

EVALUACIÓN DEL DESLUMBRAMIENTO EN UN AMBIENTE ESCOLAR CON MURO CALADO EN FACHADA, LOCALIZADO EN CALI, COLOMBIA

Lucas Arango Díaz (1); Joan Camilo Hurtado Gallego (2)

(1) Arq. Mg., lucas.arango@usbmed.edu.co, Universidad de San Buenaventura, Medellín- Colombia, tel (+57) 3017751898

(2) Est. Arq., joan.hurtado@tau.usbmed.edu.co, Universidad de San Buenaventura, Medellín- Colombia, tel (+57) 3007676516

RESUMEN

La implementación de muros calados en fachadas, principalmente en ambientes educativos del sector público, es bastante común, entre otras, en localidades colombianas con clima cálido. No obstante, la admisión/distribución lumínica así como la probabilidad de deslumbramiento en ambientes con estas características no ha sido suficientemente estudiada. El objetivo de este trabajo consiste en identificar las diferencias entre la probabilidad de deslumbramiento en dos ambientes educativos, uno con fachada convencional y otro con fachada predominantemente en muro calado, localizados en la ciudad de Cali-Colombia (lat. 3°26', long. -76°31' y alt. 995 msnm), considerando los resultados con evaluaciones de admisión de la luz natural. Para ello, fueron realizadas simulaciones computacionales a través del plugin Diva para uso en Rhino de ambos ambientes educativos. Los resultados de estas simulaciones fueron comparados. Los resultados de la investigación evidencian que si bien el salón con fachada en muro calado posee, en términos generales, un nivel lumínico menor, las evaluaciones de DGP resultan ser más favorables en éste debido al control de brillos y reflejos molestos en el campo visual de las personas. Por tanto, en la investigación se concluye que los ambientes educativos con muros calados podrían tener ventajas sobre las fachadas convencionales en la medida en que puede disminuirse la probabilidad de deslumbramiento y mantener niveles lumínicos razonables

Palabras clave: arquitectura, muro calado, comodidad visual, deslumbramiento.

ABSTRACT

The use of openwork walls is a common practice in public-educational environments located in Colombian territory with warm climate. However, daylight admission, daylight inner distribution and daylight glare probability have not been sufficiently analyzed in environments with these characteristics. The aim of this research is to identify the Daylight Glare Probability-DGP differences in two educative environments, one with conventional facade and other with an openwork wall façade, both located in Cali-Colombia (lat. 3°26', long. -76°31' y alt. 995 msnm) while considering daylight admission. To achieve this objective, both type of facade rooms were simulated using the plug-in Diva for Rhino. The simulations results were compared. The results demonstrates that although the room with openwork walls seems to be less illuminated, glare is also less probable because of the control of excessive bright at people's visual field. In conclusion, if compared with those with conventional facade, the educative environments with openwork walls at facade have vantages from the visual comfort perspective since they contribute to diminish the daylight glare probability while keeping reasonable lighting levels.

Keywords: Architecture, openwork walls, visual comfort, daylighting glare.

1. INTRODUCCIÓN

La inclusión de superficies perforadas en edificaciones, históricamente, se remonta a la Arquitectura Islámica. El aprovechamiento de la ventilación natural, el control del registro visual, la inclusión de luz natural y el control de la incidencia de la radiación solar directa se evidencian en la implementación de superficies perforadas como parte de eficientes sistemas de fachadas de edificaciones localizadas en este contexto. La Mesquita de Córdoba, localizada en Córdoba- Andalucía (lat. 37°50'N, lon. 04°50'W y alt.120 msnm), España, representa un claro ejemplo de la inclusión de superficies perforadas en la fachada (ver fig. 1)



Figura 1 – Mesquita de Córdoba (Arqsustentable, 2015).

En la actualidad, principalmente en la franja tropical y gracias a beneficios técnicos, económicos, constructivos, entre otros, las superficies perforadas son altamente utilizadas en diferentes ambientes. Entre éstas, los muros calados representan un ejemplo altamente difundido. En Medellín-Colombia (lat. 6°14', long. -75°34' y alt. 1480 msnm), por ejemplo, existen al menos 5 empresas que ofrecen diversas variedades de bloques que conforman los muros calados. En el mercado se encuentran bloques con aberturas cuadradas, el circulares, rectangulares, en forma de trébol, entre otros. Las imágenes a continuación muestran varios prototipos de bloques calados.

