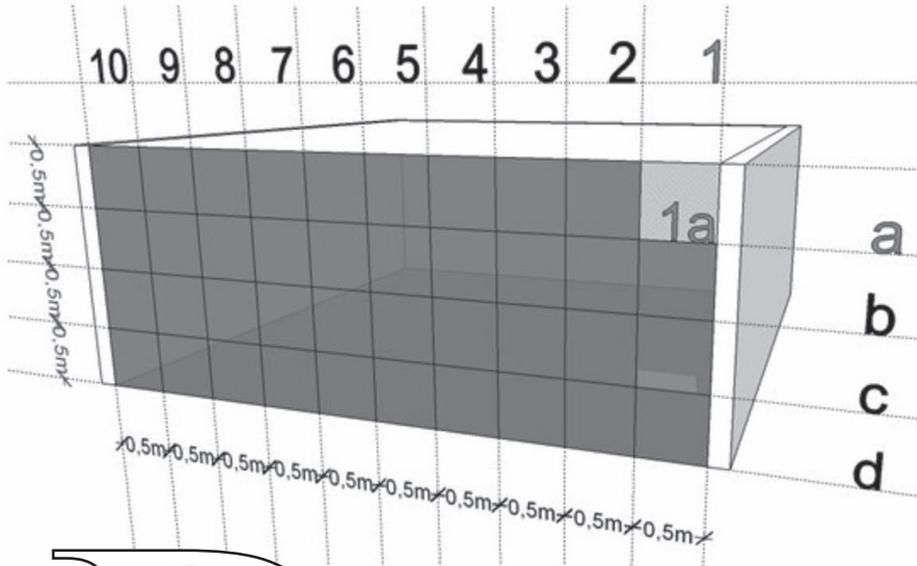


Natalia Giraldo Vásquez
ngiraldv@gmail.com

Lucas Arango Díaz
lucas.arango@usbmed.edu.co



61

P

***Propuesta metodológica para la
evaluación del desempeño lumínico
de fachadas***

***Methodological proposal for evaluation
of performance facade lighting***

Resumen

Este artículo presenta una propuesta metodológica para identificar desde la evaluación del deslumbramiento, aporte lumínico y accesibilidad solar, la localización y tamaño ideales de las aberturas en una fachada. Para el análisis fue utilizado un modelo simplificado de salón de clase, con orientación Norte y localizado en la ciudad de Medellín, Colombia (6,25°N, 75,5°O). Siguiendo un método de fraccionamiento de superficies de fachadas, fueron obtenidos los resultados por medio de simulación computacional en el programa Apolux y cálculos geométricos de la incidencia solar por medio de una calculadora programada en Excel. Tales resultados permitieron caracterizar las fracciones de fachada y así definir el tipo de estrategia necesaria para mejorar las características del ambiente lumínico interno.

Palabras claves

Arquitectura, deslumbramiento, iluminación natural, salones de clase.

Abstract

This paper presents a methodology to identify the optimal location and size of different openings in a façade. The analysis was developed based on three variables: the evaluation of glare sensation, the daylight accessibility and solar accessibility. For the analysis was used a simplified model of classroom, facing north and located in the city of Medellín, Colombia (6.25° N, 75.5° W). Following a fractioned facade method the results were obtained through computer simulation in the program Apolux and geometric calculations of solar incidence. These results allowed the characterization of each fraction of the façade and define the type of strategy needed to improve the characteristics of the internal light environment.

Keywords

Architecture, glare, daylighting, classrooms

Propuesta metodológica para la evaluación del desempeño lumínico de fachadas*

Methodological proposal for evaluation of performance facade lighting

Natalia Giraldo Vásquez**
ngiraldv@gmail.com

Lucas Arango Díaz***
lucas.arango@usbmed.edu.co

63

La iluminación natural es un fenómeno físico que incide en el bienestar y desempeño de las personas (Martau e Scarazzatto, 2009). Condiciones adecuadas de iluminación permiten resaltar características y cualidades de la arquitectura y realzar aspectos formales de mayor relevancia. Sin embargo, una inadecuada integración entre el proyecto arquitectónico y la iluminación natural puede resultar desfavorable para los usuarios.

A nivel internacional, la relación entre iluminación natural, arquitectura y usuarios ha sido estudiada desde los aspectos más técnicos hasta los más subjetivos en espacios de oficinas, y desde la evaluación del desempeño de los usuarios en espacios escolares. Por un lado, las investigaciones realizadas con enfoque técnico apuntan al desarrollo de metodologías y al diseño de herramientas que permiten evaluar el ambiente lumínico de un espacio (Inanici y Navvab, 2006; Kaftan, 2001; Kaftan y Marsh, 2005; Marsh, 2003; Roberts y Marsh, 2001). Por otro lado, los principales estudios de evaluación subjetiva se enfocan en las características y preferencias de los usuarios en determinado tipo de aberturas; el principal factor de análisis es el tipo de información que los usuarios obtienen a través de las ventanas, la cantidad de elementos vistos a través de ellas y el tipo de paisaje, sea natural o construido (Ne'eman,

* Producto de la Investigación "Método para evaluación de la inconveniencia solar, iluminación natural y sensación de deslumbramiento en salones de clase de nivel secundario", Grupo de Investigación "Hombre, Proyecto, Ciudad", de la Universidad de San Buenaventura, Medellín.

** Magister en Arquitectura y Urbanismo, Arquitecta, estudios de doctorado en Ingeniería, docente Universidad de San Buenaventura Medellín, pertenece al grupo de investigación Hombre, proyecto y ciudad. Área de desempeño arquitectura bioclimática.

