

INCIDENCIA DE LA LUZ SOLAR EN LOS REVESTIMIENTOS INTERIORES DE ESPACIOS UNIVERSITARIOS¹

THE IMPACT OF SUNLIGHT ON INTERIOR COVERINGS IN UNIVERSITY SPACES

DOI: <https://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.36.1.2026.01>

Maria Alejandra Silva Quicaña 

Universidad Tecnológica del Perú
U19209915@utp.edu.pe

Darci Ana Gutiérrez Pinto 

Universidad Tecnológica del Perú
C31252@utp.edu.pe

Ariana Vizcarra Plazolles 

Universidad Tecnológica del Perú
U19200204@utp.edu.pe

Valkiria Raquel Ibárcena Ibárcena 

Universidad Tecnológica del Perú
valkiria.ibarcena@gmail.com

Para citar este artículo:

Silva Quicaña, M. A., Vizcarra Plazolles, A., Gutiérrez Pinto, D. A., & Ibárcena Ibárcena, V. R. (2026). Incidencia de la luz solar en los revestimientos interiores de espacios universitarios. *MÓDULO ARQUITECTURA CUC*, 36(1), 1–30. <https://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.36.1.2026.01>

Resumen

La luz natural afecta el confort visual de los espacios académicos e influye en el rendimiento educativo, por lo tanto, el objetivo es evaluar el comportamiento de la incidencia solar en relación con los materiales de los revestimientos interiores de estos espacios, con el propósito incorporarlos a los sistemas activos de aprovechamiento de la energía solar. Para lo cual se realiza un estudio con luxómetro y simulación Velux Daylight Visualizer. Se analizan acabados de muros, techos y pisos de los espacios seleccionados a partir de tres indicadores; iluminancia, luminancia y factor de iluminación natural. Los resultados revelan que, a pesar de la orientación de algunos de estos ambientes, los materiales con alta reflectancia favorecen mejor la distribución homogénea de la luz con un albedo solar significativamente más alto. Por lo tanto, los materiales de los revestimientos pueden ser catalizadores en la calidad lumínica de los espacios que requieran mayor iluminación.

Palabras clave: edificio universitario, iluminación, materiales.

Abstract

Natural light affects visual comfort in academic spaces and influences educational performance. Therefore, the objective is to evaluate the behavior of solar incidence in relation to the interior cladding materials in these spaces, with the aim of incorporating them into active solar energy utilization systems. To this end, a study is carried out using a lux meter and Velux Daylight Visualizer simulation. Wall, ceiling, and floor finishes in the selected spaces are analyzed based on three indicators: illuminance, luminance, and natural lighting factor. The results reveal that, despite the orientation of some of these environments, materials with high reflectance favor a more homogeneous distribution of light with a significantly higher solar albedo. Therefore, cladding materials can be catalysts for the light quality of spaces that require greater illumination

Keywords: academic buildings, lighting, materials.

¹ Artículo realizado en el curso de Taller de Investigación en Arquitectura de la Universidad Tecnológica del Perú.



INTRODUCCIÓN

La luz solar posee una doble condición, es predecible en su trayectoria diaria y estacional, pero también es variable debido a las condiciones climáticas (Taques Martins et al., 2023), esta característica de la luz aunado a la utilización de materiales que tienen superficies con alta reflexión solar (ρ), o “albedo”, y alta emitancia térmica (ϵ), conocidos como materiales fríos (Paolini et al., 2020), hace que los revestimientos utilizados sean tomados en cuenta para su análisis. Esta dualidad a la vez los convierte en un factor fundamental en la calidad lumínica de los espacios arquitectónicos, especialmente en entornos educativos, la cual influye en el rendimiento y productividad de los estudiantes.

En este contexto, los revestimientos interiores aplicados en muros, techos y pisos cumplen un rol importante, ya que inciden de manera directa en cómo la luz natural será absorbida, reflejada y distribuida dentro del ambiente, por ello las propiedades ópticas de estos materiales condicionan las características lumínicas del espacio, determinando la uniformidad y la visibilidad en general, especialmente en contextos con alta y constante exposición solar durante el día y a lo largo del año (Taques Martins et al., 2023; Zambrano Prado y Prado León, 2016).

Por otro lado, la arquitectura educativa se ha centrado en aulas con sistemas constructivos tradicionales y diseños de módulos generalizados que se adaptan al terreno,

pero no a las condiciones climáticas (Urrutia, 2018), generando problemas recurrentes como el escaso ingreso de luz en determinados momentos del día o por el contrario, un ingreso excesivo y descontrolado de radiación solar directa, condiciones que suelen generar deslumbramiento, reflejos incómodos y zonas de niveles lumínicos desiguales (Salomón y Avalos, 2022).

Se observa que numerosos estudios (Monteoliva et al., 2016; Pagliero et al., 2017; Salomón y Avalos, 2022; Marwa et al., 2024), han analizado la iluminación natural en aulas comunes universitarias a partir de diferentes indicadores cuantitativos que describen la cantidad y la distribución de la luz al interior del aula. Sin embargo, la mayoría de estas investigaciones se concentra en la geometría del espacio, la proporción y ubicación de las ventanas o el uso de dispositivos de control solar, mientras que la elección de los revestimientos interiores suele asumirse como una condición fija, sin un análisis comparativo de su incidencia en el comportamiento lumínico, sin considerar tampoco la alta radiación solar de la zona de estudio.

Este artículo aborda el análisis de aulas existentes con distintas combinaciones de revestimientos en muros, techos y pisos, los cuales como se demuestra, modifican la redistribución de la luz solar. En consecuencia, el aporte de este estudio es doble: metodológico, porque relaciona e integra de manera sistemática las mediciones de campo con las

simulaciones digitales a partir de parámetros ópticos de los materiales; y es conceptual, porque traduce dichos resultados en criterios de diseño que permiten identificar configuraciones de superficies más favorables para lograr una distribución uniforme y confortable de la luz, identificando el albedo de estas superficies (reflexión y absorción), ya sea en alta y baja radiación, lo que también permite identificar los revestimientos más favorables para lograr una distribución uniforme y confortable de la luz.

Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación es estudiar la incidencia de la luz solar en los revestimientos interiores de los espacios universitarios a partir de mediciones y simulaciones digitales, para demostrar que los distintos revestimientos interiores modifican la distribución de la luz solar en aulas universitarias, con el fin de orientar futuras decisiones de diseño basadas en información científica sobre el comportamiento lumínico de los materiales, con la posibilidad de incorporar sus características a sistemas pasivos de captación de luz solar a través de la capacidad del material (Soroush y Hajimolana, 2023).

Para alcanzar este propósito, se selecciona y evalúa 4 aulas universitarias representativas que presenten diversidad de revestimientos interiores y condiciones de asolamiento; luego se midió los niveles de iluminancia, luminancia y factor de iluminación natural (FIN) en puntos estratégicos ubicados sobre los revestimientos de muros, pisos y techos; y finalmente se analiza

el comportamiento lumínico de cada material estudiado en las diferentes posiciones de cada ambiente.

ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS

A nivel internacional existen problemas comunes de iluminación en entornos educativos, que parten desde la incomodidad visual y los niveles de satisfacción relacionados con la luz (Budhiyanto y Chiou, 2024). En este marco, Zambrano Prado y Prado León (2016) señalan que la entrada de luz natural no depende únicamente de su procedencia directa desde el cielo, sino también de múltiples factores internos y externos que inciden en su comportamiento; destacando el tamaño y la ubicación de los vanos, la profundidad y configuración espacial, así como el color y las características de las superficies de los elementos interiores. Además, Baker y Steemers (2014) y Boyce (2014) señalan que la luz natural no solo cumple una función cuantitativa de provisión lumínica, sino que influye directamente en la percepción espacial, el confort visual y el desempeño de los usuarios en el espacio construido. En este sentido, la calidad de la iluminación natural debe analizarse considerando tanto variables físicas como perceptuales.

A nivel conceptual la percepción visual se entiende como un proceso activo de interpretación de estímulos luminosos, condicionado por factores como el contraste, el color, la adaptación visual y las características

superficiales de los materiales (Goldstein, 2014). Estudios desde la psicología ambiental y la arquitectura evidencian que la interacción entre luz natural y materialidad afecta la legibilidad espacial, la apreciación cromática y la experiencia sensorial del usuario (Veitch y Galasiu, 2012). No obstante, gran parte de la literatura científica aborda estos aspectos de forma aislada, sin integrar de manera sistemática la percepción visual al análisis técnico de la iluminación.

Por otro lado, el comportamiento óptico de los materiales, especialmente la reflectancia, constituye un factor determinante en la distribución de la luz natural en los espacios interiores. Investigaciones como las de Ashdown (2013) y IEA (2019) destacan que las propiedades reflectantes de los materiales influyen en la luminancia de las superficies, el deslumbramiento y la eficiencia lumínica del ambiente. Sin embargo, persiste un vacío epistemológico en la reflectancia de los materiales y su impacto lumínico en la distribución de la luz al interior del espacio, particularmente en contextos arquitectónicos específicos de alta radiación solar.

Para analizar estos comportamientos, se utilizaron metodologías de estudio de caso (Espinoza-Sanhueza et al., 2020; Freewan y Al Dalala, 2020; Ibañez et al., 2017; Kong y Jakubiec, 2021), con el fin de proponer mejoras en iluminación natural mediante materiales translúcidos y disposición de vanos. Así como métodos cuantitativos (Alvarez et al., 2024;

Chen et al., 2022; Liu et al., 2024; Safranek et al., 2020; Taques Martins et al., 2023), enfocados en optimizar diseños de aula con mediciones in situ y evaluar la percepción lumínica mediante prototipos de simulación.

Además, se han empleado diferentes softwares de análisis. Sin embargo, el que permite graficar el ingreso de luz a detalle es el programa Velux Daylight Visualizer (Alvarez et al., 2024), el cual puede complementarse con softwares básicos de 3D como SketchUp. Lo cual aunado con el Adobe CC Color permite cuantificar las diferencias de color en términos de luminosidad, tono y saturación, permitiendo evaluar cómo los materiales y colores inciden en la percepción de la luz, la temperatura de color y la distribución de luminancia dentro de un espacio interior con el sistema CIELab (Espinoza-Sanhueza et al., 2020).

Los instrumentos mayormente utilizados son los luxómetros para medir la cantidad de luz percibida en el ambiente (Alvarez et al., 2024; Ibañez et al., 2017; Ricciardi y Buratti, 2018), acompañado de cámaras Canon 600D y Rebel T2i para registrar la distribución de luz mediante capturas en diferentes exposiciones y horarios, así como fotografías de alto rango dinámico HDR para el análisis del comportamiento luminoso (Espinoza-Sanhueza et al., 2020; Ibañez et al., 2017).

