierno donde la iluminación es menos favorable (**Gráfico 12**).

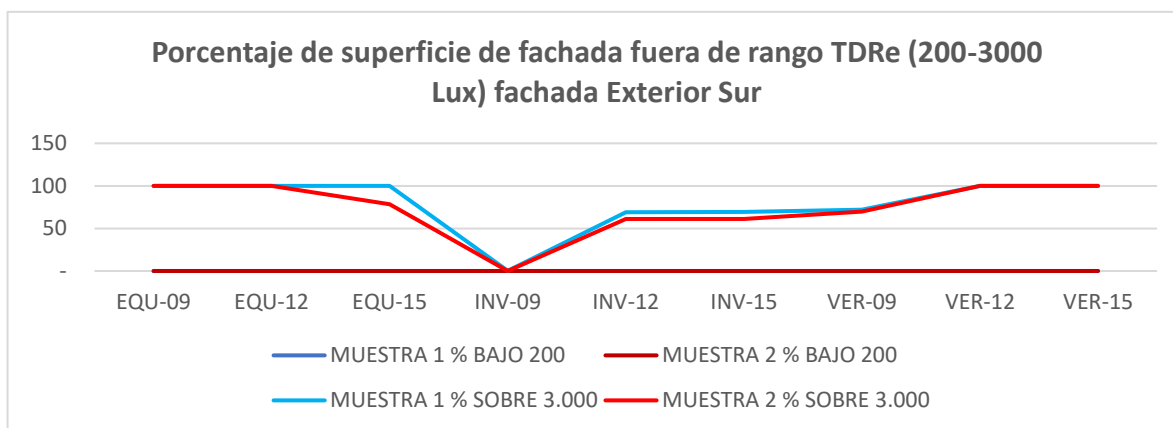


Gráfico 12: Porcentaje de superficie de fachada Exterior Sur fuera del rango TDRé, en Muestra 1 y Muestra 2. Fuente: elaboración propia.

Capítulo 4. Conclusiones

En el presente capítulo se darán a conocer las conclusiones de esta investigación realizando una reflexión acerca de cómo los resultados de la tesis, expuestos en el capítulo anterior, responden a la pregunta de investigación, a la hipótesis y a los objetivos de investigación, relacionándolos a su vez con la revisión bibliográfica. Se exponen también conclusiones que identifica potenciales trabajos futuros.

4.1 Conclusiones respecto de la hipótesis

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que, un crecimiento urbano futuro en función de la normativa de estudio de sombra es menos favorable para el acceso a la luz natural en las fachadas de los edificios, en comparación a un crecimiento urbano futuro desarrollado a partir de la norma de rasantes. Sin embargo, aun cuando en el estudio se encontraron diferencias entre valores máximos de irradiancia solar que bordean el 21% entre ambas muestras de una misma orientación de fachada, se observa que, en las fachadas más desfavorecidos de ambas muestras (Fachada Sur Interior), el comportamiento de la iluminación entre muestras es igualmente desfavorable, quedando por debajo del rango mínimo aceptable por el estándar TDRé.

Es decir, en las situaciones más críticas de desarrollo urbano, la ciudad puede alcanzar tal compacidad morfológica que tanto la normativa de rasante como la norma de estudio de sombras serían igualmente deplorables, pues falla su capacidad de custodiar el acceso a la luz natural en las fachadas de los edificios, en consecuencia, en estos escenarios urbanos será imposible cumplir con los objetivos de confort, calidad de vida y eficiencia energética que plantea el estándar TDRé, y la Política Nacional de Energía 2050 señalada al inicio de esta investigación.

