

La iluminación natural y los techos vidriados. El caso de biblioteca en clima soleado

Pattini, A. Rodríguez, R. Lasagno, C. Villalba, A. Córca, L. Ferrón, L. Monteoliva, J.M.
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, INCIHUSA – CCT-CONICET Mendoza
Av. Ruiz Leal s/n-Parque. Gral. San Martín (5500) Mendoza, Argentina- apattini@mendoza-conicet.gov.ar

Resumen- En el interior de los edificios con techos vidriados, predomina la luz natural sobre la luz artificial durante el día. Esta condición varía según el clima luminoso exterior. Los cielos predominantes en distintas localidades, han dado lugar a modelos de cielo (cielo cubierto, parcialmente nublado y soleado). Las iluminancias y las luminancias de estos tipos de cielo, hacen más o menos eficientes a las estrategias de diseño de iluminación natural. Los edificios con grandes áreas vidriadas son hoy un símbolo de modernidad e imagen corporativa y buscan mostrar tecnología. Si el vidrio está ubicado en el techo, sin un adecuado control de la luz directa, hace de ésta la estrategia más inapropiada para un clima soleado. En el trabajo presentado se verificó una iluminancia en el puesto de trabajo interior que varió entre 127 (8hs) y 5472 (13:30hs) lux. Las luminancias dentro del campo visual mostraron fuentes de posible deslumbramiento.

Index Terms—Iluminación natural, control solar, vidrios cenitales, bibliotecas.

I. INTRODUCCIÓN

Cada vez es mayor la demanda de estrategias de diseño que promuevan el aprovechamiento de la iluminación natural, no solo desde los aspectos estéticos, sino desde los aspectos energéticos. Es que efectivamente, la luz diurna en muchas regiones del mundo tiene cantidad y duración suficiente como para promover la iluminación natural interior en espacios de uso intensivo, como escuelas, bibliotecas y edificios públicos en general. [1]

Por otra parte, los espacios con importantes superficies vidriadas, la iluminación cenital, las cúpulas vidriadas, los grandes lucernario y los atrios son vistos como un signo de tecnología avanzada. [2]. Un atrio o una estrategia de iluminación natural cenital, logran espacios impresionantes, reaniman el espacio interior debido a la admisión de la luz natural, maximiza los beneficios del sol y promueve la interacción y la socialización de la gente. Estas superficies vidriadas pretenden actuar a su vez como un filtro de los efectos indeseables de factores del ambiente exterior como la lluvia, la nieve o el viento, y conserva los efectos deseables de exterior como la luz natural y los ambiente visuales interesantes. El potencial de ahorro de energía de un atrio es asociado básicamente con la provisión de luz del día en los espacios ocupados, formando una zona de filtro entre el ambiente de interior y exterior.

A pesar de estas ventajas, y dependiendo de las condiciones climáticas locales, las superficies de vidrio en el techo causan una ganancia de calor solar excesiva en el verano y la pérdida de calor en el invierno y también promueven la estratificación, sobre todo en el verano, afectando el confort de los usuarios y el imprescindible y desmedido uso de energía para acondicionamiento térmico en este tipo de edificios [3]. Las tipologías de edificios que poseen grandes superficies de vidrios en los techos se han extendido ampliamente en nuestro medio. Particularmente en construcciones destinadas a grandes tiendas comerciales, pero las adecuaciones a las funciones visuales y al confort visual es particularmente crítica en edificios educacionales y bibliotecas.

II. LA LUZ SOLAR Y LA ILUMINACIÓN NATURAL.

Generalmente es dado por sentado que la gente prefiere la luz natural dentro de los edificios, a condición de que el discomfort térmico y deslumbramiento sea evitado. El grado de valoración positiva a luz del natural es dependiente del clima, de la tradición y a veces del prejuicio. Tratar con los aspectos térmicos de la luz solar y su control ha empezado a incorporarse a la práctica en el diseño de edificios, mientras que los aspectos visuales relacionados a luz del sol no suficientemente considerado. [4].

