

Análisis Solar lumínico a cielo abierto en la ciudad de Iquique para promover la comodidad visual en un centro comercial

Estudiante: Christtopher Morales Flores

Profesor guía: Jeannette Roldán Rojas

Resumen

El estudio abordó las estrategias de iluminación natural en el centro comercial cerrado (CCC) de Iquique para reconocer cómo inciden el confort visual y la salud de sus ocupantes. El objetivo general es evaluar la efectividad de la apertura a cielo abierto en el desempeño solar-lumínico de los espacios de circulación del *mall* Plaza Iquique, considerando las características climáticas y geográficas de la ciudad, para mejorar el confort lumínico.

A través de la metodología se analizó las condiciones de confort lumínico, así como de comodidad visual, características climáticas y geográficas del entorno al CCC. Se simuló y evaluó el desempeño solar-lumínico de los espacios de circulación interior y, finalmente, se identificaron las estrategias de apertura a cielo abierto más efectivas.

Los resultados demostraron que la implementación de estas estrategias, basadas en características solares y lumínicas específicas de la zona, contribuyó a un mayor confort visual y luminoso en el centro comercial. Disminuyendo la exposición solar anual y aumentando las iluminancias aceptables durante más de la mitad el tiempo evaluado.

Palabras clave: Luz solar, confort visual, Iquique, centro comercial cerrado, apertura cenital.

1. Introducción

En la actualidad, los centros comerciales cerrados (CCC) son parte de la cotidianidad de las personas en muchos países. Se trata de lugares que cuentan con un techo y paredes perimetrales, diferenciándose de los centros comerciales abiertos o al aire libre, donde la circulación entre locales se realiza en espacios abiertos (O.G.U.C., 2021). Estas áreas no solo funcionan como zonas de compra o entretenimiento, sino que también son puntos de encuentro social y cultural. En este sentido, es importante considerar la intrínseca relación entre el comportamiento de la luz y el contexto climático-geográfico en el que se emplazan construcciones de estas características.

La ciudad de Iquique, ubicada en la costa norte de Chile, presenta características climáticas y geográficas que la hacen particularmente interesante para el estudio del confort lumínico en los CCC. La iluminación natural es esencial en la arquitectura, ya que influye en la percepción del espacio, la orientación y la navegación dentro de los edificios, además tiene un impacto positivo en la salud y el bienestar de sus ocupantes (Ochoa y Capeluto, 2012; Aries et al., 2015). En este contexto, el centro comercial Mall Plaza Iquique se presenta como un caso de estudio relevante debido a su alta exposición a radiaciones solares durante gran parte del año, su proximidad a la costa y la humedad relativa de la zona. La implementación de estrategias de diseño a cielo abierto en el CCC podría mejorar significativamente la calidad del ambiente solar-lumínico interior, lo que puede llevar a un mayor confort visual y lumínico para los usuarios.

No obstante, a pesar de la importancia de este tema, la literatura actual no cuenta con suficiente información sobre cuáles estrategias de diseño de aperturas a cielo abierto podrían ser aplicadas para promover el confort lumínico-visual en el caso de estudio en Iquique. Por esta razón, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles estrategias de diseño de aperturas a cielo abierto podrían ser aplicadas para promover el confort lumínico-visual en el centro comercial Mall Plaza Iquique? La hipótesis plantea que la implementación de estrategias de diseño a cielo abierto en el mall plaza Iquique incorporan características solares y lumínicas específicas de la zona que mejora la calidad ambiental solar - lumínico interior, lo que puede llevar a un mayor confort visual y lumínico.

El objetivo general de esta investigación es evaluar la efectividad de las estrategias de apertura a cielo abierto en el desempeño solar-lumínico del Mall Plaza Iquique, considerando las características climáticas y geográficas de la ciudad, para mejorar el confort lumínico y la satisfacción de los usuarios. Para lograr este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos: (1) Analizar las condiciones de confort lumínico y las características climáticas y geográficas del entorno en el que se encuentra el Mall Plaza Iquique. (2) Evaluar el desempeño solar-lumínico de los espacios de circulación interior del Mall Plaza Iquique y su relación con las estrategias de apertura a cielo abierto. (3) Identificar las estrategias de apertura a cielo abierto más efectivas para mejorar el desempeño solar-lumínico del Mall Plaza Iquique, considerando las características climáticas y geográficas de la ciudad, y su impacto en el confort lumínico-visual.

Esta investigación se estructura en distintas secciones: revisión de la literatura sobre iluminación natural y confort lumínico, descripción del caso de estudio y su contexto, metodología empleada, análisis y discusión de los resultados y, por último, conclusiones. Con ello, se pretende aportar nuevos conocimientos en el campo de la iluminación arquitectónica y ofrecer soluciones concretas para mejorar la calidad del ambiente interior de los CCC. Además, se espera que los resultados de esta investigación puedan ser aplicados en otros proyectos arquitectónicos ubicados en zonas geográficas y climáticas similares.

2. Antecedentes

La luz es una forma de energía electromagnética que se propaga a través del espacio y es percibida por el ojo humano (Gibson, 2018). La iluminación natural, corresponde al estudio de la luz diurna del sol y el cielo luminoso, Al mismo tiempo es la forma de iluminación que mejor responde a las necesidades visuales del ser humano (Baker, Fanchiotti y Steemers, 2015, Citado en Jorquera, 2021). La luz solar es un componente clave en la arquitectura, ya que influye en la calidad del ambiente construido y en el bienestar de sus ocupantes (Aries et al., 2015).

La importancia de la iluminación Diurna en la arquitectura es múltiple. En primer lugar, la luz natural es fundamental para la percepción del espacio, pues permite apreciar formas, texturas y colores, influyendo en la experiencia estética de los usuarios (Ochoa y Capeluto, 2012). Además, la iluminación natural desempeña un papel crucial en la orientación y la navegación dentro de los edificios (Aries et al., 2015).

El Ingreso de luz solar también tiene un impacto positivo en la salud y el bienestar de los ocupantes de un espacio construido (Aries et al., 2015). La exposición a la luz natural durante el día ayuda a regular el ritmo circadiano y mejorar la calidad del sueño (Figueiro, Rea y Stevens, 2010). Además, Los estudios han demostrado que la iluminación natural puede reducir la fatiga visual y mejorar la concentración y el rendimiento laboral (Heschong, 2002).

La luz diurna también contribuye a la sostenibilidad y la eficiencia energética de los edificios. La utilización adecuada de iluminación puede reducir la demanda de energía para la iluminación artificial y, en consecuencia, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (Reinhart y Selkowitz, 2006). Además, la iluminación natural puede ser utilizada de manera pasiva para el calentamiento y enfriamiento de los espacios interiores, lo que promueve la reducción del consumo energético en climatización (Ochoa y Capeluto, 2012).

Los centros comerciales cerrados (CCC), también conocidos como *malls* a menudo se introducen en diferentes contextos sin adaptarse adecuadamente a las condiciones locales y las necesidades específicas de iluminación (Fariña et al., 2013). A pesar de que La iluminación natural es un componente esencial e imprescindible para la arquitectura (Guadarrama, 2015). Es común ver a diario que muchos CCC que carecen de luz solar suficiente, lo que puede afectar negativamente el confort visual y la salud de sus ocupantes.

La implementación de estrategias de diseño bioclimático y la consideración de factores, la orientación, la forma y la ubicación de las ventanas en el diseño puede mejorar significativamente la calidad de la iluminación natural en el espacio (Ochoa & Capeluto, 2012). Al mismo tiempo, puede reducir la dependencia de la iluminación artificial y disminuir el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero (Reinhart & Selkowitz, 2006).

El diseño arquitectónico de *malls* debe tener en cuenta el contexto local, así como las condiciones climáticas para aprovechar al máximo la luz diurna y mejorar el confort visual de los usuarios (Mayhoub & Rabboh, 2022). Al hacerlo, es posible crear espacios comerciales más saludables y sostenibles. La integración de la luz natural en el diseño de malls también puede aumentar la satisfacción de los usuarios al mismo tiempo que mejora la experiencia en estos espacios (Mayhoub & Rabboh, 2022).