En relación con los indicadores de análisis, la iluminancia (Alvarez et al., 2024; Bellia et al., 2024; Freewan y Al Dalala, 2020; Giovannini et al., 2017; Liu et al., 2024; Ma et al., 2022;

Mostafavi et al., 2024; Qu et al., 2024; Ricciardi y Buratti, 2018; Yu et al., 2014; Zambrano Prado y Prado León, 2016) es analizada para cuantificar el flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. A diferencia, de la luminancia (Alvarez et al., 2024; Espinoza-Sanhueza et al., 2020; Ibañez et al., 2017) la cual permite establecer la cantidad de luz que el ojo percibe proveniente de una superficie. En ese sentido, es útil hallar la reflectancia (Bellia et al., 2024; Mahmoudzadeh et al., 2024) como aquella energía luminosa reflejada por una superficie e incidente sobre ella, sin considerar el color específicamente, para que, de esta manera junto con la transmitancia, se obtenga como resultado la absortancia, datos necesarios para la simulación con Velux Daylight Visualizer.

Es necesario recalcar la importancia de hallar el FIN (Baydoğan y Özkantar, 2023; Castilla et al., 2024; Kong y Jakubiec, 2021; Lourenço et al., 2019; Safranek et al., 2020; Shafavi et al., 2020; Yildiz et al., 2016) ya que, permite establecer el cociente entre la iluminancia natural existente en un punto dentro de un espacio y la iluminancia exterior simultánea bajo un cielo completamente cubierto, expresado como porcentaje.

Los resultados de Yildiz et al. (2016), demostraron que el FIN mínimo debe ser del 2% para evitar el uso de iluminación eléctrica; lo que equivale a un mínimo de 500 lux para educación de adultos, ya que los valores pueden variar en función a la cercanía de las ventanas obteniéndose diferentes niveles de luxes

(Salomón y Avalos, 2022). Asimismo, Zambrano Prado y Prado León (2016) comprobaron que la sustitución de colores oscuros en muros y techos por colores claros permitieron aumentar la iluminancia en 63%, lo cual fue óptimo para niveles de iluminación bajos. De la misma manera, espacios con madera clara fueron percibidos como agradables, más que los espacios con superficies blancas (Espinoza-Sanhueza et al., 2020). Por lo cual, se revela no solo la importancia del color en las superficies, sino también el uso de los materiales.

La revisión crítica de la literatura evidencia que, si bien existen estudios consolidados sobre iluminación natural, percepción visual y propiedades ópticas de los materiales, son escasos los enfoques integradores que analicen el impacto de los revestimientos en el espacio interior. Este vacío limita la comprensión integral del fenómeno y justifica la presente investigación, la cual busca aportar al debate académico mediante un enfoque que relacione la luz natural con la reflectancia de los materiales como un sistema interdependiente.

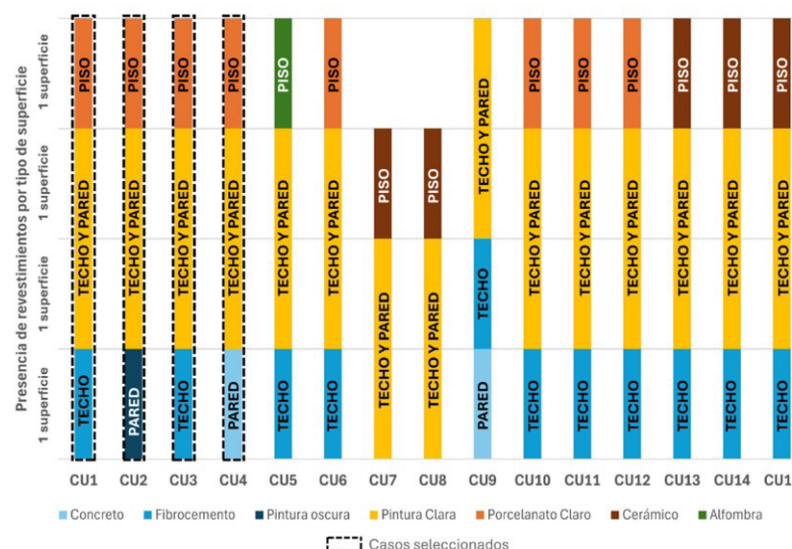
Por lo que esta investigación adoptará una metodología de estudio de caso similar a Kong y Jakubiec, (2021), basándose en 3 indicadores de medición lumínica: (1) iluminancia; (2) luminancia y (3) FIN. Se utilizará luxómetro y Velux Daylight Visualizer (Alvarez et al., 2024) complementando con el plugin de SunDiagram y modelado virtual en SketchUp para simular con precisión la entrada y distribución de luz natural en los espacios educativos.

Procedimientos

Metodológicamente se plantea un enfoque transversal y se relacionan entre sí, la luz solar, las superficies y los materiales. Estas correlaciones se representan en colores diferenciados, asociados entre los revestimientos horizontales y verticales. La investigación aborda 2 fases principales: (1) Análisis del asoleamiento y (2) Medición lumínica de 3 indicadores, ya que busca determinar la relación entre la incidencia de la luz solar y los materiales usados en pisos, muros y techos de los diferentes espacios universitarios.

Para ello previamente se delimita la muestra de estudio, mediante la identificación de 15 espacios universitarios que engloban el tipo y cantidad de revestimientos aplicados en muros, pisos y techos (Figura 1), los cuales se denominan como CU#, los cuales varían en tipos y colores. La selección fue mediante azar probabilístico dentro del universo de espacios disponibles. Posteriormente, se reduce la muestra a 4 ambientes priorizando aquellas combinaciones que ofrecieran contrastes significativos para el estudio comparativo. También se consideraron aspectos logísticos como la accesibilidad a las aulas y la disponibilidad para realizar el levantamiento de información in situ.

Figura 1. Inventario de los revestimientos interiores en los 15 casos de estudio.



Nota: Elaboración propia, basada en levantamiento de campo.

A nivel de materialidad, CU1 y CU3 son similares, pero su uso, orientación y áreas del ambiente y de los vanos son diferentes lo que facilita su comparación. A diferencia de CU2 quien posee una menor diversidad de materiales, un solo vano y orientación al noreste lo cual permite contrastar sus condiciones lumínicas con las demás aulas. Por otro lado, CU4 a diferencia del resto cuenta con una pared sin revestimiento y distinto uso.

Teniendo en cuenta que CU1, es similar a CU6, CU10, CU11 y CU12, se descarta por similitud automáticamente a estos 4 ambientes. Además, quedan excluidos aquellas aulas con alfombra y piso de cerámico como CU5, CU7, CU8, CU13, CU14 y CU15 para tener menos variables en el estudio y mantener solo los otros casos que tienen el piso de porcelanato en

común, así como CU9 por su difícil accesibilidad y similitud en términos de área y altura que CU1.

También, la selección se basó en contener similares áreas de vanos y orientaciones, para que puedan ser comparadas, como en CU1 con

CU2, que solo discrepan en la cantidad de vanos, pero diferentes revestimientos y CU3 con CU4, que concuerdan con la orientación y similar área de vanos, de esta manera los requerimientos se ajustan a solo poner en evidencia el tipo de revestimiento (Tabla 1).

Tabla 1.
Caracterización básica de los ambientes educativos

Casos de estudio	Uso del espacio	Área de aula	Orientación de vanos	Área de vanos	Porcentaje de vanos respecto a muros
CU1	Aula teórica	46.70 m2 (Altura: 2.53 m)	Noroeste y sureste	11.04 m2	14.86%
CU2	Aula Taller	67.23 m2 (Altura: 3.64 m)	Noreste	14.70 m2	12.23%
CU3	Aula Taller	191.70 m2 (Altura: 4.37 m)	Noreste, noroeste y sureste	58.72 m2	27.15%
CU4	Sala de lectura	147.74 m2 (Altura: 3.38 m)	Noreste, noroeste y sureste	52.51 m2	30.47%
CU5	Sala de simulación	75.21 m2 (Altura: 2.60 m)	Noroeste y sureste	19.98 m2	23.00%
CU6	Laboratorio de Computo	70.87 m2 (Altura: 2.55 m)	Noroeste y sureste	14.32 m2	16.77%
CU7	Laboratorio de Computo	69.05 m2 (Altura: 3.53 m)	Noroeste	9.64 m2	79.44%
CU8	Aula teórica	67.32 m2 (Altura: 2.69 m)	Noreste y suroeste	18.43 m2	21.26%
CU9	Laboratorio de Computo	45.00 m2 (Altura: 2.70 m)	Noreste	4.11 m2	5.63%
CU10	Aula Taller	64.89 m2 (Altura: 2.70 m)	Norte	15.50 m2	15.43%
CU11	Aula Taller	348.27 m2 (Altura: 3.72 m)	Noroeste, suroeste, sureste y noreste	70.47 m2	24.18%
CU12	Sala de lectura	109.26 (Altura: 2.59 m)	Noroeste y sureste	76.63 m2	58.84%
CU13	Aula Taller	75.36 m2 (Altura: 2.50 m)	Norte y sur	6.99 m2	8.04%
CU14	Aula teórica	82.77 m2 (Altura: 2.53 m)	Norte y sur	7.50 m2	8.24%
CU15	Laboratorio computo	53.15 m2 (Altura: 2.50 m)	Norte y sur	10.55 m2	14.30%

Nota: Elaboración propia, basada en levantamiento de campo.

Fase 1: Asoleamiento

Una vez escogidos los casos, se lleva a cabo el levantamiento de campo utilizando guías de observación, flexómetro y un medidor láser Bosch GLM20, con el propósito de elaborar el levantamiento 2D y por consiguiente su modelado 3D en SketchUp, complementándolo con el análisis de asoleamiento mediante el

plugin SunDiagram del mismo programa, a fin de representar las condiciones reales de incidencia en cada espacio.

En cada visita se registraron la fecha y la hora de medición, así como una descripción cualitativa del estado del cielo (Tabla 2) y de las principales obstrucciones que podían afectar la trayectoria de la radiación solar.

Tabla 2.

