

Tratamiento desde el diseño arquitectónico en fachadas vidriadas para el confort visual en salas de espera en Tocopilla.

Evaluación dinámica en sala de espera en el Hospital Marcos Macuada.

Estudiante: Natalia Cortés San Román
Profesora guía: Jeannette Roldán Rojas

Resumen

El control efectivo de la luz natural es un desafío constante en el diseño de edificios. El exceso de brillo luminoso provocado por un mal control lumínico causa discomfort lumínico y visual, llevando a las personas a bloquear su ingreso, aumentando el uso de luz artificial durante el día. En esta investigación se analiza la luz solar en el clima de Tocopilla, en el hall del Hospital Marcos Macuada, el cual posee una fachada vidriada enfrentada al norponiente. Se realiza un modelo de prueba digital para ser evaluado en Lightstranza, aplicando los indicadores de luz natural para caracterizar el recinto considerando las variables orientación, cerramiento y cortinas. Se determinó que la orientación óptima para este diseño es la orientación Sur, y que la solución estática de cerramiento norte quebrado al 50%, en conjunto con la cortina *roller sunscreen* 3%, son las propuestas de control lumínico que tuvieron mejor desempeño.

Palabras clave: Luz solar, Confort visual, Tocopilla, Sala de espera

1. Introducción

Las latitudes geográficas bajas son poco estudiadas, lo que conlleva a una escasez de referencias para trabajar en este territorio. La validación de los índices utilizados para medir el confort visual debe ser llevada a las latitudes más cercanas al Ecuador, donde el nivel de intensidad luminosa diurna es permanente durante el año en comparación al hemisferio norte. En consecuencia, este estudio se llevará a cabo en una latitud geográfica poco explorada, la latitud 22° S.

En el caso de Tocopilla, que se ubica en la latitud 22,08° S, longitud 70,19° O, se presentan registros solarimétricos de 281,5 MJ/m² en Junio, 479,2 MJ/m² en Septiembre, 623,2 MJ/m² en Diciembre y anual de 5620,5 MJ/m² respectivamente, es decir, altos niveles de iluminancia.

La luz solar tiene un impacto directo en nuestra productividad, y siempre se maneja de manera reactiva cuando los edificios ya están construidos. Desde la disciplina, se debe crear espacios que

respondan a todas las variables implicadas en el bienestar visual, desde su concepción hasta la finalización, y cuando el trabajo ya está terminado, hay que brindar las soluciones correspondientes.

Las mediciones para evaluar el confort visual se realizan a través de simulaciones para medir el ingreso de luz diurna y el posible deslumbramiento que este podría causar. La creación de un modelo digital que permita medir en distintas orientaciones, para el caso particular de latitud 22° S, proveería posibles respuestas al problema arquitectónico sobre cómo controlar la luz solar y aprovecharla al máximo sin que esta llegue a perjudicarnos, fomentando además el ahorro energético.

Un buen diseño de iluminación logra un equilibrio óptimo entre provisión y control de luz natural, y para esto, se debe considerar la variabilidad y distribución de la luz, mediante indicadores dinámicos, para alcanzar niveles óptimos de iluminación, evitando el brillo luminoso y el deslumbramiento. (Mardaljevic, Hescong y Lee, 2009)

Los niveles de iluminancia de la luz del día en un espacio son dinámicos, y cambian constantemente tanto en intensidad como en el patrón de distribución espacial, ya que las dos fuentes variables durante el día, el sol y el cielo luminoso, interactúan con la geometría y las propiedades físicas del espacio, el contexto exterior y las condiciones interiores. (Heschong et al, 2009)

Existe la presunción para la cual la iluminación natural es muy simple de trabajar de forma intuitiva, sin embargo, tal suposición se desmiente con los siglos de experiencia en construcciones antiguas. Actualmente, con las nuevas tecnologías en fenestraciones, y muchas más demandas en el rendimiento de los edificios, se proponen métricas avanzadas y métodos de análisis para ayudar a optimizar el diseño de iluminación natural bajo estas nuevas condiciones, favoreciendo la salud y el confort visual. Para regularizar el empleo de estos indicadores, se trabajó en conjunto con expertos en el área y se encuestó a personas en tres tipos de espacios que realizaron distintas actividades, salas de clases, oficinas de planta abierta, bibliotecas y salas de espera. Se implementaron dos tipos de encuesta para evaluar la suficiencia de iluminancia y el deslumbramiento, con el fin de regularizar los indicadores dinámicos y lograr una métrica uniforme, pasando desde el *Daylight Autonomy* (DA), hasta llegar a la conclusión de la necesidad de un nuevo indicador, como el *Annual Sunlight Exposure* (ASE). (Heschong 2012)

El gran impacto que tienen los edificios en nuestras vidas es fundamental: casi el 50% de la población vive actualmente en ciudades, y el 90% del tiempo normalmente permanece al interior de los edificios. La iluminación, la calefacción y la refrigeración son las tres funciones que más demandan energía en los edificios, y para esto hay que promover estrategias eficientes de iluminación natural y control solar, considerando nuestro confort y bienestar (Andersen, 2015)

Para Kwong (2020) el desconfort visual en los usuarios es habitualmente provocado por el deslumbramiento y el exceso de brillo luminoso, lo cual es considerado uno de los mayores problemas de calidad ambiental interior, principalmente en edificios comerciales en Malasia, de latitud 3,8° N, longitud 101,4° O, con un registro solarimétrico anual de 5655 MJ/m².