*** Magister en Arquitectura y Urbanismo, Arquitecto, docente Universidad de San Buenaventura Medellín, pertenece al grupo de investigación Hombre, proyecto y ciudad. Área de desempeño arquitectura bioclimática.

1974; Tuaycharoen & Tregenza, 2005; Tuaycharoen & Tregenza, 2007).

Sin embargo, las investigaciones con esos enfoques son principalmente realizadas para espacios de oficinas e involucran personas adultas. Un tercer enfoque se desarrolla en los espacios escolares con investigaciones que apuntan a evaluar la influencia de la calidad de la iluminación en el rendimiento y aprendizaje de los niños. Estos estudios han sido realizados por comparación de las calificaciones de niños de diferentes instituciones educativas, todas con diferentes características arquitectónicas y climáticas, y en diferentes áreas temáticas (Heschong Mahone Group, 2002, 2003). Pocas investigaciones relacionan los niños, la arquitectura y la iluminación, desde el punto de vista de la sensación de comodidad visual en el salón de clase (Giraldo, 2011).

Si bien esas investigaciones aúnan esfuerzos para entender el fenómeno de la luz y su relación con el comportamiento y bienestar de las personas, también es cierto que la complejidad de la integración de la conveniencia solar, la admisión y distribución de la luz hace que los tres fenómenos sean estudiados separadamente. Por tal motivo, este estudio parte de la necesidad de realizar tal integración, buscando entender como un todo las características del ambiente visual y luminoso, para ayudar a mejorarlo en las situaciones que así lo requieran.

El objetivo es proponer un método que permita comparar el desempeño lumínico de una fachada en función de la evaluación del deslumbramiento, aporte lumínico e inconveniencia solar

para identificar la pertinencia de la localización y área de las aberturas.

Metodología

Para evaluar el desempeño lumínico de una fachada, fue empleado el método de fraccionamiento planteado por los autores, que incluye el fraccionamiento de la superficie en la cual estarán localizadas las aberturas de las ventanas. La evaluación de cada uno de dichos fragmentos fue realizada de manera individual, como si fueran aberturas independientes, y consideró el índice de deslumbramiento, aporte lumínico y accesibilidad solar.

La nomenclatura usada para cada uno de los fragmentos de fachada (Fig. 1) está compuesta por una letra y un número. Las letras (a,b,c,d) corresponden al eje horizontal y los números (01 a 10) al eje vertical. Cada fracción de la fachada tiene 0,5m de lado. Fueron evaluados en total 40 fragmentos de fachada.

Los datos de deslumbramiento y aporte lumínico fueron obtenidos por medio de simulación computacional en el programa Apolux (Claro, 2009) y procesados en Excel. Los datos de ganancia solar fueron calculados en planillas de Excel, con base en los datos geométricos del salón.

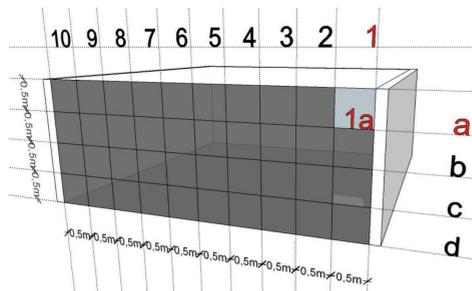


Fig.1. Fraccionamiento de fachada

Modelo salón de clase y parámetros de simulación

Este estudio fue realizado considerando las características espaciales típicas de un salón de clase de educación básica secundaria en la ciudad de Medellín, Colombia (Latitud: 6,25°N, Longitud: 75,5°O). La Fig. 2 muestra las características del modelo hipotético utilizado, cuyas dimensiones internas fueron 5,00mx5,00mx2,00m. La fachada evaluada, orientada a Norte, posee el fraccionamiento ya mencionado y material transparente.

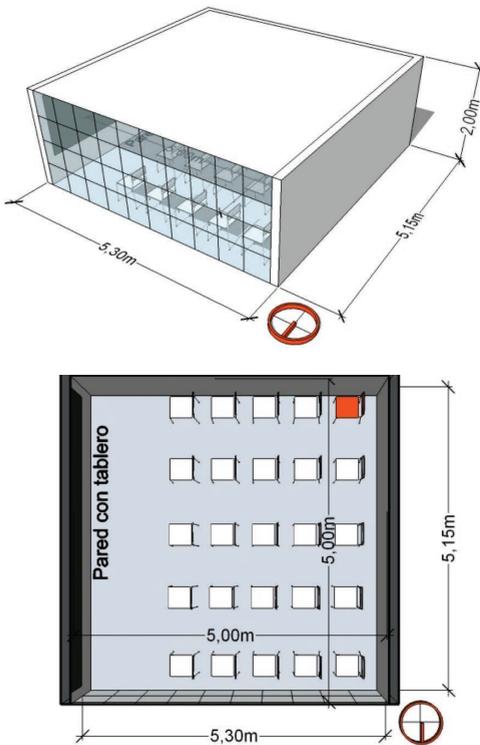


Fig. 2. Salón hipotético

Las propiedades ópticas de los materiales del modelo son presentadas en la Tabla 1. Para este estudio no fue considerado el mobiliario interno del salón. En las paredes, únicamente fue realizada la diferenciación de la superficie del tablero.

