

ESTRATEGIAS DE CONTROL SOLAR EN AULAS ESCOLARES Y ANÁLISIS DE SU INCIDENCIA EN LA ILUMINACIÓN NATURAL INTERIOR MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MODELOS ANALÓGICOS A ESCALA

Santiago Hoses ⁽¹⁾, Gustavo San Juan ⁽²⁾, Mariana Melchiori ⁽³⁾, Graciela Viegas ⁽³⁾
IDEHAB, Instituto de Estudios del Hábitat, UI n°2, FAU, UNLP
Calle 47 N°162. CC 478 (1900) La Plata. http://idehab_fau_unlp.tripod.com/ui2
e-mail: santhoses@yahoo.com. Tel-fax: + 54 (221) 423-6587/90. Int.:254

RESUMEN: El trabajo expone la evaluación de la incidencia de distintas estrategias de control solar en la iluminación natural interior de aulas correspondientes a la Educación General Básica (EGB) de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Se adopta un aula tipo representativa del parque edilicio mencionado la cual se analiza con la aplicación de distintas estrategias de control solar. Se trabajó con modelos analógicos a escala, utilizando técnicas de medición de iluminación natural en cielo artificial y real. La metodología empleada permite cuantificar la respuesta de cada solución analizando las características interiores de la iluminación natural resultante (Contraste; Uniformidad; Factor de Iluminación Natural máximos, mínimos y medios). De esta manera el diseñador de edificios escolares podrá justificar la adopción de estrategias análogas a las presentadas, en relación a los valores obtenidos en el presente trabajo. Se acercan conclusiones sobre los aspectos relacionados con el confort lumínico a considerar en la región geográfica de estudio, con el objeto de su aplicación para la optimización del universo tipológico analizado.

PALABRAS CLAVE: Arquitectura Educacional; Iluminación natural; Protección solar.

INTRODUCCIÓN

La Red de escuelas de la Provincia de Buenos Aires cuenta con una serie de casos tipológicamente representativos en la conformación de sus edificios y en los “módulos aula” que los componen, siendo este el espacio más relevante del edificio escolar, tanto desde el punto de vista de la producción educativa, como desde las condiciones energéticas y de confort que se requieren. En la Provincia de Buenos Aires, las aulas constituyen aproximadamente el 35% de la superficie total del los establecimientos para el nivel EGB, siendo el espacio de mayor influencia en el conjunto escolar. Es por ello que se estudian estos sectores significativos para conocer el comportamiento del edificio.

El trabajo que se presenta es la continuación del análisis de la iluminación natural en aulas, desarrollado en función de la variación de su forma, porcentaje y ubicación del aventanamiento; y coeficientes de reflexión interior (San Juan et al. 1996; San Juan et al. 1997; Evans et al. 1998; Hoses et al. 2000). Del diagnóstico realizado en trabajos anteriores, se desprendió que buena parte del universo construido necesitará complementarse con iluminación artificial para cumplir con los requerimientos mínimos de confort, con aumento considerablemente del consumo de energía eléctrica y del costo de mantenimiento, reposición y reparación de los equipos con disminución del confort lumínico. La existencia de aventanamiento sólo en la fachada principal, es causa de un excesivo contraste, generando deslumbramiento y falta de uniformidad en la distribución de la luz entrante. La situación óptima es la que incluye aventanamiento en cubierta. Asimismo se detectó la necesidad de implementar sistemas de sombreado en días claros aún cumpliéndose con la normativa (IRAM, 1970). En esta oportunidad se propone avanzar sobre el análisis de la respuesta de elementos de control solar. Se plantean los siguientes objetivos:

1. Evaluar el comportamiento lumínico de elementos de control solar en aulas.
2. Comparar los resultados que arrojen las dos hipótesis consideradas, cielo cubierto y cielo descubierto.