Es necesario aclarar que cuando los distintos autores hacen referencia a la iluminación natural de los interiores en su función iluminación de espacios de trabajo o lectura, se refieren a la luz difusa uniforme y con bajos índices de contraste, sin presencia en el campo visual del usuario de visión directa de la fuente luminosa. En definitiva luz natural no es sinónimo de luz solar.

No hay dudas de que las personas realizando tareas en los espacios interiores de sus edificios, particularmente espacios de estudio o trabajo, prefieren la luz natural. Por otra parte, la disponibilidad de niveles altos de luz solar característica de los climas desérticos, en un ambiente interior podría ser una desventaja para las condiciones óptimas visuales, no sólo para reacciones psicológicas negativas debido a un exceso de luz del sol, sino también para la variables características de luz del día que definen el ambiente luminoso: a- las condiciones de cielo; b-la intensidad y la distribución; c-los colores y la energía radiante.

Las variables a y b definen en la etapa de prediseño la estrategia de iluminación natural más conveniente para optimizar la disponibilidad regional. Así una condición de

cielo predominantemente nublado verá optimizada su aprovechamiento de luz natural en la región cenital del edificio, ya que la intensidad y la distribución de luminancias de bóveda es 3 veces más luminoso en el cenit que en el horizonte, sin embargo en regiones con cielo claro con sol predominante, la bóveda celeste es mas oscura en el cenit que en el horizonte, presentando un modelo de distribución de luminancias mayor próximo al horizonte dando mejor rendimiento una superficie vidriada lateral. (Fig. 1). Estas características pueden causar fenómenos de deslumbramiento. [5].

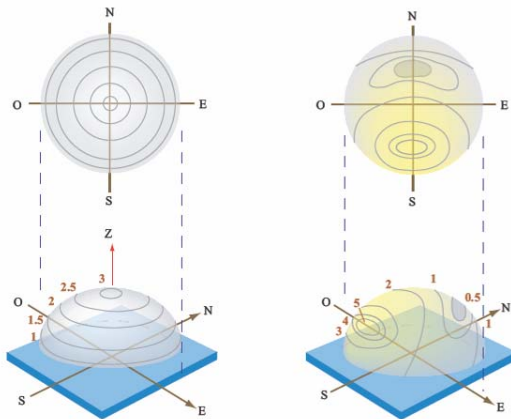


Figura 1. Distribución de intensidades luminosa en modelo de cielo nublado (izquierda) y claro (derecha).

En Mendoza la energía del sol necesita ser controlada selectivamente, se debe asegurar sombra en verano para evitar sobrecalentamiento y facilitar o promover el calor del sol en invierno para el bienestar de las personas. La disponibilidad de luz natural en el emplazamiento constituye el punto de partida para la selección de la estrategia de iluminación. (Fig.2).



Figura 2- Alumnos el exterior de la biblioteca: a- bajo una sombra en verano y b - al sol en invierno.



Figura 3 – consideración de disponibilidad de luz natural por densidad del entorno construido. Izquierda localización edilicia en entorno de baja densidad sin obstrucciones, derecha localización en zona de alta densidad

En un primer paso es necesario un análisis previo de la disponibilidad de luz natural que permita comprender la relación que tendrá un edificio con su clima luminoso regional, en particular con el sol directo, para ofrecer una descripción profunda del hecho de iluminar con luz natural un espacio interior y que ciertas estrategias sean comprendidas y difundidas para prevenir problemas de desconfort visual. En un segundo paso estará la consideración del entorno del edificio que puede modificar el clima luminoso, así un edificio emplazado en una situación urbana de alta densidad, tendrá un acceso al sol limitado por la morfología urbana y por lo tanto solo dispondrá de luz difusa y reflejada, mientras otro que se encuentre aislado accederá a la luz directa del sol junto a las componentes difusa y reflejada, aún estando ambos en una región con clima luminoso de cielo claro con sol predominante.(Fig. 3).