Condiciones atmosféricas durante las mediciones de asoleamiento en los casos de estudio

Caso	Fecha	Hora	Nubosidad	Radiación	Obstrucciones
CU1	27/05/25	15:06	Cielo nublado –cubierto	Media- Difusa	Patio Exterior-escaleras metálicas
CU2	11/06/25	10:54	Cielo despejado	Alta- Directa e intensa	Árboles
CU3	12/06/25	12:07	Cielo despejado	Alta –Difusa intensa	Árboles densos
CU4	12/06/25	13:36	Cielo despejado	Media-Difusa	Estructura metálica, espacio previo a abertura de doble altura y árboles

Nota: Elaboración propia

Las mediciones para el análisis solar digital se realizaron en tres rangos horarios en condiciones reales: de 8:00 a.m. a 12:00 p.m., de 12:00 p.m. a 2:00 p.m. y de 2:00 p.m. a 5:00 p.m., con el fin de capturar las variaciones a lo largo del día. Además, se llevaron a cabo con cortinas abiertas, para que no sean elementos obstructores e impidan el paso de la iluminación natural. Debido a las restricciones de acceso a los ambientes, no fue posible medir todas las aulas exactamente a la misma hora; por ello, en cada caso se seleccionaron horarios dentro de estas franjas en los que se observaba la presencia de radiación solar directa según su orientación. Las horas seleccionadas para la

evaluación comparativa fueron las 9:00 am, 2:00 pm y 4:00 pm, considerando en el análisis solo los horarios donde se muestra la proyección de incidencia solar directa, que se puede dar en las diferentes orientaciones de los espacios al noreste, sureste y noroeste. Aunque las mediciones no se repitieron en días diferentes, el protocolo descrito y las condiciones sintetizadas proporcionan los elementos necesarios para replicar el procedimiento en contextos similares.

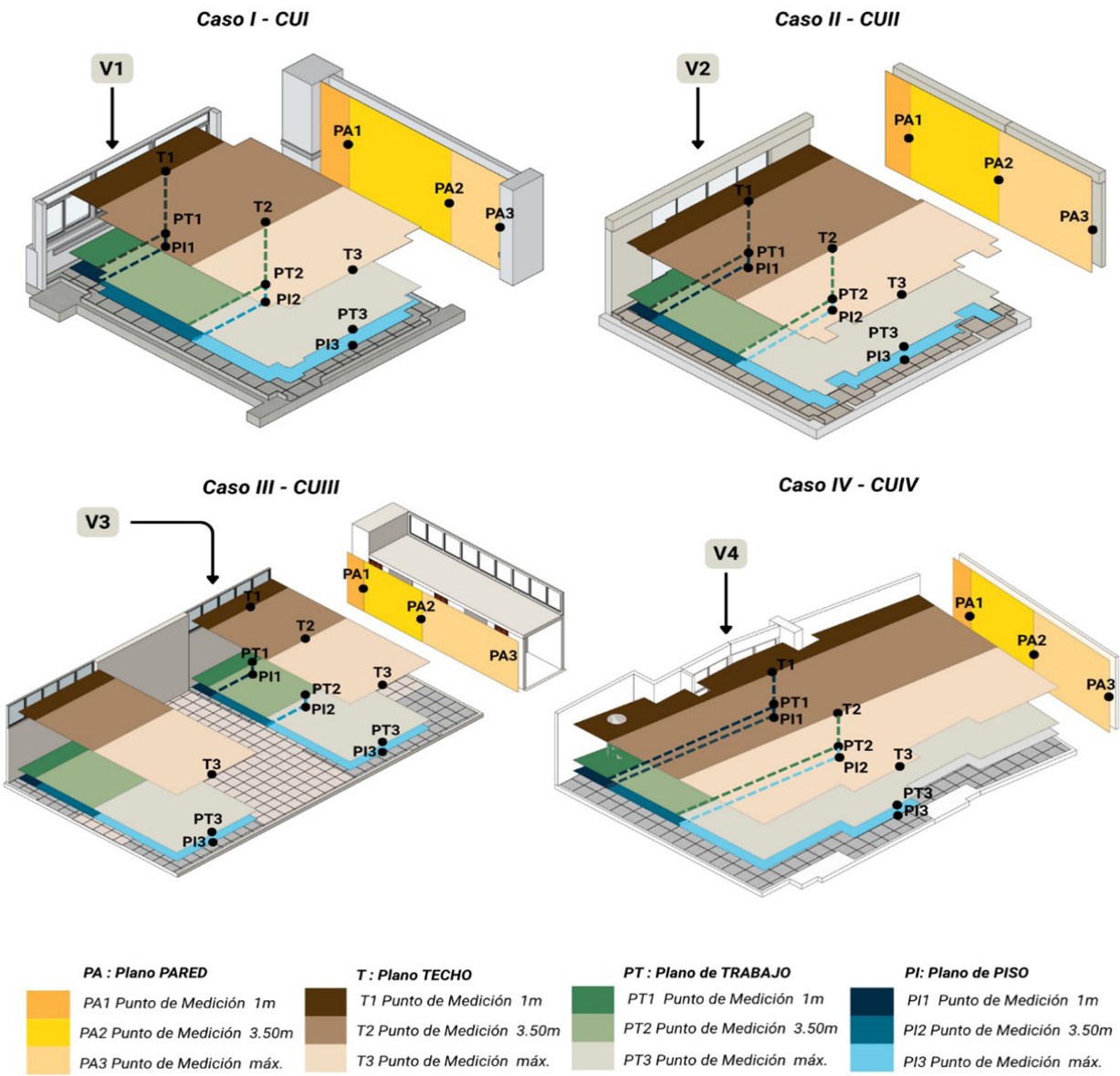
Fase 2: Medición lumínica

Se determinaron los puntos para medir la iluminancia en el aula planteando una codificación de vanos (PA: Pared, T: Techo y PI:

Piso), adoptando la metodología de [Alvarez et al., \(2024\)](#), tomando como referencia el vano por el cual ingresa mayor cantidad de luz, en tramos de 1.00 m, 3.50 m y al fondo del aula, a fin de

capturar con mayor precisión la distribución progresiva de la luz natural en función de la distancia a la apertura principal, considerando el plano de trabajo a 0.80 m ([Figura 2](#)).

Figura 2. Puntos de medición respecto a los vanos seleccionados.



Nota: Elaboración propia

A partir de esta distribución, se establecieron los horarios para cada caso. En CU1 se midió a las 3:00 p.m., mientras que, en CU2, CU3 y CU4 se realizó a las 11:40 a.m., 11:50 a.m. y 11:20 a.m., respectivamente. La elección de estos horarios respondió tanto a criterios técnicos como logísticos, en CU1, la medición en la tarde se debió a la restricción de acceso durante horas de la mañana, por lo que se optó por una franja horaria cercana a la que sería utilizada en la simulación, a fin de preservar la coherencia en la comparación.

Las mediciones se llevaron a cabo con un luxómetro digital Extech 407026, complementadas con registros fotográficos

para documentar las condiciones lumínicas reales. Posteriormente, esta información fue utilizada en la simulación con el programa Velux Daylight Visualizer, donde se validó la concordancia entre los datos medidos y los generados virtualmente. Una vez confirmada dicha correspondencia, se procedió con la calibración de parámetros como el tipo de cielo CIE, el horario solar y la ubicación geográfica, garantizando que las condiciones recreadas en el entorno digital representaran de manera fidedigna el comportamiento lumínico observado in situ uniformizando los 3 horarios (Tabla 3) en todos los casos para efectos de simulación.

Tabla 3

Calibración de parámetros para introducir al software

Caso	Tipo de cielo	Hora (horas)	Especificaciones	Obstrucciones
CU1	CIE3	9:00	Cielo cubierto con luminancia concentrada hacia el cenit	Obstrucción edilicia con elementos externos en patio con cubierta de policarbonato
	CIE14	14:00 y 16:00	Cielo despejado con alta turbidez	
CU2	CIE14	9:00	Registro de mayor proyección solar directa	Obstrucción natural arbórea.
	CIE3	14:00 y 16:00	Disminución de incidencia solar	
CU3	CIE7	9:00	Modelo parcialmente nublado sin gradación y región solar iluminada	Obstrucción natural arbórea
	CIE6	14:00 y 16:00	Cielo nublado con ligera incidencia solar	
CU4	CIE1	9:00	Cielo nublado completamente cubierto que dispersa la radiación solar de forma homogénea	Sin obstrucciones
	CIE1	14:00 y 16:00	Cielo difuso reflejando la iluminación a lo largo del día.	

Nota: Elaboración propia.

Otra data incorporada en el software Velux Daylight Visualizer, fue la reflectancia y la absortancia obtenida de la identificación de los revestimientos interiores presentes en paredes, pisos y techos de las aulas seleccionadas. Este proceso se realizó mediante observación directa, registro de fotos y Adobe CC Color (Adobe Inc, n.d.), página web que ayudó con la identificación de códigos de colores, y consulta de fichas técnicas.

Para la reflectancia, se recurrió a fuentes como la CIBSE Lighting Guide LG10, la cual proporciona valores establecidos para materiales que se emplean con regularidad en entornos arquitectónicos interiores (Chartered Institution of Building Services Engineers CIBSE, 1999).

En el caso de los revestimientos de pisos porcelanatos, al no tener valores declarados en fichas técnicas o en normativas específicas, se emplearon estimaciones de materiales con propiedades similares, priorizando el criterio técnico y trazabilidad de los datos, permitiendo construir una base de información coherente con la guía consultada, asegurando consistencia en los parámetros que se utilizaran en la simulación posterior.

De forma complementaria se usó el sistema de igualación de colores RAL Classic y RAL Desing, ampliamente usado en pinturas y revestimientos, debido a la precisión que ofrece en los valores de reflectancia luminosa, entendida como la cantidad de luz visible que una superficie puede reflejar (Colores

RAL, n.d.). Estos valores fueron tomados como equivalentes a los de reflectancia para así asegurar una representación precisa y coherente de los materiales del modelado.

En cuanto a la transmitancia, se consideró un valor de cero para materiales opacos y para los materiales traslucidos, como el vidrio, se tomó el valor de $T = 0.84$ para efectos de simulación.

Adicionalmente, con los valores obtenidos en reflectancia y transmitancia, se calculó la absortancia mediante la relación de Kirchnoff (Advancing Standards Transforming Markets ASTM International, 2020) basada en el principio de conservación de energía luminosa mostrada en la ecuación 1:

$$\alpha_s + \tau_s + \rho_s = 1 \quad (1)$$

Donde:

α_s = Absortancia

τ_s = Transmitancia

ρ_s = Reflectancia

De esta manera se obtiene la reflectancia y absortancia (Tabla 4), data que es ingresada al software Velux Daylight Visualizer, para luego procesar la información en candelas y determinar la luminancia y en porcentaje para el FIN, comparándose de manera automática los estándares establecidos por la norma BS EN 17037:2018, que exige un mínimo del 0.6 % (FIN objetivo) en al menos el 95 % del área útil, y objetivos mayores del 1.8 %, 3.0 % y 4.4 % en el 50 % del espacio (European Committee for Standardization, 2018).

