

Evaluación dinámica de control solar lumínico. Propuestas en una biblioteca de arquitectura moderna en Santiago

Dynamic evaluation of solar light control. Proposals in a modern architecture library in Santiago

Resumen

Autores:
Jeannette Auristela Roldán Rojas*
 jroldan@uchilefau.cl
Pablo Soto-Leiva*
 Pablo.soto.l@gmail.com
Humberto Eliash-Díaz*
 humberto@eliash.cl

*Universidad de Chile-Facultad de
 Arquitectura y Urbanismo

Chile

Recibido: 01/Sep/2019
 Aceptado: 02/Jun/2020

Se comprobó la sensible aproximación al entorno climático local en la arquitectura moderna a partir de la envolvente, basada en un sistema de control solar modular en hormigón prefabricado, en la biblioteca Ruy Barbosa, realizada por la oficina chilena TAU arquitectos, con favorables desempeños según los métodos de evaluación dinámica de la iluminación natural medidos en $ASE_{1000,250h}$ e iluminancias entre 300 lux – 3000 lux. En los modelos propuestos, se concluye que $ASE_{1000,250h}$ nos aproximó a criterios vinculados al confort lumínico, resultando el modelo horizontal (Mh) muy recomendable en la restitución de la comodidad lumínica, al encontrarse en el rango de iluminancias evaluado por sobre el 75% de los sensores de la cuadrícula analizada. El modelo mixto oriente (Mm-o), obtuvo positivos desempeños, aun cuando el soleamiento perpendicular en la fachada por la mañana le otorgó alto acceso solar interior a la sala.

Palabras clave: biblioteca, control solar, iluminación natural, indicadores dinámicos, TAU arquitectos.

Abstract:

The sensitive approach to the local climatic environment was check, from the envelope in the modern architecture, at the Ruy Barbosa library, designed by the Chilean TAU office architects. It was built early at the seventies decade with a modular solar control system in precast concrete, with checked favorably performances according to methods of dynamic evaluation of natural light measured in $ASE_{1000,250h}$, and in the illuminances range 300 lux - 3000 lux. We proposed five models. It was concluded that $ASE_{1000,250h}$ approached us to criteria related to light comfort, resulting in the horizontal model (Mh) highly recommended in the restoration of light comfort, being in the range of illuminances evaluated above 75% of the sensors of the analyzed grid. The mixed East model (Mm-o), obtained positive performances, even though the perpendicular sun on the facade in the morning gave it high interior solar access to the study room.

Keywords: library, solar control, daylight, dynamics metric, TAU architects.

1. Introducción

En Chile, a través de una extensa producción de la arquitectura moderna, se puede reconocer un lenguaje de sensibilidad al entorno geográfico y climático local, especialmente en algunas estrategias de diseño arquitectónico vinculadas al control solar y lumínico, con la incorporación de tamices y filtros, cuyo material predominante fue el hormigón prefabricado, constituyendo, más que aplicaciones puntuales, verdaderas envolventes arquitectónicas continuas en las fachadas.

Este es el caso del sistema modular en hormigón prefabricado, registrado en la arquitectura realizada por la oficina TAU arquitectos (Taller de Arquitectura y Urbanismo), cuya obra arquitectónica fue desarrollada desde 1954 al 1971. Silva (2013) menciona que esta producción “[...] recogió aspectos de la nueva arquitectura, pero vinculada al lugar de emplazamiento y a las técnicas locales. Este aspecto les confirió cierto carácter regionalista, porque su arquitectura nacía también de las condiciones físicas del lugar” (p. 245).

De acuerdo con Cáceres (2007) los autores pertenecieron a la “Generación del 50”, la cual caracterizó a la primera promoción que egresó con el nuevo plan de estudios surgido de la Reforma de 1946 en la Universidad de Chile. Esa reforma cambió el plan de estudios por uno más pertinente a la realidad del país y a su época. Fue liderada por los estudiantes de entonces. Entre ellos se encontraban Sergio González, Pedro Iribarne, Gonzalo y Julio Mardones, Jorge Poblete, quienes luego de titularse formaron la oficina TAU arquitectos. Todos ellos tuvieron un rol destacado en la consolidación de la arquitectura moderna en Chile, con fuerte compromiso por la arquitectura de carácter público (Silva, 2013).

Desde la década de los años cincuenta, TAU arquitectos acrecentaron su prestigio profesional a través de concursos y comenzaron su vida académica. En 1963 crearon la revista AUCA (Arquitectura, Urbanismo, Construcción y Arte), un referente nacional e internacional, ámbito de reflexión cultural y acción profesional. Fuentes (2011) afirmó “Su primer propósito fue mostrar la arquitectura chilena y cubrir un amplio espectro nacional” (p.23).

En los años sesenta, la arquitectura de carácter educacional vivió una etapa dorada. Específicamente en las universidades se produjo la expansión de sus campus y la construcción de varios edificios de alta calidad arquitectónica, como el Campus Saucache en Arica, la Universidad de Chile en Antofagasta, la Universidad Técnica del Estado y el Campus San Joaquín de la Universidad Católica, ambos en Santiago, y el Centro Universitario de Talca. La oficina TAU realizó varios edificios, tales como el Instituto Pedagógico de Valparaíso, Inacap de Talcahuano, el Reactor Nuclear y el Campus Sur de la Universidad de Chile, desarrollando sus aulas, laboratorios, casino, infraestructura administrativa y especialmente la biblioteca Ruy Barbosa.

La mayoría de estos edificios se caracterizó por la envolvente modular. Algunas aún permanecen en buenas condiciones, pero otras han colapsado estructuralmente a través del tiempo, debido al daño sufrido tras los constantes terremotos. Algunas fueron desmontadas, como fue el caso en la biblioteca Ruy Barbosa, construida hacia el año 1970 al interior del conjunto universitario.

En esta investigación se buscó evaluar la presencia de luz natural en el interior, a través de diferentes propuestas de control solar en la sala de estudio de la biblioteca, que es el espacio jerárquico del edificio y le otorga un particular sello arquitectónico. Se anticipa que la envolvente modular original promovió condiciones de habitar saludables, así como el buen funcionamiento biológico de los mecanismos de percepción de luz y sombras (Brainard et al., 2001), con el consiguiente ahorro energético.

El exceso de radiación solar directa en el interior de los espacios habitados asocia el desconfort visual (Reinhart y Wienold, 2011) con problemas de altos contrastes y deslumbramientos, adicionando altas demandas de energéticos por sobrecalentamiento, especialmente en clima mediterráneo (Bellia, De Falco y Minichiello, 2013). Estos se pueden evitar controlando y bloqueando el ingreso solar y asegurando durante el año un eficaz sombreado. Para un bloqueo solar efectivo, las variables de diseño y los materiales planteados son fundamentales (Esquivias, Muñoz, Acosta, Moreno y Navarro, 2016).

A partir de la envolvente de la biblioteca Ruy Barbosa, y considerando su módulo prefabricado que configuró un tamiz de proporción 44% abierto y 56% cerrado, en este trabajo se comparan diferentes propuestas bajo el paradigma de evaluación dinámica de la iluminación natural, según diferentes métodos de cálculo lumínico (Reinhart, Mardaljevic y Rogers, 2006; Mardaljevic, 2009). La metodología se basa en calcular la luz natural disponible de acuerdo al clima local, CBDM (*Climate Based Daylight Modeling*). Al interpretar las variables de radiación solar directa y difusa junto a las condiciones de cielo, se obtiene información sensible al efecto de la orientación y el clima luminoso del lugar (Nabil y Mardaljevic, 2005).

Para verificar ambientes luminosos saludables (Wurtman, 1975) se aplicaron los criterios indicados para establecimientos educativos de la herramienta de certificación LEED V4, en el capítulo Confort Ambiental Interior (CAI), específicamente en la sección de luz natural, cuyo propósito es, entre otros: “conectar a los ocupantes del edificio con el exterior, reforzando el ritmo circadiano y reduciendo el uso de iluminación artificial para introducir iluminación natural en el interior” (USGBC, 2013).

