



TESIS MHSEE - UNIVERSIDAD DEL BIOBÍO

TÍTULO:

**REFLECTANCIA DE LAS ENVOLVENTES VERTICALES Y SU INFLUENCIA SOBRE DISPONIBILIDAD DE LUZ
NATURAL EN EL CAÑÓN URBANO DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN.**

NOMBRE:

Sergio Andrés Venegas Quintulén.

PROFESORA GUÍA:

Dra. María Beatriz Piderit.
Departamento Diseño y Teoría de la Arquitectura
Universidad del Bio-Bio.

Concepción, 11 de septiembre de 2017

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	3
1.1. Formulación general del problema	3
1.2. Relevancia del problema	7
1.3. Pregunta de investigación e hipótesis	8
1.4. Palabras claves	8
2. OBJETIVO GRAL. Y ESPECÍFICOS	8
2.1. Objetivo general	8
2.2. Objetivos específicos	8
3. METODOLOGÍA	9
3.1. Estudio de campo.....	9
3.1.1 Descripción caso de estudio.....	9
3.1.2 Área de estudio	10
3.2. Definición de casos	10
3.2.1 Selección casos y materialidades	10
3.2.2 Cálculo valores de reflectancia.....	11
3.2.3 Cálculo porcentaje de ventanas	11
3.3. Análisis de casos	12
3.3.1 Modelación.....	12
3.3.2 Simulación.....	12
3.3.2 Interpretación de resultados.....	13
4. DESARROLLO	13
4.1. Descripción caso de estudio	13
4.1.1 Límites	13
4.1.2 Clima.....	14
4.1.3 Entramado urbano	14
4.1.4 Alturas edilicias.....	14
4.1.5 Agrupamiento	14
4.1.6 Vías	14
4.2. Estudio de campo	14
4.2.1 Área de estudio	15
4.2.2 Tipología edificios.....	15
4.2.3 Tipología vías	16
4.2.4 Asoleamiento y orientación	16
4.2.5 Tipo de cielo	17
4.3. Definición de casos de estudio	17
4.3.1. Selección casos de cañones urbanos	17
4.3.2 Levantamiento casos de cañones urbanos	22
4.3.3 Selección de materiales y cálculo de reflectancia	23

5. ANÁLISIS DE CASOS	24
5.1. Modelación	25
5.2. Simulación	25
5.2.1 CASO 1: relación H/W 0,38 (Freire)	26
5.2.2 CASO 2: relación H/W 0,66 (San Martín)	29
5.2.3 CASO 3: relación H/W 0,94 (Barros Arana)	32
5.2.4 CASO 4: relación H/W 0,56 (Lincoyán)	35
5.2.5 CASO 5: relación H/W 1,25 (Aníbal Pinto)	38
5.2.6 CASO 6: relación H/W 1,96 (Aurelio Manzano).....	42
5.3. Análisis comparativo valores promedio	46
5.3.1 Iluminancia promedio caso 1: relación H/W 0,38 (Freire).....	46
5.3.2 Iluminancia promedio caso 2: relación H/W 0,66 (San Martín)	47
5.3.3 Iluminancia promedio caso 3: relación H/W 0,94 (Barros Arana).....	49
5.3.4 Iluminancia promedio caso 4: relación H/W 0,56 (Lincoyán)	51
5.3.5 Iluminancia promedio caso 5: relación H/W 1,25 (Aníbal Pinto)	52
5.3.6 Iluminancia promedio caso 6: relación H/W 1,96 (Aurelio Manzano)	54
5.3.7 Iluminancia comparativa promedio	55
5.4. Análisis de tendencias	57
5.4.1 Tendencia disponibilidad luz natural	57
5.4.2 Tendencia % aporte lumínico por reflectancia	59
6. CONCLUSIONES	61
6.1. Propuestas para futuras investigaciones	63
7. BIBLIOGRAFÍA	65

1. ANTECEDENTES

1.1. Formulación general del problema.

La superficie de la ciudad se compone de un mosaico de diferentes materialidades, a los que denominamos la envolvente urbana, cada uno de ellos muestran distintos comportamientos en función de sus propiedades ópticas, lo que impacta directamente en la manera que percibimos el paisaje urbano. Cada material que compone la envolvente urbana tiene diferente capacidad de reflejar la radiación solar recibida (reflectancia) lo cual altera la fracción de radiación solar absorbida o reflejada por la ciudad.

Las ciudades muestran una serie de escenarios estrechamente relacionados con la composición de sus superficies y las relaciones entre sus estructuras. El efecto de la sombra emitida por un edificio de gran altura es un caso sencillo de esta situación. La incidencia de la sombra en otros edificios o espacios urbanos puede ser positiva o negativa, de acuerdo con las exigencias bioclimáticas del lugar y la estación (Nasrollahi & Shokri, 2016). El vínculo entre densidad urbana y la disponibilidad de luz natural en los espacios habitables, ya sean exteriores como interiores, están en un complejo equilibrio entre factores propios del territorio y patrones espaciales, el uso de los espacios urbanos, de los edificios y las propiedades ópticas de la envolvente urbana. A nivel del territorio esta estrechamente relacionado con factores climáticos, tipo de cielo, radiación solar y su topografía. Mientras que a nivel urbano la disponibilidad de luz natural dependen directamente del diseño de los elementos que componen el paisaje urbano (edificios, vías, plazas, etc.) su geometría, orientación, y las propiedades reflectivas de los materiales que lo componen.

Los parámetros principales que afectan a la disponibilidad de la luz natural de los edificios en áreas urbanas son:

1. La distancia entre edificios. Mientras menor sea la distancia entre edificios colindantes, menores serán los niveles de iluminación.
2. La altura de los edificios colindantes. La geometría del cañón urbano provoca niveles de iluminación más bajos conforme las alturas edilicias aumentan, debido a conos de sombras proyectados por los edificios.
3. La orientación y reflectancia de los edificios colindantes. La geometría del cañón urbano, orientación, el material que cubre la piel de los edificios y calle, pueden ser muy importantes para los niveles interiores de iluminación.
4. Sistemas de protección solar y arborización. La utilización de sistemas de protección solar puede reducir el factor de visibilidad del cielo y evitar la luz del sol durante un cierto tiempo.

Por esta razón se entiende que la geometría del cañón urbano, su relación entre la altura de los edificios y la distancia entre ellos, junto a las propiedades reflectivas de los materiales de fachadas influirán directamente en la disponibilidad de luz natural.

Se escoge estudiar la reflectancia de las envolventes verticales, entendidos como las superficies de los muros exteriores o los materiales en fachadas, para acotar y simplificar la investigación y debido a que, dentro de la envolvente urbana, son los elementos que mayormente influenciarán en la disponibilidad de luz natural urbana, por su condición de verticalidad y poseer una mayor superficie que otros elementos de la envolvente urbana en situaciones de alta densidad, siendo capaz de transmitir la luz natural en forma indirecta más eficientemente en relación a la altura del cañón urbano.

Es un hecho que, a la hora de iluminar una tarea visual, el ser humano prefiere la luz natural a la luz artificial o luz eléctrica (IDAE, 2005). La luz procedente del sol tiene un perfecto rendimiento de los colores y aporta elementos muy proactivos en el comportamiento de las personas (IDAE, 2005). La cantidad y la calidad de la luz que recibe el ojo humano tiene una influencia directa en la manera en que se ven las cosas por lo que es evidente el impacto que tiene la luz natural y su importancia al desarrollar ambientes adecuados para el hombre. Así como el empleo del tabique, el acero, la piedra y el concreto, la luz no debe emplearse como simple elemento decorativo sino como parte estructural de la arquitectura (Arias, Ávila, 2007).

La iluminación natural es conocida como un elemento importante en la arquitectura, así como una estrategia útil en la optimización de la energía de los edificios. La luz del día crea un sentido de felicidad y vitalidad que podría afectar positivamente a las personas (Nasrollahi & Shokri, 2016). La integración de la iluminación natural y la iluminación artificial es muy recomendable para reducir el consumo energético de los edificios. La cantidad de luz natural que entra en un edificio desde las aberturas está relacionada con la creación de la iluminación espacial, produciendo un aumento de comodidad visual. Es sumamente importante abordar la luz natural tanto fuera como dentro de los edificios, así como reconocer su impacto en el ahorro de energía eléctrica. Además, la luz natural es una estrategia de desarrollo sostenible para aumentar el confort visual, la optimización energética y el desarrollo de los edificios verdes (Nasrollahi & Shokri, 2016).

Considerando el potencial de la luz natural (no contamina, coste cero e inagotable), ésta debe ser aprovechada tanto como sea posible debido a sus características ventajosas sobre la salud, el estado de ánimo y la productividad de las personas. La importancia de utilizar la luz natural dentro de los espacios habitables no radica sólo en el ahorro de energía, sino también en el hecho de que la mayoría de las personas muestran preferencia por la luz natural tanto en sus hogares como en edificios no residenciales (Mesa et al., 2011). La luz natural proporciona una calidad ambiental más atractiva y crea un lugar de trabajo adecuado para llevar a cabo tareas visuales cómodamente durante el día (Mesa et al., 2011). Pero a pesar de que la luz natural proviene principalmente del sol, también es cierto que no solo debe considerarse éste como única variable al momento de una evaluación lumínica, ya que las propiedades ópticas de los materiales juegan un rol primordial en la distribución de la luz en el espacio.

Así como las lámparas de distinto tipo constituyen las fuentes de luz en la iluminación artificial, el sol y el cielo son las fuentes de las que se dispone para la iluminación natural. La luz natural llega al interior de un recinto directa o indirectamente, dispersada por la atmosfera y reflejada por las superficies del ambiente natural o artificial. De la misma manera que una luminaria filtra y distribuye la luz emitida por la lámpara eléctrica que ésta contiene, la luminaria de la luz natural es la envolvente edilicia que admite la luz del sol en el interior de un espacio por transmisión, dispersión o reflexión de la misma. Esto incluye la bóveda celeste, así como el ambiente externo natural o construido por el hombre. Por lo tanto, el tipo de cielo, las superficies de la tierra, plantas y otros edificios son parte de la “luminaria natural” (Pattini, 2002).

La luz natural puede ser directa, indirecta o difusa (Fig. 1). Se llama luz solar directa a la porción de la luz natural que incide en un lugar específico proveniente directamente del sol y esta se caracteriza por su continuo cambio de dirección y su probabilidad de ocurrencia. La luz solar indirecta es la que llega a un espacio determinado por reflexión generalmente en muros, pisos o cielorrasos. Por último, la luz natural difusa es aquella que tiene aproximadamente la misma intensidad en diferentes direcciones, como la luz proveniente de la bóveda celeste sin considerar el sol (Pattini, 2002).

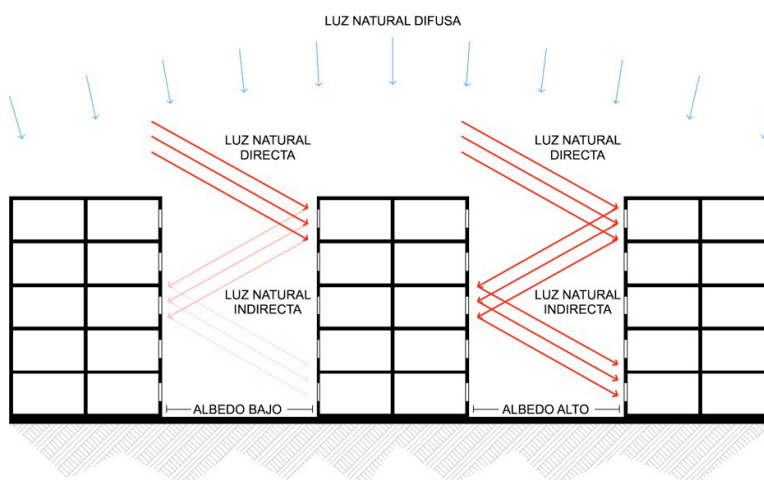


Fig. 1. Esquema tipos de luz natural.
Elaboración propia.

El concepto de reflectancia, se refiere a una fracción de la radiación solar incidente reflejada en forma indirecta de una superficie o cuerpo, en sentido amplio (Gaffin et al., 2012). La reflexión de la luz se suele suponer como el porcentaje de energía de iluminación reflejada de una superficie (Nasrollahi & Shokri, 2016). La reflectancia de los materiales que componen a los edificios y su entorno en las zonas urbanas pueden tener una gran influencia en la distribución de la luz diurna ya que las propiedades de las paredes, las superficies y los cañones urbanos pueden o no contribuir a la cantidad de luz presente en el espacio.

La planificación urbana tradicional ha buscado controlar las proporciones de las calles, ya que la geometría básica de las alturas del edificio y las distancias entre edificios regulan el acceso a la luz y al calor solar. Las leyes de zonificación y los reglamentos de construcción generalmente establecen relaciones de altura y distancia que limitan el ensombrecimiento que los edificios pueden causar para los espacios públicos y otros edificios. Una abstracción geométrica similar del espacio urbano es el cañón urbano, el cual se ha utilizado en la climatología urbana, para describir la forma en que los espacios urbanos crean condiciones ambientales especiales. Es un arquetipo espacial que nos permite integrar el conocimiento de diferentes campos de investigación. En términos geométricos, el cañón urbano se describe como la relación entre la altura de los edificios (H) y el distanciamiento entre edificios adyacentes (W) (Fig. 2).

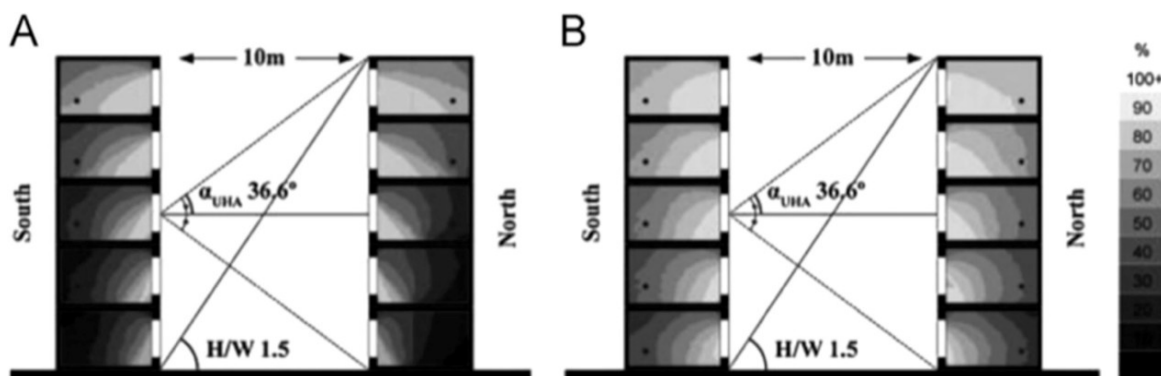


Fig. 2. Iluminancia anual con reflectancia de superficies variable: Relación H/W 1,5; A: reflectancia 45%; B: reflectancia 75%
 Fuente: Strømman-andersen & Sattrup, 2011.

El enfoque regional de la iluminación natural implica la manera en que el espacio urbano toma forma, responde y aprovecha los recursos regionales como la presencia del sol, su duración y trayectoria, las condiciones del cielo y otros elementos climáticos. El espacio construido influye positivamente (componente reflejado) y de manera negativa (obstruyendo la bóveda del cielo) la disponibilidad del recurso luminoso (Mesa et al., 2011). La reflectancia de los materiales en las fachadas urbanas influye en la cantidad de luz diurna que entra en los edificios (Fig. 2) y por tanto el uso de luz artificial (Nasrollahi & Shokri, 2016)

El consumo de energía en bloques urbanos es estudiado por Strømman-Andersen, muestra que la geometría de los cañones urbanos (relación H/W) tiene un impacto del 30% en la reducción del consumo de energía en edificios de oficinas. Este impacto es del 10% en las unidades residenciales. En edificios de oficinas, la cantidad de uso de energía varía de 2% a 30% mientras que esta cantidad está entre 2-19% en edificios residenciales. Este entendimiento fundamental revela que la cantidad y diversidad de consumo de energía en varios tipos de edificios es mayor que los edificios residenciales (Nasrollahi & Shokri, 2016).

Si bien el impacto de la geometría urbana y la superficie de los materiales en el microclima urbano está bien establecido, los estudios han tendido a centrarse en problemas de sobrecalentamiento en climas cálidos, el efecto de la isla de calor y

comodidad urbana (Strømman-andersen & Sattrup, 2011). La distribución del movimiento y la temperatura del aire en los cañones urbanos y su potencial de ahorro de energía relacionado con la ventilación ha sido objeto de varios estudios, pero su impacto en relación a la iluminación no se a estudiado en profundidad (Strømman-andersen & Sattrup, 2011).

Numerosos estudios acerca de la envolvente urbana afirman que la incorporación de materiales fríos (con alta reflectancia) en las envolventes edilicias resulta una técnica pasiva eficiente para disminuir la demanda de energía para refrigerar en períodos estivales. Mejorando el microclima de las zonas urbanas mediante la reducción de temperaturas superficiales y la del aire ambiente (N Alchapar & Correa, 2015; Noelia Alchapar, Correa, & Cantón, 2012). Pero estos se centran exclusivamente en el beneficio térmico que esta estrategia aporta dejando de lado la influencia de estos materiales en la distribución de la luz diurna y el efecto en la calidad de la iluminación natural.

Los materiales fríos o selectivos fríos son materiales que se caracterizan por poseer una alta reflectancia solar y una alta emitancia infrarroja (Fig. 3). Son materiales que absorben una muy baja porción de la radiación solar incidente, por lo que el calor liberado es menor, disminuyendo las temperaturas superficiales de la envolvente urbana y ayudando a mitigar los efectos de la isla de calor en ciudades de climas cálidos. Pero los materiales fríos, al poseer una alta reflectancia, también producirán una influencia sobre disponibilidad de luz natural, aumentando los niveles de iluminancia exterior aprovechable por edificios en situaciones de alta densidad.

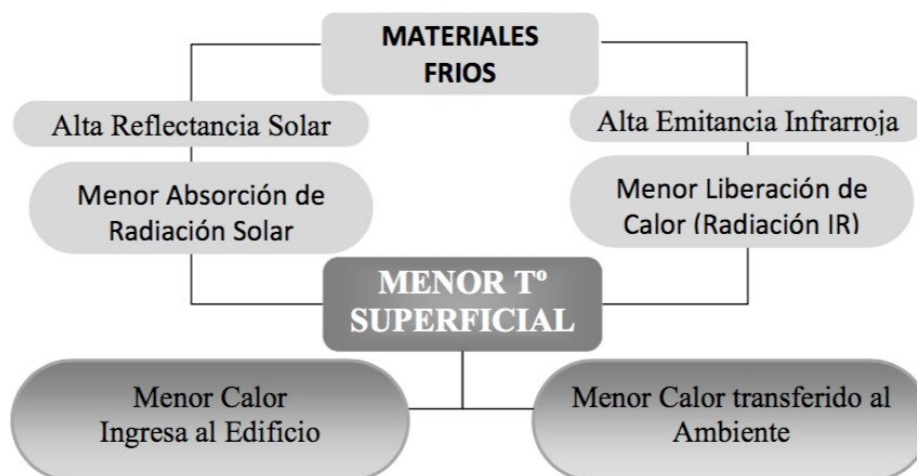


Fig. 3. Principios básicos de materiales fríos

Fuente: Alchapar, N., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2012).

En general, la luz natural y el confort visual en los últimos años se investigan a fondo mediante simulaciones y otros métodos, aunque se hace menos investigación sobre elementos arquitectónicos y reflejo de materiales fuera de los edificios. Durante los últimos años, se han realizando numerosos estudios de investigación sobre la iluminación natural y sus efectos específicos sobre el medio ambiente urbano (Nasrollahi & Shokri, 2016). Esto demuestra un creciente interés por el tema de la iluminación natural pero éste se centra particularmente en aspectos de arquitectura y energía dejando de lado otros matices de sustentabilidad como lo son la disponibilidad de luz natural en zonas urbanas y el efecto de la envolvente urbana sobre ésta.

En las últimas décadas se ha incrementado la concienciación pública sobre el agotamiento del medio ambiente y la energía (InterAcademy-Council, 2007), fomentando la investigación para desarrollar nuevos dispositivos ambientales, especialmente aquellos que usan luz solar, energía solar, suelo y energía geotérmica. Sabiendo que los métodos pasivos son más duraderos, sostenibles y menos arriesgados, existe una tendencia a preferir las tecnologías impulsadas por ellos, debido a esto la investigación es apoyada y desarrollada principalmente en esa dirección (Freewan, Gharaibeh, & Jamhawi, 2014).

1.2. Relevancia del problema.

Cualquiera que sean los métodos y medios utilizados para efectuar aportes lumínicos (naturales) dentro de proyectos arquitectónicos estarán sujetos a las condiciones urbanas y de los materiales que se emplean en su envolvente. Estos materiales intervienen directa o indirectamente en la repartición y distribución de la luz dependiendo de su textura y su color, además de características fotométricas como el factor de reflexión, la absorción, o la transmisión (Ramírez & Orozco, 2015). La mayoría de los materiales de construcción poseen una baja reflectancia (N Alchapar & Correa, 2015), lo que supone un desaprovechamiento de las cualidades reflectivas de las envolventes edilicias como aporte a la iluminación natural, principalmente en zonas urbanas altamente densificadas donde la cantidad de luz diurna es escasa.

El acceso a la luz diurna se considera como el derecho que tiene cada habitante de una ciudad a disfrutar de cierta cantidad de sol durante el año (Merino, L. 2015). El acceso a la luz diurna es regulado por el plan regulador u ordenanzas nacionales o municipales. El criterio más simple limita la altura de las edificaciones vecinas usando un plano imaginario inclinado en un cierto ángulo denominado rasante (Merino, L. 2015). El valor de este ángulo puede asegurar una cierta cantidad de horas de sol durante el año o una cierta cantidad de sol en la condición mas desfavorable, es decir solsticio de invierno (Littlefair, 2001).

En la ciudad de Concepción el ángulo de la rasante es de 70 grados sexagesimales, pero en la realidad el criterio es ambiguo ya que la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) no establece si se aseguran horas de sol durante el año o el solsticio ni tampoco cuántas (Merino, L. 2015). La carta solar de la ciudad de Concepción muestra la altura del sol sobre el horizonte a lo largo del año obtenido con la herramienta SunEarthTool.

Si observamos la tabla solar de la ciudad de Concepción (Fig. 4) se puede advertir que los días en la que el sol se encuentran sobre la rasante son una pequeña cantidad dentro del año y éstos se centran principalmente durante la estación de verano cuando se debería privilegiar el asoleamiento de invierno donde la luz diurna escasea. Por esta razón, la búsqueda de formás de aumentar la disponibilidad de luz natural en escenarios críticos (alta densidad, meses de invierno, etc.) es esencial para mejorar la calidad y cantidad de luz diurna en ambientes urbanos influenciados por la creciente tasa de población, las necesidades de reducción del consumo de energía y la búsqueda del equilibrio entre una ciudad compacta sostenible y el acceso a luz solar como derecho y recurso natural ilimitado.

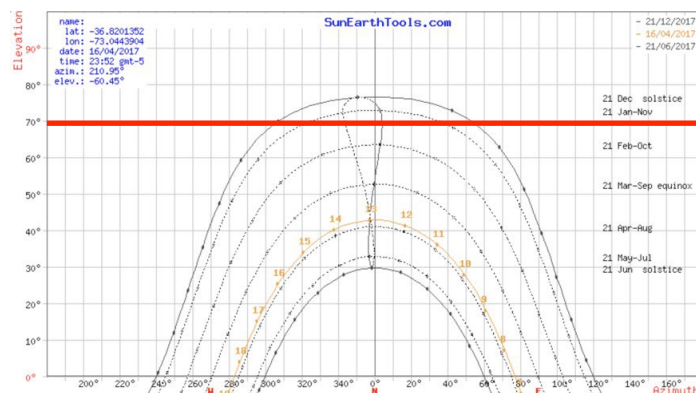


Fig. 4. Carta solar ciudad de Concepción.

Fuente: SunEarthTools.com

Realizar un estudio en este campo podría ofrecer una amplia gama de información y contribuir a aclarar acerca del aporte de luz emitida por los materiales de fachadas de edificios en distintos contextos urbanos para llenar las brechas de investigación existentes en términos de parámetros importantes como las propiedades ópticas de los materiales y su efecto sobre la cantidad de luz natural en diversos escenarios urbanos.

1.3. Pregunta de investigación e hipótesis.

Pregunta de investigación:

¿Influye la reflectancia de las envolventes verticales sobre la disponibilidad de luz natural exterior útil, aprovechable por edificios, en situaciones de alta densidad del cañón urbano de la ciudad de Concepción?

Hipótesis:

La reflectancia de los materiales presentes en las envolventes verticales influyen sobre la disponibilidad de luz natural útil, aprovechable por los edificios, modificando los niveles de iluminancia en situaciones de alta densidad del cañón urbano de la ciudad de Concepción

1.4. Palabras claves.

Luz natural, reflectancia, cañón urbano.

2. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.

2.1. Objetivo general.

Evaluar la influencia de los materiales en las envolventes verticales sobre la disponibilidad de luz natural, en escenarios urbanos representativos de la ciudad de Concepción, con el fin de conocer el potencial de los materiales para aportar luz natural en situaciones de alta densidad.

2.2. Objetivos específicos.

- 1.- Identificar los casos de cañones urbanos predominantes, según su relación alto/ancho (H/W), presentes en la ciudad de Concepción, para definir casos de estudio.
- 2.- Seleccionar materiales presentes en fachadas de los casos de estudios con el fin de calcular y definir los valores de reflectancia a aplicar en los casos a analizar.
- 3.- Simular y comparar los casos de estudio según valores de reflectancia de los materiales aplicados en fachadas y según la relación H/W del cañón urbano para conocer la influencia de los materiales sobre la disponibilidad de luz natural.

3. METODOLOGÍA.

La metodología de esta investigación se abordará estableciendo tres etapas de investigación: estudio de campo, definición de casos y análisis de escenarios.

3.1 Estudio de campo.

El estudio de campo consistirá en la búsqueda y estudio de tipologías morfológicas del cañón urbano de la ciudad de Concepción. Esto se realizará a través de un mapeo de la ciudad haciendo uso de la Ordenanza Local del Plan Regulador Comunal de Concepción, utilizando herramientas como Google Map, Google Earth y recorriendo las calles del centro de la ciudad para contextualizar la situación urbana según normativa y según la realidad actual de la ciudad. El estudio de campo permitirá establecer patrones, tanto en el espacio urbano como en los edificios, para definir geometrías que den cuenta de situaciones fieles con la realidad de Concepción.

La Ordenanza Local del Plan Regulador Comunal de Concepción establece las normas referentes a límite urbano, zonificación, usos del suelo, condiciones de subdivisión predial, de edificación, de urbanización y vialidad que dan forma al territorio dentro del área del Plan Regulador Comunal de Concepción.

Google Maps y Google Earth son servidores de aplicación de mapas en la web que pertenece a Alphabet Inc. Ofrece imágenes de mapas desplazables, así como fotografías por satélite del mundo e incluso la ruta entre diferentes ubicaciones o imágenes a pie de calle con Google Street View. Con la introducción de las herramientas de búsqueda y el movimiento en el mapa, ha hecho crecer el interés en el uso de las imágenes satelitales, tanto para la investigación como para fines personales.

Los casos de cañones urbanos serán definidos como la relación geométrica entre la altura de los edificios y el distanciamiento entre sus fachadas (relación H/W). Se seleccionarán dentro de un área definida y comprenderán una porción de vía perteneciente a una cuadra, como se muestra en la Fig. 5, cuyos configurantes serán la misma vía, comprendida por aceras y calzada, y las fachadas de los edificios que enfrentan esa vía.