Tabla 4

Reflectancia y absorptancia de revestimientos interiores

Revestimientos	Reflectancia (ρ_s)	Absortancia ($\alpha_s = 1 - \rho_s - \tau_s$)
CU1		
Muros		
Pintura gris claro mate #DEE0E2 – RAL 000 85 00 Shadow white	0.68	0.32
Anti-raspones plata satinada #ADAFAF – RAL 000 60 00 Ash grey	0.35	0.65
Techos		
Cielorraso fibrocemento blanco	0.40	0.60
Pintura de emulsión blanca sobre superficie de yeso lisa	0.80	0.20
Suelo		
Porcelanato esmaltado tempo blanco mate antideslizante	0.45	0.55
CU2		
Muros		
Pintura amarillo claro mate #EEEEBF – RAL 9001 Shadow white	0.75	0.25
Pintura rojo vino mate RAL 3032 Rojo rubí perlado	0.08	0.92
Techos		
Pintura de emulsión blanca sobre superficie de yeso lisa	0.80	0.20
Suelos		
Porcelanato Metro Silver Mate	0.45	0.55
CU3		
Muros		
Pintura gris lima mate 822F #E7E3DB – RAL 100 85 05 Celery white	0.67	0.33
Techos		
Cielorraso fibrocemento blanco	0.40	0.60
Pintura de emulsión blanca sobre superficie de yeso lisa	0.80	0.20
Pintura verde limón 4760 #A1C438 – RAL 110 70 70 Verde Clorofila	0.41	0.59
Suelos		
Porcelanato split gris claro mate 107734	0.40	0.60
Porcelanato global beige mate KPP-10-1132	0.45	0.55
CU4		
Muro		
Pintura calmo mate #EAE3D7 – RAL 9001-P Blanco crema	0.76	0.24
Concreto expuesto tarrajado	0.40	0.60
Techos		
Pintura de emulsión blanca sobre superficie de yeso lisa	0.80	0.20
Suelos		
Porcelanato split gris claro mate 107734	0.40	0.60

Nota: Elaboración propia en base a Lighting Guide LG10: 1999, sistema de igualación de colores RAL y a ASTM E903 – 12, 2025.

RESULTADOS – DISCUSIÓN

Análisis de asoleamiento

De acuerdo con los resultados, se observa que, durante la mañana, CU1 carece de luz solar directa debido a la obstrucción externa de la masa edilicia. En la **Figura 3**, se observa las fotografías de CU2, CU3 y CU4 en similares horarios, lo que permite afirmar que, a pesar de que CU2 tiene la orientación noreste y su incidencia es directa, su nivel de iluminación es similar a CU3 y CU4 que tienen vanos más pequeños y no tan expuestos a recibir luz directa. Por lo cual, se puede deducir que es atribuible a los revestimientos. Mientras que los 3 ambientes poseen piso de porcelanato, el que se refleja más la luz es el color beige perteneciente a CU3. A nivel de muros el comportamiento es similar, sin embargo, a nivel de techo resaltan los que se encuentran pintados en blanco, esto evidencia el rol que cumplen los revestimientos frente al tamaño de vanos y orientación directa al sol.

Ya en la tarde, en CU1 la luz ingresa de manera tenue, lo que provoca sombras y dificulta el desarrollo de las actividades en el aula teórica, lo cual puede repercutir en el uso de tonalidades grises en los muros, ya que el resto de los planos comprende similares características en CU3 y CU4 que contemplan el efecto contrario, mostrando una iluminación amplia que abarca todo el espacio. A diferencia de CU2, el cual presenta un nulo ingreso de luz, debido a la orientación noreste. Cabe denotar,

que las manchas solares esbozadas en algunos casos se muestran mínimas a nivel gráfico, sin embargo, visualmente el ambiente se denota iluminado debido a los revestimientos empleados para cada caso.

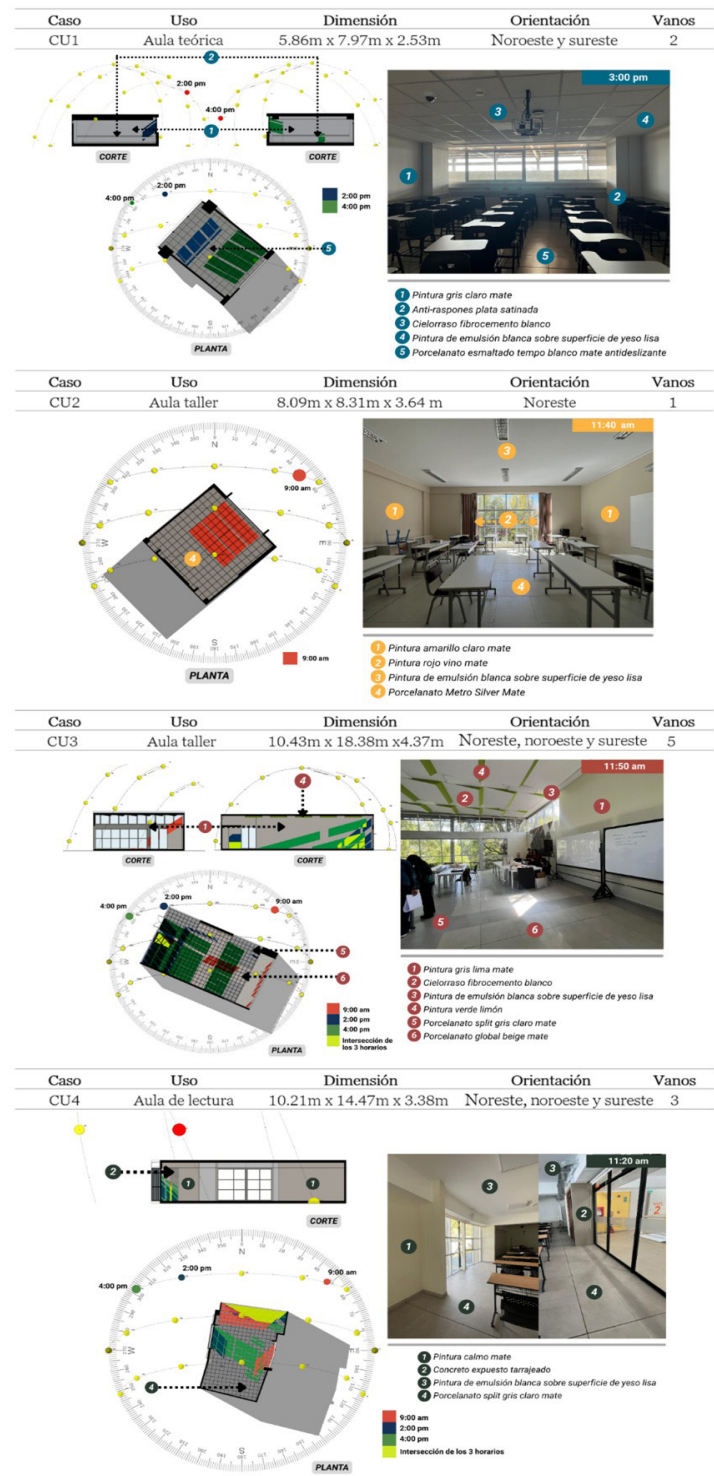
Basándose en el análisis del asoleamiento, CU2 obtuvo un mejor comportamiento durante la mañana, debido a su orientación noreste y a la disposición del mobiliario interno, el cual se encuentra distribuido de forma lateral sin incidir directamente a la pizarra, lo que podría generar incomodidad a los estudiantes, como ocurre en CU1. Además, el uso de pinturas claras y el porcelanato mate en pisos, favoreció una mejor distribución de la luz natural durante las horas de mayor incidencia solar. Sin embargo, tuvo deficiencias durante la tarde, debido a la carencia de vanos que impedían el ingreso de luz.

Por lo que, CU4, contempla un mejor comportamiento durante todo el día, debido a sus tres ingresos de luz posicionado en las tres orientaciones noreste, noroeste y sureste, que facilitan la lectura y con mejor incidencia durante la tarde. A diferencia de CU3, que cuenta con mayor cantidad de vanos, lo que genera luz y sombra dentro del aula taller, lo que impide el desarrollo de las actividades de manera óptima por parte de los estudiantes.

En conjunto, los cuatro casos muestran que la orientación y la presencia de obstrucciones cercanas condicionan de manera decisiva la cantidad de luz que ingresa a las aulas y el momento del día en que se produce. Las aulas

con fachadas más expuestas a la trayectoria solar reciben mayores aportes de radiación solar directa en las primeras o últimas horas del día, mientras que aquellas parcialmente protegidas por volúmenes vecinos o elementos de sombreado exterior presentan un asoleamiento más filtrado y concentrado en ciertos tramos horarios. Estas diferencias explican por qué algunos casos, como CU4, logran un comportamiento más equilibrado entre captación y protección solar, mientras que otros tienden a concentrar la luz en franjas específicas del aula. De este modo, el análisis de asoleamiento confirma lo señalado en el estado del arte respecto a la relevancia de la orientación y la medida de los vanos en el desempeño lumínico, y al mismo tiempo establece el marco de condiciones sobre el cual actúan los revestimientos interiores estudiados en las siguientes secciones.

Figura 3. Análisis de orientación y asoleamiento de los cuatros casos de estudio



Nota: Elaboración propia

Relación entre la iluminancia y los revestimientos interiores

Para obtener la data que se introduciría al software Velux Daylight Visualizer, se pasó por una validación previa de datos reales y simulados. Obteniendo una diferencia promedio de 32.5 lux entre lo medido y lo simulado en CU1 (Figura 4). De esta manera, se puede deducir que las superficies con pintura gris claro mate y porcelanato blanco mate antideslizante mostraron una correspondencia aceptable, dado su comportamiento difuso frente a la luz solar. Las mayores variaciones se observaron en el techo de fibrocemento blanco, donde el programa tendió a sobrestimar el reflejo de luz.

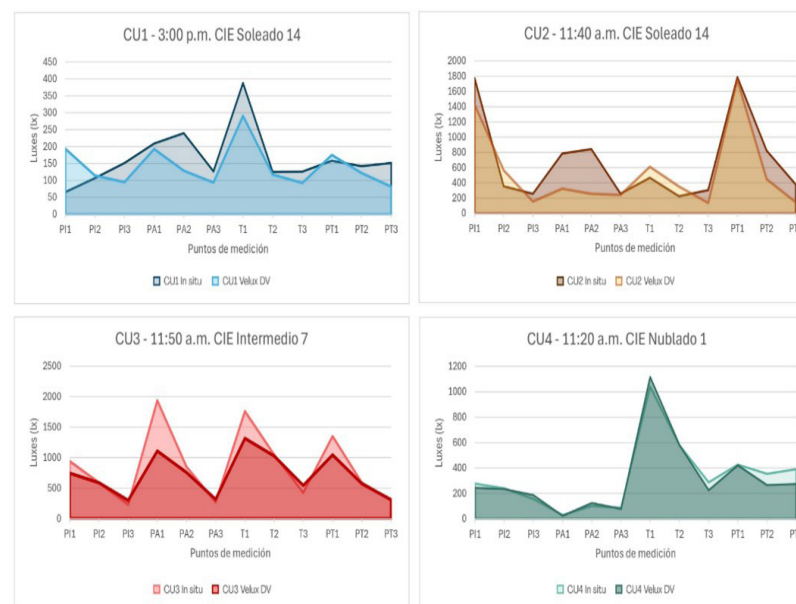
Por otro lado, en CU2, la diferencia promedio fue mayor, alcanzando los 205 lux. Este resultado estuvo condicionado por la alta incidencia solar directa sobre el vano orientado al noreste y por las características contrastantes de los revestimientos de pintura amarillo claro mate, que reflejó eficazmente la luz y fue bien interpretada por el software, y pintura rojo vino mate, que absorbió gran parte de la radiación sin que el programa lograra replicar completamente el oscurecimiento observado en campo.

