

Estrategias de diseño pasivo con luz día en cuartos de hospitalización doble

Lina J. Zapata-González

Magister in sustainable habitat and energy efficiency; Faculty of architecture, construction and design; University of the Bío-Bío; Concepción, Chile.

zglina@hotmail.com

M. Beatriz Piderit-Moreno

Magister in sustainable habitat and energy efficiency; Faculty of architecture, construction and design; University of the Bío-Bío; Concepción, Chile.

mpiderit@ubiobio.cl

ABSTRACT: Shared hospitalization rooms (DHR) demand high levels of natural lighting and a proper visual comfort since daylight provides benefits to the health of a patient. The aim of this study is to establish guidelines for the use of passive design strategies (PDS) with daylight in (DHR), in a cold, semi-humid climate. The first stage defined the factors that have certain influence in the patients' visual comfort, the recommended levels for these factors, and its evaluation metrics. An explanatory methodology was applied on the second stage through a case study, in which simulation tools were used as instruments to assess the DHR involved in it. The third stage consisted on proposing (PDS) to the study case, which then were evaluated through simulation tools. Radiance software was used as algorithm engine, and programs as Daysim, Evalglare, and Ecotect were applied for data visualization. Through the creation of the integration diagram for lighting performance indicators for HOSPITALS, four PDS proximate to the expected optimal outcomes were found. Being the intermediate horizontal ledges with an internal penetration length of 0.80m, an external penetration of 0.80m, and 0.40m for the floor-screed clearance height of 2.40m and 2.7m, the ones that presented a better performance as strategies of daylight catchment and preventing glare. The conclusion corresponding to this study is that due the varied weather conditions and the unidirectional lighting of the space, the design of the façade must consider the window's dimension and position, and the strategies for light catchment consistent with the place.

Keywords *daylight, visual comfort, hospitals*

1. INTRODUCCIÓN

Los cuartos de hospitalización son una unidad de análisis compleja, en ellos, la iluminación natural interviene en las condiciones de confort de los pacientes y en la disminución del consumo energético. Así, los hospitales deben considerar como factor clave de diseño la luz natural, en donde la ventana permita que penetre tanto como sea posible (Salonen et al., 2013a). La luz del día mejora el sueño, reduce el estrés, alivia el dolor, aumenta la sensación de libertad y la visión de las personas de edad (Salonen et al., 2013b). Y se ha demostrado su capacidad para aumentar el suministro de vitamina D en el cuerpo (Mead, 2008). En estudios realizados directamente en salas de hospitalización, los investigadores Shepley, Gerbi, Watson, & Imgrund (2009) sugieren que las ventanas pueden reducir los síntomas de psicosis en la Unidad de Cuidados Intensivos, y se encontró que los pacientes con una vista panorámica de la ventana hacia la naturaleza fueron más satisfechos que los que tienen una vista bloqueada (Raanaas, Patil, & Hartig, 2012). En el 2012 se verificó que la duración de estancia del paciente se reduce en 7.3 horas por cada 100 lx de aumento de la iluminancia de la luz natural, mientras se mantengan constantes algunas variables explicativas, como la presión arterial media, la frecuencia cardíaca y la diabetes mellitus (Joarder & Price, 2012).

La revisión de la literatura demuestra los beneficios de la luz natural, sin embargo, existe un número limitado de publicaciones centradas en el confort visual de los pacientes y la relación entre el diseño de los cuartos y la ventana asociada. El objetivo de este estudio fue establecer lineamientos para el uso de estrategias de diseño pasivo lumínicas (EDP) en cuartos de hospitalización doble (CHD), ubicados en un clima frío semihúmedo. La investigación tuvo como estudio de caso el Hospital de Caldas S.E.S. ubicado en Manizales - Colombia. El área de hospitalización tiene cinco pisos, 3ro y 4to de ocupación doble y 5to de ocupación individual. Por la amplitud del estudio se seleccionaron los CHD más representativos, localizados en el 4to piso y en la zona media de la planta, ya que no existe diferencia entre un 8vo y 16vo piso y sí existe diferencia entre las habitaciones ubicadas en los extremos de la planta (Choi, 2005). Se eligieron cuatro CHD - Figura 1, 404 y 421 con riostra y 410 y 415 sin riostra.

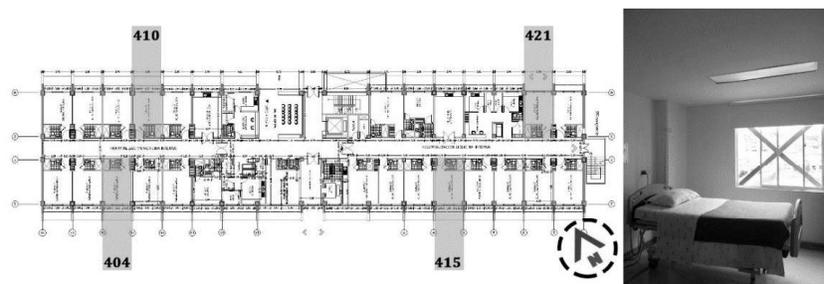


Figura 1. Planta 4to piso. Hospital Departamental de Caldas. Cuarto de hospitalización 421.

