

CONFORT VISUAL EN ESPACIOS INTERIORES ILUMINADOS CON LUZ NATURAL EN CLIMAS SOLEADOS. MODELOS TEÓRICOS Y VALORACIONES SUBJETIVAS.

J. Yamin¹, A. Pattini².

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – CRICYT C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza
Tel. 0261-4288797 – Fax 0261-4287370 e-mail: jyamin@mendoza-conicet.gov.ar

RESUMEN:

Los sistemas de acondicionamiento natural y las tecnologías de control solar de envolventes, requieren un análisis del confort visual experimentado por sus usuarios. Esto es crítico cuando dichos sistemas iluminan directamente espacios donde se realizan tareas con exigencias visuales altas (oficinas, aulas, ect) por dos aspectos principales: 1-Cantidad de luz: los niveles de iluminancia aportados por la luz natural deben superar un valor mínimo para asegurar la funcionalidad visual. 2-Confort visual, cuando los sistemas admiten sol o altos contrastes, los usuarios bloquean la luz natural por deslumbramiento, generando espacios sombríos y con mayores consumos de electricidad. En este trabajo se estudia el confort visual a partir del deslumbramiento. Los modelos teóricos utilizados en trabajos previos del LAHyV no correlacionaron con las respuestas subjetivas adecuadamente. Por lo que se profundizará en el tema de predicción de deslumbramiento y su ajuste con las respuestas de los usuarios particularmente en climas soleados.

Palabras clave: iluminación natural, confort visual, climas soleados, deslumbramiento.

INTRODUCCIÓN

Generalmente se asume que las personas prefieren la luz natural dentro de los edificios, siempre y cuando no este acompañada de desconfort térmico o de posibles deslumbramientos originados por esa fuente de iluminación solar. El grado de valoración positiva a luz del natural depende de muchos factores locales, entre ellos el clima, la cultura y prejuicios. Las consideraciones respecto a los aspectos térmicos de la luz solar y su control han empezado a incorporarse a la práctica del diseño de edificios. Sin embargo los aspectos visuales relacionados a luz del sol no son suficientemente considerados aún, debido a que los distintos autores informan la necesidad de contrastar estos modelos teóricos con un mayor número de investigaciones subjetivas que permitan conocer la concordancia o inferir nuevos factores que deban posteriormente ser incorporados a los modelos para un mejor ajuste. El desconfort visual puede constituirse como una barrera para la utilización de estrategias de iluminación natural, llegando a extremos de anular todo aporte de luz natural (*figura 1*) y promover la dependencia del uso de iluminación artificial diurna.

En comparación con la luz eléctrica, los rangos de luminancia producidos por la luz solar y la iluminación natural en el interior variarán enormemente. Los rangos de luminancia en el interior permanecerán relativamente constantes para las condiciones de iluminación de un cielo cubierto, a pesar de los cambios de la iluminación externa, pero en el caso de la penetración de rayos del sol, el control será necesario, particularmente en zonas de trabajo ante la presencia de luminancias en el campo visual con valores superiores a los límites marcados por la luminancia de adaptación del sujeto (Dubois 2002).

El confort visual está influenciado principalmente por el nivel de iluminancia del espacio, el índice de deslumbramiento y la distribución espacial de la luz natural (Anon 2000). La capacidad de los usuarios de los edificios de adaptarse a las condiciones dinámicas del ambiente es muy importante. Las condiciones luminosas en un local iluminado con luz natural pueden cambiar drásticamente entre el exterior y el interior y en el interior cuando en éste hay luz solar. Por otra parte, el sistema visual humano tiene mecanismos físicos, neurales y fotoquímicos para adaptarse a las cambiantes condiciones de la iluminación (Rea, 2000). Si bien, la visión humana puede adaptarse a un amplio rango de condiciones de iluminación (del orden de 10^{10} desde el umbral de percepción escotópica hasta el límite absoluto de deslumbramiento fisiológico), sólo puede adaptarse rápidamente a rangos del orden de 10^3 .