En CU3, se obtuvo una diferencia promedio de 172 lux. Este comportamiento se debió a la interacción de pintura gris lima mate, verde limón en techos, y porcelanato beige mate. A pesar de ello, el programa logró replicar de forma aceptable la tendencia descendente de luz desde el vano hacia el fondo. Y finalmente, en

CU4, se alcanzó la menor diferencia promedio con 21 lux, lo que indica una alta fidelidad del modelo. La combinación de pintura calmo mate, concreto tarrajado y porcelanato split gris claro mate favoreció una distribución homogénea y fue replicada con precisión por el software.

La validación evidencia que revestimientos de alta reflectancia como pinturas claras y techos blancos permiten una simulación más precisa, mientras que superficies oscuras o muy absorbentes generan mayores desviaciones. Esta relación es clave para ajustar los parámetros en modelos digitales, y sustenta la fiabilidad del software a utilizar como base metodológica para el análisis de iluminancia, luminancia y FIN.

Figura 4. Validación de datos reales y simulados.



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos in situ y simulados en Velux Daylight Visualizer.

Una vez introducidos los datos al software, se puede visualizar en la [Tabla 5](#), que durante la mañana CU2 sobresale con 707.08 lux, debido al ingreso directo de luz. En segundo lugar, se encuentra CU3 y CU4, con 171.3 lux y 164.46 lux, respectivamente; en este caso presentan la misma orientación. A pesar de que CU3 cuenta con una obstrucción arbórea al exterior, presenta mayor cantidad de iluminancia, debido a la variedad de revestimientos, mostrándose algunos de ellos con mayores niveles de reflectancia a comparación de CU4. En último lugar se encuentra CU1, debido a su orientación noroeste, la cual se llega a incrementar durante la tarde, sin embargo, su distribución es deficiente en zonas alejadas del vano.

A las 14:00 horas, CU2 desciende abruptamente 528.87 luxes, el techo con pintura blanca sobre yeso liso ayudó a mantener cierto nivel de iluminación difusa, aunque la presencia de pintura rojo vino en muros redujo el rebote lumínico; mientras que en el resto de los vanos asciende linealmente. Excepto por CU4, donde es mínimo su incremento de 8.14 luxes, ocurriendo un caso atípico ya que luego vuelve a descender a las 16:00 horas, 21.41 luxes, debido a que sus revestimientos absorben la luz, produciéndose este efecto en la pintura crema a diferencia de la pintura gris de CU3. Cabe resalta que en CU1 y CU3, se obtuvo los niveles más altos en luxes, lo cual podría disminuir en las siguientes horas y quizás no alcanzar estos 300 lux mínimos requeridos,

como ocurre en el estudio de [Zambrano Prado y Prado León \(2016\)](#), en el que no se cumplió con los mínimos requeridos según normativa.

Por lo que, la combinación de revestimientos podría ser a la vez un detonante para mantener la iluminancia al interior de un espacio. Como, por ejemplo, ocurrió en CU3, en el que la combinación de cielorraso de fibrocemento, pintura gris lima en muros y techos con pintura blanca sobre yeso permitió una difusión parcial de la luz, aunque limitada por obstrucciones vegetales externas.

Tabla 5
Matriz comparativa de iluminancia en relación con los revestimientos de las superficies analizadas

Casos	Luxes			Superficies		
	9:00 horas	14:00 horas	16:00 horas	Piso	Muro	Techo
CU1	57.00	118.59	307.31	Porcelanato mate (ps=0.45) Color: blanco	Pintura satinada (ps=0.35) Color: plata Pintura mate (ps=0.68) Color: gris claro Pintura mate (ps=0.75)	Cielorraso de fibrocemento blanco (ps = 0.40) Pintura blanca (ps = 0.80)
CU2	707.08	178.21	83.10	Porcelanato Mate (ps=0.45) Color: metro silver	Color: amarillo claro Pintura satinada (ps=0.08) Color: rojo vino	Pintura blanca (ps=0.80)
CU3	171.30	223.05	360.84	Porcelanato mate (ps=0.40) Color: gris claro Porcelanato mate (ps=0.45) Color: beige	Pintura satinada (ps=0.67) Color: gris lima	Cielorraso de fibrocemento (ps=0.40) Pintura blanca (ps=0.80) Pintura verde limón (ps=0.41)
CU4	164.46	172.60	151.19	Porcelanato mate (ps=0.40) Color: gris claro	Pintura mate (ps = 0.76) Color: blanco crema Concreto expuesto tarrajado (ps=0.40)	Pintura blanca (ps=0.80)

Fuente: Elaboración propia utilizando datos de Lighting Guide LG10: 1999, sistema de igualación de colores RAL y a ASTM E903 – 12, 2025.

Como se observa en la **Figura 5** la iluminancia mayor se presenta en CU3 durante la mayor parte del día, debido a que cuenta con la mayor cantidad de vanos en diferentes orientaciones a diferencia del resto de casos. En segundo lugar, se encuentra CU2 solo durante la mañana al presentar un solo vano con iluminación directa. Además, se observa que la mayor absorción de la luz se refleja en el piso de porcelanato mate, como ocurre en CU1, con similar materialidad. A diferencia, de CU3 evidenciándose mayor

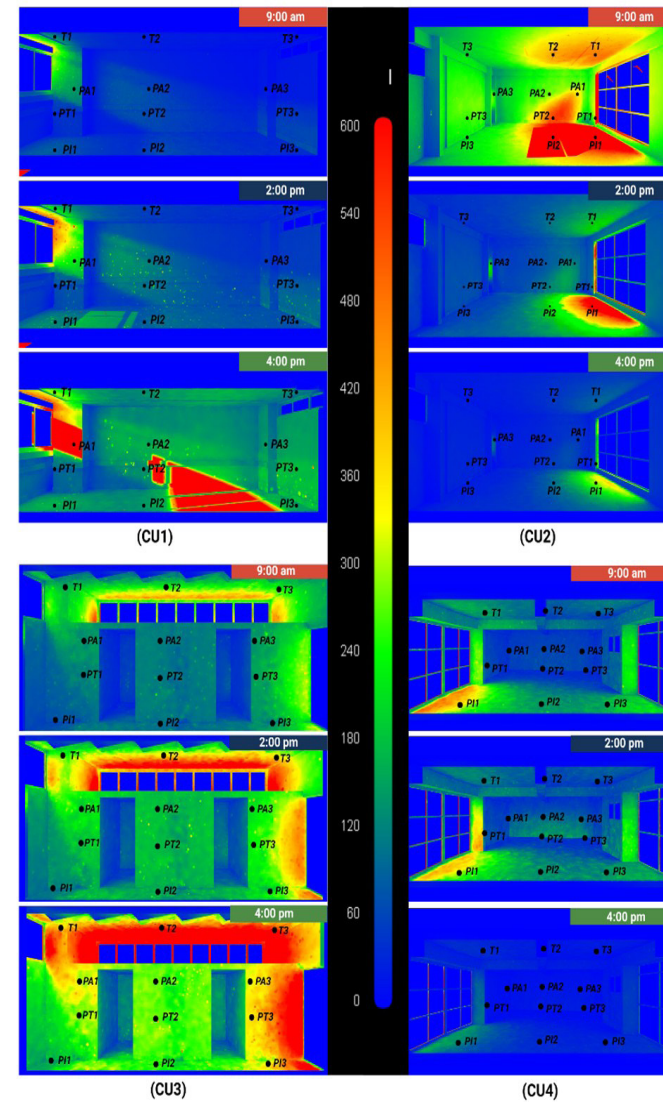
absorción reflejada en los muros de pintura gris lima.

A nivel de revestimiento en pisos, los 4 casos presentan el porcelanato mate, la diferencia destaca en el color. De esta manera, se observa que la menor reflectancia corresponde al color gris claro, en CU3 y CU4. Por otro lado, en muros la mayoría presenta pintura mate, excepto por CU3, que presenta pintura satinada, la cual permite llegar que la luz llegue de manera uniforme, a diferencia del resto de casos. También, se observa 2 tipos de revestimiento

en techos, CU1 y CU3 poseen un revestimiento en cielorraso, el cual absorbe la luz en menor cantidad a diferencia de la pintura blanca que genera diferentes gradientes de luz, como ocurre en CU2.

Por lo tanto, los revestimientos en pisos de tonalidades claras permiten distribuir de manera más eficiente la luz en el espacio. En el caso de los muros podría recomendarse la pintura satinada y en techos la pintura blanca, si se desea un ambiente mayormente iluminado, para el desarrollo de actividades con precisión. Como señala [Salomón y Avalos \(2022\)](#), realizar intervenciones simples con la incorporación de superficies reflectantes puede mejorar la distribución lumínica.

Figura 5. Medición digital de iluminancia



Nota: Elaboración propia a partir de simulaciones en Velux Daylight Visualizer.

Los resultados comparativos indican que las aulas donde muros y techos presentan acabados en tonos claros y superficies predominantemente mates alcanzan niveles de iluminancia más homogéneos a lo largo de la profundidad del espacio, reduciendo la diferencia entre las

zonas próximas a la ventana y el fondo del aula. En cambio, cuando se combinan superficies de baja reflectancia o acabados oscuros con orientaciones muy expuestas, la luz natural tiende a concentrarse en las áreas cercanas a la fachada y se generan transiciones lumínicas más pronunciadas hacia el interior. Este comportamiento coincide con lo descrito por [Monteoliva et al., \(2016\)](#), [Pagliero et al., \(2017\)](#), [Salomón y Avalos \(2022\)](#) y [Marwa et al. \(2024\)](#) que señalan que las superficies interiores de alta reflectancia difusa mejoran la distribución de la luz y disminuyen los contrastes excesivos en el plano de trabajo. En este sentido, la interacción entre orientación, profundidad del aula y reflectancia de los revestimientos confirma que la cantidad de luz disponible no depende únicamente del tamaño y la posición de los vanos, sino también de la capacidad de las superficies interiores para redistribuirla de manera eficiente.

