

ELEMENTOS DE CONTROL DE LUZ SOLAR DIRECTA EN FACHADAS VIDRIADAS DE EDIFICIOS NO RESIDENCIALES DE CIUDAD OASIS. REDISEÑO PARA AULAS.

A. Pattini¹, A. Villalba², L. Córca³, L. Ferrón⁴, R. del Rosso⁵

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV -INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Centro Científico y Tecnológico CONICET Mendoza

Tel. 0261-4288797 – Fax 0261-4287370. Correo electrónico: apattini@lab.cricyt.edu.ar

Laboratorio de Ergonomía- Facultad de Artes y Diseño, Universidad Nacional de Cuyo (FAD-UNCuyo).

RESUMEN: La radiación solar directa requiere la mediación del diseño para su uso como fuente de iluminación en condiciones de confort interior. En nuestro medio, en muy pocos, los diseños de control o filtro solar surgen del análisis de la geometría solar y clima luminoso local. El presente trabajo analiza el comportamiento de un caso de estudio de aulas, el cual posee ventanas y protecciones solares exteriores pero ineficientes para iluminación natural. Se proponen elementos para la redirección de la luz solar y se verifica su eficiencia para iluminar el aula con luz natural. Se comprobaron mediante simulación niveles mayores a 300 lux promedios y la ausencia de deslumbramiento por luz solar.

Palabras clave: iluminación solar, elementos de control lumínico, aulas.

INTRODUCCIÓN

Los espacios de trabajo son pensados usualmente como una representación simbólica de la imagen de una institución y la manera de reflejar un significado de nueva cultura en una sociedad moderna. El vidrio es un material que tiene esta noción de simbolización porque posee cualidades que se ajustan bien a los pensamientos de la sociedad moderna. (Al-Sallal 2006)

Desafortunadamente, la necesidad de una expresión arquitectónica en las fachadas de los edificios que refleje esos significados de nueva cultura, ha resultado en edificios que son diseñados con excesivas áreas de vidrio, dando poca o ninguna atención al impacto sobre el confort radiativo (confort visual y confort térmico) (Laforgue P. 1997). Consecuentemente, considerables cantidades de energías anuales son consumidas particularmente para iluminar edificios públicos de uso diurno. (Pattini 2008).

En general, los edificios de oficinas y los educacionales necesitan planificaciones cuidadosas del diseño de iluminación, debido a que su función como lugares de trabajo requiere altos niveles de iluminación. Cuando se proyectan ventanas que permiten el uso de la iluminación natural debe considerarse que la luz solar directa y los altos brillos y contrastes pueden causar malestar visual y malas condiciones ergonómicas, así como inconvenientes desde el punto de vista de la higiene y salud para las actividades laborales. (PEN 1979)

En las regiones áridas y semi-áridas de la Argentina se han establecido ciudades en torno a la urbanización y el desarrollo del hábitat construido en los oasis, generando lo que se denomina ciudad modelo oasis. Estas ciudades se caracterizan por la búsqueda de la sombra ya que la cantidad y duración de la radiación solar de gran intensidad impide, sin su control, un hábitat acondicionado en función de las capacidades visuales de los usuarios (Córca 2008).

El clima luminoso de Mendoza, (Pattini, 1996. Betman, 2001) ha llevado a los proyectistas a considerar la provisión de sombra para estas importantes fachadas vidriadas, que por la traza urbana en damero, se encuentran en distintas orientaciones, que podrían llegar a tener un tratamiento formal en respuesta a la luz solar incidiendo sobre ellas. Sin embargo ha primado la solución en función de dos variables: 1- bloqueo de la luz natural por potencial riesgo de deslumbramiento en las fachadas ampliamente vidriadas, resultando espacios interiores con ventanas hacia el exterior que son obstruidas completa o ineficientemente por elementos de control solar y 2- ubicación y diseño de los elementos de filtro y/o control con criterio meramente morfológico simbólico o estético. (Figura 1).

¹ Investigadora Independiente CONICET

² Pasante LAHV-INCIHUSA CCT CONICET Mendoza

³ Becaria Posdoctoral CONICET

⁴ Becario Posgrado Tipo II CONICET

⁵ Docente-Investigadora FAD-UNCuyo

La radiación solar directa requiere la mediación del diseño para su control, principalmente térmico para lograr confort interior sin recurrir a grandes gastos de energía auxiliar. En muy pocos casos estos diseños de control o filtro surgen del análisis de la geometría solar y clima luminoso local que posibilite iluminar los espacios interiores con luz natural sin sobre calefaccionar en verano y sin impedir el asoleamiento térmico beneficioso en invierno.