Tabla 1: Propiedades ópticas de los materiales

SUPERFICIES OPACAS	ÍNDICE DE REFLEXIÓN (%)
Piso	30%
Paredes	50%
Techo	70%
Tablero	20%
SUPERFICIES TRANSPARENTES	ÍNDICE DE TRANSMISIÓN (%)
Vidrio	100%

Debido a que el componente del deslumbramiento de este estudio fue realizado para condiciones estáticas del observador, tiempo y condiciones climáticas, fue preciso seleccionar uno de los 15 tipos de cielo propuestos por la Commission Internationale De L'eclairage ó CIE (CIE 2004). El cielo utilizado, de acuerdo con las características más recurrentes de la bóveda celeste de Medellín, fue el Cielo 6, parcialmente nublado. A pesar de que para el componente de iluminación natural fue utilizado el mismo cielo, para el componente de inconveniencia solar fue asumido un cielo permanentemente despejado.

La fecha evaluada corresponde al día 21 de los meses de enero-noviembre, marzo-septiembre y mayo-julio, fechas en las cuales el período académico es normal. Adicionalmente fueron evaluados dos horarios: 09 horas y 15 horas.

Evaluación de la sensación de deslumbramiento

En la primera etapa de la evaluación del desempeño lumínico de las fracciones de fachada fue realizada la evaluación de la sensación de deslumbramiento, producida por de cada uno de los fragmentos. Para esta evaluación fue seleccionada la posición del observador en la cual fuera vista la mayor parte de la fachada que posee las aberturas (Figura 3), es

decir, en la esquina conformada por las dos paredes opuestas al tablero y la abertura.

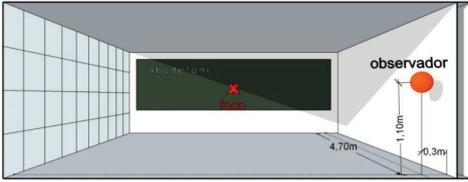


Fig. 3. Localización del observador

66

La altura de los ojos del observador fue definida a 1,10m. Esta altura corresponde a la altura de los ojos sentado. La dirección de la visión fue definida hacia el centro geométrico del tablero, ya que este es la principal superficie del salón hacia la cual está dirigida la visión de los estudiantes.

La evaluación del deslumbramiento fue calculada usando el Daylight Glare Index (Ecuación 1) (Hopkinson et al, 1966). Los datos numéricos de la luminancia de fondo y luminancia de la fuente fueron obtenidos por medio

Tabla 2. Relación entre DGI y GSV

Escala de valor	DGI		
Imperceptible	16	17	18
Limite imperceptible-aceptable	19		
Aceptable			20
Limite confort-desconfort	21		
			22
	23		
Desconfortable	24	25	26
Limite desconfortable- intolerable	27		
Intolerable	28		

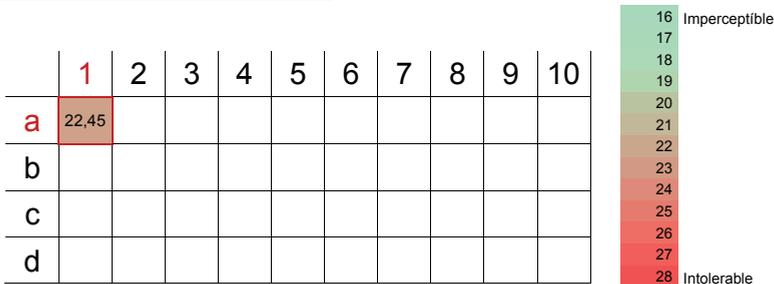


Fig. 4. Procesamiento de datos de deslumbramiento

de las simulaciones realizadas en el módulo Foton del programa Apolux, utilizado en una investigación anterior (Giraldo Vásquez 2011).

$$DGI = 10 \cdot \log_{10} 0,478 \left(\frac{L_s^{1,6} \cdot \Omega^{0,8}}{L_b + (0,07 \omega^{0,5} L_s)} \right)$$

Donde

L_b es la Luminancia del fondo (cd/m²)

L_s es la Luminancia promedio de la fuente (cd/m²)

Ω es el ángulo sólido subtendido de la fuente, modificado por la posición en el campo visual por medio del *Position Index* (sr)

ω es el ángulo sólido subtendido entre el ojo y la fuente (sr)

En la Tabla 2 es presentada la relación entre el valor obtenido con la ecuación del DGI y la escala de valor del Glare Sensation Vote (Iwata, Shukuya, Somekawa & Kimura, 1992).

Los valores obtenidos fueron organizados en tablas (Fig. 4), que representan el plano total de la fachada, en las cuales son comparados los resultados de la evaluación individual de los fragmentos.

Aporte lumínico

Para cada una de las fracciones de la fachada, fue realizada la evaluación del aporte lumínico (iluminancia) sobre un plano de trabajo localizado a 0,7m del suelo (Fig. 5).

Para el análisis de la cantidad de lux que cada fragmento aportó al plano de trabajo fueron organizados los datos en tablas (Fig. 6). Estas tablas representan el plano de la fachada evaluado y contienen el valor máximo (en color azul claro), promedio y mínimo (en color azul oscuro) de iluminancia, en los períodos evaluados.



Fig. 5. Localización del plano de trabajo

Adicionalmente, el aporte lumínico de cada segmento fue considerado dentro de los rangos lumínicos recomendados (Tabla 3) por la normativa nacional e internacional

(ABNT. NBR- 5413, 1992, ABNT. NBR-15215-4, 1991, NTC;4595 1999), para así comparar los valores de iluminancia con los de deslumbramiento y accesibilidad solar, permitiendo identificar la conveniencia o inconveniencia de abrir determinadas áreas de fachada.