Relación entre la luminancia y los revestimientos interiores

Los resultados de CU1 mostraron luminancia baja y contrastes marcados durante todo el horario de simulación ([Figura 6](#)). A las 9:00 a.m., el promedio fue de 12 cd/m², los valores más altos de 24.1 cd/m² y 30.7 cd/m² son los cercanos al vano principal y el punto más lejano es de 3.1 cd/m² y 5.2 cd/m². A las 2:00 p.m., el promedio subió a 20 cd/m², y alcanzó 36.85 cd/m² a las 4:00 p.m. El valor más alto se ve reflejado en la cercanía a la ventana con 145 cd/m². Sin

embargo, a pesar de ello la luz no se distribuye eficientemente hacia el fondo del aula. Esto se atribuye a la baja reflectancia del cielorraso de fibrocemento en techos y el porcelanato blanco mate en pisos. Mientras que la pintura gris claro mate en muros solo aporta una reflectancia media. Esta combinación genera un entorno de luminancia limitada, con riesgo de incomodidad visual durante actividades prolongadas.

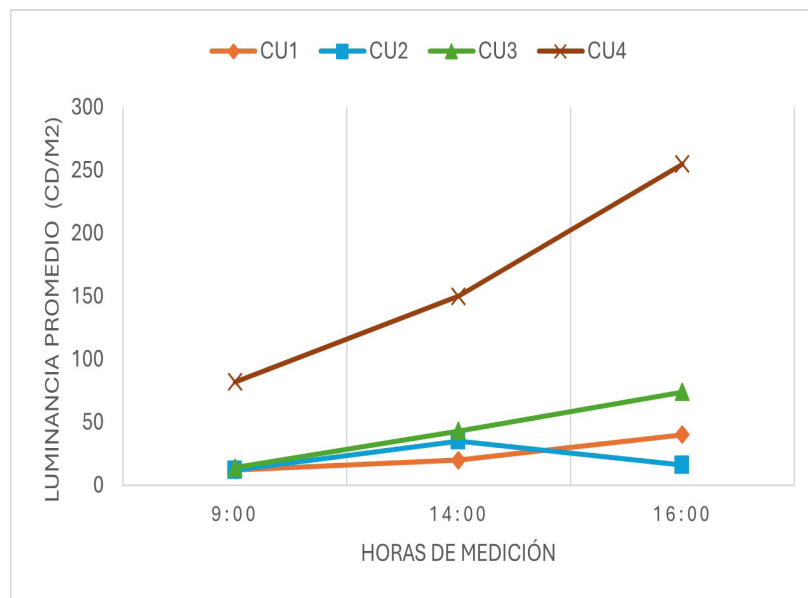
Por otro lado, en CU2, la luminancia fue considerablemente más alta a las 9:00 a.m. (123.6 cd/m² promedio), con picos de 336.8 cd/m² y 221.7 cd/m² en el piso de porcelanato silver mate. A medida que disminuyó la incidencia solar, los valores bajaron hasta 34.9 cd/m² a las 2:00 p.m. y 16.1 cd/m² a las 4:00 p.m., reflejando la pérdida de luz directa. La pintura rojo vino mate en muros interiores tampoco favoreció el rebote lumínico, lo que limitó la distribución uniforme en las horas finales.

A diferencia de CU3, el cual mostró un comportamiento más equilibrado, pero menos intenso cuyo promedio fue de 14.4 cd/m² a las 9:00 a.m., 43 cd/m² a las 2:00 p.m. y 74.4 cd/m² a las 4:00 p.m., con picos cercanos a los vanos. La pintura gris lima mate en muros, el cielorraso de fibrocemento y la pintura blanca sobre yeso en techos facilitaron una distribución difusa, aunque limitada en profundidad.

Finalmente, CU4 presentó los valores más altos y constantes de luminancia: 82 cd/m² a las 9:00 a.m., 149.7 cd/m² a las 2:00 p.m. y 254.7 cd/m² a las 4:00 p.m. Esta buena respuesta se relaciona con muros pintados en blanco

crema mate, techos en yeso blanco y pisos con porcelanato gris claro mate, los cuales permitieron una luminancia homogénea a lo largo del día, con mayor rendimiento lumínico promedio, confirmando la importancia de emplear materiales de alta reflectancia para mantener niveles adecuados de luminancia en espacios educativos. Lo que podría discrepar de [Espinoza-Sanhueza et al. \(2020\)](#) quien menciona que los materiales que evocan calidez, aunque presenten menor reflectancia, pueden mejorar la percepción visual del ambiente.

Figura 6. Data de luminancia obtenida mediante software.

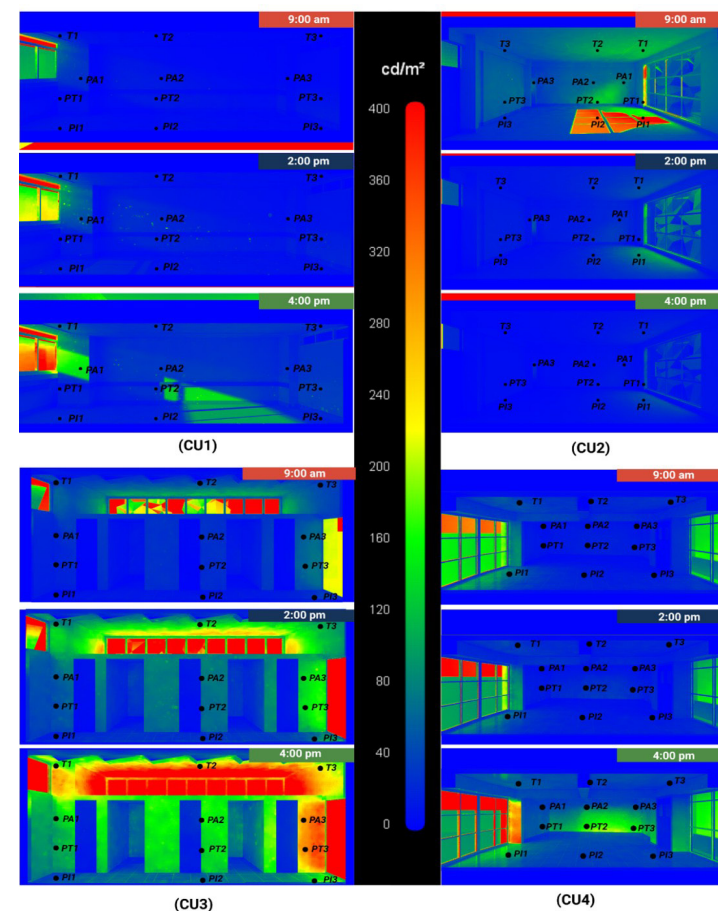


Nota: Elaboración propia a partir de simulaciones en Velux Daylight Visualizer.

Por lo tanto, a nivel de luminancia, destaca CU4 como uno de los espacios con mayor confort visual (Figura 7), durante la mayor parte del día debido a sus grandes ventanales sin obstrucciones, orientación y empleo de

revestimientos de alta reflectancia. En segundo lugar, se encuentra CU3 con valores menos intensos debido a las obstrucciones arbóreas. Luego, esta CU2, el cual al menos cuenta con luminancia durante la mañana. Y por último CU1, el cual aparte de contemplar una orientación pésima durante la mañana, los revestimientos grises en muros no contribuyen a una correcta luminancia en el espacio académico, generando sombras que generan incomodidad visual.

Figura 7. Medición digital de luminancia.



Nota: Elaboración propia a partir de simulaciones en Velux Daylight Visualizer.

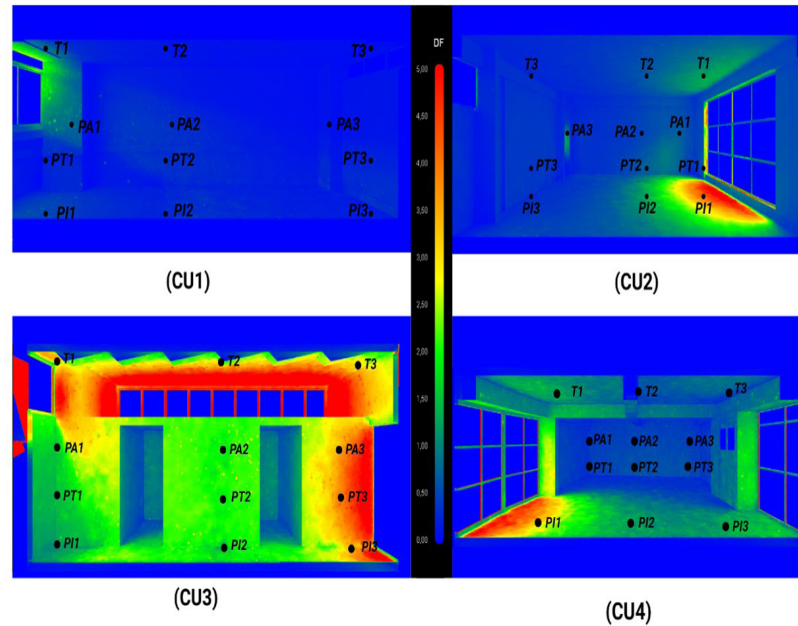
Desde la perspectiva del confort visual, la comparación entre casos revela que los materiales no solo influyen en la cantidad de luz reflejada, sino también en la forma en que se perciben los contrastes dentro del aula. En las configuraciones donde se combinan superficies claras próximas a las aberturas con pisos muy oscuros o acabados brillantes, se registran picos de luminancia que incrementan el riesgo de deslumbramiento y de zonas de elevado brillo en el campo visual del estudiante. Por el contrario, cuando muros, cielorrasos y pisos mantienen una relación cromática más equilibrada y acabados de carácter mate, los valores de luminancia son más constantes y se reducen las diferencias extremas entre el plano de trabajo, las superficies de fondo y el entorno inmediato de la ventana. La distribución de la luminancia interior depende tanto de las condiciones externas: luz solar directa, luz difusa del cielo y reflexiones del entorno construido, como los factores internos relacionados con el tamaño de vano, la geometría del aula y acabados de las superficies (Li et al., 2006). En esa línea, Ortiz (2004) indica que la luz y el color son elementos que no se pueden separar, lo cual refuerza que los revestimientos interiores deben seleccionarse considerando no solo su reflectancia, sino también su capacidad para generar contrastes visuales adecuados según la orientación y morfología del aula. Este patrón coincide con las advertencias de la literatura especializada sobre la importancia de controlar la luminancia de las superficies que rodean el

plano de trabajo, y sugiere que la elección de revestimientos interiores debe considerar no solo la reflectancia global del material, sino también su contribución a la generación de contrastes visuales aceptables en función de la orientación y la geometría del aula.