Manizales se caracteriza por ser de clima bimodal, cada año tiene dos temporadas secas que parten desde los solsticios y dos húmedas a partir de los equinoccios (Duque Escobar, 2014). Tiene un promedio de 222 días con lluvias, una temperatura promedio de 17°C, un total de 1530mm de precipitación anual, una humedad relativa del 84% y un promedio de brillo solar de cuatro horas al día. La clasificación climática se realizó con la metodología de Caldas - Lang por ser de uso común en el país (República de Colombia. Ministerio de Ambiente & Instituto de Hidrología, 2005) p. 78.

2. METODOLOGÍA

2.1 Parámetros lumínicos de evaluación

La primera etapa definió los parámetros que influyen en el confort visual de los pacientes, los niveles recomendados y su métrica de evaluación (Choi, Beltran, & Kim, 2012) (Piderit & Besser, 2013). Estas se dividen en dos grupos – Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros lumínicos de evaluación en CHD

MEDIO AMBIENTE LUMÍNICO		EFICIENCIA ENERGÉTICA
ILUMINANCIA	Factor de luz día (DF)	Autonomía de la luz día (DA) Demanda energética por iluminación (DE)
	Nivel de iluminancia (E)	
	Superficie “en rango de iluminancias” (UDI)	
	Distribución de iluminancias: El factor de uniformidad máxima o extrema (Umáx) El factor de uniformidad media (Umed)	
LUMINANCIA	Distribución de luminancias: Luminancia en la pared de fondo del televisor (L_TV) Probabilidad de deslumbramiento por luz día (DGP)	

Los parámetros lumínicos estudiados que inciden sobre el confort visual de los pacientes son la iluminancia y la luminancia. La iluminancia (E) que mide la cantidad de luz que llega sobre una superficie de trabajo, tiene importancia en los CHD porque garantiza los niveles mínimos para que los pacientes reciban la luz del día y accedan a los beneficios para la salud y el bienestar de ésta. La luminancia (L) que mide la cantidad de luz reflejada hacia los ojos del observador, es importante en los CHD porque garantiza un buen contraste entre los objetos de la tarea y el fondo. La autonomía de la luz día y la demanda energética por iluminación son los parámetros lumínicos que inciden sobre la eficiencia energética del edificio, considerando el potencial de ahorro energético por el aprovechamiento de la luz natural y el desuso de la luz artificial en el día.

Se utilizó como métrica de evaluación y como herramienta metodológica de síntesis, la integración de indicadores de desempeño lumínico en un tablero para evaluaciones de iluminación natural (Piderit & Besser, 2013). En el tablero propuesto por Piderit y Besser se integran seis indicadores con su escala de valor numérica y se pueden leer fácilmente a través del uso del color. En la Tabla 2, se muestran 5 de ellas, sabiendo que la escala de valor de la demanda energética se ajustó a las necesidades de la investigación:

Tabla 2. Integración de indicadores de desempeño lumínico en un tablero. Escala de valor - Color

Indicador	Malo	Regular	Aceptable	Bueno	Excelente
DF	<2	>20	2-5	10-20	5-10
DA	<20	20-40	40-60	60-80	>80
UDI	<20	20-40	40-60	60-80	>80
Emed	<200	>5000	200-300	2000-5000	300-2000
Umed	<0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	>0.5

Fuente: (Piderit & Besser, 2013)

Esta investigación evaluó además de las anteriores, el Umáx, la L_TV, la DGP para el paciente uno y dos y adaptó la escala de valor de la DE a las necesidades espaciales de los CHD, por lo cual, se vincularon las escalas de valor de la siguiente manera:

2.1.1. Factor de uniformidad máxima o extrema.

Sabiendo que El Umáx es el resultado de la iluminancia máxima sobre la iluminancia mínima de los valores obtenidos en el plano de trabajo analizado y no debe exceder una relación

5:1. Umáx = Emáx/Emin y que además no hay lineamientos específicos para los hospitales, se utilizaron en los cuartos de hospitalización valores recomendados para un plano de trabajo; estableciendo un relación <5 como valor óptimo y una relación cuatro veces su valor, es decir, mayor a >20 como el peor de los casos y se escala proporcionalmente entre el peor y el mejor de los casos.