El diseño de la iluminación se rige según los valores mínimos establecidos en el DS 549, y varía según el tipo de recinto y las labores que se realizan en él. En

el caso de las salas de espera de hospitales, la iluminancia mínima debe ser 150 lx. Cuando las salas no están correctamente orientadas o falta regulación en el ingreso de luz solar directo, se genera un gasto energético extra durante el día, ya que se utiliza la iluminación artificial para compensar la pérdida de ingreso de luz natural, al bloquear por completo el efecto de sobre iluminación con cortinas, encontrando así el problema: La sobre iluminación y mala distribución de luz, que son factores que causan desconfort visual por deslumbramiento al interior de los recintos. En Tocopilla, actualmente para solucionar este problema de desconfort visual, se reduce parcialmente o por completo el ingreso de luz solar, limitando el aprovechamiento útil de la fachada y forzando el uso de iluminación artificial durante el día (Fig. 1).

Así nace la pregunta, ¿Cuáles son los requerimientos de control lumínico, a partir del tratamiento de la fachada y la superficie vidriada, necesarios para promover el confort lumínico, visual y el ahorro energético en salas de espera en Tocopilla? Y se plantea la siguiente hipótesis: El manejo del ingreso de luz solar según las aperturas y las dimensiones de superficies vidriadas en distintas orientaciones en la latitud 22° S, promovería el confort visual y lumínico, logrando un máximo ahorro energético al reducir el uso de luz artificial durante el día.

Para ello se requerirá evaluar los factores dinámicos de la luz solar que promueven el confort visual en fachadas vidriadas, a partir del control lumínico en salas de espera con distintas orientaciones en la localidad de Tocopilla. Y finalmente, los siguientes objetivos específicos: identificar los indicadores dinámicos de la iluminación natural y el confort visual, evaluar y analizar la luz solar en el clima de Tocopilla para salas de espera de acuerdo con metodologías dinámicas en diferentes orientaciones y, por último, analizar resultados para configurar una propuesta para confort lumínico visual.

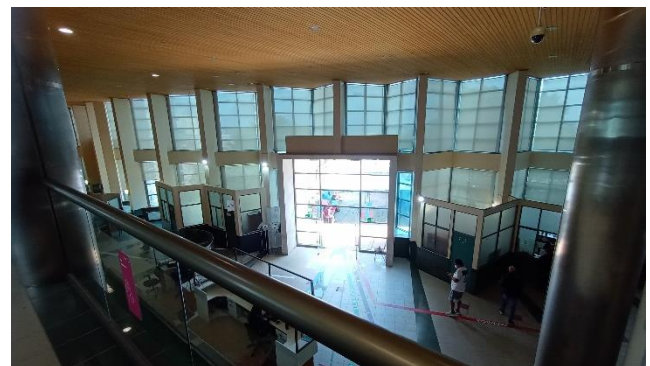


Fig. 1: Vista desde el interior del hall del Hospital de Tocopilla. Fuente: fotografía del autor.

2. Antecedentes

2.1 Marco Teórico.

Los intentos de medir la luz solar se remontan por más de un siglo. Sin embargo, hacia fines del siglo XX, se le da mayor relevancia a la luz natural en los edificios, principalmente para ahorrar energía minimizando el uso de la luz artificial, y los nuevos descubrimientos sobre el impacto positivo de la luz natural en los ocupantes, se consolidan y divulgan. Entre ellos, el aumento de la productividad y el mejoramiento del bienestar según efectos no visuales. Aportando también, a la disminución de los efectos negativos del cambio climático antropogénico. (Mardaljevic, 2013) A lo largo de este tiempo, se pasa por indicadores estáticos que, al ser estudiados con más profundidad, evolucionaron o se fusionaron en indicadores dinámicos. Estos indicadores evolucionaron en conjunto a los avances computacionales que, con el paso del tiempo y las nuevas tecnologías en procesadores y tarjetas gráficas, aceleraron los procesos de cálculo que tomaban meses, llevándolo a horas o minutos. En el año 2001, Reinhart se basó en el motor de cálculo Radiance en la simulación en Radiance utilizando el método de simulación llamado Daysim. Esta utiliza coeficientes de luz diurna para predecir iluminancias interiores en períodos laborales.

2.2 Indicadores dinámicos de iluminación natural y confort visual.

El ingreso directo de luz solar en un edificio y las vistas hacia el exterior no promueven necesariamente un buen diseño de iluminación natural. Asimismo, bloquear la luz solar directa tampoco es un criterio de diseño. Los indicadores dinámicos capturan la interacción entre la luz solar, el contexto geográfico, los usuarios y el clima anual.

Los indicadores dinámicos de rendimiento de luz diurna, se basan en luminancias e iluminancias dentro de un edificio en períodos de tiempo laborales. Suelen abarcar todo el año y se basan en datos externos de irradiación solar, nubosidad y capacidad luminosa del cielo en el lugar de la edificación. La ventaja de los indicadores dinámicos por sobre los estáticos, es que estos consideran la cantidad y el carácter de las variaciones diarias y estacionales de la luz diurna en un sitio determinado, en conjunto con eventos meteorológicos irregulares (Reinhart, Mardaljevic, Rogers, 2006)

Several studies have demonstrated that the Radiance raytracer combined with a daylight coefficient

approach and the Perez Sky Model is able to reliably and effectively calculate time series of illuminances and luminances in buildings (Mardaljevic 2000; Reinhart and Andersen 2006; Reinhart and Walkenhorst 2001).