1 Becaria CONICET

2 Investigadora independiente CONICET

También puede decirse que el confort visual es una condición que expresa satisfacción con el ambiente visual. Sus aspectos básicos son: 1- Cantidad necesaria de luz: luz suficiente y necesaria para ver, el aspecto cuantitativo. La cantidad de luz puede proveer la visibilidad requerida (estamos satisfechos con el ambiente visual si podemos verlo correctamente). 2- Calidad de luz: otro aspecto es la eliminación de efectos molestos o perturbadores conectados a la iluminación, es decir, su aspecto cualitativo. Confort significa que los efectos perturbadores están limitados o no están. Los factores que lo afectan son: Uniformidad de la iluminación, luminancia óptima, ausencia de deslumbramiento, adecuadas condiciones de contraste, percepción correcta de colores, ausencia de intermitencias de luz (parpadeo)

Por otra parte, es importante considerar que una persona puede realizar una tarea visual con eficiencia pero no en confort. La eficiencia estima resultados de la realización de una tarea visual en función de la precisión y el tiempo. En tanto el confort hace referencia a los aspectos psicofísicos de la relación observador-entorno.

El confort visual es complejo y ha sido estudiado por años, principalmente en edificios no residenciales. El mayor cuerpo teórico y por ende los modelos de predicción han sido estudiados y elaborados a partir de condiciones de iluminación artificial (Osterhaus 2005) y focalizada en su factor más relevante: el deslumbramiento.

La IESNA define al deslumbramiento como la sensación producida por luminancias dentro del campo visual suficientemente mayores a la luminancia a la que el sistema visual está adaptado como para causar molestia, incomodidad o pérdida en el funcionamiento visual y la visibilidad. (IESNA, 2000).

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) además de definirlo de modo similar a la anteriormente, explicita los dos tipos diferentes de deslumbramiento: 1- El discapacitante o fisiológico que provoca un deterioro de las funciones visuales, causando la pérdida de sensibilidad para captar los contrastes y 2- El disconfortante o psicológico, tipo de molestia visual que conduce a una sensación subjetiva de malestar. Es el resplandor o brillo que produce una sensación desagradable, sin que sea necesario impedir la visión. (CIE 1987).

Al deslumbramiento a menudo se lo relaciona a la luz natural generado por: 1- Nivel alto de iluminación de la radiación directa solar o de la bóveda de cielo (cuando está en cualquier parte del campo visual del observador); 2- Reflexión secundaria de luz en superficies internas y externas, caracterizadas por alto factor de reflexión (Figura 2). Por otra parte, las personas residentes en climas con cielos soleados son más tolerantes a la presencia de contrastes de luminaria importantes aún en presencia de deslumbramiento por iluminación solar no totalmente controlada si éste no está asociado al confort térmico y a condición de tener vistas al exterior interesantes y que se sientan libres de cambiar de orientación o moverse de las manchas de sol.



Figura 1: ventanas pintadas para sacar la luz del campo de visión



Figura 2: contrastes molestos en el campo de visión



Figura 3: sombras en el plano de trabajo

Los factores del medioambiente que afectan la respuesta al deslumbramiento son: la luminancia de adaptación del observador. La luminancia de objetos y superficies brillantes en el campo visual. El número y tamaño de las fuentes y su posición en el campo visual. Los Cambios transitorios de luminancias. Las proporciones de contrastes. A partir de esos factores es posible calcular el complejo fenómenos del deslumbramiento descripta en la fórmula general de deslumbramiento (1)

$$G = L_s \omega_s / L_b f(\psi) \quad (1)$$

Dónde:

L_s Luminancia de la fuente

ω_s ángulo sólido subtendido por la fuente

L_b Luminancia del fondo que corresponde a la luminancia de adaptación del observador

$f(\psi)$ factor de posición

A partir de esta fórmula general, se desprenden los modelos más difundidos que son:

Modelos de deslumbramiento para iluminación artificial

Probabilidad de confort visual (VCP de sus siglas en inglés Visual Comfort Probability) derivados de los trabajos de Luckiesh y Holladay (1925) y Luckiesh and Guth (1949).

Índice de Deslumbramiento (IES glare index) basado en los trabajos de Hopkinson and Bradley, 1926, 1929, 1960, Hopkinson, 1949, 1963 y Hopkinson and Collins, 1963.

Estos modelos no son válidos para niveles extremos de luminancia (cielo claro con sol) tamaños grandes de fuentes o situadas en un plano vertical (ventanas).