METODOLOGIA

Metodológicamente el trabajo se desarrolla en las siguientes instancias:

1. Adopción de variables de cálculo.
2. Diseño de elementos de control solar para la latitud de referencia en el escenario de análisis propuesto.
3. Verificación de trayectoria solar en heliodón y ajuste de elementos; verificándose la incidencia de luz indirecta en cada aventanamiento, tal como exige la normativa vigente (Ministerio de Cultura y Educación de la Nación, 1997)

¹ Becario de Perfeccionamiento CONICET

² Investigador CONICET

³ Colaboradores

4. Mediciones en cielo artificial y real, con modelos analógicos a escala (1:20). Cálculo del Factor de Iluminación Natural (en adelante FIN). Realización de una simulación base para el aula desprovista de elementos de control (caso patrón). Comparación de las características de la iluminación natural interior arrojada por cada una de las estrategias de control aplicadas.
5. Generación de pautas de diseño.

DESARROLLO

Determinación de Variables Operacionales.

Se adoptó como escenario de cálculo, la ciudad de La Plata, ubicada a 35° latitud Sur; perteneciente a la zona bioambiental III-b Templada cálida de la República Argentina, la cual presenta una radiación global media diaria de 16,10 MJ/m².

Se trabajó sobre un aula tipo de planta cuadrangular, sus dimensiones son 7,00 m de ancho x 7,00 m de largo x 3,20 m de alto en su parte mas baja, con características constructivas tradicionales. Esta tipología se caracteriza por la ausencia de diseño lumínico consciente, presenta iluminación unilateral y cubierta con una sola pendiente sin aberturas complementarias. La superficie de aventanamiento corresponde al 30% de la superficie de la fachada expuesta (2 aberturas de 2.00 x 1.50m, a un metro del piso). Se adoptaron coeficientes de reflexión estándar de las superficies interiores: Pared = 0.72; Piso = 0.56; Cielorraso = 0.56 y para el coeficiente de transmisión del vidrio se tomó 0.86.

Diseño de Elementos de Protección o Captación Solar

Para la adopción de las estrategias de control solar se ha tomado como referencia el análisis y clasificación de componentes de iluminación natural de la Comisión de Comunidades Europeas, 1993:

- i. Espacios intermedios: son espacios que guían y distribuyen la luz a través del interior del edificio: galería abierta, galería cerrada, invernadero, patio, atrio cerrado, ducto de luz, ducto solar, etc.
- ii. Componentes de paso: son dispositivos diseñados para permitir el paso de la luz natural a través del cerramiento desde un ambiente a otro.
 - a) Lateral: situados en los paramentos verticales del edificio, permiten la penetración lateral de luz (ventana, courtin-wall, etc);
 - b) Cenital: situados en cubiertas del edificio, (clerestorio, cortes en cubierta, cubierta sheed, cielorraso traslucido, claraboya o lucarnas, linternas);
 - c) Global: son parte del cerramiento del volumen construido, cercano limitan un espacio parcial o totalmente, permitiendo simultáneamente la penetración de iluminación natural lateral y cenital (membranas)
- iii. Elementos de control o captación solar:
 - a) Superficie divisoria: elementos de material transparentes o traslúcidos, que separan dos ambientes lumínicos.
 - b) Pantallas flexibles: obstruyen parcial o totalmente la luz solar directa y difusa, permitiendo ventilación natural: toldos, cortinas (y si ponemos un toldo traslucido o chapa traslucida)
 - c) Pantallas rígidas y opacas: re-direccionan o obstruyen la radiación solar directa disminuyendo el paso de luz, aleros, estantes de luz, alfeizares, pantallas verticales perpendiculares, pantallas verticales paralelas.
 - d) Filtros solares: cubren completamente la superficie de una abertura, celosías, persianas, brise-soleil, protecciones tipo trama metálicas.
 - e) Obstrucciones solares: postigos
- iv Elementos ajenos al edificio: piso reflectante, pantallas opacas o traslúcidas; vegetación, etc.