La cantidad de información resultante corresponde a miles de resultados, por lo cual se debe ajustar las variables, sin reducir su valor para el diseño de los edificios. Se ubica una trama de 0,5 x 0,5 m a 0.8 m sobre el suelo, con sensores de iluminancia que se extiende en las superficies iluminadas. Luego se identifica qué períodos de tiempo base a considerar para los indicadores, como las horas de ocupación del lugar. y las horas de luz diurna anuales. Estas últimas no cambian, exceptuando el caso en el cual en el entorno urbano hubiera modificaciones. Una vez que se han establecido la ubicación de los sensores y un período de tiempo base, el siguiente paso es elegir un criterio que determine si la situación de la luz del día en un sensor es "adecuada" en un momento determinado. (Reinhart, et al. 2006)

Con los años, han surgido varios indicadores, entre ellos el *Daylight Autonomy* (DA) o Autonomía Lumínica, que corresponde al porcentaje del año en que un umbral mínimo de iluminancia se alcanza solo con la luz natural. (Reinhart, 2006). Existen niveles mínimos de iluminancia para diferentes tipos de espacios según sus requerimientos, en el caso de estudio, este corresponde a 150 lx para el sector de la sala de espera.

Para ayudar en la interpretación del análisis basado en el clima y los niveles de iluminancia de la luz diurna según los datos meteorológicos por hora durante un año completo, se diseñó el *Useful Daylight Illuminance* (UDI) o Iluminancia Diurna Útil. Este se mide en rangos de iluminancia suficientes para trabajar con luz solar, donde el nivel menor 100 lx es muy oscuro y sobre 2000 lx provoca deslumbramiento, produciendo así discomfort visual y térmico. Este índice no solo informa sobre los niveles útiles de iluminancia diurna, además, entrega datos sobre los riesgos de ingreso excesivos de esta iluminación, asociados con el discomfort visual de los usuarios y las ganancias solares no deseadas. (Mardaljevic, Nabil, 2005)

Para describir la tolerancia máxima de exposición solar que debería ser aceptable en un espacio iluminado por luz natural, se creó una métrica de exposición al sol que funcionara en armonía con el DA, estableciendo así un umbral para una cantidad máxima de horas de exposición tolerable (Heschong 2012). Así se origina el *Annual Sunlight Exposure* (ASE) o Exposición Solar Anual, que es el porcentaje

del área analizada; si es igual o excede los 1000 lx durante 250 horas en el año típico según los datos climáticos del lugar (Roldán, Soto, Eliash, 2020), pudiendo provocar discomfort visual por deslumbramiento.

The Annual Sun Exposure metric could be considered a modifier of the Daylight Autonomy criteria. For example, once a space has been determined to pass the Daylight Autonomy criteria, then the Annual Solar Exposure metric can be considered as qualifying the score, and suggesting mitigations to reduce sun exposure and improve occupant visual comfort. (Heschong 2012)

Los efectos físicos del deslumbramiento se han estudiado desde el siglo 19, cuando surgieron edificaciones con fachadas vidriadas cada vez más extensas. Se establecieron rangos donde, si bien el deslumbramiento en algunos casos dificulta la visión parcialmente, no causa discomfort, solo reduce la visión.

Glare, in both its disabling and its discomforting effects, was a major factor in the design of natural lighting (windows) in buildings and was the cause of much of the dissatisfaction then being expressed for the new type of building with very large windows. (Hopkinson, 1949)

En la actualidad, en términos de confort visual, hay un consenso general para el cual el deslumbramiento es la causa principal del uso de sistemas de sombreado, por lo tanto, también es una fuente importante de la potencial insatisfacción de los usuarios. El tipo de deslumbramiento más común en los espacios interiores, denominado discomfort visual, induce a reacciones negativas en las personas y deben ser resueltas con un diseño adecuado de control de la luz solar. Los seres humanos necesitan vivir en un entorno propicio para la salud y tienen necesidades fisiológicas de exposición lumínica, que influye directamente en los fotorreceptores circadianos, convirtiendo así la luz solar en un elemento esencial para la vida saludable. Entre los factores ambientales que influyen fuertemente en nuestra sensación de bienestar, y en nuestra salud, la luz juega un papel esencial como regulador del ciclo circadiano. Una buena exposición regulada a los ciclos de luz-oscuridad natural, está asociada a un mejor rendimiento en el trabajo, y mejores resultados en pacientes hospitalizados. (Andersen, 2015)

Light has revealed itself as an effective therapeutic tool against seasonal affective disorder (SAD), while under real-world conditions, exposure to robust light-dark cycles was shown to be associated with

better workplace performance and better patient outcome in hospitals (Andersen 2015).

La iluminación natural exitosa requiere la compensación y optimización entre el diseño de la fachada, la configuración del espacio y la elección del sistema de iluminación. Se debe identificar el acristalamiento más apropiado, que proporcione niveles adecuados de luz diurna, evitando el deslumbramiento y las ganancias de calor excesivas. El objetivo de un buen diseño de luz diurna es proporcionar suficiente iluminación para un rendimiento visual eficiente, y asegurar un ambiente cómodo y agradable apropiado para su propósito. El aspecto del confort visual está directamente ligado al problema del deslumbramiento (Wienold, Christoffersen 2006). Los estudios sobre la sensación de deslumbramiento resultaron en índices que describen la magnitud subjetiva de incomodidad, y estos derivaron de experimentos con fuentes de luz artificial, dando origen a un nuevo indicador que sí considera la luz natural, el *Daylight Glare Probability* (DGP) o Probabilidad de Deslumbramiento por Luz de día. Se cuantifica en rangos: imperceptible (0-35%), perceptible (35-40%), molesto (40-45%) e intolerable (45%+).