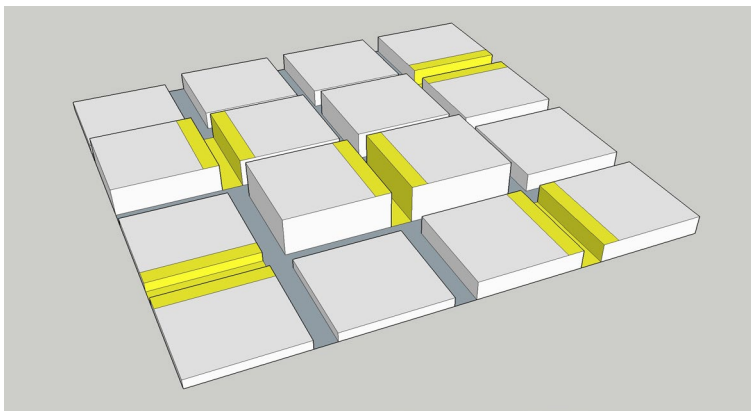


Fig. 5. Esquema caracterización cañones urbanos
Elaboración propia

3.1.1. Descripción caso de estudio.

Se realizará un estudio morfológico de Concepción, considerando una descripción urbana y el clima del sector. La descripción urbana considerará una visión macro y una visión micro. La visión macro se refiere a las características del caso de estudio a una escala de ciudad, como lo es tipología de ciudad, límites, trama urbana y orientaciones. La visión micro

corresponde a características propias de los elementos que componen la ciudad y serán objeto de análisis, como son los sistemas de agrupamiento, alturas edilicias, ancho de vías, materialidades y porcentaje de ventanas. Se realizará un análisis general del clima de Concepción para contextualizar la situación de la ciudad, principalmente tipos y frecuencia de cielos. Se seleccionará un único tipo de cielo para la investigación, éste será el cielo predominante que con más frecuencia se presente dentro de un año calendario.

3.1.2. Área de estudio.

Se seleccionará una porción de la ciudad de Concepción que será objeto de análisis por sus características tipológicas de altura, ancho, agrupación, y densidad. Dentro del área de estudio se seleccionaran porciones de calles que muestren mayor uniformidad en las características anteriormente mencionadas, las cuales serán analizadas según su relación H/W para poder definir casos de estudio.

3.2. Definición de casos

La definición de casos consistirá en la selección de cañones urbanos representativos dentro del área de estudio, según su geometría urbana y materialidad.

3.2.1. Selección casos y materialidades.

En este punto los casos seleccionados se analizarán según su geometría y se calculará la relación H/W de cada uno para definir casos de estudio.

La relación H/W es un método para estudiar el cañón urbano según alturas edilicias y ancho de vías y será calculada para cada uno de los casos a analizar con el fin de construir una abstracción volumétrica simplificada y basar el estudio lumínico en estos modelos. El cálculo de la relación H/W se realiza según la siguiente formula.

$$\text{Relación H/W} = \frac{\text{Altura edilicia media}}{\text{Ancho Vía}}$$

La altura edilicia media será calculada según el área de la fachada frontal de los edificios a ambos lados de la calle para cada cañón urbano y la longitud total será medida en las líneas de edificación para ambos lados según la formula siguiente:

$$\text{Altura edilicia media} = \frac{\text{Área}_1 + \text{Área}_2 + \text{Área}_3 \dots + \text{Área}_n}{\text{L total líneas de edificación}}$$

Se decide trabajar con la relación H/W con el fin de simplificar la geometría de los cañones urbanos y sustraer variables morfológicas que puedan modificar los resultados del estudio lumínico, como conos de sombra y materialidades de edificios puntuales. De esta manera se asegura que los cambios en la iluminación son producto de los materiales empleados, eliminando alteraciones que podrían causar las irregularidades presentes en los edificios de un mismo cañón urbano.

Luego de la definición y cálculo de relación H/W, se seleccionarán los materiales presentes en fachadas que visualmente sean predominantes dentro de los casos de estudio para calcular su valor de reflectancia. Se obtendrán 2 materiales por caso, considerando su mayor presencia dentro del cañón y que el material sea accesible para su medición. Si dos materiales de cañones diferentes son iguales o muy similares en color y composición, se escogerá el siguiente material con mayor presencia para asegurar una muestra variada.

3.2.2 Cálculo valores de reflectancia.

En este punto se definen valores de reflectancia de los materiales de fachadas seleccionados en los cañones urbanos de la ciudad de Concepción, para evaluar y comparar el aporte lumínico en diferentes niveles de éstos.

La reflectancia se calculará a través del método hemispherical-hemispherical reflectance (ρ_{hh}) (Córica, L., & Pattini, A. 2005) haciendo uso de un medidor de luminancia Konica Minolta LS-110 y una tarjeta de grises Vitamall (Fig. 6) utilizada en fotografía como estándar para obtener imágenes balanceadas en exposición y color.

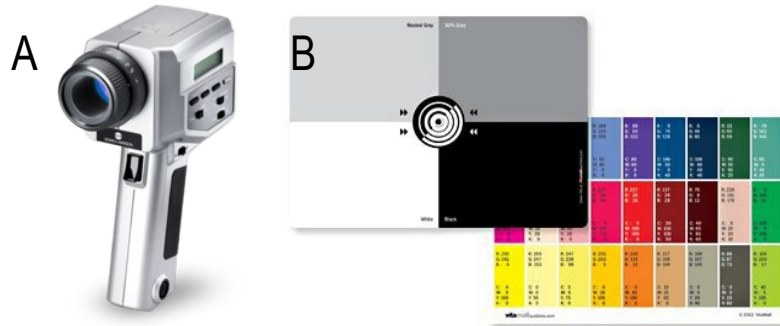


Fig. 6. A: Medidor de luminancia Konica Minolta LS-110; B: Tarjeta de grises Vitamall.

Fuente: A: konicaminolta.com; B: jzool.com

El medidor de luminancia Konica Minolta LS-110 es un medidor ligero y compacto para tomar mediciones de luminancia de fuentes de luz o superficies reflectantes con alta precisión gracias a su óptica y electrónica avanzada. La tarjeta de grises Vitamall posee un gris medio, gris neutral, blanco y negro por una cara y por el reverso una escala de balance de colores. Para efecto del cálculo se utilizará el gris medio, con una reflectancia de 18%, y el color blanco, de reflectancia 90%, haciendo uso de la siguiente fórmula.

$$\rho_1 = \rho_{blanco} \cdot \frac{L_{superficie}}{L_{blanco}} \quad \rho_2 = \rho_{gris} \cdot \frac{L_{superficie}}{L_{gris}} \quad \rho_{ha} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$$

Donde:

ρ = Reflectancia.

L = Luminancia.

El método hemispherical-hemispherical reflectance (ρ_{hh}) consiste en dos cálculos de proporción (ρ_1 y ρ_2) que se llevan a cabo haciendo mediciones de luminancia tanto en los materiales a analizar como en las tarjetas de color blanco y gris medio (en iguales condiciones de luz), cuyas reflectancias son conocidas. De esta forma los resultados se promedian, obteniendo la reflectancia de los materiales seleccionados (ρ_{hh}).

3.2.3. Cálculo porcentaje de ventanas.

En este caso se seleccionará una tipología de fachada que sea representativa de Concepción dentro del área de estudio para calcular su porcentaje de ventanas y ser aplicado a los escenarios de cañones urbanos con el fin de que todos éstos se encuentren en igualdad de condiciones. El cálculo se realizará mediante fotografías y haciendo uso del software de dibujo técnico Archicad.

3.3. Análisis de casos.

La investigación realizará mediante simulaciones por computadora con el fin de facilitar el estudio de variables de diseño cuando se centra en la distribución de la luz día y la cantidad. Para este cometido se utilizarán dos software: Sketchup y Radiance (a través de Groundhog), para modelar y simular respectivamente.

El análisis de casos se realizará en 4 etapas: modelación, simulación e interpretación de resultados que comprenderá un análisis comparativo promedio y un análisis de tendencia.

3.3.1. Modelación.

Sketchup se utilizará para modelar los escenarios de estudio por la sencillez en su utilización, su condición de gratuidad y por ser compatible con varias herramientas y extensiones utilizados en la investigación.

Sketchup es un programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones (3D) basado en caras. Para entornos de arquitectura, ingeniería civil, diseño industrial, diseño escénico, GIS, videojuegos o películas. Su principal característica es poder realizar diseños en 3D de forma sencilla.

En la etapa de modelación se harán levantamiento de los casos de cañones urbanos seleccionados, que consistirán en una porción de calle o cuadra acompañado de las fachadas de los edificios que la enfrentan, considerando variables como relación H/W y materiales de fachadas, además de un porcentaje de ventanas y un material de pavimento representativo y constantes para todos los escenarios.

3.3.2 Simulación.

Para la simulación lumínica se utilizará Groundhog. Ésta es una extensión gratuita de SketchUp de código abierto que permite crear rápidamente modelos de Radiance y realizar análisis de iluminación. El software Radiance es una herramienta bien conocida para estudiar el rendimiento de la luz del día de diferentes opciones de diseño utilizando el método de ray-tracing. Este método se usa para geometrías complejas, pudiendo simular diferentes tipos de reflexiones de materiales tales como: funciones de transmisión de reflexión difusa, especular y semi-especular, permitiendo ser utilizado en el modelado de dispositivos avanzados de redirección de iluminación como los paneles de corte por láser. Radiance es un programa de simulación de iluminación altamente capaz (Greenup & Edmonds, 2004). Además, la representación visual en color de una habitación es posible y la predicción más importante de los valores de luminancia se hace fácilmente en Radiance. Debido a su excepcional flexibilidad, Greenup y Edmonds consideraron a Radiance como uno de los programas de simulación de iluminación más altamente capacitados actualmente disponibles. Radiance ha sido validado por diferentes investigadores en diferentes casos, y los resultados obtenidos se han encontrado en buen acuerdo con las mediciones experimentales y reales (Freewan et al., 2014).

Para simular, se definirán los escenarios de estudio que sean representativos de las condiciones típicas de la ciudad de Concepción como lo son densidad, altura y tipologías edilicias. Se evaluará, mediante éste método, el efecto de la aplicación de materiales en fachadas con distintas reflectancias para evaluar su influencia sobre la disponibilidad de luz natural y su potencial de proporcionarla a los edificios.

La obtención de datos de simulación sobre la disponibilidad de luz natural se hará a través de grillas verticales ubicadas en las caras exteriores de las fachadas para conocer el aporte de luz natural que significa el uso de materiales con distintos valores de reflectancia.

Las simulaciones se realizarán haciendo uso de la matriz 3x3, para la cual se considerarán 3 fechas críticas (Solsticio de invierno: 21 de junio, Equinoccio: 21 de septiembre y Solsticio de verano: 21 de diciembre) y 3 horarios (9.00 hrs., 13.00 hrs. y 17.00 hrs.). Luego de simular y obtener los resultados de iluminación para cada uno de los escenarios, se realizará un

análisis comparativo porcentual de aporte lumínico por material de fachada para luego generar un análisis de tendencias que permita comprender y predecir el aporte de luz natural por reflectancia del material en variadas configuraciones geométricas de cañones urbanos según su relación H/W y orientación.

3.3.3 Interpretación de resultados.

La interpretación de resultados se realizará a través de un análisis comparativo de iluminancia promedio y un análisis de tendencias. El análisis comparativo de cada caso se realizará a través de los datos obtenidos en simulación según orientación, fachada, nivel de piso y reflectancia del material en fachadas. Respecto a los materiales a estudiar, se seleccionan tres dentro de las muestras obtenidas en el estudio de campo, los cuales serán representativos dentro de los valores de reflectancia como un valor de reflectancia bajo, un valor promedio y un valor de reflectancia alto. Éste último será comparado con los anteriores para conocer el aporte de la reflectancia del material en la disponibilidad de luz natural exterior.

El análisis de tendencia se realizará con la herramienta Microsoft Excel a través del cual se obtendrá una línea de tendencia según orientación del cañón, reflectancia del material y fachada. Se realizarán análisis de tendencias de niveles de iluminancia obtenidos para conocer la disponibilidad de luz natural en cada caso y según el porcentaje aporte de iluminancia contribuida por la reflectancia del material para conocer su influencia sobre la disponibilidad de luz natural dentro de los diferentes casos de cañones urbanos a estudiar. El análisis de tendencia permitirá conocer el comportamiento de la reflectancia de los materiales según la relación H/W de cada cañón urbano y generar predicciones aproximadas para situaciones distintas a las estudiadas, considerando orientación y la reflectancia de los materiales aplicados en fachadas.

4. DESARROLLO.

4.1 Descripción ciudad.

Concepción es una comuna y ciudad chilena perteneciente al área metropolitana del Gran Concepción, y es la capital de la provincia homónima y la Región del Biobío. El núcleo urbano de Concepción ejerce un significativo impacto en el comercio nacional al ser parte de la región con más industrialización del país.

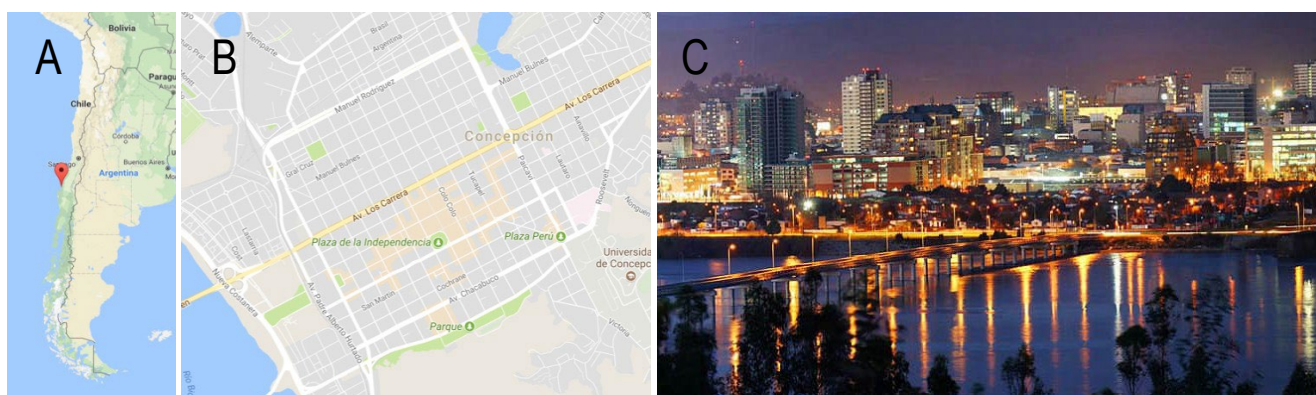


Fig. 7. A: Ubicación; B: Plano; C: Imagen de la ciudad de Concepción.

Fuente: Google Maps.

4.1.1 Límites.

Limita al norte con Hualpén, Talcahuano y Penco; al sur con Chiguayante y Hualqui; al este con la comuna de Florida y al oeste con el río Biobío y las comunas de San Pedro de la Paz, Coronel y Lota. Antiguamente se localizaba en la Bahía de Concepción, en el territorio que actualmente ocupa la localidad de Penco.

4.1.2 Clima.

El clima es mediterráneo con influencia oceánica y una estación seca breve en verano, asemejándose mucho al clima de la ciudad de San Francisco, California, en una latitud similar del hemisferio norte.

Es una zona de clima marítimo y lluvioso con inviernos largos, suelo y ambiente salinos y húmedos. Vientos fuertes provenientes del norte en invierno y suroeste en verano. Su temperatura promedio anual es de 12,7 °C, mientras que la promedio en verano es de 17 °C y en invierno de 8 °C. Las oscilaciones térmicas son moderadas si consideramos su latitud, esto debido a su cercanía al Océano Pacífico. Los veranos son templados y los inviernos suaves. Las precipitaciones se concentran en los meses más fríos, siendo el período de mayo a agosto el que concentra la mayor parte de la lluvia, por el contrario el verano es seco.

4.1.3 Entramado urbano.

La trama urbana de la ciudad de Concepción, como en la mayoría de las ciudades chilenas es del tipo de cuadrícula o reticular cuyas manzanas miden 125 m entre ejes. Presenta una forma de damero, las calles se cortan perpendicularmente en ángulo recto. Es la forma de trama urbana más utilizada a lo largo de la historia para construir una ciudad nueva en un lugar llano, o ampliar una ciudad existente. La trama tipo reticular significa que las orientaciones de las calles de la ciudad se agrupan principalmente en dos, las cuales, para la ciudad de Concepción, son nor-orientesur-poniente y nor-ponientesur-orientes.

4.1.4 Alturas edilicias.

En las zonas periféricas las alturas de los edificios son principalmente entre 2 y 3 niveles mientras que en el sector más céntrico los edificios alcanzan altura entre 3 y 6 niveles habiendo casos puntuales que pueden superar los 10 niveles como es el caso de la Torre Ligure y la Torre Mall Center.

4.1.5 Agrupamiento.

Los sistemas de agrupamiento, aislado pareado y continuo, tienen presencia en todo el sector comunal de Concepción pero mostrando cierta predominancia según su ubicación en la trama urbana. En la periferia se muestra un dominio de los sistemas aislados y pareados. Por otro lado, a medida que nos acercamos a las zonas más céntricas, es el agrupamiento continuo con que más jerarquía se presenta, situación común en la mayoría de ciudades chilenas.

4.1.6 Vías.

Las vías se definirán como el espacio urbano comprendido entre las líneas oficiales de dos conjuntos de fachadas pertenecientes a una cuadra y enfrentadas entre ellas. Éstas se clasificarán, según el ancho de las vías y su uso, en avenidas, calles y pasajes. Las avenidas son las vías principales que mueven una gran densidad de tráfico y por esta razón poseen mayor dimensión, alcanzando los 24 m en la avenida Bernardo O'Higgins y 34 m en la avenida Los Carrera. Las calles son vías secundarias que mueven menor densidad de flujo vehicular, alcanzando dimensiones de 14 m a 18 m en calles como Aníbal Pinto y Lincoyán. Los pasajes son vías terciarias que seccionan una cuadra y cuyo uso suele ser local por trabajadores o residentes que habitan el sector. Alcanzan dimensiones entre 5 m y 7 m de ancho como es el caso de Aurelio Manzano.

4.2. Estudio de campo.

El estudio de campo del cañón urbano de la ciudad de Concepción se lleva a cabo haciendo uso de la Ordenanza Local del Plan Regulador Comunal de Concepción y realizando un barrido de la ciudad tanto a pié como utilizando las herramientas Google Map y Google Earth, con el fin de definir variables tipológicas que aporten a la selección de casos de estudio.

4.2.1 Área de estudio.

Se determinará como área de estudio al sector céntrica de la ciudad perteneciente a la Zona C1 del Plan Regulador Comunal de Concepción (Fig. 8). Abarca el sector entre las calles San Martín y Maipú, por un lado, y las calles Lincoyán y Orompello por el otro, proyectándose por las calles Barros Arana y Diagonal Pedro Aguirre Cerda, rematando en la Plaza España y Plaza Perú respectivamente. Se escoge este sector debido a su condición céntrica y a que comprende la zona con la mayor densificación dentro del tejido urbano de Concepción. Por esta razón la Zona C1 es un sector crítico, en donde la altura de las edificaciones y ancho de las vías juegan un rol primordial en la cantidad de luz natural captada por el espacio urbano y la influencia de la materialidad de la envolvente urbana será mayor.



Fig. 8. Área de estudio.

Fuente: Plan Regulador Comunal de Concepción.

Luego se realiza un análisis de las variantes tipologías en el cañón urbano de la ciudad que permitirán caracterizar y clasificar distintos escenarios según agrupamiento, alturas edilicias, ancho de vías y trama urbana.

4.2.2 Tipología edificios.

Se definirán variables, presentes en edificios de Concepción, consideradas para la selección de casos de estudio, como son la materialidad, el agrupamiento, altura y porcentaje de acristalamiento.

4.2.2a Sistema de agrupamiento.

Para la selección de escenarios se dará prioridad a aquellas secciones del área de estudio que presenten mayor continuidad a lo largo de sus fachadas con el fin de acentuar la influencia de los materiales en la disponibilidad de luz natural.

4.2.2b Altura.

Se buscarán secciones del área de estudio cuyas alturas edilicias sean relativamente constantes con el fin de simplificar el análisis y que no existan grandes diferencias entre la realidad y el modelo de cañón urbano.

Precisar la altura de cada edificio supone un problema debido a la falta de información y herramientas para realizarla, por esta razón se define una dimensión estándar de 3 m por nivel para establecer la altura total de cada edificio de manera aproximada.

4.2.2c Materialidad de superficies.

Se seleccionarán los materiales que visualmente se encuentren en mayor magnitud dentro de los distintos casos a estudiar para ser medidos según el método hemispherical-hemispherical reflectance (ρ_{hh}).

Dentro de la muestra, se escogerán 3 materiales para ser aplicados a los casos de estudio, los cuales serán representativos dentro de los valores de reflectancia como el menor valor obtenido, valor promedio de todos los materiales medidos y el mayor valor obtenido con el fin de realizar una comparación entre ellos y conocer el aporte por reflectancia del material sobre la disponibilidad de luz natural.

4.2.2 d Porcentaje Acristalamiento.

Concepción posee una variedad de tipologías en fachadas y cada una de ellas con un porcentaje de acristalamiento diferente, por lo que se escoge una tipología que sea representativa de la ciudad. De esta manera se selecciona un porcentaje de acristalamiento de 25%, el cual es común en los edificios históricos del centro de la ciudad (Fig. 9).



Fig. 9. A: Edificio esquina O'Higgins/Caupolicán; B: Edificio esquina O'Higgins/Rengo.
Fuente: Google Street View.

4.2.3 **Tipología vías.**

Se refiere al estudio del espacio comprendido entre fachadas de un mismo cañón urbano presentes en el área de estudio de la ciudad de Concepción, según ancho y materialidad. El estudio de las vías permitirá definir el distanciamiento entre fachadas en cada caso y el material a utilizar.

4.2.3a Ancho de vía.

Las vías están compuestas por aceras y calzadas, es decir, el ancho total del espacio será el comprendido entre las fachadas de edificios que se enfrentan. El dimensionamiento de éstas se realizará con la herramienta Google Earth, el cual permite dimensionar la distancia entre dos puntos dentro de mapa tridimensional de manera aproximada.

4.2.3 b Materialidad superficie.

El material de la superficie de los pavimentos será el hormigón, ya que éste se encuentra en casi la totalidad de las calzadas y en la mayoría de las aceras. Por esta razón se hará una única medición de reflectancia que se aplicará a todos los modelos de escenarios estudiados.

4.2.4 **Asoleamiento y orientación.**

En esta etapa se establecerán orientaciones para cada uno de los casos cañones urbanos según su ubicación dentro de la trama urbana de la ciudad de Concepción con el fin poder realizar estudios de asoleamiento en variadas situaciones. Las

orientaciones, según la trama urbana de Concepción (Fig. 10), se agrupan principalmente en dos, nor-oriente/sur-poniente y nor-poniente/sur-oriente, cuyos ángulos, medidos desde el eje norte, son de 27,24° y 62,76° respectivamente.

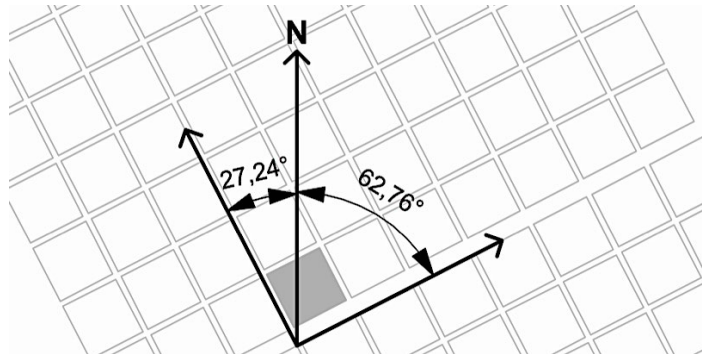


Fig. 10. Orientaciones y ángulos de Concepción según trama urbana y eje norte.
Elaboración propia.

4.2.5 Tipo de cielo.

Los tipos de cielo se clasificarán en clear sky, clear turbid sky, intermedian sky y overcast sky siendo el clear sky el tipo de cielo más favorable debido a la claridad y limpieza de éste, alcanzando los mayores niveles de iluminancia y permitiendo el aprovechamiento de la luz diurna directa. Por otro lado el overcast sky será el cielo donde la luz directa se verá obstaculizada por la nubosidad presente en la atmósfera y en el cual solo se podrá aprovechar la iluminación proveniente en forma difusa, por lo que será la situación menos favorable al momento de realizar una evaluación lumínica.

Los cielos que con mayor frecuencia se presentan en Concepción, según la herramienta Ilumina Chile, son el intermediate sky junto al overcast sky, siendo 32% la frecuencia para ambos tipos de cielo en la ciudad (Fig. 11).

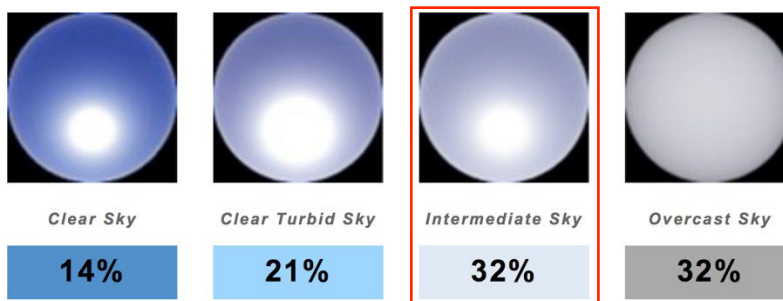


Fig. 11. Porcentaje de frecuencia de cielos para Concepción.
Fuente: Ilumina Chile.

Se escoge el intermediate sky como cielo para las simulaciones por presentar luz solar directa como variable, permitiendo escenarios diferentes dentro de un año calendario en cuanto a condiciones de intensidad, altura y ángulo solar.

4.3. Definición de casos de estudio.

4.3.1. Selección casos de cañones urbanos.

Para el análisis de la selección de escenarios se realiza un levantamiento volumétrico de las fachadas de cada caso de cañón urbano contemplando lo siguiente:

- a) Las alturas edilicias serán calculadas de manera aproximada, considerando una altura de 3 m por nivel para cada uno de ellos.
- b) Los edificios continuos de iguales alturas se considerarán como un volumen único.
- c) El ancho de las vías será una aproximación medida con la herramienta “regla” de Google Earth.
- d) La arborización no será considerada para que no sea un obstáculo al momento de evaluar la influencia de los materiales de fachadas en la iluminación.

4.3.1 a Selección casos preliminares.

Se seleccionarán preliminarmente 12 casos de cañones urbanos dentro de área de estudio por presentar condiciones de continuidad y altura constantes sin mostrar mayores variaciones entre éstas, a manera de simplificar el análisis y que los modelos abstractos, según su relación H/W resultante, sean más representativos de la realidad (Tabla 1).

4.3.1b Selección casos a analizar.

Se seleccionarán 3 escenarios por orientación, para un total de 6, los cuales poseerán relaciones H/W diferenciadas entre sí y de manera proporcionada para asegurar una muestra variada y equilibrada entre las mayores y menores magnitudes obtenidas (Fig. 12).