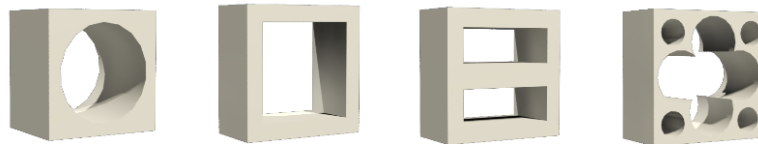


Figura 2 – Prototipos de bloques calados que se encuentran comúnmente en el mercado colombiano.

No obstante, además del sector residencial, la implementación de muros calados es más recurrente en el sector educativo, principalmente en el sector público, en el que suelen exigirse soluciones arquitectónicas de bajo costo y mantenimiento mínimo (ver fig. 3).



Figura 3 – Implementación de superficies perforadas en Colegios de Medellín. (a) Colegio empresarial Boston (b) Colegio Esfuerzos de Paz (c) Colegio la Sierra. Fuente: Fotografías de la arq. Laura Barón Correa

Para caracterizar, desde el punto de vista lumínico, el desempeño de ambientes educativos que incorporan muros calados en la fachada no es suficiente con identificar la admisión y distribución de iluminación natural al interior. Resulta estratégico ahondar en la probabilidad de deslumbramiento y en general, en las molestias causadas por la distribución de contrastes en el campo visual de los usuarios de estos ambientes. En la actualidad, varios autores llaman la atención sobre los retos y los avances

investigativos en esta área (Andersen, M. 2015; Van Den Wymelenberg, K., 2015; Wienold, 2009; Jackubiec, J., Reinhart, C., 2012). El *plug-in Diva* (Solemma LLC, 2015) para el programa *Rhinoceros*, resulta ser una herramienta útil para evaluar el desempeño lumínico de ambientes educativos que poseen muros calados en la fachada.

2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo consiste en, a través del uso del *Plug-in Diva* para uso en *Rhinoceros*, identificar las diferencias entre la probabilidad de deslumbramiento que se experimentaría en dos ambientes educativos, uno con fachada convencional y otro con fachada predominantemente en muro calado.

3. MÉTODO

Esta investigación posee un enfoque cuantitativo desarrollado a partir de simulaciones computacionales. Los análisis fueron realizados a partir de un método comparativo.

3.1. Modelos evaluados

Para el desarrollo de este trabajo fue definido, para a ciudad de Cali-Colombia (lat. 3°26', long. -76°31' y alt. 995 msnm), un salón hipotético de 6m de ancho * 10m de largo * 2,5m de altura, con su fachada más larga orientada al Este y un alero de 1,2m de ancho localizado a lo largo de la parte superior de la fachada.

Para los análisis fueron definidos dos tipos de fachada. La fachada convencional, en adelante llamada FC, que consiste en una ventana corrida con vidrio claro de 1m de altura y con un sillar de 1m (ver fig. 4). El área de la abertura es de 10m², es decir, la sexta parte del área del piso. Esto representa un déficit de 2m² de acuerdo con lo recomendado NTC4595 (Norma Técnica Colombiana, 1999) que para ambientes educativos localizados en una localidad geográfica con un clima como el de Cali, recomienda, desde el punto de vista de la iluminación natural, que las aberturas de la fachada sean del orden de la quinta parte del área de piso. Para este trabajo, no fueron considerados los lineamientos descritos en dicha Norma, pues además de que no se evidencia su estricto cumplimiento en el territorio colombiano, se ha demostrado que presenta varias ambigüedades e imprecisiones con relación al tamaño, proporción y disposición de aberturas y dispositivos de control solar (ARANGO D., L.; et all, 2013)

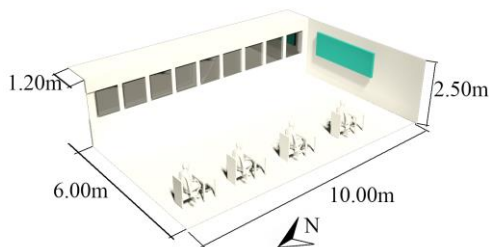


Figura 4 – Tipo de Fachada convencional - FC

La otra fachada, en adelante llamada MC, consiste en un muro calado con tres aberturas de 1,2m*1,2m uniformemente distribuidas a lo largo de la superficie. El bloque calado utilizado en esta fachada consiste en un bloque de 0,2m de alto * 0,2m de ancho * 0,15m de profundidad con una perforación horizontal de forma circular con 0,15m de diámetro. El área de las aberturas suma 10,36m², es decir, aproximadamente la sexta parte del área del piso. La imagen a continuación muestra la fachada MC.