3. Métodos

Se utiliza el método hipotético-deductivo a partir de la aplicación de metodología tanto experimental, en lo cualitativo y cuantitativo. Se realizó un modelo de prueba digital para evaluar desempeños lumínicos en distintas orientaciones del hall donde se encuentra la sala de espera del Hospital Marcos Macuada (Fig. 2) en Sketchup, basado en los planos de estructura, incorporando la materialidad, color y las



Fig. 2: Fachada norponiente del Hospital Marcos Macuada de Tocopilla. Fuente: fotografía de Lorenzo Cortés T.

características ópticas de cada superficie. Este modelo se exporta en formato *collada* para ser evaluado en LightStranza, que es un software de evaluación lumínica cuyo motor de cálculo es Radiance. (Mardaljevic, 1998; Reinhart, 2001)

En el año 2019, Vasudha Sunger y Prasad Vaidya validaron Lightstranza como motor de cálculo al evaluar un taller de la Universidad CEPT, en Ahmedabad, India. Se recopilieron datos y mediciones en el lugar de estudio, en conjunto con un modelo digital utilizando la misma información climática y horaria de los días que fueron estudiados. Se comprobó que que la interfaz, que utiliza Radiance como motor base, era adecuada para simular geometría tridimensional compleja con materiales de construcción personalizados, pudiendo analizar el rendimiento anual, confort visual, cálculos de ahorro potencial de energía y análisis paramétricos.

3.1 Evaluación de la luz solar en el clima de Tocopilla en sala de espera en distintas orientaciones de acuerdo a metodologías dinámicas.

Para caracterizar lumínicamente el Hospital Comunitario Marcos Macuada de Tocopilla, se aplican los indicadores dinámicos DA, UDI, ASE y DGP, focalizado en el confort visual y lumínico de los trabajadores y usuarios del hall y la sala de espera. Este modelo no contempla el uso de cortinas, y se considera la vegetación sintetizada más próxima a la fachada vidriada en el exterior. El interior es un hall de doble altura, que posee un segundo nivel en abalconamiento. Además, cuenta con la presencia de dos ventanas norte de 2,4 x 4,9 m, a 0,9 m y 4,7 m de altura respecto al primer nivel.

El modelo se georreferenció en la latitud 22,08°S, longitud 70,19°O. Para los datos climáticos, se utilizó la base de datos de la ciudad de Antofagasta entregada por el software, ya que la ciudad de Tocopilla no posee una estación meteorológica propia. Antofagasta es la ciudad costera más

cercana a Tocopilla, y esta fue sugerida por el software ya que Antofagasta se encuentra a 180 km al sur, en la latitud 23,65° S, longitud 70,35°O.

Los materiales utilizados en la simulación fueron: cristal azul, con una transmitancia visual (VT) de 65%, hormigón pintado blanco con un porcentaje de reflexión (Ref) de 80%, madera clara con Ref 40%, baldosas verdes Ref 30%, y aluminio Ref 50%.

Previo a la obtención de planos, se desarrollaron simulaciones no consideradas en el estudio final, donde se utilizaba la variable orientación en modelos geométricos más pequeños para conocer el programa e identificar las respuestas en la latitud geográfica. Estos agilizaron el proceso de configuración del software y el análisis de resultados posteriores.

En esta primera fase se realizaron 9 simulaciones. La primera con el modelo emplazado en la orientación original acimut 220°, donde la fachada vidriada enfrenta el norponiente Iguualmente, se simuló el modelo en 8 orientaciones distintas (Fig. 3).

Para la evaluación lumínica, se ubicó la trama de sensores de iluminancia en el primer (1P) y el segundo nivel (2P), a 0,8 m sobre el suelo con un espaciado de 0,6 x 0,6 m, la configuración por default de Lightstranza para el plano horizontal de trabajo. Para los cálculos DA, UDI y ASE, el rango de horas laborales utilizado fue de 7:00 AM a 17:00 PM, horario de atención de este sector del hospital. Los indicadores fueron configurados de la siguiente manera:

(DA₃₀₀): Ya que en el recinto se realizan otras actividades además de tener sectores de sala de espera, (como sala de diálisis y entrega de medicamentos, entre otros) se mide desde 300 lx en lugar de 150 lx.

(UDI_{100/2000}): Este resultado otorga tres rangos de suficiencia de luz natural, UDI-a (aceptable entre 100 lx - 2000 lx) donde no se necesita luz artificial



Fig. 3: Variable orientación, sección del abalconamiento y posicionamiento de cámaras para cálculo DGP. Fuente: Elaboración propia.

adicional, UDI-s (suplementario menor a 100 lx) que si la requiere y UDI-e (excesivo sobre 2000 lx) donde se produce incomodidad.

($ASE_{1000,250h}$): que es el porcentaje del área analizada que es igual o excede los 1000 lx durante 250 horas en el año y no debe superar el 10%. (Roldán, et al, 2020)

Para el cálculo del DGP se ubicó al observador de 1,6 m de altura en el peor escenario: al centro de cada nivel, enfrentado a la fachada vidriada. El rango horario considerado para estos cálculos fue desde el amanecer hasta el atardecer.

Adicionalmente, se calcula el DGP en tres días, 21 de Junio, 21 de Septiembre y 21 de Agosto, desde el amanecer hasta el atardecer (solsticios y equinoccio de primavera). Se simula con una cámara hemisférica (con un campo de visión de 180° x 180°).