III. CONFORT VISUAL Y DESLUMBRAMIENTO

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. La habilidad de los usuarios de los edificios a 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 este tiene presencia de luz solar. Por otra parte, el ojo humano tiene mecanismos físicos, neurales y fotoquímicos para adaptarse a las cambiantes condiciones de la iluminación. La visión humana puede adaptarse a un amplio rango de condiciones de iluminación (del orden de 1010 desde el umbral de percepción escotópica hasta el límite de deslumbramiento). Pero no puede hacerla a todo ese rango al mismo tiempo. [6].

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 no será el caso con la penetración del sol. Aquí el control será necesario, particularmente en zonas de trabajo, porque pueden ocurrir problemas de presencia en el campo visual de luminancias muy por encima de la luminancia de adaptación. [7].

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 esta en cualquier parte del campo visual del observador); 2- Reflexión Secundaria de luz de superficies internas y externas, caracterizadas por alto factor de reflexión. Por otra parte, las personas de climas con cielos soleados son más tolerantes a la presencia de contrastes de luminancia 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.

IV. CASO DE ANÁLISIS

A los fines de analizar la iluminación natural resultante en un edificio público de uso diurno, con techo vidriado, el caso de estudio seleccionado, corresponde al edificio de la Biblioteca Central de la Universidad Nacional de Cuyo, construido en el centro universitario de la provincia de Mendoza, Argentina. La biblioteca fue proyectada y construido aprovechando una construcción pre-existente.

La biblioteca posee una planta semicircular (Fig. 4) con una doble altura que es iluminada principalmente por una superficie vidriada abovedada. (Fig. 5-b). En los muros laterales posee aberturas pequeñas para contacto con el exterior (Fig. 5-a) y en la fachada plana dos módulos laterales con ventanas (Fig. 5-b)

V. METODOLOGÍA

En el presente trabajo se muestra el análisis de la iluminación natural de un edificio de biblioteca con techo vidriado inserto en un clima soleado, a fin de conocer la variabilidad diaria de la iluminación (niveles) en un puesto de de uso frecuente, donde se realizan tareas de lectura y escritura, en función de la iluminancia exterior simultánea. Adicionalmente se realizaron mapeos de luminancia del campo visual del usuario, analizado con la técnica de imágenes de alto rango dinámico (HDR) y luego se identificaron las fuentes de deslumbramiento mediante el modelo RADIANCE.

A. Mediciones de iluminancia continua diurna

Analizar la variabilidad de la iluminación natural a lo largo del día en un puesto de uso interior, nos brindará información por un lado de la variación los niveles de iluminancia diaria sobre la tarea a los que está sometido el sistema visual del usuario, y por otro lado, al compararla con la iluminancia exterior simultáneamente nos dará información de la relación

de la estrategia de iluminación natural utilizada en el edificio bajo análisis con el clima luminoso exterior de la región.



Figura 4. Foto satelital del edificio de la biblioteca



Figura 5. Fotos del edificio, a- vista fachada con ventanas laterales, b- vista de techo vidriado abovedado y fachada plana con ventanas.

En este trabajo, se muestra la variabilidad de la iluminación natural interior de un edificio con estrategia de diseño de vidrio techado, a lo largo un día soleado correspondiente al verano, en un puesto de trabajo. En la figura 6 se ha graficado la trayectoria solar calculada con el programa GEOSOL para el día medido. El ángulo de altitud del mediodía solar (máxima altitud del sol sobre el cenit) alcanza para el día de medición representativo del verano los 71.11° .