Esta eliminación de la luz solar por desconfort térmico-lumínico, produce la anulación del aporte de luz natural y genera espacios sombríos que requieren de energía eléctrica para la iluminación, desperdiciando la disponibilidad de luz natural característica de la región. De esta manera, se propende al diseño de un hábitat energéticamente no sustentable, transformando al sector edilicio no residencial en un gran consumidor de energía eléctrica. (Pattini 2009).



Figura 1. Fachadas con control o filtro solar en edificios de Mendoza.

Es posible minimizar y en algunos casos prescindir de la energía eléctrica consumida por la luz artificial durante las horas diurnas, dependiendo de la presencia del sol y la luminosidad de la bóveda celeste en las distintas regiones. Esto puede representar un ahorro del 30% del total de energía eléctrica consumida en nuestro país. (IEA TASK 31, 2003).

El cambio de Huso Horario es una de las medidas adoptadas para obtener ahorros de energía eléctrica para un mejor aprovechamiento de la disponibilidad de luz natural. Una alternativa complementaria y sustentable de iluminar el espacio es reconvertir el alumbrado eléctrico en alumbrado solar pasivo durante el día mediante el uso de Sistemas Innovativos de Iluminación Natural. (Pattini 2008). Para ello es necesario partir de un análisis sistemático del potencial real de luz natural regional y de su relación con las actividades humanas. Los proyectistas diseñan la iluminación de los espacios ignorando la disponibilidad de luz natural y los estudios previos de su aplicación en hábitat, quedando la misma relegada frente al uso de energía eléctrica para iluminación diurna. En consecuencia, muchos espacios de uso diurno como las aulas, presentan potenciales problemas para sus ocupantes desde el punto de vista de la ergonomía visual (Fig. 2).



Figura 2. Fotos de interiores de distintas aulas de uso diurno y su relación iluminación natural-iluminación artificial.

Cuando se plantea el uso de la luz natural en su función de iluminar un espacio interior, deben comprenderse adecuadamente los siguientes puntos:

- Que el clima luminoso y la orientación de las superficies vidriadas de la envolvente determinan las estrategias de control y redirección de la luz natural.
- Que Sólo cuando las envolventes edilicias responden a un modelo de control y uso de la luz solar basada en el clima, pueden programarse ahorros de energía eléctrica por uso de luz natural.

CASO DE ESTUDIO. AULA FAD-UNCuyo.

En el presente trabajo se presenta como caso de estudio el edificio de docencia de la Facultad de Artes y Diseño, que como muchos de su tipo en Mendoza posee en sus fachadas Norte, Este y Oeste elementos diseñados para control solar. Esto nos permitió por un lado verificar el comportamiento de estas protecciones solares y luego comprobar su eficacia para contribuir a la iluminación natural.

A fin de analizar la trayectoria solar local se realizó la carta solar con en software Shadow Pro para latitud 32° 52' 50" Sur y longitud 68° 25' 50" Oeste. El acceso al edificio está orientado al Sur y las fachadas principales de las aulas al Norte (con una Inclinación de 15° hacia el este). Esta orientación de fachada con ventanas Norte implica aprovechar la luz natural abundante en esta región y dado que el edificio se encuentra distanciado de otros edificios u obstrucciones importantes como muestra la figura 3 y 4.

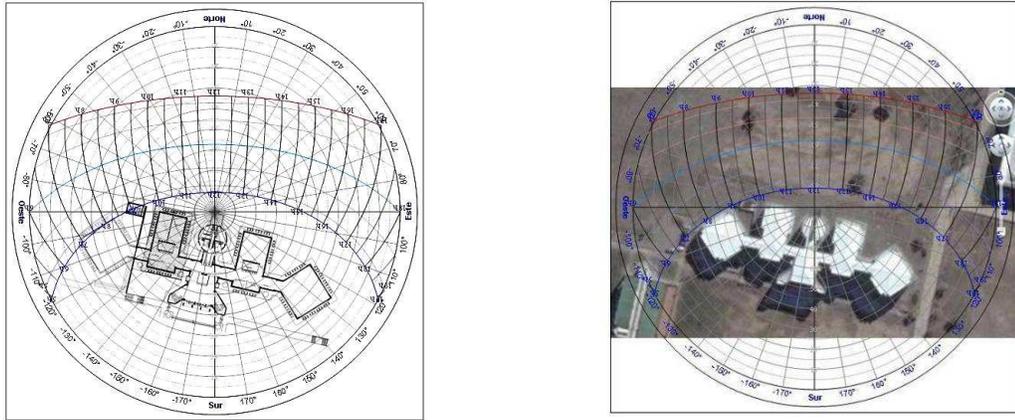


Figura 3. Izq. Superposición de la carta solar anual con la planta del edificio de Docencia FAD-UNCuyo. Der. Foto satelital del edificio (Google Earth) con superposición con la trayectoria solar para el lugar Shadow Pro.