Tabla 3. Factor de uniformidad máxima. Escala de valor - Color

>20	15 - 20	10 - 15	5 - 10	<5
-----	---------	---------	--------	----

2.1.2. Luminancia en la pared de fondo televisor.

Teniendo en cuenta que la relación de luminancias entre la luminancia mínima y máxima en la pared del fondo del televisor se estableció con una relación máxima de 40 a 1 referido a todo el campo de visión, se asumen los valores recomendados por Stein, B. and Reynolds, J.S. 2000. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, ninth edition. New York. John Wiley & Sons, Inc. Citados en (Choi, 2005) de 20 a 1 entre las luminarias y las superficies adyacentes a ellas como excelente, por la importancia de la pared del televisor en el campo visual del paciente, como buena la relación 40 a 1 por presentarse como relación máxima y finalmente se propone el doble del valor con una relación máxima de 80 a 1 como malo, escalando proporcionalmente entre el peor y el mejor de los casos.

Tabla 4. Relación de luminancias Pared TV. Escala de valor - Color

>80	60 - 80	40 - 60	20 - 40	<20
-----	---------	---------	---------	-----

2.1.3. Probabilidad de deslumbramiento por luz día

La probabilidad deslumbramiento por luz día propuesta por Wienold, tiene ya su escala de valor propia en términos humanos, calificando el deslumbramiento dentro del campo de visión como imperceptible <35%, perceptible entre el 35% -40%, perturbador entre el 40% -45%, e intolerable >45% citado en (Piderit, Bodart, & Norambuena, 2011) p. 778. Por lo cual, se asume esta calificación combinando las dos últimas casillas de la escala de valor con el color rojo.

Tabla 5. Probabilidad de deslumbramiento por luz día. Escala de valor - Color

>45	40 - 45	35 - 40	<35
-----	---------	---------	-----

Fuente: (Piderit et al., 2011)

2.1.4. Demanda energética

Es la demanda energética (DE) necesaria para suplir los requerimientos de iluminación al interior del espacio, en los casos en que la iluminación natural no alcance el objetivo mínimo de 300lux, y por lo tanto requiera iluminación artificial. La medida es el porcentaje de tiempo que se requiera iluminación artificial.

Se asumió un sistema de iluminación artificial adoptándose la propuesta de iluminación para un cuarto típico de hospitalización de 4.6 x 5.5 x 2.8m del (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) & Comité Español de Iluminación (CEI), 2001), éste logra un nivel de iluminación de 375lux y una potencia instalada de lámparas más equipo de 206w por habitación; correspondiente en este caso a 11.2w/m² ya que los CHD tienen un área de 18.4m². El periodo de ocupación de seis de la mañana a seis de la tarde da un total de 4380 horas anuales. La Tabla 6 muestra el cálculo de la DE anual teniendo en cuenta la potencia instalada, el periodo de ocupación y los metros cuadrados. Se utiliza la

escala de valor propuesta por (Piderit & Besser, 2013) Tabla 7, en donde un porcentaje menor al 20% es óptimo y representa una baja demanda de energía, contrario a un porcentaje del 80% que representaría una alta demanda de energía. La relación de escala Tabla 7, está determinada con base en la potencia instalada calculada en la Tabla 6.

Tabla 6. Demanda energética anual - kWh/m²año

CHD	w	Ocupación h/año	m ²	w/m ²	kWh/año	kWh/m ² año
404 - 410 - 415 - 421	206	4380	18.4	11.20	902.3	49.0

Tabla 7. Demanda energética. Escala de valor - kWh/m²año

>49	37.8 - 49	24.6 - 36.8	12.4 - 24.5	<12.3
-----	-----------	-------------	-------------	-------

2.2 Diagrama de integración de indicadores de desempeño lumínico para hospitales

Surge como resultado de combinar las escalas de valor propuestas por (Piderit & Besser, 2013) y vincular las escalas de valor en la relación de luminancias en la pared del televisor y el factor de uniformidad máxima o extrema y adaptar la escala de valor de la demanda energética.

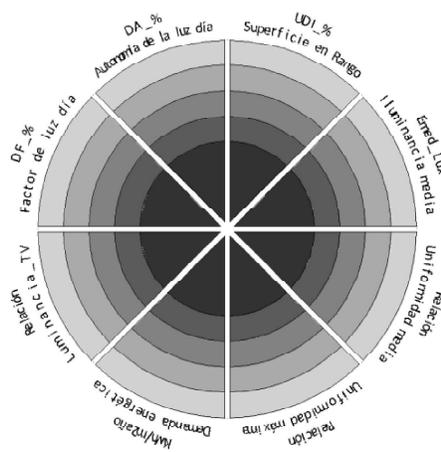


Figura 2. Diagrama de integración de indicadores de desempeño lumínico para HOSPITALES

A este diagrama, no se le vincula la probabilidad de deslumbramiento por luz día, teniendo en cuenta la importancia de evidenciar los resultados para cada paciente en los momentos representativos del año, sin embargo, se le acompaña de los resultados en la parte inferior para ayudar a la toma de decisiones.