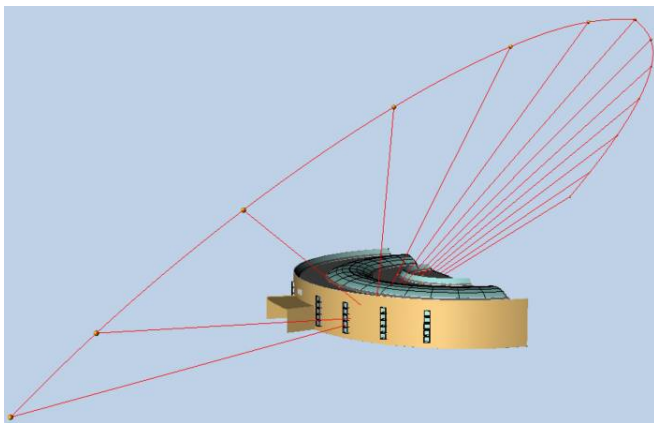
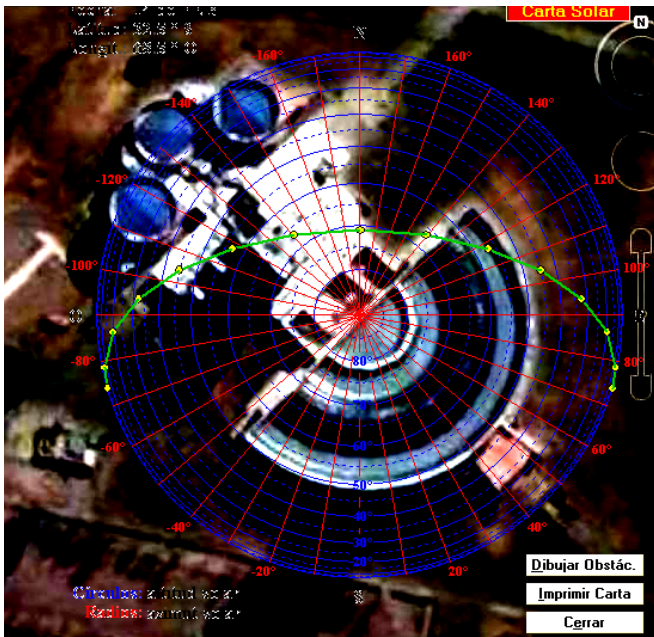


Figura 6. Superior: Superposición de imagen satelital del edificio y la carta solar que muestra la trayectoria del sol en la fecha de medición. Inferior: esquema 3D con la trayectoria solar diaria para el día medido.

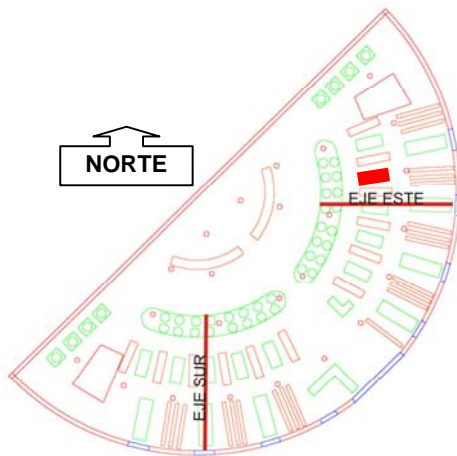


Figura 7. Distribución del equipamiento en la planta baja de la biblioteca. Puesto de medición en rojo.

Se seleccionó un puesto interior bajo el techo vidriado, de la planta baja, correspondiente a una mesada de estudio entre estantes de libros, como se indica en planta de la figura 7.

Para las mediciones de iluminancia continua sobre plano de trabajo se utilizó un sensor fotométrico marca LICOR 210 conectado a un amplificador de voltaje marca UTA y ambos conectados a un modulo de adquisición de datos marca HOBO H08 (Fig. 8). Se programó la medición continua cada 10 minutos durante 24 hs.



Figura 8. Equipo de medición y puesto de medición.

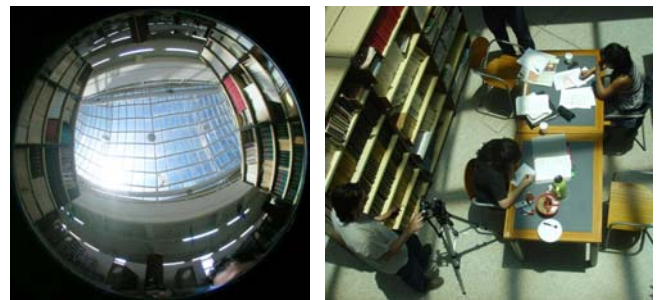


Figura 9. Izq. Foto con el entorno del puesto medido. Der. Mesa de trabajo del puesto bajo análisis.