Relación entre el Factor de Iluminación Natural (FIN) y los revestimientos interiores

CU1 presenta como resultado el FIN promedio de 0.41 %, con un máximo de 1.01 % y un mínimo de 0.11 %, valores muy por debajo de los umbrales establecidos por la norma BS EN 17037:2018. En los que, solo el 25 % del aula superó el 0.6 %, lo que implica un 0 % de cumplimiento normativo. Esta baja eficiencia se relaciona tanto con las obstrucciones exteriores como a los revestimientos interiores de reflectancia media y baja, que dificultan la distribución de la luz, como ocurre con el revestimiento en muros de pintura satinada color plata. Aunque los muros pintados de gris claro aportan cierta mejora, esta es localizada y no compensa la pérdida lumínica en zonas más profundas. En conjunto, CU1 no alcanza los niveles mínimos exigidos para iluminación natural, presentando un ambiente oscuro, con baja uniformidad y una fuerte dependencia de luz artificial (Figura 8).

Figura 8. Resultados del FIN mediante simulación virtual.



Fuente: Elaboración propia a partir de simulaciones en Velux Daylight Visualizer

En CU2, el factor promedio fue de 1.13 %, con un máximo de 5.65 % y un mínimo de 0.02 %. Aunque supera los resultados de CU1, solo cumple parcialmente con la norma, alcanzando el umbral mínimo ($DTM \geq 0.6 \%$) en el 51 % del área útil, sin llegar a los niveles superiores de 1.8 %, 3.0 % y 4.4 %. Este comportamiento está vinculado a la aplicación de pintura satinada de color rojo vino la cual limita la distribución lumínica en zonas alejadas al vano. A pesar de la buena captación solar por la orientación directa al sol, la presencia de superficies poco reflectantes impide una iluminación uniforme, generando zonas con baja disponibilidad de luz natural y otras con posibles molestias visuales, como en el punto PI1 (4.1 %). Lo cual

concuerta con el estudio de Zambrano Prado y Prado León (2016), quienes establecen que una orientación favorable no garantiza por sí sola un buen desempeño lumínico si los materiales no reflejan adecuadamente la luz

En CU4, el factor promedio fue de 0.31 %, con un máximo de apenas 0.64 % y un mínimo de 0.09 %. Solo el 2 % del área útil superó el umbral mínimo de 0.6 %, y ningún punto alcanzó los valores superiores propuestos por la norma. Además, los acabados presentan bajo potencial reflectante, como el muro de concreto tarrajado y el piso gris mate, lo que restringe la redistribución de la luz en el ambiente.

Como se observa en la Tabla 6, solo CU3 cumple satisfactoriamente el mínimo requerido (más del 95 % del plano de referencia por encima del 0.6 %), alcanzando un 100 % de cobertura y un promedio FIN de 3.10 %, el más alto del conjunto. En cambio, el resto no cumplen con los porcentajes mínimos exigidos, presentando promedios más bajos y baja uniformidad, lo que evidencia una distribución ineficiente de la luz natural. Esta comparación, basada tanto en los valores promedio como en el porcentaje del plano que cumple con los estándares, confirma que solo CU3 ofrece condiciones adecuadas según los lineamientos de la norma.

Tabla 6

Comparativa del FIN con la norma BS EN 17037:20189

		FIN (%)			
		CU1	CU2	CU3	CU4
FIN min.	0.11	0.02	1.41	0.00	
FIN medio	0.34	0.62	2.37	0.92	
FIN máx.	1.01	5.65	13.31	4.57	
Promedio	0.41	1.13	3.10	0.92	
Uniformidad 1	0.2579	0.0134	0.4560	0.0017	
Uniformidad 2	0.1053	0.0027	0.1063	0.0003	
Norma BS EN 17037:20189		Fplane, % ≥ 0.6% DTM, 51%, Falló		Fplane, % ≥ 0.6% DTM, 100%, Pass	
	Fplane, % ≥ 0.6% DTM, 25%, Falló (<95%)	Fplane, % ≥ 1.8% DT, 18%, Falló (<50%)		Fplane, % ≥ 1.8% DT, 86%, Pass (≥50%)	
	Fplane, % ≥ 1.8% DT, 0%, Falló (<50%)	Fplane, % ≥ 3.0% DT, 9%, Falló (<50%)		Fplane, % ≥ 3.0% DT, 34%, Falló (<50%)	
	Fplane, % ≥ 4.4% DT, 0%, Falló (<50%)	Fplane, % ≥ 4.4% DT, 4%, Falló (<50%)		Fplane, % ≥ 4.4% DT, 17%, Falló (<50%)	
				Fplane, % ≥ 0.6% DTM, 68%, Falló (<95%)	
				Fplane, % ≥ 1.8% DT, 5%, Falló (<50%)	
				Fplane, % ≥ 3.0% DT, 2%, Falló (<50%)	
				Fplane, % ≥ 4.4% DT, 0%, Falló (<50%)	

Donde:
Fplane, % = Fracción del plano de referencia para el nivel de iluminancia objetivo
DTM = Objetivo mínimo de factor de luz natural
DT = Objetivo de factor de luz natural

Fuente: Elaboración propia a partir de simulaciones en Velux Daylight Visualizer.

El hecho de que únicamente CU3 alcance valores de FIN acordes con las recomendaciones de la normativa evidencia que el cumplimiento de los rangos propuestos no depende de una sola variable, sino de la combinación de orientación, proporción de ventana, profundidad del aula y comportamiento óptico de los revestimientos interiores. En este caso, la presencia de superficies claras y difusas en muros y cielorraso

favorece un mejor aprovechamiento de la luz disponible, de modo que la relación entre abertura y fondo del recinto resulta suficiente para mantener niveles de iluminación natural aceptables. En cambio, en los casos donde el FIN se sitúa por debajo del umbral recomendado, la limitada proporción de vano o la presencia de materiales de baja reflectancia en superficies extensas reducen la capacidad del aula para

conducir la luz hacia las zonas más alejadas de la ventana. Estos hallazgos dialogan con los estudios que utilizan el FIN como indicador de desempeño lumínico en aulas y sugieren que, más allá de verificar un valor mínimo, es necesario vincular las exigencias normativas con especificaciones sobre la reflectancia de los revestimientos interiores para asegurar condiciones de confort visual coherentes con el uso educativo del espacio.

CONCLUSIONES

El estudio realizado en los cuatro casos de espacios universitarios demuestra que la calidad de la iluminación natural en estos ambientes está estrechamente vinculada a las propiedades ópticas de los revestimientos interiores, lo cual puede ser reproducible en otros ambientes educativos con tipologías similares y condiciones climáticas de alta exposición solar.

Los resultados de asoleamiento evidencian que las superficies con pinturas claras y techos blancos favorecen una mejor reflexión de la luz solar durante las horas de mayor incidencia, especialmente en orientaciones noreste, donde se registró una mayor captación matutina. En cambio, revestimientos con baja reflectancia, como pinturas oscuras satinadas generaron zonas con absorción localizada de luz, provocando contrastes bruscos y limitando el aprovechamiento solar.

En cuanto a la iluminancia, los espacios con mayor proporción de revestimientos reflectantes

como pintura blanca, amarilla o crema en muros, techos de yeso liso y porcelanatos mates en piso, mostraron mejores niveles promedio a lo largo del día, especialmente en horarios con buena orientación solar. Este comportamiento se observó con claridad en CU4, donde los materiales permitieron mantener una distribución de luz estable, a diferencia de CU1, donde predominaban superficies de baja reflectancia que restringieron el alcance de la luz hacia zonas alejadas del vano.

Respecto a la luminancia, se identificó que las superficies de alta reflectancia difusa contribuyen no solo a niveles adecuados de luz, sino también a una distribución más cómoda desde el punto de vista visual. Destacando CU4 por su desempeño, con valores constantes y homogéneos a lo largo del día, mientras que CU1 y CU3 presentaron luminancias por debajo de los 30 cd/m² en la mayor parte de los puntos, lo que puede derivar en incomodidad visual, fatiga ocular y menor eficacia en tareas como lectura o escritura que conllevan estos casos, por lo que solo los que tenían revestimientos bien distribuidos y con reflectancia alta lograron evitar estas condiciones extremas.

Por lo tanto, se evidencia desde el punto de vista lumínico que los revestimientos en muros con pinturas claras y mates (blanco, gris claro o gris lima), los cielorrasos con superficies blancas continuas (yeso liso o fibrocemento pintado) y los pisos porcelanato mate en tonos claros o medios neutros (blanco o gris claro) presentan un mejor desempeño favorable en

la distribución de la iluminación natural. A diferencia de aquellas tipologías que combinaron pisos de porcelanato silver mate y pinturas oscuras como el rojo vino mate en muros, en el que se registraron mayores pérdidas de iluminación hacia el fondo del aula y picos de luminancia que incrementaron el riesgo de deslumbramiento. En consecuencia, el estudio propone como combinación recomendada, para aulas universitarias expuestas a alta radiación solar, el uso de pinturas claras y mates en muros, cielorrasos blancos continuos y pavimentos de porcelanato mate en tonos claros o medios, evitando colores muy oscuros o acabados brillantes en superficies extensas, ya que estos tienden a intensificar los contrastes y reducir la uniformidad de la luz natural.

Finalmente, el análisis del FIN, basado en la norma europea BS EN 17037:2018, permitió identificar que solo CU3 cumplió satisfactoriamente con los niveles mínimos requeridos. Este rendimiento estuvo directamente relacionado con el uso de pintura blanca sobre yeso en techos, a pesar de contar con muros con pintura gris claro mate y una obstrucción vegetal al exterior. Por el contrario, CU1, CU2 y CU4 no alcanzaron los estándares mínimos de uniformidad ni de promedio de FIN, siendo la reflectancia de sus revestimientos un factor determinante en dichas deficiencias. Sin embargo, a pesar de este cumplimiento en CU3, eso no garantiza, por sí solo, condiciones de confort visual adecuadas si los revestimientos interiores presentan baja reflectancia o

generan concentraciones de brillo en zonas sensibles del campo visual. En este sentido, el estudio aporta evidencia para que en futuras actualizaciones normativas nacionales e internacionales consideren de manera explícita rangos orientativos de reflectancia para muros, cielorrasos y pisos en aulas, articulando las exigencias cuantitativas de luz natural con la calidad lumínica percibida por los usuarios.