Accesibilidad solar

Los datos de accesibilidad solar de cada fragmento fueron obtenidos por medio de una calculadora programada en Excel. En esa calculadora, con la información de orientación, altura del sillar, altura del dintel y posición de las jambas, fueron generados gráficos, a la altura del plano de trabajo, que muestran la exposición a la radiación solar para los días y horas estudiados.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
a	386										máx.
	91										prom.
	10										m
<input type="checkbox"/>											max
<input type="checkbox"/>											prom.
<input type="checkbox"/>											m
<input type="checkbox"/>											max
<input type="checkbox"/>											prom.
<input type="checkbox"/>											m
<input type="checkbox"/>											max
<input type="checkbox"/>											prom.
<input type="checkbox"/>											m

Fig 6. Procesamiento de datos del aporte lumínico de cada fragmento de fachada

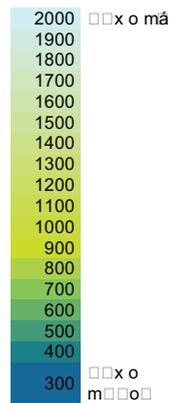


Tabla 3. Rangos niveles lumínicos

lux	Rango
Mayor de 2000 lux	Excesivo
1000lux a 2000 lux	Limite excesivo
500lux a 1000 lux	Suficiente
300lux a 500 lux	Aceptable
menor de 300 lux	Insuficiente

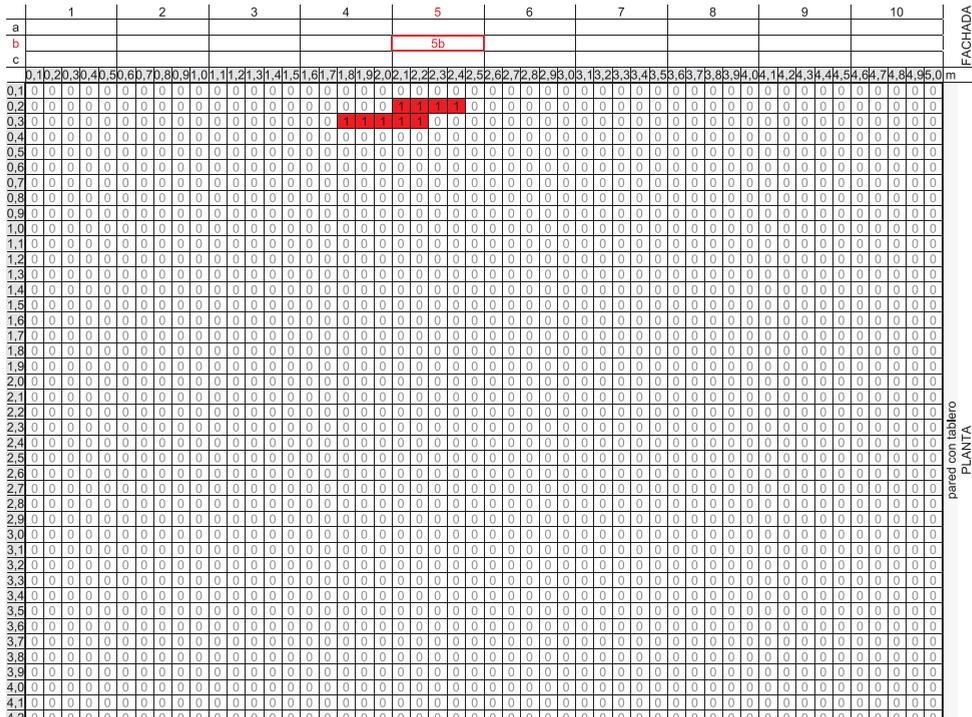


Fig. 7. Cálculo de la accesibilidad solar de la fracción de fachada 5b en mayo 21 a las 09 horas

Para las fracciones correspondientes al eje horizontal "d" no fueron realizados estos cálculos, pues no tienen incidencia en el plano de análisis.

Para este análisis, fue dividido el plano de trabajo en una retícula de 0,1mx0,1m, la cual permitió identificar las áreas con radiación solar directa (áreas en rojo). La Fig. 7 presenta el resultado gráfico obtenido por medio de la calculadora mencionada para la fracción de fachada 5b.

Los resultados fueron analizados en términos de cantidad de área aseada y no de la localización específica de la mancha de sol sobre el plano de trabajo.

Los datos obtenidos fueron procesados en tablas similares a las usadas en el análisis de deslumbramiento y aporte lumínico. En este caso, los valores indicados en cada fragmento indican el porcentaje del área del plano de trabajo que posee radiación solar directa.

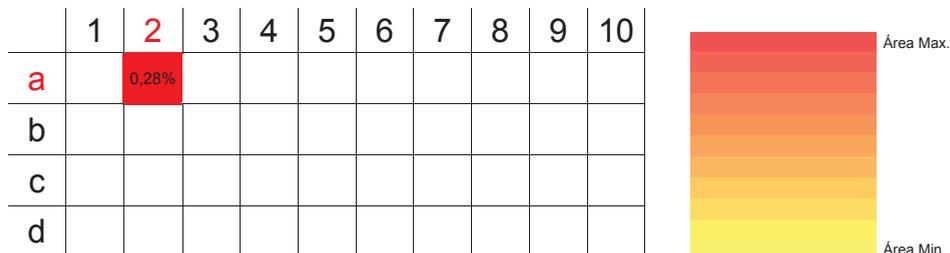


Fig. 8. Procesamiento de datos de accesibilidad solar

Resultados

Los resultados obtenidos en este estudio permitieron identificar, desde las tres variables analizadas, la localización y porciones de fachada más adecuadas para mejorar la calidad del ambiente lumínico.