Los métodos aplicados fueron guiados desde las instrucciones de la IES (*Illuminating Engineering Society*), LM (*Lighting Measurements*), numerados 83-12, que establecen cómo guiar el comportamiento lumínico dinámico anual y horario, de acuerdo a dos indicadores de desempeño lumínico: Autonomía Espacial de la Luz Natural (*spacial Daylight Autonomy* –sDA-) y Exposición Anual a la Luz del Sol (*Annual Sunlight Exposure* –ASE-) que

mejoran la predicción del desempeño lumínico, basados en el modelamiento del clima de acuerdo al archivo climático horario de la ciudad.

1.1 Evaluación dinámica de la iluminación natural

Por largo tiempo el cálculo de la iluminación natural estuvo totalmente dominado por el método de análisis estático *Daylight Factor*. Este se aplica a través de fórmulas o programas de simulación, empleando la iluminancia proveniente del cielo totalmente nublado (5.000 lux), CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage*). Los resultados obtenidos son porcentajes para uno o varios puntos de análisis, sin reconocer orientación geográfica, o aquellas posibles variaciones según la capacidad luminosa del cielo durante el día (Roldán, 2017; Nabil y Mardaljevic, 2006).

Hace poco más de veinte años, el desarrollo de las herramientas de simulación energética ha permitido anticipar los comportamientos ambientales, así la evaluación del desempeño lumínico se ha visto especialmente facilitada con la rápida obtención de resultados (Reinhart, 2014). Actualmente la tendencia es usar los métodos de evaluación dinámica (Mardaljevic, Hescong y Lee, 2009; Reinhart et al., 2006), de acuerdo con los datos meteorológicos en combinación con el modelo de cielo de Pérez, Seals, y Michalsky (1993), en el cual cambian los parámetros de cielo en función de la claridad y el brillo, obtenidos de la irradiancia solar horizontal difusa y directa (Reinhart, 2014). En su reciente publicación, Christoph Reinhart plantea la inquietud: ¿Qué modelo de cielo para todos los climas podemos usar?:

The building energy simulation community tends to use the Perez sky model with leading programs [...] all relying on it for modelling the celestial hemisphere for solar gains and daylighting predictions. Both skies have been implemented into a number of commercial and open source daylight simulation programs making them to accessible to the larger design community. The author has thus far mainly used the Perez sky model to generate annual indoor and outdoor illuminance time series for a number of reasons. (Reinhart, 2018, p. 17).

Todas las variables involucradas en la capacidad luminosa del cielo permiten conocer la disponibilidad de iluminación anual. Esta metodología basada en el uso de archivos climáticos históricos, entrega un análisis de predicción de la disponibilidad de iluminación natural anual con mayor precisión de las características del entorno y del comportamiento solar en los modelos diseñados y de probada validez en la actualidad (Reinhart et al., 2006). Los indicadores dinámicos para evaluar la iluminación útil se enfocaron en el confort visual humano. Aquellos fueron aprobados en 2012 según el método planteado en el documento IES LM 83. Se incorporaron, además de los parámetros climáticos, las características ópticas del espacio estudiado y de las propuestas de diseño.

La Autonomía Espacial de la Luz Natural, sDA (Reinhart y Walkenhorst, 2001), fue el primer indicador validado. Este permitió verificar la suficiencia de iluminancia en el espacio interior, a través de un porcentaje de la superficie total analizada que cumpla o supere el umbral de iluminancia de 300 lux, durante 1.825 horas (50% del

total 3.650 horas anuales analizadas), desde 8 a 18 horas para un año climático típico (IES LM 83, 2012). Se adoptó esta referencia de iluminancia según las preferencias de los ocupantes (Reinhart, 2014).

The concept of a percentage of a year [...] by daylight alone goes at least as far back as 1989 when it was mentioned in a Swiss building norm in which it was defined as a function of the daylight factor and minimum required illuminance level. (Reinhart, 2018, p. 97)

El siguiente indicador aplicado hace referencia al potencial discomfort visual, a partir de la exposición a la luz del sol ASE, es decir, el excesivo brillo luminoso que pudiera encontrarse en el interior del espacio analizado causado por la luz solar directa en el interior, cuando los niveles de iluminancia sobrepasan 1000 lux. Corresponde al porcentaje del área estudiada que excede este umbral lumínico durante 250 horas en el año típico, según los datos climáticos del lugar. Se identificó, en este caso, como ASE_{1000,250h}, en la jornada laboral analizada, de acuerdo con IES LM 83-12.

En el estudio de la CEC PIER (*California Energy Commission. Public Interest Energy Research*) respecto *Daylight Metrics Research*, (Hescong, 2012), se planteó la búsqueda de “referencias uniformes” para simular e interpretar el rendimiento de la luz en un espacio, así como favorecer la comodidad visual de los usuarios a partir del uso de luz natural durante la mayor cantidad de horas diurnas, favoreciendo el ahorro energético eléctrico. Se evaluaron 61 espacios, tales como oficinas, aulas escolares, bibliotecas y salas de espera, con diferentes indicadores dinámicos. sDA₃₀₀ y ASE1_{3000,250h}. Se obtuvo la mayor correlación entre los resultados simulados y las preferencias encuestadas a los ocupantes¹, en el umbral de 300 lux, logrando una amplia validación científica.

Los indicadores dinámicos permitieron variados criterios de medición lumínica para indicar la disponibilidad de iluminación natural anual. En los estudios llevados a cabo en los últimos quince años, se han contrastado los criterios de rangos de comodidad visual con las preferencias de los ocupantes, estableciéndose así la tolerancia en altas y bajas iluminancias. Se ha comprobado que estas tienden a elevados niveles lumínicos, de 3000 lux, y en el extremo inferior tolerancias de 100 lux y menor. Actualmente el tema de los rangos de iluminancias constituye una discusión relevante. Es así que en recientes investigaciones se utilizó el rango mencionado. Sin embargo, como lo indicaron Rockcastle y Andersen, (2014) aún no hay acuerdos al respecto, ya que está relacionado con el rango subjetivo de confort visual de las personas.

Esta metodología fue introducida en la certificación LEED v4 (USGBC, 2013), en la sección *Indoor Environmental Quality* (EQ), opción 1 de luz natural.

¹ Este reporte permitió consolidar el conocimiento y los avances para establecer los indicadores dinámicos de mayor aplicación actualmente.

La suficiencia de 300 lux de iluminancia en los espacios interiores, (sDA) se consideró aceptable, a partir de satisfacer el 55% obtenido en la superficie del recinto analizado y, si esta alcanza o supera el 75% cumple aún más el propósito de lograr aprovechar la iluminación, con el fin de “promover la productividad, el confort y bienestar de los ocupantes proporcionando una iluminación de alta calidad” (LEED V4 BD C 2013, p. 122). Para la evaluación del ASE_{1000,250h} se requiere cumplir con el 10% de la superficie.

La Iluminancia Natural fue un indicador adaptado por la herramienta LEED, tanto en los niveles superiores del rango 300 lux - 3000 lux, como en la metodología de cálculo para el día de cielo claro 5 de marzo y 5 de septiembre, registrándose los resultados en dos horarios: 9 a.m. y 3 p.m. Se evaluaron tres criterios: mayor, dentro y menor al rango. Se acepta que el 75% de la superficie del recinto se encuentre dentro del rango en los dos horarios evaluados, correspondientes a los días cercanos a los equinoccios.

Una de las claves para lograr una simulación de indicadores dinámicos fiables respecto el comportamiento lumínico en los edificios, proviene de los archivos climáticos que conforman los registros meteorológicos históricos (Mardaljevic, Heschong y Lee, 2009). En este caso, los datos utilizados fueron elaborados y vaciados en una planilla ASHRAE 2004, por *Energy Plus Weather* (EPW). La característica fundamental de esta extensa base de datos horarios fue incorporar registros de variables climáticas de al menos 30 años de antigüedad, para ofrecer finalmente un archivo conocido como año típico.

La iluminancia requerida en una sala de lectura de bibliotecas, de acuerdo con CABID (Comisión Asesora de Bibliotecas y Documentación, 2003), corresponde a 300 lux, aceptándose hasta 500 lux. En el caso de la Norma Chilena de Electricidad 4/2003, se consideran 400 lux; ambos criterios se encuentran en línea con CIE e IES, vinculada a las tareas de leer y escribir.