En la figura 9 se muestra el puesto de trabajo analizado. En la foto la izquierda puede observar la superficie de techo vidriado sobre el puesto de trabajo medido, tomada con una lente ojo de pez (180°) que permite ver todas las superficies en torno al punto horizontal sobre la mesa de trabajo medido. En la imagen de la derecha de la se muestran las posiciones de trabajo real del puesto.

B. Mapeos de luminancia

A los fines de generar un mapeo de luminancia del puesto de trabajo analizado, se realizó mediante la metodología conocida como análisis de imágenes de alto rango dinámico HDRI (de su sigla en inglés High Dynamic Range Image) un mapeo de luminancias de la escena. Las imágenes se tomaron con una cámara digital Nikon Coolpix 5400 con lente Nikon FC-E9 de 183°) y se procesan en el sitio WebHDR (<http://luminance.londonmet.ac.uk/webhdr/>). Posteriormente

se identificaron las las fuentes de deslumbramientos de la escena con el programa RADIANCE.

VI RESULTADOS

La provincial de Mendoza se caracteriza por la cantidad y duración de días soleados al año, con un promedio anual de duración de sol es de 2850 horas. Los niveles de iluminancia aportada por la radiación solar global, proveniente del sol y de la bóveda celeste, fue registrada por la estación de mediciones en las horas en las que se realizó la medición continua de iluminancia en el interior de la biblioteca. Los resultados de las mediciones de la estación se muestran en la figura 10. La máxima iluminancia global registrada en la jornada fue de 104.900 lux a las 13:30 hs.

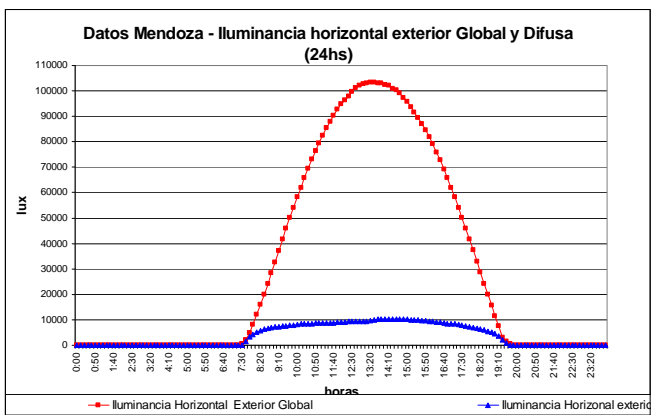


Figura 10. Datos de iluminancia de la estación de Mendoza.

Este es el nivel de iluminación exterior que determinará la iluminación natural en el interior, como en el caso estudiado la estrategia principal es el techo vidriado, la iluminancia de referencia será la Global (sol y cielo). A los fines de evitar el sobrecalentamiento solar, los vidrios colocados en la cúpula vidriada de la UNC son doble vidriado compuesto de vidrio templado 6mm supergrey (cara superior +cámara de 12mm + laminado 4+4 que a su vez se compone de (lowE 4mm +pvb0.76+float de 4mm) en cara inferior del doble vidriado hermético en ese orden. La transmitancia en el visible es de 7%.

Esta baja transmitancia en la parte visible hace que la estrategia de iluminación sea poco eficiente, en particular en el comienzo y fin de la jornada de uso, por no alcanzar niveles adecuados sólo con luz natural, mientras que al mediodía solar, la baja transmitancia del vidrio no logra hacer un adecuado control de luz solar.

La iluminancia en el puesto de trabajo interior varió entre 127 lux (8hs) y 5472 lux (13:30hs). La rápida caída y subida de los datos medidos en el interior se deben al paso del sol por la estructura metálica del techo vidriado que genera contrastes elevados de sol y sombra con modificación temporal.