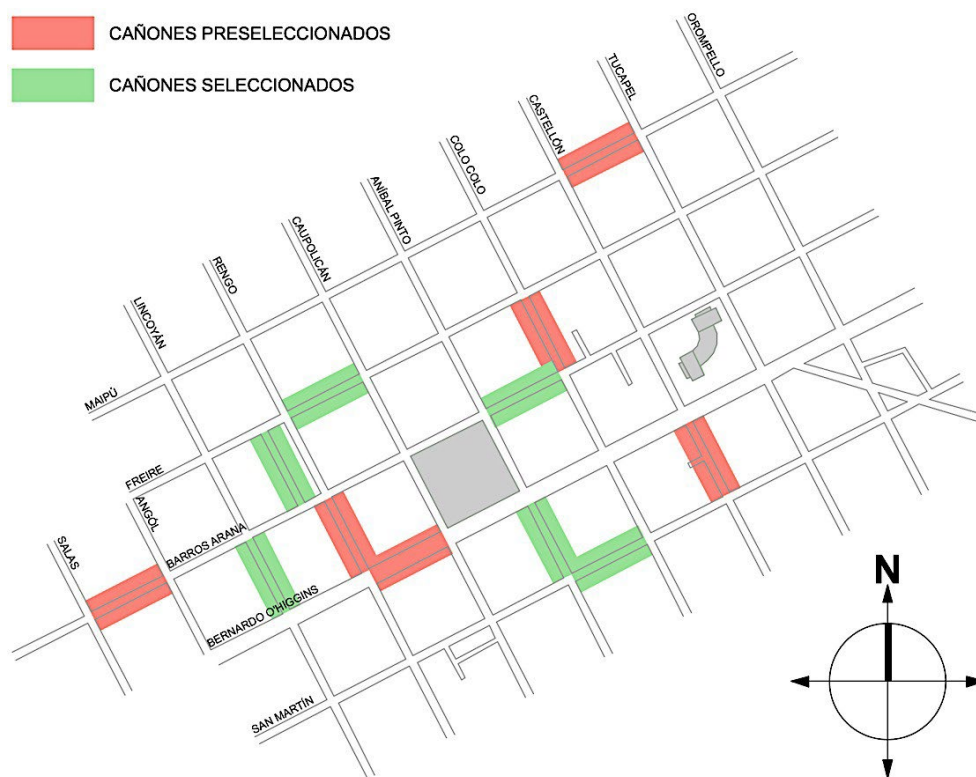

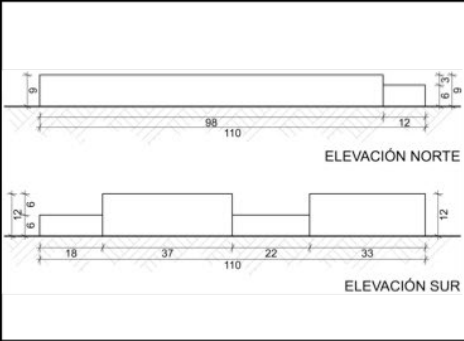

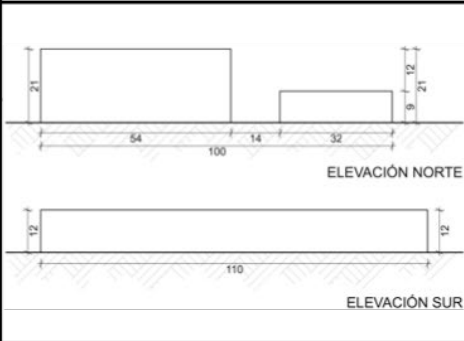

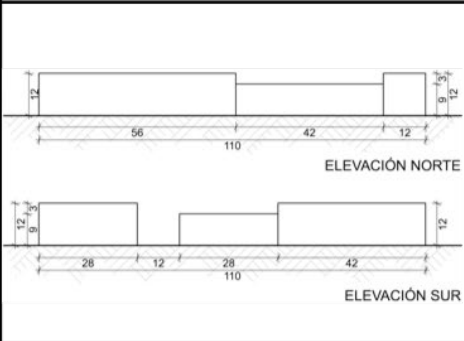

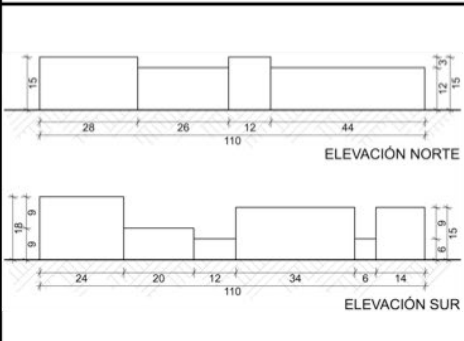



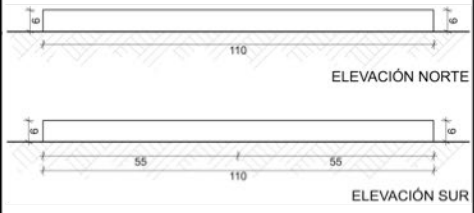

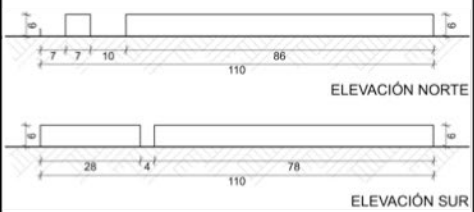

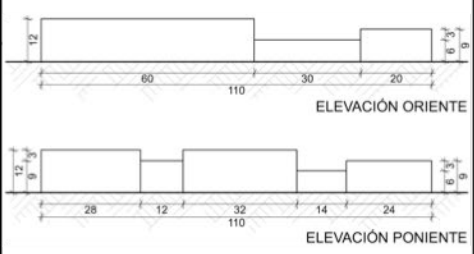
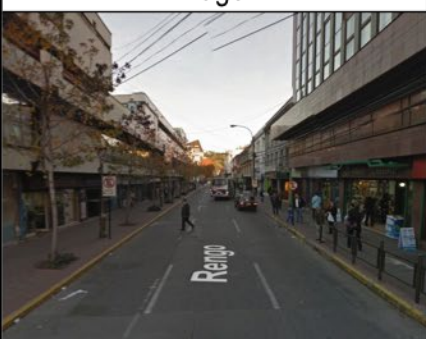
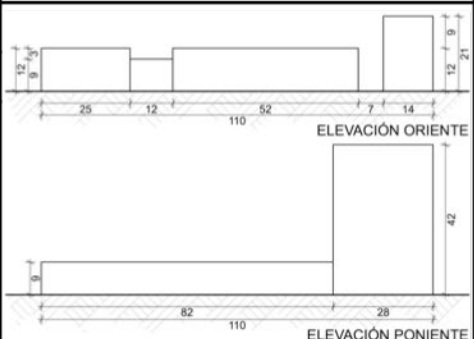
Fig. 12. Esquema preselección y selección de casos de cañones urbanos y sus ubicaciones.
Elaboración propia.

La Fig. 12 muestra los 12 casos de cañones seleccionados preliminarmente. El color verde corresponde a los 6 cañones seleccionados para ser analizados en las etapas posteriores mientras que el color rojo son los casos de la preselección que no serán considerados en el análisis producto de sus similitudes geométricas, según sus relaciones H/W, a otros cañones seleccionados o poseer características menos favorables para la investigación, como son quiebres en la continuidad de sus fachadas o poseer alturas edilicias menos regulares en comparación a los casos seleccionados.

SELECCIÓN PRELIMINAR CASOS DE CAÑONES URBANOS

Imagen	1		Elevaciones
	<p align="center">SAN MARTÍN Entre Aníbal Pinto y Colo Colo</p>		
	<p>Ancho de vía (m): Altura Promedio (m): H/W ratio</p>	<p align="center">14 9,25 0,66</p>	
Imagen	2		Elevaciones
	<p align="center">BERNARDO O'HIGGINS Entre Caupolicán y Rengo</p>		
	<p>Ancho de vía (m): Altura Promedio (m): H/W ratio</p>	<p align="center">24 12,6 0,53</p>	
Imagen	3		Elevaciones
	<p align="center">BARROS ARANA Entre Salas y Angol</p>		
	<p>Ancho de vía (m): Altura Promedio (m): H/W ratio</p>	<p align="center">16 10,4 0,65</p>	
Imagen	4		Elevaciones
	<p align="center">BARROS ARANA Entre Aníbal Pinto y Colo Colo</p>		
	<p>Ancho de vía (m): Altura Promedio (m): H/W ratio</p>	<p align="center">14 13,09 0,94</p>	

SELECCIÓN PRELIMINAR CASOS DE CAÑONES URBANOS

Imagen	5	Elevaciones
	FREIRE Entre Caupolicán y Rengo	
	Ancho de vía (m): Altura Promedio (m): H/W ratio	16 6 0,38
		
Imagen	6	Elevaciones
	MAIPÚ Entre Castellón y Tucapel	
	Ancho de vía (m): Altura Promedio (m): H/W ratio	14 5,43 0,39
		
Imagen	7	Elevaciones
	LINCOYÁN Entre O'Higgins y Barros Arana	
	Ancho de vía (m): Altura Promedio (m): H/W ratio	18 10 0,56
		
Imagen	8	Elevaciones
	RENGO Entre Barros Arana y O'Higgins	
	Ancho de vía (m): Altura Promedio (m): H/W ratio	16 14,7 0,92
		

SELECCIÓN PRELIMINAR CASOS DE CAÑONES URBANOS


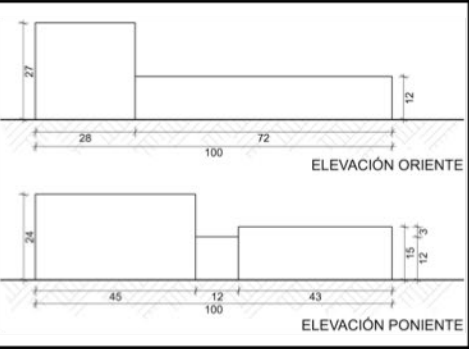

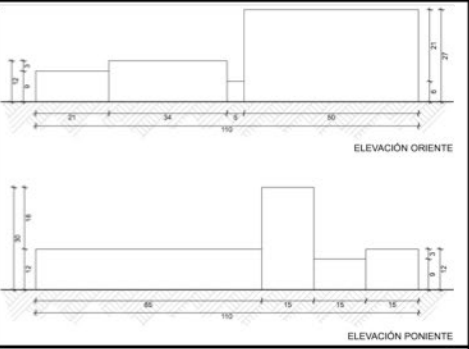

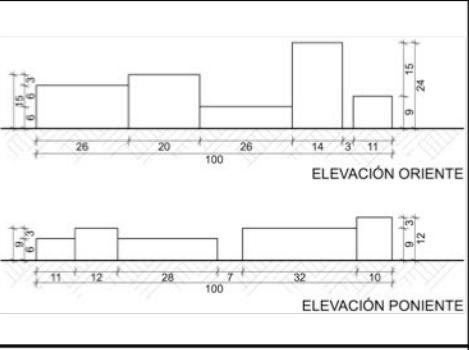

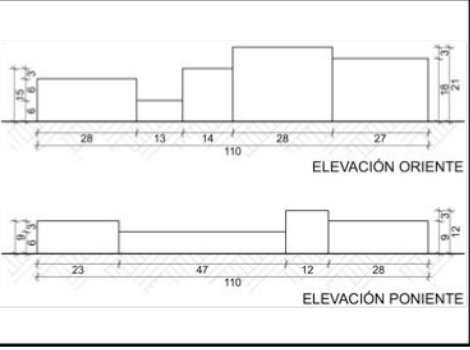
Imagen	9	Elevaciones
	ANÍBAL PINTO Entre O'Higgins y San Martín	
	Ancho de vía (m): Altura promedio (m): H/W ratio:	14 17,5 1,25
		
Imagen	10	Elevaciones
	COLO COLO Entre Barros Arana y Freire	
	Ancho de vía (m): Altura promedio (m): H/W ratio:	14 16 1,14
		
Imagen	11	Elevaciones
	CASTELLÓN Entre O'Higgins y San Martín	
	Ancho de vía (m): Altura Promedio (m): H/W ratio	14 9,77 0,7
		
Imagen	12	Elevaciones
	AURELIO MANZANO	
	Ancho de vía (m): Altura Promedio (m): H/W ratio	6 11,7 1,96
		

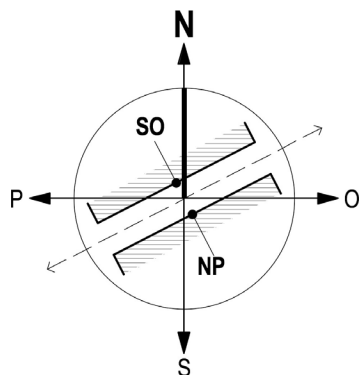
Tabla 1. Selección preliminar casos de cañones urbanos.

Fuente imágenes: Google Street View.

4.3.3 Levantamiento casos de cañones urbanos.

El levantamiento de los casos de cañones urbanos se efectúa a partir de la selección de los 6 escenarios a analizar, para los cuales se consideran como variables la relación H/W (alturas edilicias y ancho de vías) de cada caso y su orientación (orientación 1: nor-poniente/sur-oriente; orientación 2: nor-oriente/sur-poniente) (Fig. 13). El porcentaje de ventanas y la reflectancia superficial del pavimento permanecerán constantes con valores estándar obtenidos en sus respectivos cálculos.

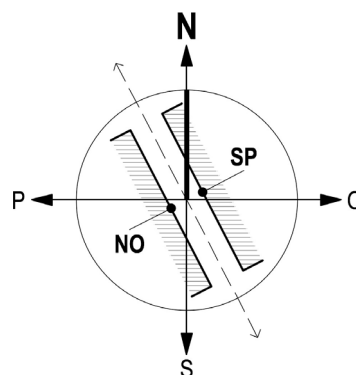
Perfil de cañones urbanos según orientación.



ORIENTACIÓN:
NOR-PONIENTE/SUR-ORIENTE

CASO 1: RELACIÓN H/W 0,38 (FREIRE)

ANCHO DE VÍA: 16m
ALTURA PROMEDIO: 6,0m
% VENTANAS: 25%



ORIENTACIÓN:
NOR-ORIENTE/SUR-PONIENTE

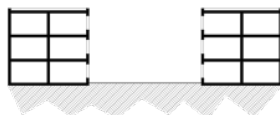
CASO 4: RELACIÓN H/W 0,56 (LINCOYÁN)

ANCHO DE VÍA: 18m
ALTURA PROMEDIO: 10,04m
% VENTANAS: 25%



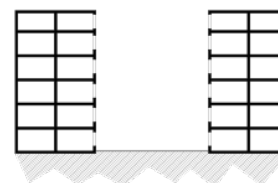
CASO 2: RELACIÓN H/W 0,66 (SAN MARTÍN)

ANCHO DE VÍA: 14m
ALTURA PROMEDIO: 9,25 m
% VENTANAS: 25%



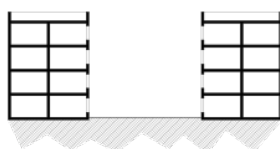
CASO 5: RELACIÓN H/W 1,25 (ANÍBAL PINTO)

ANCHO DE VÍA: 14m
ALTURA PROMEDIO: 17,45m
% VENTANAS: 25%



CASO 3: RELACIÓN H/W 0,94 (BARROS ARANA)

ANCHO DE VÍA: 14m
ALTURA PROMEDIO: 13,09m
% VENTANAS: 25%



CASO 6: RELACIÓN H/W 1,96 (AURELIO MANZANO)

ANCHO DE VÍA: 6m
ALTURA PROMEDIO: 11,74m
% VENTANAS: 25%

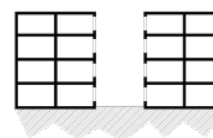


Fig. 13. Levantamiento de casos seleccionados.

4.3.3 Selección de materiales y cálculo de Reflectancia.

Se escogen 2 materiales de fachadas por caso seleccionando, los cuales visualmente se encuentren en mayor magnitud dentro de los distintos cañones a estudiar para ser medidos según el método hemispherical-hemispherical reflectance (Tabla 2).

Se elige como pavimento la superficie de hormigón ya que es el material más común dentro de los casos. El vidrio a utilizar será un vidrio simple cuyas propiedades ópticas serán las establecidas en Radiance. Estos materiales serán constantes y se aplicará a todos los modelos de cañones urbanos estudiados.














CAÑÓN URBANO Calle (entre)	IMAGEN	SUPERFICIE	TERMINACIÓN	COLOR	cd/m ² tarjeta blanca	cd/m ² tarjeta gris	cd/m ² superficie	ρ_1	ρ_2	ρ_{hh}
Pavimento		Hormigón	Rugoso, texturado	Gris	575,2	115,4	139,6	0,22	0,22	0,22
San Martín (Anibal Pinto/Cofo Colo)		Cerámica	Liso, texturado	Ocre	1380	263,7	525,4	0,34	0,36	0,35
		Hormigón	Liso	Beige	1160	271	591,7	0,46	0,39	0,43
Barros Arana (Anibal Pinto/Cofo Colo)		Mortero proyectado	Rugoso, grano grueso	Café	1328	212,9	508,7	0,34	0,43	0,39
		Piedra pizarra	Texturado	Gris	687,2	138,5	172,9	0,23	0,22	0,23
Freire (Caupolicán/Rengo)		Albañilería	Liso	Ocre	1009	213,4	149,2	0,13	0,13	0,13
		Mortero proyectado	Rugoso, grano grueso	Azul	1065	231,2	115,1	0,10	0,09	0,09
Lincoyán (O'Higgins/Barros Arana)		Mortero proyectado	Rugoso, grano fino	Blanco	1233	239,1	1025	0,75	0,77	0,76
		Cerámica	Liso, texturado	Beige	353,6	63,98	185,1	0,47	0,52	0,50
Anibal Pinto (San Martín/O'Higgins)		Granito reconstituido	Rugoso, grano fino	Gris	32,61	6,72	12,34	0,34	0,33	0,34
		Hormigón	Liso	Naranja Pastel	717	142	551,3	0,69	0,70	0,70
Aurelio Manzano		Granito reconstituido	Liso, grano grueso	Amarillo pastel	333,8	68,49	154,8	0,42	0,41	0,41
		Hormigón	Liso	Blanco	141,6	31,14	138,6	0,88	0,80	0,84
Albedo promedio superficies verticales										0,43

Tabla 2. Muestra de materiales con cálculo de reflectancia.

5. ANÁLISIS DE CASOS.

El análisis se lleva a cabo en 4 etapas: modelación, simulación e interpretación de resultados se realizará a través de un análisis comparativo de iluminancia promedio y un análisis de tendencias. La primera etapa se refiere al levantamiento de cada caso en el software de modelación Sketchup, en la segunda etapa se hará uso de Groundhog y el software de simulación lumínica Radiance. En la tercera etapa se interpretarán los resultados a través de un análisis comparativo promedio y en la cuarta etapa se realizará un análisis de tendencias según niveles de iluminancia y porcentaje de aporte lumínico por reflectancia del material.

Para una mayor comprensión se definirán los conceptos de caso y escenario, donde el primero se refiere a cada uno de los seis cañones urbanos seleccionados y modelados según su relación H/W. Mientras que escenario hará alusión a cada una de las combinaciones estudiadas entre el cañón urbano, reflectancia del material en fachadas y las fechas simuladas con sus respectivos horarios.

Respecto a los materiales a estudiar, se escogen tres dentro de las muestras obtenidas en el estudio de campo, los cuales serán representativos dentro de los valores de reflectancia como el menor valor obtenido (mortero azul rústico: 9%), valor promedio (hormigón beige liso: 43%) y el mayor valor obtenido (hormigón blanco: 84%). Los valores de reflectancia serán comparados entre ellos a través de un valor porcentual de aumento de iluminancia para conocer el aporte por reflectancia del material sobre la disponibilidad de luz natural exterior (Tabla 2).

En las simulaciones se hará uso de la matriz 3x3, para la cual se considerarán 3 fechas críticas (Solsticio de invierno: 21 de junio, Equinoccio: 21 de septiembre y Solsticio de verano: 21 de diciembre) y 3 horarios (9.00 hrs., 13.00 hrs. y 17.00 hrs.).

Según los casos y escenarios a analizar, se puede definir el siguiente diagrama de simulaciones:



Fig. 14. Diagrama de Simulaciones.

Según la Fig. 14, un escenario se compondrá de un caso, un material de fachada, una fecha crítica y un horario, por lo cual se realizarán 27 simulaciones por caso, lo que da un total de 162 simulaciones de escenarios considerando todos los casos seleccionados. Luego, para cada uno de los escenarios, se realizará un análisis comparativo porcentual de aporte lumínico por material de fachada y un análisis de tendencias que permita entender y predecir de manera aproximada el aporte de luz natural por reflectancia del material en variadas configuraciones geométricas del cañón urbano.

5.1 Modelación.

Sketchup se utilizará para modelar los casos de estudio por la sencillez en su utilización, su condición de gratuidad y por ser compatible con varias herramientas y extensiones utilizados en la investigación. Los escenarios de cañones urbanos se modelarán considerando relación H/W de cada caso, un porcentaje de ventanas de 25%, y reflectancia de 3 materiales para fachadas. 43% como el promedio de todas las muestras obtenidas, 9% como menor valor obtenido y 84% como mayor valor obtenido (Tabla 2).

Para la modelación de los escenarios de cañones urbanos se define una unidad básica que corresponde a un recinto de 50m² cuyas dimensiones son 10m de frente, 5m de profundidad y 3m de alto con un porcentaje de ventanas 25% en fachada que corresponde a 3 ventanas de 1,4m por 1,79m (Fig. 15). La unidad básica simplificará la construcción y modelación de los escenarios, siendo éste repetido a lo alto y ancho según sea necesario. La grilla vertical para el cálculo de iluminación será aplicado en el modulo central de cada caso y en área de las ventanas para conocer la disponibilidad de luz natural aprovechable por los edificios.

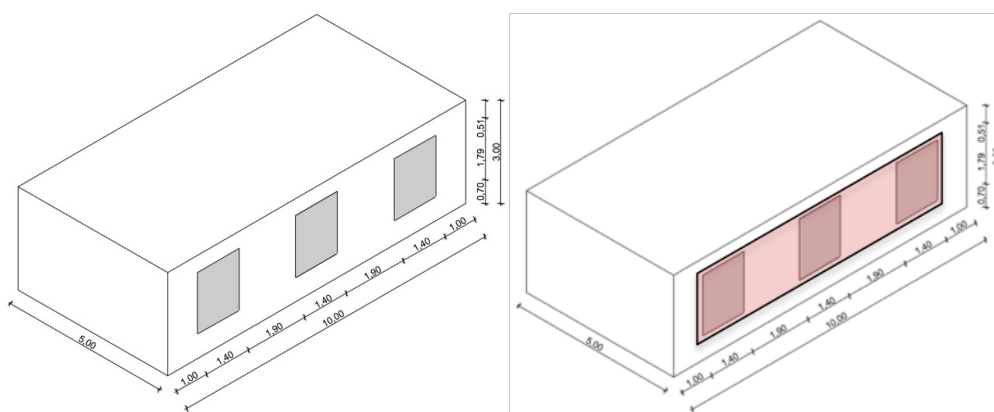


Fig. 15. Unidad básica de cañones urbanos y módulo central con grilla vertical.

Como la altura promedio de cada cañón urbano es inexacto en función de la unidad básica, se modifica la altura del último nivel y la superficie de ventanas de éste para que corresponda al 25% de la unidad básica, manteniendo el ancho de 1,4m. Los cálculos se realizan según la tabla siguiente.

Cañones Urbanos	Altura promedio (m)	Nº niveles	Último nivel (m)	Superficie fachada (m ²)	Superficie ventanas (m ²)	Cada ventana(m ²)	Altura ventana (m)
Caso 1	6,00	2	3,00	30,00	7,50	2,50	1,79
Caso 2	9,25	3	3,25	32,50	8,13	2,71	1,93
Caso 3	13,09	4	4,09	40,90	10,23	3,41	2,43
Caso 4	10,04	3	4,04	40,40	10,10	3,37	2,40
Caso 5	17,45	6	2,45	24,50	6,13	2,04	1,46
Caso 6	11,74	4	2,74	27,40	6,85	2,28	1,63

Tabla 3. Cálculo de altura de unidad básico y ventanas en último nivel de cada caso.

5.2 Simulación.

Para la simulación lumínica se utiliza Groundhog. Ésta es una extensión gratuita de SketchUp de código abierto que permite crear rápidamente modelos de Radiance y realizar análisis de iluminación. El escenario de cañón urbano se simula considerando grillas verticales ubicadas en las fachadas de cada nivel, a altura de las ventanas, del módulo central y para

ambas orientaciones: Nor-orientado / sur-poniente y nor-poniente / sur-poniente, según la orientación del cañón urbano. Luego se realizarán simulaciones de iluminancia para conocer la disponibilidad de luz natural para cada uno de los escenarios según su relación H/W y reflectancia del material de fachadas.

Se hará uso de la matriz 3x3 para las simulaciones, considerando 3 fechas críticas (21 de junio, 21 de septiembre y 21 de diciembre) y 3 horarios (9.00, 13.00 y 17.00).

5.2.1 CASO 1: relación H/W 0,38 (Freire).

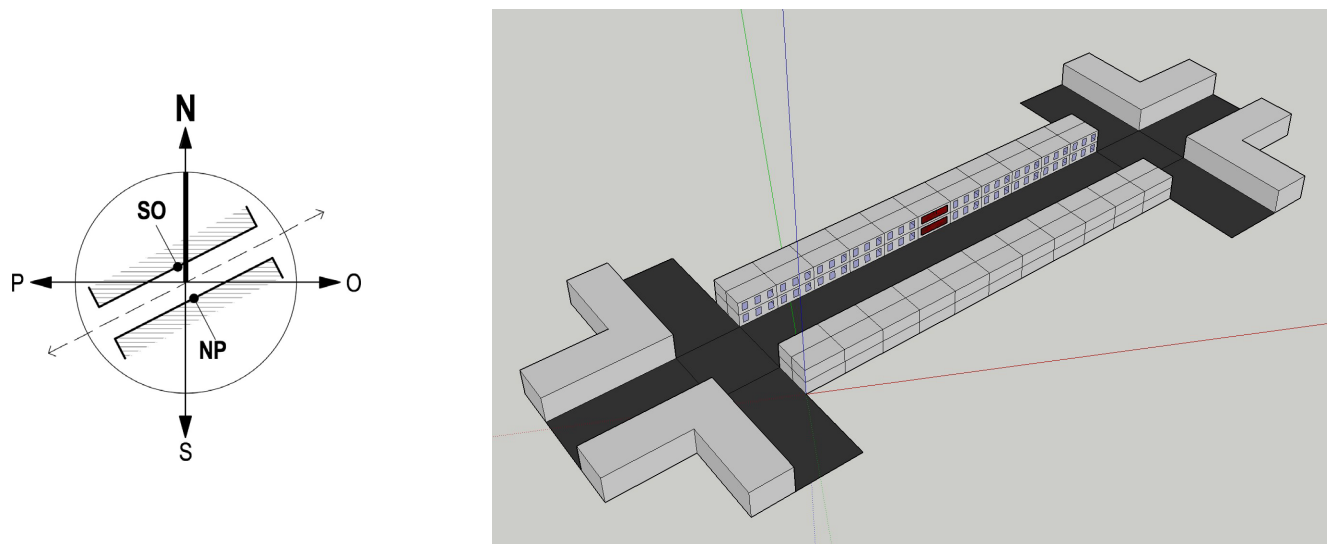


Fig. 16. Orientación y modelación caso 1.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	2199,4	2414,0	2707,5	23,1%	12,2%
	2	2317,7	2517,6	2802,3	20,9%	11,3%
Sur-orientado	1	1621,8	1774,1	2004,7	23,6%	13,0%
	2	1738,1	1880,7	2090,8	20,3%	11,2%
Promedio nor-poniente		2258,6	2465,8	2754,9	22,0%	11,7%
Promedio sur-orientado		1680,0	1827,4	2047,8	21,9%	12,1%
Promedio total		1969,3	2146,6	2401,3	21,9%	11,9%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	12887,7	14454,3	16528,1	28,2%	14,3%
	2	13278,9	14765,6	16704,7	25,8%	13,1%
Sur-orientado	1	3715,2	4183,6	4943,7	33,1%	18,2%
	2	4009,2	4399,2	5083,3	26,8%	15,6%
Promedio nor-poniente		13083,3	14610,0	16616,4	27,0%	13,7%
Promedio sur-orientado		3862,2	4291,4	5013,5	29,8%	16,8%
Promedio total		8472,8	9450,7	10815,0	27,6%	14,4%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 17.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	1683,1	1847,9	2072,8	23,2%	12,2%
	2	2090,7	2420,0	2846,3	36,1%	17,6%
Sur-orientado	1	1085,2	1190,9	1366,8	25,9%	14,8%
	2	1165,5	1255,7	1415,6	21,5%	12,7%

Promedio nor-poniente	1886,9	2134,0	2459,6	30,3%	15,3%
Promedio sur-orientado	1125,4	1223,3	1391,2	23,6%	13,7%
Promedio total	1506,1	1678,6	1925,4	27,8%	14,7%

Tabla 4. Iluminancia caso 1 mes de junio.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	4952,7	5432,4	6169,8	24,6%	13,6%
	2	5400,9	5849,4	6514,9	20,6%	11,4%
Sur-orientado	1	9511,9	10085,4	10948,6	15,1%	8,6%
	2	9864,5	10410,4	11189,6	13,4%	7,5%
Promedio nor-poniente		5176,8	5640,9	6342,4	22,5%	12,4%
Promedio sur-orientado		9688,2	10247,9	11069,1	14,3%	8,0%
Promedio total		7432,5	7944,4	8705,7	17,1%	9,6%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	19059,8	20616,9	22789,3	19,6%	10,5%
	2	19530,7	20988,8	22915,8	17,3%	9,2%
Sur-orientado	1	4388,1	4915,6	5763,7	31,3%	17,3%
	2	4808,6	5267,3	6032,4	25,5%	14,5%
Promedio nor-poniente		19295,3	20802,9	22852,6	18,4%	9,9%
Promedio sur-orientado		4598,4	5091,5	5898,1	28,3%	15,8%
Promedio total		11946,8	12947,2	14375,3	20,3%	11,0%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 17.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	8129,9	9163,2	10541,9	29,7%	15,0%
	2	8419,5	9401,9	10690,6	27,0%	13,7%
Sur-orientado	1	3042,0	3392,2	4026,3	32,4%	18,7%
	2	3263,9	3574,9	4110,8	25,9%	15,0%
Promedio nor-poniente		8274,7	9282,6	10616,3	28,3%	14,4%
Promedio sur-orientado		3153,0	3483,6	4068,6	29,0%	16,8%
Promedio total		5713,8	6383,1	7342,4	28,5%	15,0%

Tabla 5. Iluminancia caso 1 mes de septiembre.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	5429,9	6011,5	6881,1	26,7%	14,5%
	2	5881,8	6399,6	7208,0	22,5%	12,6%
Sur-orientado	1	15463,5	16680,3	18370,3	18,8%	10,1%
	2	15942,2	17072,9	18613,1	16,8%	9,0%
Promedio nor-poniente		5655,9	6205,6	7044,6	24,6%	13,5%
Promedio sur-orientado		15702,9	16876,6	18491,7	17,8%	9,6%
Promedio total		10679,4	11541,1	12768,1	19,6%	10,6%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	17415,1	18161,7	19135,4	9,9%	5,4%
	2	17785,7	18415,0	19308,3	8,6%	4,9%

Sur-oriente	1	3743,5	4117,5	4674,4	24,9%	13,5%
	2	4159,9	4501,2	4991,8	20,0%	10,9%
Promedio nor-poniente		17600,4	18288,4	19221,9	9,2%	5,1%
Promedio sur-oriente		3951,7	4309,4	4833,1	22,3%	12,2%
Promedio total		10776,1	11298,9	12027,5	11,6%	6,4%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 17.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	13859,7	14944,6	16348,0	18,0%	9,4%
	2	14326,0	15314,2	16669,2	16,4%	8,8%
Sur-oriente	1	5374,4	5936,9	6822,7	26,9%	14,9%
	2	5813,8	6323,8	7105,5	22,2%	12,4%
Promedio nor-poniente		14092,9	15129,4	16508,6	17,1%	9,1%
Promedio sur-oriente		5594,1	6130,4	6964,1	24,5%	13,6%
Promedio total		9843,5	10629,9	11736,4	19,2%	10,4%

Tabla 6. Iluminancia caso 1 mes de diciembre.