2.3 Evaluación del estudio de caso.

La segunda etapa evaluó los CHD de estudio, a través de herramientas de simulación. Se utilizó como motor de cálculo el software Radiance, a través de los programas Daysim y Evalglare, así como Ecotect para visualización de datos, teniendo en cuenta las limitaciones del Ecotect en el cálculo de reflexiones, la consideración de los tipos de cielo y la evaluación del deslumbramiento. La ventaja principal de las métricas de rendimiento dinámico (como Radiance) en comparación con las métricas estáticas (como Ecotect) es que consideran la cantidad y el carácter de las variaciones diarias y estacionales de la luz del día para una obra determinada, junto con eventos meteorológicos irregulares (Reinhart, Mardaljevic, & Rogers, 2006).

2.2.1 Parámetros de simulación

Se identificaron dos tipos de cielo característicos en Manizales: cielo cubierto en los equinoccios por ser el inicio de las temporadas de lluvias y cielo intermedio en los solsticios por ser el inicio de las temporadas de sequías. Mediante análisis estático se evaluó la E y L_TV en marzo, junio y diciembre a las 9, 12 y 17 horas y el DGP en junio y diciembre a las 9, 12 y 17 horas por ser innecesario calcularlo para cielo cubierto. Mediante análisis dinámico se evaluó el DF, DA, UDI y DE, sabiendo que éste permite examinar resultados anuales de manera general y rápida. Para el análisis estático y dinámico se utilizaron los parámetros de simulación de la Tabla 8. En la simulación del DF, DA y UDI realizado a través de Daysim, no se asumió el horario de verano pues no aplica para la posición geográfica, la ocupación se calculó de lunes a viernes desde las 6 hasta las 18 horas sin tiempo de descanso, con una ocupación anual de 3132 horas y una E mínima requerida de 300lux, sin instalación dinámica de sombreado.

Tabla 8. Parámetros Radiance - Daysim

Ambient bounces	Ambient divisions	Ambient super-samples	Ambient resolution	Ambient accuracy	Limit reflection	Direct jitter
5	1000	20	300	0.1	6	0

Fuente: (Tagliabue, Buzzetti, & Arosio, 2012)

Para determinar las dimensiones de las grillas de análisis y su ubicación, se estudiaron los ángulos visuales típicos de los pacientes en los CHD. La iluminancia se midió sobre un plano de trabajo horizontal, mediante una grilla de 4.20m de largo por 3.50m de ancho con 113 sensores cada 0.35m, a una distancia de 1.1m por ser la altura típica de una cama médica - Figura 3. La L_TV se midió sobre una grilla vertical de 4.20m de largo por 1.75m de alto sobre la pared del fondo del televisor con 78 sensores cada 0.35m; y el DGP se midió con el ángulo de visión del paciente 1 y 2 al televisor- Figura 4.

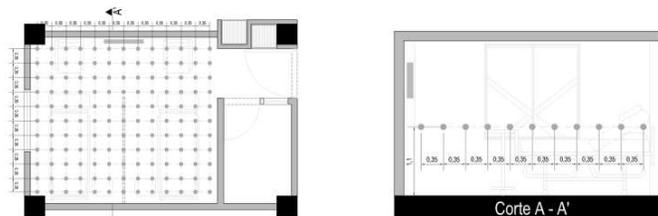


Figura 3. Grilla de análisis. Iluminancia. Planta y Corte A - A'

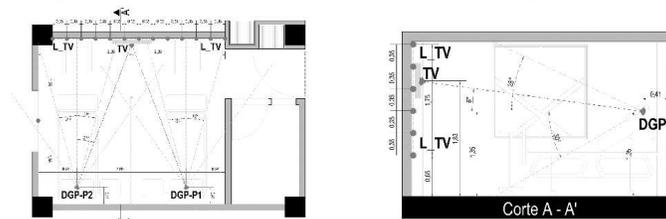


Figura 4. Grilla de análisis. L_TV y DGP P1 - P2. Planta y Corte A - A'

Se incluyó el mobiliario en las simulaciones y se midió el factor de reflexión de las superficies, ya que los valores de luz previstos en los espacios arquitectónicos antes y después de la ocupación, presentan cambios significativos en la Emed y el DF (Alzoubi, 2010). Las mediciones se realizaron según la norma oficial mexicana NOM-025-STPS- 2008 (Estados Unidos Mexicanos & Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2008).