En conjunto, los hallazgos obtenidos reafirman la relevancia de los revestimientos en el diseño lumínico pasivo. No solo actúan como elementos estéticos o de acabado, sino como componentes activos en la regulación de la luz natural. La adecuada selección de materiales, en relación con la orientación del vano, el clima y el entorno circundante, se plantea como una estrategia arquitectónica esencial para alcanzar espacios visualmente confortables, energéticamente eficientes y pedagógicamente adecuados. Asimismo, esta investigación abre la posibilidad a futuros estudios en diferentes estaciones del año, ampliando la muestra y contrastando los hallazgos en otros contextos. Lo cual, permitiría profundizar y proporcionar herramientas prácticas que favorezcan tanto la eficiencia lumínica como el confort visual de los usuarios en diversos contextos.

Por último, la arquitectura misma puede trabajar para poder acondicionar un edificio y que los sistemas pasivos se conviertan en verdaderas superficies que reflejen la luz a través de los materiales de los revestimientos, logrando el efecto albedo, concepto clave para

la interacción de la luz solar con las superficies claras y lisas.

REFERENCIAS

- Adobe Inc. (n.d.). Adobe Color. Retrieved May 25, 2025, from <https://color.adobe.com/es/Advancing Standards Transforming Markets>
- ASTM International. (2020). ASTM E903-12: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. <https://doi.org/10.1520/E0903-12>
- Alvarez, A., Huertas, D., y Ibárcena, V. (2024). Use of natural light to achieve lighting comfort inside the house. Sustainable Engineering for a Diverse, Equitable, and Inclusive Future at the Service of Education, Research, and Industry for a Society 5.0. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.1322>
- Ashdown, I. (2013). *Radiosity: A programmer's perspective*. Wiley.
- Baker, N., & Steemers, K. (2014). *Daylight design of buildings*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315769559>
- Baydoğan, M. Ç., y Özkantar, V. (2023). Evaluation of daylight performance metrics according to country guidelines: The case of educational buildings in Turkey. *Energy and Buildings*, 297, 113487. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2023.113487>
- Bellia, L., Błaszczak, U., Diglio, F., y Fragliasso, F. (2024). Light-environment interactions and integrative lighting design: Connecting visual, non-visual and energy requirements in a case study experiment. *Building and Environment*, 253, 111323. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2024.111323>
- Boyce, P.R. (2014). *Human Factors in Lighting* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16707>
- Budhiyanto, A., y Chiou, Y.-S. (2024). Visual comfort and energy savings in classrooms using surveillance camera derived HDR images for lighting and daylighting control system. *Journal of Building Engineering*, 86, 108841. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.108841>
- Castilla, N., Higuera-Trujillo, J. L., y Llinares, C. (2024). Virtual reality-based study assessing the impact of lighting on attention in university classrooms. *Journal of Building Engineering*, 86, 108902. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2024.108902>
- Chartered Institution of Building Services Engineers CIBSE. (1999). *Daylighting and window design (Lighting Guide LG10)* (Chartered Institution of Building Services Engineers CIBSE, Ed.).

- Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Chen, H., Cai, B., Yang, H., Wang, Y., y Yang, J. (2022). Study on natural lighting and electrical performance of louvered photovoltaic windows in hot summer and cold winter areas. *Energy and Buildings*, 271, 112313. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2022.112313>
- Colores RAL. (n.d.). Colores RAL Classic, RAL Design y RAL Effect. Retrieved May 18, 2025, from <https://www.coloresral.com.es/colores-ral>
- Espinoza-Sanhueza, C., Piderit-Moreno, M. B., Blanchet, P., y Lihra, T. (2020). Impacto en el confort visual y bienestar: integración de revestimientos en madera. *AUS - Arquitectura / Urbanismo / Sustentabilidad*, 0(27), 66–79. <https://doi.org/10.4206/aus.2020.n27-09>
- European Committee for Standardization. (2018). BS EN17037:2018 - Daylight in buildings. https://upgreengrade.ir/admin_panel/assets/images/books/1626612454.pdf
- Freewan, A. A. Y., y Al Dalala, J. A. (2020). Assessment of daylight performance of Advanced Daylighting Strategies in Large University Classrooms; Case Study Classrooms at JUST. *Alexandria Engineering Journal*, 59(2), 791–802. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2019.12.049>
- Giovannini, L., Goia, F., Lo Verso, V. R. M., y Serra, V. (2017). Phase Change Materials in Glazing: Implications on Light Distribution and Visual Comfort. Preliminary Results. *Energy Procedia*, 111, 357–366. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2017.03.197>
- Goldstein, E. B. (2014). *Sensation and perception* (9th ed.). Cengage Learning.
- Ibañez, C. A., Zafra, J. C. G., y Sacht, H. M. (2017). Natural and Artificial Lighting Analysis in a Classroom of Technical Drawing: Measurements and HDR Images Use. *Procedia Engineering*, 196, 964–971. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.08.037>
- International Energy Agency. (2019). *Daylighting and electric lighting integration*. IEA SHC Task 61.
- Kong, Z., y Jakubiec, J. A. (2021). Instantaneous lighting quality within higher educational classrooms in Singapore. *Frontiers of Architectural Research*, 10(4), 787–802. <https://doi.org/10.1016/J.FOAR.2021.05.001>
- Li, D. H. W., Wong, S. L., Tsang, C. L., & Cheung, G. H. W. (2006). A study of the daylighting performance and energy use in heavily obstructed residential buildings via computer simulation techniques. *Energy and Buildings*, 38(11), 1343–1348. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.04.001>

- Liu, J., Li, Z., Zhong, Q., Wu, J., y Xie, L. (2024). Multi-objective optimization of daylighting performance and energy consumption of educational buildings in different climatic zones of China. *Journal of Building Engineering*, 95, 110322. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2024.110322>
- Lourenço, P., Pinheiro, M. D., y Heitor, T. (2019). Light use patterns in Portuguese school buildings: User comfort perception, behaviour and impacts on energy consumption. *Journal of Cleaner Production*, 228, 990–1010. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.04.144>
- Ma, J. H., Lee, J. K., y Cha, S. H. (2022). Effects of lighting CCT and illuminance on visual perception and task performance in immersive virtual environments. *Building and Environment*, 209, 108678. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.108678>
- Mahmoudzadeh, P., Hu, W., Davis, W., y Durmus, D. (2024). Spatial efficiency: An outset of lighting application efficacy for indoor lighting. *Building and Environment*, 255, 111409. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111409>
- Marwa, E., Mohammed, M., Hasan. A., Abdelhakim, M., Mohammed M., (2024). Lighting impact on architecture student experience in higher education buildings in Egypt, *Alexandria Engineering Journal*, Volume 108, Pages 108-121, ISSN 1110-0168, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.07.067>
- Mostafavi, A., Xu, T. B., y Kalantari, S. (2024). Effects of illuminance and correlated color temperature on emotional responses and lighting adjustment behaviors. *Journal of Building Engineering*, 86, 108833. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.108833>
- Monteoliva, J. M., Korzeniowski, C. G., Ison, M. S., Santillán, J., & Pattini, A. E. (2016). Estudio del desempeño atencional en niños en aulas con diferentes acondicionamientos lumínicos. *Revista CES Psicología*, 9(2), 68-80. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=423548400005>
- Paolini, R., Terraneo, G., Ferrari, C., Sleiman, M., Muscio, A., Metrangolo, P., Poli, T., Destailats, H., Zinzi, M., Levinson, R. (2020). Effects of soiling and weathering on the albedo of building envelope materials: Lessons learned from natural exposure in two European cities and tuning of a laboratory simulation practice, *Solar Energy Materials and Solar Cells*. Volume 205, 110264, ISSN 0927-0248. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.110264>.
- Pagliari Caro, M. J.; Piderit Moreno, M. B. (2017). Evaluación y percepción de la iluminación natural en aulas de preescolar, Región de los Lagos, Chile *Arquitectura y Urbanismo*, vol. XXXVIII, núm. 3, septiembre-diciembre, 2017, pp. 41-59 Instituto Superior Politécnico

- José Antonio Echeverría Ciudad de La Habana, Cuba. <https://www.redalyc.org/pdf/3768/376854676004.pdf>
- Qu, G., Ren, L., Liu, G., Zhang, Y., Lau, S.-K., Zhan, M., y Yan, M. (2024). The best college classroom light environments have changed: Attributed to the public health issue of decreased sensitivity to students' eyesight. *Energy and Buildings*, 307, 113948. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113948>
- Ricciardi, P., y Buratti, C. (2018). Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. *Building and Environment*, 127, 23–36. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2017.10.030>
- Safranek, S., Collier, J. M., Wilkerson, A., y Davis, R. G. (2020). Energy impact of human health and wellness lighting recommendations for office and classroom applications. *Energy and Buildings*, 226, 110365. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2020.110365>
- Salomón, D., y Avalos Ambroggio, S. (2022). Optimización del diseño de aulas: aprovechamiento de la luz natural para confort visual en villa maría, argentina. *Revista Hábitat Sustentable*, 12(1), 74–89. <https://doi.org/10.22320/07190700.2022.12.01.05>
- Shafavi, N. S., Tahsildoost, M., y Zomorodian, Z. S. (2020). Investigation of illuminance-based metrics in predicting occupants' visual comfort (case study: Architecture design studios). *Solar Energy*, 197, 111–125. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2019.12.051>
- Sorosh, M.y Hajimolana, Y. (2023). Sunlight harvesting. *Computers & Chemical Engineering*, Volume 170, 108103, ISSN 0098-1354. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2022.108103>
- Taques Martins, G., Muros Alcojor, A., y Perdomo, M. J. (2023). Influencia de la luz natural simulada en el estado de ánimo y el bienestar. Estudio de caso en Obos Living Lab, Oslo, Noruega. *ACE: Architecture, City and Environment*, 18(52). <https://doi.org/10.5821/ace.18.52.11923>
- Urrutia, A. (2018). Confort Lumínico en los Espacios De Estudio de las Escuelas Profesionales de Arquitectura de las Universidades de Huancayo. In Facultad de Ingeniería. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12848/953>
- Veitch, J. A., & Galasiu, A. D. (2012). *The physiological and psychological effects of windows, daylight, and view at home: Review and research agenda* (Research Report No. IRC-RR-325). National Research Council Canada. <https://doi.org/10.4224/20375039>

- Yildiz, Y., Caner, I., Ilten, N., y Karaoglan, A. D. (2016). Field study to analyse luminous comfort in classrooms. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability, 171(3), 151–165. <https://doi.org/10.1680/JENSU.16.00001>
- Yu, X., Su, Y., y Chen, X. (2014). Application of RELUX simulation to investigate energy saving potential from daylighting in a new educational building in UK. *Energy and Buildings*, 74, 191–202. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2014.01.024>
- Zambrano Prado. P. L., y Prado León, L. R. (2016). Simulación de iluminación natural en oficinas; implicaciones para la eficiencia visual. *Estoa. Revista de La Facultad de Arquitectura y Urbanismo de La Universidad de Cuenca*, 5, 75–95.