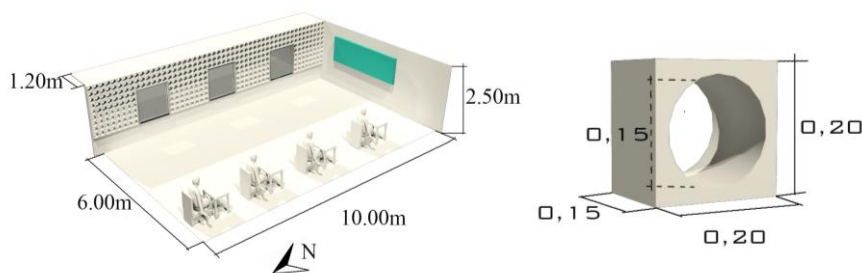


Figura 5 – Fachada con muro calado - MC

Para evaluar los modelos fue utilizado el *plug-in Diva* (Solemma LLC, 2015) en el programa *Rhinoceros*. En éste fueron realizadas evaluaciones del nivel lumínico y de la probabilidad de

deslumbramiento, haciendo uso del archivo climático, tipo epw, de la ciudad de Cali. En los modelos fueron incluidas abstracciones geométricas del mobiliario y de las personas que ocuparían el salón, tal como se ejemplifica en la figura a continuación:

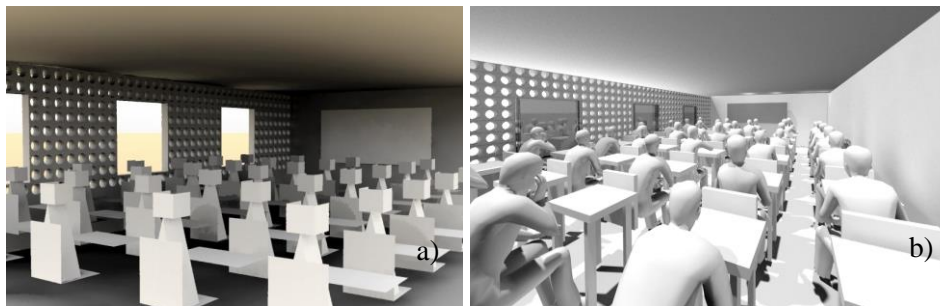


Figura 6 – a) Modelo con abstracciones de mobiliario y persona que ocupan el espacio del modelo con la fachada MC. b) Modelo realista con ocupación esperada.

Con relación a los materiales, en el programa, fueron especificados los siguientes parámetros de Radiance para materiales opacos: i)Alero = *GenericInteriorWall_50*, ii)techo = *GenericCeiling_80*, iii)Personas y Mobiliario = *GenericInteriorWall_50*, iv)muros = *GenericInteriorWall_50*, v)muros calados = *GenericInteriorWall_50*, vi)piso = *GenericFloor_20*, vii)tablero = *HighReflectanceCeiling_90*. Ya el material translúcido incluido en el modelo se consideró lo siguiente: Vidrio = *Glazing_Single_Plane_88*. En el caso de los materiales opacos, el número indica el índice de reflexión, mientras que en el vidrio el número hace referencia a la transmitancia luminosa.

Adicionalmente en el programa se especificó que los usuarios ocuparían siempre el espacio evaluado y que no podrían adaptar las condiciones del salón a fin de modificar el ambiente.

3.2. Evaluación del nivel lumínico

Para las evaluaciones del nivel lumínico fue dispuesta una malla de cálculo con puntos dispuestos cada 0,3m y localizada a 0,7m del piso. En el programa, fueron realizados dos tipos de evaluaciones:

-Simulaciones estáticas (*Daylight grid-based>Point-in-Time Illuminance*) en fechas y horarios específicos con un cielo despejado. Los resultados de estas evaluaciones resaltan, en colores “falsos”, la distribución lumínica en el plano de la malla de puntos (Diva for Rhino, 2015). Las simulaciones estáticas son útiles en la medida en que dan cuenta de la admisión y distribución de la luz natural en instantes específicos con un tipo de cielo definido por lo que posibilitan una mejor comprensión de la interacción entre el ambiente evaluado y las condiciones de cielo. Por esta razón, resultan útiles como complemento de las simulaciones dinámicas.

De acuerdo con la NTC 4595 (Norma Técnica Colombiana, 1999) el criterio de evaluación debe basarse en la necesidad de alcanzar niveles lumínicos superior a 300lux sobre el plano de trabajo.