2.4 Estrategias de diseño pasivo propuestas.

La tercera etapa consistió en proponer EDP al caso de estudio, evaluándolas a través de herramientas de simulación. Se tomó como referencia la guía de diseño energético avanzado para grandes hospitales (ASHRAE (2012)). En respuesta, se plantearon EDP sobre la fachada en relación a la dimensión y materialidad de la ventana:

2.3.1 Dimensión.

Conocido que el problema de los CHD fue el bajo nivel de iluminancia, se propuso: 1) Extender la ventana hasta la pared del televisor con la misma altura, buscando ampliar el campo visual al exterior y aumentar la captación de la luz día. 2) Extender la ventana de pared a pared con la misma altura, buscando ampliar el campo visual al exterior, aumentar la captación de luz día y mejorar la uniformidad de la iluminancia. 3) Extender la ventana de pared a pared y hasta el techo con una altura libre de 2.70m, buscando ampliar el campo visual al exterior, aumentar la captación de la luz día y mejorar la uniformidad.

Las EDP aplicadas en los CHD - Tabla 9 - fueron divididas en tres grupos, estas parten de la modificación de la dimensión de la ventana y se nombraron como: 1_dimensión, 2_dimensión y 3_dimensión; a cada una de estas estrategias se les implementó una repisa horizontal externa e intermedia con diferentes dimensiones. La estrategia de diseño pasivo tres, que aumenta la altura libre de la habitación se propuso con el ánimo de generar conocimiento para futuros hospitales. También se estudiaron las EDP 1_Dimensión, 2_Dimensión y 3_Dimensión en el CHD 415, cambiando la orientación de 27° que tiene el caso de estudio hasta 0°, en busca de identificar el impacto de la orientación de la fachada en el desempeño lumínico de los CHD.

Tabla 9. Estrategias de diseño pasivo aplicadas al diseño de la ventana

EDP	Dimensión de la ventana	Repisa horizontal (RH)	Dimensión de la RH	Ubicación de la RH
1_Dimensión	1.50x2.60m	No aplica	No aplica	No aplica
1_Repisa horizontal externa	1.50x2.60m	Externa	0.80x3.00m	Externa 0.80m
1_Repisa horizontal intermedia 1	1.50x2.60m	Intermedia	1.20x3.00m	Ext. 0.80m – In. 0.40m
1_Repisa horizontal intermedia 2	1.50x2.60m	Intermedia	1.60x3.00m	Ext. 0.80m – In. 0.80m
2_Dimensión	1.50x3.70m	No aplica	No aplica	No aplica
2_Repisa horizontal externa	1.50x3.70m	Externa	0.80x4.00m	Ext. 0.80m
2_Repisa horizontal intermedia 1	1.50x3.70m	Intermedia	1.20x4.00m	Ext. 0.80m – In. 0.40m
2_Repisa horizontal intermedia 2	1.50x3.70m	Intermedia	1.60x4.00m	Ext. 0.80m – In. 0.80m
2_Repisa horizontal intermedia 3	1.50x3.70m	Intermedia	0.80x4.00m	Ext. 0.40m – In. 0.40m
2_Repisa horizontal intermedia 4	1.50x3.70m	Intermedia	1.20x4.00m	Ext. 0.40m – In. 0.80m
3_Dimensión	1.80x3.70m	No aplica	No aplica	No aplica
3_Repisa horizontal externa	1.80x3.70m	Externa	0.80x4.00m	Ext. 0.80m
3_Repisa horizontal intermedia 1	1.80x3.70m	Intermedia	1.20x4.00m	Ext. 0.80m – In. 0.40m
3_Repisa horizontal intermedia 2	1.80x3.70m	Intermedia	1.60x4.00m	Ext. 0.80m – In. 0.80m
3_Repisa horizontal intermedia 3	1.80x3.70m	Intermedia	0.80x4.00m	Ext. 0.40m – In. 0.40m
3_Repisa horizontal intermedia 4	1.80x3.70m	Intermedia	1.20x4.00m	Ext. 0.40m – In. 0.80m
1_Dimensión girada 27°	1.50x2.60m	No aplica	No aplica	No aplica
2_Dimensión girada 27°	1.50x3.70m	No aplica	No aplica	No aplica
3_Dimensión girada 27°	1.80x3.70m	No aplica	No aplica	No aplica

2.3.2 Materialidad

La reflectancia de las superficies se aumentó del 0.77 al 0.80, suponiendo un mejor mantenimiento de las paredes.