No obstante, Al comparar la iluminación solar de las fachadas Sur Interior y Sur Exterior, en ambas muestras (Rasante y Estudio de Sombras) se observó un comportamiento distinto, donde las fachadas Sur Exterior obtuvieron valores de iluminación sobre el valor mínimo de 200 Lux que establece el TDRé, lo cual da cuenta que, en estos escenarios urbanos futuros de alta densidad, sería posible custodiar el acceso a la luz natural, siempre cuando se cumplieran condiciones urbanísticas entre edificios diferentes a las existentes, es decir, tal vez las normativas de rasantes y estudio de sombras no son tan relevantes en comparación a el agrupamiento y distanciamientos entre edificios, lo cual sería necesario revisar y corregir en la normativa general de edificación.

4.2 Conclusiones respecto de los objetivos

En relación con el objetivo general de comparación de los resultados entre 2 normativas que definen la geometría de las edificaciones, en un escenario teórico crítico, se concluye que es posible comparar y medir cuantitativamente los efectos de la aplicación de una normativa u otra, y contrastar los resultados con las nuevas normativas de eficiencia energética e instrumentos de planificación.

Cabe hacer notar que el objetivo busca comparar valores extremos desfavorables, lo cual permitió definir modelos geométricos de muestra, que, si bien requirió un proceso de diseño, este diseño responde a variables y constantes que se apegan a definiciones normativas, cerrando posibilidades a arbitrariedades en el diseño.

4.3 Conclusiones respecto de la metodología

La revisión normativa fue crucial en la definición geométrica de las muestras. En esta etapa se utilizó la mayor parte del tiempo y esfuerzo de la investigación, por cuanto las condicionantes legales se encuentran dispersas en diferentes cuerpos jurídicos, copulativos entre sí, cuyas instrucciones se han redactado en lenguaje primordialmente jurídico y no en lenguaje geométrico, lo cual hace muy compleja su aplicación, en especial la normativa de Estudio de Sombras y Continuidad.

Bajo esta perspectiva, cabe hacer notar la posibilidad que la mayor parte de la problemática accesibilidad solar que se encuentra en discusión teórica actualmente se origina a partir de la arbitrariedad y discrecionalidad en la interpretación normativa que utiliza a su favor la industria inmobiliaria del país, refugiándose su alta complejidad y en la nula posibilidad de revisión por parte de las direcciones de obras.

Esta problemática de la alta complejidad normativa llega a tal nivel que se ha hecho necesario el pronunciamiento reiterativo de la DDU MINVU mediante una colección de circulares aclaratorias respecto de la correcta aplicación de las normas de Estudio de Sombras y Continuidad, derogando unas a otras por considerarse erróneas.

Este proceso de definición geométrica de las muestras de estudio podría ser automatizado en una futura investigación, utilizando herramientas de diseño paramétrico en base a análisis genético, lo cual ahorraría valioso tiempo de investigación.

4.4 Conclusiones respecto de los resultados

En vista del análisis de irradiancia de las distintas fachadas de las muestras, se observa que en las fachadas que enfrentan la vía pública se producen los resultados más favorables hacia la muestra 1 (rasantes) por sobre la muestra 2 (estudio de sombras), donde se alcanza valores 21% más favorables entre de promedios anuales, en los casos más extremos.

Para el caso de las fachadas interiores, se observa una escasa diferencia de valores entre muestras, inferiores al 3% en promedios anuales. En vista de esta situación, en el análisis detallado de iluminación de la fachada interior norte, se observan una tendencia leve a favorecer a la muestra 1 por sobre la muestra 2. Sin embargo, eventualmente se detectan niveles sobresalientes que alternadamente favorecen a una muestra o a la otra, lo cual hace despreciable la leve diferencia general entre muestras.

En este sentido, es posible inferir que la diferencia en accesibilidad solar en las fachadas de los edificios, generados a partir de la normativa de rasantes (muestra 1) o el estudio de sombras (muestra 2) no sería tan relevante como la diferencia que se observa entre las fachadas que enfrentan el distanciamiento de la vía pública y la distancia interior entre edificios. En el análisis de iluminación de la fachada interior norte, se observa que el rango útil de luz solar presente en las fachadas (200 a 3.000 Lux) no difiere significativamente entre una muestra y otra, aun cuando hay casos en que esta diferencia supera el 10%, esto no marca una diferencia en el acceso solar de los edificios.