Podrían establecerse una gran variedad de componentes y combinaciones, así como contemplar la radiación solar como calefacción pasiva, no obstante ello no es objeto de este trabajo. El análisis esta centrado en la respuesta de la conducta individual de los elementos más representativos sobre una situación tradicional de aberturas, en cuanto ubicación y tamaño. Se adoptaron las siguientes estrategias: 1) ventana lateral 30% de la superficie expuesta; 2) Galería; 3) Alero; 4) Alero + Estante de luz; 5) Pantallas verticales; 6) Brise-soleil; 7) Alero tipo celosía; 8) Piso reflectante; 9) Pantalla opaca vertical de igual altura que la separación de la abertura; 10) Pantalla opaca vertical de una altura igual a dos veces su separación de la abertura. Se adoptó un coeficiente de reflexión de 0,90 para los elementos de protección y 0,95 para el piso reflectante, mientras que para las obstrucciones externas se consideró un coeficiente de reflexión de 0,72.(Tabla 1)

Dimensionado y Verificación de Elementos.

Se dimensionó cada elemento considerando el aula con orientación Norte. En función del escenario propuesto y la actividad que aloja el edificio, se evita el ingreso de radiación directa especialmente durante el período estival y los equinoccios, para evitar el sobrecalentamiento y los reflejos molestos, especialmente en el horario donde la incidencia solar es mayor. Se han diseñado los elementos para proteger las aberturas entre las 10:00 hs. y las 14:00 hs, según los ángulos de altura y azimut. (Tabla 2)

En función de las premisas planteadas se diseñaron los elementos de protección para los casos 3, 4, 6 y 7. El caso 5 (pantallas verticales) se ha dimensionado suponiendo una orientación oeste. En el caso de la galería abierta (2) se consideró un espacio circulatorio de 2,50 m de profundidad, que corresponde a gran parte de las situaciones relevadas en trabajos anteriores. Para el caso 8 se consideró un piso reflectante de 3,00 m de profundidad. Para los casos 9 y 10 se consideró un patio de aire y luz de 3,00 m de profundidad, con un paramento enfrentado a la fachada expuesta, a una altura de 3,00 m y 6,00 m, que corresponderían a una medianera de uno y dos niveles, respectivamente.