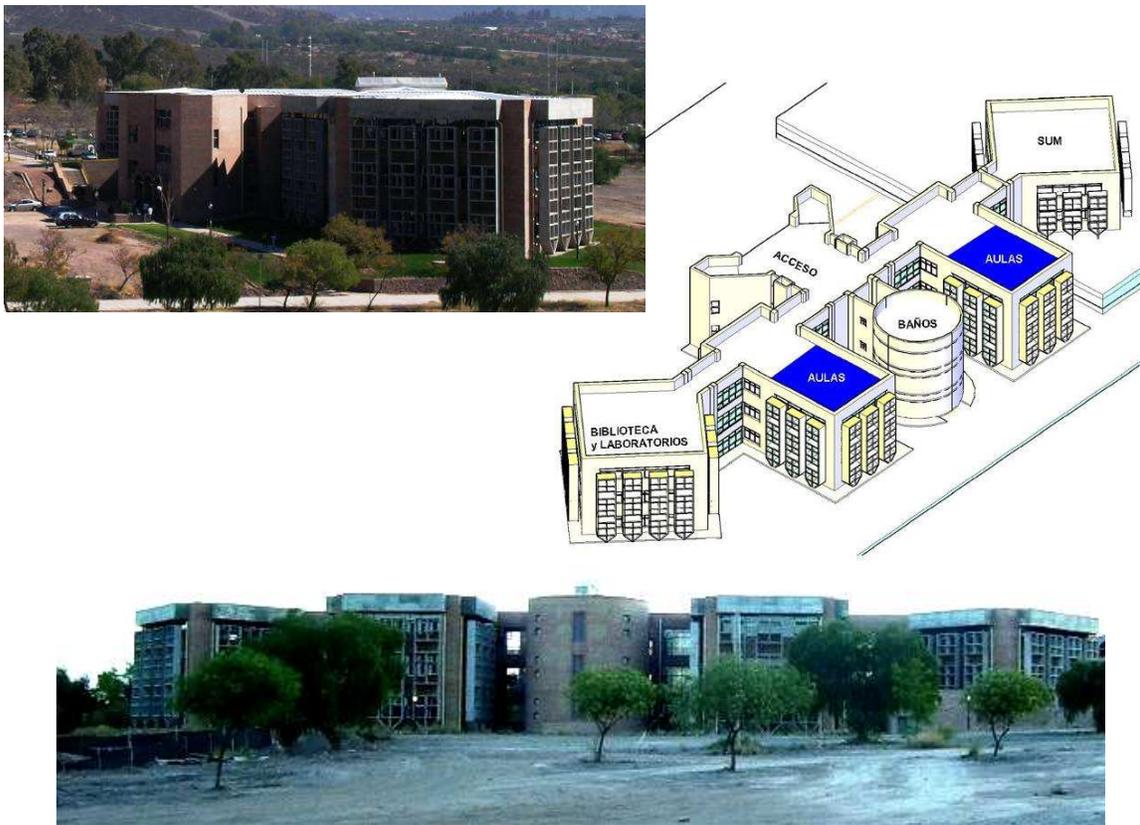


Figura 4. Fotos Acceso (arb. Izq.), dibujo de axonometría edificio (azul: bloques aulas) y foto fachada Norte (inferior).

NIVELES DE ILUMINANCIA. LUZ NATURAL

A los fines de predecir el comportamiento de la iluminación natural en aulas se realizaron cálculos de iluminancia utilizando el modelo RADIANCE. Se grafican los resultados mediante el trazado de curvas de isolux (igual iluminancia en lux) para Marzo, Junio y Diciembre a las 10, 12 y 16 hs respectivamente en la figura 5 para planta baja y para el mediodía de Marzo Junio y Diciembre para planta alta en la figuras 6. La figura 7 muestra la simulación del espacio exterior e interior con elementos de sombra generada en RADIANCE.