- Simulaciones dinámicas DA (*Daylight grid-based>Daylight Authonomy*) con una iluminancia base de 300lx. (Diva for Rhino, 2015). Daylight Authonomy hace referencia al porcentaje del año analizado que cada punto de la malla de cálculo posee un nivel lumínico superior a un nivel de referencia, en este caso 300lux. Esto es un indicativo de la cantidad de tiempo que el ambiente no precisaría de iluminación artificial. (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006). Para este tipo de simulaciones, fue considerado en el software, una ocupación permanente durante todo el año.

Tanto para las simulaciones estáticas como para las dinámicas se estableció, en los parámetros de Radiance, un valor de $-ab=7$ (*ambient calculation=7*). El parámetro $-ab$ hace referencia al número de reflexiones difusas consideradas el componente de cálculo de luz indirecta de Radiance.

3.3. Evaluación de deslumbramiento

Para las evaluaciones de probabilidad de deslumbramiento, fueron establecidos 4 posiciones (P1, P2, P3, P4) al interior del salón, todos mirando a un punto específico en el tablero. La altura de los ojos se estableció a 1,1m del piso. La Figura 7 se muestra la localización de los observadores al interior del salón:

En el programa fueron realizadas dos tipos de evaluaciones:

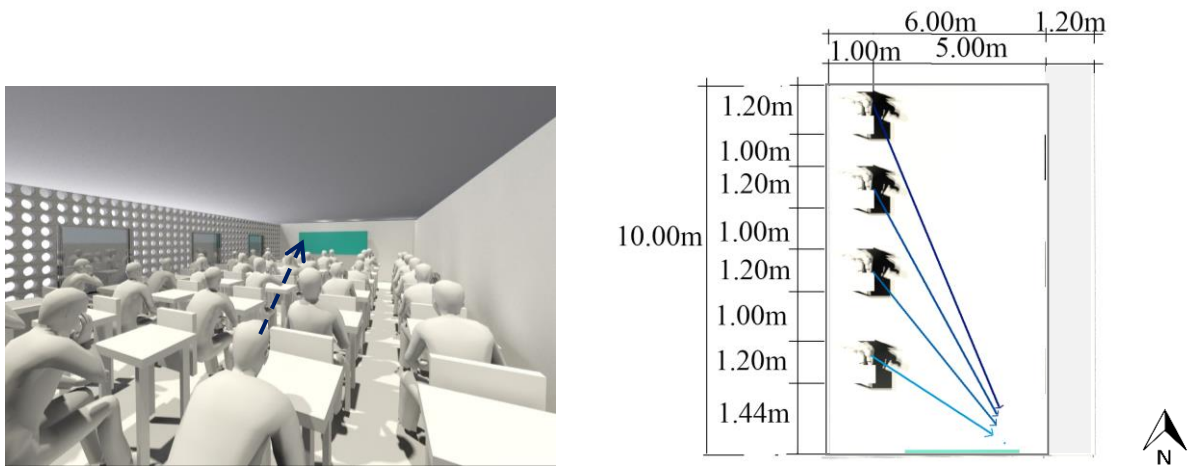


Figura7 – Localización de los observadores evaluados.

-Evaluación de la distribución de luminancias en el campo visual (*Daylight image-Visualization*) en fechas y horarios específicos con un cielo despejado. Los resultados de estas evaluaciones, muestran la distribución de luminancias en el campo visual, haciendo uso de una cámara ojo de pez 180° (Diva for Rhino, 2015).

-Evaluación de DGP-*Daylight Glare Probability* (Wienold, 2010) durante todo el año (*Daylight image-Annual Glare*). En este tipo de evaluación, el programa analiza, hora a hora para un año, el nivel de deslumbramiento. El resultado muestra un gráfico en el que se resalta en colores las épocas del año en las que el observador podría experimentar deslumbramiento imperceptible, deslumbramiento perceptible, deslumbramiento perturbador o deslumbramiento intolerable (Diva for Rhino, 2015).

Para ambas evaluaciones se estableció, en los parámetros de *Radiance*, un valor de $-ab=4$. El cambio del valor de este parámetro con relación a lo expuesto en el ítem 3.2 Evaluación del nivel lumínico, obedece a la necesidad de disminuir los tiempos de la simulación dentro del cronograma de la investigación. No obstante, si bien el valor $-ab=7$ garantiza resultados más exactos, el valor $-ab=4$ se considera suficiente para este tipo de simulaciones (Wienold, 2010).