Evaluación de la sensación de deslumbramiento

La Fig. 9 y Fig.10 muestran el índice de deslumbramiento de los fragmentos de la fachada. Tal y como fue presentado en la Tabla 2, los valores en cian corresponden a una sensación de deslumbramiento imperceptible y los valores en rojo corresponden a una sensación de deslumbramiento intolerable.

La sensación de deslumbramiento

indica que las condiciones lumínicas, para el caso del observador definido, no son favorables en tanto que la evaluación de esta variable está entre el límite confortable y desconfortable.

Como tendencia general, los fragmentos de los ejes superiores (a y b) presentan los mayores valores, produciendo una sensación desconfortable o incomoda. Los fragmentos de los ejes “c” y “d” están más próximos a generar una sensación aceptable; sin embargo, en la escala de valor la sensación producida corresponde al umbral entre confortable-desconfortable. No obstante, como el mobiliario interior no fue considerado, la sensación producida por estos fragmentos puede mejorar, debido a que sería vista menos área de las aberturas.

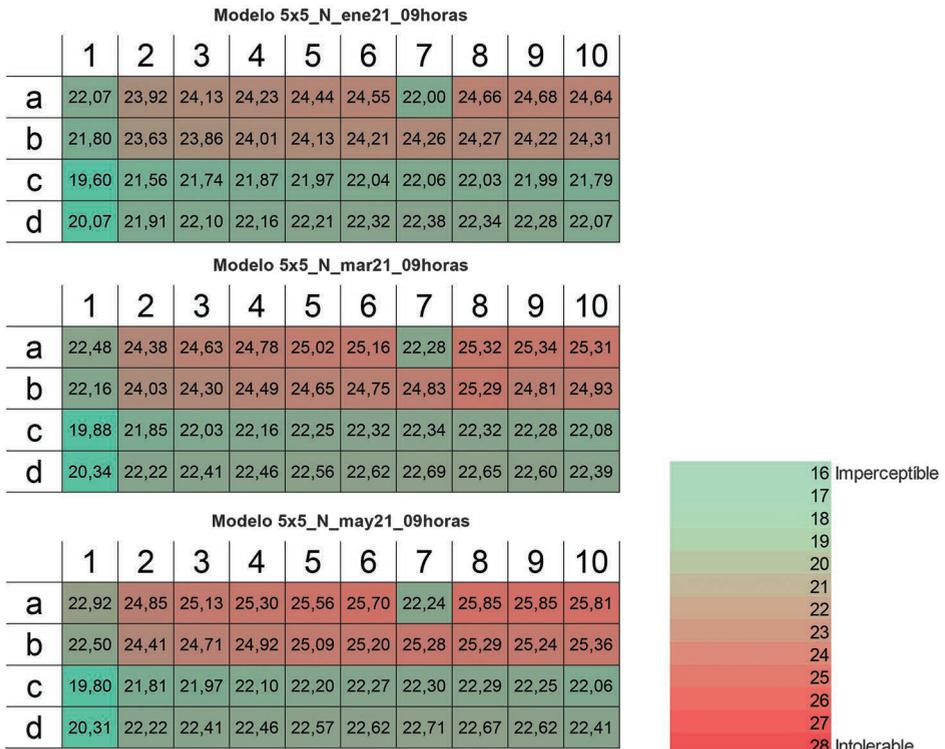


Fig. 9 - Valores de DGI de cada fragmento de fachada a las 09 horas

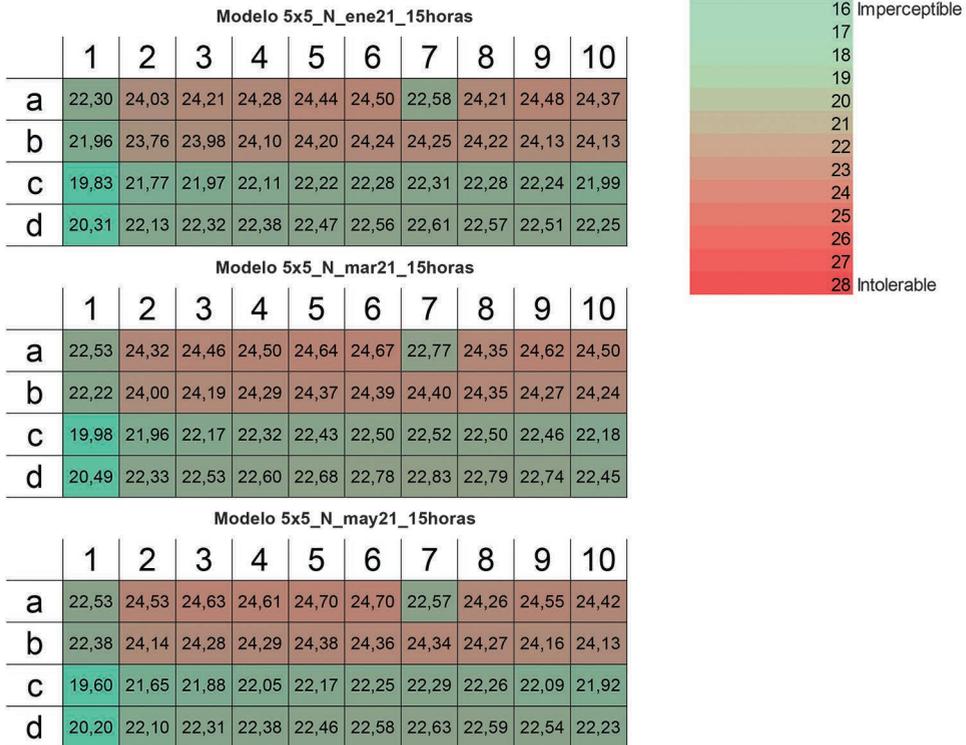


Fig. 10- Valores de DGI de cada fragmento de fachada a las 15 horas

En el caso de los fragmentos del eje vertical “1” y debido a la posición del observador, los valores obtenidos tienden a ser los menores ya que el tamaño aparente de estos fragmentos es menor a 50%, aproximadamente.