4.5 Continuidad de investigación

La metodología que ha aportado esta investigación permitiría evaluar cualquier norma urbanística en función con la finalidad de revisar y corregir en la normativa general de edificación. Para este fin se recomienda automatizar los procesos de modelado tridimensional, incorporando la normativa de edificación en motores de análisis genético, como puede ser Grasshopper y Galápagos, junto con el software Rhinoceros 3D. Un aporte interesante podría ser también contrastar los resultados de esta muestra crítica con otra emplazada en zonas del instrumento de planificación que propicia condiciones más favorables al acceso a la luz solar. También analizar el UDI de la muestra, a fin de poder cuantificar la diferencia de costos energético entre muestras. Para ello sería necesario conocer criterios de diseño estándar hacia el interior de las fachadas.

Capítulo 5. Referencias bibliográficas

- 1) **ALCAINO VARGAS, Jorge. 2008.** Efectos de las Normas de Excepción sobre la Planificación Urbana Comunal y sobre los Conflictos Urbanos. *Tesis de Magister en Desarrollo Urbano*. Santiago : Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Estudios Territoriales y Urbanos, Magíster en Desarrollo Urbano, Junio de 2008.
- 2) **CCHC. 2017.** *Informe Macroeconomía y Construcción MACH 46*. Santiago : CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN A. G. GERENCIA DE ESTUDIOS, 2017. pág. 28. 46.
- 3) *DIVA 2.0: Integrating daylight and thermal simulations using Rhinoceros 3D, Daysim and EnergyPlus*. **JAKUBIEC, J. Alstan y REINHART, Christoph F. 2011.** Sidney : Harvard University, Graduate School of Design, Department of Architecture, 2011. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association.
- 4) *El acceso solar a las edificaciones. El eslabón pendiente en la norma urbanística chilena sobre la actividad proyectual*. **CÁRDENAS JIRÓN, Luz y URIBE ARAYA, Paula. 2012.** 26, Santiago : DEPARTAMENTO DE URBANISMO-FAU-UNIVERSIDAD DE CHILE, 2012, REVISTA DE URBANISMO. 0717-5051.
- 5) **EnergyPlus.** Energy Plus. *Energy plus Weather Data by Region*. [En línea] [Citado el: 25 de Julio de 2017.] https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/CHL//CHL_Concepcion.856820_IWEC.
- 6) *Explorando la luz en modelos de desarrollo inmobiliario. Aplicaciones en cinco ciudades chilenas*. **CÁRDENAS, Luz, y otros. 2016.** 34, Santiago : REVISTA DE URBANISMO, Departamento de Urbanismo-FAU, Universidad de Chile, 2016. 0717-2051.
- 7) **ILUMINA-CHILE. 2014.** iluminachile.ubiobio.cl. *iluminachile.ubiobio.cl*. [En línea] 2014. www.iluminachile.ubiobio.cl.