2. Materiales y métodos

El proyecto Campus Sur de la Universidad de Chile fue ganado por un concurso concebido para trasladar las instalaciones de la facultad de Agronomía, que hasta entonces ocuparon edificaciones en el interior de la Quinta Normal, un parque tradicional e histórico cercano al centro de Santiago. La nueva propuesta se compuso de un grupo de edificios de volumetría simple (Figura 1), dispuestos sobre un plano horizontal, apropiándose de una porción del terreno de 350 hectáreas, parte del cual se destinó a cultivos experimentales y actividades agropecuarias.

El conjunto se inició en una plaza de acceso frente a la Avenida Santa Rosa, en la zona sur de la metrópolis. Ahí se encuentran el edificio Central, que contiene las direcciones de Agronomía e Ingeniería Forestal, la sala de exposiciones y los servicios administrativos. Al traspasar este edificio aparece un foro abierto, que es el corazón de la vida universitaria y sirve para articular los volúmenes, el edificio central, la biblioteca, el casino, las aulas, los laboratorios, los invernaderos y la estación experimental.

El lenguaje arquitectónico utilizado tomó elementos de Le Corbusier de su etapa de proyectos en Marsella, Argelia y la India. También hubo una cierta filiación con la arquitectura moderna brasileña de los años 40 y 50, en el uso del hormigón y los elementos de protección solar pasivos. Sin embargo, todo ello está reinterpretado mediante la escala del lugar y el uso de los materiales locales, como la piedra, además del hormigón y el ladrillo (Eliash y Moreno, 1989).

Al igual que los anteriores edificios de TAU arquitectos, este se inscribió con propiedad dentro de la tendencia que el crítico inglés Reyner Banham bautizó como “brutalismo” (basado en el concepto francés del “beton brut”). Este se caracteriza por volumetrías contundentes, con una fuerte expresividad estructural y constructiva, junto con el uso del hormigón a la vista como material predominante, destacando una clara exhibición de la estructura. Siguiendo el concepto de “integración de las artes”, el edificio principal incluyó un mural en hormigón a la vista del artista Eduardo Martínez Bonatti.

La Biblioteca Ruy Barbosa (en amarillo, Figura 1), es uno de los volúmenes singulares del conjunto, junto al casino y aula magna. Constituye un aporte a la arquitectura en varios sentidos. Se trata de un paralelepípedo de tres niveles con una superficie aproximada de 1.000 m². Es una caja de doble simetría axial estructurada en base a muros, pilares, losas y vigas de hormigón armado. El primer piso está retrasado para enfatizar la sensación de levedad de la caja de la sala de lectura. Una piel de bloques perforados en el tercer nivel permitía el control lumínico en la sala de lectura.

Como partido general de biblioteca de uso público, Ruy Barbosa (Figura 2) estaba más cerca de los conceptos de las bibliotecas tradicionales de la arquitectura del movimiento moderno, como los de Erik Gunnar Asplund o Alvar Aalto, así como la UNAM de México, que fue la más vanguardistas de su época, y la Biblioteca Nacional de Argentina, de Clorindo Testa, en Buenos Aires. De aquel tiempo también se puede mencionar la biblioteca de la Facultad de Historia de la Universidad de Cambridge. Todas tuvieron muchas dificultades en su funcionamiento al inicio.



Figura 1: Vista aérea actual del Campus
Fuente: www.googleearth.com; intervenido (2018)



Figura 2: Croquis en terreno. Vista de la biblioteca con módulo de celosía original

Fuente: Original Pablo Soto Leiva (2018)



Figura 3: Vista noreste actual de la biblioteca. La antecede el foro exterior

Fuente: Archivo propio (2018)



Figura 4: Vista interior de la sala de lectura original en el modelo Revit

Fuente: Elaboración propia

Aun así, este carácter les ha permitido una gran flexibilidad de uso y mantener su vigencia como biblioteca universitaria, a través de su medio siglo de existencia. La disposición del programa de la biblioteca responde a los requerimientos de la época en cuanto a oficinas, sala de lectura y almacenamiento de libros. Se puede observar que en aquel tiempo no se aplicaban estándares normativos de habitabilidad, referidos al control térmico, acústico u otros; en este proyecto se planteó la

colaboración de iluminación cenital en la sala de lectura, junto con el control solar lateral en el piso superior. Las normativas de las construcciones en aquellos años no contemplaban los criterios antes mencionados. Estos quedaban en manos de los arquitectos y los mandantes de sus edificios. En este caso y dado el perfil de formación técnica de algunos de los integrantes del grupo TAU, se establecieron pautas para un mejor comportamiento ambiental del edificio, específicamente en los aspectos lumínicos.

Hoy el bloque “C” alberga la colección general de la facultad más todos los ejemplares de consulta de las tres carreras impartidas (Figura 3). Actualmente el primer piso está destinado a las publicaciones periódicas, reservas y diferentes servicios, el segundo piso corresponde a la colección general, oficinas, y salas de computación, y en el tercer piso se encuentra la sala de estudio en orientación norte y este, aledaña a otras áreas de usos tales como la sala de reuniones.

2.1 El modelo de estudio

Para identificar y evaluar el control lumínico diseñado por TAU arquitectos, se construyó un modelo tridimensional en el programa Revit 2017.1, que permitió incorporar la envolvente modular proyectada inicialmente y compararla con la situación actual (Figura 4).

Como se mencionó, el tercer nivel de la biblioteca tiene mayor altura, sobre 3,5 m. El mismo contaba con un sistema modular de control solar a manera de doble piel exterior, compuesto por bloques perforados de hormigón prefabricado. Sin embargo, fue retirado hace algunos años, debido al peligro de colapso estructural tras los constantes movimientos sísmicos, especialmente tras el terremoto del año 2010. Actualmente este amplio espacio destinado a sala de estudio no posee ninguna solución de control solar, radiación e iluminación natural (Figura 5).

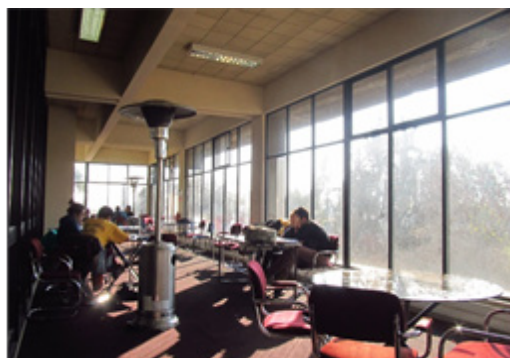


Figura 5: Vista interior actual de la sala de lectura.

Fuente: Archivo propio (2018)

En la elaboración del modelo se utilizaron los planos originales del edificio, que datan de 1969. Este se concibió en base a una retícula ortogonal de seis metros, generando fachadas de 24 metros por cada lado. Para completar los planos de cortes y fachadas, a la fecha no habidos, se realizó un levantamiento. Además, se registraron los detalles de terminaciones para identificar,

más adelante, el desempeño óptico y por consiguiente el lumínico (Figura 6).



Figura 6: Vista oeste y sur en modelo virtual realizado en Revit

Fuente: Elaboración propia

Silva (2013) identifica otros aspectos relevantes de esta envolvente, la cual otorga la continuidad que hoy podemos observar entre los volúmenes del campus. Actualmente se encuentra en la zona del casino, donde aún es posible apreciarlo en parte de su fachada (Figura 7).

En el trabajo con la iluminación, los profesionales utilizaron un sistema de filtro solar que sirvió para unificar todos los bloques del complejo y para caracterizar algunos edificios [...]. Estos filtros sirvieron para mejorar el funcionamiento de la biblioteca, ya que ésta fue concebida como un lugar de estudio y lectura hacia adentro, facilitando la tranquilidad y la meditación de los alumnos (Silva, 2013, p. 315).

En la biblioteca, la envolvente modular, fue instalada a 14 cm del eje de los ventanales, con una altura de 2,8 m en vidrio laminado claro de espesor 8 mm. El coeficiente de transmisión lumínica del vidrio es de 0,85 y de reflectancia 0,08.

2.3 Las propuestas

Monteoliva y Pattini (2013) enfatizan la necesidad del cuidadoso diseño solar lumínico para un efectivo control y confort con el consiguiente ahorro energético:

[...] la iluminación natural como fuente dinámica iluminante, requiere cuidadosa planificación en su diseño.