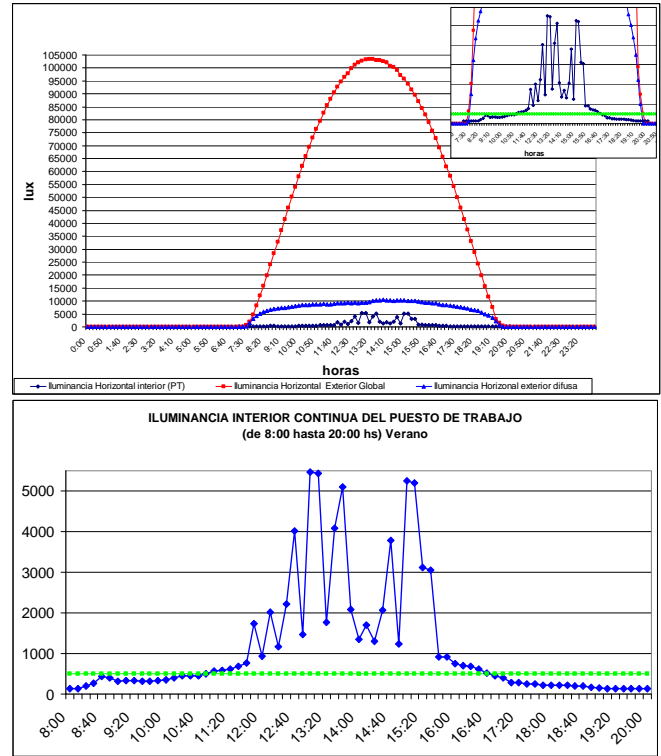


Figura 11. Sup. Datos de iluminancia exterior e interior simultanea. Inf. Distribución en el interior, línea verde min. 500 lux.

La distribución de luminancias se ha representado en la imagen de la figura 12. La imagen HDRI ha sido tomada desde el punto de vista del usuario del puesto de trabajo donde se realizaron las mediciones de iluminancia horizontal continua. Una vez procesadas las imágenes en formato HDRI se calcularon los puntos de la escena de luminancia potenciales fuentes de deslumbramiento en relación a la luminancia de la tarea (657.3 cd/m2).

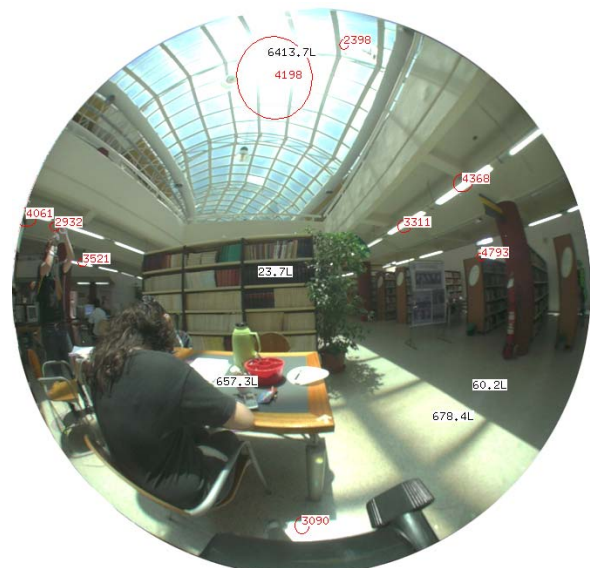


Figura 12. Mapeo de luminancias de la escena. Identificación de Fuentes de deslumbramiento.

VII CONCLUSIONES

La estrategia de iluminación natural utilizada en este edificio de biblioteca, es principalmente el techo vidriado. El mismo ha sido resuelto con un importante grado de tecnología como lo es la incorporación de paneles de doble vidriado hermético (DVH) compuesto por: vidrio templado 6mm supergrey (cara superior +cámara de aire de 12mm + laminado 4+4 que a su vez se compone de (baja emisividad 4mm +pvb0.76+float de 4mm). El conjunto vidriado del techo posee una muy baja transmitancia en el visible, de tan solo el 7%.

Aún así, la respuesta de iluminación natural de los espacios interiores es compleja y dista de cumplir con las reglas generales de la iluminación necesaria en este tipo de espacios, en particular en cuanto a uniformidad, equilibrio de contrastes, niveles mínimos, visión directa de la fuente de luz.