	Meses	Iluminancia mensual promedio (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Meses críticos	Junio	3982,7	4425,3	5047,2	26,7%	14,1%
	Septiembre	8364,4	9091,5	10141,1	21,2%	11,5%
	Diciembre	10433,0	11156,6	12177,3	16,7%	9,1%

Tabla 7. Iluminancia mensual promedio caso 1.

El caso 1 posee una relación H/W de 0,38 y corresponde a la relación de menor magnitud dentro de los cañones analizados (Fig. 16). A pesar de ello se pueden apreciar diferencias considerables entre los valores de reflectancia. Los mayores aportes de iluminancia son alcanzados en el mes de junio y aumentan hasta un 36,1% (Tabla 4), comparando las reflectancia de 84%/9% y hasta un 18,7% comparando las reflectancias de 84%/43% en el mes de septiembre (Tabla 5), mientras que el menor aporte se alcanza en el mes de diciembre, siendo de 8,6% y 4,9% según las mismas comparaciones. (Tabla 6).

En general el aporte de iluminancia es mayor en las fachadas menos favorables, a excepción de los meses septiembre y diciembre a las 9.00 hrs. producto del bajo ángulo solar de la mañana y la orientación del cañón (Tablas 5 y 6). También se puede observar que el aumento de iluminancia por reflectancia de las superficies es mayor en el primer nivel, acentuando el beneficio para las situaciones menos favorables, lo que produce finalmente una distribución de la luz natural más equitativa. Además, según la Tabla 7, el aporte lumínico porcentual en el mes más crítico (junio) es mayor que en los meses de septiembre y diciembre, siendo este último en el que menor porcentaje de aporte posee. En el mes de junio se alcanzan aportes de 26,7% y 14,1% comparando los valores de reflectancia 84%/9% y 84%/43% respectivamente.

5.2.2 CASO 2: relación H/W 0,66 (San Martín).

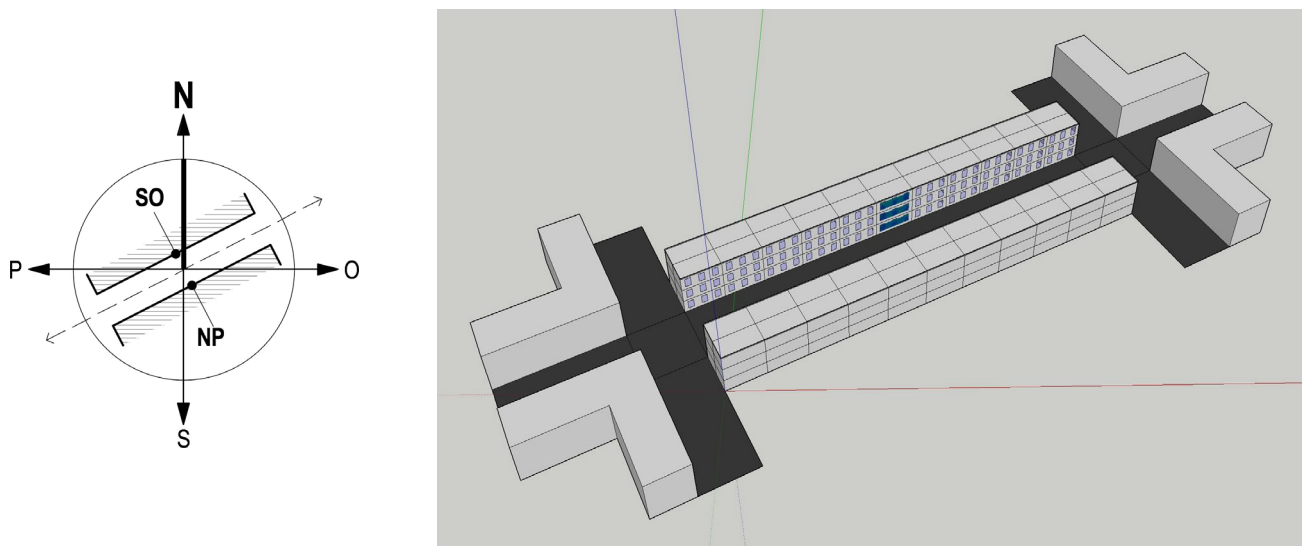


Fig. 17. Orientación y modelación caso 2.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	1967,4	2211,4	2522,6	28,2%	14,1%
	2	2109,5	2367,5	2671,8	26,7%	12,9%
	3	2248,2	2504,6	2791,9	24,2%	11,5%
Sur-oriente	1	1439,4	1629,8	1889,8	31,3%	16,0%
	2	1560,0	1748,9	1995,9	27,9%	14,1%
	3	1681,9	1867,0	2096,4	24,6%	12,3%
Promedio nor-poniente		2108,4	2361,2	2662,1	26,3%	12,7%
Promedio sur-oriente		1560,4	1748,6	1994,0	27,8%	14,0%
Promedio total		1834,4	2054,9	2328,1	26,9%	13,3%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	11480,7	13271,7	15330,0	33,5%	15,5%
	2	12326,7	14173,6	16262,9	31,9%	14,7%
	3	12854,6	14697,4	16718,2	30,1%	13,7%
Sur-oriente	1	3339,6	4107,0	5341,4	59,9%	30,1%
	2	3584,1	4181,0	5281,9	47,4%	26,3%
	3	3878,4	4376,1	5291,3	36,4%	20,9%
Promedio nor-poniente		12220,7	14047,6	16103,7	31,8%	14,6%
Promedio sur-oriente		3600,7	4221,4	5304,9	47,3%	25,7%
Promedio total		7910,7	9134,5	10704,3	35,3%	17,2%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 17.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	1443,8	1610,5	1814,2	25,7%	12,6%
	2	1607,6	1797,5	2025,9	26,0%	12,7%
	3	1949,8	2333,2	2742,4	40,7%	17,5%
Sur-oriente	1	976,5	1129,0	1317,7	34,9%	16,7%
	2	1044,9	1186,6	1352,7	29,5%	14,0%
	3	1128,6	1251,6	1399,6	24,0%	11,8%

Promedio nor-poniente	1667,1	1913,7	2194,2	31,6%	14,7%
Promedio sur-orientado	1050,0	1189,1	1356,7	29,2%	14,1%
Promedio total	1358,5	1551,4	1775,4	30,7%	14,4%

Tabla 8. Iluminancia caso 2 mes de junio.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	4385,6	4975,9	5757,5	31,3%	15,7%
	2	4760,3	5350,1	6102,9	28,2%	14,1%
	3	5132,3	5698,8	6403,3	24,8%	12,4%
Sur-orientado	1	8844,2	9551,3	10443,0	18,1%	9,3%
	2	9284,6	9961,4	10821,9	16,6%	8,6%
	3	9669,0	10332,5	11142,9	15,2%	7,8%
Promedio nor-poniente		4759,4	5341,6	6087,9	27,9%	14,0%
Promedio sur-orientado		9265,9	9948,4	10802,6	16,6%	8,6%
Promedio total		7012,7	7645,0	8445,3	20,4%	10,5%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	17803,8	19659,0	21760,4	22,2%	10,7%
	2	18513,3	20420,6	22499,6	21,5%	10,2%
	3	19092,8	20884,9	22856,6	19,7%	9,4%
Sur-orientado	1	4007,6	4833,6	6039,4	50,7%	24,9%
	2	4233,0	4927,3	5968,9	41,0%	21,1%
	3	4638,7	5200,6	6101,1	31,5%	17,3%
Promedio nor-poniente		18470,0	20321,5	22372,2	21,1%	10,1%
Promedio sur-orientado		4293,1	4987,2	6036,5	40,6%	21,0%
Promedio total		11381,5	12654,3	14204,3	24,8%	12,2%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 17.00 (lux)			Aporte lumínico	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	5172,3	6119,7	7262,1	40,4%	18,7%
	2	7760,5	9005,1	10420,7	34,3%	15,7%
	3	8134,6	9345,8	10719,0	31,8%	14,7%
Sur-orientado	1	2719,9	3270,5	4099,9	50,7%	25,4%
	2	2920,2	3391,5	4086,4	39,9%	20,5%
	3	3163,8	3550,6	4156,8	31,4%	17,1%
Promedio nor-poniente		7022,5	8156,9	9467,3	34,8%	16,1%
Promedio sur-orientado		2934,6	3404,2	4114,4	40,2%	20,9%
Promedio total		4978,6	5780,5	6790,8	36,4%	17,5%

Tabla 9. Iluminancia caso 2 mes de septiembre.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	4890,3	5701,3	6890,1	40,9%	20,9%
	2	5243,2	5965,4	7043,3	34,3%	18,1%
	3	5688,7	6335,1	7251,9	27,5%	14,5%
Sur-orientado	1	14376,5	15795,5	17477,2	21,6%	10,6%
	2	15013,0	16457,5	18153,5	20,9%	10,3%
	3	15574,7	16976,6	18547,4	19,1%	9,3%

Promedio nor-poniente		5274,1	6000,6	7061,8	33,9%	17,7%
Promedio sur-oriente		14988,1	16409,9	18059,4	20,5%	10,1%
Promedio total		10131,1	11205,2	12560,6	24,0%	12,1%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	17013,3	17944,7	19007,9	11,7%	5,9%
	2	17214,1	18067,1	19068,6	10,8%	5,5%
	3	17557,4	18339,0	19229,8	9,5%	4,9%
Sur-oriente	1	3499,2	4034,6	4760,6	36,0%	18,0%
	2	3626,5	4108,1	4748,7	30,9%	15,6%
	3	4017,7	4412,2	4967,7	23,6%	12,6%
Promedio nor-poniente		17261,6	18116,9	19102,1	10,7%	5,4%
Promedio sur-oriente		3714,5	4185,0	4825,7	29,9%	15,3%
Promedio total		10488,0	11151,0	11963,9	14,1%	7,3%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 17.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	12860,6	14117,3	15640,3	21,6%	10,8%
	2	13498,0	14739,2	16210,1	20,1%	10,0%
	3	14010,2	15232,3	16602,5	18,5%	9,0%
Sur-oriente	1	4846,0	5603,7	6619,8	36,6%	18,1%
	2	5180,3	5881,9	6849,5	32,2%	16,5%
	3	5607,8	6258,6	7097,4	26,6%	13,4%
Promedio nor-poniente		13456,3	14696,3	16151,0	20,0%	9,9%
Promedio sur-oriente		5211,4	5914,7	6855,6	31,6%	15,9%
Promedio total		9333,8	10305,5	11503,3	23,2%	11,6%

Tabla 10. Iluminancia caso 2 mes de diciembre.

Fachadas	Niveles	Iluminancia mensual promedio (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Meses críticos	Junio	3701,2	4246,9	4935,9	33,4%	16,2%
	Septiembre	5843,2	6520,0	7360,1	26,0%	12,9%
	Diciembre	7488,2	8165,4	9006,9	20,3%	10,3%

Tabla 11. Iluminancia mensual promedio caso 2.

El caso 2 posee una relación H/W de 0,66 y en comparación a los otros casos, es un valor medio (Fig. 17). A pesar de ello se pueden apreciar diferencias considerables entre los valores de reflectancia. Los mayores aportes de iluminación son alcanzados en el mes de junio, aumentando hasta un 59,9% y 30,1%, comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente (Tabla 8) mientras que los menores aportes son alcanzados en el mes de diciembre, siendo de 9,5% y 4,9% según las mismas comparaciones (Tabla 10).

El aporte de iluminación es mayor en las fachadas menos favorables, a excepción de los meses septiembre y diciembre a las 9.00 hrs. (Tablas 9 y 10) producto del bajo ángulo solar de la mañana y la orientación del cañón urbano, al igual que en el caso 1. También se puede observar que el aumento de iluminación por reflectancia de las superficies es mayor en el primer nivel, acentuando el beneficio para las situaciones menos favorables, lo que produce finalmente una distribución de la luz natural más equitativa. Además, según la Tabla 11, el aporte lumínico porcentual en el mes más crítico (junio) es

mayor que en los meses de septiembre y diciembre, siendo este último en el que menor porcentaje de aporte posee. En el mes de junio se alcanzan aportes de 33,4% y 16,2% comparando los valores de reflectancia 84%/9% y 84%/43% respectivamente.

5.2.3 CASO 3: relación H/W 0,94 (Barros Arana).

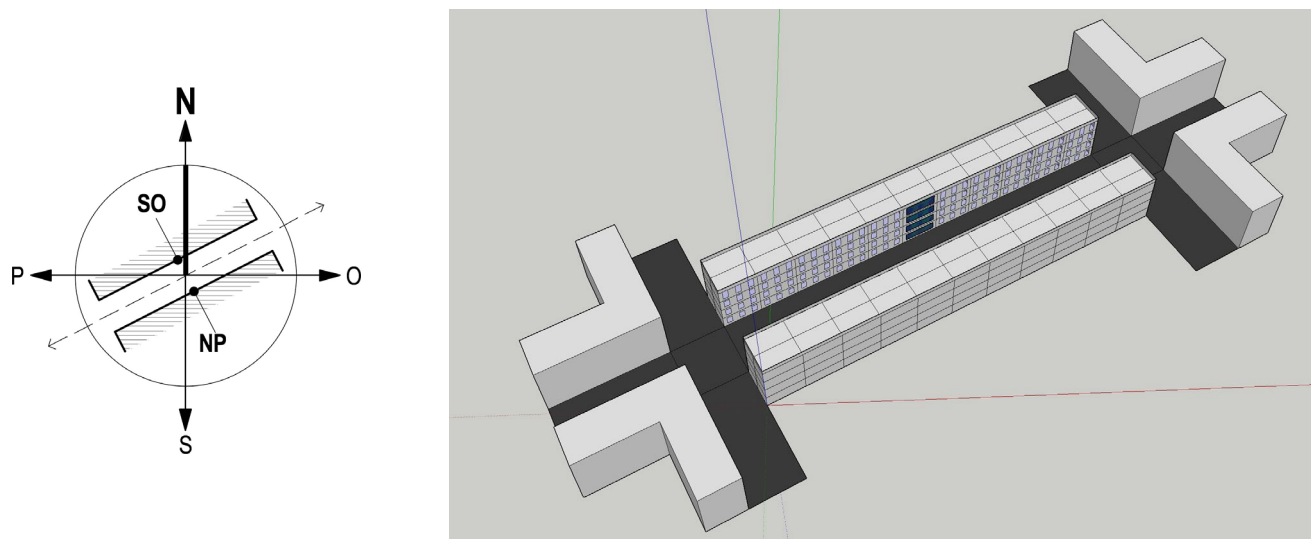


Fig. 18. Orientación y modelación caso 3.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	1342,0	1552,9	1847,5	37,7%	19,0%
	2	1761,3	2002,6	2327,2	32,1%	16,2%
	3	1913,2	2163,5	2490,8	30,2%	15,1%
	4	2049,1	2359,2	2734,2	33,4%	15,9%
Sur-oriente	1	1263,8	1454,3	1743,9	38,0%	19,9%
	2	1397,3	1584,2	1856,9	32,9%	17,2%
	3	1533,7	1719,9	1976,8	28,9%	14,9%
	4	1618,6	1832,9	2116,3	30,7%	15,5%
Promedio nor-poniente		1766,4	2019,6	2349,9	33,0%	16,4%
Promedio sur-oriente		1453,4	1647,8	1923,5	32,3%	16,7%
Promedio total		1609,9	1833,7	2136,7	32,7%	16,5%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	Nivel 1	4944,2	5639,2	6747,5	36,5%	19,7%
	Nivel 2	9297,9	10881,0	12757,9	37,2%	17,2%
	Nivel 3	11502,3	13338,3	15538,1	35,1%	16,5%
	Nivel 4	12128,9	14347,4	16890,2	39,3%	17,7%
Sur-oriente	Nivel 1	2983,3	3911,8	5248,6	75,9%	34,2%
	Nivel 2	3248,4	4073,2	5273,3	62,3%	29,5%
	Nivel 3	3531,5	4188,9	5239,6	48,4%	25,1%
	Nivel 4	3701,6	4319,8	5387,4	45,5%	24,7%
Promedio nor-poniente		9468,3	11051,5	12983,4	37,1%	17,5%
Promedio sur-oriente		3366,2	4123,4	5287,2	57,1%	28,2%
Promedio total		6417,3	7587,5	9135,3	42,4%	20,4%

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 17.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	Nivel 1	1102,5	1242,7	1445,0	31,1%	16,3%
	Nivel 2	1255,4	1417,2	1626,9	29,6%	14,8%
	Nivel 3	1424,2	1609,7	1837,9	29,0%	14,2%
	Nivel 4	1676,5	2084,0	2521,4	50,4%	21,0%
Sur-oriente	Nivel 1	874,0	1028,7	1252,5	43,3%	21,8%
	Nivel 2	951,2	1107,8	1316,3	38,4%	18,8%
	Nivel 3	1032,4	1173,5	1370,5	32,7%	16,8%
	Nivel 4	1077,8	1224,7	1436,8	33,3%	17,3%
Promedio nor-poniente		1364,7	1588,4	1857,8	36,1%	17,0%
Promedio sur-oriente		983,9	1133,7	1344,0	36,6%	18,6%
Promedio total		1174,3	1361,0	1600,9	36,3%	17,6%

Tabla 12. Iluminancia caso 3 mes de junio.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	Nivel 1	3441,9	4021,8	4886,8	42,0%	21,5%
	Nivel 2	3806,8	4411,5	5249,6	37,9%	19,0%
	Nivel 3	4196,7	4772,1	5595,6	33,3%	17,3%
	Nivel 4	4564,1	5249,4	6185,5	35,5%	17,8%
Sur-oriente	Nivel 1	8280,0	8959,7	9863,4	19,1%	10,1%
	Nivel 2	8733,8	9385,5	10268,5	17,6%	9,4%
	Nivel 3	9194,2	9845,8	10691,7	16,3%	8,6%
	Nivel 4	9449,3	10246,9	11215,5	18,7%	9,5%
Promedio nor-poniente		4002,4	4613,7	5479,4	36,9%	18,8%
Promedio sur-oriente		8914,3	9609,5	10509,8	17,9%	9,4%
Promedio total		6458,4	7111,6	7994,6	23,8%	12,4%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	Nivel 1	15928,2	17699,4	20023,4	25,7%	13,1%
	Nivel 2	16804,5	18534,0	20779,5	23,7%	12,1%
	Nivel 3	17525,0	19350,9	21598,2	23,2%	11,6%
	Nivel 4	18154,7	20266,4	22732,3	25,2%	12,2%
Sur-oriente	Nivel 1	3655,9	4723,6	6292,9	72,1%	33,2%
	Nivel 2	3899,1	4823,9	6244,1	60,1%	29,4%
	Nivel 3	4190,0	4933,9	6163,0	47,1%	24,9%
	Nivel 4	4396,9	5104,5	6326,3	43,9%	23,9%
Promedio nor-poniente		17103,1	18962,7	21283,4	24,4%	12,2%
Promedio sur-oriente		4035,5	4896,5	6256,6	55,0%	27,8%
Promedio total		10569,3	11929,6	13770,0	30,3%	15,4%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 17.00 (lux)			Aporte lumínico	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	Nivel 1	3264,7	3737,7	4431,6	35,7%	18,6%
	Nivel 2	3762,7	4536,7	5483,7	45,7%	20,9%
	Nivel 3	7225,3	8457,6	9935,3	37,5%	17,5%
	Nivel 4	7610,4	9114,4	10839,8	42,4%	18,9%

Sur-orientado	Nivel 1	2405,1	3043,5	3960,6	64,7%	30,1%
	Nivel 2	2645,9	3218,2	4066,4	53,7%	26,4%
	Nivel 3	2876,7	3363,7	4101,3	42,6%	21,9%
	Nivel 4	3018,0	3488,5	4258,7	41,1%	22,1%
Promedio nor-poniente		5465,8	6461,6	7672,6	40,4%	18,7%
Promedio sur-orientado		2736,4	3278,5	4096,8	49,7%	25,0%
Promedio total		4101,1	4870,0	5884,7	43,5%	20,8%

Tabla 13. Iluminancia caso 3 mes de septiembre.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	Nivel 1	3906,5	4807,5	6185,2	58,3%	28,7%
	Nivel 2	4253,2	5094,3	6408,4	50,7%	25,8%
	Nivel 3	4610,7	5386,6	6570,4	42,5%	22,0%
	Nivel 4	5025,5	5823,1	7086,4	41,0%	21,7%
Sur-orientado	Nivel 1	13398,7	14726,2	16499,7	23,1%	12,0%
	Nivel 2	14151,4	15443,8	17181,9	21,4%	11,3%
	Nivel 3	14918,1	16248,7	17912,9	20,1%	10,2%
	Nivel 4	15278,0	16911,3	18812,1	23,1%	11,2%
Promedio nor-poniente		4449,0	5277,9	6562,6	47,5%	24,3%
Promedio sur-orientado		14436,6	15832,5	17601,7	21,9%	11,2%
Promedio total		9442,8	10555,2	12082,1	28,0%	14,5%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	Nivel 1	16062,3	17041,8	18329,3	14,1%	7,6%
	Nivel 2	16291,5	17194,2	18365,1	12,7%	6,8%
	Nivel 3	16508,0	17350,5	18436,4	11,7%	6,3%
	Nivel 4	16831,1	17759,7	18934,0	12,5%	6,6%
Sur-orientado	Nivel 1	3305,2	3939,6	4854,6	46,9%	23,2%
	Nivel 2	3462,2	4027,1	4850,9	40,1%	20,5%
	Nivel 3	3615,9	4081,2	4788,7	32,4%	17,3%
	Nivel 4	3771,3	4222,9	4941,5	31,0%	17,0%
Promedio nor-poniente		16423,2	17336,6	18516,2	12,7%	6,8%
Promedio sur-orientado		3538,7	4067,7	4858,9	37,3%	19,5%
Promedio total		9980,9	10702,1	11687,6	17,1%	9,2%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 17.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	Nivel 1	11337,8	12549,5	14188,7	25,1%	13,1%
	Nivel 2	11997,6	13187,6	14767,8	23,1%	12,0%
	Nivel 3	12614,0	13850,7	15417,9	22,2%	11,3%
	Nivel 4	13157,8	14636,5	16400,3	24,6%	12,1%
Sur-orientado	Nivel 1	4289,5	5144,5	6377,3	48,7%	24,0%
	Nivel 2	4709,6	5478,7	6680,6	41,9%	21,9%
	Nivel 3	5124,9	5823,4	6879,7	34,2%	18,1%
	Nivel 4	5371,5	6136,1	7247,1	34,9%	18,1%
Promedio nor-poniente		12276,8	13556,1	15193,7	23,8%	12,1%
Promedio sur-orientado		4873,9	5645,7	6796,2	39,4%	20,4%
Promedio total		8575,3	9600,9	10994,9	28,2%	14,5%

Tabla 14. Iluminancia caso 3 mes de diciembre.

Fachadas	Niveles	Iluminancia mensual promedio (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Meses críticos	Junio	3067,1	3594,1	4291,0	39,9%	19,4%
	Septiembre	5282,2	5977,8	6912,3	30,9%	15,6%
	Diciembre	9333,0	10286,1	11588,2	24,2%	12,7%

Tabla 15. Iluminancia mensual promedio caso 3.

En el caso 3, al igual que en los casos anteriores, se puede observar que el aporte de iluminancia es mayor para los materiales de alto valor de reflectancia siendo las diferencias de valores de iluminancia mayores que en los casos anteriores debido a su relación H/W superior de 0,94 (Fig. 18). Los mayores aportes de iluminancia son alcanzados en el mes de junio y aumentan hasta un 75,9% y 34,2%, comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente (Tabla 12), mientras que los menores son alcanzados en el mes de diciembre, siendo de 11,7% y 6,3% respectivamente (Tabla 14).

Los aportes de iluminancia son mayores para la fachada menos favorable a excepción de las 9.00 hrs. de la totalidad de los meses (Tablas 12, 13, 14) producto del bajo ángulo solar de la mañana y la orientación del cañón. También se puede observar que el aumento de iluminancia porcentualmente es mayor en los primeros niveles, aunque esta relación es menos constante que en los cañones anteriores. Además, el aporte lumínico porcentual es mayor en el mes más crítico (junio) (Tabla 15) seguido por septiembre y diciembre, En el mes de junio se alcanzan aportes de 39,9% y 19,4% comparando los valores de reflectancia 84%/9% y 84%/43% respectivamente.