Como puede ser observado en las imágenes, los cambios en la evaluación del deslumbramiento son más sensibles a la variación de la disposición en altura y no a la distancia en el eje horizontal.

De manera general, la variación entre las evaluaciones a las 09 horas y 15 horas muestra pequeñas modificaciones en los valores obtenidos.

Aporte lumínico

El análisis de esta variable está

limitado a la evaluación de la cantidad de lux que cada fragmento aportó al plano de trabajo. Aunque la uniformidad lumínica es fundamental en la evaluación del desempeño lumínico, en este análisis no fue considerada.

Los resultados muestran, tanto para la mañana como para la tarde, mayor aporte lumínico de los fragmentos localizados en los ejes “b” y “c”. En el período del año entre marzo y septiembre los valores máximos de aporte lumínico superan el rango excesivo, mientras que los valores del eje “a” tienden a estar en el rango de suficiencia lumínica (excepto en el fragmento 1a donde el valor máximo es insuficiente).

Los fragmentos localizados en el eje horizontal “d”, por encontrarse por

debajo del plano de trabajo, no hacen aportes lumínicos significativos.

Al igual que en la evaluación del deslumbramiento, la mayor variación del aporte lumínico de los fragmentos es más sensible al cambio de la localización en altura y no al desplazamiento horizontal de la fuente.

Accesibilidad solar

La relación entre el área de la superficie de trabajo soleada y el fragmento de fachada que permite tal ganancia solar son presentados en la Figura 13. Para los meses de

enero y marzo, debido a la orientación analizada, los valores de área soleada son nulos.

Las fracciones de fachada de los ejes a y b son los que permiten mayor accesibilidad solar. Esta situación puede ser inconveniente para las condiciones climáticas de la ciudad de Medellín, en donde la radiación solar en el interior de los espacios es indeseada en la mayor parte del año. En total, a las 09 horas el área dentro del salón que recibe radiación solar es de aproximadamente 1,75m². A las 15 horas, el área soleada es de 2,00m².