En este caso, no se ha calculado el Factor de Luz Diurna, a pesar de contar con los datos de la iluminancia exterior e interior simultánea cada diez minutos durante 24 hs, debido a que esta metodología de análisis de la iluminación natural sólo es aplicable a cielos nublados, muy pocas veces en el año en el clima luminoso baja análisis presenta esta condición, por lo que el análisis sería sesgado y poco representativo. Sin embargo en cielos claros es más preciso el análisis de valores absolutos de iluminancia. En el presente trabajo, a éstos últimos, se les suma el tipo de relevamiento dinámico, lo que brinda información sobre la variabilidad temporal de la luz en el puesto analizado a lo largo del día. En este sentido los resultados muestran una variación de la iluminancia entre los el valor mínimo y máximo 127 (8hs) y 5471 (13:30hs).

La iluminancia mínima para el tipo de tarea (500 lux) es alcanzada a las 10:50hs y superada hasta las 16:50 hs que comienza a ser menor a ese valor, lo que nos da en principio una autonomía de luz artificial de 6 hs para la estación estival.

Por otra parte, en este período, el usuario permanece en el mismo puesto sometido a una variación por un lado característica de la luz diurna (duración del día) que es estimulante y esperable para el usuario, pero es no deseable la variación de iluminancia que ocurre cuando el sol atraviesa los perfiles (opacos) de vinculación de los vidrios del techo produciendo altos contrastes de luz y sombra. Por ejemplo en el mismo punto a las 14:50hs se registraron 1231 lux y a las 15:00 hs 5242 lux, en 10 minutos la luz aumentó 4011 lux. Simultáneamente, en el exterior la Iluminancia a las 14:50 hs fue de 95760 lux y a las 15:00hs de 97220 lux, en los mismos 10 minutos la luz subió 1460 lux. Esto debido a la sombra proyectada en el plano de trabajo por la perfilaría. El sistema visual debe adaptarse a estos contrastes en la zona de la tarea de lectura propiamente dicha.

Por otra parte, el mapeo de luminancias de la escena realizado al mediodía solar, muestra la gran variación de brillos presentes en el campo visual. Siendo la luminancia de la tarea 657 cd/m² en la escena se registraron 23 cd/m² sobre

la biblioteca frontal (vista cuando el usuario levanta la vista del escritorio) y por encima de esta, en el campo lejano, el disco solar se hace visible a través del vidrio en el techo con una luminancia de 6413 cd/m². Esto claramente está fuera de norma, y generando potenciales deslumbramientos.

Podemos concluir en este primer análisis que la estrategia de techo vidriado dista de proveer una iluminación natural de calidad en un espacio de trabajo como el analizado. A este análisis, que actualmente sigue bajo monitoreo estacional, hemos previsto sumarle la medición y análisis del confort térmico. De esta manera poder abordar estos estudios desde el punto de vista del confort radiativo (termo-lumínico).

VIII REFERENCIAS

- [1] A.E. Pattini. "La luz natural en las escuelas. Aprovechamiento y control de la luz solar en aulas.". *Buenos Aires, Argentina. Ed. Dunken. 2009.*
- [2] Özgür Göçer, A. T., Ertan Özkan. SIMULATION MODEL FOR ENERGY PERFORMANCE AND USER COMFORT EVALUATION OF ATRIUM BUILDINGS. *Simulating Buildings 2006, Massachusetts, USA. 2006.*
- [3] Pitts, R. L. a. A. (2006). Thermal Comfort and Environmental Modelling in Atrium Buildings. PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, , Geneva, Switzerland
- [4] Neeman, E. Visual aspect of sunlight in buildings. *Lighting Research and Technology. Vol. 6 (3) 159-164. 1974.*
- [5] Nazzal, A."A new evaluation method for daylight discomfort glare." *International Journal of Industrial Ergonomics 35: 295 - 306. 2005*
- [6] Anon. Lighting of Indoor Work Places. N S 0081/E. CIE Publication Vienna, Austria, CIE. 2000
- [7] Dubois, M.-C. Impact of Shading Devices on Daylight Quality in Offices: Simulations with Radiance. Lund Institute of Technology, Department of Construction & Architecture, Energy and Building Design. . Lund, Sweden. 2002.