A pesar de los beneficios de la Luz, los *malls* no incorporan suficiente iluminación natural en su diseño. Chile Lidera la región con 278 centros comerciales y 21 nuevos establecimientos en construcción (Cámara de centros comerciales, 2023). Estando presentes desde la zona austral hasta en regiones extremas como Tarapacá donde la alta radiación solar, la escasa precipitación y la particular latitud de Iquique hace que sea necesario desarrollar estrategias de diseño que permitan optimizar el confort visual.

Iquique es una ciudad ubicada en el norte de Chile, conocida por ser una de las regiones más secas del mundo (Schulz et al., 2011). Se encuentra cerca de la costa del océano Pacífico, a una latitud de aproximadamente 20°S (Santibáñez & Uribe, 2017). Este clima es resultado de la interacción entre la corriente de Humboldt, el anticiclón del Pacífico Sur y la Cordillera de los Andes (Cereceda et al., 2008).

Las precipitaciones en Iquique son escasas, con un promedio de 0.2 mm (dirección meteorológica de Chile, 2021). La humedad relativa en la ciudad es relativamente alta debido a la proximidad al océano, lo que genera a menudo una neblina costera conocida como "camanchaca" (Muñoz-Schick et al. 2001). A pesar de la humedad, las temperaturas son moderadas a lo largo del año, con promedios mensuales que oscilan entre 15° C y 22° C (Santibáñez & Uribe, 2017).

La radiación solar en Iquique es alta debido a su ubicación en una región desértica y su cercanía al trópico de Capricornio (Santibáñez & Uribe, 2017). La ciudad recibe una radiación solar promedio anual de 5,8 kWh/m²/día (CNE / PNUD / UTFSM, 2008). Este alto nivel de radiación solar ofrece un gran potencial para el aprovechamiento de la iluminación natural en la arquitectura local.

La duración del sol en Iquique varía a lo largo del año debido a su ubicación en el hemisferio sur, teniendo 12h y 7 min. de sol en promedio (Weatherspark, 2022). Por otro lado, en el solsticio de invierno, cerca del 21 de junio, el día más corto llega a durar 10h. y 54min., mientras que, para el solsticio de verano, el 21 de diciembre el día más largo es de 13 horas y 22 minutos (Weatherspark, 2022).

En otros contextos climáticos, se presentan casos de Centros comerciales a cielo abierto (CCA), entendidos como aquel espacio destinado a actividades comerciales que se desarrolla en vías o calles abiertas al público. Se caracteriza por no tener un techo o cubierta que encierre completamente el área de circulación y los locales comerciales (O.G.U.C, 2021). Algunos ejemplos de CCA son Kanyon Shopping *mall*, Antara Fashion hall, Asmaçati y Namba Parks, (Anexo 1) que han demostrado los beneficios de integrar el paisaje urbano y la luz natural en sus diseños (Chane, 2023). Estos casos pueden servir de inspiración para proponer soluciones de iluminación natural para Centros comerciales cerrados en la región, con el objetivo de mejorar el confort y la calidad ambiental de estos espacios, así como de promover la sostenibilidad y el ahorro energético en la arquitectura local (Mayhoub & Rabboh, 2022).

El Kanyon Shopping Mall es un proyecto de bienes raíces de uso mixto, donde se busca potenciar el comercio. (Uğur, 2007) Situado en Estambul, Turquía, en la latitud de 41° N y longitud 28° E, el centro comercial tiene una estructura de cuatro niveles y una tipología abierta diferenciándola de los CCC (Ülkü, 2008). El uso de materiales como piedra, baldosa, concreto y vidrio refuerza el paso de la luz natural a través de sus aperturas cenitales y laterales (MGS, 2008). Estas aberturas generan un efecto de iluminación natural que se distribuye por los espacios interiores, creando una atmósfera luminosa y acogedora para los visitantes. El diseño de espacios abiertos y transparentes facilita la entrada de luz natural desde diferentes direcciones.

Antara Fashion Hall es un centro comercial al aire libre que destaca sus plazas abiertas, con un área estimada de 4923m², las cuales se configuran en aperturas cenitales y laterales. Situado Ciudad de México, México, en la latitud 19°N y longitud 99° O, se compone a partir de tres niveles semicurvados en su extensión con materiales predominantemente de concreto, vidrio y acero. Asimismo, cuenta con un volumen construido que protege del deslumbramiento y la incidencia solar en el centro comercial durante periodos críticos de iluminación.

El centro comercial Asmaçati se basa en una tipología de centro comercial abierto de 22.760 m². Situado en Esmirna, Turquía se encuentra en la latitud 38° N y longitud 27° E, cuenta con dos niveles, en la cual se configuran sus aperturas cenitales y laterales. El área a cielo abierto estimada es de 2120 m², mientras que los materiales predominantes son el acero tratado oscuro, vidrio y concreto.

Namba Parks se constituye como un complejo multiusos, construido en 2003 en Osaka, Japón, Latitud 34° N y Longitud 135° E, cuenta con un área de 175.000 m². La particularidad de este caso radica en que es un centro comercial híbrido, no solo contempla aperturas para las circulaciones, sino que toda su terraza es área verde con acceso para el público, la cual se extiende a 6.000m², contempla aperturas tanto cenitales como laterales, cuenta con 8 niveles y sus materiales predominantes son el concreto, baldosa y vidrio.

La exploración de los casos de estudio de centros comerciales con estrategias de diseño a cielo abierto reconoce parámetros de diseño en los que la iluminación natural tiene una intrínseca relación. A través del análisis de criterios como la apertura, la materialidad y la orientación geográfica. En cuanto a la apertura, se puede explorar el comportamiento de diferentes configuraciones cenitales y laterales, la incidencia en la entrada de luz natural y en la calidad visual del ambiente interior. La variedad de materiales utilizados, como piedra, baldosa, concreto, vidrio y acero, permite examinar cómo afectan la transmisión de la luz y sus reflectancias. Además, al considerar la orientación con relación al sol de cada caso, se puede identificar comportamientos determinados para ciertos horarios, así como momentos críticos de deslumbramiento o radiación solar.

3. Métodos

El esquema metodológico general se configura a partir de tres etapas: Análisis teórico - contextual, análisis para el modelo de simulación y evaluación, además de los resultados y conclusiones. La primera fase, es decir el estudio de casos, así como de bibliografía culmina en los antecedentes, la segunda fase contempla la caracterización, simulación y evaluación los cuales se producen en metodología, por último, la última fase da lugar en los resultados y conclusiones (Fig. 1)

Se aplica un enfoque cuantitativo, basado en la recolección de datos climáticos, reflectancias, dimensiones, entre otros aspectos relevantes. Primero se ejecuta una simulación digital para analizar las condiciones de confort lumínico al cielo abierto e identificar estrategias potenciales en las zonas comunes de tránsito del mall plaza Iquique. El volumen se realiza en sketchup, siguiendo los planos de arquitectura correspondientes, a este se le asigna color, materialidad y las propiedades ópticas de cada superficie. El modelo se exporta en formato Collada para ser evaluado en LighStanza, un software de evaluación lumínica que utiliza el motor de cálculo Radiance. (Reinhart, 2001).

En el año 2021, Martina Liberska y Lenka Maierová validaron LighStanza como motor de cálculo al evaluar unilateral y bilateralmente aulas escolares en términos de iluminación natural tanto en invierno como en verano. En el estudio se seleccionaron aulas de las escuelas primarias de la Republica Checa, realizando un modelo de análisis en conjunto con la recopilación de datos climáticos, orientación en relación con los puntos cardinales, disposición de vanos, así como la identificación de aperturas en las salas de clase. Los resultados comprobaron que el software basado en el motor de cálculo Radiance es adecuado para la modelación tridimensional con la aplicación de las propiedades ópticas específicas, permitiendo analizar el confort visual, la disponibilidad de luz natural directa en el espacio, la relación entre la luz natural que ingresa a un lugar y la iluminación general en el interior.