3.4. Tratamiento de datos

Los resultados de las evaluaciones del modelo MC fueron comparadas con las del modelo FC a fin de establecer las diferencias, desde el punto de vista del nivel lumínico y del deslumbramiento, en ambos salones de clase. Las comparaciones fueron realizadas a través de tablas que recogen las imágenes en planta de las simulaciones lumínicas, las imágenes del campo visual y gráficos de la probabilidad de deslumbramiento a lo largo del año.

4. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de las evaluaciones.

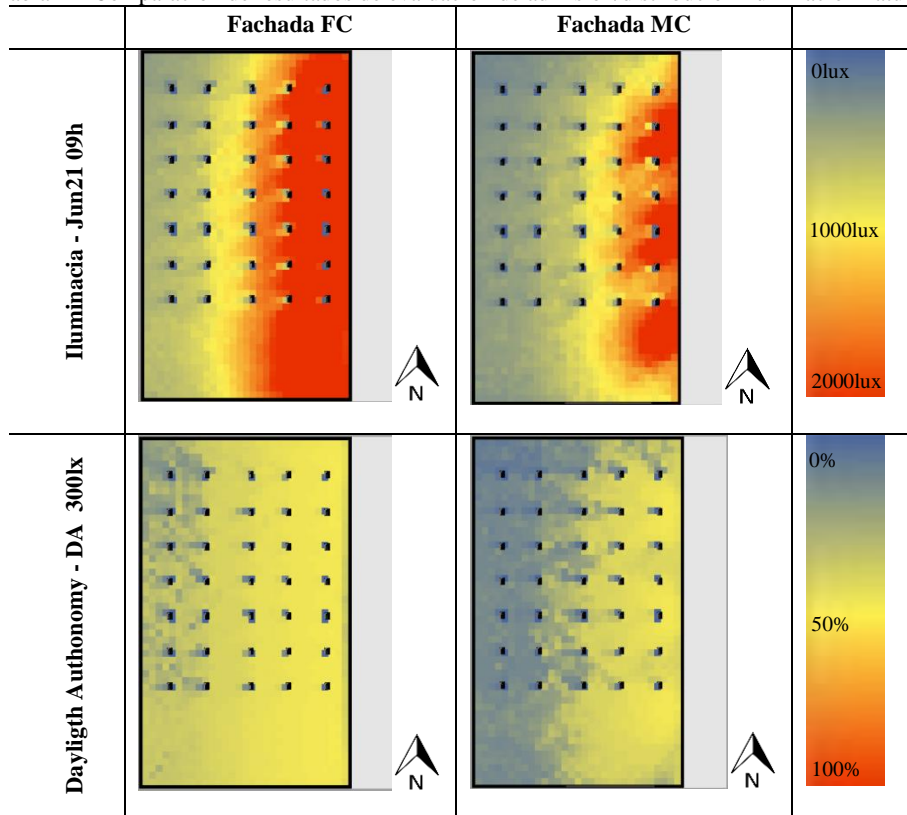
4.1. Iluminancia

La Tabla 1 muestra, a manera de comparación, los resultados de las evaluaciones de Iluminancia y de DA-*Daylight Authonomy*. En el caso de las evaluaciones de iluminancia, se muestran, a manera de ejemplo, los resultados para Junio 21 a las 09horas con cielo despejado. Las imágenes muestran que aparentemente la Fachada FC posee mejores resultados en términos de autonomía de la luz natural (45% aproximadamente en casi la totalidad de la malla de cálculo). El ambiente con muro calado posee una Autonomía de luz Natural – DA de 45% aprox. en las zonas del salón adyacentes a la fachada y 15% aprox. en la zona más profunda. A pesar de esto las imágenes también evidencian que el ambiente con fachada FC podría presentar mayor variación en el nivel de iluminación e iluminancias más altas en la zona adyacente de la fachada y probablemente mayor deslumbramiento en las dos filas más cercanas a la fachada.

Las imágenes muestran que aparentemente la Fachada FC posee mejores resultados en términos de autonomía de la luz natural (45% aproximadamente en casi la totalidad de la malla de cálculo). El ambiente con muro calado posee una Autonomía de luz Natural – DA de 45% aprox. en las zonas del salón adyacentes a la fachada y 15% aprox. en la zona más profunda.

Si bien es cierto que para concluir esto con mayor nivel de certeza es necesario realizar otros chequeos, en varios horarios y fechas, sobre el plano de trabajo, también llama la atención sobre la interpretación que se le da a la autonomía de la luz natural.