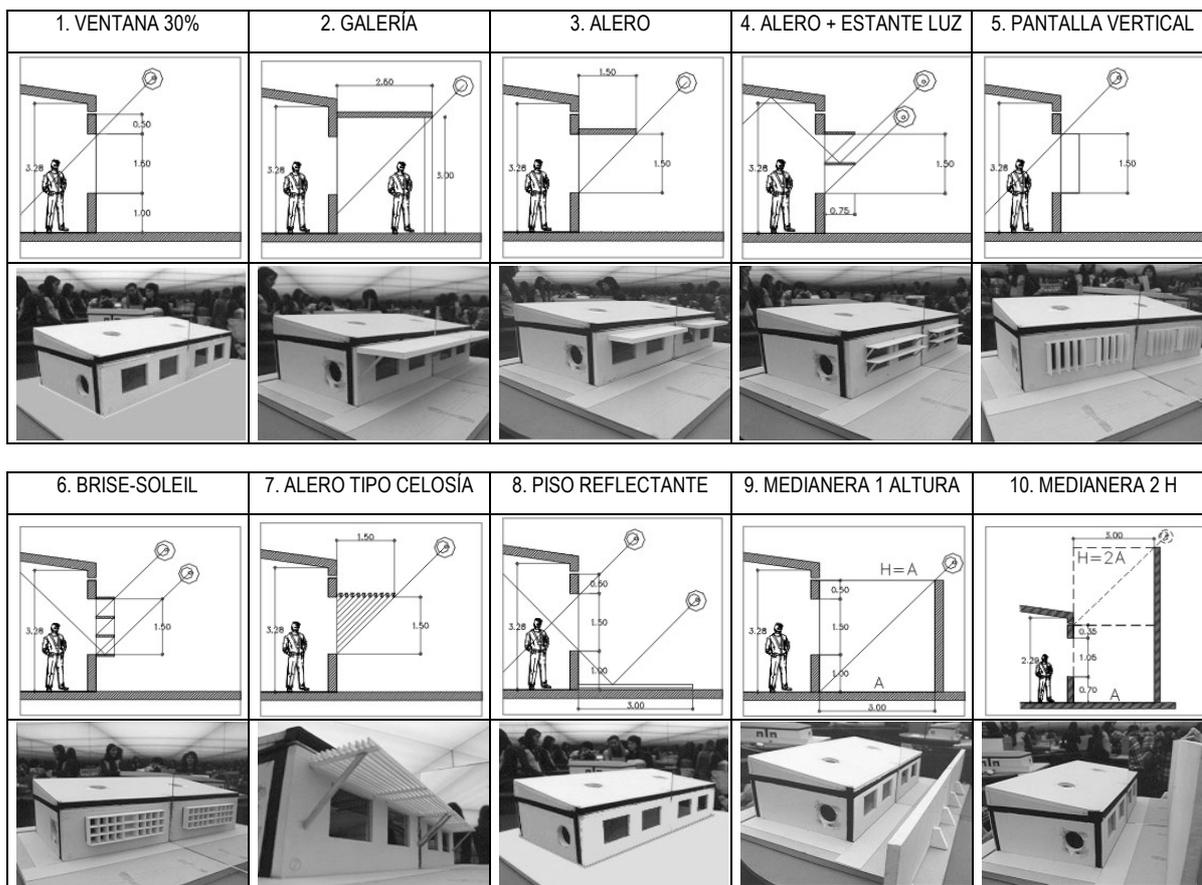


Tabla 1. Estrategias de protección solar en aulas. Casos seleccionados.

Se utilizó el Heliodón del Centro de Investigación Hábitat y Energía, FADU-UBA, y se verificó la trayectoria solar para las situaciones consideradas. Si bien la modificación de la orientación ocasiona una notable variación en los valores de iluminación natural, no es objeto de este trabajo.

Medición con modelos analógicos a escala.

Se subdividió la planta del aula en una malla regular, conformada por un total de 25 puntos de medición. No se consideró la franja perimetral de 0,50m de ancho (Figura 1). Para la medición en el interior de las maquetas se utilizó un luxómetro “LI-COR” con sensor fotométrico LI-210SA y como referencia exterior un luxómetro “TES”, modelo 1330. (Figura 2)

Se midió simultáneamente en el interior y en el exterior del aula con el objetivo de calcular el FIN en cada punto como porcentaje respecto al nivel exterior. (FIN= cociente entre ambos valores medidos); se realizó una medición por cada escenario de análisis. Los datos recogidos se volcaron en planillas de Excel diseñadas ad-hoc, preparadas para graficar automáticamente la distribución de la iluminación natural. (Tabla 3)

Se tomaron como FIN_{min} y FIN_{max} , los valores mínimo y máximo respectivamente, mientras el FIN_{med} se calculó como media aritmética de todos los valores medidos. Se calculó el cociente FIN_{min} / FIN_{med} como indicador de la uniformidad de la distribución de la iluminación natural en el recinto.

Cielo Artificial: Se adoptó el modelo de cielo cubierto CIE (Standard Overcast Sky). Esta elección encuentra justificación en las estadísticas brindadas por el Servicio Meteorológico Nacional, de las cuales se desprende que en la región de estudio (34°S), el número de días con cielo cubierto y semicubierto supera al de días claros a lo largo de todo el año (66,4% de los días. S.M.N., 1996). Asimismo se evalúan las condiciones más desfavorables desde el punto de vista lumínico.