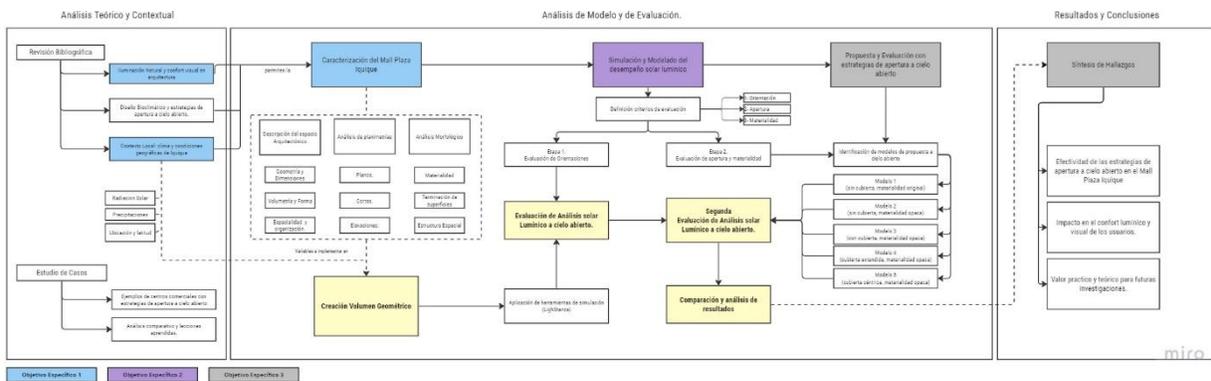


Figura 1: Esquema metodológico. Fuente: Elaboración Propia.

3.1. Evaluación de luz solar a cielo abierto en el mall plaza Iquique, Tarapacá

Para caracterizar el mall plaza Iquique, el modelo fue georreferenciado en la latitud 20,21° S y 70,15° O, ubicado en su orientación original, acimut 20,5° para posteriormente aplicar la base de datos climáticas de la ciudad de Iquique, región de Tarapacá proporcionadas por el sitio Climate One Building.

El área de circulación se compone de un volumen de dos pisos, semi rectilíneo en su circulación oeste y rectilíneo en su circulación este, el ingreso de luz es proporcionado por aperturas cenitales a cielo abierto de 4 metros de ancho y extendido a lo largo de todo pasillo central el cual contiene módulos comerciales a los costados, siguiendo el formato de un CCC convencional. Al evaluar el caso de estudio se aplicaron los indicadores dinámicos *useful daylight autonomy* (UDI), *annual solar exposure* (ASE), *daylight glare probability* (DGP), además de un mapa en falso color de las iluminancias y de Radiación Solar,

Los materiales utilizados fueron obtenidos en base a un trabajo colaborativo entre las especificaciones en fichas técnicas de los productos proporcionados por los antecedentes del caso de estudio y la reflectancia general de un elemento basado en investigaciones de otros autores. (Venegas S. y Piderit M., 2018) Para la simulación fueron aplicados los siguientes materiales: Cristal 6mm *Bluegreen*, con una reflectancia (R.) del 19%, Acero laminado Negro, con una R. del 15%, Pintura Esmalte Blanco Sherwin Williams, con un porcentaje de R. del 80 %, Madera Clara con un porcentaje de R. del 40% y Porcelanato Blanco Sherman lappato Coem con una R. del 90% (tabla 1).

Para iniciar la evaluación lumínica, se ubicó la trama de sensores de iluminancia en el primer y segundo piso, exclusivamente en las áreas de circulación del caso de estudio. Cabe destacar que no se consideró los locales comerciales puesto que distorsionan los resultados que proporciona el software al tomar promedios totales entre áreas iluminadas (pasillo) y no iluminadas (módulos comerciales). La trama fue situada a 0,7 m de altura, con un espaciado de 0,6 x 0,6 m en el plano horizontal. Al realizar los cálculos UDI y ASE se consideró la zona horaria desde las 9 h hasta las 19 h, rango de horas en el cual el CCC está abierto al público.

Para evaluar la comodidad visual se ubicó al observador a una altura de 1,7m (NCD Risk Factor Collaboration, 2016) en tres días típicos, 21 de junio, 21 de septiembre y 21 de diciembre, en el que se evaluó dentro del periodo anual. Con este mismo criterio se analizó el mapa de energía solar, con un usuario interior a una altura de 1,7 m durante todo el año entre las 09hrs a 19hrs, mientras que el mapa en falso color de iluminancias consideró la Zona horaria de las 09hrs, 12hrs y 15hrs en las fechas de 21 de junio, 21 de septiembre y 21 de diciembre.

Materialidad Original					
Materiales	Cristal 6mm <i>Bluegreen</i>	Madera Clara	Pintura Blanca Sherwin Williams	Porcelanato Blanco Brillante	Acero Laminado Negro
Reflectancia	19%	40%	80%	90%	10%

Tabla 1: Propiedades ópticas del mall plaza Iquique. Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Estrategias de diseño para la evaluación de luz solar a cielo abierto en el mall plaza Iquique, Tarapacá

En la evaluación Solar - lumínica a cielo abierto se consideró tres criterios para la identificación de estrategias con mayor desempeño del CCC: La orientación del modelo, el porcentaje de apertura cenital y la materialidad, los cuales fueron dispuestos en dos etapas. En primera instancia se evaluaron 9 orientaciones (Fig. 2), incluida la original, con el objetivo de reconocer el modelo de análisis con mejor y peor desempeño entre todos los casos. En segunda instancia, son seleccionados ambos modelos, los cuales se los reevalúa con diferentes materiales y reflectancias, así como una apertura distinta. En cada modelo se evaluó las Iluminancias (Lx), sumado a dos observadores (Observador A y B) ubicados en el segundo piso a mitad de pasillo (Fig. 3). Para el cálculo del DGP y la energía solar (kWh/m^2).

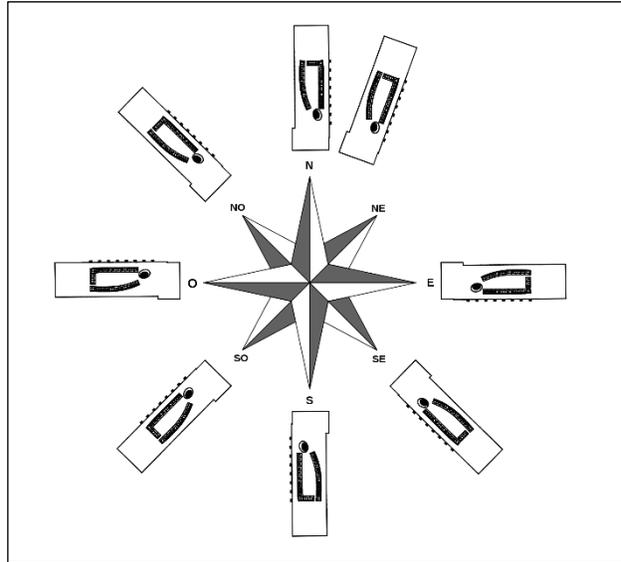


Figura 2: Orientación de todos los modelos en el plano cardinal. Fuente: Elaboración Propia.

El mapa en falso color determina las zonas conflictivas en términos de Iluminancias, mientras que el usuario ubicado en el área con peor desempeño lumínico, en función al mapa de iluminancias, proporciona los niveles de deslumbramiento, así como de radiación solar. El objetivo en esta etapa es reconocer e identificar dos modelos de análisis, el que proporcione los mejores y peores resultados en términos de confort lumínico y visual.

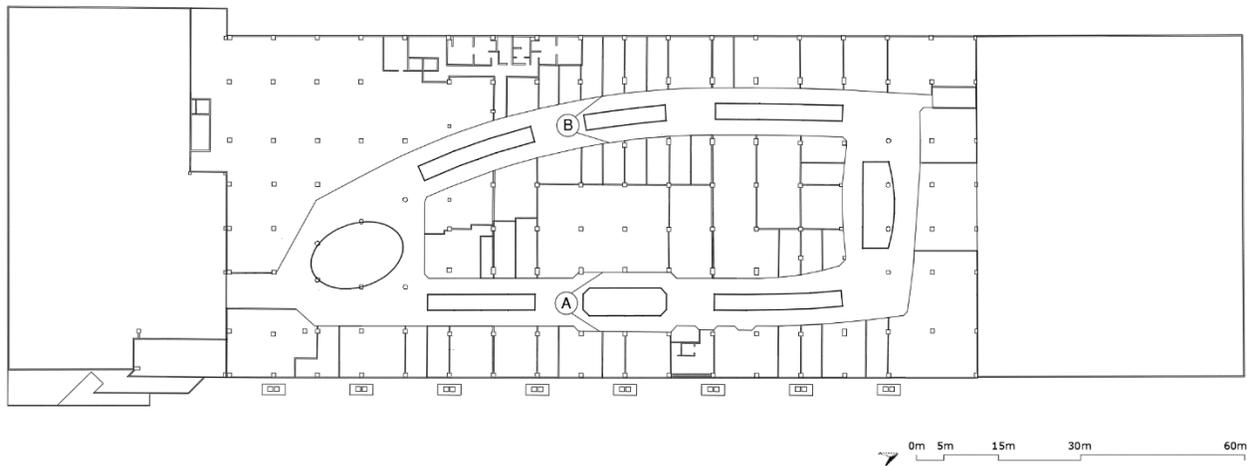


Figura 3: Mapa Ubicación del observador en el plano. Fuente: Elaboración Propia.