Los modelos más recientes para evaluación de deslumbramiento son el CIE glare index (CGI) desarrollado por el comité técnico de la Comisión Internacional de Iluminación. Este modelo incorpora la adaptación del observador a través de la iluminancia vertical directa en el ojo.

El Índice de Deslumbramiento unificado (UGR Unified glare rating). Igualmente elaborado por el comité técnico de la CIE bajo la coordinación de Sorensen, Es un método de cálculo más simple y por lo tanto muy utilizado. Se limita a fuentes con ángulos sólidos entre 3×10^{-4} y 1×10^{-1} equivalentes a áreas proyectadas de entre 0.005 m² and 1.5 m².

Modelos de deslumbramiento para iluminación natural

El índice de deslumbramiento por iluminación natural (DGI Daylight Glare Index) fue desarrollado por Hopkinson, 1963 y completado por Chauvel et al., 1998) para fuentes grandes y uniformes. Resultaron en una ecuación conocida como la Fórmula Cornell. Las fuentes individuales se suman determinando el deslumbramiento total. Sus limitaciones son: No cubre fuentes no uniformes porque se desarrolló para uniformes (Waters et al., 1995). No predice correctamente en situaciones como cuando la fuente se acerca a 2π sr, o cuando las luminancias de figura y fondo son iguales. (Inoue and Itoh, 1989.)

Nazzal Propone en 2004 un nuevo índice de deslumbramiento con luz natural (NDGI) basado en la fórmula de Cornell con los mismos parámetros básicos y difiere en la determinación de la fuente de luminancia y los ángulos sólidos La luminancia de fondo se reemplaza por la luminancia de adaptación debido a su influencia en el deslumbramiento disconfortante.

En sus conclusiones advierte que el deslumbramiento disconfortante puede ser predicho matemáticamente, pero que son necesarias investigaciones subjetivas de deslumbramiento con luz natural en distintas regiones del mundo para ajustar y mejorar el modelo teórico. (Nazzal 2004)

El grado de deslumbramiento disconfortante percibido puede ser medido de manera subjetiva con la escala denominada GSV (por sus siglas en inglés: Glare Sensation Vote) (Iwata, 1998) (Bellia, 2000). EL GSV obtenido para iluminación natural correlaciona con valores de DGI para visión central. (Tokura, 1996).

Actualmente dos herramientas han sido propuestas para evaluar el ambiente luminoso a través de mapeos de luminancia, por una parte el modelo de predicción RADIANCE posee un módulo de evaluación de deslumbramiento denominado EVALGLARE que incluye los modelos de deslumbramientos mencionados con anterioridad facilitando su predicción y por otra parte la técnica de mapeos de luminancia a partir de imágenes de alto rango dinámico (HDR) (Newsham, G.R,2010).Ambas herramientas pueden ser procesadas en una segunda etapa en RADIANCE (Doyle, S., Reinhart, C. ,2010).

La tabla que se presenta a continuación. Tabla (1), muestra como los diferentes modelos de predicción de deslumbramiento se diferencian entre sí. La comparación se hace a partir de los siguientes aspectos: tamaño de la fuente de deslumbramiento, ángulo sólido medido es estereorradianes, uniformidad de la fuente, estado de adaptación del observador e índice de posición del observador respecto a la fuente.

Modelos	Tamaño de la fuente	Ang. sólido	Uniformidad	Estado de adaptación del observador	Índice de posición
VCP Visual Comfort probability	Pequeñas	Aparente menor a 0.01 sr	Uniforme	Luminancia media del campo de visión	Índice de posición de Guth
CGI CIE Glare Index	Pequeñas	Aparente menor a 0.01 sr	Uniforme	Iluminancia vertical al ojo	Índice de posición de Guth
UGR Unified Glare Rating	Pequeñas	Aparente de 3×10^{-4} sr a 1×10^{-1} sr	Uniforme	Luminancia de fondo: Luminancia media del campo de visión sin la fuente de deslumbramiento.	Índice de posición de Guth
BGI British Glare Index	Pequeñas	Aparente menor a 0.027 sr	Uniforme	Luminancia de fondo No la tiene en cuenta	Índice de posición de Guth
DGI Daylight Glare Index	Grandes luminancia de la fuente reemplazada por la luminancia de la ventana	Mayor a 0.01sr corregido por la posición del observador	Uniforme	Luminancia media de fondo	Ángulo sólido corregido por el factor de posición p
NDGI New Daylight Glare Index	Grandes	Mayor a 0.01sr aparente y corregido incluyen el efecto del valor de configuración ϕ	Uniforme	Luminancia de los alrededores incluyendo reflexiones de las sup. internar	Ángulo sólido corregido por el factor de posición p
PGSV probability Glare Sensation Vote	Grandes	Escala subjetiva que correlaciona sus valores con DGI			
DGP Discomfort Glare Probability	Grandes	Mayor a 0.01sr aparente		Iluminancia vertical a la posición de los ojos	Índice de posición de Guth
RADIANCE	Pequeñas y grandes	Incluye los modelos VCP, UGR, CGI Y para luz natural DGP y DGI			