Latitud 35°		10:00hs	12:00hs	14:00hs
Altura (H)	21 Diciembre	62°	78°	62°
	21 Marzo-Septiembre	44°	55°	44°
	21 Junio	25°	31°	25°
Azimut (A)	21 Diciembre	74°	0°	74°
	21 Marzo-Septiembre	47°	0°	47°
	21 Junio	31°	0°	31°

Tabla 2. Altura y Azimut solar para Solsticios y Equinoccios (Czajkowski, 1993)

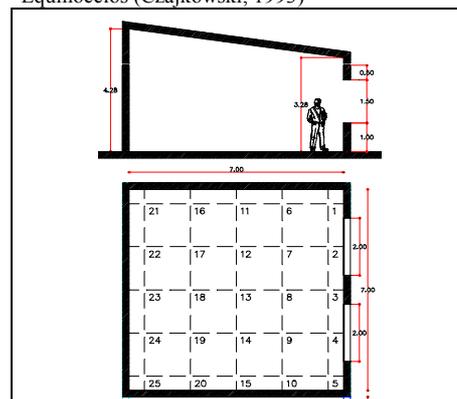


Figura 1. Malla de medición, 25 puntos.

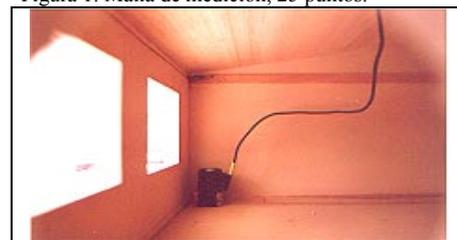


Figura 2. Luxímetro. Interior de maqueta en cielo artificial.

Se utilizó el cielo artificial del Centro de Investigación Hábitat y Energía, FADU-UBA, construido según el modelo teórico propuesto por el Comité Internacional de l'Eclairage (CIE). (Evans et al, 1997)

Cielo Real: Se midió con cielo real, en la ciudad de La Plata, durante la primera quincena de agosto entre las 12:00 y las 14:00 horas, para contrastar los resultados obtenidos en el cielo cubierto con un cielo descubierto. Se trabajó según las orientaciones previstas anteriormente. Los valores de intensidad lumínica exterior registrados durante la medición correspondieron a los establecidos por IRAM y la Asociación Argentina de Luminotecnia para la zona de estudio: 4000 lux a las 8:00 y a las 16:00; 45000 lux a las 10:00 y a las 14:00; y 55000 lux a las 12:00 horas.

Comparación de resultados obtenidos

	1. VENTANA 30 %	2. GALERIA	3. ALERO	4. ALERO + ESTANTE	5. PANTALLA VERTICAL
C. ARTIFICIAL (FIN)					
	1.40 4.30 17.98 0.33	0.95 2.25 7.34 0.42	1.09 2.67 9.27 0.41	1.04 2.46 7.79 0.42	1.06 2.77 11.29 0.38
CIELO REAL (FIN)					
	2.34 11.54 68.16 0.20	0.99 2.82 9.67 0.35	1.34 9.13 57.56 0.15	1.31 3.47 11.59 0.38	1.45 4.11 14.75 0.35
C. REAL					
C. ARTIFICIAL					
	6. BRISE-SOLEIL	7. ALERO CELOSÍA	8. PISO REFLECTANTE	9. MEDIANERA 1H	10. MEDIANERA 2H
C. ARTIFICIAL (FIN)					
	0.70 1.62 5.35 0.43	1.15 3.00 10.95 0.38	1.68 5.00 19.69 0.34	1.46 4.10 16.81 0.36	1.26 3.17 12.52 0.40
CIELO REAL (FIN)					
	1.26 2.83 10.51 0.45	1.31 3.21 10.43 0.41	2.54 10.88 70.43 0.23	1.97 10.89 66.30 0.18	0.18 0.63 3.41 0.29
C. REAL					
C. ARTIFICIAL					

Tabla 3. Distribución en planta y corte de FIN, para cielo artificial y real. Valores de FIN min, med, max y coeficiente de uniformidad, para cada caso.