En la segunda etapa a partir de las dos orientaciones seleccionadas, se aplicaron los criterios de apertura y materialidad. La apertura consideró la configuración de la cubierta en estructura de madera laminada que protege los pasillos de circulación, donde se establecieron diferentes modelos para mejorar el confort lumínico, cada uno con un nivel de apertura específico: modelo 1 (97% de apertura), modelo 2 (46,5% de apertura), modelo 3 (64,4% de apertura) y modelo 4 (23,08% de apertura) (fig. 4). En tanto que la materialidad se basó en una propuesta de propiedades ópticas con reflectancias menores, diferente a la original, la proposición consideró: cristal 6 mm *evergreen float color* (7% R.), Madera oscura (20% R.), pintura gris claro (50% R.) y cerámica texturizada beige (50% R.). Con las direcciones, aperturas y materialidades determinadas se conformaron 4 variables de propuesta para aplicar a cada caso. Son un total de 10 simulaciones que contemplan el análisis comparativo de indicadores ASE y UDI. Los resultados serán contrapuestos en conjunto con las orientaciones escogidas inicialmente, permitiendo un análisis detallado de cada propuesta. La lectura e interpretación de los datos da por resultado la variable con mejor desempeño lumínico para el CCC.

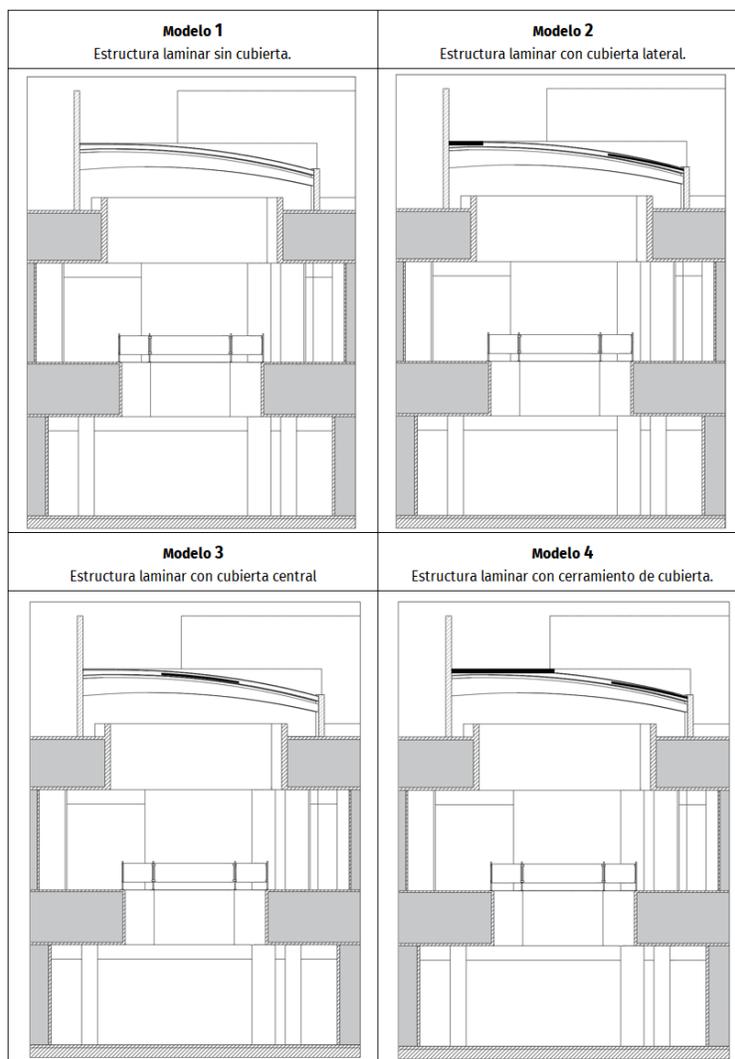


Figura 4: Corte esquemático de circulación, proposición de cubiertas.

Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Evaluación de orientaciones.

De acuerdo con los resultados de la etapa uno, se identificaron zonas críticas de alto brillo luminoso en el pasillo central de los dos pisos, destacando la orientación original (acimut 20,5°), con una iluminación elevada en la planta baja alcanzando 122.216 lx el 21 de diciembre a las 12 h. En contraste, la dirección sureste registró 117.253 lx en el segundo piso para la misma fecha. En promedio, en el primer piso, la orientación norte mostró una iluminancia de 6.690 lx, mientras que la orientación suroeste presentó la menor iluminancia con 5.293 lx. Por otro lado, en el segundo piso, se observó un promedio de 13.384 lx en la orientación noroeste, siendo el norte el registro más bajo con 10.321,9 lx (Figura 5).

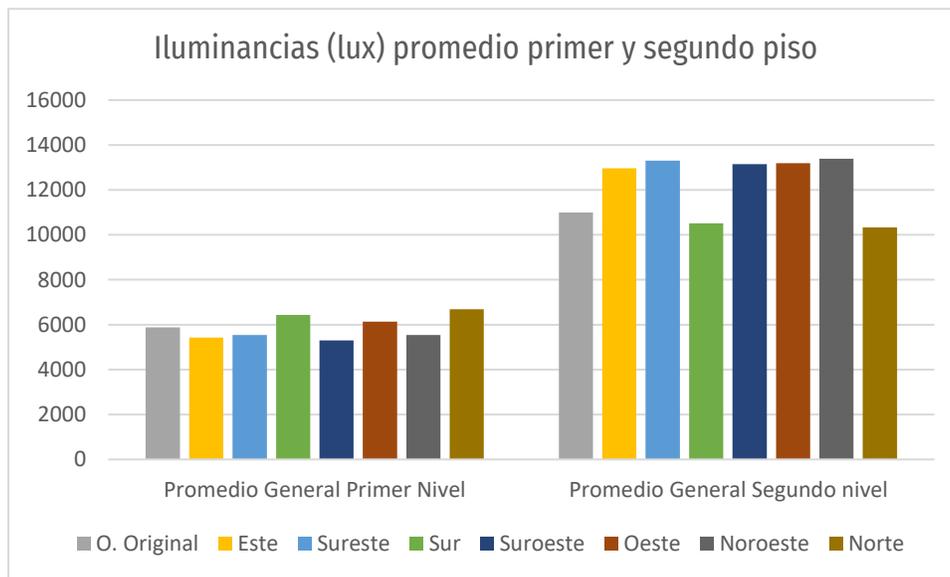


Figura 5: Resultados Iluminancias promedio segundo piso. Fuente: Elaboración Propia.

El Grafico de deslumbramiento anual reveló que las horas intolerables ocurren principalmente en el periodo de las 12hrs a 15hrs. El observador A identificó altos niveles de deslumbramiento en la orientación noroeste durante el solsticio de invierno, con una probabilidad del 100% en $\frac{3}{4}$ de las horas evaluadas, por otro lado, el modelo ubicado al suroeste registró un DGP comparativamente bajo, teniendo una máxima de 67% a las 12hrs y un mínimo de 25% a las 15hrs. Para el equinoccio de primavera tanto el sureste como el noroeste representan un 100% de deslumbramiento en $\frac{3}{4}$ de los casos evaluados, por el contrario, los puntos cardinales sur y suroeste refieren bajos porcentajes de deslumbramiento respecto al resto de orientaciones. Para solsticio de verano los 9 modelos tienen al menos un 100% de deslumbramiento la mitad del tiempo evaluado, excepto la orientación este y oeste, donde existe una probabilidad de deslumbramiento del 100% en todo momento. El promedio general entre los tres solsticios para cada modelo es el siguiente: o. original 78,2%, este 80,3%, sureste 83,8%, sur 80,7%, suroeste 75,6%, oeste 81%, noroeste 92% y norte 81,2%. Destaca el suroeste como la orientación con el DGP más bajo, versus el noroeste, que presenta el DGP más alto (Figura 6).