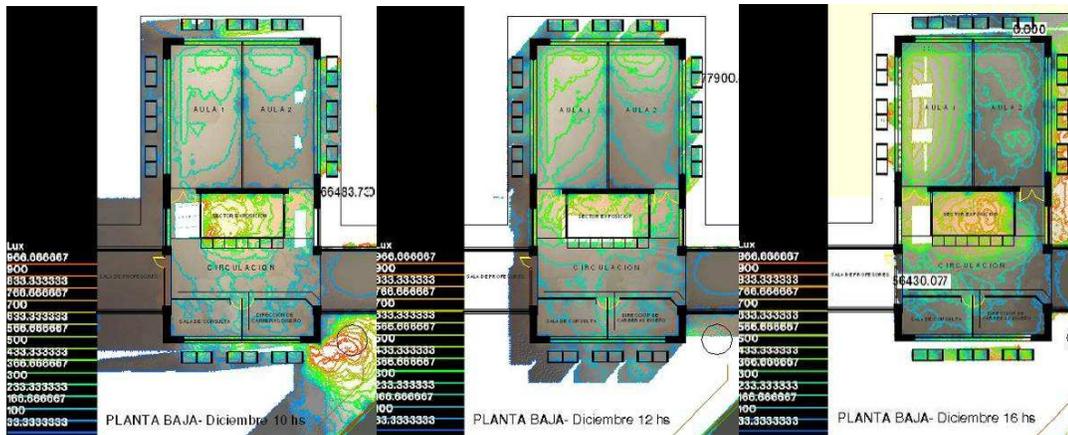
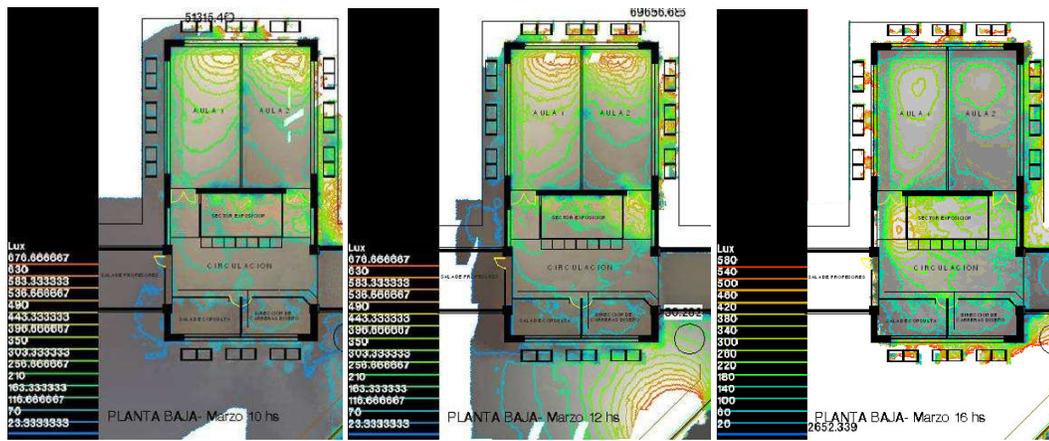


Figura 5. Curvas de isolux calculadas sobre plano de trabajo (0,80m. Marzo y Junio y Diciembre, a las 10, 12 y 16 hs. Res.

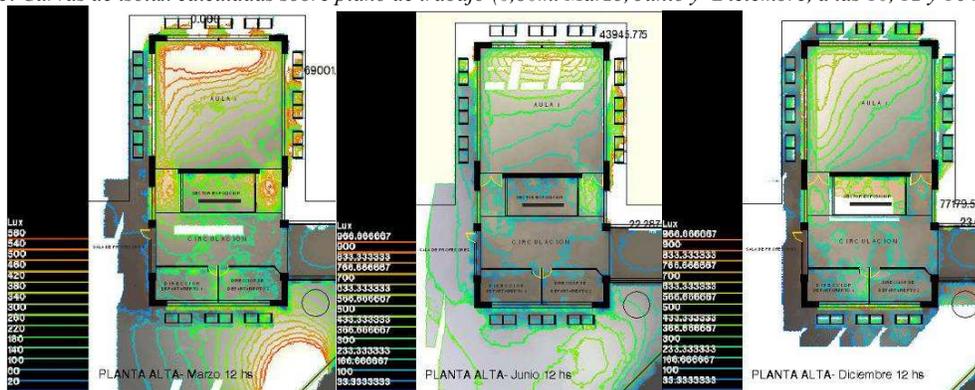


Figura 6. Curvas de isolux para planta alta Marzo, Junio y Diciembre 12hs.