3. RESULTADOS

3.1 Resultado análisis lumínico estudio de caso.

El análisis lumínico de los cuatro CHD mostraron un nivel intermedio aceptable en el DF; excelentes niveles de Emed anual, sin embargo, sólo se alcanzan los niveles mínimos en el 58% del año y el análisis gráfico evidenció incumplimiento de la Emed para el paciente 1 en todo el año; incumplimiento del factor de Umed y Umáx; una DA buena para el paciente dos y regular para el paciente uno; excelentes contrastes en la L_TV, e inexistencia DGP - Figura 5. En conclusión se evidenció la necesidad de presentar estrategias de diseño pasivo para mejorar la captación de la iluminación natural y la distribución de iluminancias, tratando de disminuir la brecha en las condiciones del confort visual entre el paciente uno y dos. Además, se encontraron resultados similares en los CHD 404 y 415 por su ubicación suroccidental y en los CHD 410 y 421 por su ubicación nororiental, por consiguiente, se eligieron los CHD 410 y 415 para evaluar las EDP. Este análisis también esclareció que hay poca diferencia en el comportamiento de las variables analizadas para el confort lumínico entre las habitaciones con riostra y las habitaciones sin riostra.

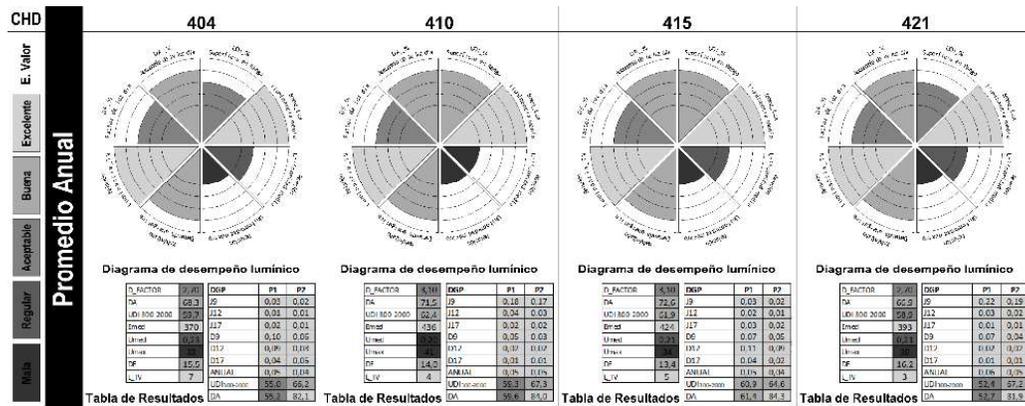


Figura 5. Comparación gráfica CHD estudio de caso. Escala de valor

3.2 Resultado análisis lumínico estrategias de diseño pasivo propuestas.

La Tabla 10, evidencia similitud de desempeño en todas las EDP y una tendencia de mejoramiento en los resultados, si se compara el diagnóstico base con cada una de las EDP, se nota que los valores se van ajustando a los óptimos esperados, hasta estabilizarse en las EDP_3 y sus versiones, exceptuando el UDI 300-2000.

Tabla 10. Resultados de análisis lumínico. Escala de Valor - Color

EDP	CHD 404												CHD 415																								
	BASE	1.0	1.1	RHE 1	RHH1 1	RHH2 1	2.0	2.1	RHE 2	RHH2 2	RHH3 2	RHH4 2	3.0	3.1	RHE 3	RHH3 3	RHH4 3	RHH5 3	1.0c	2.0c	3.0c																
D_FACTOR	3.1	5.8	4.2	3.4	3.1	8.2	5.9	4.7	4.3	5.5	5.1	9.7	7.6	6.0	5.2	6.8	6.0	3.1	5.8	4.2	3.4	3.1	8.2	5.9	4.7	4.2	5.6	5.1	9.6	7.5	6.0	5.2	6.8	6.0	5.8	8.2	9.6
DA	71.5	85.7	83.3	80.7	78.8	90.1	88.2	86.3	84.9	87.3	86.1	92.3	91.3	90.1	88.7	90.7	89.4	72.6	86.3	83.9	81.5	79.7	90.7	88.8	87.0	85.4	88.0	86.8	92.7	91.8	90.7	89.3	91.2	90.1	85.7	90.5	92.6
Emed	62.4	63.2	63.9	65.5	66.0	53.2	56.1	59.8	62.0	58.8	60.6	46.8	48.3	52.6	57.4	51.9	56.6	61.9	60.2	61.8	64.4	65.3	51.7	54.7	58.7	61.1	57.2	59.4	45.0	46.4	50.5	55.3	49.8	54.3	62.1	53.7	46.8
Umed	436	821	560	467	412	1174	794	651	580	782	543	1387	1039	842	708	976	836	436	805	596	472	436	1130	831	664	597	757	696	1312	1040	827	722	906	809	871	1226	1434
Umáx	0.20	0.27	0.30	0.30	0.27	0.29	0.31	0.29	0.28	0.28	0.32	0.34	0.37	0.32	0.34	0.20	0.23	0.28	0.32	0.30	0.24	0.27	0.31	0.34	0.29	0.28	0.27	0.30	0.35	0.37	0.35	0.36	0.23	0.26	0.26	0.26	0.26
DF	41	24	15	14	13	13	11	11	11	12	12	7	7	7	9	9	9	41	20	16	12	13	13	13	12	9	9	11	12	12	9	6	7	8	7	8	
L_TV	13.9	7.0	8.2	9.4	10.4	4.8	5.8	6.7	7.4	6.2	6.8	3.8	4.3	4.8	5.5	4.6	5.2	13.4	6.7	7.9	9.1	9.9	4.5	5.5	6.4	7.1	5.9	6.5	3.6	4.0	4.6	5.2	4.3	4.9	7.0	4.7	3.6
UDI	4					7	6	9	9	9	9	5	6	8	9	7	8	5	9	9	11	13	7	6	8	9	7	8	5	5	7	8	6	7	9	7	6