Con relación al observador B, Durante el solsticio de invierno, tanto el sur como el norte presentan un deslumbramiento del 100% en la mitad de las horas evaluadas, el noroeste es el único que contempla sobre un 60% de deslumbramiento en todos los casos, por otro lado, el sureste indicó niveles de deslumbramiento

uniformes entre el 55% al 51%. En el equinoccio de primavera solo el oeste y noroeste alcanzan un deslumbramiento del 100% en todo momento, seguido por el sureste, donde el 100% del deslumbramiento ocurre $\frac{3}{4}$ del tiempo evaluado. En el solsticio de verano, cada modelo presenta al menos un 100% de deslumbramiento durante la mitad del tiempo, solo el noroeste tiene deslumbramiento del 100% en $\frac{3}{4}$ del tiempo, mientras que el oeste y este tienen un deslumbramiento del 100% en todas las horas evaluadas. El promedio general entre los tres solsticios para cada modelo es el siguiente: o. original 77.2%, este 76.8%, sureste 79.7%, sur 82.4%, suroeste 76,3%, oeste 84.7%, noroeste 88.7% y norte 82.2%. Destaca el suroeste que brinda el DGP más bajo y el noroeste el más alto. (fig. 7)

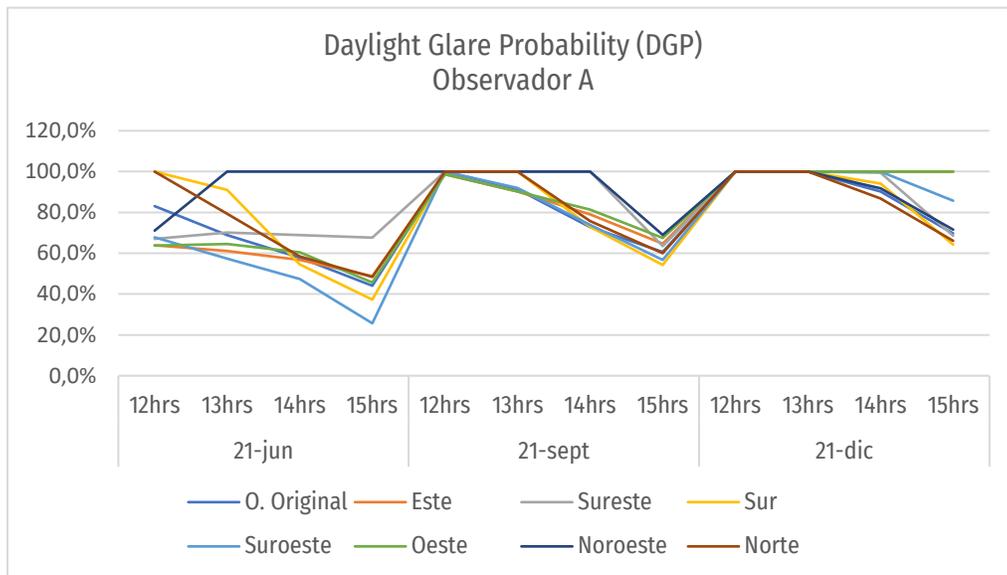


Figura 6: Resultados DGP para todas las orientaciones del observador A. Fuente: Elaboración Propia

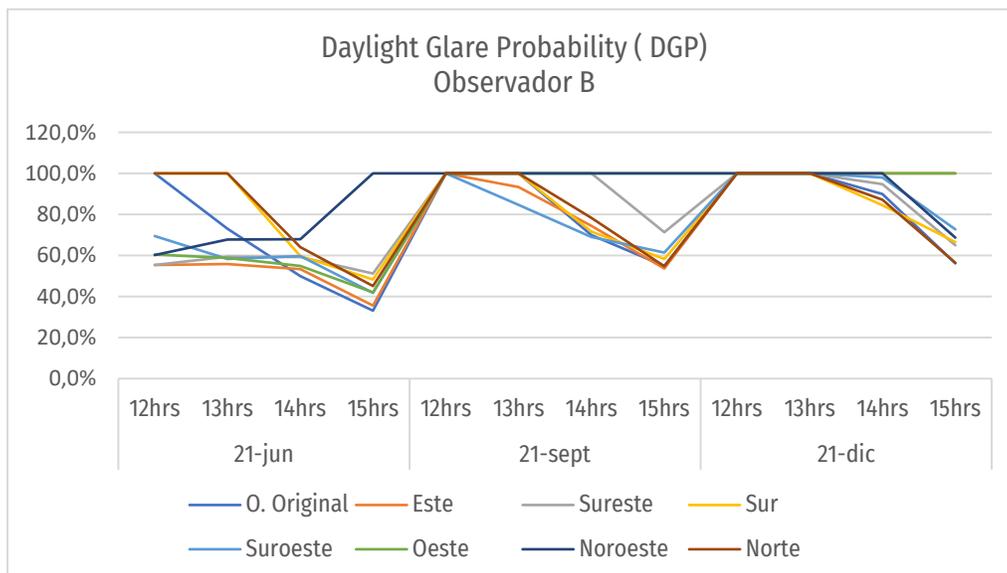


Figura 7: Resultados DGP para todas las orientaciones del observador B. Fuente: Elaboración Propia

El mapa de energía solar reveló niveles de radiación relativamente similares para el Observador A, con valores máximos que superan los 1100 kWh/m², a excepción de la orientación noroeste, que registró 923 kWh/m². En cuanto a los promedios, la media se sitúa alrededor de los 287 kWh/m², destacando el sureste con un valor de 314,3 kWh/m², mientras que el noroeste presentó el promedio más bajo con 267.5 kWh/m². (fig. 8)

El observador B proporciona resultados máximos variables según la orientación, donde la máxima se concentró en el suroeste con 1377,7kwh/m², seguido del este y el sur, por el contrario, la mínima es de 856,7kwh/m² para la o. original. Los promedios de energía solar tienen una media de 326 kWh/m², con una máxima de 350,4kwh/m² para el suroeste, así como una mínima de 301,8 kWh/m² para la o. original. (Fig. 9)

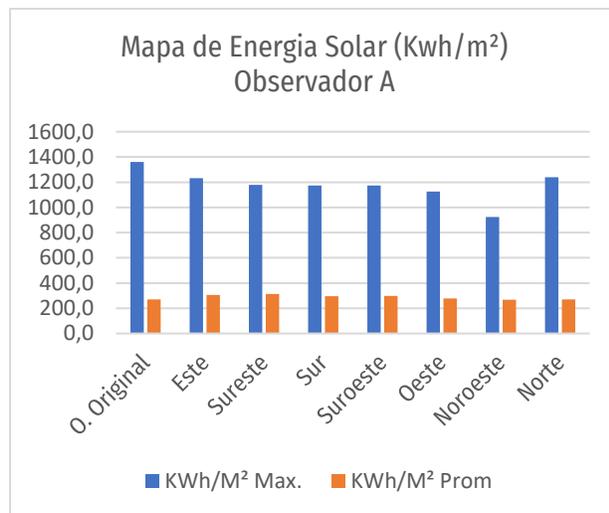


Figura 8: Resultados mapa de energía solar para todas las orientaciones del Observador A, Fuente: Elaboración propia

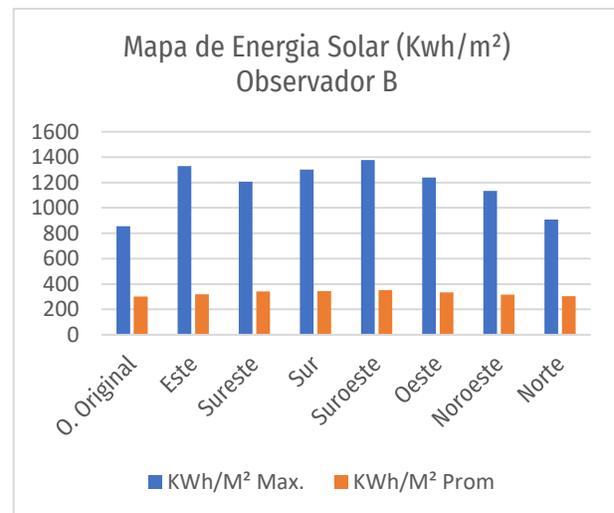


Figura 9: Resultados mapa de energía solar para todas las orientaciones del Observador B, Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados obtenidos, se destacan datos específicos. En términos de iluminancias, el observador A registró niveles mínimos en el suroeste y máximos en el norte, el observador B identificó niveles máximos para el noroeste y niveles mínimos para el norte. En cuanto al DGP ambos observadores reconocen al suroeste con el porcentaje de deslumbramiento más bajo y al noroeste con el más alto. Además, en el mapa de energía solar, el observador A presenta radiaciones mínimas en el noroeste, mientras que el observador B registra las máximas en el suroeste.