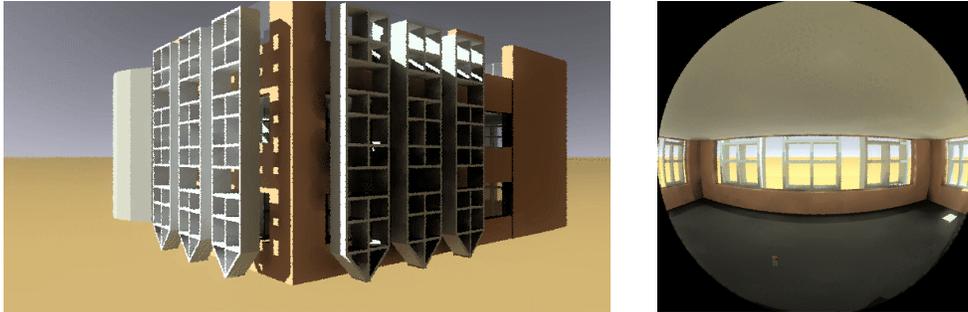


Figura 7 a y b. a. Imagen exterior obtenida por simulación. b. Imagen interior aula por simulación.

Como puede observarse en los cálculos predictivos, en las aulas los elementos de control solar no garantizan el bloqueo ni la redirección de la luz solar sobre los puestos de tareas. Los gráficos de isolux muestran la falta de uniformidad durante la mayoría del tiempo, y la inadecuada incidencia de luz directa sobre los planos de trabajo en marzo, junio y Diciembre. Se verifica que los parasoles exteriores *no controlan* la radiación solar directa sobre estas ventanas, a pesar de ser importantes en dimensión, estructura y costos.

Como consecuencia de lo analizado, en visitas previamente realizadas a las aulas en los períodos evaluados, se comprobó que los usuarios evitan la penetración de luz solar mediante cortinas interiores oscuras colocadas para controlar el deslumbramiento de los docentes y alumnos. Las aulas resultan espacios oscuros y debe encenderse la luz artificial. Hay una negación del entorno, no se aprovechan las vistas al exterior, como tampoco el aporte de la luz natural proveniente de las ventanas de las fachadas Este, Norte y Oeste de las aulas. (Fig. 8).



Figura 8. Fotos interior aula en condiciones reales de uso diurno.

DURACION DEL DIA Y POTENCIAL APROVECHAMIENTO DE LUZ NATURAL

El análisis realizado de la duración del día en el centro universitario da como resultado para verano una duración del día de: 14hs 19 min 14 seg. Para el día más corto del invierno corresponden 9hs 58 min 47 seg. Esto indica que si se hiciera una planificación para el aprovechamiento de la luz diurna, tendríamos para todo el año una duración del día de más de 9 hs diarias.

Aplicando a la ubicación del caso de estudio podría esperarse que las aulas tengan independencia de la iluminación artificial en las horas centrales diurnas a lo largo de todo el año. Esto basado en las siguientes consideraciones:

- El tipo de cielo predominante en la región es el cielo claro con sol, por lo tanto tiene una disponibilidad de iluminancias entre 68.000 a 120.000 lux en días claros.
- Por su localización la duración del día es superior a 9 hs diarias todo el año.
- La fachada principal de las aulas tiene orientación favorable (Norte)
- La fachada Norte tiene con un porcentaje importante de ventanas con vidrio claro y no existen obstrucciones exteriores importantes.
- Todas las ventanas poseen diseños de control solar exterior (Norte-Este y Oeste).

Estas condiciones favorables han verificado que las aulas no tienen aprovechamiento de luz natural debido a que el diseño de los elementos construidos en el exterior de las ventanas *no posibilitan controlar adecuadamente* la radiación solar directa, generando deslumbramientos y molestias visuales a los ocupantes, quienes cierran las cortinas interiores durante el día y deben encender la luz artificial para iluminarse.

REDISEÑO: MEJORAMIENTO EN EL CONTROL Y REDIRECCION DE LA LUZ SOLAR

Obtenidos los resultados analíticos de asoleamiento interior y con el objetivo de realizar una propuesta adecuada de la luz natural en el caso de estudio, se partió de las siguientes premisas de diseño:

- Utilizar los parasoles existentes como estructura para el sistema propuesto
- Desarrollar un sistema fijo que controle y a su vez redirija la luz solar al interior.
- Factibilidad constructiva en el edificio existente.