- 8) **INN. 2008.** *NCh 1079-2008 ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN - ZONIFICACION CLIMÁTICO HABITACIONAL PARA CHILE Y RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO.* SANTIAGO : INN, 2008.
- 9) *Methodology for assessing daylighting design strategies in classroom with a climate-based method.* **PIDERIT MORENO, María Beatriz y YAÑEZ LABARCA, Constanza.** **2015.** [ed.] Francesco Asdrubali. s.l. : MDPI, 13 de Enero de 2015, OPEN ACCESS, sustainability. ISSN 2071-1050.
- 10) **MINENERGÍA. 2018.** *Energía 2050, Política energética de Chile.* SANTIAGO, CHILE : MEN, 2018. Segunda edición, Incluye el capítulo indígena.
- 11) **MINVU. 2006.** DDU 168, CIRCULAR ORD. N° 193. *DDU 168.* Santiago : División de Desarrollo Urbano, Ministerio de Vivienda y urbanismo, 2006. 168.
- 12) —. **2002.** DDU 109, CIRCULAR ORD. N° 264. *DDU 109.* Santiago : División de Desarrollo Urbano, Ministerio de vivienda y Urbanismo, 2002. 109.
- 13) —. **2017.** DDU 354, CIRCULAR ORD. N° 200 . *DDU 354.* Santiago : División de Desarrollo Urbano, Ministerio de Vivienda y urbanismo, 2017. 354.
- 14) —. **2009.** DDU-ESPECIFICA 5, CIRCULAR ORD. N° 184. *DDU-ESPECIFICA 5.* Santiago : División de Desarrollo Urbano, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2009. 5.
- 15) —. **2017.** *Ley General de Urbanismo y Construcciones. D. F. L. N° 458 de 1976, Ley General de Urbanismo y Construcciones.* Santiago, CHILE : División de desarrollo Urbano, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2017.
- 16) —. **2017.** *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. D. S. N° 47, 1992, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.* Santiago, Chile : División de desarrollo Urbano, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2017.
- 17) **MOP, CITEC-UBB, DECON-UC. 2015.** *Términos de referencia estandarizados con parámetros de eficiencia energética y confort ambiental, para licitaciones de diseño*

y obra de la dirección de arquitectura, según zonas geográficas del país y según tipología de edificios. Santiago : MOP, 2015. Vol. II.

- 18) **NEUFERT, Ernst. 2013.** *Arte de proyectar en arquitectura.* [trad.] Eduardo Zimmermann Herbert Bayer. 16°. Barcelona : Gustavo Gili, SL, 2013. 978-84-252-2474-4.
- 19) *Reflectancia de las envolventes verticales y su influencia sobre disponibilidad de luz natural en el cañón urbano de la ciudad de Concepción.* **VENEGAS QUINTULÉN, Sergio Andrés y PIDERIT MORENO, María Beatriz. 2018.** [ed.] Dra. Claudia Muñoz Sanguinetti. 1, Concepción : HS, 30 de Junio de 2018, Hábitat Sustentable, Vol. 8, págs. 6-15. 0719-0700 Versión electrónica.
- 20) *UMI- An urban simulation environment for buildings energy use, daylighting and walkability.* **REINHART, Christoph F, y otros. 2013.** Chambéry : Proceedings of BS2013, 2013. 13th Conference of International Building Performance Simulation Association.
- 21) **WEGERTSEDER, Paulina y BAERISWYL, Sergio. 2016.** Potencial solar urbano. [aut. libro] Sergio BAERISWYL RADA, y otros. [ed.] Paulina WEGERTSEDER. *Potencial solar en la arquitectura y la ciudad.* Concepción : Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura, UBB, 2016.

Capítulo 6. Anexos

Anexo A: Tabla de cálculo de superficie de sombras en estudio de sombras.