Los resultados permiten observar un claro patrón en los modelos ubicados en el noroeste y suroeste. El suroeste muestra los niveles más bajos de deslumbramiento en ambos observadores, así como de iluminancias en el primer piso. Sin embargo, se registraron niveles altos de energía solar en comparación con las otras orientaciones de acuerdo con el observador B. Por otro lado, el noroeste presenta valores comparativamente altos de deslumbramiento e iluminancias en ambos observadores, así como los valores más bajos de energía solar según el observador A. Estos hallazgos proporcionan información relevante para definir las variables de propuesta con relación a estas dos orientaciones.

3.4. Lineamientos para propuestas de aperturas a cielo abierto en el Noroeste.

De acuerdo con los resultados del modelo 1 (m1NO), se observó que el *Annual solar exposure* (ASE) alcanza el 28,44% en el primer piso y el 58,74% en el segundo piso, siendo este último el valor más alto registrado en todas las evaluaciones. Además, el *Useful daylight autonomy* (UDI) en el segundo piso muestra iluminancias aceptables durante aproximadamente dos tercios del tiempo evaluado (36,03%), con un UDI-e (>3000) presente en al menos el 44,12% del tiempo.

El modelo 2 (m2NO), proporcionó un ASE del 55,84% en el segundo piso, similar a los resultados sin cubierta. Asimismo, el UDI en el primer mantuvo iluminancias tolerables en más de la mitad del tiempo (53,69%) Por otra parte, en el segundo piso se identificó iluminancias aceptables en un 40,56% del tiempo, superando el UDI-e (>3000) de 37,54% del mismo piso.

El modelo 3 (m3NO) registró un ASE del 46,75% en el segundo piso, reduciendo cerca de un 10% respecto al modelo anterior, El UDI aceptable en el segundo piso es del 42%, mientras que el UDI-e (>3000) es del 35,61%, con resultados similares al modelo 2, a pesar de que el m3 cuenta con menos porcentaje de apertura cenital. (tabla 2).

Noroeste		Indicadores Dinamicos			
		ASE _(1000,250h)	Useful Daylight autonomy (UDI)		
			UDI-S(<100)	UDI-a(100/3000)	UDI-e(>3000)
Modelo Base Estructura laminar con cubierta lateral. Materialidad original	1er Piso	24,02%	21,79%	46,98%	31,23%
	2do Piso	56,01%	17,28%	31,64%	51,08%
	Promedio General	40,02%	19,54%	39,31%	41,16%
Modelo 1 Estructura laminar sin cubierta con propuesta de materialidad	1er Piso	28,44%	28,20%	51,40%	20,40%
	2do Piso	58,74%	19,85%	36,03%	44,12%
	Promedio General	43,59%	24,03%	43,72%	32,26%
Modelo 2 Estructura laminar con cubierta lateral y propuesta de materialidad	1er Piso	23,95%	31,77%	53,69%	14,54%
	2do Piso	55,84%	21,91%	40,56%	37,54%
	Promedio General	39,90%	26,84%	47,13%	26,04%
Modelo 3 Estructura laminar con cubierta central y propuesta de materialidad	1er Piso	19,59%	32,24%	52,86%	14,90%
	2do Piso	46,75%	22,37%	42,02%	35,61%
	Promedio General	33,17%	27,31%	47,44%	25,26%
Modelo 4 Estructura laminar con cerramiento de cubierta y propuesta de materialidad	1er Piso	10,48%	38,90%	51,55%	9,55%
	2do Piso	40,88%	24,86%	52,77%	22,37%
	Promedio General	25,68%	31,88%	52,16%	15,96%

Tabla 2: Resultados ASE y UDI para modelos de propuesta noroeste.

Fuente: elaboración Propia.

El modelo 4 (m4NO), destacó un ASE del 10,48% en el primer piso, ligeramente por encima de lo recomendado, no obstante, el segundo piso presentó exposiciones solares anuales del 40,88%, lo que indica que al menos el 40,88% del tiempo hubo niveles de iluminación superiores a 1000 lux durante 250 horas al año. Se observaron altas incidencias solares en la circulación semicurva, lo que aumenta las posibilidades de deslumbramiento. Es importante destacar que en la etapa uno, el pasillo recto presento una mayor incidencia de este fenómeno (fig. 10). Respecto al UDI, se presentaron iluminancias aceptables en mas de la mitad del tiempo evaluado en ambos pisos, promediando un 52,16%. El UDI-e (>3000) no superó el 10%, mientras que en el segundo piso llegó a 22,37%, siendo el más bajo de todos. En el plano (fig. 11) aumenta el porcentaje en medida que el observador se ubique en la apertura ovalada.

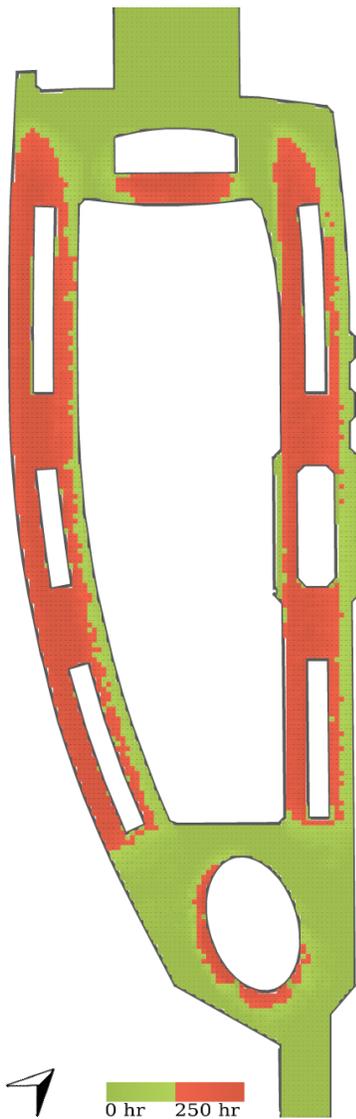


Figura 10: ASE, Segunda planta, modelo 4, noroeste. Fuente: Elaboración propia



Figura 11: UDI, Segunda planta, modelo 4, noroeste. Fuente: Elaboración propia

3.5. Lineamientos para propuestas de apertura a cielo abierto en el Suroeste.

Para los resultados del modelo 1 (m1SO), el ASE fue de 28,12% en el primer piso y 54,34% en el segundo piso, reduciendo ligeramente los valores proporcionados por el modelo 1 de la orientación noroeste. Asimismo, el UDI en el segundo nivel reveló iluminancias aceptables durante aproximadamente dos tercios del tiempo evaluado (36,37%), así como iluminancias excesivas en el 43,30% del tiempo, repitiendo el patron del m1NO.

El modelo 2 (m2SO) identifico un ASE del 22,92% (primer piso) al 51,15% (segundo piso), ambos por encima de lo adecuado. Con relación al UDI, en el primer piso el 54,08% del tiempo hay iluminancias adecuadas, en contraparte el segundo piso se cumplió esta condición cerca del 41,21% del tiempo. Se registraron iluminancias excesivas durante cerca de dos tercios del tiempo en el segundo piso.

El modelo 3 (m3SO) evaluó un ASE con menos del 20% de exposición solar anual en el primer piso, pero con un aumento del 43,69% en el segundo piso, lo que representó un desempeño ligeramente mejor que el m3NO. De acuerdo con el UDI en el primer piso se registró una iluminación adecuada el 53,63% del tiempo, sin embargo, en el segundo piso esto sucede en un 42,36% del tiempo.