Este, no sólo deberá contemplar los altos niveles de iluminación- requeridos por las tareas visuales – sino también reducir la luz solar directa y los altos brillos y contrastes como posibles causantes de un acondicionamiento lumínico no adecuado del espacio. De no ser así, la luz solar disponible será eliminada por falta de confort térmico- lumínico. Es decir, se anulará el aporte de luz natural y generará espacios sombríos (perdiendo la disponibilidad de luz natural característica de la región); consumiendo así mayor energía eléctrica en iluminación artificial. La falta de control de la luz solar en un espacio propende al diseño de un hábitat energéticamente no sustentable, transformando al sector edilicio no residencial en un gran consumidor de energía eléctrica (Monteoliva y Pattini, 2013, p. 236).

De acuerdo con los antecedentes recabados en terreno, se reconstruyó el módulo original del control solar (Figura 8), diseñado a partir de seis piezas en hormigón prefabricado, de profundidad 10 cm. Unidos con mortero cemento configuraron un módulo mayor de 45 x 45 cm.



Figura 7: Detalles de la envolvente en hormigón prefabricado y actual vista en la fachada del casino del Campus

Fuente: Archivo propio (2018)

Estos fueron colocados con refuerzos equidistantes en perfiles verticales de acero laminado de 100x15x3 mm. Inicialmente se interpretó el sombreado obtenido según el grado de perforación del módulo original, 44% abierto y 56% cerrado.

Se investigaron nuevas propuestas de control solar basados en lamas fijas, con el propósito de plantear envolventes que permitan unificar la fachada y restituir el confort lumínico al interior de la sala de lectura, controlando excesos de brillos y posibles contrastes. En cada una de estas propuestas se consideró el porcentaje de abertura y cerramiento original, mencionado anteriormente.

El estudio de las lamas en posición horizontal se planteó con ángulo de cerramiento de 30°, principalmente controlando la altura solar de 57° de altitud, los días típicos 21 de marzo y septiembre. Con este criterio podemos controlar altitudes solares mayores, especialmente en las horas cálidas del año. En planta axialmente se giró el elemento vertical en 30° hacia el oriente y al poniente según cada fachada (Figura 9).

El material de las lamas se planteó en fibrocemento tono gris y espesor 8 mm, cuya reflectividad es 0,18.

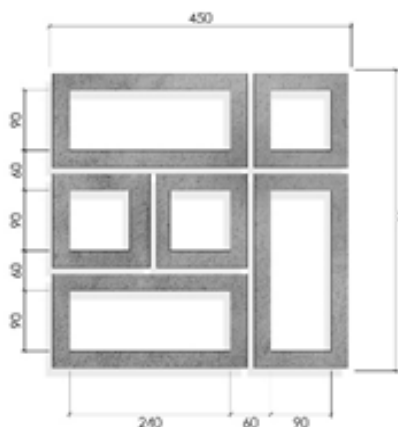


Figura 8: Detalle de módulo y cada unidad, en hormigón prefabricado

Fuente: Elaboración propia

Luego se realizó una combinación de lamas verticales con secciones rectangulares y cuadradas. También se ensayó una combinación de lamas verticales con horizontales, obteniendo modelos de celosías mixtos.

Finalmente, los seis modelos propuestos se presentan en la Tabla 1, a saber, el original construido en 1970 (Mo), luego el modelo actual (Ma), el cual fue referencia para evaluar la alta exposición solar actual en la sala de lectura y estudio. Se plantearon cuatro variantes de control solar, según los tipos de lamas explicados anteriormente, tales como: modelo horizontal (Mh), modelo vertical (Mv), además de otros dos con entramados mixtos, vertical y horizontal, controlando aún más el ingreso solar, uno con elementos verticales (Mm-o) y (Mm-p). Cada propuesta se consideró como una envolvente continua, a la manera de lo que fue la biblioteca originalmente.

Se utilizó el archivo climático de la ciudad de Santiago ($33,5^{\circ}$ S)², cuyo cielo es luminoso y se encuentra distribuido anualmente en 41% claro, 29% parcial y 30% cubierto, de acuerdo con los datos estadísticos promedios para determinar un tipo de cielo estándar y así realizar las mediciones pertinentes a los espacios interiores (Piderit, Cauwerts y Díaz, 2014).

2.4 Método

Cabe señalar que, en la ciudad, muchos días la transparencia atmosférica se ve afectada por la alta presencia de partículas en suspensión, asociado al parque automotriz y otras fuentes contaminantes, que a su vez está afectado por la acción de la radiación solar y las temperaturas, tanto en verano como en invierno, y si bien se sabe que generan turbiedad, se desconoce su cuantificación precisa de manera segregada para cada época del año (Préndez et al., 2013). Sin embargo, los datos de los componentes de la turbiedad atmosférica forman parte de los registros incorporados en las bases de datos climáticas utilizadas para las simulaciones realizadas en cada serie de tiempo por hora efectuada con anterioridad. Los parámetros incluyen: temperatura exterior, humedad relativa, velocidad del viento y dirección, radiación solar directa y difusa e índice de cobertura de nubes, además de la base climática anual utilizada de Santiago de Chile³, cuya fuente de antecedentes proviene de IWECC⁴.

Para las evaluaciones se trabajó con una programación de uso semanal vinculada a salas de bibliotecas, resultando un requerimiento de lunes a viernes, en horario 8 a.m. a 18 p.m., en un total de 3.650 horas anuales.

El plano de trabajo se basó en una trama de cálculo de acuerdo con el método aprobado por IES LM-83 (2012), fundado en una cuadrícula a 304,8 mm entre cada sensor y al muro perimetral, y a 760 mm sobre el nivel de piso terminado (Figura 10), contabilizándose 2.326 sensores. Esto significó un tiempo prolongado de cálculo por cada modelo simulado con que, al final del proceso y habiendo obtenido coherentes resultados, se analizaron los datos extraídos del software.

Las simulaciones se realizaron en el programa *Autodesk Insight 360*, plugin de *Revit 2017.1*, cuyo motor de cálculo se basó en *Multidimensional Lightcuts ray tracing method developed initially by the Cornell Lighting Laboratory*, que permiten verificar los distintos porcentajes del desempeño lumínico, fundamentado en el clima local según, la metodología de IES LM-83-12, incorporada en los estándares de LEED v4.

En la Figura 11 se detalla el método de cálculo completo a partir del cual se expondrán los resultados.

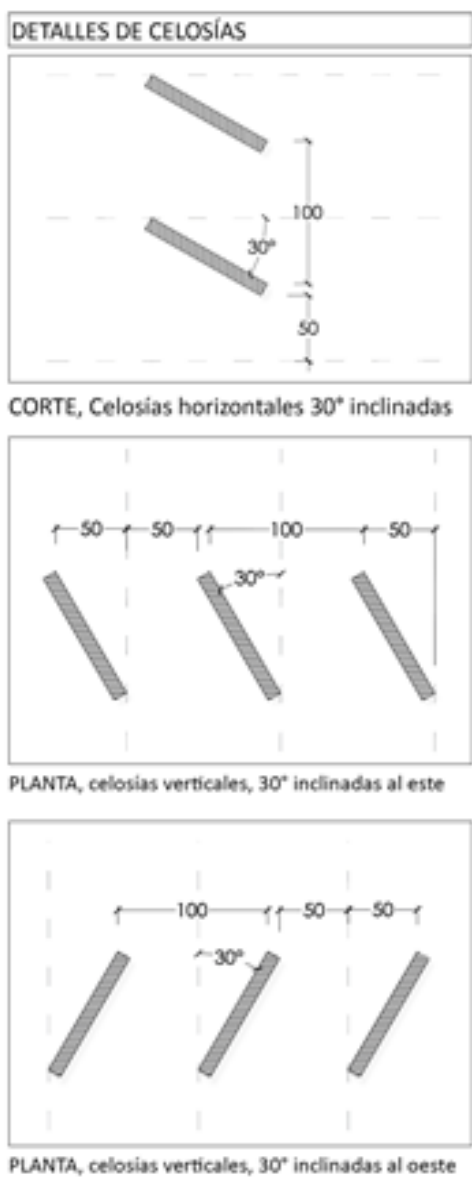


Figura 9: Detalles desarrollados para las lamas
Fuente: Elaboración propia

² Ubicado en la cuenca de río Maipo, de clima templado mediterráneo, caracterizada por amplias oscilaciones de las temperaturas, así como la alta radiación solar durante el año, hasta 850 W/m² en verano.