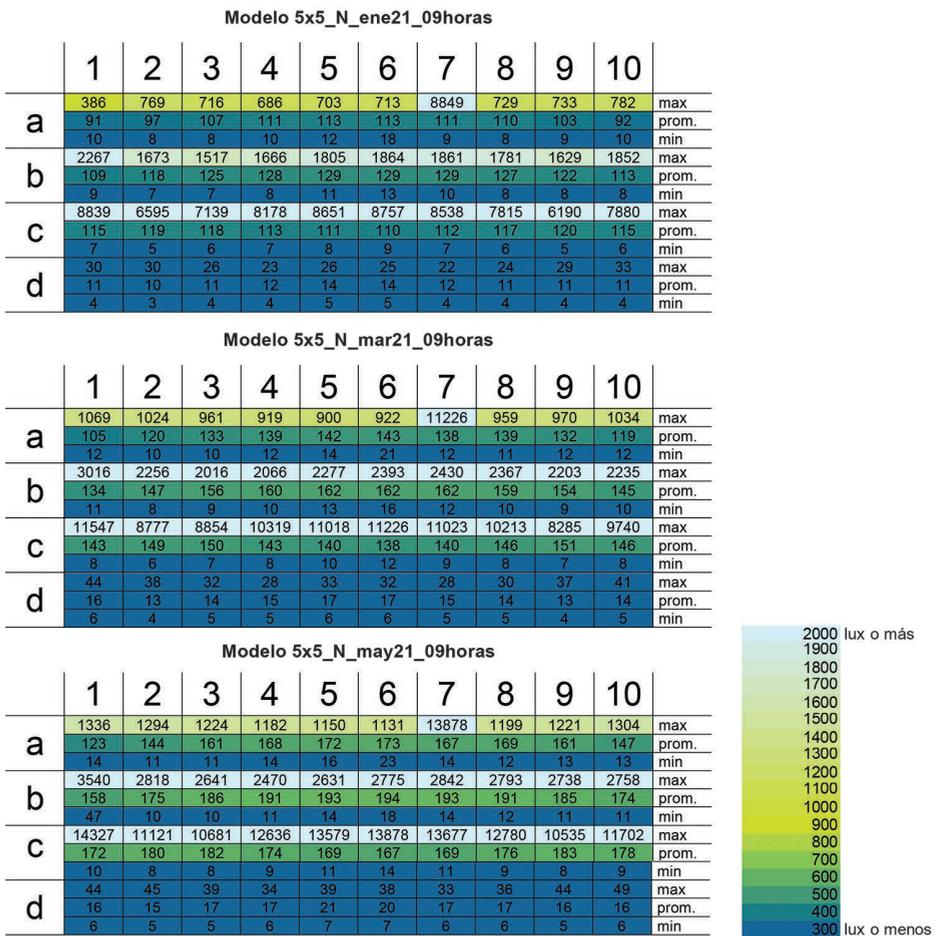


Fig. 11- Aporte lumínico de los fragmentos de fachada a las 09 horas

Modelo 5x5_N_ene21_15horas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
a	874	795	790	785	778	762	9278	1630	834	876	max
	102	110	117	120	121	121	118	134	104	91	prom.
	10	10	10	13	17	14	9	8	8	10	min
b	2003	1781	1945	2038	2050	1969	1823	1630	1832	2485	max
	122	130	135	138	138	138	137	134	126	117	prom.
	8	8	9	10	14	11	9	8	7	9	min
c	8563	6867	8406	9168	9403	9278	8773	7644	7115	9372	max
	124	130	125	120	118	118	121	127	127	121	prom.
	7	6	6	8	10	9	7	6	5	7	min
d	32	32	27	24	29	26	24	26	32	36	max
	11	11	12	13	16	14	13	12	11	13	prom.
	4	4	4	4	6	5	4	4	4	5	min

72

Modelo 5x5_N_mar21_15horas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
a	1094	1021	1008	992	974	945	11468	2131	1076	1120	max
	125	137	145	148	149	148	145	162	125	108	prom.
	12	12	12	17	20	15	10	9	10	12	min
b	2337	2333	2502	2575	2544	2401	2183	2131	2393	3205	max
	150	160	166	168	169	168	166	162	153	140	prom.
	10	9	11	12	18	13	10	9	9	11	min
c	10284	8671	10656	11485	11698	11468	10744	9201	9181	11885	max
	153	157	152	146	144	145	149	155	155	148	prom.
	8	7	8	9	12	10	8	7	7	9	min
d	39	39	32	29	36	31	29	32	39	44	max
	14	14	15	15	19	17	15	15	14	16	prom.
	5	4	5	5	7	6	5	5	4	6	min

Modelo 5x5_N_may21_15horas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
a	1240	1153	1129	1102	1072	1087	13066	2553	1227	1261	max
	144	157	165	168	168	167	164	181	139	118	prom.
	13	13	13	18	20	16	11	10	11	14	min
b	3540	2643	2689	2682	2629	2517	2395	2553	2708	3397	max
	158	180	185	188	188	187	185	181	169	152	prom.
	13	10	12	14	19	13	11	10	9	13	min
c	11368	10307	12407	13234	13405	13066	12126	10190	10860	13777	max
	175	178	171	164	163	164	170	177	175	165	prom.
	9	8	9	11	14	11	9	8	7	9	min
d	44	44	36	32	40	34	33	37	43	48	max
	15	15	16	17	21	18	17	16	15	17	prom.
	6	5	6	6	7	6	6	5	5	7	min

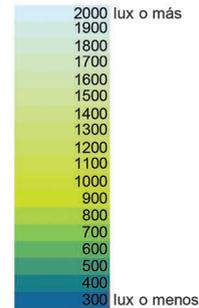


Fig. 12- Aporte lumínico de los fragmentos de fachada a las 15 horas

Conclusiones

Si bien realizar este tipo de análisis durante el proceso proyectual puede resultar en una tarea compleja para el arquitecto, es importante que al proponer una abertura sean conocidas sus características y como estas pueden alterar la calidad del ambiente lumínico. Esta investigación propone una metodología para identificar la pertinencia de abrir o cerrar una parte de la fachada propuesta en el proceso proyectual. La Figura 14 presenta un ejemplo del esquema de evaluación

propuesto. En este caso, fue realizado el resumen de la evaluación para el fragmento “1a”, en el cual, según los resultados, sería más conveniente mantener cerrada esta porción de la fachada.

Bajo las condiciones analizadas, la metodología propuesta permitió identificar las posibles estrategias a ser implementadas en el diseño de la fachada analizada. En el caso de los fragmentos del eje “a”, donde la sensación de deslumbramiento

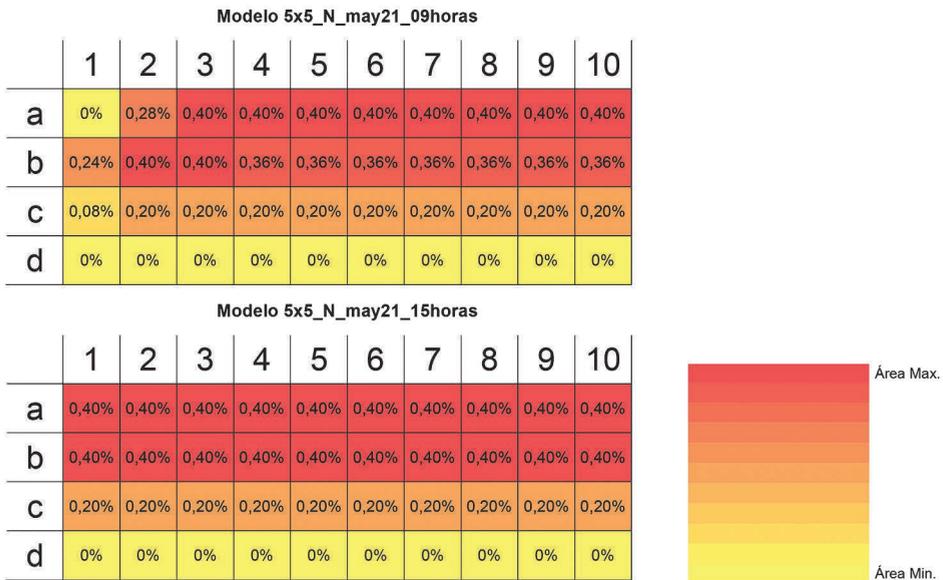


Fig. 13- Porcentaje de área soleada permitido por cada fragmento de fachada. Mes de mayo.

fue desconfortable, los valores de accesibilidad lumínica estuvieron en el rango de suficiencia y la accesibilidad solar alta, la estrategia podría ser el uso de elementos de protección solar.