Se comenzó por el diseño en cada fachada y por el trazado de rayos críticos de penetración de radiación solar directa según la geometría solar. Posteriormente se dimensionaron elementos verticales para las fachadas Este y Oeste y Horizontales para la fachada Norte a fin de interceptar la dirección propia del sol. (Fig. 9).

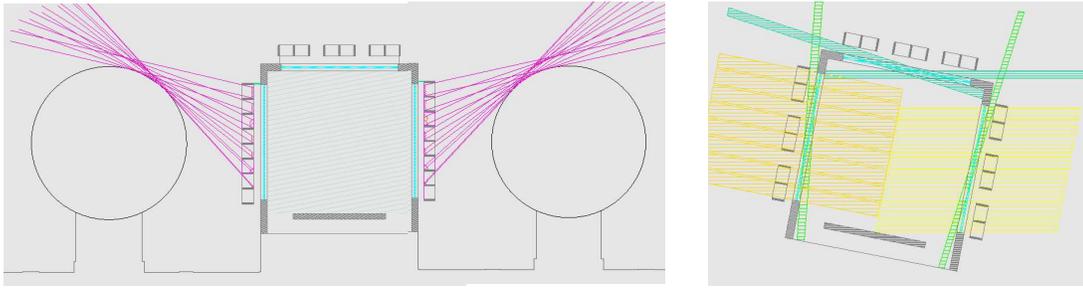


Figura 9. Trazado de trayectoria del recorrido solar sobre fachadas E-O.

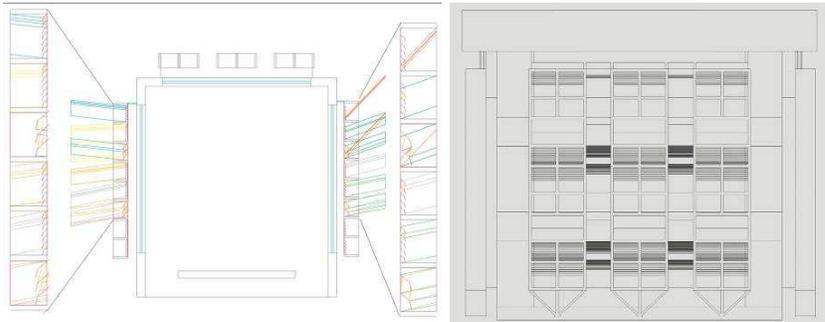


Figura 10. Diseño de elementos del sistema nuevo propuesto para E-O (Izq.) y vista de fachada Norte. Bloqueo total de directa y redirección al aula.

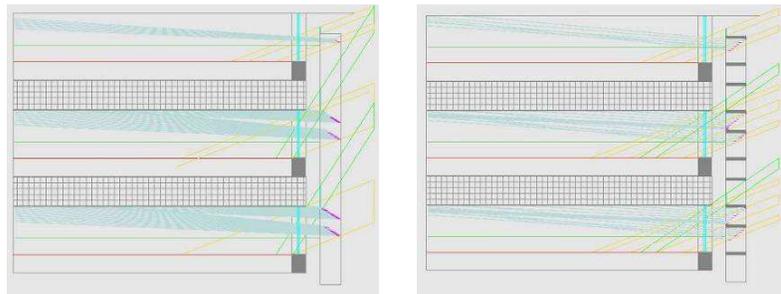


Figura 11. Corte Norte. Penetración de los rayos directos a pesar de los parasoles existentes (líneas amarillas) y redirección de los rayos con el nuevo diseño (líneas azules).

Para la fachada Norte (Fig. 11) los elementos óptimos de control y redirección de iluminación solar son horizontales. A partir del estudio de trayectoria solar fueron dimensionados, contando con una inclinación tal que permite la redirección de la potencia luminosa de sol directo hacia el interior del cielo raso del aula por propiedades ópticas de reflexión especular redistribuyendo el flujo luminoso hacia la zona del espacio interior deseada. El estudio detallado del sistema de iluminación natural de la fachada norte permite dejar un sector de las ventanas sin elementos de control, recuperando la vista hacia el exterior sin riesgo alguno de incidencia de sol directo en todo el año. Asimismo se minimizan posibles desgastes y costos de mantenimientos de los elementos móviles de los sistemas de control.

RESULTADOS DE ILUMINACION NATURAL A PARTIR DEL REDISEÑO DE ELEMENTOS DE CONTROL Y CONCLUSIONES

El sistema fijo propuesto evita el ingreso de radiación directa solar en todo el año, y la redirección de los rayos hacia el interior (techo) permite iluminar con luz natural difusa las aulas, sin causar discomfort durante las horas centrales del día (desde las 9 hs hasta las 18hs aproximadamente) generando un importante ahorro de energía eléctrica.