Para cuantificar los niveles de iluminancia del modelo en el emplazamiento, se utilizó la herramienta *Total Energy Map*, el cual muestra cuánta energía solar cae en el modelo en un tiempo específico, en este caso del año entero.

3.2 Configuración de propuesta para el confort visual lumínico en la sala de espera en Tocopilla.

Se realizaron 10 simulaciones. 4 que consideraron las variables estáticas de cerramiento de la fachada y las ventanas norte, y 6 de cortinas *roller sunscreen*.

Para la variable cerramiento, se bloquea el 50% de la fachada vidriada por el lado norte y por el surponiente, a los cuales se les suma la variable ventana norte, las dos en su estado original, acristaladas y sin cortinas y ambas bloqueadas al 100% (Tabla 1).

Tabla 1: Variables estáticas. Fuente: Elaboración Propia.

Variable	Ventana Norte Original	Ventana Norte Bloqueada
Cerramiento Norte	CNVN	CNVNB
Cerramiento Surponiente	CSVN	CSVNB

Por último, en la variable cortina, se modificó el material "Tela de lino" de Sketchup para configurar 3 tipos de cortina *roller sunscreen* blanca basados en los que se ofrecen en el mercado chileno (Anexo 1). Esos son de 1%, 3% y 5%, donde el porcentaje

representa la visibilidad que ofrece la tela, siendo la transparencia del material 99%, 97% y 95% respectivamente (Tabla 2).

En la actualidad, la fachada del hall se encuentra cubierta por cortinas en su totalidad, teniendo dos filas, donde la cortina superior se mantiene cerrada. En la sección inferior se abren las cortinas ocasionalmente, por lo que la apertura de esta fila fue considerada como variable.

Tabla 2: Variables de cortinas. Fuente: Elaboración Propia.

Variable	Cortinas cerradas por completo	Cortinas cerradas en sección superior
Cortina 1%	C1	C1S
Cortina 3%	C3	C3S
Cortina 5%	C5	C5S

4. Resultados

Esta investigación tiene como finalidad caracterizar lumínicamente una sala de espera en el clima de Tocopilla, teniendo el confort lumínico como principal motivación al momento de analizar las evaluaciones y elegir el resultado óptimo.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la primera fase, el modelo digital con la orientación original acimut 220°, tiene una autonomía lumínica DA de un 77% y un 84% en el piso uno y el piso dos respectivamente, pero esto no implica necesariamente que la iluminación natural sea de buena calidad respecto a parámetros de confort visual. Las condiciones de esta iluminación natural se pueden visualizar con los indicadores ASE y UDI, donde la exposición solar anual ASE, en el piso 1 llega a un 36,65%, concentrado principalmente en el área de la fachada debido al nulo bloqueo solar de los paños vidriados, versus el resultado del piso 2, donde no se encuentran áreas que sean equivalentes o superen los 1000 lx durante 250 h al año. Este indicador casi cuadruplica el mínimo aceptado de 10% $ASE_{1000,250h}$, que implica una alta probabilidad de deslumbramiento, especialmente en las cercanías de la fachada vidriada. Por otra parte, los resultados de la iluminancia diurna útil son óptimos en el piso, logrando un UDI-s entre 4% y 5%, por lo que no requiere iluminación artificial diurna. Sobre el piso 1, tal como indica el resultado ASE, los riesgos de deslumbramiento ascienden a casi la mitad del tiempo, con una autonomía lumínica diurna excesiva de un 49%, incomodando así a los usuarios que ocupan el recinto (Fig. 4, Anexo 2).

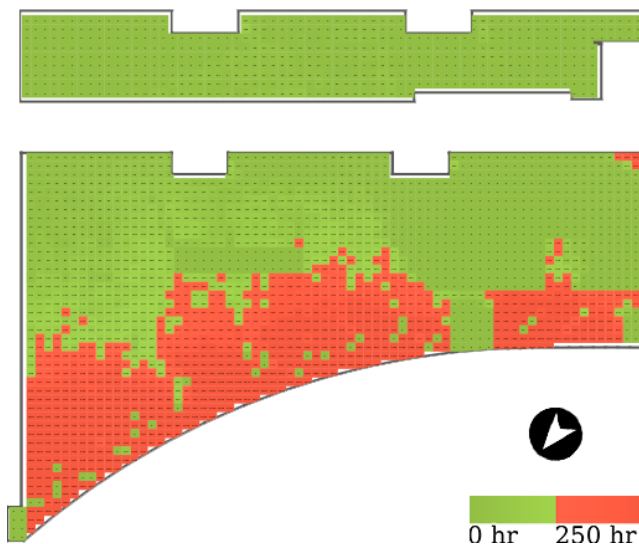


Fig. 4: Resultado del indicador ASE en la orientación original acimut 220°. Fuente: Elaboración propia.

El riesgo de deslumbramiento en el piso 1, el nivel más crítico, en el día 21 de Junio es de un DGP 100% de 11 AM a 15 PM, con una iluminancia máxima de 77742 lx, 4 horas constantes sobreiluminación que generan molestias y fatiga visual. Esta misma situación se repite el día 21 de Septiembre con un máximo de 91194 lx, partiendo con un 96% de probabilidad a las 11 AM hasta las 17 PM con un DGP 100%, y el día 21 de Diciembre, el DGP 100% comienza a las 10 AM y se sostiene así hasta las 16:00 PM logrando 109685 lx a las 13 PM (Fig. 5).