3.2.1 Análisis gráfico comparativo de las estrategias de diseño pasivo

El análisis comparativo de las EDP mediante la herramienta metodológica integradora de indicadores de desempeño lumínico en un tablero para evaluaciones de iluminación natural en hospitales, permitió seleccionar los mejores resultados de los CHD 410 y 415. En la

Figura 6, se observan las cuatro mejores EDP propuestas. Estas se seleccionaron del CHD 415 por la igualdad en los resultados anuales de desempeño lumínico para el CHD 410 y 415, siendo la única diferencia el DGP en el CHD 415.

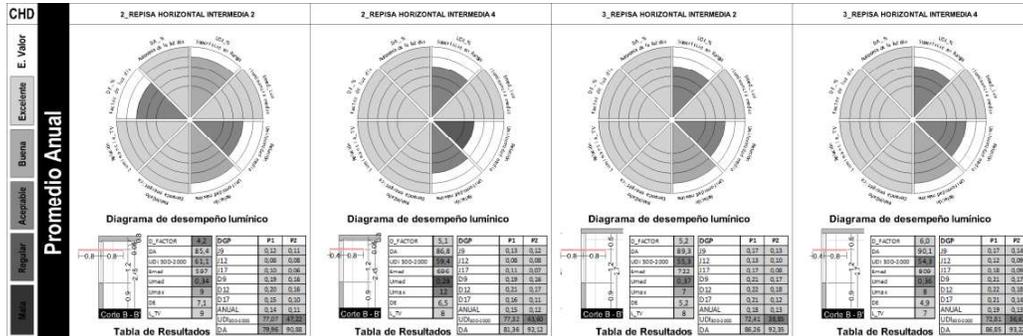


Figura 6. Comparación EDP con mejores resultados en la escala de valor

El análisis comparativo evidenció: La EDP 2_REPISA HORIZONTAL INTERMEDIA 2 en comparación con la EDP 2_REPISA HORIZONTAL INTERMEDIA 4, presentan mayor Umed y Umáx, mayor porcentaje UDI, pero también menor DF y mayor costo por la dimensión de la repisa, mientras que la EDP 2_RHI 4 tiene menor costo por la dimensión de la repisa. Una revisión a profundidad de la Emed, el Umed y el Umáx en las épocas de análisis establece que la EDP 2_RHI 2, tiene mejor comportamiento en estos valores. La EDP 3_REPISA HORIZONTAL INTERMEDIA 2 en comparación con la EDP 3_REPISA HORIZONTAL INTERMEDIA 4, presenta igualdad de desempeño lumínico en los promedios anuales, por lo cual, en primera instancia se podría decir que el factor diferencial está en el costo de la repisa por su dimensión. Sin embargo, una revisión a profundidad de la Emed, el Umed y el Umáx establece que la EDP 3_RHI 4, tiene mejor comportamiento en estos valores. La EDP 2_REPISA HORIZONTAL INTERMEDIA 2 en comparación con la EDP 3_REPISA HORIZONTAL INTERMEDIA 4, presenta mayor UDI, mientras que la EDP 3_RHI 4 presenta mayor DF, con una UDI regular para el paciente dos. Aunque la EDP 3_RHI 4 presenta menor costo de la repisa por su dimensión, tiene mayor costo por el área de la ventana y la superficie construida.