³ Corresponde a la estación 855740 en Santiago, asociada a la World Meteorological Organization (WMO), agencia que cuenta con la colaboración del Instituto Meteorológico Nacional.

⁴ International Weather for Energy Calculation, disponible en la página en línea de Energy Plus Weather (EPW).

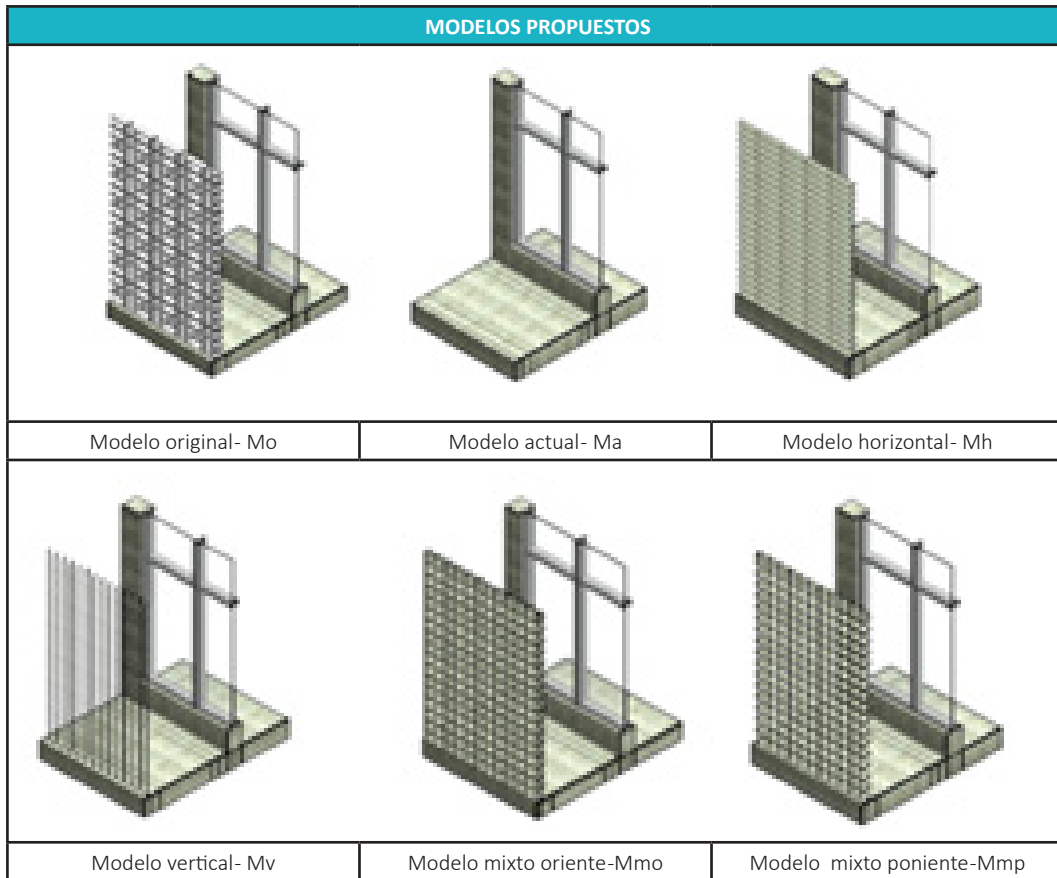


Tabla 1: Modelos desarrollados para la evaluación
Fuente: Elaboración propia

3. Resultados

Los resultados obtenidos de las simulaciones corresponden a tabulaciones para cada indicador, visualizados en planta, y representadas en la cuadrícula de sensores sobre cada superficie evaluada (Figura 10). En la siguiente tabla se presentan los mapas fotométricos, y sus respectivas simbologías según los rangos analizados.

En los resultados de la Tabla 2, de Autonomía Espacial de la Luz Natural $s_{DA300,55\%}$ se indica el cumplimiento del requerimiento básico de iluminancia en cada uno de los modelos, y es altamente posible alcanzar el umbral de 300 lux al interior de la sala de lectura. Los resultados indican que al menos el 55% de la superficie analizada durante el año cumple constantemente, y aún más, se excede por sobre el 75%.

Diferentes situaciones inciden en estos altos desempeños lumínicos, ante todo la calidad luminosa del cielo en Santiago: el 70% del año es claro o parcial, dominando la condición más luminosa (Piderit et al., 2014; Zambrano y Prado, 2016).

Otro aspecto es la forma ortogonal del volumen, con igual proporción de fachadas en todas las orientaciones; sin embargo, con menor extensión de superficie hacia la fachada sur, que podría contrarrestar las orientaciones de mayor radiación solar durante el año. Asimismo, la sala de lectura y trabajo orientada al Este, Oeste y Norte.

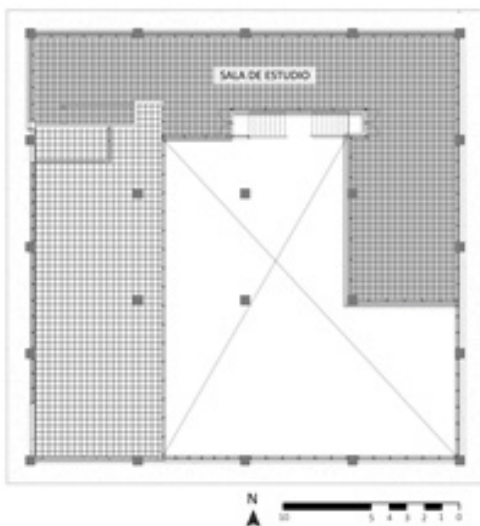


Figura 10: Planta analizada
Fuente: Elaboración propia

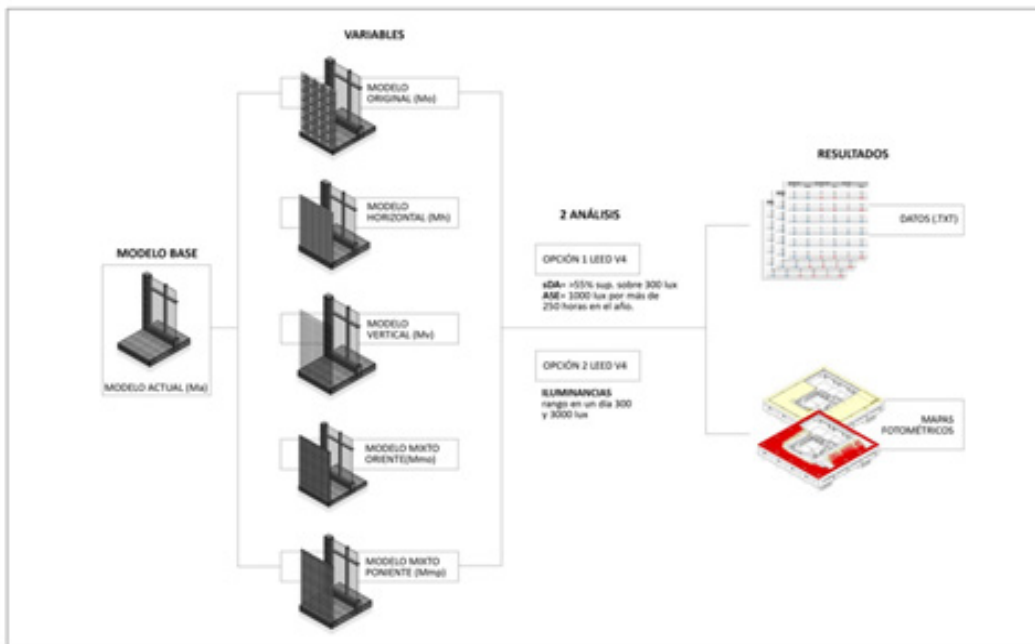


Figura 11: Esquema evaluación de casos
Fuente: Elaboración propia

Además, se puede identificar otra condición especial a partir del desfase horario solar y legal, por el cual la ciudad tiene durante el año el mediodía solar hacia las 14 horas, prolongando la incidencia solar en la fachada este.