El tipo de deslumbramiento intolerable tiene una frecuencia de 34% en el piso 1 y 20% en el piso 2 en el año. Estas altas iluminancias ingresan por la fachada y las ventanas norte, evidenciando una gran falta de control solar en dos caras del recinto, norponiente y poniente. De todas maneras, ambos porcentajes se encuentran dentro del rango aceptable, el cual debe ser superior al 45% para considerarse perjudicial.

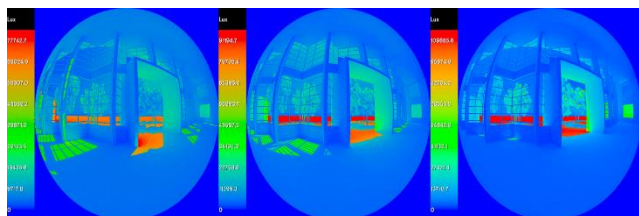


Fig. 5: Iluminancias máximas a las 13 PM en los días 21 de Junio, 21 de Septiembre y 21 de Diciembre. Fuente: Elaboración propia.

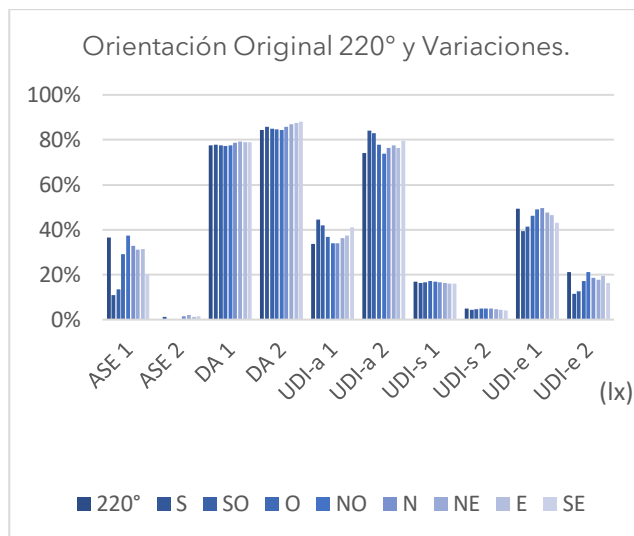


Fig. 6: Resultados ASE, DA y UDI del modelo original 220° y las de variable orientación. Fuente: Elaboración Propia.

Al analizar el modelo original en distintas orientaciones, se observó que la orientación con mejor desempeño fue la variable Sur. La cual mantuvo la autonomía lumínica con un 2% más que en el modelo 220°. La exposición solar anual se reduce de 37% a 11% en el primer piso, disminuyendo casi totalmente la incidencia de la radiación solar al interior del recinto. El rango DGP intolerable disminuye a 1% en el primer piso, mientras que, en el segundo, un 0%, eliminándolo por completo. Esta orientación es la mejor opción para que la fachada se desempeñe de manera correcta sin incomodar a sus usuarios. Sin embargo, el indicador UDI-s solo se redujo en un 1%, lo que no es un aporte relevante respecto al ahorro energético relacionado a la disminución en el uso de luz artificial para compensar los sectores con iluminancias bajas (Fig. 6, Anexo 2).

La orientación NO se comporta de forma muy similar a la orientación 220°, ya que esta corresponde al ángulo acimut 225°, y estos 5° de diferencia en la orientación no influyen en gran medida en los resultados.

La propuesta estática con mejor desempeño fue el cerramiento de las fenestraciones norte, con la eliminación de las ventanas norte (CNVNB). Este bloqueo constituyó una influencia notable en la reducción de DGP en el piso 2 y además, el rango de deslumbramiento de características imperceptibles aumentó de un 58% a un 70% en el piso 1, y de 64%

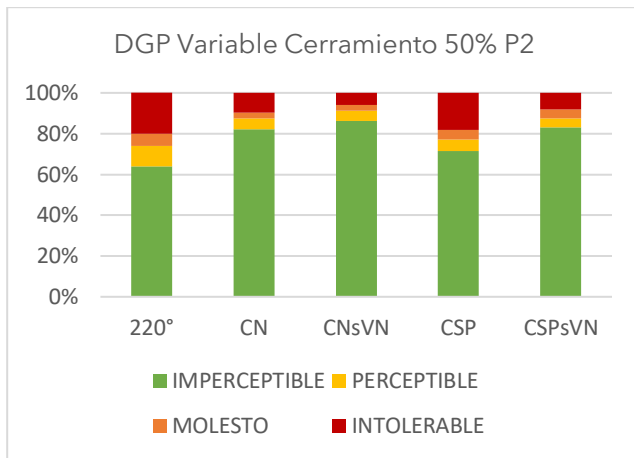


Fig. 7: Resultados DGP del piso 2 de la variable cerramiento. Fuente: Elaboración Propia.

a 86% en el piso 2, seguido muy de cerca por la variable de cerramiento surponiente, también con la ventana norte bloqueada (CSVNB) (Fig. 7). El bloqueo total de las ventanas norte va de la mano con la reducción del DGP de tipo intolerable en las dos variables estáticas. El indicador UDI-s varía solo en un 1% en todas las variables, y, al igual que en la variable orientación, esta variación no es suficiente para constatar un ahorro energético importante.