5.2.4 CASO 4: relación H/W 0,56 (Lincoyán).

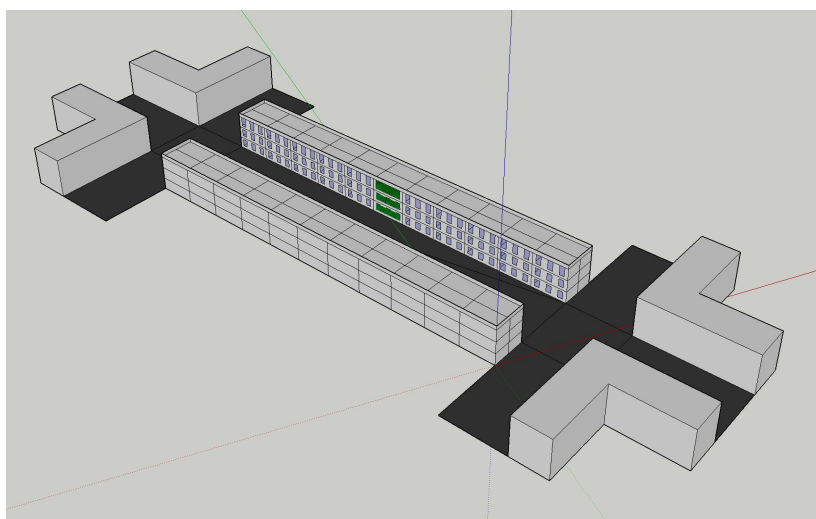
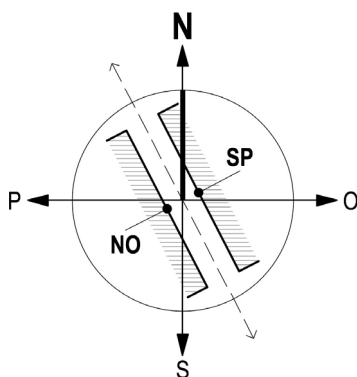


Fig. 19. Orientación y modelación caso 4.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orienté	1	1931,1	2107,4	2364,7	22,5%	12,2%
	2	2094,6	2304,2	2589,0	23,6%	12,4%
	3	2480,1	2976,5	3627,9	46,3%	21,9%
Sur-poniente	1	1212,3	1357,1	1585,1	30,8%	16,8%
	2	1262,2	1404,0	1632,2	29,3%	16,3%
	3	1301,4	1456,1	1712,0	31,6%	17,6%

Promedio nor-orient		2168,6	2462,7	2860,5	31,9%	16,2%
Promedio sur-poniente		1258,6	1405,7	1643,1	30,5%	16,9%
Promedio total		1713,6	1934,2	2251,8	31,4%	16,4%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	11438,7	12413,8	13883,9	21,4%	11,8%
	2	11818,0	12873,9	14377,1	21,7%	11,7%
	3	12049,5	13338,3	15063,0	25,0%	12,9%
Sur-poniente	1	4447,2	4972,1	5889,2	32,4%	18,4%
	2	4662,0	5201,0	6082,5	30,5%	16,9%
	3	4813,6	5445,8	6477,1	34,6%	18,9%
Promedio nor-orient		11768,7	12875,3	14441,3	22,7%	12,2%
Promedio sur-poniente		4640,9	5206,3	6149,6	32,5%	18,1%
Promedio total		8204,8	9040,8	10295,5	25,5%	13,9%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 17.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	1153,5	1283,0	1493,9	29,5%	16,4%
	2	1210,3	1340,6	1541,7	27,4%	15,0%
	3	1254,4	1402,8	1631,7	30,1%	16,3%
Sur-poniente	1	1432,5	1563,1	1764,6	23,2%	12,9%
	2	1546,1	1751,7	2043,9	32,2%	16,7%
	3	1920,1	2250,5	2689,2	40,1%	19,5%
Promedio nor-orient		1206,1	1342,1	1555,8	29,0%	15,9%
Promedio sur-poniente		1632,9	1855,1	2165,9	32,6%	16,8%
Promedio total		1419,5	1598,6	1860,8	31,1%	16,4%

Tabla 16. Iluminancia caso 4 mes de junio.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	9375,6	10650,4	12405,5	32,3%	16,5%
	2	11167,0	12750,7	14882,0	33,3%	16,7%
	3	11469,6	13378,6	15917,9	38,8%	19,0%
Sur-poniente	1	3069,3	3610,4	4534,2	47,7%	25,6%
	2	3175,9	3645,3	4496,5	41,6%	23,4%
	3	3284,3	3771,9	4695,9	43,0%	24,5%
Promedio nor-orient		10670,7	12259,9	14401,8	35,0%	17,5%
Promedio sur-poniente		3176,5	3675,9	4575,5	44,0%	24,5%
Promedio total		6923,6	7967,9	9488,7	37,0%	19,1%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	17093,0	18091,7	19575,1	14,5%	8,2%
	2	17434,2	18465,4	19859,4	13,9%	7,5%
	3	17660,3	18866,3	20462,6	15,9%	8,5%
Sur-poniente	1	5783,4	6399,5	7405,3	28,0%	15,7%
	2	6020,9	6617,8	7649,8	27,1%	15,6%
	3	6212,2	6940,3	8094,7	30,3%	16,6%
Promedio nor-orient		17395,8	18474,5	19965,7	14,8%	8,1%
Promedio sur-poniente		6005,5	6652,5	7716,6	28,5%	16,0%
Promedio total		11700,7	12563,5	13841,2	18,3%	10,2%

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 17.00 (lux)			Aporte lumínico	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	2839,9	3282,4	4000,6	40,9%	21,9%
	2	2963,9	3363,3	4049,8	36,6%	20,4%
	3	3064,0	3498,4	4265,3	39,2%	21,9%
Sur-poniente	1	7702,5	8693,6	10062,1	30,6%	15,7%
	2	8089,2	9177,6	10677,9	32,0%	16,3%
	3	8297,7	9623,3	11394,1	37,3%	18,4%
Promedio nor-orient		2955,9	3381,4	4105,2	38,9%	21,4%
Promedio sur-poniente		8029,8	9164,8	10711,4	33,4%	16,9%
Promedio total		5492,9	6273,1	7408,3	34,9%	18,1%

Tabla 17. Iluminancia caso 4 mes de septiembre.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	15707,9	17304,3	19562,5	24,5%	13,0%
	2	16345,4	18021,8	20355,7	24,5%	13,0%
	3	16653,9	18684,3	21445,0	28,8%	14,8%
Sur-poniente	1	4179,2	4825,6	5982,9	43,2%	24,0%
	2	4326,3	4928,2	6035,9	39,5%	22,5%
	3	4473,7	5117,7	6341,7	41,8%	23,9%
Promedio nor-orient		16235,7	18003,5	20454,4	26,0%	13,6%
Promedio sur-poniente		4326,4	4957,2	6120,2	41,5%	23,5%
Promedio total		10281,1	11480,3	13287,3	29,2%	15,7%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	16484,5	17024,2	17832,3	8,2%	4,7%
	2	16592,1	17080,4	17859,0	7,6%	4,6%
	3	16732,9	17294,2	18121,4	8,3%	4,8%
Sur-poniente	1	4405,8	4829,0	5501,3	24,9%	13,9%
	2	4500,2	4904,4	5545,3	23,2%	13,1%
	3	6084,2	6524,2	7231,4	18,9%	10,8%
Promedio nor-orient		16603,2	17132,9	17937,6	8,0%	4,7%
Promedio sur-poniente		4996,7	5419,2	6092,7	21,9%	12,4%
Promedio total		10800,0	11276,1	12015,1	11,3%	6,6%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 17.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	3835,3	4492,2	5617,6	46,5%	25,1%
	2	3982,3	4552,0	5616,1	41,0%	23,4%
	3	4119,2	4750,0	5933,9	44,1%	24,9%
Sur-poniente	1	14399,7	15979,3	18179,5	26,2%	13,8%
	2	15051,0	16737,7	19126,3	27,1%	14,3%
	3	15347,7	17424,5	20182,9	31,5%	15,8%
Promedio nor-orient		3978,9	4598,1	5722,5	43,8%	24,5%
Promedio sur-poniente		14932,8	16713,8	19162,9	28,3%	14,7%
Promedio total		9455,9	10656,0	12442,7	31,6%	16,8%

Tabla 18. Iluminancia caso 4 mes de diciembre.

Fachadas	Niveles	Iluminancia mensual promedio (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect. 84%	84%/9%	84%/43%
Meses críticos	Junio	3779,3	4191,2	4802,7	27,1%	14,6%
	Septiembre	6029,3	6701,1	7684,5	27,5%	14,7%
	Diciembre	7634,2	8353,1	9436,3	23,6%	13,0%

Tabla 19. Iluminancia mensual promedio caso 4.

El caso 4, con una relación H/W de 0,56 (Fig. 19), es un caso similar al caso 2 pero difiere en la orientación del cañón. Los valores de iluminancia aumentan hasta un 47,7% y 25,6% en el mes de septiembre comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente (Tabla 17), mientras el menor aporte es alcanzado en el mes de diciembre, siendo de 7,6% y 4,6% respectivamente (Tabla 18).

Los aportes de iluminancia, en similitud a los casos anteriores, son mayores para la fachada menos favorable a excepción de los meses septiembre y diciembre a las 17.00 hrs. (Tablas 17 y 18). producto del bajo ángulo solar de la tarde y la orientación del cañón urbano. El aumento de iluminancia, a diferencia de los casos anteriores, porcentualmente es mayor en nivel 3, aunque esta relación es menos constante que en los cañones anteriores. Además, según la Tabla 19, el aporte lumínico porcentual, es levemente mayor en el mes de septiembre que en el mes de junio, alcanzando un 27,5% y 14,7% según las mismas comparaciones, siendo el mes de diciembre el que menor aporte porcentual presenta.

5.2.5 CASO 5: relación H/W 1,25 (Aníbal Pinto).

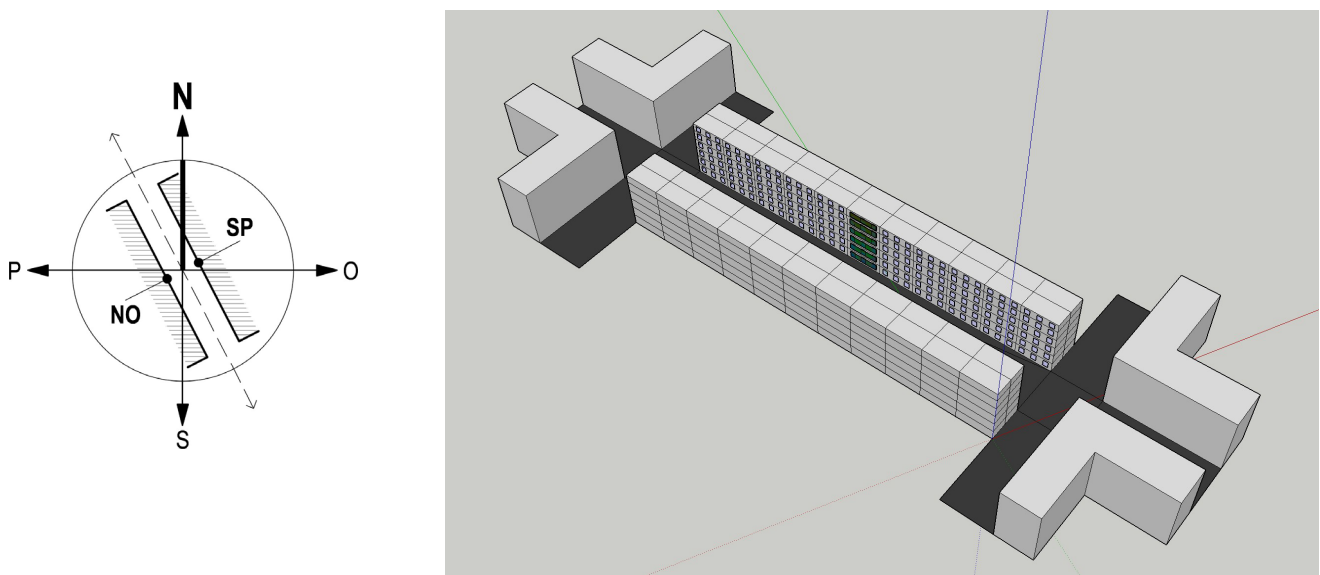


Fig. 20. Orientación y modelación caso 5.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect. 84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orientado	1	1134,7	1259,1	1500,0	32,2%	19,1%
	2	1318,0	1450,8	1704,6	29,3%	17,5%
	3	1507,6	1651,2	1917,7	27,2%	16,1%
	4	1738,6	1917,3	2205,8	26,9%	15,0%
	5	1943,7	2149,6	2467,5	26,9%	14,8%
	6	2597,5	3137,1	3847,0	48,1%	22,6%

Sur-poniente	1	820,2	968,0	1222,2	49,0%	26,3%
	2	905,5	1061,8	1328,9	46,8%	25,2%
	3	986,1	1139,1	1400,7	42,0%	23,0%
	4	1077,4	1227,6	1479,4	37,3%	20,5%
	5	1151,6	1278,4	1508,2	31,0%	18,0%
	6	1305,4	1444,7	1691,6	29,6%	17,1%
Promedio nor-oriente		1706,7	1927,5	2273,8	33,2%	18,0%
Promedio sur-poniente		1041,0	1186,6	1438,5	38,2%	21,2%
Promedio total		1373,9	1557,1	1856,1	35,1%	19,2%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-oriente	1	8955,1	9813,4	11396,5	27,3%	16,1%
	2	9515,2	10438,3	12020,2	26,3%	15,2%
	3	10101,8	11026,7	12547,8	24,2%	13,8%
	4	10772,4	11753,9	13365,6	24,1%	13,7%
	5	11276,1	12279,8	13799,9	22,4%	12,4%
	6	11904,0	13075,1	14754,9	23,9%	12,8%
Sur-poniente	1	2973,8	3693,8	4972,7	67,2%	34,6%
	2	3285,9	3983,0	5323,5	62,0%	33,7%
	3	3594,1	4231,5	5453,6	51,7%	28,9%
	4	3955,5	4554,6	5747,9	45,3%	26,2%
	5	4261,1	4777,7	5786,6	35,8%	21,1%
	6	4822,7	5387,8	6429,8	33,3%	19,3%
Promedio nor-oriente		10420,8	11397,9	12980,8	24,6%	13,9%
Promedio sur-poniente		3815,5	4438,1	5619,0	47,3%	26,6%
Promedio total		7118,1	7918,0	9299,9	30,7%	17,5%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 17.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-oriente	1	760,5	884,6	1102,2	44,9%	24,6%
	2	848,2	976,6	1201,6	41,7%	23,0%
	3	936,9	1062,5	1285,4	37,2%	21,0%
	4	1030,8	1160,6	1390,5	34,9%	19,8%
	5	1111,5	1227,8	1440,1	29,6%	17,3%
	6	1248,3	1385,2	1605,0	28,6%	15,9%
Sur-poniente	1	888,1	992,3	1178,3	32,7%	18,7%
	2	1017,0	1124,5	1333,9	31,2%	18,6%
	3	1136,1	1254,0	1461,7	28,7%	16,6%
	4	1285,6	1422,9	1646,3	28,1%	15,7%
	5	1511,8	1722,3	2023,7	33,9%	17,5%
	6	1899,7	2201,8	2622,8	38,1%	19,1%
Promedio nor-oriente		989,4	1116,2	1337,5	35,2%	19,8%
Promedio sur-poniente		1289,7	1453,0	1711,1	32,7%	17,8%
Promedio total		1139,5	1284,6	1524,3	33,8%	18,7%

Tabla 20. Iluminancia caso 5 mes de junio.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-oriente	1	3465,1	3877,1	4757,6	37,3%	22,7%
	2	4116,8	4561,8	5457,3	32,6%	19,6%
	3	4821,8	5335,6	6270,0	30,0%	17,5%
	4	7868,0	9141,5	10938,2	39,0%	19,7%
	5	10709,0	12224,4	14353,0	34,0%	17,4%
	6	11299,4	13105,8	15516,4	37,3%	18,4%
Sur-poniente	1	2124,3	2771,3	3858,1	81,6%	39,2%
	2	2326,8	3006,1	4183,9	79,8%	39,2%
	3	2521,3	3181,0	4319,4	71,3%	35,8%
	4	2731,3	3290,3	4381,9	60,4%	33,2%
	5	2895,5	3334,7	4236,2	46,3%	27,0%
	6	3313,6	3744,8	4670,7	41,0%	24,7%
Promedio nor-oriente		7046,7	8041,0	9548,8	35,5%	18,8%
Promedio sur-poniente		2652,1	3221,4	4275,0	61,2%	32,7%
Promedio total		4849,4	5631,2	6911,9	42,5%	22,7%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-oriente	1	14474,5	15404,3	17082,6	18,0%	10,9%
	2	15057,4	16003,8	17603,3	16,9%	10,0%
	3	15621,1	16512,2	18055,6	15,6%	9,3%
	4	16223,0	17170,0	18727,0	15,4%	9,1%
	5	16700,1	17601,4	19055,5	14,1%	8,3%
	6	17500,3	18563,4	20148,4	15,1%	8,5%
Sur-poniente	1	4055,2	4781,8	6161,6	51,9%	28,9%
	2	4416,5	5161,6	6567,1	48,7%	27,2%
	3	4756,3	5444,0	6766,1	42,3%	24,3%
	4	5124,6	5765,3	7042,6	37,4%	22,2%
	5	5434,7	6018,7	7108,5	30,8%	18,1%
	6	6283,7	6910,7	8021,1	27,6%	16,1%
Promedio nor-oriente		15929,4	16875,9	18445,4	15,8%	9,3%
Promedio sur-poniente		5011,8	5680,4	6944,5	38,6%	22,3%
Promedio total		10470,6	11278,1	12695,0	21,2%	12,6%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 17.00 (lux)			Aporte lumínico	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-oriente	1	1919,4	2415,6	3272,8	70,5%	35,5%
	2	2120,8	2640,2	3561,5	67,9%	34,9%
	3	2318,2	2812,3	3695,8	59,4%	31,4%
	4	2537,3	2988,1	3823,9	50,7%	28,0%
	5	2706,9	3076,0	3789,0	40,0%	23,2%
	6	3074,9	3460,6	4199,1	36,6%	21,3%
Sur-poniente	1	2712,7	3022,3	3675,3	35,5%	21,6%
	2	3139,8	3496,8	4196,1	33,6%	20,0%
	3	3622,2	4011,1	4738,2	30,8%	18,1%
	4	6630,1	7596,9	9003,7	35,8%	18,5%
	5	7727,9	8778,2	10278,5	33,0%	17,1%
	6	8187,8	9420,6	11101,6	35,6%	17,8%

Promedio nor-orient	2446,3	2898,8	3723,7	52,2%	28,5%
Promedio sur-poniente	5336,8	6054,3	7165,6	34,3%	18,4%
Promedio total	3891,5	4476,6	5444,6	39,9%	21,6%

Tabla 21. Iluminancia caso 5 mes de septiembre.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	5148,0	5765,8	7109,5	38,1%	23,3%
	2	10128,2	11368,8	13500,0	33,3%	18,7%
	3	13855,2	15293,4	17643,5	27,3%	15,4%
	4	14920,9	16485,0	18961,5	27,1%	15,0%
	5	15626,5	17257,9	19662,8	25,8%	13,9%
	6	16417,1	18275,3	20961,8	27,7%	14,7%
Sur-poniente	1	2929,5	3916,6	5631,9	92,2%	43,8%
	2	3181,4	4158,4	5910,5	85,8%	42,1%
	3	3443,1	4293,4	5896,6	71,3%	37,3%
	4	3713,6	4443,0	5927,1	59,6%	33,4%
	5	3938,5	4519,9	5783,4	46,8%	28,0%
	6	4539,5	5136,3	6358,5	40,1%	23,8%
Promedio nor-orient		12682,7	14074,4	16306,5	28,6%	15,9%
Promedio sur-poniente		3624,3	4411,3	5918,0	63,3%	34,2%
Promedio total		8153,5	9242,8	11112,3	36,3%	20,2%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	15287,4	15845,4	16843,6	10,2%	6,3%
	2	15491,6	16044,1	17001,1	9,7%	6,0%
	3	15663,6	16155,3	17045,5	8,8%	5,5%
	4	15886,6	16347,8	17172,6	8,1%	5,0%
	5	16044,2	16479,8	17196,6	7,2%	4,3%
	6	16754,0	17214,1	17938,6	7,1%	4,2%
Sur-poniente	1	3396,3	3875,1	4772,2	40,5%	23,2%
	2	3580,9	4052,1	4942,1	38,0%	22,0%
	3	3732,5	4150,7	4923,8	31,9%	18,6%
	4	3882,1	4263,7	4983,5	28,4%	16,9%
	5	4045,0	4377,4	4995,9	23,5%	14,1%
	6	11378,9	11739,8	12349,4	8,5%	5,2%
Promedio nor-orient		15854,6	16347,8	17199,7	8,5%	5,2%
Promedio sur-poniente		5002,6	5409,8	6161,2	23,2%	13,9%
Promedio total		10428,6	10878,8	11680,4	12,0%	7,4%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 17.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	2680,8	3603,3	5196,9	93,9%	44,2%
	2	2931,3	3847,6	5468,8	86,6%	42,1%
	3	3174,0	3986,6	5450,3	71,7%	36,7%
	4	3406,9	4111,9	5501,8	61,5%	33,8%
	5	3629,6	4174,5	5312,5	46,4%	27,3%
	6	4180,2	4736,5	5907,3	41,3%	24,7%
Sur-poniente	1	4679,0	5208,1	6335,5	35,4%	21,6%
	2	5507,7	6144,7	7432,3	34,9%	21,0%
	3	12464,6	13920,8	16164,0	29,7%	16,1%

	4	13645,6	15284,1	17705,8	29,8%	15,8%
	5	14420,2	16034,1	18402,2	27,6%	14,8%
	6	15145,8	17074,7	19773,3	30,6%	15,8%
Promedio nor-oriente		3333,8	4076,7	5472,9	64,2%	34,2%
Promedio sur-poniente		10977,2	12277,8	14302,2	30,3%	16,5%
Promedio total		7155,5	8177,2	9887,6	38,2%	20,9%

Tabla 22. Iluminancia caso 5 mes de diciembre.

Fachadas	Niveles	Iluminancia mensual promedio (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect. 84%	84%/9%	84%/43%
Meses críticos	Junio	3210,5	3586,5	4226,8	31,7%	17,9%
	Septiembre	6403,8	7128,6	8350,5	30,4%	17,1%
	Diciembre	8579,2	9432,9	10893,4	27,0%	15,5%

Tabla 23. Iluminancia mensual promedio caso 5.

El caso 5 posee una relación H/W de 1,25 y es el segundo con mayor relación entre los cañón urbano estudiados (Fig. 20). El caso 5 resalta de los otros por ser el cañón con mayor altura dentro de los estudiados, alcanzando 17,45m de alto, correspondiente a 6 niveles de altura. Los mayores y menores aportes de iluminancia son alcanzados en el mes de diciembre, siendo los mayores aportes de 93,9% y 44,2% y los menores de 7,1% y 4,2%, comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente (Tabla 22).

Los aportes de iluminancia, en similitud al caso anterior, son mayores para la fachada menos favorable a excepción a las 17.00 hrs. de la totalidad de los meses producto del bajo ángulo solar de la tarde y la orientación del cañón urbano (Tablas 20, 21, 22). El aumento de iluminancia, al igual que en la mayoría de los casos, porcentualmente es mayor en los primeros niveles, acentuando el beneficio para las situaciones menos favorables, lo que produce finalmente una distribución de la luz natural más equitativa. Según la Tabla 23, el aporte lumínico porcentual es mayor en el mes de junio, alcanzando 31,7% y 17,9% según las mismas comparaciones, seguido por septiembre y diciembre.

4.3.6 CASO 6: relación H/W 1,96 (Aurelio Manzano).

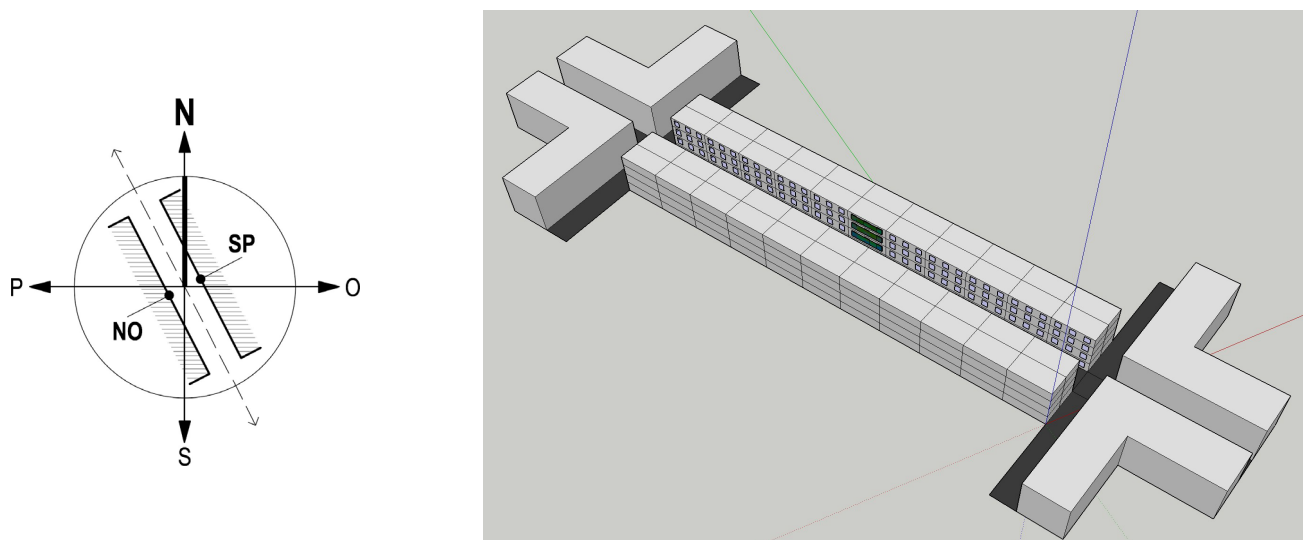


Fig. 21. Orientación y modelación caso 6.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	826,5	917,1	1125,5	36,2%	22,7%
	2	1111,5	1228,1	1476,2	32,8%	20,2%
	3	1550,6	1702,4	1986,1	28,1%	16,7%
	4	2156,7	2485,9	2947,2	36,7%	18,6%
Sur-poniente	1	653,4	773,1	999,6	53,0%	29,3%
	2	807,4	958,9	1229,9	52,3%	28,3%
	3	1014,4	1174,3	1446,1	42,6%	23,1%
	4	1258,7	1387,1	1611,7	28,0%	16,2%
Promedio nor-orient		1411,3	1583,4	1883,8	33,5%	19,0%
Promedio sur-poniente		933,5	1073,4	1321,8	41,6%	23,1%
Promedio total		1172,4	1328,4	1602,8	36,7%	20,7%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	2875,3	3288,2	4280,6	48,9%	30,2%
	2	8301,9	9113,4	10666,2	28,5%	17,0%
	3	10238,9	11190,5	12757,3	24,6%	14,0%
	4	11685,0	12656,6	14117,5	20,8%	11,5%
Sur-poniente	1	2354,6	2989,4	4172,6	77,2%	39,6%
	2	2942,7	3642,4	4981,0	69,3%	36,8%
	3	3696,2	4327,1	5574,3	50,8%	28,8%
	4	4642,8	5137,8	6108,6	31,6%	18,9%
Promedio nor-orient		8275,3	9062,2	10455,4	26,3%	15,4%
Promedio sur-poniente		3409,1	4024,2	5209,1	52,8%	29,4%
Promedio total		5842,2	6543,2	7832,3	34,1%	19,7%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 junio 17.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	591,0	687,5	879,2	48,8%	27,9%
	2	749,0	865,6	1082,9	44,6%	25,1%
	3	958,8	1087,1	1311,1	36,7%	20,6%
	4	1207,2	1321,1	1518,7	25,8%	15,0%
Sur-poniente	1	661,4	742,1	912,5	38,0%	23,0%
	2	869,6	965,9	1164,5	33,9%	20,6%
	3	1171,5	1285,8	1510,3	28,9%	17,5%
	4	1750,2	1968,9	2297,5	31,3%	16,7%
Promedio nor-orient		876,5	990,3	1198,0	36,7%	21,0%
Promedio sur-poniente		1113,2	1240,7	1471,2	32,2%	18,6%
Promedio total		994,8	1115,5	1334,6	34,2%	19,6%

Tabla 24. Iluminancia caso 6 mes de junio.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orient	1	2417,0	2724,3	3474,8	43,8%	27,5%
	2	3376,2	3779,4	4639,6	37,4%	22,8%
	3	4978,7	5649,6	6791,9	36,4%	20,2%
	4	11026,7	12535,8	14621,7	32,6%	16,6%
Sur-poniente	1	1692,0	2208,9	3100,7	83,3%	40,4%
	2	2092,2	2738,1	3888,7	85,9%	42,0%

	3	2590,0	3238,4	4401,9	70,0%	35,9%
	4	3196,0	3602,5	4437,6	38,8%	23,2%
Promedio nor-orientado		5449,7	6172,3	7382,0	35,5%	19,6%
Promedio sur-poniente		2392,6	2947,0	3957,2	65,4%	34,3%
Promedio total		3921,1	4559,6	5669,6	44,6%	24,3%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orientado	1	13261,4	14042,0	15601,8	17,6%	11,1%
	2	14373,0	15216,9	16817,3	17,0%	10,5%
	3	15762,9	16653,2	18223,0	15,6%	9,4%
	4	17240,1	18116,0	19488,5	13,0%	7,6%
Sur-poniente	1	3303,6	4017,1	5462,4	65,3%	36,0%
	2	4023,5	4753,2	6215,5	54,5%	30,8%
	3	4886,7	5538,0	6864,6	40,5%	24,0%
	4	6070,3	6583,3	7602,9	25,2%	15,5%
Promedio nor-orientado		15159,4	16007,0	17532,7	15,7%	9,5%
Promedio sur-poniente		4571,0	5222,9	6536,4	43,0%	25,1%
Promedio total		9865,2	10615,0	12034,5	22,0%	13,4%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 septiembre 17.00 (lux)			Aporte lumínico	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orientado	1	1508,0	1903,0	2627,9	74,3%	38,1%
	2	1892,5	2376,1	3290,3	73,9%	38,5%
	3	2381,4	2872,5	3805,9	59,8%	32,5%
	4	2965,2	3313,6	3989,9	34,6%	20,4%
Sur-poniente	1	1936,1	2192,1	2770,5	43,1%	26,4%
	2	2630,8	2946,7	3633,7	38,1%	23,3%
	3	3763,5	4332,0	5301,4	40,9%	22,4%
	4	7996,2	9021,3	10502,0	31,3%	16,4%
Promedio nor-orientado		2186,8	2616,3	3428,5	56,8%	31,0%
Promedio sur-poniente		4081,7	4623,0	5551,9	36,0%	20,1%
Promedio total		3134,2	3619,7	4490,2	43,3%	24,1%

Tabla 25. Iluminancia caso 6 mes de septiembre.