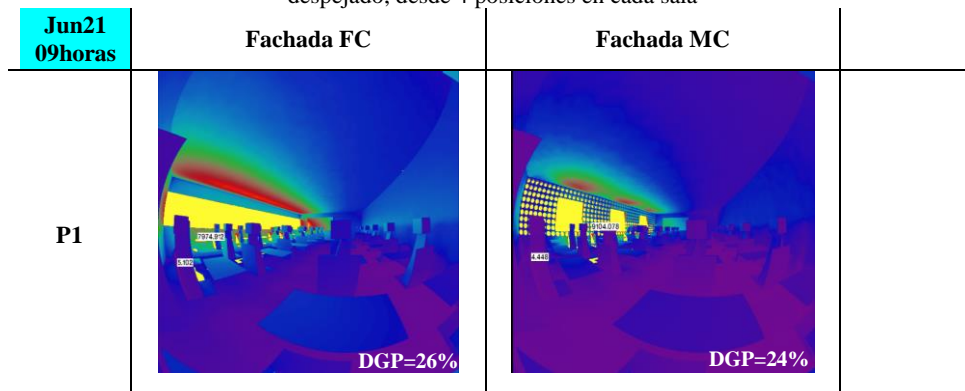
Tabla 1 – Comparación de resultados de evaluación de admisión/distribución iluminación natural