Una vez realizado el diseño y los ajustes en modelo a escala del sistema para cada fachada, se construyeron las maquetas virtuales y se calculo con RADIANCE el impacto sobre el aprovechamiento de la luz natural. (Fig. 12 y 13).

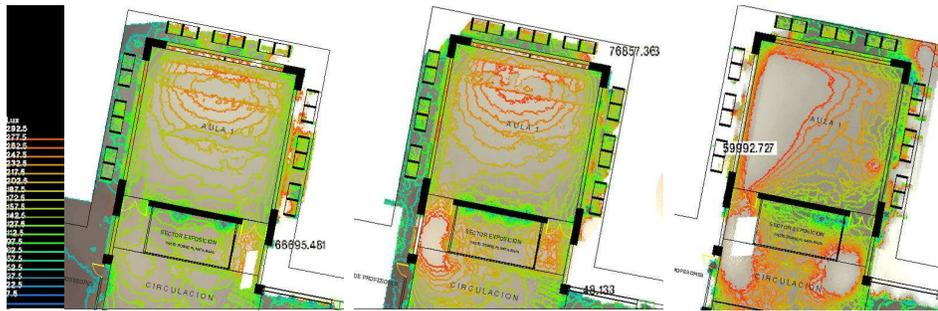


Figura 12.a, 12.b y 12.c Diciembre 10, 12 y 16 hs. Respectivamente. Se verifica que no hay sol directo y niveles aceptables de luz natural interior.

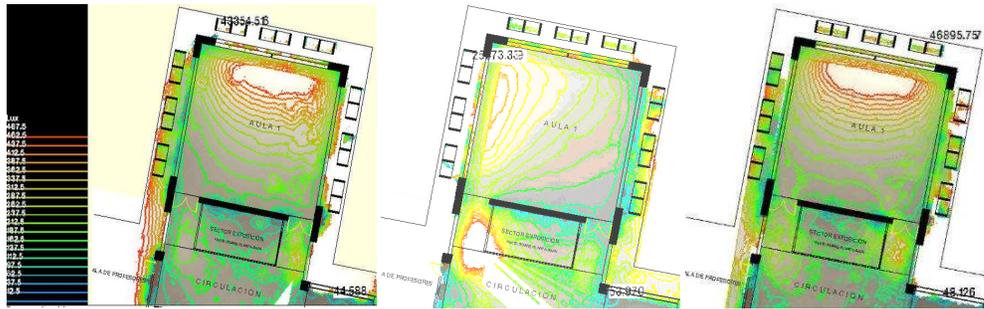


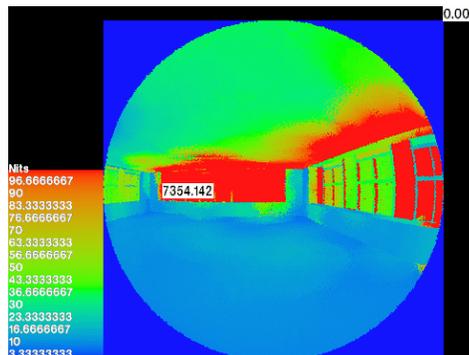
Figura 13.a, 13.b y 13.c Junio 10, 12 y 16 hs. Respectivamente. Se verifica que no hay sol directo y niveles aceptables de luz natural interior (superiores a 300lux).

MAPEOS DELUMINANCIA

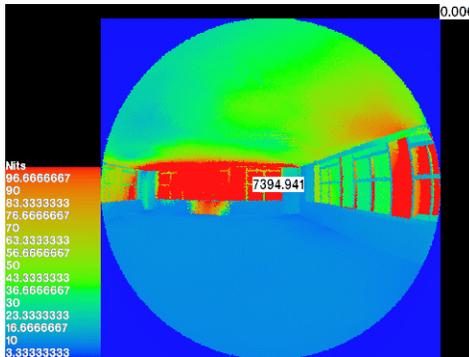
Para verificar la redirección de luz solar hacia el ciellorraso interior de aulas se calcularon los mapeos de luminancia en RADIANCE. Los resultados mostraron la eficiencia del sistema diseñado como puede verse en la figura 14.