Valores de FIN propuestos por la normativa: El ámbito normativo en materia de iluminación natural en escuelas prevé una serie de valores de factor de luz diurna a respetarse para garantizar las condiciones de confort lumínico. La norma argentina IRAM AADL J20-04 establece para los locales destinados a aula, un valor mínimo de FIN del 2%, especificando que dicho valor se deberá verificar aún en el lugar más desfavorable del local ubicado por lo menos a 1 (un) metro de distancia de las paredes del mismo (IRAM AADL J20-02). El British Standard Institute (1982) recomienda los siguientes valores de FIN en aulas: con iluminación natural únicamente, un FIN medio del 5% y con iluminación natural complementada con artificial, un FIN medio del 2%. La norma exige valores de iluminación general mínimos de 500 lux, a partir de ello también es posible establecer el requisito de iluminación artificial complementaria que necesita cada solución.

CONCLUSIONES

Del análisis de los valores arrojados por el cielo artificial, el requisito de FIN mínimo solicitado por la norma nacional, sólo es cumplido por los casos 8 y 9, sin embargo se deberá tener en cuenta el problema de la falta de uniformidad. En general los coeficientes de uniformidad arrojados son regulares (en casos de iluminación bilateral, de trabajos precedentes se habían obtenido coeficientes de 0,70 y 0,80), sin embargo el interés de este trabajo radica en la aplicación de estas conclusiones para los casos donde no se puede adoptar iluminación bilateral. Respecto del porcentaje de superficie del aula fuera de confort aparecen como mejores los casos que no presentan protección sobre la ventana (caso 1=27 %, 8=7% y 9=14%), sin embargo es allí donde se registran los menores coeficientes de uniformidad (0,33; 0,34; 0,36 respectivamente) (Figura 3)

Observando las condiciones de iluminación natural arrojadas por el cielo descubierto (real), es notable también el aumento de los máximos especialmente en los casos 1, 8 y 9, donde los valores se incrementan 3 ½ veces; en el caso 3 este valor asciende 5 ½ veces. Estas situaciones generan malos coeficientes de uniformidad, que oscilan entre 0,15 y 0,23. Respecto del cielo artificial, en general, los coeficientes de uniformidad registrados empeoran, excepto en los casos 6 y 7 (Brise-soleil y Alero celosía) donde la componente reflejada que ingresa al local mantiene los valores de FIN máx, casi inalterados. Con referencia al requisito de valores de FIN superiores al 2%, en general se logra disminuir la superficie en disconfort, sin embargo este indicador no puede ser tomado independientemente, sino que se deberá compensar con los coeficientes de uniformidad.

En síntesis, para todos los casos de iluminación unilateral se deberá observar cuidadosamente el incremento de los valores máximos en los dos metros más cercanos a la fuente de iluminación, para lo cual los elementos de protección más adecuados parecen ser la galería, el alero + estante de luz, el brise-soleil y el alero celosía, sin embargo todos requerirán iluminación artificial complementaria en el fondo del local (50% de la superficie del aula, excepto el caso 6 que la requerirá casi en un 75% de su superficie).