Tabla 1: tabla comparativa de los modelos de predicción de deslumbramiento

En estos trabajos previos conducidos en el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, se ha encontrado que no hay una correlación estadísticamente significativa entre la predicción teórica de discomfort con las respuestas subjetivas llevadas a cabo con la técnica de encuestas y diferencial semántico, por lo que se considera pertinente profundizar en el análisis detallado y sistemático del tema propuesto previo a recomendar y utilizar a nivel local y regional, los modelos teóricos de predicción de deslumbramiento. (Rodríguez, R., Pattini, A. 2010)

Es importante destacar, que este caso de estudio, forma parte de la propuesta metodológica para la medición de deslumbramiento en espacios no residenciales en condiciones de iluminación natural, correspondiente al plan de Beca de Posgrado Tipo I CONICET. (Yamin 2012-2014).

METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL PLAN DE TRABAJO

- 1- Búsqueda de Antecedentes, y construcción detallada del marco teórico.
- 2- Aprendizaje y puesta a punto de los modelos de predicción de deslumbramiento con luz natural contenidos en el EVALGLARE de RADIANCE.
- 3- Aprendizaje y puesta a punto de la construcción de mapeos de luminancia a partir de la técnica de Imágenes de Alto Rango dinámico (HDR) y mediciones de luminancias puntuales de validación.
- 4- Adaptación del protocolo de evaluación subjetiva de deslumbramiento percibido en laboratorio de Christoffersen, J y Wienold;J. (Report ECCO-DBUR-0303-01, 2005).
Reinamidas32R

- 5- Diseño de experimento para evaluación de eficiencia de tarea visual, incluyendo tarea con pantalla de visualización de datos y consideración del tiempo de realización de la misma con variación de luminancias en el campo visual.
- 6- Revisión e identificación de situaciones de iluminación natural de espacios no residenciales usuales en la región. Se partirá de experiencias previas y en desarrollo en el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda como en escuelas, oficinas y bibliotecas.
- 7- Preparación del laboratorio para el ensayo y pruebas piloto.
- 8-Toma de datos en laboratorio: Mapeos de luminancia y mediciones luminotécnicas (iluminancia horizontal, vertical y cilíndrica y luminancias de control) Los datos serán repetidos por períodos estacionales para su posterior comparación al menos dos procedimientos completos por estación.
- 9- Procesamiento de datos en EVALGLARE. Identificación y predicción de fuentes de deslumbramiento teórico.
- 10- Aplicación del protocolo de mediciones subjetivas preparado en el punto 4 y ajustado en el punto 7.
- 11- Tratamiento estadístico de los datos obtenidos y análisis correlacionado de modelos predictivos teóricos y mediciones subjetivas.
- 12- Análisis de los resultados en función de la tolerancia resultante de las mediciones subjetivas y los valores teóricos evaluados de discomfort visual identificados.
- 13- Elaboración de conclusiones y discusión de factores posibles de incorporar a los modelos para mejorar el ajuste teórico con las apreciaciones subjetivas.

ESTADO ACTUAL DEL PLAN DE TRABAJO

Hasta el momento se ha iniciado la revisión bibliográfica del tema. Identificación e estudio teórico de deslumbramiento y discomfort visual, permitiendo identificar aquellos aspectos que podrían influir en la sensación de deslumbramiento y que los modelos no tienen analizados en su totalidad. Particularmente en situaciones de iluminación natural y en climas con sol.