LOTE	VOLUMEN TEÓRICO			VOLUMEN PROYECTADO (1° INTENTO)			VOLUMEN PROYECTADO (DEFINITIVO)		
	RASANTE SOMBRA ESTE	RASANTE SOMBRA OESTE	RASANTE SOMBRA SUR	E. SOMBRA ESTE	E. SOMBRA OESTE	E. SOMBRA SUR	E. SOMBRA ESTE	E. SOMBRA OESTE	E. SOMBRA SUR
1.1	1.498,00	2.844,53	-	1.967,89	2.893,76	22,02	1.450,00	2.801,18	-
1.2	2.029,56	3.892,34	-	3.912,92	5.172,18	238,12	1.963,28	3.773,76	-
2.1	1.201,70	819,96	81,05	1.658,71	1.195,04	227,32	1.085,40	705,29	78,06
2.2	1.065,05	1.494,47	-	1.769,03	2.424,41	58,38	1.053,82	1.492,54	-
2.3	2.165,51	2.844,10	-	3.218,85	4.295,07	100,65	2.104,91	2.628,49	-
2.4	1.408,98	2.467,82	-	1.391,93	2.404,32	-			
2.5	1.826,36	3.113,49	-	2.262,02	3.740,53	22,96	1.806,59	3.043,07	-
3.1	1.023,63	793,37	92,29	1.183,53	879,87	248,50	847,40	647,76	92,26
3.2	1.474,44	2.351,49	-	3.593,65	4.442,26	382,40	1.289,12	2.253,80	-
4.1	1.539,63	1.013,90	207,61	1.962,21	1.100,28	594,49	1.039,53	630,37	199,55
4.2	1.391,36	1.889,51	194,19	2.156,48	2.199,84	596,69	1.327,84	1.888,72	194,15
4.3	1.478,75	1.973,37	-	1.472,94	1.967,22	-			
4.4	1.069,30	2.317,65	-	1.066,40	2.314,50	-			
4.5	1.501,56	2.904,92	-	1.120,84	2.499,08	-			
5.1	1.431,28	498,27	73,16	1.777,49	829,00		1.009,14	211,90	72,24
5.2	1.385,99	615,54	109,27	1.824,02	991,23	373,00	1.069,68	358,13	109,13
5.3	1.413,59	868,33	134,61	1.297,09	612,94	300,77	940,62	457,65	125,28
5.4	1.867,33	1.370,85	170,38	2.559,10	1.790,68	527,05	1.773,27	1.363,94	153,18
5.5	1.593,39	1.887,83	190,11	2.467,59	2.286,51	600,86	1.547,72	1.851,74	169,41
5.6	1.021,78	664,35	76,43	1.320,61	875,04	209,79	885,38	538,36	69,57
5.7	1.132,56	1.581,12	-	1.491,18	2.190,03	48,10	1.125,22	1.568,74	-
5.8	1.681,59	1.831,30	-	1.643,30	1.756,77	-			
5.9	1.439,90	2.447,59	-	1.433,51	2.413,80	-			
5.10	2.241,33	3.819,11	-	5.374,75	6.195,36	426,24	2.219,15	3.553,95	-
6.1	1.743,57	762,48	127,84	2.258,76	1.464,56	399,71	1.241,23	388,93	116,24
6.2	1.257,32	1.009,35	107,72	1.715,12	1.483,76	302,00	1.176,40	1.008,10	106,94
6.3	741,82	539,83	80,29	960,57	709,72	229,22	591,58	449,79	79,44
6.4	1.140,40	1.680,00	-	1.132,96	1.431,88	-			
6.5	1.045,27	1.301,08	-	1.045,19	1.205,07	-			
7.1	1.577,32	1.055,51	190,56	2.119,36	1.189,95	597,07	1.013,08	636,69	168,01
7.2	1.150,08	1.625,38	170,54	1.662,04	2.081,34	486,30	1.050,58	1.617,25	159,00
8.1	2.647,73	1.324,06	217,98	4.685,81	3.365,69	754,50	2.253,22	1.287,95	217,13
8.2	1.674,75	970,18	200,19	2.205,46	1.154,66	597,00	1.210,05	632,05	177,68
8.3	1.006,68	633,94	129,66	1.257,62	802,49	322,54	793,28	529,65	124,94
8.4	1.458,97	1.758,12	182,06	2.205,33	2.133,00	558,93	1.353,03	1.749,63	158,62
9.1	2.131,73	1.047,05	142,55	3.247,28	2.236,48	487,06	1.737,57	880,02	136,70
9.2	1.147,03	906,48	106,62	1.521,74	1.223,10	293,26	1.035,42	860,79	104,80

Anexo B: Plano AutoCAD de desarrollo volumétrico de cada edificio.