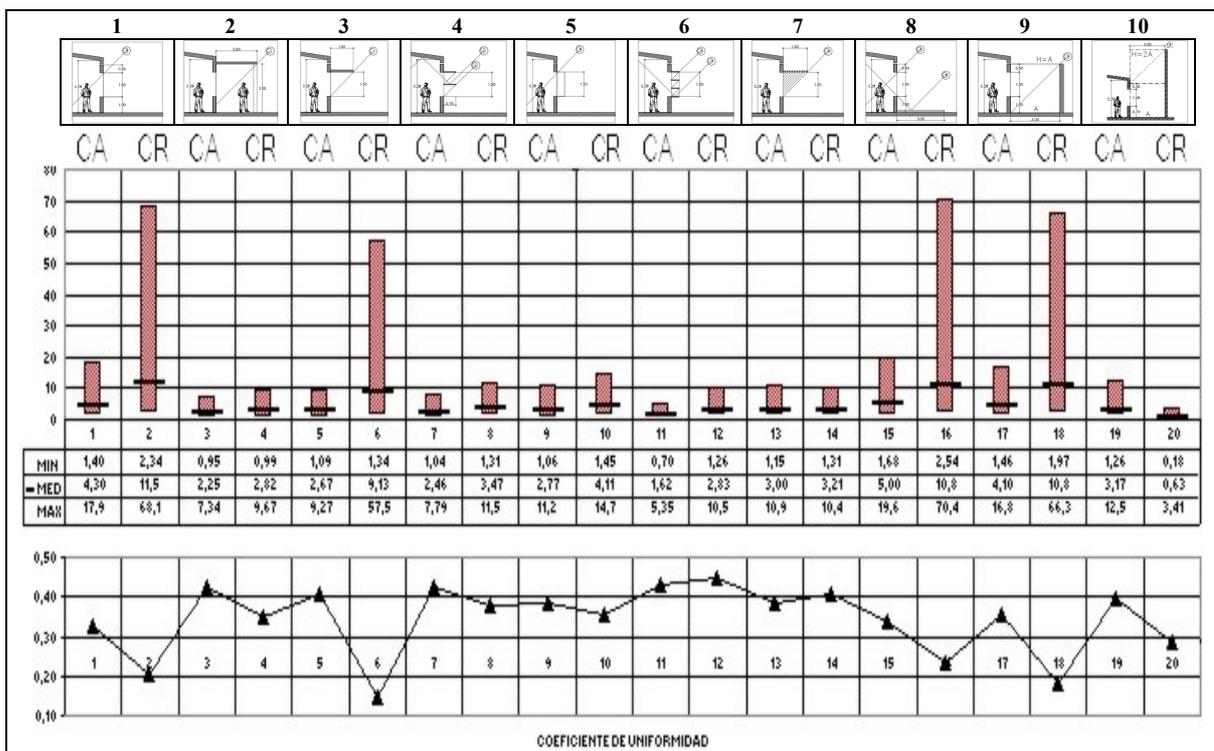


Figura 3. Gráfico comparativo de FIN máximos, medias y mínimos para cada estrategia de protección; y coeficientes de uniformidad; según cada estrategia y según tipo de cielo.

En función de los resultados analizados, será necesario complementar estrategias para lograr adecuadas condiciones de iluminación con cielo descubierto. Por ejemplo: combinando el piso reflectante con la solución de alero + estante de luz se obtienen coeficientes de uniformidad de 0,40; por una importante reducción del FIN máx (12,90), respecto de la opción de piso reflectante (coef. Unif.= 0,23; FIN máx= 70,43). En relación al caso 4, esta solución complementaria, reduce la superficie en disconfort del 45% al 10%, con el consiguiente ahorro en iluminación artificial.

Se desprenden además del presente trabajo algunas conclusiones generales de interés para el diseño de edificios escolares.

- a) La necesaria incorporación de elementos de protección solar, con los cuales se pueda regular las condiciones de confort lumínico interior.
- b) La incorporación en el proceso de diseño de técnicas de simulación y diagnóstico, no solo como verificación de resultados, sino como un método para generar nuevas soluciones.
- c) La utilización en este tipo de edificios, de aleros, galerías o estantes de luz, arrojan una considerable mejora en los niveles de uniformidad, eliminando el acceso directo de radiación solar, lo cual afecta principalmente los dos primeros metros del aula. Debe considerarse la inclusión de aportes cenitales, por doble aventanamiento, o pantallas difusoras.
- d) Se deben aprovechar las superficies exteriores de paramentos y solados de tal modo de poder introducir radiación difusa al aula, teniendo especial atención al deslumbramiento a través de aberturas (casos 8 y 9). Sin embargo para evitar reflejos molestos y sensaciones desagradables, se deberán compensar con elementos que actúen como filtro, evitando valores máximos demasiado altos, y elementos reflectantes como cielorrasos, pantallas horizontales, o membranas difusoras.
- e) Las intensidades lumínicas interiores registradas son muy inferiores a los establecidos por las normativa en 500 lux, ya que los valores medios registrados varían de 100 a 150 lux, en el cielo artificial. Estos datos se corresponden con mediciones de iluminación natural “*in situ*”. De lo anterior se desprende la necesidad de incorporar iluminación adicional.