Suroeste		Indicadores Dinamicos			
		ASE _(1000,250h)	Useful Daylight autonomy (UDI)		
			UDI-S(<100)	UDI-A(100/3000)	UDI-E(>3000)
Modelo Base Estructura laminar con cubierta lateral. Materialidad original	1er Piso	23,27%	21,10%	48,38%	30,51%
	2do Piso	51,38%	17,58%	32,58%	49,84%
	Promedio General	37,33%	19,34%	40,48%	40,18%
Modelo 1 Estructura laminar sin cubierta con propuesta de materialidad	1er Piso	28,12%	27,53%	52,85%	19,62%
	2do Piso	54,32%	20,33%	36,37%	43,30%
	Promedio General	41,22%	23,93%	44,61%	31,46%
Modelo 2 Estructura laminar con cubierta lateral y propuesta de materialidad	1er Piso	22,92%	31,82%	54,08%	14,10%
	2do Piso	51,16%	22,65%	41,21%	36,14%
	Promedio General	37,04%	27,24%	47,65%	25,12%
Modelo 3 Estructura laminar con cubierta central y propuesta de materialidad	1er Piso	18,26%	31,87%	53,63%	14,50%
	2do Piso	43,69%	22,89%	42,36%	34,75%
	Promedio General	30,98%	27,38%	48,00%	24,63%
Modelo 4 Estructura laminar con cerramiento de cubierta y propuesta de materialidad	1er Piso	8,85%	38,52%	52,10%	9,38%
	2do Piso	37,35%	25,45%	53,88%	20,68%
	Promedio General	23,10%	31,99%	52,99%	15,03%

Tabla 3: Resultados ASE y UDI para modelos de propuesta suroeste.

Fuente: elaboración Propia.

Los indicadores dinámicos revelaron que el ASE en el primer piso es de 8,85% por lo tanto significa que un 8,85% del área útil tiene una exposición excesiva al sol (>1000lx) durante más de las 250 horas al año, lo cual es adecuado, no obstante, el segundo nivel proporciono un 37,35% de exposición anual, que es cerca de 4 veces el valor recomendado. Además, en el plano el área de incidencia se concentró en la circulación semicurva (fig. 12), elemento que se repite con el m4NO. El UDI en el primer nivel contempla iluminancias aceptables en el 52,10% del tiempo, mientras que en el segundo nivel aumenta a un 53,88% del tiempo evaluado. El UDI-e(>3000) es del % en el primer piso y del 20,68% en el segundo nivel (fig. 13).

Los resultados del modelo 4 para el suroeste proporcionan el mejor desempeño entre todas las opciones evaluadas respecto al segundo piso del modelo original. En este caso, se redujo un 14,03% la exposición solar anual y se incrementaron las iluminancias adecuadas en un 21,3%. Además, las iluminancias excesivas disminuyeron en un 29,16%. Es importante destacar que el m4SO es el único modelo que logró un ASE y UDI-e (>3000) inferior al 10% en el primer piso, y también registró un promedio de UDI superior al 52% en conjunto con el m4NO.

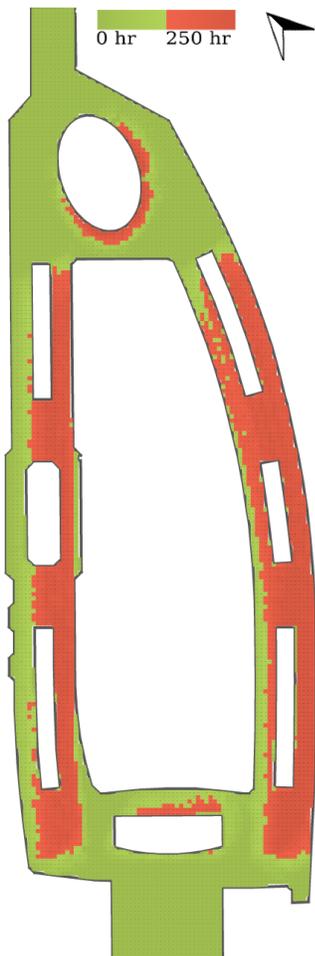


Figura 12: ASE, Segunda planta, modelo 4, suroeste. Fuente: Elaboración propia



Figura 13: UDI, Segunda planta, modelo 4, suroeste. Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

A partir de los resultados se puede inferir que la hipótesis es correcta con respecto a que la implementación de estrategias a cielo abierto podría mejorar la calidad ambiental solar - lumínico interior, otorgando un mayor confort visual y lumínico al disminuir la exposición solar anual y aumentar las iluminancias aceptables, así como también lograr niveles de ASE y UDI menores al 10% en situaciones particulares, no obstante, cabe resaltar que la propuesta con mejor desempeño sobrepasó en el segundo piso la exposición solar aceptable del 10% a casi cuatro veces su valor, por lo que es un punto que tratar en futuras investigaciones.

El objetivo general se cumple, en primer lugar, se llevaron a cabo análisis de condiciones de confort lumínico y se consideraron las características climáticas y geográficas del entorno del Mall Plaza Iquique. Esto permitió comprender el contexto en el que se encuentra el centro comercial y su potencial para la implementación de estrategias de diseño a cielo abierto.

En segundo lugar, se evaluó el desempeño solar-lumínico de los espacios de circulación interior del Mall Plaza Iquique. Se analizaron los niveles iluminancias en periodos típicos, mapas de energía solar, probabilidades de deslumbramiento en periodos críticos, así como indicadores dinámicos de exposición solar y los niveles iluminancias durante todo el año, lo que permitió identificar las áreas que requerían mejoras y comprender cómo la implementación de estrategias de apertura a cielo abierto podía influir en el confort lumínico-visual.

Por último, se identificaron las estrategias de diseño a cielo abierto más efectivas para mejorar el desempeño solar-lumínico del centro comercial. Se tuvieron en cuenta las características climáticas y geográficas de la ciudad de Iquique para determinar cuatro modelos de propuesta con el fin de maximizar el ingreso de luz natural y minimizar las exposiciones solares no deseadas. Estos hallazgos proporcionan recomendaciones concretas para futuros proyectos arquitectónicos y contribuyen al campo del diseño sostenible y del confort visual en espacios comerciales.

En cuanto a la contribución de esta investigación, se destaca su valor práctico y teórico. Desde un punto de vista práctico, al proporcionar criterios de evaluación para mejorar el confort lumínico-visual en centros comerciales, especialmente en aquellos ubicados en zonas con características solares y lumínicas semejantes a Iquique. Desde un punto de vista teórico, esta investigación contribuye a la literatura existente sobre diseño de iluminación natural en espacios comerciales, al proporcionar datos y análisis específicos para un caso de estudio particular. Además, se destaca la importancia de considerar las condiciones solares y lumínicas locales al diseñar estrategias de iluminación natural, ya que estas características pueden influir significativamente en el resultado final.

En términos de futuros caminos de investigación, se sugiere profundizar en el estudio de estrategias adicionales para reducir la exposición solar, así como incorporar otras variables de análisis solar – luminoso que permita conocer el caso particular a detalle. Además, se podría considerar la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real para evaluar y ajustar la iluminación natural en función de las condiciones cambiantes del ambiente. En resumen, este estudio ha demostrado que las estrategias de diseño de aperturas a cielo abierto lograron mejorar el confort lumínico-visual en el centro comercial Mall Plaza Iquique.

Agradecimientos

Para el electivo de especialización: Iluminación Natural: diseño eficiente en espacios arquitectónicos, impartido por la profesora guía, Jeannette Roldan y la ayudante Natalia Cortes. A la municipalidad de Iquique por el apoyo en las gestiones de los planos del *mall*.

Glosario.

UDI (Useful Daylight Illuminance), La iluminancia útil de luz diurna mide la cantidad de luz natural útil en un espacio, proporcionando 3 rangos distintos, UDI-a (aceptable entre 100lx – 3000lx) no es necesario el uso de luz artificial, UDI-s (Suplementario menor a 100lx) es necesario el uso de luz artificial, UDI-e (Excesivo sobre 3000lx) donde produce discomfort. (Piderit, Cauwerts, & Diaz, 2014). Su medición es útil ya que determina los niveles de lux(lx) adecuados para que el usuario pueda realizar tareas específicas durante el día.