En el (Ma) se puede analizar, con una total disponibilidad de luz natural, dentro del horario 8 a.m. a 18 p.m. por sobre el umbral de 300 lux. Comparativamente con el modelo original, se diferencian en la iluminación totalmente controlada que recibe por cada fachada. El nivel de iluminancia se modera a medida que las celosías propuestas se van entramando y, por lo tanto, la envolvente bloquea cada vez más la radiación solar, aun cuando en cada propuesta la proporción de apertura del control solar es semejante al original, 44% abierto y 56% cerrado. Esto demostró que el control solar propuesto más afectado por sobre-iluminación fue (Mv), tendiendo los rayos solares hacia la posición perpendicular a la fachada este y oeste.

En esta investigación todos los modelos propuestos sobrepasaron 300 lux, logrando sobre el 90% de las horas durante el año alta satisfacción respecto al nivel de iluminancia mencionado. En relación con las similitudes de resultados, esta medición permite concluir la abundante disponibilidad de luz al interior del recinto, descartándose como problemática cumplir el requerimiento de iluminancia. Sin embargo, el riesgo de desconfort está presente debido a los altos brillos luminosos, posibles contrates y deslumbramiento. Una futura línea de investigación y discusión de este indicador vinculado a niveles de desconfort visual sería posible de abordar.

Cabe preguntarse, cuán sobre-iluminada estará la sala de lectura de la biblioteca durante el año, considerando

niveles apropiados de 400 lux para desempeñar las tareas de estudio. Otros indicadores permitirán verificar una mayor necesidad de control de la luz natural para atenuar el exceso registrado con sDA.

En la Tabla 3, las pruebas de Exposición Anual a la Luz del Sol $ASE_{1000,250h}$ y el cálculo de niveles de iluminancia para el día más claro en víspera de cada equinoccio, se presentan comparativamente para cada indicador a partir de los mapas fotométricos en planta. La escala inferior a la izquierda, ASE (%) y a la derecha, rango de iluminancia (Lux), permiten interpretar los desempeños lumínicos.

En las columnas de $ASE_{1000,250h}$ se identifican, dentro del cumplimiento, aquellos casos de plantas evaluadas con acceso solar directo hasta máximo de 10%, durante un año. La metodología de simulación es igual a la evaluación de sDA, en igual jornada de 10 horas diarias de trabajo (IES, 2012). El (Mo) cumple dentro del porcentaje admisible y se puede deducir que la propuesta de control solar original que nos ha motivado en esta investigación desempeño un efectivo bloqueo solar, permitiendo una combinación de ingreso lumínico y bloqueo de la radiación en el interior de la sala de estudio.

El planteamiento de diseño de control solar en 44% abierto y 56% cerrado, con lamelas inclinadas horizontales del modelo (Mh), demostró un comportamiento de bloqueo solar eficaz a partir de los resultados de la simulación anual realizada para evaluar el indicador $ASE_{1000,250h}$. Semejante desempeño favorable logró el modelo (Mmo), registrando un leve aumento en el ingreso solar poniente.

En contraste a lo anterior, las propuestas de diseño

para el control solar en los modelos (Mv) y (Mmp) demostraron altos porcentajes de acceso de luz solar en el interior, con altos riesgos de discomfort, especialmente sobrecalentamiento en los meses calurosos.

Vinculando ASE con sDA, en el (Mo) se demostró que cumpliendo altos porcentajes para el primer indicador, que manifiestan posibles comportamientos de sobre-iluminación, las condiciones de confort visual se recuperan al verificar el segundo indicador, debido al efectivo control solar de la alta insolación en el interior de la sala de estudio, contribuyendo al bienestar luminoso al bloquear el ingreso solar.

En el caso de las columnas correspondientes a los cálculos de iluminancia, se evaluó en cada modelo un día, los más claros próximos a la víspera de los equinoccios, 5 de marzo y 5 de septiembre. Aquellas áreas menores dan 300 lux, equivalen al color rojo, dentro del rango desde 300 lux hasta 3000 lux, desde celeste a verde y sobre del rango superior a 3000 lux en amarillo. Es así como el (Mo) y el modelo vertical (Mv) se encuentran totalmente excedidos del rango. En este caso la posición de las lamelas permite el ingreso de radiación solar directa desde las diferentes orientaciones.

Los porcentajes obtenidos en la fachada norte del (Mo) se observan completamente dentro del rango, así también desde las fachadas oriente y poniente. Sin embargo, el (Ma) se encontró completamente sobre-iluminado debido al exceso de superficie vidriada expuesta en todas las fachadas, resultando altamente fuera del rango superior por amplio margen (87% de diferencia).

En la Figura 12 se graficó una síntesis comparativa de los resultados de la evaluación de tolerancia del ASE_{1000,250h} para cada uno de los modelos propuestos.

Los porcentajes para cumplir corresponden al mínimo de 4%, como fue registrado en el modelo original (Mo), cuyo control solar resultó un efectivo sombreador del espacio interior, al igual que el modelo mixto oriente (Mm-o); así también logró un buen desempeño el control lumínico del modelo de lama horizontal (Mh), permitiendo un mayor acceso solar, hasta 10%.

El modelo actual, totalmente vidriado, obtuvo un alto porcentaje ASE_{1000,250h} 68%, lo cual indica que el interior está altamente expuesto a la radiación solar directa durante las 3650 horas evaluadas y sobrepasa el nivel de 1000 lux, dejando en evidencia la incomodidad visual;

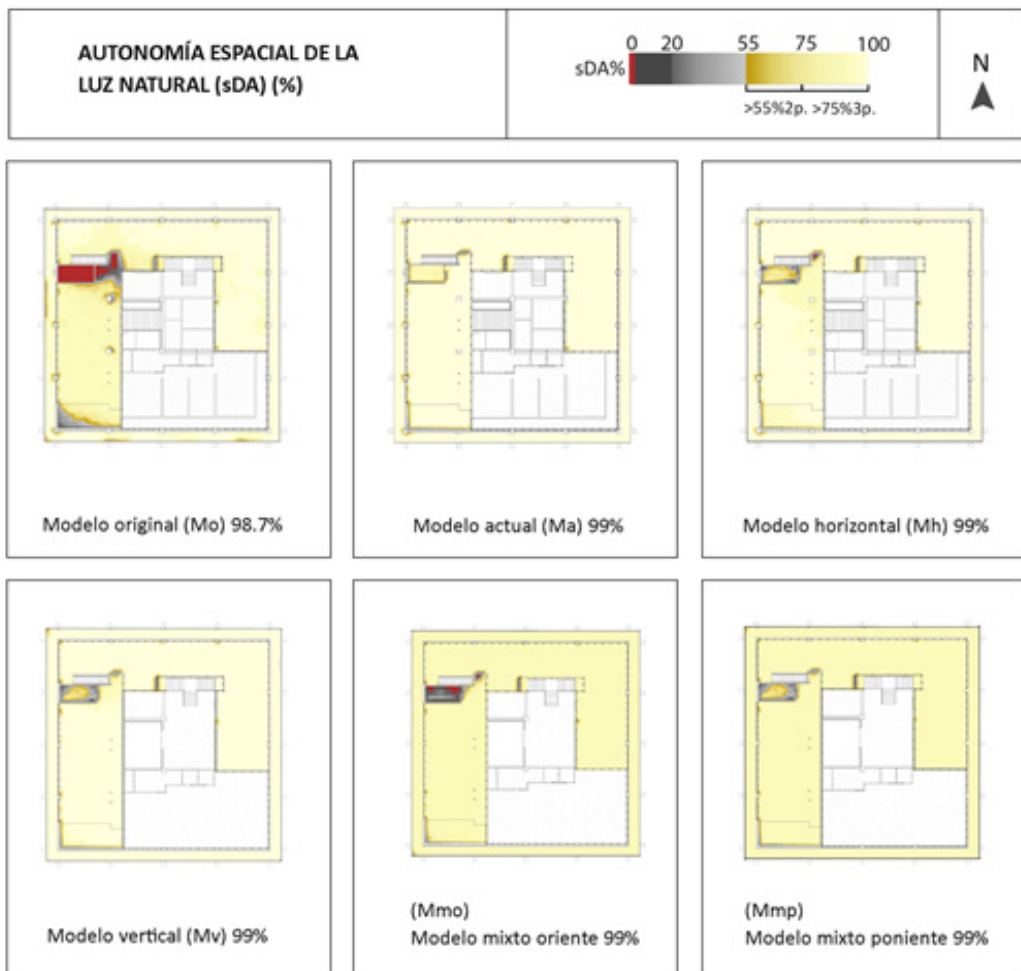


Tabla 2: Desempeño de la autonomía lumínica en el espacio analizado
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos de las simulaciones

para el caso de la lama vertical (Mv), esta incomodidad disminuyó al tercio, 35%; al igual que el modelo mixto poniente (Mm-p).