No obstante, el indicador de exposición solar anual ASE, que en el modelo original presenta un 37% del

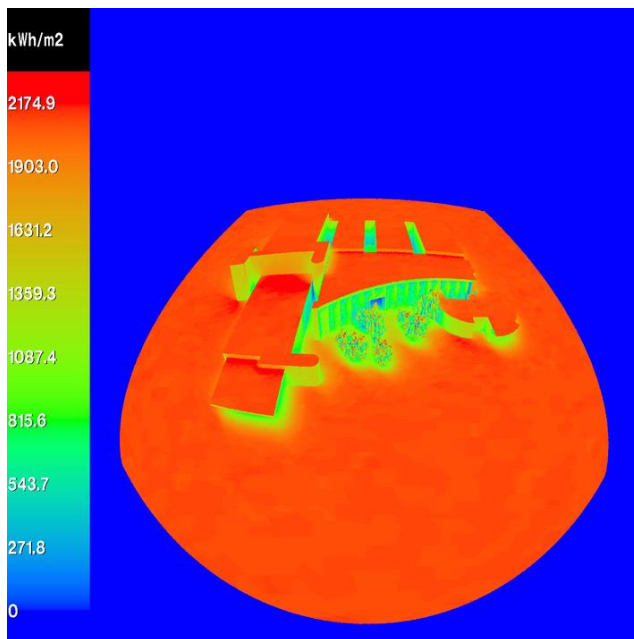


Fig. 8: Total Energy Map. Min: 32,1 kWh/m², Max: 2393,3 kWh/m², Promedio 1165,3 kWh/m². Fuente: Elaboración propia.

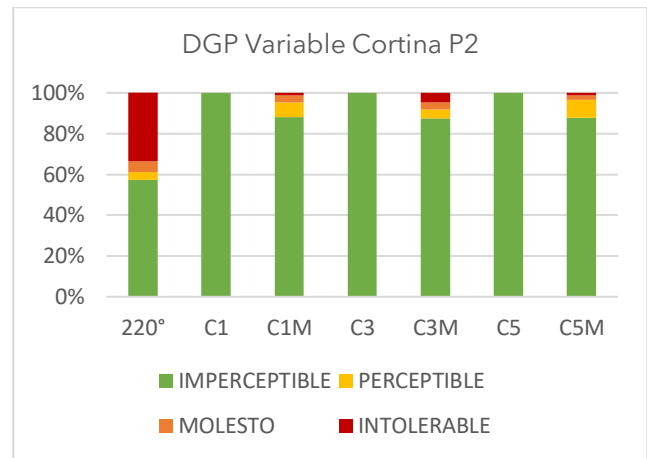


Fig. 9: Resultados DGP del piso 2 de la variable cortina. Fuente: Elaboración Propia.

área del primer piso con 1000 lx o más durante 250 h, solo se redujo a 21% en CNVNB y 20% en CSVNB, no cumpliendo el máximo permitido de 10% (Anexo 3).

Respecto a la variable cortina, se logró eliminar el DGP de rango intolerable en el piso 1 y en el piso 2 con la cortina 3% con toda la fachada cubierta.

Cerrar la sección inferior de cortinas disminuye el DGP intolerable entre un 34% y un 9%, y eliminándolo por completo en el piso 2 con los tres tipos de cortina (Fig. 9).

Hoy en día en el hall se utilizan cortinas 5% como solución a la sobreexposición solar permanente, que también responden de manera óptima reduciendo el rango DGP intolerable.

Conclusiones

A partir de estos resultados, se puede inferir que la hipótesis fue correcta con respecto a las variables de orientación y cerramiento, pero equivocada con relación a la reducción de luz artificial para promover el ahorro energético, ya que este se mantuvo virtualmente en el mismo rango de UDI-s en todas las simulaciones evaluadas en este estudio.

El objetivo general se cumple, evaluar los factores dinámicos que influyen en la promoción del confort visual en fachadas vidriadas, siendo la variable orientación y ventanas norte, las más valorables a la hora de encontrar un emplazamiento y propuesta de mejoramiento, dentro de lo estudiado en esta investigación.

Luego, en los objetivos específicos, se quería identificar los indicadores dinámicos de iluminación natural. El indicador DA entrega información sobre las iluminancias mínimas requeridas para cumplir ciertas tareas, en este caso se utilizó (DA_{300}), se constató un alto porcentaje de cumplimiento de este mínimo, sin embargo, no toma en cuenta los excesos de las iluminancias. Este alto porcentaje en el piso 1 y en el piso 2, se debe a las altas irradiancias solares propias de la latitud (Fig. 8).

Los excesos que no son distinguibles con el indicador DA, se pueden cuantificar y cualificar con los indicadores ASE y UDI, donde en el primero se logra distinguir claramente qué lugares son iguales o sobrepasan los 1000 lx, y adicionalmente, el indicador UDI clasifica estos excesos como iluminancias útiles para mantener una iluminación autónoma, o si esta llega a la sobreexposición, que podría incomodar a los usuarios eventualmente. Estos últimos fueron los más útiles a la hora de caracterizar lumínicamente el modelo original, en conjunto con sus variaciones de orientación.

Por otra parte, el indicador DGP fue clave a la hora de definir qué tipo de propuesta, de cerramiento, sería apropiado para el lugar, apuntando siempre a disminuir la frecuencia del deslumbramiento intolerable.