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 9.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orientado	1	3572,9	4044,3	5192,9	45,3%	28,4%
	2	5000,0	5637,7	7016,8	40,3%	24,5%
	3	14046,6	15556,2	17948,4	27,8%	15,4%
	4	16068,4	17649,7	19973,9	24,3%	13,2%
Sur-poniente	1	2373,9	3179,5	4655,4	96,1%	46,4%
	2	2908,1	3859,7	5639,0	93,9%	46,1%
	3	3530,9	4355,6	5982,2	69,4%	37,3%
	4	4387,6	4921,0	6070,9	38,4%	23,4%
Promedio nor-orientado		9672,0	10722,0	12533,0	29,6%	16,9%
Promedio sur-poniente		3300,1	4079,0	5586,9	69,3%	37,0%
Promedio total		6486,1	7400,5	9059,9	39,7%	22,4%

Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 13.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-oriente	1	14699,9	15213,6	16207,4	10,3%	6,5%
	2	15242,9	15717,2	16651,0	9,2%	5,9%
	3	15794,5	16222,4	17027,8	7,8%	5,0%
	4	16583,3	16959,8	17575,4	6,0%	3,6%
Sur-poniente	1	2943,7	3415,5	4334,1	47,2%	26,9%
	2	3385,6	3804,4	4696,1	38,7%	23,4%
	3	3835,1	4180,2	4933,8	28,6%	18,0%
	4	10311,9	10587,0	11146,4	8,1%	5,3%
Promedio nor-oriente		15580,2	16028,3	16865,4	8,2%	5,2%
Promedio sur-poniente		5119,1	5496,8	6277,6	22,6%	14,2%
Promedio total		10349,6	10762,5	11571,5	11,8%	7,5%
Fachadas	Niveles	Iluminancia 21 diciembre 17.00 (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-oriente	Nivel 1	2141,9	2874,3	4188,5	95,6%	45,7%
	Nivel 2	2649,4	3544,8	5133,5	93,8%	44,8%
	Nivel 3	3256,3	4045,8	5541,4	70,2%	37,0%
	Nivel 4	4025,7	4526,6	5580,1	38,6%	23,3%
Sur-poniente	Nivel 1	3224,3	3623,9	4630,7	43,6%	27,8%
	Nivel 2	4530,6	5058,5	6263,9	38,3%	23,8%
	Nivel 3	11472,3	12892,1	15121,2	31,8%	17,3%
	Nivel 4	14824,6	16431,6	18729,0	26,3%	14,0%
Promedio nor-oriente		3018,3	3747,9	5110,9	69,3%	36,4%
Promedio sur-poniente		8513,0	9501,5	11186,2	31,4%	17,7%
Promedio total		5765,6	6624,7	8148,5	41,3%	23,0%

Tabla 26. Iluminancia caso 6 mes de diciembre.

Fachadas	Niveles	Iluminancia mensual promedio (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Meses críticos	Junio	2669,8	2995,7	3589,9	34,5%	19,8%
	Septiembre	4230,1	4698,6	5548,6	31,2%	18,1%
	Diciembre	7533,8	8262,6	9593,3	27,3%	16,1%

Tabla 27. Iluminancia mensual promedio caso6.

El caso 6, a pesar de solo contar con 4 niveles, posee una relación H/W de 1,96 y es el cañón mayor relación entre los estudiados, esto debido a su estrecha vía de solo 6 m de ancho (Fig. 21). Los mayores y menores aportes de iluminancia son alcanzados en el mes de diciembre, siendo estos de 96,1% y 46,4%, como los mayores aportes, y de 6,0% y 3,6% , como los menores comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente (Tabla 26).

Los aportes de iluminancia, en similitud a los casos de igual orientación, son mayores para la fachada menos favorable a excepción a las 17.00 hrs. de la totalidad de los meses producto del bajo ángulo solar de la tarde y la orientación del cañón urbano (Tablas 24, 25, 26). El aumento de iluminancia, al igual que el casos anterior, porcentualmente es mayor en los primeros niveles, acentuando el beneficio para las situaciones menos favorables, lo que produce finalmente una distribución de la luz natural más equitativa. Además, según la Tabla 27, el aporte lumínico porcentual, es mayor en el mes de junio, alcanzando un 34,5% y 19,8% comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente, seguido por septiembre y diciembre.

5.3. Análisis comparativo valores promedio.

En esta etapa se analizarán los valores de iluminancia obtenidos del promedio total, considerando los meses y horarios de la matriz 3x3, para cada caso según orientación, nivel, fachada, reflectancia del material de fachada y aportes porcentuales.

Se realizará un análisis comparativo entre cada uno de los valores obtenidos para conocer la influencia de la reflectancia del material de fachada en la disponibilidad de luz natural.

5.3.1 Iluminancia promedio caso 1: relación H/W 0,38 (Freire).

Fachadas	Niveles	Iluminancia promedio (lux)			Aporte lumínico	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	9513,0	10338,5	11463,8	20,5%	10,9%
	2	9892,4	10674,7	11740,0	18,7%	10,0%
Sur-oriente	1	5327,3	5808,5	6546,8	22,9%	12,7%
	2	5640,6	6076,2	6737,0	19,4%	10,9%
Promedio nor-poniente		9702,7	10506,6	11601,9	19,6%	10,4%
Promedio sur-oriente		5484,0	5942,4	6641,9	21,1%	11,8%
Promedio total		7593,3	8224,5	9121,9	20,1%	10,9%

Tabla 28. Iluminancia promedio caso 1.

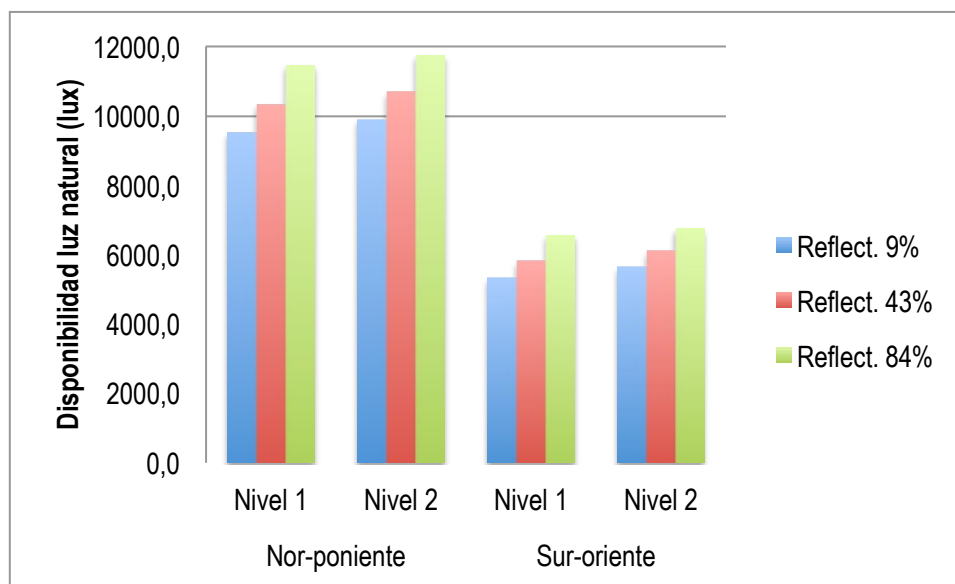


Fig. 22. Gráfico iluminancia promedio caso 1.

La Fig. 22 muestra que el caso 1, siendo el caso con menor relación H/W, es el cañón con mayor disponibilidad de luz natural, la fachada sur-oriente recibe entre 4000 lux y 5000 lux menos que la fachada nor-poniente, lo que equivale a un 40% de diferencia entre ambas aproximadamente.

Se observan aumentos de iluminancia por reflectancia del material de 1100 lux y 1900 lux en la fachada nor-poniente, mientras que en la fachada sur-oriente se aprecian aumentos de 700 lux y 1160 lux aproximadamente comparando las reflectancias de 84%/43% y 84%/9% respectivamente. También se distingue una leve diferencia de iluminancia entre

niveles en ambos niveles de entre 200 lux y 300 lux aproximadamente, siendo el nivel 1 el que presenta el nivel de iluminancia más bajo (Tabla 28).

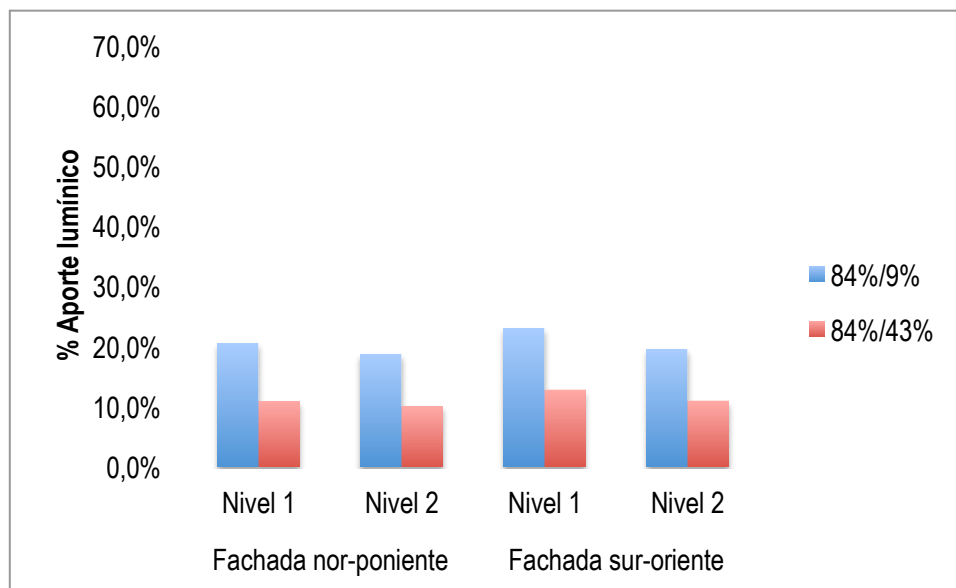


Fig. 23. Gráfico de aporte lumínico promedio caso 1.

Según la Fig. 23, porcentualmente la fachada sur-oriente se encuentra ligeramente más favorecida. Se observan aportes por reflectancia del material de 21,1% y 11,8% comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente, mientras que la fachada nor-poniente presenta aportes de 19,6% y 10,4%. De igual modo ocurre con el aporte lumínico según niveles, donde el primer nivel es el que mayor aporte presenta, habiendo diferencias de 1,8% y 0,9% en la fachada nor-poniente, mientras que en la fachada sur-oriente son de 3,5% y 1,8% (Tabla 28).

5.3.2 Iluminancia promedio caso 2: relación H/W 0,66 (San Martín).

Fachadas	Niveles	Iluminancia promedio (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	7701,8	8561,2	9598,5	24,6%	12,1%
	2	8303,3	9188,6	10230,6	23,2%	11,3%
	3	8666,9	9537,1	10531,6	21,5%	10,4%
Sur-oriente	1	4404,9	4995,5	5798,9	31,6%	16,1%
	2	4644,7	5184,4	5925,9	27,6%	14,3%
	3	4936,1	5422,6	6080,1	23,2%	12,1%
Promedio nor-poniente		8224,0	9095,6	10120,2	23,1%	11,3%
Promedio sur-oriente		4661,9	5200,8	5935,0	27,3%	14,1%
Promedio total		6442,9	7148,2	8027,6	24,6%	12,3%

Tabla 29. Iluminancia promedio caso 2.

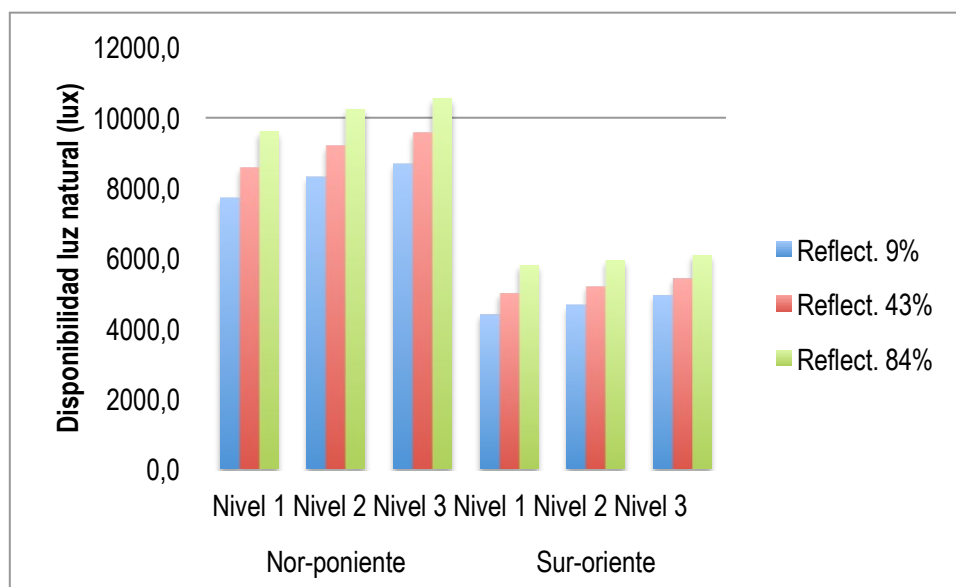


Fig. 24. Gráfico de iluminancia promedio caso 2.

En la Fig. 24 se observa que, en el caso 2, la fachada sur-oriente recibe entre 3600 lux y 4200 lux menos que la fachada nor-poniente, lo que equivale a un 40% de diferencia entre ambas aproximadamente.

Se observan aumentos de iluminancia por reflectancia del material de 1900 lux y 1030 lux en la fachada nor-poniente, mientras que en la fachada sur-oriente se aprecian aumentos de 1270 lux y 730 lux aproximadamente comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente (Tabla 29).

También se distingue, como en el caso anterior, una diferencia de iluminancia entre niveles entre 300 lux y 700 lux en la fachada nor-poniente y entre 150 lux y 300 lux en la fachada sur-oriente aproximadamente, siendo el nivel 1 el que presenta el nivel de iluminancia más bajo.

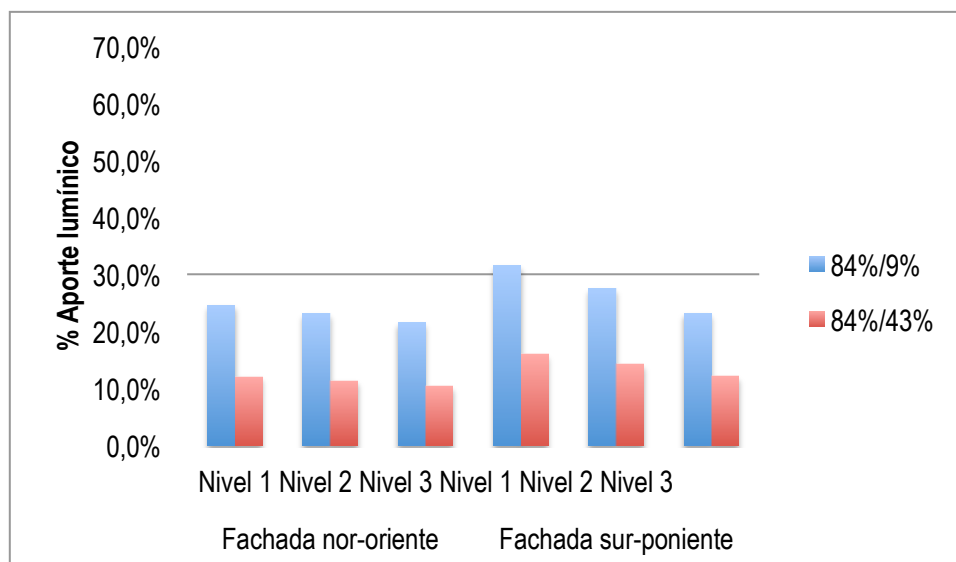


Fig. 25. Gráfico de aporte lumínico promedio caso 2.

Según la Fig. 25, en concordancia con el caso 1, porcentualmente la fachada sur-oriente es la más favorecida, alcanzando en promedio aportes por reflectancia del material de 27,3% y 14,1% comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente, mientras que la fachada nor-poniente presenta aportes de 23,1% y 11,3% (Tabla 29).

La Fig. 25 también muestra que el primer nivel es el que mayor aumento de iluminación presenta. Se observan diferencias entre el primero y último nivel de 2,1% y 1,4% en la fachada nor-poniente, mientras que en la fachada sur-oriente son de 5,2% y 3,1% (Tabla 29).

5.3.3 Iluminancia promedio caso 3: relación H/W 0,94 (Barros Arana).

Fachadas	Niveles	Iluminancia promedio (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente	1	6133,0	6829,3	7808,5	27,3%	14,3%
	2	6923,1	7725,9	8776,6	26,8%	13,6%
	3	7751,9	8628,0	9742,1	25,7%	12,9%
	4	8119,8	9164,0	10432,4	28,5%	13,8%
Sur-oriente	1	4045,6	4693,2	5609,4	38,7%	19,5%
	2	4319,9	4914,2	5773,9	33,7%	17,5%
	3	4601,7	5137,9	5912,4	28,5%	15,1%
	4	4768,3	5348,8	6174,2	29,5%	15,4%
Promedio nor-poniente		7232,0	8086,8	9189,9	27,1%	13,6%
Promedio sur-oriente		4433,9	5023,5	5867,5	32,3%	16,8%
Promedio total		5832,9	6555,2	7528,7	29,1%	14,9%

Tabla 30. Iluminancia promedio caso 3.

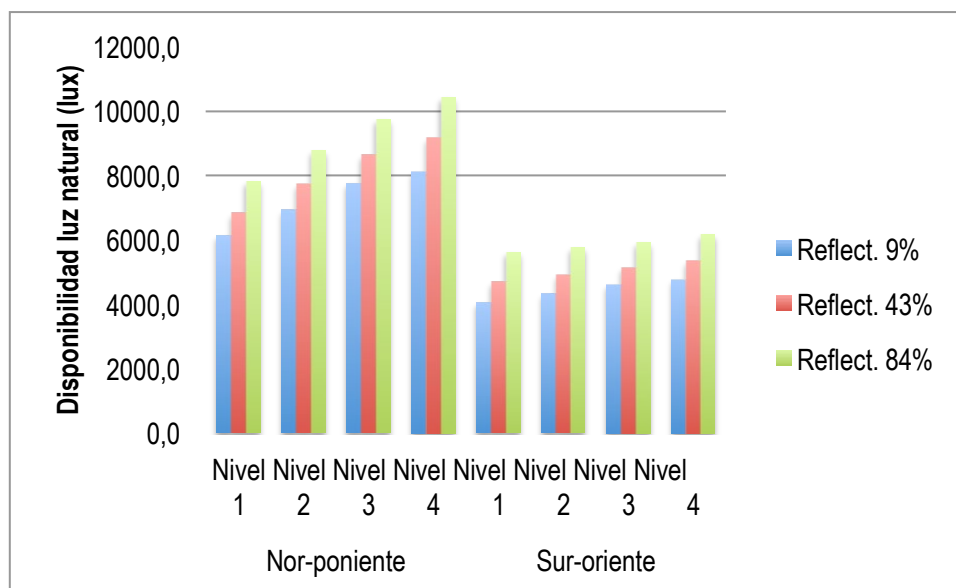


Fig. 26. Gráfico de iluminancia promedio caso 3.

En la Fig. 26 se observa que, en el caso 3, la fachada sur-oriental recibe entre 2800 lux y 3300 lux menos que la fachada nor-poniente, lo que equivale a un 40% de diferencia entre ambas aproximadamente.

La Tabla 30 muestra aumentos de iluminancia por reflectancia del material de 1960 lux y 1100 lux en la fachada nor-poniente, mientras que en la fachada sur-oriental se aprecian aumentos de 1430 lux y 840 lux aproximadamente comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente.

También en la Fig. 26 se distingue una diferencia, como en todos los casos, de iluminancia entre niveles, pero éste se destaca ya que presenta un aumento de iluminancia significativo entre sus niveles en la fachada nor-poniente, mientras que en la fachada sur-oriental esta diferencia es menos perceptible. La fachada nor-poniente presenta diferencias entre el primer y último nivel de entre 2000 lux y 2600 lux, mientras que en la fachada sur-oriental se perciben diferencias entre 500 lux y 600 lux (Tabla 30).

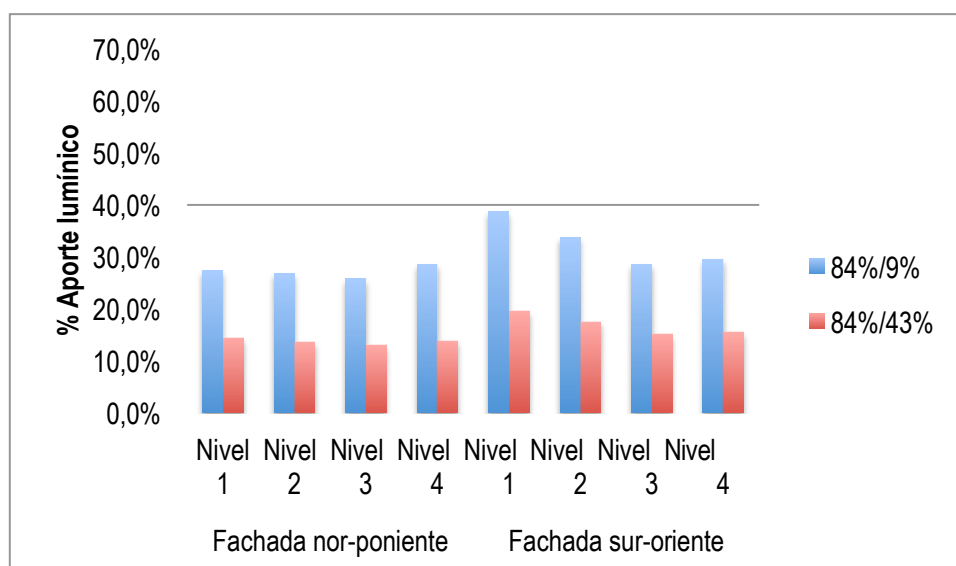


Fig. 27. Gráfico de aporte lumínico promedio caso 3.

La Fig. 27 muestra que en el caso 3, al igual que los casos anteriores, porcentualmente la fachada sur-oriental es la más favorecida. Los aportes alcanzan en promedio 32,3% y 16,8% comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente, mientras que la fachada nor-poniente presenta aportes de 27,1% y 13,6% (Tabla 30).

La Fig. 27 muestra también que, a diferencia de los casos anteriores, el primer nivel presenta el mayor aumento de iluminancia, aunque solo en la fachada sur-oriental. Los aportes son de 27,9% y 16,3% y se observa un ligero incremento en el cuarto nivel en relación al tercero de 0,6% y 0,3%. Mientras que en la fachada nor-oriental, el más favorecido es el cuarto nivel, con aportes de 28,5% y 13,8% (Tabla 30).

5.3.4 Iluminancia promedio caso 4: relación H/W 0,56 (Lincoyán).

Fachadas	Niveles	Iluminancia promedio (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-oriente	Nivel 1	7986,0	8664,9	9673,6	21,1%	11,6%
	Nivel 2	8360,8	9075,2	10113,0	21,0%	11,4%
	Nivel 3	8548,4	9418,9	10646,9	24,5%	13,0%
Sur-poniente	Nivel 1	4663,2	5223,0	6090,4	30,6%	16,6%
	Nivel 2	4863,4	5436,8	6329,0	30,1%	16,4%
	Nivel 3	5173,5	5855,4	6881,9	33,0%	17,5%
Promedio nor-oriente		8298,4	9053,0	10144,5	22,2%	12,1%
Promedio sur-poniente		4900,0	5505,1	6433,8	31,3%	16,9%
Promedio total		6599,2	7279,0	8289,1	25,6%	13,9%

Tabla 31. Iluminancia promedio caso 4.

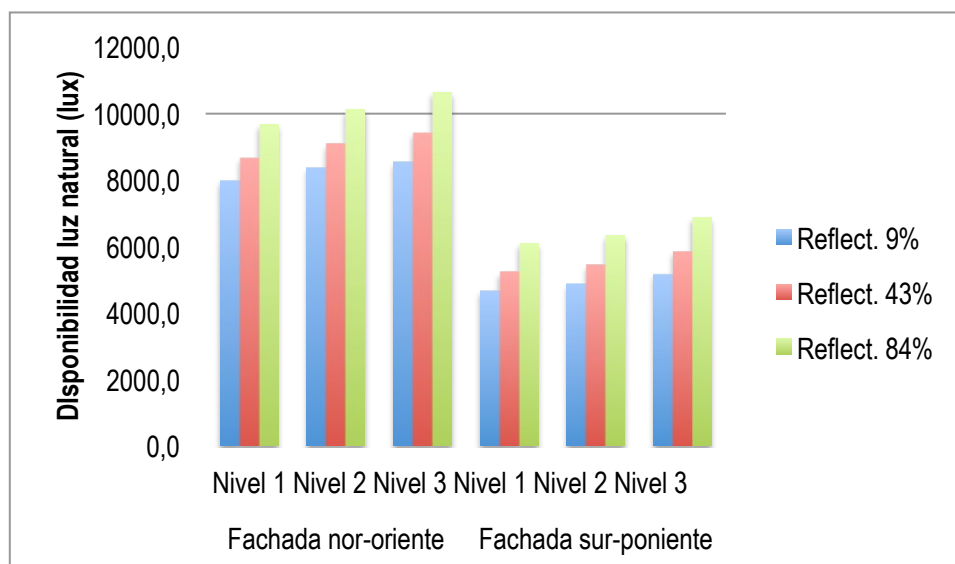


Fig. 28. Gráfico de aporte lumínico promedio caso 4.

En la Fig. 28 se observa que, para el caso 4, la fachada sur-oriente recibe entre 3400 lux y 3700 lux menos que la fachada nor-poniente, lo que equivale a un 40% de diferencia entre ambas aproximadamente.

Se observan aumentos de iluminancia por reflectancia del material de 1840 lux y 1090 lux en la fachada nor-oriente, mientras que en la fachada sur-poniente se aprecian aumentos de 1530 lux y 930 lux aproximadamente comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente (Tabla 31).

En la Fig. 28 también se distingue una diferencia, como en todos los casos, de iluminancia entre niveles. El aporte de iluminancia por nivel muestra un aumento constante y similar en ambas orientaciones, como lo es en el caso 1 y 2. La fachada nor-poniente presenta diferencias entre el primer y ultimo nivel de entre 500 lux y 1000 lux, mientras que en la fachada sur-oriente se perciben diferencias entre 500 lux y 800 lux (Tabla 31).