Por otra partes se realizo el diseño y construcción de remodelaciones del laboratorio de experimentos luminotécnicos del LAHV a fin de adaptarlo a las evaluaciones psicofísicas propuestas en el plan de trabajo. *Figura 4*. El recinto se ha puesto a punto para poder simular el trabajo de oficina, este consta de dos locales experimentales idénticos. *Figura 5*, equipados con un escritorio y un ordenador. Cada oficina tendrá la posibilidad de variar el tamaño de sus ventanas (variable 1) y modificar la línea de visión (variable 2) los valores será contrastados con respuestas subjetivas de los usuarios.



Figura 4: Box CCT-Mendoza

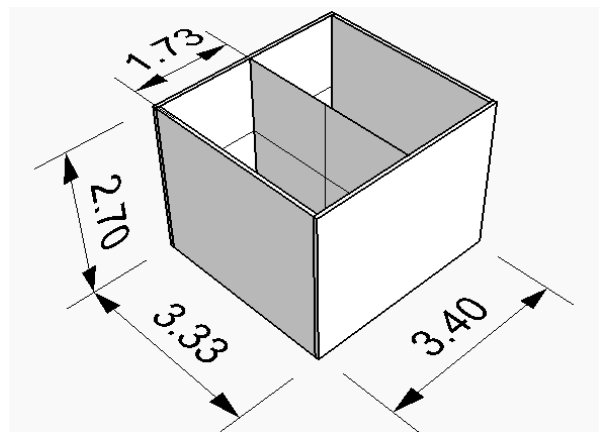


Figura 5: Medidas generales Box CCT-Mendoza

CONCLUSIONES

Lo analizado anteriormente nos lleva a destacar la necesidad de aportar con conocimiento sistemático y regional al modelo del confort visual y en particular al factor deslumbramiento en espacios interiores iluminados con luz natural en climas soleados. A partir de avanzar con la metodología propuesta, aplicar y/o proponer métricas que permitan conocer el comportamiento del usuario con la luz natural, será posible obtener datos concretos para mejorar dicho modelos y validar su aplicabilidad regional.

Teniendo en cuenta el carácter interdisciplinario del trabajo es necesario enunciar las líneas de acción correspondiente a los aspectos de psicología experimental. Éstas son:

- Evaluación de confort visual por medio de la psicometría, aplicar test subjetivos, escalas bipolares, etc.
- Aplicación de herramientas estadísticas: ANOVA y ANALISIS MULTIVARIADOS, sobre los datos relevados.