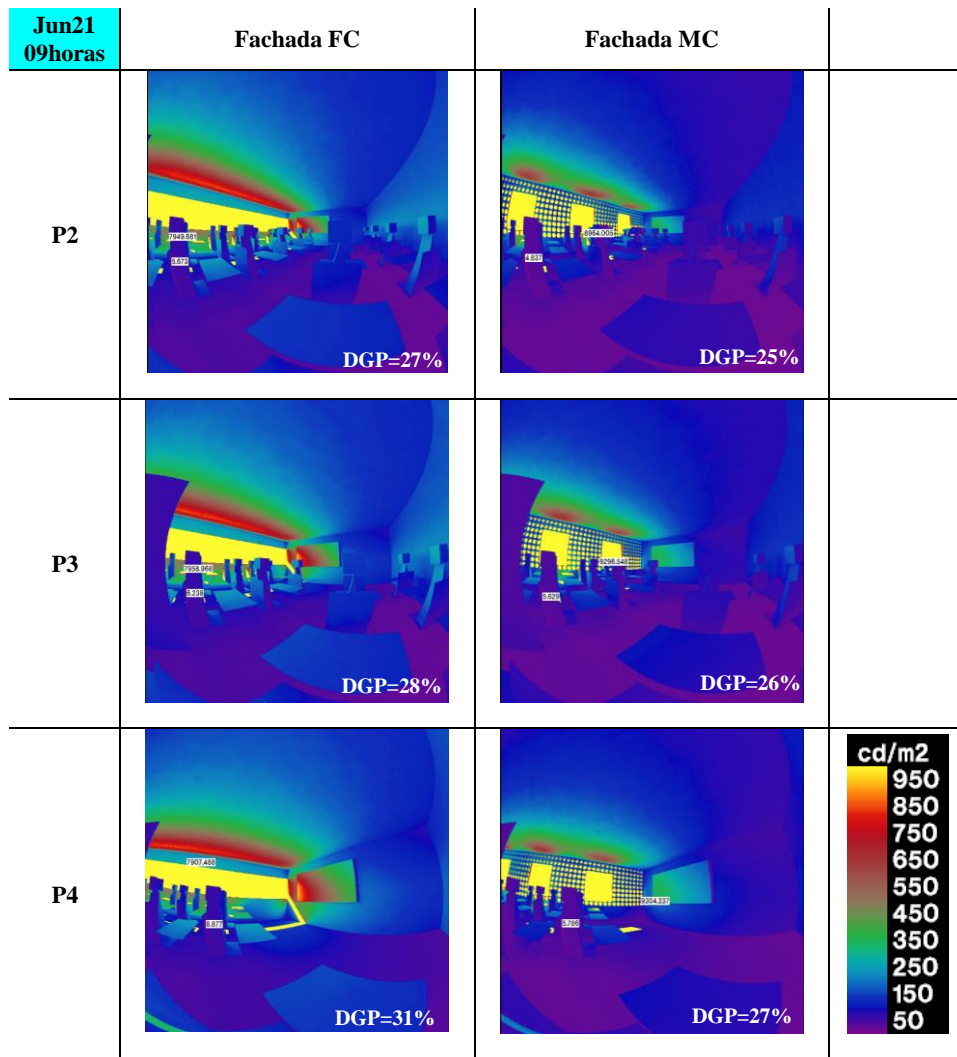


4.2. Deslumbramiento

La tabla 2 muestra la comparación de la distribución de luminancias sobre el campo visual de los 4 “observadores” así como la probabilidad de deslumbramiento-DGP (%) considerando un cielo despejado para Junio 21 a las 9horas. A pesar de las diferencias en la distribución de luminancias en el capo visual de los puntos evaluados en el salón con ambos tipos de fachadas, en los resultados no se evidencian diferencias significativas en el porcentaje de personas que experimentarían deslumbramiento en ambas condiciones. Las diferencias más altas ocurren en la posición P4, es decir, la más cercana al tablero que es la superficie observada.

Tabla 2 – Comparación de resultados de evaluación de distribución de luminancias sobre el campo visual, junio 21_09h_cielo despejado, desde 4 posiciones en cada sala





En la tabla 3, se muestra la comparación del resultado de las evaluaciones de *anual glare* de las posiciones P1 y P2 del ambiente con ambas fachadas. Los gráficos muestran en el eje “x” los meses del año, en el eje “y” las horas del día y en las intersecciones, resaltado con colores, el rango de la sensación que generaría la probabilidad de deslumbramiento. Las intersecciones resaltadas en color rojo indican valores de DGP superiores a 45%, es decir, deslumbramiento intolerable. Las resaltadas en color naranja indican valores de DGP entre 40% y 45%, es decir, deslumbramiento perturbador. Las intersecciones resaltadas en amarillo indican valores de DGP entre 35% y 40%, es decir, deslumbramiento perceptible. Ya las zonas del gráfico resaltadas en verde indican las épocas del año en que el deslumbramiento es imperceptible, es decir con valores de DGP entre 0% y 35%. Adicionalmente, la tabla muestra el porcentaje de tiempo, que entre la franja de las 7h y las 10h de todo el año, los valores de DGP superan el 40% y el DGP promedio en esa misma franja de tiempo. Esta franja fue seleccionada a fin de reducir el análisis a los horarios más críticos registrados a lo largo del año y evidenciar las diferencias de manera más significativa.

A pesar de la escasa diferencia evidenciada en la Tabla 2, la Tabla 3 muestra resultados más contundentes en cuanto a la sensación que se podrían experimentar en los salones con ambas fachadas evaluadas. Comparando por posición, en todos los casos la probabilidad de deslumbramiento a lo largo del año, el promedio y el porcentaje de tiempo que el DGP resulta perturbador o intolerable (superior a 40%) es mayor en los casos con fachada FC que en los casos de fachada MC. Por ejemplo, la posición más cercana al tablero, P4, del salón con fachada FC presenta la gráfica con mayores inconvenientes entre las 7h y las 10h, así como el mayor promedio de DGP entre las 7h y las 10h (39%) y la mayor frecuencia de probabilidad de obtener deslumbramiento perturbador o intolerante (37,4%). Entre tanto, los resultados de la posición P4 del salón con fachada MC son muy similares a los de la posición P1 del salón FC, es decir, la peor condición evaluada en el salón con fachada MC es muy similar a la más favorable del salón FC. Cabe resaltar que más allá de los valores, la distribución de la sensación a lo largo del año posee variaciones significativas según el tipo de fachada principalmente en Mayo, Junio y Julio.

Adicional a lo anterior, en la Tabla 3 cabe resaltar que, entre la misma posición de observador de ambos ambientes, la alta variación de los valores de “% tiempo (7h-10h) COM DGP>40%” comparada con la baja variación de los valores de “PROM_DGP(7h-10h)” se debe a que, en términos generales durante gran parte de tiempo al año, en el ambiente de fachada MC se logran disminuir altos valores de DGP mas no siempre se eliminan completamente.

Tabla 3 – Comparación de resultados de evaluación probabilidad de deslumbramiento (DGP) a lo largo del año.



Tabla 3 – Comparación de resultados de evaluación probabilidad de deslumbramiento (DGP) a lo largo del año.



5. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo consistió en comparar, en términos del nivel lumínico y de la posibilidad de deslumbramiento debido a la luz natural, dos espacios de similares características pero con fachadas diferentes. Uno de ellos, denominado FC, poseía una fachada convencional con una ventana corrida mientras que el otro, denominado MC, poseía una fachada que combinada tres aberturas principales con un muro

calado compuesto de bloques con abertura circular. Ambas opciones tenían similares áreas de abertura en la fachada.