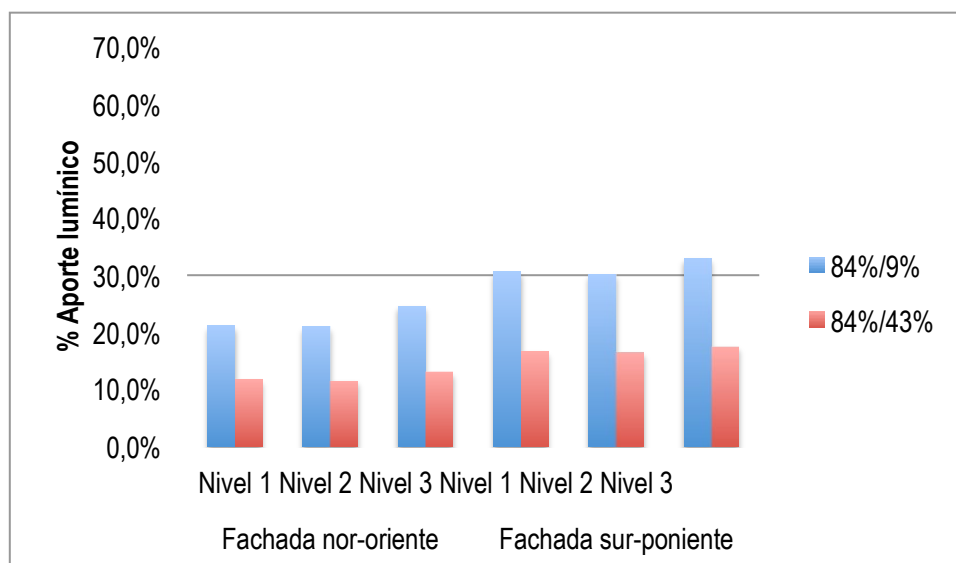


Fig. 29. Gráfico de aporte lumínico promedio caso 4.

Según la Fig. 29, al igual que los casos anteriores, porcentualmente la fachada sur-poniente es la más favorecida. Los aportes alcanzados en promedio por reflectancia del material son de 31,3% y 16,9% comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente, mientras que la fachada nor-orientada presenta aportes de 22,2% y 12,1% (Tabla 31).

La Fig. 29 muestra también que, en similitud al caso 3, el tercer nivel es el que mayor aumento de iluminancia presenta en ambas fachada seguido del primer nivel. Los aportes de iluminancia en el tercer nivel alcanzan los 24,5% y 13,0% en la fachada nor-orientada y los 33,0% y 17,5% en la fachada sur-poniente. Mientras que en el primer nivel son de 21,1% y 11,6% en la fachada nor-orientada y de 30,6% y 16,6% en la fachada sur-poniente (Tabla 31).

5.3.5 Iluminancia promedio caso 5: relación H/W 1,25 (Aníbal Pinto).

Fachadas	Niveles	Iluminancia promedio (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-orientada	1	5980,6	6541,0	7584,6	26,8%	16,0%
	2	6836,4	7481,3	8613,2	26,0%	15,1%
	3	7555,6	8204,0	9323,5	23,4%	13,6%
	4	8264,9	9008,5	10231,9	23,8%	13,6%
	5	8860,8	9607,9	10786,3	21,7%	12,3%
	6	9441,7	10328,1	11653,2	23,4%	12,8%
Sur-poniente	1	2731,0	3247,7	4200,9	53,8%	29,3%
	2	3040,2	3576,6	4579,8	50,6%	28,1%
	3	4028,5	4625,1	5680,5	41,0%	22,8%
	4	4671,8	5316,5	6435,4	37,8%	21,0%
	5	5042,9	5649,0	6680,4	32,5%	18,3%
	6	6319,7	7006,8	8113,2	28,4%	15,8%
Promedio nor-orientada		7823,4	8528,5	9698,8	24,0%	13,7%
Promedio sur-poniente		4305,7	4903,6	5948,3	38,2%	21,3%
Promedio total		6064,5	6716,0	7823,6	29,0%	16,5%

Tabla 32. Iluminancia promedio caso 5.

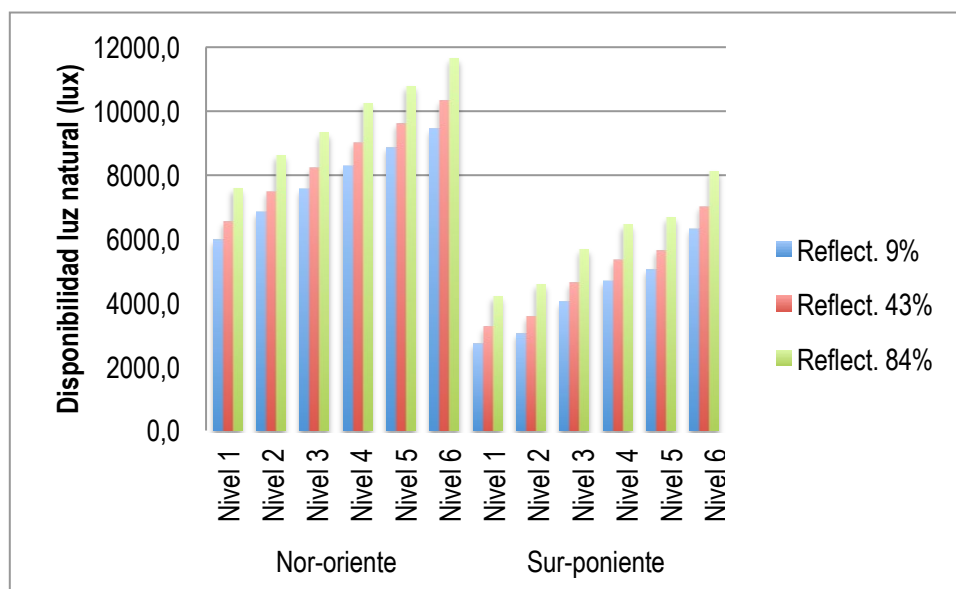


Fig. 30. Gráfico de aporte lumínico promedio caso 5.

En la Fig. 30 se observa que, para el caso 5, la fachada sur-orient recibe entre 3500 lux y 3800 lux menos que la fachada nor-poniente, lo que equivale a un 40% de diferencia entre ambas aproximadamente.

Se observa en la Tabla 32 aumentos de iluminancia por reflectancia del material de 1870 lux y 1170 lux en la fachada nor-orient, mientras que en la fachada sur-poniente se aprecian aumentos de 1640 lux y 1040 lux aproximadamente comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente.

También, en la Fig. 30, se distingue una diferencia de iluminancia entre niveles. Se observa un aumento regular y constante en la fachada nor-orient, mientras que en la fachada sur-poniente, este aumento es constante pero más irregular. La fachada nor-poniente presenta diferencias entre el primer y ultimo nivel de entre 3460 lux y 4070 lux, mientras que en la fachada sur-orient se perciben diferencias entre 3590 lux y 3910 lux (Tabla 32).

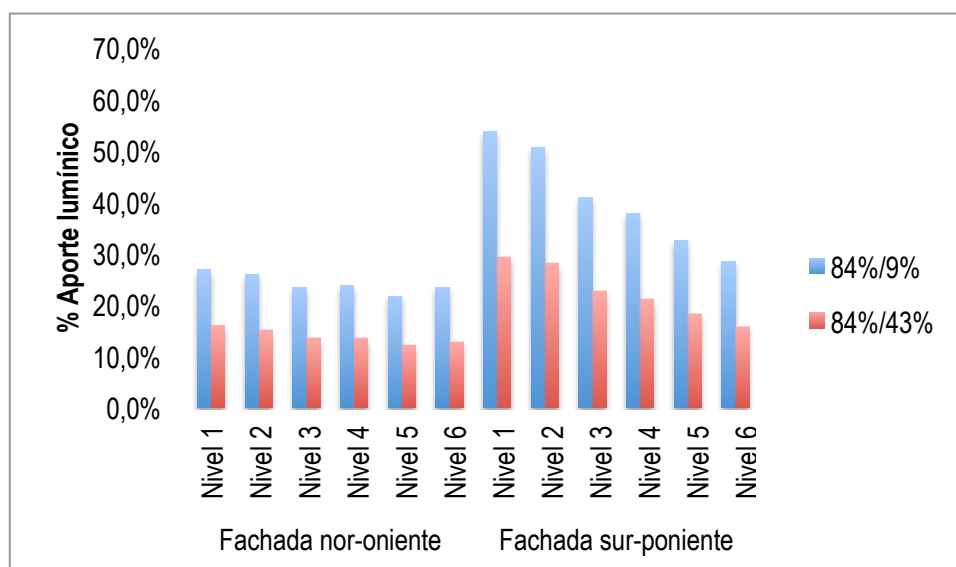


Fig. 31. Gráfico de aporte lumínico promedio caso 5.

Según la Fig. 31, al igual que los casos anteriores, porcentualmente la fachada sur-poniente es la más favorecida. Los aportes que se alcanzan en promedio por reflectancia del material son de 38,2% y 21,3% comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente, mientras que la fachada nor-oriente presenta aportes de 24,0% y 13,7% (Tabla 32).

La Fig. 31 muestra también que, en similitud a la mayoría de los casos, el primer nivel es el que mayor aumento de iluminancia presenta en ambas fachadas. Los aportes de iluminancia en el primer nivel alcanzan los 26,8% y 16,0% en la fachada nor-oriente, mientras que en la fachada sur-poniente alcanza los 53,8% y 29,3% (Tabla 32).

5.3.6 Iluminancia promedio caso 6: relación H/W 1,96 (Aurelio Manzano).

Fachadas	Niveles	Iluminancia promedio (lux)			Aporte lumínico (%)	
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	84%/9%	84%/43%
Nor-oriente	1	4189,4	4569,4	5357,9	27,9%	17,3%
	2	5269,6	5747,9	6677,4	26,7%	16,2%
	3	6896,9	7498,0	8539,3	23,8%	13,9%
	4	8295,8	8956,5	9981,3	20,3%	11,4%
Sur-poniente	1	1914,3	2314,2	3103,9	62,1%	34,1%
	2	2419,1	2872,8	3771,2	55,9%	31,3%
	3	3596,1	4132,4	5113,6	42,2%	23,7%
	4	5443,8	5964,1	6850,7	25,8%	14,9%
Promedio nor-oriente		6162,9	6693,0	7639,0	24,0%	14,1%
Promedio sur-poniente		3343,3	3820,8	4709,8	40,9%	23,3%
Promedio total		4753,1	5256,9	6174,4	29,9%	17,5%

Tabla 33. Iluminancia promedio caso 6.

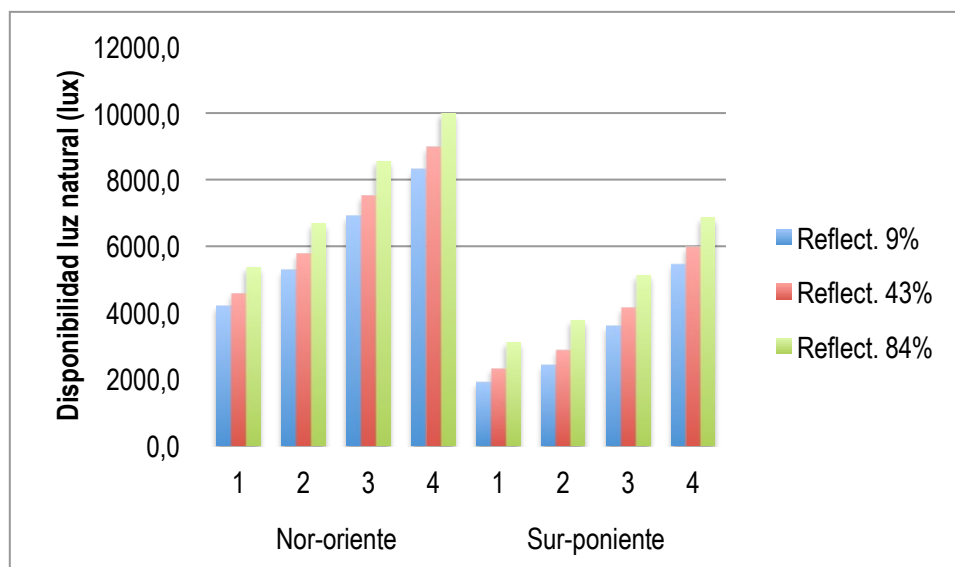


Fig. 32. Gráfico de aporte lumínico promedio caso 6.

En la Fig. 32 se observa que, para el caso 6, la fachada sur-oriente recibe entre 2820 lux y 2930 lux menos que la fachada nor-poniente, lo que equivale a un 40% de diferencia entre ambas aproximadamente.

Se observan aumentos de iluminancia por reflectancia del material de 1470 lux y 950 lux en la fachada nor-orientada, mientras que en la fachada sur-poniente se aprecian aumentos de 1370 lux y 890 lux aproximadamente comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente (Tabla 33).

También en la Fig. 32 se distingue una diferencia de iluminancia entre niveles, mostrando un aumento de iluminancia por nivel regular y constante en ambas fachadas. La fachada nor-poniente presenta diferencias entre el primer y último nivel de 4110 lux a 4630 lux, mientras que en la fachada sur-orientada se perciben diferencias entre 3530 lux y 3750 lux (Tabla 33).

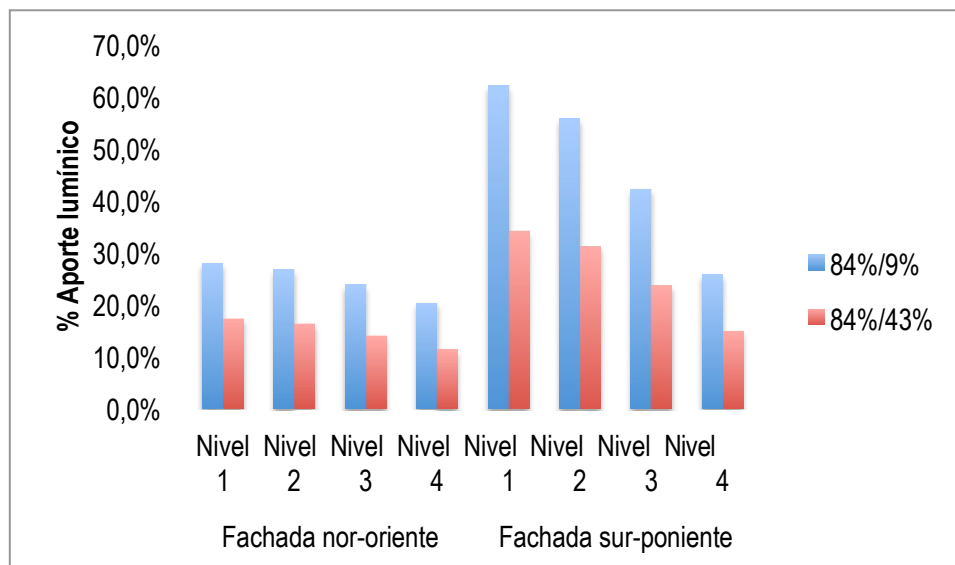


Fig. 33. Gráfico de aporte lumínico promedio caso 6.

Según la Fig. 33, al igual que en todos los casos, porcentualmente la fachada sur-poniente es la más favorecida. Los aportes en la fachada sur-poniente alcanzados como promedio por reflectancia del material son de 40,9% y 23,3% comparando las reflectancias de 84%/9% y 84%/43% respectivamente, mientras que la fachada nor-orientada presenta aportes de 24,0% y 14,1% (Tabla 33).

La Fig. 33 muestra también que, en similitud a la mayoría de los casos, el primer nivel es el que mayor aumento de iluminancia presenta en ambas fachadas. Los aportes de iluminancia en el primer nivel alcanzan los 27,9% y 17,3% en la fachada nor-orientada, mientras que en la fachada sur-orientada alcanza los 62,1% y 34,1% (Tabla 33).

5.3.7 Iluminancia comparativa promedio.

Orientación	Cañón urbano	Relación H/W	Iluminancia promedio (lux)			Aporte lumínico	
			Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect. 84%	84%/9%	84%/43%
Nor-poniente/sur-orientada	caso 1	0,38	7593,3	8224,5	9121,9	20,10%	10,90%
	caso 2	0,66	6442,9	7148,2	8027,6	24,60%	12,30%
	caso 3	0,94	5832,9	6555,2	7528,7	29,10%	14,90%
Nor-orientada/sur-poniente	caso 4	0,56	6599,2	7279	8289,1	25,60%	13,90%
	caso 5	1,25	6064,5	6716	7823,6	29,00%	16,50%
	caso 6	1,96	4753,1	5256,9	6174,4	29,90%	17,50%

Tabla 34. Iluminancia promedio comparativa.

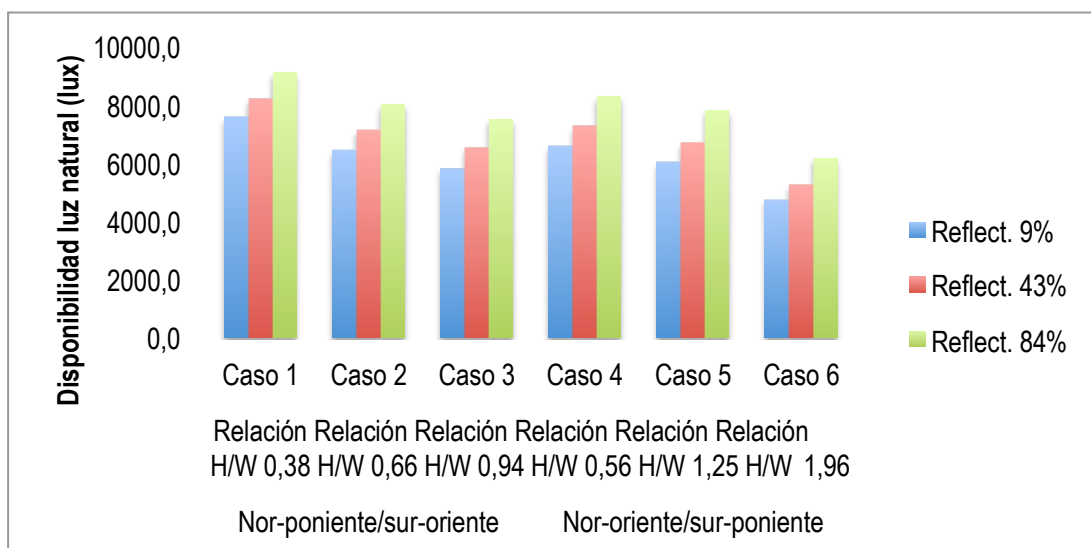


Fig. 34. Gráfico de iluminancia promedio comparativa.

La Fig. 34 muestra que el caso 1 posee los valores de iluminancia más altos entre los casos estudiados, mientras que el caso 6 presenta los niveles más bajos. A pesar de ello se observa que el aumento de iluminancia por reflectancia del material de fachada es relativamente similar en todos los casos, mostrando en el caso 1 una diferencia de 1528,6 lux entre los materiales de reflectancia 9% y 84%, mientras que en el caso 6 esta diferencia es de 1421,3 lux (Tabla 34).

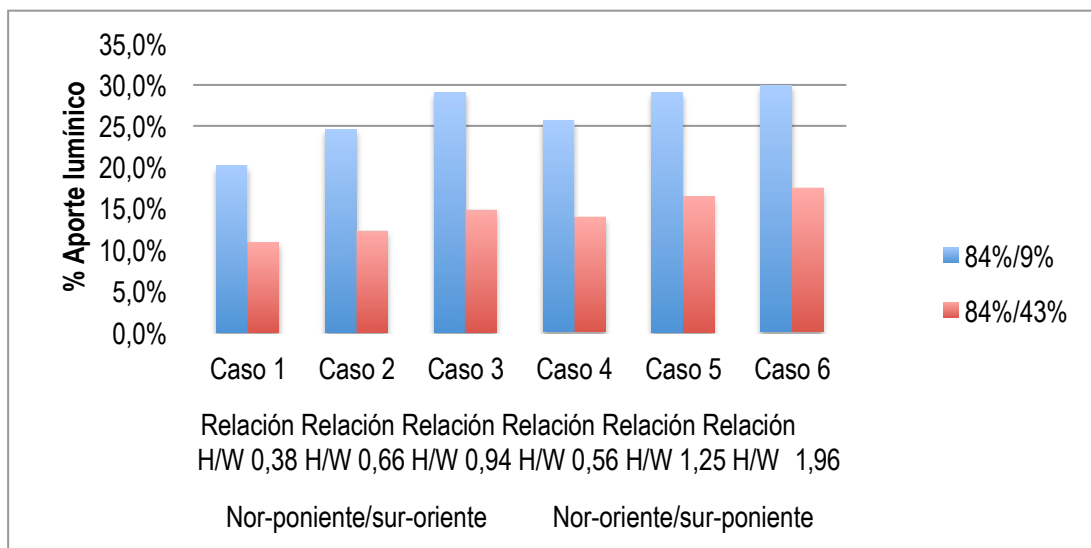


Fig. 35. Gráfico de aporte lumínico promedio comparativo.

En el análisis comparativo de los cañones urbanos, según la Fig. 34, se observa un vínculo entre la relación H/W de cada cañón y la disponibilidad de luz natural para cada uno de los materiales estudiados, ya que el caso 1, con la relación H/W de 0,38 más baja, posee los mayores niveles de iluminancia, pero es el que en menor porcentaje se ve afectado por el aumento de la reflectancia del material de fachada (Fig. 35), mostrando aportes de 20,1% y 10,9% comparando las reflectancias 84%/9% y 84%/43% respectivamente. Mientras que en el caso 6, con la mayor relación H/W de 1,96, es el cañón con el menor nivel de iluminancia, pero presenta el mayor aporte por reflectancia del material en fachadas entre los casos estudiados, con aportes de 29,9% y 17,5% en promedio según las mismas comparaciones (Tabla 34).

5.4 Análisis de tendencias

Para realizar el análisis de tendencias se utilizará el software Microsoft Office Excel. Se analizarán todos los valores lumínicos obtenidos en las simulaciones de cada cañón según la reflectancia del material en fachadas y el aporte porcentual del material de reflectancia 84% comparado con el material de reflectancia 9% y 43%.

El análisis se dividirá en las dos orientaciones predominantes de los cañones urbanos estudiados y se generará una línea de tendencia por cada fachada según la reflectancia del material y la relación H/W del cañón urbano.

5.4.1 Tendencia disponibilidad luz natural.

Orientación 1: nor-poniente/sur-oriente.

La orientación 1 comprende los casos 1, 2 y 3.

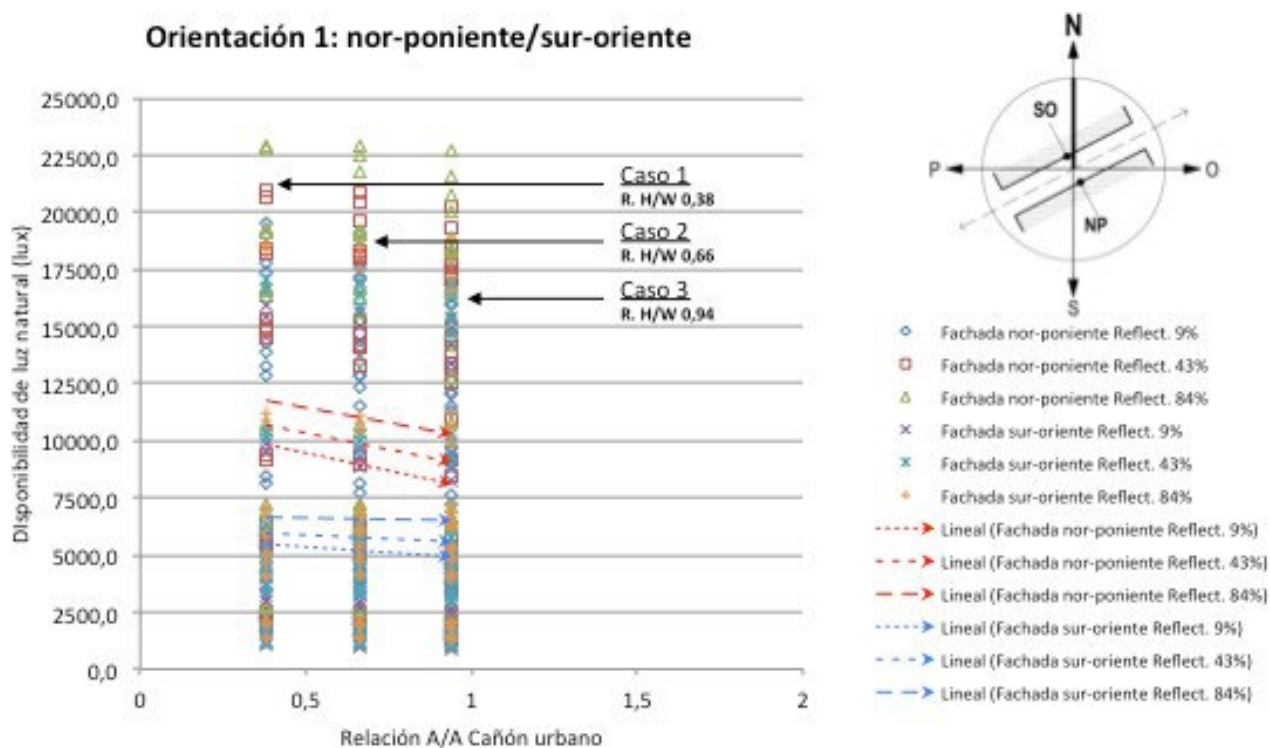


Fig. 36. Gráfico de tendencia disponibilidad luz natural orientación 1.

Cañón urbano	Relación H/W	Fachada nor-poniente (lux)			Fachada sur-oriente (lux)		
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%
Caso 1	0,38	9831,7	10679,5	11764,2	5471,8	5950,4	6648,5
Caso 2	0,66	8965,8	9875,7	11028,2	5196,1	5768,0	6585,6
Caso 3	0,94	8100,0	9071,8	10292,2	4920,4	5585,7	6522,7

Tabla 35. Tendencia disponibilidad luz natural orientación 1.

La Fig. 36 muestra, para la orientación 1, rectas con una inclinación decreciente en todas las situaciones, lo que significa una disminución en la disponibilidad de luz natural conforme la relación H/W de cañón urbano aumenta. En esta orientación se observa una inclinación más pronunciada en las líneas de las fachadas nor-ponientes, lo que se traduce en que esta fachada se ve más condicionada por la relación H/W del cañón urbano.

En relación a la reflectancia de los materiales, se observa en la Fig. 36 un considerable aumento en los niveles de iluminancia para ambas fachadas mostrando a la vez una leve disminución en la inclinación descendente de la recta, principalmente en la fachada sur-oriente con material de reflectancia 84% donde la disminución de iluminancia por relación H/W del cañón (6648,5 lux en el caso 1, 6585,6 en el caso 2 y 6522,7 lux en el caso 3) es casi inapreciable (Tabla 35). Pero a pesar de la diferencia en la inclinación de las líneas de tendencia, se observa que ambas fachadas presentan un aumento de iluminancia similar entre sí, lo que se traduce en que el aporte de la reflectancia del material de fachada es relativamente equitativo para todos los escenarios. En la fachada nor-poniente se observan diferencias de iluminancia, entre los materiales de reflectancia 84% y 9%, en el caso 1 de 1932,5 lux y en el caso 3 de 2191,8 lux, mientras que en la fachada sur-oriente estas diferencias son, en el caso 1, de 1176,7 lux y en el caso 3 de 1602,3 lux (Tabla 35)

Orientación 2: nor-oriente/sur-poniente.

La orientación 2 comprende los casos 4, 5 y 6.