Todos os modelos obtuvieron en los mapas fotométricos niveles próximos y superiores a 300 lux, verificado con anterioridad a través de la $sDA_{300,50\%}$ y algunos, en especial el modelo actual (Ma), alcanzó 6000 lux asociados a la orientación norte y las fachadas este y oeste.

Revisando las comparaciones para el cálculo de iluminancia en el rango 300 lux a 3000 lux (Figura 13), el (Mo) mostró alto desempeño lumínico útil en el rango analizado: sobre el 75% de los sensores se encuentran dentro del tramo de comodidad y tolerancia aprobadas.

En esta prueba se pudo verificar la efectividad del control solar original, ya que en ningún momento sobrepasa el umbral mayor. Caso contrario fue el (Ma), que está por encima de los 3000 lux en ambos horarios analizados, y solo por la mañana un 13% de los sensores estuvo en rango. Los modelos (Mh) y (Mv), están en ambos horarios dentro del rango con altos porcentajes; sin embargo, el modelo (Mh) sobresale con desempeños de 91% a las 3 p.m. y 83% a las 9 a.m.

Los modelos mixtos obtuvieron comportamientos principalmente dentro del rango establecido. Aun así, el modelo Mm-o reveló mayor desempeño dentro del rango sobre el 75 % recomendado.

Es importante considerar los aportes entregados por las evaluaciones cuantitativas de estos indicadores dinámicos utilizados, puesto que constituyen bases objetivas para la evaluación, estandarización, comparación y aplicación de los lineamientos de diseño propuestos, y son una herramienta de aporte al bienestar ambiental lumínico en espacios de estudio de biblioteca. Esto permitió observar el desempeño de las intervenciones propuestas y sus consecuencias en el espacio interior investigado, facilitados por las diferentes pruebas realizadas, especialmente a partir del modelo de control solar original como referencia.

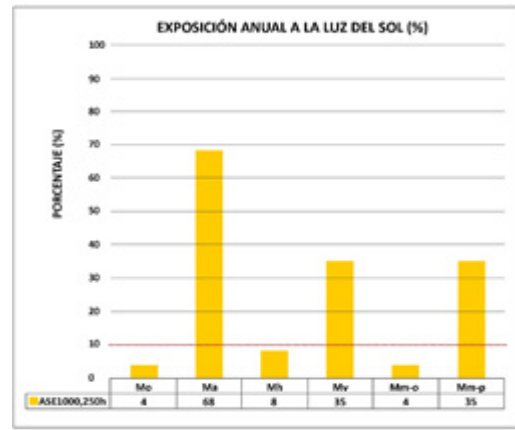


Figura 12: Gráfico Exposición Anual a la Luz del Sol (%) Fuente: Elaboración propia

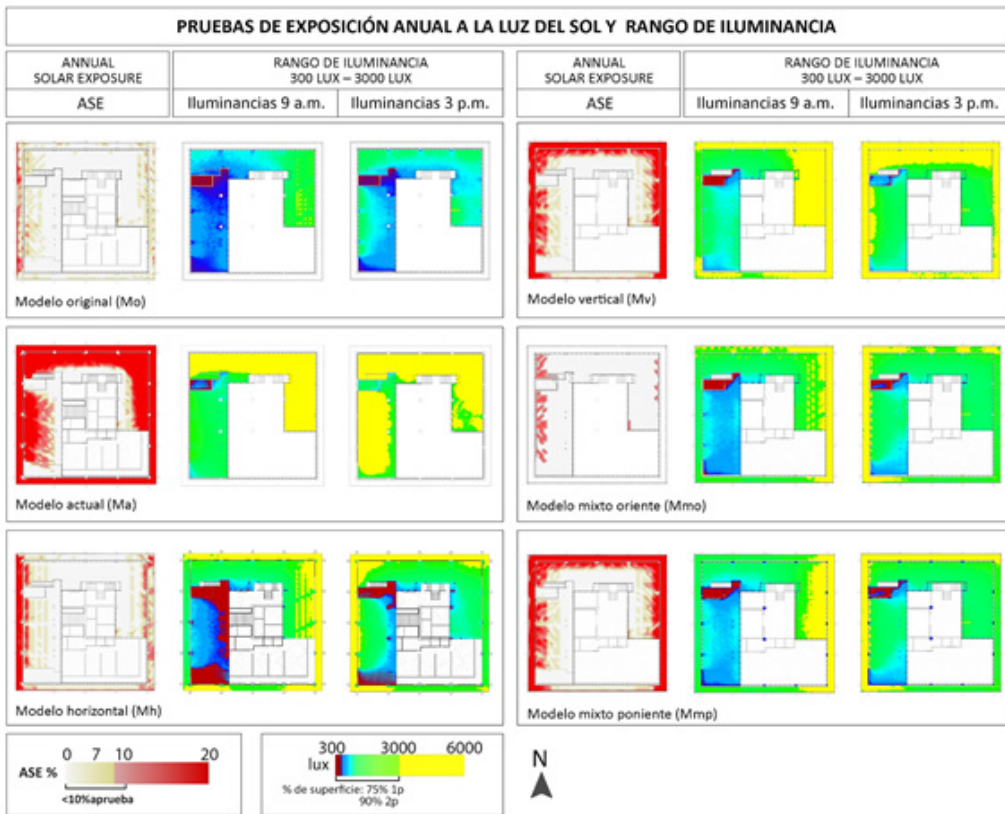


Tabla 3: Desempeños de la exposición anual a la luz del sol y rango de iluminancias entre 300 lux y 3000 lux Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos de las simulaciones

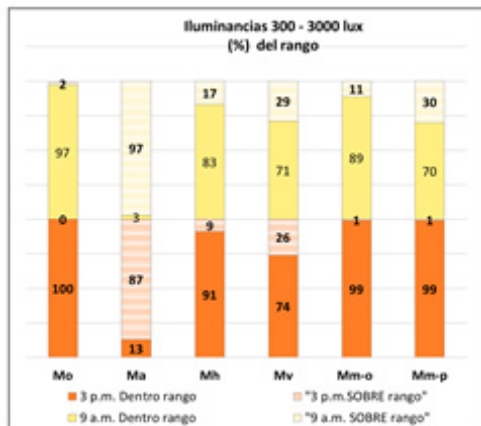


Figura 13: Gráfico Iluminancias 300 lux- 3000 lux
Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

La investigación realizada permitió comprobar, a partir de las simulaciones y los resultados obtenidos, el buen desempeño de la estrategia de control solar original propuesta por la oficina TAU arquitectos en la biblioteca universitaria Ruy Barbosa, resultando un diseño eficaz en el control del ingreso solar al interior de la sala de estudio, logrando satisfactorios niveles de iluminancia en el interior.

Cabe destacar la incorporación de un sistema modular en hormigón prefabricado, ajeno a una elaboración industrial, y por el contrario predominando una obra artesanal, realizada en el terreno con los medios que se disponían en la época, por parte de unos arquitectos que diseñaron y levantaron un sistema de control solar configurado a partir de pequeñas unidades perforadas. Con este se lograron múltiples propósitos: primero una envolvente arquitectónica identitaria del campus que aportaba un ritmo de luz y sombra en el día. Sobresale también un alto desempeño, ajeno a todo cálculo, que permitió moderar la luz solar necesaria para las actividades al interior y controlar el sobrecalentamiento.

De acuerdo con el entorno climático local, se destaca el aporte a la expresión arquitectónica en clima mediterráneo, y a su vez en un contexto de escasos diseños de productos disponibles para estos propósitos, la promoción de sus virtudes y características podría hacerlo replicable, en comparación con las soluciones que se proponen actualmente en la arquitectura contemporánea.