Junio 10 hs

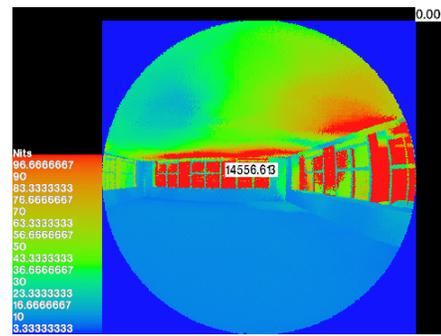


Junio 12hs





Diciembre 10 hs.



Diciembre 12 hs.

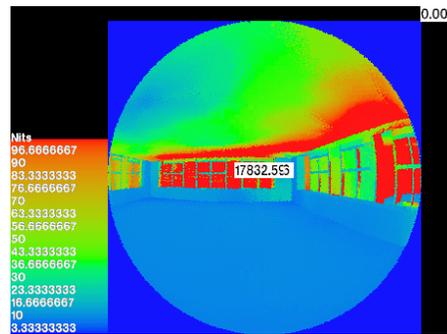


Figura 14.a 14.b 14.c 14.d 14.e 14.f 14.g 14.h. Visualización interior de la maqueta virtual aplicando el diseño del sistema de control e iluminación natural sobre ventanas.

En las imágenes a. c. e. g. se observa que en las estaciones de invierno y verano (períodos críticos para la penetración de sol sin control) se ha logrado el control total en el interior del aula, asegurando máxima luz natural difusa o redirigida. En las imágenes b. d. f. y h. se han graficado en falso color los cálculos de luminancia (cd/m²) de los periodos calculados. La máxima luminancia es representada en rojo, y no se evidencian brillos molestos en el área útil de trabajo del aula. La redirección de los mismos responden a la inclinación de los sistemas de control e iluminación hacia el techo, mejorando el aprovechamiento lumínico sin riesgos de deslumbramientos en el campo visual de los usuarios.

Es importante además destacar que las iluminancias calculadas en verano dentro del aula son menores que en el invierno, esto es positivo desde el punto de vista del confort térmico asociado a la luz de un espacio. Se ha demostrado en investigaciones previas (Laforge P. 1997) que el disconfort visual antecede en dos horas al disconfort térmico, es decir si un espacio se encuentra sobre iluminado en verano se comenzará a percibir el disconfort térmico asociado. En invierno (por la posición de altitud solar mas baja del sol y la redirección solar como resultado del sistema diseñado) tendrá valores de luminancia e iluminancias mas altos, sin provocar deslumbramientos dentro del campo visual de los usuarios de las aulas, asociándose esta luminancia al confort térmico de invierno.

REFERENCIAS

Al-Sallal, K. A. (2006). "Easing high brightness and contrast glare problems in universal space design studios in the UAE: Real models testing." *Renewable Energy* 31(31): 617–630.

Córica, L. (2008). INFLUENCIA DE LA ILUMINACIÓN NATURAL EN EL PAISAJE URBANO DE REGIONES ÁRIDAS. LA CIUDAD OASIS DE MENDOZA. *Tesis de Maestría en Arquitectura de Zonas Áridas*. San Juan, Argentina, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de San Juan. pp. 200.

Laforge P., S. B., Fontoynt M., Achard G. (1997). *SIMULATION OF VISUAL AND THERMAL COMFORT RELATED TO DAYLIGHTING AND SOLAR RADIATION IN OFFICE BUILDINGS*, Prague, Czech Republic.

Pattini, A. (2008). ¿Que hora es ahora?. Los Husos horarios y el cambio de hora para ahorro de energía eléctrica. Contexto mundial y local. *Uso Racional y Eficiente de la Energía en Iluminación*. C. Kirschbaum y E. Colombo. Tucumán, Argentina, EDUNT: 99-115.

Pattini, A. (2009). *La luz Natural en las escuelas. Aprovechamiento y control de la luz solar en aulas*. Buenos Aires, Argentina., Dunken.

PEN (1979). Decreto reglamentario 351/79 de la Ley N° 19.587 de HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. Artículo 71 al 84 sobre iluminación y color (Parte 1). A. Poder Ejecutivo Nacional.

Abstract: Direct solar radiation requires the mediation of design to be used as a light source mainly to achieve associated indoor thermal comfort conditions. In our region, only few cases of solar control devices or sunshade for windows, are the result of solar geometry and local light climate analysis accompanying the design process.

This paper shows a Classroom case study, whose windows and solar control devices are inefficient for natural lighting. Redesign of elements for redirecting sunlight were proposed, and their benefits and efficiency were verified, improving natural light in the classroom. Levels verified by simulation show averages above 300 lux and the lack of glare.