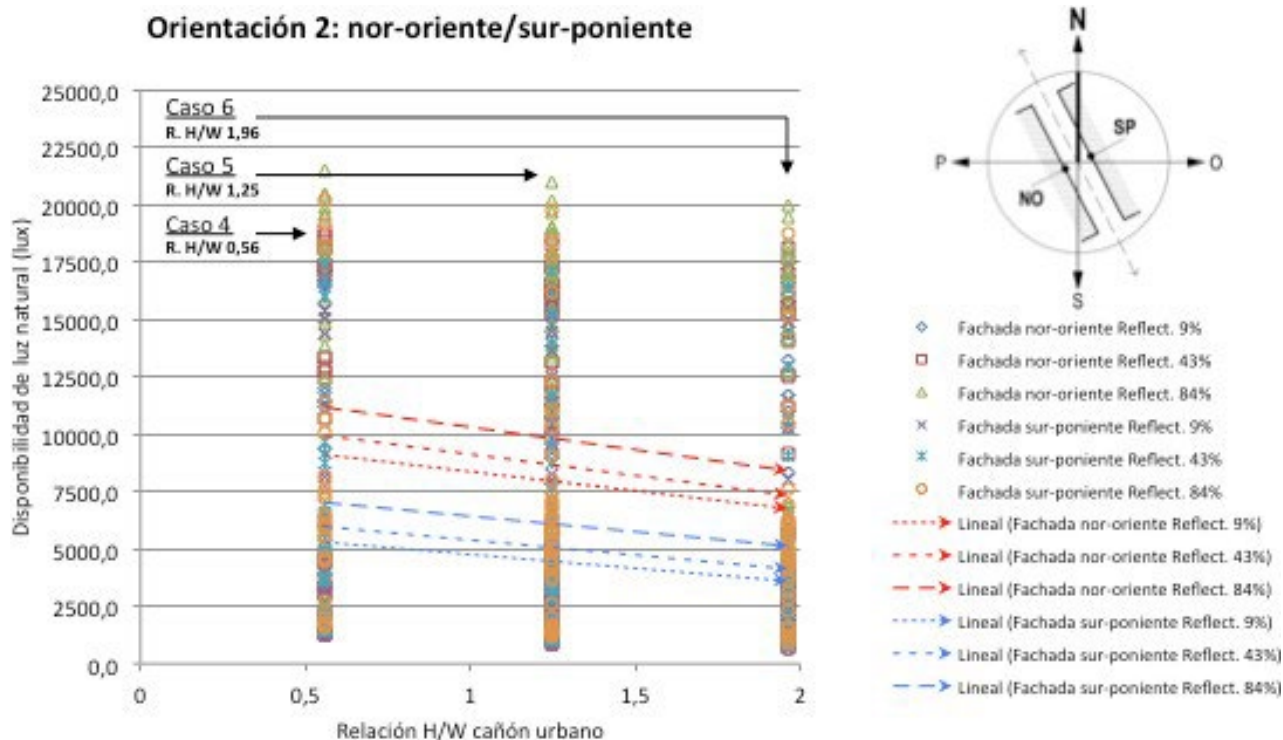


Fig. 37. Gráfico de tendencia disponibilidad luz natural orientación 2.

La Fig. 37 muestra, en la orientación 2, rectas con una inclinación decreciente en todas las situaciones, lo que significa una disminución en la disponibilidad de luz natural en todas las situaciones conforme la relación H/W de cañón urbano aumenta. En esta orientación a diferencia de la anterior, se observan líneas de tendencia paralelas entre si, por lo que la disminución de los niveles de iluminancia es relativamente proporcional para ambas fachadas en relación a la geometría de cañón urbano.

Cañón urbano	Relación H/W	Fachada nor-orienté (lux)			Fachada sur-poniente (lux)		
		Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%	Reflect. 9%	Reflect. 43%	Reflect.84%
Caso 4	0,56	9097,5	9930,4	11163,2	5289,9	5959,7	7010,3
Caso 5	1,25	7944,5	8655,2	9805,7	4458,1	5058,4	6084,7
Caso 6	1,96	6758,1	7342,9	8408,7	3602,1	4130,9	5132,3

Tabla 36. Tendencia disponibilidad luz natural orientación 2.

En relación al aporte lumínico por reflectancia del material de fachada, aunque la fachada nor-orienté presenta niveles de iluminancia significativamente mayores a la sur-poniente, ambas fachadas se benefician de la reflectancia del material en magnitudes similares. Se observan diferencias entre los materiales de reflectancia 84% y 9% para la fachada nor-orienté, en el caso 4 de 2065,7 lux y en el caso 6 de 1650,6 lux, mientras que para la orientación sur-poniente esta diferencia es para el caso 4 de 1720,4 lux y 1001,4 lux para el caso 6 (Tabla 36).

5.4.2 Tendencia % aporte lumínico por reflectancia.

Orientación 1: nor-poniente/sur-orienté.

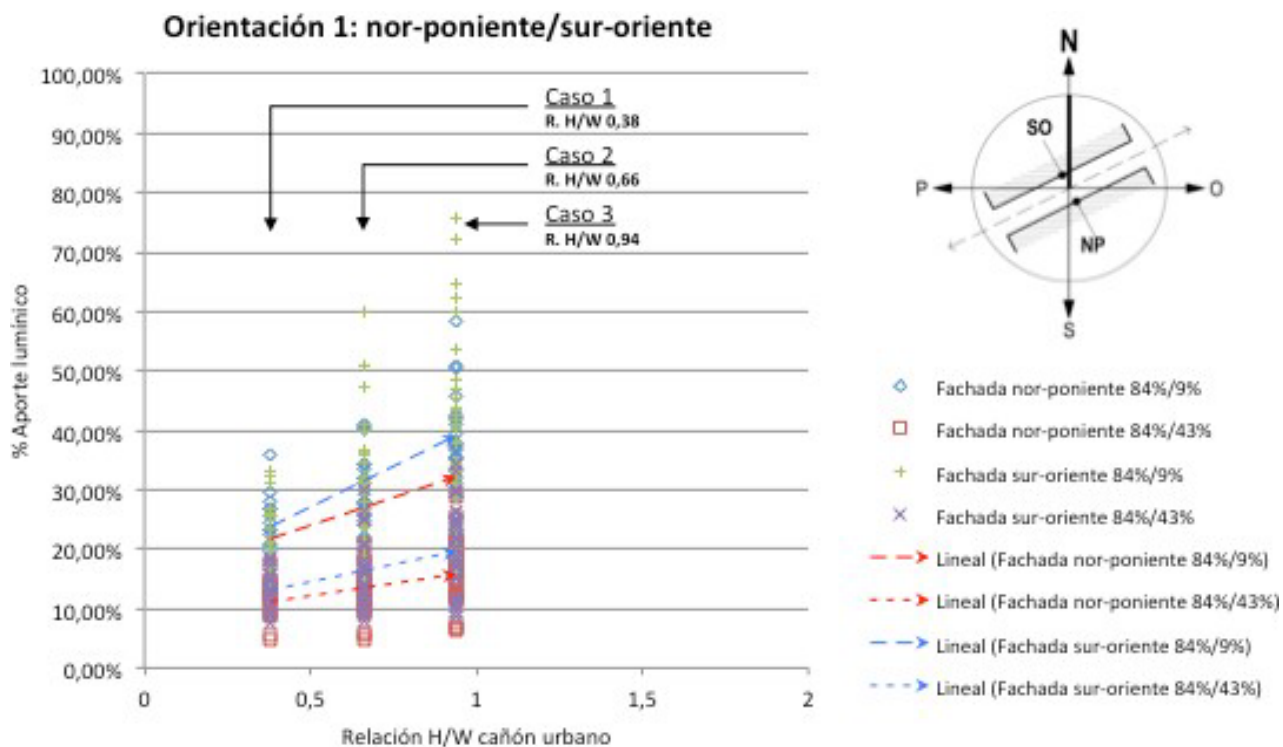


Fig. 38. Gráfico de tendencia % aporte lumínico por reflectancia orientación 1.

Cañón urbano	Relación H/W	Aporte fachada nor-poniente		Aporte fachada sur-orienté	
		84%/9%	84%/43%	84%/9%	84%/43%
Caso 1	0,38	21,8%	11,2%	23,8%	13,1%
Caso 2	0,66	27,0%	13,5%	31,5%	16,4%
Caso 3	0,94	32,3%	15,8%	39,1%	19,7%

Tabla 37. Tendencia % aporte lumínico por reflectancia orientación 1.

Según la Fig. 38, las líneas de tendencia comparativas 84%/9% en ambas fachadas muestra una mayor inclinación respecto a las líneas comparativas 84%/43%, lo que significa que, en la orientación 1, el incremento del porcentaje de aporte lumínico será mayor conforme aumente la diferencia de reflectancia en los materiales de fachadas y la relación H/W del cañón urbano, mostrando en caso 3, con relación H/W de 0,94, aportes de 32,3% y 15,8% en la fachada nor-poniente, comparando las reflectancias 84%/9% y 84%/43% respectivamente, mientras que en la fachada sur-oriente los aportes alcanzan los 39,1% y 19,7% siendo este último el más beneficiado porcentualmente por el aporte lumínico de la reflectancia del material de fachada (Tabla 37).

Orientación 2: nor-oriente/sur-poniente.

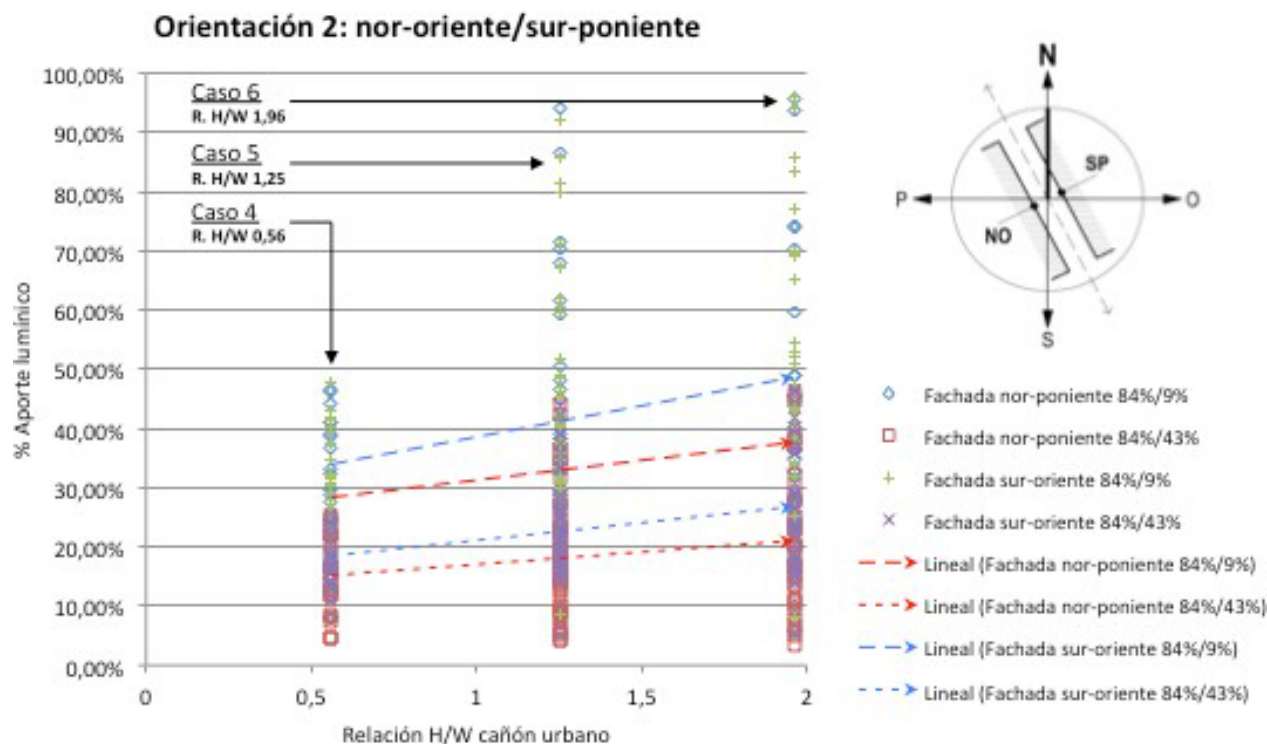


Fig. 39. Gráfico de tendencia % aporte lumínico por reflectancia orientación 2.

Cañón urbano	Relación H/W	Aporte fachada nor-oriente		Aporte fachada sur-poniente	
		84%/9%	84%/43%	84%/9%	84%/43%
Caso 4	0,56	26,6%	15,2%	34,0%	18,5%
Caso 5	1,25	33,0%	18,1%	41,2%	22,6%
Caso 6	1,96	37,7%	21,1%	48,7%	26,8%

Tabla 38. Tendencia % aporte lumínico por reflectancia orientación 2.

La Fig. 39 muestra, en la orientación 2, líneas de tendencia con inclinación ascendente en todas las situaciones, pero esta inclinación es menos pronunciada que en la orientación 1, lo que significa un menor aporte por reflectancia del material de fachada conforme aumenta la relación H/W del cañón urbano. También, en la Fig. 39 se observan líneas relativamente paralelas entre sí, por lo que el aporte de la reflectancia del material es proporcional en ambas fachadas, a excepción de la línea de tendencia "Fachada sur-oriente 84%/9%" donde se observa un ligero aumento de la inclinación, por lo que para esta situación el aporte es proporcionalmente mayor conforme aumenta la relación H/W del cañón urbano.

Se mantiene la tendencia donde la fachada sur-poniente se ve más favorecida por el aumento de la reflectancia del material que la fachada nor-oriente, alcanzando, en el caso 6, con relación H/W de 1,96, aportes de 37,7% y 21,1% en la fachada nor-poniente, comparando las reflectancias 84%/9% y 84%/43% respectivamente, mientras que en la fachada sur-oriente los aportes alcanzan los 48,7% y 26,8% (Tabla 38).

6. CONCLUSIONES

Este estudio exploró los efectos de la reflectancia de materiales presentes en fachadas de diversos cañones urbanos sobre la distribución y disponibilidad de luz natural exterior y su potencial de aportarla a edificios dentro de la ciudad de Concepción.

El análisis del estado del arte revela que los recientes estudios de investigación están influenciados por la creciente tasa de población, las necesidades de reducción del consumo de energía y la búsqueda del equilibrio entre una ciudad compacta sostenible y el acceso a luz solar como derecho y recurso natural ilimitado. En consecuencia, el uso de la luz natural en ambientes urbanos y también dentro de los edificios se han estudiado extensamente. También se revela que el impacto de la geometría urbana en el microclima urbano está bien establecido, pero su efecto en relación a la luz natural no se ha estudiado en profundidad. Las investigaciones acerca de las propiedades reflectantes de los materiales de la envolvente urbana se han centrado principalmente en problemas de sobrecalentamiento y el efecto de la isla de calor urbana en climas cálidos, dejando una brecha de información acerca de la influencia de estas propiedades sobre la disponibilidad de luz natural exterior y su potencial de ser aportado al interior de los edificios.

En relación al estudio del cañón urbano de Concepción, se delimitó el área de estudio al sector céntrica de la ciudad perteneciente a la Zona C1 del Plan Regulador Comunal de Concepción, concluyendo que las relaciones geométricas H/W de la ciudad no son excesivamente altas, encontrando relaciones H/W entre 0,38 (caso 1) y 1,25 (caso 5) en calles y un caso puntual de relación H/W 1,96 (caso 6) en un pasaje peatonal, aunque rara vez este valor supera la relación H/W de 1,0. En promedio el cañón urbano de Concepción, según los 12 casos escogidos en la etapa de selección preliminar, posee una relación H/W de 0,84, correspondiente a una altura de 4 pisos (12 m) y un distanciamiento entre fachadas de 14,29 m.

Según la muestra de materiales en fachadas seleccionados, se observó una amplia gama de terminaciones, como hormigones, morteros, cerámicos, albañilerías, granito reconstituido, siendo comunes en las edificaciones de viviendas el hormigón, la albañilería y el mortero proyectado, mientras que en los edificios de altura y más antiguos, el granito reconstituido y los cerámicos se encuentran en muchos casos. En general los colores encontrados en la ciudad son variados, yendo desde colores blancos y beige a tonos más ocres como albañilería algunos cerámicos y en casos puntuales colores más oscuros, como morteros color azul en Freire y piedra pizarra en el caso de Barros Arana. La reflectancia promedio que se obtuvo de la muestra de materiales fue de un 43%, correspondiente a un hormigón liso color beige, la cual es una magnitud de reflectancia comúnmente representativa en sectores urbanizados.

En cuanto a la metodología, se concluye que el estudio del cañón urbano, haciendo uso de la relación geométrica H/W, es un procedimiento de análisis de escenarios urbanos capaz de reconocer de manera simplificada características esenciales utilizadas en estudios sobre las propiedades de la envolvente y morfología urbana, como densidad, propiedades de los materiales de la envolvente, porcentaje de ventanas, entre otros, permitiendo realizar investigaciones de sustentabilidad en cuanto a temperaturas urbanas, estudio de vientos y material particulado, disponibilidad de luz natural y el efecto de las variables del cañón urbano sobre ellos. Por otro lado es un método abstracto (no representativo de la realidad), y como tal, perderá exactitud en cuanto las condiciones urbanas se vuelven más complejas, como alturas edilicias muy diferenciadas, gran variedad de materiales en la envolvente o fachadas de continuidad interrumpida.

Los resultados muestran que la reflectancia de los materiales en las fachadas del cañón urbano de Concepción influye en la disponibilidad de luz natural aprovechable en las edificaciones, pudiendo alcanzar valores de iluminancia significativamente mayores en todos los casos estudiados cuando el valor de la reflectancia en los materiales es aumentada.

Según la relación H/W, se concluye que la disponibilidad de luz natural exterior se ve directamente condicionada por la relación geométrica del cañón urbano, la cual disminuye conforme aumenta la relación H/W. El caso 1, siendo el cañón urbano de menor relación H/W (0,38) presenta los mayores valores de iluminancia dentro de los casos estudiados, alcanzando promedios de 7593,3 lux con una reflectancia de material de fachada de 9%, 8224,5 lux con una reflectancia de material de fachada de 43% y 9121,9 lux con una reflectancia de material de fachada de 84%. Mientras que el caso 6, con la relación H/W más alta entre los casos estudiados (1,96) presenta los menores valores de iluminancia, alcanzando promedios de 4753,1 lux con una reflectancia de material de fachada de 9%, 5256,9 lux con una reflectancia de material de fachada de 43%, y 6174,4 lux con una reflectancia de material de fachada de 84%, mostrando diferencias entre 30% y 40% entre ambos casos sobre la disponibilidad de luz natural.

Se comprueba el aporte lumínico previsto por la reflectancia de los materiales en fachadas sobre la disponibilidad de luz natural. El caso 1, siendo el cañón urbano de menor relación H/W (0,38), es el caso con el menor aporte a la disponibilidad de luz natural, aumentando su iluminancia promedio un 20,1% y un 10,9% comparando con materiales de valor de reflectancia 84%/9% y 84%/43% respectivamente. Mientras que el caso 6, siendo el caso con cuya relación H/W de 1,96 es la mayor entre los estudiados, presenta el mayor aporte entre los casos estudiados, siendo este de 29,9% y 17,5% comparando con materiales de valor de reflectancia 84%/9% y 84%/43% respectivamente.

El análisis de tendencia sobre la disponibilidad de luz natural demostró que, conforme aumenta la relación H/W, la iluminancia disminuye en todos los escenarios estudiados, siendo, en la orientación 1, la fachada nor-poniente la más afectada, mostrando una inclinación descendente, en su línea de tendencia, mayor que la fachada sur-oriente para los 3 materiales. En la orientación 2 esta diferencia es menos evidente, ya que las líneas de tendencia son relativamente paralelas entre sí, por lo que la disminución de la iluminancia, según la relación H/W es proporcional en todos los escenarios.

En relación a los materiales, se demuestra que mientras mayor sea la reflectancia del material de fachada, mayor será la disponibilidad de luz natural del cañón urbano para todos los casos. En la orientación 1, a pesar de que las líneas de tendencia de la fachada nor-poniente son notoriamente más afectadas por la relación H/W del cañón urbano, se comprueba que el beneficio de la reflectancia del material es similar para ambas fachadas en relación a la magnitud. En la orientación 2 esta similitud es más evidente ya que todas las líneas son relativamente paralelas entre sí y poseen un distanciamiento proporcional entre ellas.

En el análisis de tendencia por aporte lumínico se demuestra que el aporte lumínico será mayor conforme aumenta la relación H/W, es decir, mientras mayor sea la densidad del cañón urbano, mayor será la importancia de las propiedades reflectantes de los materiales de fachadas frente a la disponibilidad de luz natural. Las líneas de tendencia presentan una inclinación ascendente en todos los escenarios estudiados siendo en la orientación 1 donde las inclinaciones son mayores, por lo que, en el caso de la ciudad de Concepción, el aporte lumínico por reflectancia del material en fachadas es mayor en la orientación 1 (nor-poniente/sur-oriente) que en la orientación 2 (nor-oriente/sur-poniente). También se comprueba que el aporte de iluminancia será mayor conforme aumenta la diferencia de reflectancia entre los materiales comparados ya que en ambos casos la línea de tendencia de aporte lumínico entre las reflectancias 84%/9% alcanzan los mayores valores de aportes porcentuales conforme aumenta la relación H/W del cañón urbano para todos los escenarios estudiados.

El análisis demuestra que las fachadas sur-poniente y sur-oriente son las más favorecidas en cuanto a niveles de iluminancia aportados por los materiales de alta reflectancia, mientras que, en relación a los niveles de los edificios, los primeros pisos los más beneficiados. Por ello se comprueba que la luz reflejada contribuye de manera importante a la disponibilidad de luz natural de los edificios y, de hecho, es la mayor parte de la luz diurna disponible para fachadas menos favorables y pisos más bajos en densidades urbanas altas cuando la luz natural no es posible obtenerla en forma directa, aportando a una distribución más equitativa y homogénea.

Es importante destacar que los edificios no son estructuras que sólo se deben valorar como construcciones aisladas para crear ambientes interiores adecuados, sino que también es esencial considerar la influencia de éstos sobre el contexto urbano en el están inmersos, para asegurar que su desarrollo contribuya a la creación de buenas y variadas condiciones de luz diurna para el propio edificio y los edificios vecinos.

6.1. Propuestas para investigaciones futuras.

Para futuras investigaciones se proponen temas que complementen la investigación, en cuanto a información y datos acerca de variables no contempladas en el estudio presente, pero que serían importantes considerar para un entendimiento más amplio en cuanto a parámetros que influyan en la disponibilidad de luz natural en contextos urbanos según geometría y propiedades de los materiales de la envolvente.

- Influencia de la reflectancia de la envolvente urbana sobre demanda de energética de luz artificial.
- Influencia de la reflectancia en materiales de cubiertas y pavimentos sobre la disponibilidad de luz natural.
- Influencia de la reflectancia de los materiales en la envolvente urbana sobre la calidad y cantidad de luz natural en recintos interiores.
- Probabilidad de deslumbramiento según la reflectancia de los materiales en la envolvente urbana.

Considerar esta investigación como un trabajo progresivo, al aumentar la muestra de materiales y cañones estudiados, es vital para generar una base de datos abundante en información que pueda ser utilizada por profesionales del sector de la construcción como una herramienta capaz de mostrar y predecir la disponibilidad de luz natural en distintas configuraciones según orientación, la reflectancia de los materiales de la envolvente y la relación H/W del cañón urbano.

5. BIBLIOGRAFÍA.

- Alchapar, N., & Correa, E. (2015). Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas. *Informes de La Construcción*, 67(540), e112. <https://doi.org/10.3989/ic.14.131>.
- Alchapar, N., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2012). Índice De Reflectancia Solar De Revestimientos Verticales: Potencial Para La Mitigación De La Isla De Calor Urbana. *Ambiente Construido*. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000300008>.
- Freewan, A. A. Y., Gharaibeh, A. A., & Jamhawi, M. M. (2014). Improving daylight performance of light wells in residential buildings : Nourishing compact sustainable urban form. *Sustainable Cities and Society*, 13, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.04.001>.
- Gaffin, S. R., Imhoff, M., Rosenzweig, C., Khanbilvardi, R., Pasqualini, A., Kong, A. Y. Y., ... Hartung, E. (2012). Bright is the new black—multi-year performance of high-reflectancia roofs in an urban climate. *Environmental Research Letters*, 7(1), 14029. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/1/014029>.
- Mesa, N. A., Corica, L., & Pattini, A. (2011). Evaluation of the potential of natural light to illuminate buildings in dense urban environment . A study in Mendoza , Argentina. *Renewable Energy*, 36(9), 2414–2423. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.02.005>.
- Nasrollahi, N., & Shokri, E. (2016). Daylight illuminance in urban environments for visual comfort and energy performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 861–874. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.052>.
- Ramírez, D. C. Á., & Orozco, S. A. (2015). La envolvente arquitectónica y su influencia en la iluminación natural. *Hábitat Sustentable*, 5(1), 44–53. Retrieved from <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/1811>.
- Strømmandersen, J., & Sattrup, P. A. (2011). The urban canyon and building energy use : Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings*, 43, 2011–2020. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.007>.
- Kolokotroni, M., Gowreesunker, B. L., & Giridharan, R. (2013). Cool roof technology in London : An experimental and modelling study. *Energy & Buildings*, 67, 658–667. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.07.011>.
- Yuan, J., Farnham, C., & Emura, K. (2015). Development of a retro-reflective material as building coating and evaluation on reflectancia of urban canyons and building heat loads. *Energy & Buildings*, 103, 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.055>.
- Monteoliva, J. M., & Pattini, A. (2013). Iluminación natural en aulas: análisis predictivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en clima soleados. *Ambiente Construido*, 13(4), 235–248. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000400016>.
- Pattini, A. (n.d.). Evaluación de la iluminación natural en edificios. Modelos a escala. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV)- Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCICHUSA) CRICYT-CONICET. <http://www.cricyt.edu.ar/>.
- Bodart, M., Bustamante, W., & Encinas, F. (2010). Iluminación natural de edificios de oficina. *ARQ (Santiago)*, 44–49. <https://doi.org/10.4067/S0717-69962010000300007>.
- Monteoliva, J. M., Villalba, A., & Pattini, A. E. (2014). Uso de dispositivo de control solar en aulas: impacto en la simulación dinámica de la iluminación natural. *Ambiente Construido*, 14(3), 43–58. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000300004>.

- Akbari, H., Levinson, R., Berdahl, P., Akbari, H., Levinson, R., & Berdahl, P. (1996). ASTM Standards for Measuring Solar Reflectance and Infrared Emittance of Construction Materials and Comparing their Steady-State Surface Temperatures. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 1(1), 1–9.
- Labib, R. (2013). Improving daylighting in existing classrooms using laser cut panels. *Lighting Research and Technology*, 45(5), 585–598. <https://doi.org/10.1177/1477153512471366>.
- Akbari, H., Levinson, R., & Stern, S. (2008). Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curved roofing assemblies. *Solar Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.01.001>.
- Qin, Y., Tan, K., Meng, D., & Li, F. (2016). Theory and procedure for measuring the solar reflectance of urban prototypes. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.026>.
- Papanastasiou, D. K., & Kittas, C. (2012). Maximum urban heat island intensity in a medium-sized coastal Mediterranean city. *Theoretical and Applied Climatology*. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0491-z>.
- Antonio Corróns, Joaquín Campos, M. M. (2007). La Comisión Internacional de Iluminación (CIE). Departamento de Metrología. Instituto de Física Aplicada (CSIC). Serrano 144, 28006 Madrid Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias (Edificio Mecenas), Universidad de Granada, 18071 Granada.
- Bretz, S. E., & Akbari, H. (1997). Long-term performance of high-reflectancia roof coatings. *Energy and Buildings*. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)01005-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01005-5).
- Córica, L., & Pattini, A. (2005). Protocolo de mediciones de iluminación natural en recintos urbanos. *Revista Averma-ISSN*, 0329-5184.
- Merino, L. (2015). Indicadores de sustentabilidad basados en el metabolismo urbano: Un caso estudio usando la morfología del medio urbano construido de la ciudad de Concepción. IV Workshop interdisciplinar de investigación e indicadores de sustentabilidad. Universidad de Concepción, Chile.
- Littlefair, P. (2001). Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. *Solar Energy*, 70(3), 177–185. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00099-2](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00099-2).
- Pattini, A. (2002). Luz natural e iluminación de interiores. Manual de Iluminación Eficiente, cap. 11. Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional. <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap11.pdf>.
- IDAE, CEI, CSCAE. (2005). Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios. Madrid. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10055_GT_aprovechamiento_luz_natural_05_c7e314e8.pdf
- Greenup, P. J., & Edmonds, I. R. (2004). Test room measurements and computer simulations of the micro-light guiding shade daylight redirecting device. *Solar Energy*, 76(1–3), 99–109.