Con los favorables desempeños de ASE_{1000,250h} entendido como un efectivo control solar, y a su vez, un cálculo puntual de iluminancia, 300 lux a 3000 lux, es decir, respecto a los porcentajes de abertura de 44% y cerramiento del 56%, analizados a partir del modelo original, se pudo comprobar su efectividad, y con esto un diseño sensible al clima local. Se logró corroborar luego este planteamiento de diseño en la propuesta para el modelo mixto, con giro axial en 30° hacia el oriente.

Fue posible constatar puntos de desencuentro en los criterios de valoración, puesto que estos indicadores dinámicos estándar sDA, ASE y rango de iluminancias, son aplicables en cualquier contexto geográfico, lo que plantea cuestionamientos sobre su pertinencia en zonas extremas de altos niveles de iluminación natural o de escasa luminosidad, las cuales, según la herramienta, deben ser medidas dentro del mismo rango de aceptación. Sin embargo, se destaca la complementariedad entre los rangos establecidos en estos indicadores lumínicos, puesto que uno busca medir los estándares mínimos de iluminación natural en un recinto interior (sDA), y a su vez el otro busca determinar un límite de iluminación apto para evitar incomodidad visual por deslumbramientos al interior de los espacios (ASE).

Respecto a las metodologías analizadas, se concluye que ASE_{1000,250h} nos aproximó a criterios vinculados al confort lumínico, entendidos en el control de contrastes por excesivos brillos, resultando entre ellos el modelo horizontal muy recomendable en la restitución de la comodidad lumínica de la Biblioteca. Esto se comprueba al encontrarse en el rango analizado de por sobre el 75% de los sensores de la trama evaluada. El caso mixto (Mm-o), fue favorablemente evaluado, aun cuando el soleamiento perpendicular en la fachada por la mañana le otorgó un excesivo acceso solar. Esto debería reevaluarse en un diseño definitivo.

Las metodologías de evaluación dinámica pueden ayudar a encontrar recomendaciones actualizadas, más allá de los conceptos técnicos, asociadas a las iluminancias recomendables. La validez de las respuestas a las pruebas realizadas está fortalecida por una metodología basada en el clima local, y a su vez en los extensos datos meteorológicos que permiten hoy disponer de un análisis del comportamiento en la ciudad a partir de un año típico.

5. Referencias bibliográficas

- Autodesk. Insight360 (2019). Recuperado de <https://insight360.autodesk.com/oneenergy/Landing/Download>
- Bellia L, De Falco F. y Minichiello F. (2013). Effects of solar shading devices on energy requirements of standalone office buildings for Italian climates. *Applied Thermal Engineering* (54), 190-201.
- Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E. y Rollag, M. D. (2001). Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *The Journal of Neuroscience*. 21(16), 6405–6412. doi:10.1523/JNEUROSCI.21-16-06405.2001
- Cáceres, O. (2007). *La arquitectura de Chile independiente*. Concepción, Chile: Ediciones Universidad del Bío Bío.
- Comisión Asesora de Bibliotecas y Documentación. CABID. (2003). *Estándares para bibliotecas universitarias chilenas*. (2ª ed.). Chile, Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso. Universidad de Valparaíso.

- Eliash, H. y Moreno, M. (1989). *Arquitectura y modernidad en Chile, 1925-1965*. Una realidad múltiple. Chile, Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Esquivias, P. M., Muñoz, C. M., Acosta, I., Moreno, D. y Navarro, J. (2016). Climate based daylight analysis of fixed shading devices in an open plan office. *Lighting Research and Technology*. 48(2), 205-220. doi: 10.1177/1477153514563638
- Fuentes, P. (2011). La revista Auca, entre 1965 – 1973: un aporte disciplinar al problema habitacional y la participación social. *De Arquitectura*. 23(1), 20-23. Recuperado de <https://revistas.uchile.cl/index.php/RA/article/view/26896>
- Heschong, L. (2012). *Daylight Metrics*. PIER Daylighting Plus Research Program. Sacramento, USA: Heschong Mahone Group.
- IES (Illuminating Engineering Society). (2012). Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). New York, USA: IES. LM-83-12.
- Nabil, A. y Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research Technology*. 37(1), 41-59. doi: 10.1191/1365782805li128oa
- Nabil, A. y Mardaljevic, J. (2006) Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, 38 (7) 905–930. doi: 10.1016/j.enbuild.2006.03.013
- Norma Chilena de Electricidad 4/2003. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=226558>
- Mardaljevic, J. (2009). Daylight, *Indoor Illumination and Human Behavior*. New York, USA. Springer Science+Business Media.
- Mardaljevic, J., Heschong, L., y Lee, E. (2009). *Daylight metrics and energy savings*. *Lighting Research and Technology*, (41), 261–283. doi:10.1177%2F1477153509339703
- Martín, C. (2008). *Bibliotecas universitarias: concepto y función*. Los CRAI. Madrid, España: Editorial Murilla Lería.
- Monteoliva, J. M. y Pattini, A. (2013). Iluminación natural en aulas: análisis predictivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en climas soleados. *Ambiente Construido*, 13(4), 235-248. doi: 10.1590/S1678-86212013000400016
- Pérez, R., Seals, R. y Michalsky, J. (1993). All weather model for sky luminance distribution. Preliminary configuration and validation. *Solar Energy*, 50(3), 235-245. doi:10.1016/0038-092X(93)90157-J
- Piderit, M. B., Cauwerts, C. y Díaz, M. (2014). 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* 13(2), 22-30. Recuperado de <http://revistadelaconstruccion.uc.cl/index.php/rdlc/article/view/446/37>
- Préndez, M., Carvajal, V., Corada, K., Morales, J., Alarcón, F. y Peralta, H. (2013). Biogenic volatile organic compounds from the urban forest of the Metropolitan Region, Chile. *Environmental Pollution*, 183, 143-150. doi: 10.1016/j.envpol.2013.04.003
- Reinhart, C. F., Mardaljevic, J. y Rogers, Z. (2006). Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos*, 3(1), 1-25. doi: 10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001
- Reinhart, C. F. y Walkenhorst, O. (2001). Dynamic Radiance Based Daylight Simulations for a full-scale test office with outer venetian blinds. *Energy and Buildings* 33(7), 683–697. doi: 10.1016/S0378-7788(01)00058-5.
- Reinhart, C. F. y Wienold, J. (2011). The daylighting dashboard e A simulation-based design analysis for daylight spaces. *Building and Environment*, 46, 386-396. doi: 10.1016/j.buildenv.2010.08.001
- Reinhart, C. F. (2014). *Daylighting Handbook I. Fundamentals Designing with the Sun*. Boston, USA: Building Technology Press.
- Reinhart, C. F. (2018). *Daylighting Handbook II. Daylight Simulations. Dynamic Facades*. Boston, USA: Building Technology Press.
- Rockcastle, S. y Andersen, M. (2014). Measuring the dynamics of contrast & daylight variability in architecture: A proof-of-concept methodology. *Building and Environment* 81, 320-333. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.06.012
- Roldán, J. A. (2017). Daylight performance depending on the atrium geometry conditions within buildings in Santiago, Chile. S. Roaf (Chair), *Passive Low Energy Architecture. Design to Thrive*. 33rd. PLEA International Conference. Edinburgh, Scotland: NCEUB. Recuperado de https://flore.unifi.it/retrieve/handle/2158/1094227/315869/R_G_PLEA2017.pdf
- Silva, L. (2013). *Arquitectura moderna en Chile a través de la obra de TAU arquitectos, 1954-1971*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. Recuperado de <http://oa.upm.es/22390/>
- USGBC (United States Green Building Council). (2013). *LEED Reference Guide for Building Design and Construction*. Version 4. Recuperado de <http://www.usgbc.org/>.
- Wurtman, R. J. (1975). *The effects of light on the human body*. *Scientific American*, 233 (1): 69-77.
- Zambrano, P. y Prado, L. (2016). Simulación de iluminación natural en oficinas: comparación de los niveles lumínicos considerando la estación, color y hora: Implicaciones para la eficiencia visual. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 8(5). 59-71. doi: 10.18537/est.v005.n008.06