4. CONCLUSIONES

Se encontró recomendable utilizar el diagrama de integración de indicadores de desempeño lumínico para HOSPITALES como herramienta para sintetizar la diversidad de resultados. Con ello, se logró identificar cuatro estrategias que se acercan a los resultados óptimos esperados. De las 19 estrategias de diseño pasivo aplicadas al diseño de la fachada y la ventana se pudo identificar que las repisas horizontales intermedias con una longitud de penetración en el local de 0.80m y externa de 0.80m y 0.40m para alturas libres de entrepiso de 2.40m y 2.70m respectivamente, tuvieron mejor desempeño como estrategias de captación de la luz día y prevención del deslumbramiento; aunque el UDI, el Umed y Umáx estuvieron en un rango bueno - aceptable sin llegar nunca a un nivel excelente, demostrando que con una iluminación unidireccional es difícil alcanzar los mínimos recomendados. Además, se encontró que no es necesario estudiar la fachada norte y sur de manera independiente en una latitud tan cercana a la línea del ecuador (5°N), ya que se obtuvo el

mismo desempeño lumínico anual para el DF, DA, UDI, Emed, Umed y Umáx, DE y L_TV en los CHD 410 y 415; aun así, se recomienda estudiar el DGP de forma independiente, pues se evidenciaron resultados diferentes para los pacientes uno y dos. Junto a esto encontró que un giro de 27° grados en la orientación de la fachada de los CHD, no presenta cambios significativos en el desempeño lumínico en comparación al mismo CHD orientado en un ángulo de 0°.

REFERENCIAS

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), & Comité Español de Iluminación (CEI). (2001). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Hospitales y Centros de Atención Primaria*. Madrid: Publicaciones Técnica IDAE.
- República de Colombia. Ministerio de Ambiente, V. y. D. T., & Instituto de Hidrología, M. y. E. A. I. (2005). *Atlas Climatológico de Colombia: IMPRENTA NACIONAL DE COLOMBIA*.
- Alzoubi, H. A.-R., Sana'a; BATAINEH, Rula F. (2010). *Pre-versus post-occupancy evaluation of daylight quality in hospitals*. *Building and Environment*, 45(12), 2652-2665.
- ASHRAE. (2012). *Advanced Energy Design Guide for Large Hospitals (The American Institute of Architects, Illuminating Engineering Society of North America & U.S. Green Building Council and U.S. Department of Energy Eds.)*. Atlanta: ASHRAE.
- Choi, J.-H., Beltran, L. O., & Kim, H.-S. (2012). *Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility*. *Building and Environment*, 50, 65-75.
- Joarder, A., & Price, A. D. (2012). *Impact of daylight illumination on reducing patient length of stay in hospitals after coronary artery bypass graft surgery*. *Lighting Research and Technology*, 1477153512455940.
- Mead, M. N. (2008). *Benefits of sunlight: a bright spot for human health*. *Environmental health perspectives*, 116(4), A160.
- Raanaas, R. K., Patil, G. G., & Hartig, T. (2012). *Health benefits of a view of nature through the window: a quasi-experimental study of patients in a residential rehabilitation center*. *Clinical rehabilitation*, 26(1), 21-32.
- Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). *Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design*. *Leukos*, 3(1), 7-31.
- Salonen, H., Lahtinen, M., Lappalainen, S., Nevala, N., Knibbs, L. D., Morawska, L., & Reijula, K. (2013a). *Design approaches for promoting beneficial indoor environments in healthcare facilities: a review*. *Intelligent Buildings International*, 5(1), 26-50.
- Salonen, H., Lahtinen, M., Lappalainen, S., Nevala, N., Knibbs, L. D., Morawska, L., & Reijula, K. (2013b). *Physical characteristics of the indoor environment that affect health and wellbeing in healthcare facilities: a review*. *Intelligent Buildings International*, 5(1), 3-25.
- Tagliabue, L. C., Buzzetti, M., & Arosio, B. (2012). *Energy Saving Through the Sun: Analysis of Visual Comfort and Energy Consumption in Office Space*. *Energy Procedia*, 30, 693-703.
- Piderit, B., & Besser, D. (2013). *INTEGRATION OF LIGHTING PERFORMANCE INDICATORS INTO A DASHBOARD FOR DAYLIGHTING ASSESSMENTS*. Paper presented at the 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28.
- Piderit, B., Bodart, M., & Norambuena, T. (2011). *A Method for integrating visual comfort criteria in daylighting design of school*. Paper presented at the Architecture and Sustainable Development, Proceedings of PLEA, Louvain-la-Neuve. Bélgica.
- Choi, J.-H. (2005). *STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN INDOOR DAYLIGHT ENVIRONMENTS AND PATIENT AVERAGE LENGTH OF STAY (ALOS) IN HEALTHCARE FACILITIES* Tesis para acceder al título de: Master of Science. Texas, Estados Unidos de Norte América: Texas A&M University.
- Duque Escobar, G. (2014, Junio 9). *Acecha El Niño fortalecido por el calentamiento global - See more at: <http://www.lapatria.com/columnas/32/acecha-el-nino-fortalecido-por-el-calentamiento-global>*. LA PATRIA, 1-1.
- Estados Unidos Mexicanos, & Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2008). *NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.* Retrieved from <http://www.ucof.mx/content/cms/13/file/NOM/Nom-025.pdf>.