Como último objetivo, se pretendía configurar una propuesta para el confort lumínico y visual. Se redujo la exposición solar anual ASE de 37% a 20% y 21% con las dos propuestas de cerramiento, incluyendo el bloqueo total de las dos ventanas norte, sobrepasando el mínimo aceptable de 10%. La variedad de contrastes de iluminancias obliga a los usuarios a estar en constante acomodación visual, quedando pendiente la reducción del indicador ASE a niveles más reducidos. De todos modos, los rangos intolerables son aceptables, en la orientación original 220°, pero, estos ejercicios podrían servir como base para lograr una solución estática de cerramiento que reduzca aún más los niveles altos de deslumbramiento que se presentan en el horario de trabajo del recinto.

Los cerramientos norte y surponiente se comportaron de manera similar en el piso 1, eso puede ser por la misma razón que concede una gran autonomía lumínica diurna al recinto, el hecho de tener unas altitudes solares en ángulos que, probablemente, no inciden mayoritariamente en la variación de la orientación de los cerramientos verticales. Estas alturas máximas corresponden a 72,67° el 21 de Junio, 49,68° el 21 de Septiembre y

84,97° el 21 de Diciembre (anexo 4). También es probable que otros factores hayan incidido en estos resultados, como, por ejemplo, el alero del techo.

Las cortinas 3% y 5% son ajenas a las variables arquitectónicas, y además, por su bajo nivel de visibilidad, se dificulta la vista hacia el exterior del recinto, ignorando por completo la intención original que propone la fachada vidriada al 100%.

La vegetación fue considerada como variable en un principio. Se realizaron 3 simulaciones con distintas cantidades de árboles y posiciones, pero la diferencia entre ellos y el modelo sin vegetación no superó el 4% de diferencia en los resultados de los indicadores, siendo descartado como variable y considerado como una constante dentro del modelo original, y luego sus variaciones.

La consideración de las evaluaciones dinámicas de iluminación natural podría eventualmente ayudar a perfeccionar -o descartar-, diseños que tiendan al deslumbramiento de tipo intolerable y/o molesto, configuraciones que dependan del uso de luz artificial durante el día, o espacios que excedan las iluminancias, volviéndose incómodos para quienes hacen uso de ellos.

Esta latitud 22°S no había sido estudiada hasta ahora con relación a los indicadores dinámicos de iluminación natural ni confort visual, ya que estas investigaciones se originaron y validaron en su mayoría, sobre la latitud 40°N y allí yace la relevancia de este estudio, en la falta de lineamientos que considera la irradiancia solar local, en conjunto con la información climática.

Agradecimientos

Al Diploma de Postgrado de Arquitectura Sustentable de la Escuela, al profesor Gastón Herrera y especialmente la profesora guía Jeannette Roldán. Erica del Piano, jefa de recursos físicos del hospital, por facilitarme los planos. Finalmente, a mi papá, funcionario del hospital, por enviarme fotografías e información siempre que lo requerí.

Referencias

- Andersen. (2015) Unweaving the human response in daylighting design, *Building and Environment*, Volume 91, Pages 101-117, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.014>.

- CNE / PNUD / UTFSM, Irradiancia solar en territorios de la República de Chile (2008)
- Heschong, L. (2012). *Daylight Metrics*. PIER Daylighting Plus Research Program. Sacramento, USA: Heschong Mahone Group.
- Hopkinson, R. (1972), Glare from daylighting in buildings, *Applied Ergonomics*. 206-215
- Kwong Q. J., Light level, visual comfort and lighting energy savings potential in a green-certified high-rise building, *Journal of Building Engineering*, Volume 29, 2020.
- Mardaljevic, John & Heschong, Lisa & Lee, Eleanor. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research & Technology - LIGHTING RES TECHNOL*. 41. 261-283.
- Mardaljevic, J. (2013) Rethinking daylighting and compliance. Volume 1, Issue 3, Article 1, Magazine SDAR *Journal of Sustainable Design & Applied Research*. Loughborough University, Reino Unido, UK.
- Ministerio de Energía, (2021) Recuperado de Explorador Solar <http://solar.minenergia.cl/exploracion>
- 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.
- Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *LEUKOS*, 3(1), 7-31. <https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2006.03.01.01>
- Reinhart, C. F., & Wienold, J. (2011). The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylight spaces. *Building and Environment*, 46(2), 386-396.
- Roldán, J. A. R. (2016). Caracterización geométrica y lumínica de los atrios incorporados en los edificios de Santiago de Chile. <http://oa.upm.es/39963/>
- Roldán, Soto, Eliash (2020) Evaluación dinámica de control solar lumínico. Propuestas en una biblioteca de arquitectura moderna en Santiago, *Estoa* 9 (2020): 125-137
- Sunger, Vaidya (2019) Evaluation of daylight performance of the new workshop building at CEPT University, Ahmedabad. 16th IBPSA Conference, Rome, Italy.
- Wienold, Jan & Christoffersen, Jens. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and Buildings*. 38. 743-757. 10.1016/j.enbuild.2006.03.017.
- Wienold, J. (2009). Dynamic daylight glare evaluation. In *Proceedings of Building Simulation* (Vol. 11, pp. 944-951).

Anexos

Anexo 1: Configuración del material de la variable cortina en Sketchup.

Anexo 2: Ficha de resultados indicadores DA, ASE y UDI en el primer piso del recinto.

Anexo 3: Gráficos de resultados de indicadores DA, ASE, UDI y DGP en propuestas de confort visual.

Anexo 4: Tablas de elevaciones solares en Tocopilla durante los solsticios y equinoccio.

Todos los anexos están disponibles en la carpeta web:

<https://drive.google.com/drive/folders/1u4Myi9FoyHrvsYSWRVtAquiQR6amDXGA?usp=sharing>