Desde el punto de vista de los niveles lumínicos, los resultados de DA-*Daylight Autonomy* en la sala con fachada convencional, FC, aparentemente son más adecuados que los de la sala con fachada en muro calado, MC, pues presenta una mayor superficie del plano de trabajo con autonomía de luz natural durante aproximadamente el 45% del tiempo. No obstante, y a pesar de que para concluir de manera más determinante es necesario realizar un mayor número de simulaciones computacionales en diversas fechas y con diversos tipos de cielo, el salón con fachada convencional, FC, podría presentar niveles lumínicos excesivos durante gran parte de las horas de la mañana en la zona adyacente en la fachada. Esto significa que, debido a la configuración de la fachada, el bloque calado ayudaría a controlar el ingreso de rayos solares y de exceso de luz y en consecuencia en las zonas alejadas de la fachada el espacio permanece ligeramente más oscuro.

Con relación a los análisis de deslumbramiento, si bien son necesarias evaluaciones de diferentes posiciones, principalmente adyacente a la zona de la fachada, para obtener conclusiones más definitivas, en todas las posiciones se evidenció que el bloque calado contribuye con la disminución de la probabilidad de deslumbramiento si se compara con el espacio de la fachada típica. Esto se debe a que en el campo visual de los observadores, el bloque calado atenúa el área visible de la bóveda celeste que puede incrementar la probabilidad de deslumbramiento al tiempo que minimiza los brillos y reflejos molestos al interior.

Todo lo anterior indica que el muro calado dispuesto en la fachada principal mostró potencial para disminuir la probabilidad de deslumbramiento toda vez que el objeto o superficie visualizada por los observadores requiera que en gran parte del campo visual aparezca la fachada. De acuerdo con esto, en términos visuales y lumínicos, se puede concluir que las ventajas de los muros calados dispuestos en fachada sobre las ventanas comunes que sumen igual área de abertura, radican en su capacidad distribuir a lo largo de la fachada “las fuentes” de luz al tiempo que controlan el ingreso de rayos solares y que reducen el área de cielo visible por los observadores, lo que significa menor probabilidad de deslumbramiento. No obstante es importante resaltar que el tamaño de la abertura del bloque calado influye de manera determinante en el nivel lumínico y por tanto debe tenerse cuidado con éste principalmente en caso de que existan obstrucciones externas, como árboles, elementos de protección solar o edificaciones que “suplan” la principal ventaja de éste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSEN, M. Unweaving the human response in daylighting design. **Building and Environment**. V. 91. 2015
- ARANGO D., Lucas; GIRALDO V., Natalia; CANO, V. Laura; ARENILLA C.; Alexandra C. Revisión de las recomendaciones sobre comodidad visual en ambientes escolares descritas en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4595. **Dearq**, v. 13, p. 94-105, dic 2013. Disponible en <<http://dearq.uniandes.edu.co/fascicles/2013/universidades-y-territorio>> Último acceso en 19 de Abril de 2015.
- JACKUBIEC, J.; REINHART, C. The ‘adaptive zone’ – A concept for assessing discomfort glare throughout daylight spaces. **Lighting, Research and Technology**. 2012
- NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. **Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares, NTC 4595**. Bogotá: Icontec, 1999. Disponible en <http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-96894_Archivo_pdf.pdf>. Último acceso en 19 de Abril de 2015.
- REINHART, Christoph F.; MARDALJEVIC, Jhon; ROGERS, Zack. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design: NRCC-48669. **Leukos**, Canada, v. 3, n. 1, 2006.
- VAN DEN WYMELENBERG, Kevin. Visual Comfort, Discomfort Glare, and Occupant Fenestration Control: Developing a Research Agenda. **Leukos**, Canada, 2014.
- WIENOLD, Jan. Dynamic Daylighting Glare Evaluation. In: Building Simulation 2009. Escocia, 2009.
- WIENOLD, Jan. **Daylight Glare in offices**. Fraunhofer Institute for Solar Energy System ISE, 2010.
- Arqsustentable. **Arquitectura Islámica**. Disponible en <http://www.arqsustentable.net/irq_islamica.html> Último acceso en 10 de Abril de 2015
- Diva for Rhino. **User Guide**. Disponible en <<http://diva4rhino.com/user-guide>>. Último acceso en 19 de Abril de 2015
- Solemnia LLC. **Diva for Rhino**. Disponible en <<http://www.solemnia.net/index.html>>. Último acceso en 19 de Abril de 2015

AGRADECIMENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de San Buenaventura, Medellín, por posibilitar los escenarios para desarrollar esta investigación.