Finalmente se destaca que una vez concluido el presente plan de trabajo, se podrá aportar a la línea de investigación en Luz Natural del LAHV-INCIHUSA CCT CONICET MENDOZA los resultados de herramientas validadas para su articulación con otros desarrollos de predicción de precisión de tecnologías de iluminación y control solar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anon (2000). Lighting of Indoor Work Places. N S 0081/E. CIE Publication Vienna, Austria, CIE.
- Atif, M. R. L., J.A.; Littlefair, P. (1997). Daylighting Monitoring Protocols & Procedures for Buildings. IEA International Energy Agency) Task 21 / Annex 29: Daylight in Buildings, October 1997, 14 pp.
- Bellia, L. A., Iuliano, C., Spada, G. F. G. (2000). Daylight glare: a review of discomfort indexes. Italia, DETEC Università degli Studi di Napoli Federico II Piazzale Tecchio, 80 – 80125
- CIE (1987). Vocabulaire international de l'éclairage. CEI Publication Geneve, Suisse, CIE 50(845): 379.
- Christoffersen . J, Wienold (2004) Monitoring Procedure for assessment of user reaction to glare, Report ECCO-DBUR-0303-01), Energy and Comfort Control for Building management systems (ECCO-Build), EU Commission (Contract No: ENK6-CT-2002-00656), 70 pp.
- Boubekri, M., Boyer, L.L., 1992. Effect of window size and sunlight presence on glare. Lighting Research Technology 24, 69–73.
- Doyle, S., Reinhart, C. (2010). High Dynamic Range Imaging & Glare Analysis. Glare analysis with evalglare. Harvard Graduate School of Design. Canada, National research Council Canada. http://www.gsd.harvard.edu/research/gsdsgsquare/Publications/HDR_III_Evalglare.pdf. Página consultada 04/04/2011.
- Dubois, M.-C. (2002). Impact of Shading Devices on Daylight Quality in Offices: Simulations with Radiance. Lund Institute of Technology, Department of Construction & Architecture, Energy and Building Design. Report No TABK-01/3062. ISSN 1103-4|467. ISRN LUTADL/TABK--3062-SE Lund, Sweden.
- Chauvel, P., Collins, J.B.(1982). Glare from windows: current views of the problem. Lighting Research and Technology 14 (1), 31–46.
- Hansen, V. Pattini, A. Esteves (2002). Passive solar systems for heating, daylighting and ventilation for rooms without an equator-facing facade. Renewable Energy. ISSN: 0960-1481 VOL: 26, 91-111 EDITORIAL: PERGAMON - ELSEVIER SCIENCE Ltd. NY, USA.
- Hopkinson, R.G. (1963). Architectural Physics: Lighting. Her Majesty's Stationery Office, London.
- IEA (International Energy Agency) Task 21 / Annex 29: Daylight in Buildings: 14.
- IESNA Illuminating Engineering Society of North America (2000). The IESNA Lighting Handbook, 9th ed. New York.
- Iwata, T., M. Tokura (1998). Examination of the limitations of predicted glare sensation vote (PGSV) as a glare index for a large source: Towards a comprehensive development of discomfort glare evaluation. Lighting Research and Technology 30(2): 81-88.
- Nazzal, A. (2005). A new evaluation method for daylight discomfort glare. International Journal of Industrial Ergonomics 35: 295 - 306.05.176.
- Ne'Eman, E. (1974). Visual aspects of sunlight in buildings. Lighting Research and Technology 6(3): 159-164.
- Newsham, G.R, Cetegen, D., Veitch, J.A., Whitehead, L. (2010) Comparing lighting quality evaluations of real scenes with those from high dynamic range and conventional images. NRCC-53285. ACM Transactions on Applied Perception, 7, (2), pp. 1-25.
- Osterhaus, W. (2005) Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments. Solar Energy. Volume 79, Issue 2.

- Pattini, A., del Rosso, R. (2002) Análisis ergonómico, confort visual y energético en los puestos de trabajo con iluminación natural y/o artificial. AVERMA. Vol. 6, ISSN 0329-5184,. Editorial INENCO.
- Pattini, A. Kirschbaum, C. (2007). Evaluación subjetiva de ambiente lumínico de aulas de escuelas bioclimáticas en la provincia de Mendoza. AVERMA Vol. 11. Editorial: INENCO. ISSN 0329-5184.
- Pattini, Rodríguez, Lasagno, Villalba, Córica, Ferrón, del Rosso (2009). Evaluación de deslumbramiento en edificios con iluminación natural en climas soleados. El caso de una biblioteca con techo vidriado. AVERMA Vol. 13. ISSN 0329-5184.
- Rodríguez, R., Pattini, A. (2010) Determinación de satisfacción visual por medio de evaluaciones post ocupacionales en edificios no residenciales. El caso de oficinas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 14. ISSN 0329-5184.
- Tokura M, I. T., Shukuya M. (1996). Experimental study on discomfort glare caused by windows, part 3. Development of a method for evaluating discomfort glare from a large light source. Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering 489: 17-25.
- Waters CE, Mistrick RG, Bernecker CA. (1995) Discomfort glare from sources of non-uniform luminance. Journal of the Illuminating Engineering Society 1995; 24: 73–85.

VISUAL COMFORT OF INTERIOR SPACES IN SUNNY CLIMATES. THEORETICAL MODELS AND SUBJECTIVE ASSESSMENTS

ABSTRACT: natural conditioning systems and solar control technology, require an analysis of visual comfort experienced by users. This is critical when this systems illuminate spaces with high visual demands (offices, classrooms, etc) because of two main aspects: 1 – The amount of light: the levels of illumination provided by natural light, must exceed a minimum value in order to have visual functionality. 2-Visual Comfort: when systems support high contrasts, users block natural light due to glare, creating dark spaces and higher electricity consumption. This paper studies the visual comfort due to glare. Theoretical models used in previous work in LAHyV did not correlate with subjective responses properly. As deep view into the issue of prediction of glare and its correlate with users responses, particularly in sunny climates.

Keywords: Natural Lighting, visual comfort, sunny climates, glare.