Los fragmentos del eje “b”, caracterizados por tener alta accesibilidad solar, sensación de deslumbramiento desconfortable y valores de accesibilidad lumínica máximos en el rango excesivo (en este caso, superiores a 5000lux), podrían ser tratados con superficies translúcidas. Ya los fragmentos del eje “c”, con baja accesibilidad solar,

condiciones lumínicas excesivas y evaluación del deslumbramiento desconfortable, podrían ser tratados considerando el uso de protecciones solares, que permitan el contacto visual con el exterior.

Discusión

Ya que esta investigación fue desarrollada utilizando simulaciones estáticas, la cantidad de datos y situaciones analizadas fueron limitados a dos horarios, un tipo de cielo y una posición del observador. Adicionalmente, considerar el mobiliario y la ocupación típica de los salones de educación básica secundaria puede alterar positivamente la evaluación de la sensación del deslumbramiento y modificar la distribución de la luz en el interior. Estudios más recientes han demostrado la importancia de los parámetros subjetivos en las evaluaciones del ambiente visual, pues el tiempo dedicado a una actividad, el carácter de la misma y la percepción

	1	Variable
a	confort- desconfort	Deslumbramiento
	insuficiente	Accesibilidad Lumínica
	permite	Accesibilidad Solar

Fig. 14. Esquema de evaluación del desempeño lumínico de cada fragmento

que las personas tienen del ambiente lumínico pueden influir en la sensación y evaluación de comodidad visual.

Es pertinente realizar la evaluación de la sensación de deslumbramiento desde la localización del profesor, quien probablemente también ve gran parte de la superficie vidriada.

74

Los resultados de la evaluación del aporte lumínico deben ser analizados junto con la distribución lumínica o uniformidad.

En relación con la accesibilidad solar, este estudio no fue realizado considerando la carga térmica que la radiación solar aporta a los espacios,

pues en la ciudad de Medellín es indeseada esta condición en los espacios interiores. La aplicación de este método en ciudades con clima frío, por ejemplo, en las cuales la aceptabilidad de la radiación solar en el interior probablemente es mayor, debería considerar los efectos de la radiación sobre la carga térmica interna.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la dirección de investigaciones de la Universidad de San Buenaventura, Medellín, por el apoyo económico para la realización de este proyecto.

Referencias

ABNT (1991). NBR-15215-4 Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT (1992). NBR-5413 Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CIE (2004). Spatial distribution of daylight — CIE standard general sky. Disponible en http://www.cie.co.at/index_ie.html

Claro, A. (2009). Apolux Programme. Disponible en <https://www.labcon.ufsc.br/foton/> 75

Giraldo, N. (2011). Caracterização dos campos visuais das crianças nas salas de aula: identificação dos componentes arquitetônicos de maior participação na caracterização. Disertación de maestría, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

Heschong Mahone Group (2002). Re-Analysis Report: Daylighting in schools, Additional analysis. USA: Heschong Mahone Group.

Heschong Mahone Group (2003). Windows and Classrooms: A study of student performance and the indoor environment. California: California Energy Commission.

Hopkinson, R.G, Petherbridge P. & Longmore, J. (1966). Iluminação Natural. Lisboa: Calouste Gulbenkian.

Iwata, T., Shukuya, M., Somekawa, N. & Kimura, K. (1992). Experimental study on discomfort glare caused by windows: subjective response to glare from a simulated window. *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering*, 432, 21-33.

Inanici, M. & Navvab, M. (2006). The Virtual Lighting Laboratory: Per-pixel Luminance Data Analysis. Leukos: The Illuminating Engineering Society of North America.

Kaftan, E. (2001). The 18th International Conference on passive and low energy architecture. In: PLEA, Florianópolis. The Cellular Method to design energy efficient shading form to accommodate the dynamic characteristics of climate. Florianópolis: PLEA.

Kaftan, E. & Marsh, A. (2005). International Conference. Passive and Low energy Cooling for the Built environment. In: Proc. PALENC, Santorini, Grecia, Integrating the Cellular Method for Shading Design with a Thermal Simulation. Grecia: Santorini.

Marsh, A. (2003) IBPSA Conference. Computer-Optimised Shading design. Building Simulation 2003. Eighth International IBPSA Conference, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, Holanda.

Martau, B. e Scarazzatto, P. S. (2009). Impactos não visuais da iluminação. Editado por ENCAC X. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Natal.

Ne'eman, E. (1974). Visual aspects of sunlight in buildings. *Lighting, Research And Technology*, 6(3), 159-164.

NTC-4595 (1999). NTC-4595 Ingenieria Civil y Arquitectura. Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares. Bogotá: Autor.

76 Roberts, A. & Marsh, A.J. (2001). ECAADE In: Proc. of 19th Education for Computer Aided Architectural Design in Europe, Helsinki, 2001. ECOTECT: Environmental Prediction in Architectural Evaluation. 19th ECAADE, Helsinki, Finlandia.

Tuaycharoen, N. & Tregenza, P. (2005). Discomfort glare from interesting images. *Lighting, Research and Technology*. doi: 10.1191/1365782805li147oa