ASE (Annual Sunlight Exposure), La exposición solar anual mide la exposición directa a la luz solar que es igual o excede los 1000lx durante 250 horas en el año (IES, 2012), su aplicación permite reconocer en el plano las áreas con exposición excesiva o insuficiente a la radiación solar.

DGP (Daylight glare Probability) La probabilidad de deslumbramiento por luz de día se tipifican en 4 rangos que definen el nivel de comodidad visual de los ocupantes. Imperceptible (0-35%), Perceptible (35-40%), Perturbador (40-45%) e Intolerante (45%+) (Jakubiec y Reinhart, 2010). Los resultados del indicador permiten identificar a nivel de observador el nivel de deslumbramiento en las áreas críticas del CCC.

El Mapa de energía Solar entrega información de como incide la radiación solar en el espacio estudiado desde la perspectiva del usuario, el uso de esta herramienta permite comprender su distribución y disponibilidad del área analizada.

El Mapa en Falso Color de Iluminancias determina los niveles de iluminancias presente para los parámetros establecidos en el plano horizontal, comprender la distribución lumínica a lo largo de la trama da como resultado reconocer puntos críticos de iluminancia.

Referencias

- Aries, M. B. C., Aarts, M. P. J., & van Hoof, J. (2015). Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment. *Lighting Research & Technology*, 47(1), 6-27.
<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1477153513509258>
- Baker, N. V, Fanchiotti, A., & Steemers, K. (2015). *Daylighting in Architecture: A European Reference Book*. Taylor & Francis. Retrieved from
<https://books.google.cl/books?id=NAgeCwAAQBAJ>
- Cámara de centros comerciales (s. f). Recuperado de:
<http://www.camaracentroscomerciales.cl>
- Cereceda, P., Lorrain, H., Osses, P., Farías, M., & Lagos, M. (2008). The spatial and temporal variability of fog and its relation to fog oases in the Atacama Desert, Chile. *Atmospheric Research*, 87(3-4), 312-323.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809507002104>
- CNE, PNUD, & UTFSM. (2008). *Irradiancia Solar en Territorios de la república de Chile*. Comisión Nacional de Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Universidad Técnica Federico Santa María.
https://www.plataformacaldera.cl/biblioteca/589/articles-64683_documento.pdf
- Coefficientes de reflectancia (s. f). Recuperado de:
https://www.artelum.com.ar/datosutiles_refle.asp
- Dirección Meteorológica de Chile. (2021). Anuario meteorológico 2021. Dirección Meteorológica de Chile.
<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/documentoPdf/anuario/anuario-2021.pdf>
- Fariña, J., Fernandez, V., Galvez, M., Hernandez, A., & Urrutia, N. (2013). *Manual de Diseño Bioclimático Urbano*. Instituto Politécnico de Bragança.
https://oa.upm.es/15813/1/2013-BIOURB-Manual_de_diseno_bioclimatico_b.pdf
- Figueiro, M. G., Rea, M. S., & Stevens, R. G. (2010). Disruption of circadian rhythms by light during day and night. *Current Sleep Medicine Reports*, 6(2), 99-106.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40675-017-0069-0>
- Gibson, J. J. (2018). *The ecological approach to visual perception: Classic edition*. Psychology Press.
<https://yzhu.io/courses/core/reading/02.gibson.pdf>
- Guadarrama Gándara, C. & Bronfman Rubli, D. (2015). *Sobre luz natural en la Arquitectura*.
https://repositorio.unam.mx/contenidos/sobre-luz-natural-en-la-arquitectura-53065?c=Mk7553&d=true&q=*&i=2&v=1&t=search_0&as=0
- Heschong, L. (2002). Daylighting and human performance. *ASHRAE Journal*.
<http://www.livingdaylights.nl/wp-content/uploads/2016/12/Heschong-2002.-Daylighting-and-Human-performance..pdf>

- Illuminating Engineering Society. (2012). Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and AnnualSunlight Exposure (ASE). IES LM-83-12.
https://www.techstreet.com/standards/ies-lm-83-12?product_id=1853773
- Jakubiec, J. A., & Reinhart, C. F. (2011). DIVA 2.0: Integrating daylight and thermal simulations. using Rhinoceros 3D, Daysim and EnergyPlus. In Proceedings of building simulation (Vol. 20, pp. 2202–2209). Citeseer.
- Jorquera F. (2021). Luz solar en el proceso de diseño de envolventes paramétricas en edificios de oficina del valle central de Chile. Universidad de Chile.
https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1Mhf8_CMO1wxBGuljf8ozYnyYqnQ6fGGJ
- Mayhoub, M. S., & Rabboh, A. (2022). Daylighting in shopping *malls*: Customer's perception, preference, and satisfaction. Al-Azhar University.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778821009750?casa_token=B7XXG1TiqioAAAAA:zJGEzZhni3PwcMoU4jeEeyzX7-kOoQkmP4rhEOcHMthxld7tQNBrIX3imeYO3H7183cCnRX4fNcZ
- Muñoz-Schick, M., Pinto, R., Mesa, A. y Moreira-Muñoz, A. (2001). "Oasis de neblina" en los cerros costeros del sur de Iquique, región de Tarapacá, Chile, durante el evento El Niño 1997-1998. Revista Chilena de Historia Natural.
https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-078X2001000200014&script=sci_arttext
- NCD Risk Factor Collaboration. (2016). A century of trends in adult human height. eLife, 5, e13410.
<https://doi.org/10.7554/eLife.13410>
- N. Schulz, J. P. Boisier & P. Aceituno (2011) Climate change along the arid coast of northern Chile. Royal meteorological society.
https://www.researchgate.net/publication/258652857_Climate_change_along_the_arid_coast_of_northern_Chile
- Ochoa, C. E., & Capeluto, I. G. (2012). Evaluating visual comfort and performance of three natural lighting systems for deep office buildings in highly luminous climates. Building and Environment, 49, 189-200.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013230500171X>
- Piderit, M. B., Cauwerts, C., & Diaz, M. (2014b). Definition of the CIE standard skies and application of high dynamic range imaging technique to characterize the spatial distribution of daylight in Chile. Revista de La Construcción. scielocl.
- Reinhart, C. F., & Selkowitz, S. (2006). Daylighting—light, form, and people. Energy and Buildings, 38(7), 715-720.
<https://www-sciencedirect-com.uchile.idm.oclc.org/science/article/pii/S0378778806000661>
- Reinhart, Walkenhorst (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. Energy and Buildings 33 p 683-697, Solar Building Design Group, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.

- Santibáñez, F., & Uribe, J. (2017). Atlas Agroclimático de Chile: Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo. Universidad de Chile.
<https://www.uchile.cl/publicaciones/139988/atlas-agroclimatico-de-chile>
- Ülkü, N. E. (2008). Shopping malls and socio-spatial exclusion in Istanbul: The case of Kanyon Shopping Mall. Koç University
https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/170433/yokAcikBilim_312162.pdf?sequence=-1a
- Venegas S. A, Piderit M. B. (2018). Reflectancia de las envolventes verticales y su influencia sobre disponibilidad de luz natural en el cañón urbano de la ciudad de concepción. Revista hábitat sustentable Vol. 8N°1.
<https://www.scielo.cl/pdf/hs/v8n1/0719-0700-hs-8-01-00006.pdf>
- Weatherspark. (2022). Datos históricos meteorológicos de 2022 en Iquique. Weatherspark. Recuperado de <https://es.weatherspark.com/h/y/26548/2022/Datos-historicos-meteorologicos-de-2022-en-Iquique-Chile#Figures-Daylight>

Anexos

- Anexo 1: Fichas de Centros comerciales, ejemplos internacionales.
- Anexo 2: Ficha y Planos mall plaza Iquique.
- Anexo 3: Volumen Mall plaza Iquique.
- Anexo 4: Especificaciones técnicas.
- Anexo 5: etapa uno - Evaluación de Orientaciones
- Anexo 6: etapa dos - Modelo de propuesta.

Disponibles en: <https://drive.google.com/drive/folders/1crXpTvQSMiKdkqq1tizzpxNruCeTrXln?usp=sharing>