Esta serie de pautas de diseño asociadas a la incidencia de elementos de protección solar, deben incluir aquellas que respondan a la variación de la forma, tamaño y ubicación del aventanamiento; a los coeficientes de reflexión interiores y exteriores; y a la forma del aula. Asimismo debe contemplarse la localización del edificio, incorporado al ámbito urbano o en espacios abiertos; como así también el diseño asociado entre iluminación artificial y natural, con lo cual mejorar las condiciones de confort durante todo el periodo de uso con la consiguiente reducción del consumo de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- British Standards Institution. (1982). Draft for Development. Basic Data for the Design of Buildings: Daylight. DD 73: 1982.
- Commission Of The European Communities (1993). Directorate-General XII for Science, Research and Development Daylighting in Architecture. A European Handbook. Bruselas y Luxemburgo.
- Czajkowski, J et al. (1993). Introducción al diseño bioclimático y la economía energética edilicia. UNLP.
- Evans J.M., et al. (1997). Equipamiento para el estudio de Iluminación natural: Diseño, construcción y calibración de un cielo artificial. Actas IV Encontro Nacional no Ambiente Construido. Salvador, Bahía. Brasil.
- Evans J.M., et al. (1998). Iluminación en maquetas y espacios con iluminación natural. Recomendaciones para su medición. Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar, N° 2. Salta, Argentina.
- Gonzalo, G. (1998). Manual de Arquitectura Bioclimática. Tucumán.
- Hoses, S. et al. (2000). Análisis pre y post-ocupacional como herramienta de proyecto. Habitabilidad y energía en edificios escolares. Actas XVIII Arquisur. La Plata, Buenos Aires.
- IRAM. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. (1966) Norma AADL J20-02. Iluminación natural en edificios. Condiciones generales y requisitos especiales.
- IRAM. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. (1970). Norma AADL J20-03. Iluminación natural de edificios. Métodos de determinación.
- IRAM. (1974) Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Norma AADL J20-04. Iluminación en escuelas. Características.
- MCEN. (1997) Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar. Ministerio de Cultura y Educación de la Nación, Argentina.
- San Juan G, et al.(1996) Desarrollo metodológico para la evaluación del comportamientos lumínico de la red tipología de edificios de educación de la Provincia de Buenos Aires. Actas de la 19° Reunión de Trabajo de ASADES. Mar del Plata, Argentina.
- San Juan G., et al. (1997). Generación de indicadores teóricos optimizados. Sinergia de balance termo-lumínico en aulas. Estado de avance. Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar, N° 1. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Servicio Meteorológico Nacional. (1985) Estadísticas Meteorológica: 1971-1980.

AGRADECIMIENTOS: Se agradece a los arquitectos Martin Evans y Silvia de Schiller, del CIHE – FADU - UBA, por la desinteresada colaboración que han demostrado cediéndonos sus instalaciones para la realización de este trabajo.

ABSTRACT: This work exposes the evaluation of solar control different strategies incidence in the classroom's lighting corresponding to the Basic General Education (EGB) of the Buenos Aires province, Argentine. A representative classroom type of the mentioned area is adopted, which is analyzed with the application of different solar control strategies. Scaled analogical models are used, using daylighting mensuration in artificial and real sky techniques. The methodology used allows us to quantify the answer of each solution analyzing the interior characteristics of the natural illumination resultant (Contrasts; Uniformity; maximum, minimum and means Illumination Natural Factor.). In this way the school buildings designer will be able to justify the adoption of strategies similar to those presented, in relation to the values obtained in the present work. Conclusions on the aspects related with light comfort to be considered in the studied geographical region are exposed, in order to their application for the optimization of the typological universe analyzed.