

EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO LUMINICO EN AULAS CON DIFERENTES SOLUCIONES DE ENVOLVENTE EDILICIA.

G.A. San Juan ^(a), J.M. Evans ^(b), M. Bogatto ^(c), S. Hoses ^(d), M. Marmora ^(e)

IDEHAB, Instituto de Estudio del Hábitat, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata.
Calle 47 N°162, C.C. 478, La Plata (1900). Tel-Fax + 54 (021) 214705. E-mail gsanjuan@arqui.farulp.unlp.edu.ar

CIHE, Centro de investigación Hábitat y Energía, SICyT-FADU-UBA.
C.C. 1765, Correo Central (1000), Capital Federal, Pabellon 3, 4to piso, Ciudad Universitaria.
Fax + 54 (01) 782 8871. E-mail evans@fadu.uba.ar

RESUMEN

En el trabajo se exponen los resultados de la evaluación del comportamiento lumínico de aulas pertenecientes a escuelas bonaerenses. Se utilizan técnicas de medición con modelos a escala y simulación mediante programas informáticos. El objetivo es generar herramientas prácticas e información sistemática para el uso del diseñador de edificios escolares.

INTRODUCCION

El presente trabajo consiste en el estudio de tipologías edilicias de establecimientos escolares de la Prov. de Buenos Aires ya caracterizadas en trabajos anteriores ⁽¹⁾. Se exponen los resultados obtenidos para un aula tipo, seleccionándose una de forma rectangular, perteneciente a la tipología "lineal simple crujía" ⁽²⁾. Se considera una solución constructiva "tradicional", caracterizada por la ausencia de diseño lumínico consciente y se comparó su comportamiento con el de soluciones alternativas de la envolvente edilicia. Estas variaciones corresponden a la adopción de diferentes soluciones de color para las superficies interiores del aula, distintos aventanamientos obtenidos mediante la variación del porcentaje de superficie transparente en la fachada principal y la forma de la cubierta incorporando aberturas que actúan como fuentes de luz complementarias.

Se realizaron mediciones en cielo real y artificial con modelos a escala de los edificios, y se efectuaron simulaciones con programas específicos de cálculo de la iluminación natural en computadora (respecto de la calibración de instrumentos y de las características de la toma de datos ver ³⁾).

Este trabajo plantea los siguientes objetivos:

1. Evaluar el comportamiento lumínico en aulas, tomando como variables su forma y la envolvente edilicia (tipo de cubierta, aberturas, coeficientes de reflexión internos);
2. Evaluar los resultados que arrojan los diversos métodos de análisis empleados.

El presente trabajo arroja conclusiones acerca de 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. Estas conclusiones se relacionan con los resultados obtenidos en otros trabajos en desarrollo ⁽⁴⁾.

METODOLOGIA

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. El espacio más relevante del edificio escolar es el aula, tanto desde el punto de vista de la producción educativa, como desde las condiciones energéticas y de confort que requieren. Además, las aulas constituyen aproximadamente el 35% de la superficie total de los establecimientos para el nivel EGB, siendo el espacio de mayor influencia en el conjunto escolar. El concepto de confort se asocia a las necesidades fisiológicas de los usuarios y a las condiciones óptimas requeridas para la realización de las tareas cotidianas (niveles mínimos de iluminación, uniformidad, contraste, etc.)

Metodológicamente el trabajo se desarrolla en las siguientes instancias:

1. Mediciones en cielo artificial y en cielo real;
2. Comparación de resultados obtenidos con programas informáticos de mediana complejidad. (Daylight 4.1, Rafis)

^(a) Investigador CONICET. ^(b) Investigador FADU-UBA. ^(c) Investigador UNLP-UBA. ^(d) Becario Iniciación CONICET. ^(e) Técnico

Modelo de cielo. Se adopta el 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 supera al de días despejados a lo largo de todo el año. Asimismo se evalúan las condiciones más desfavorables desde el punto de vista lumínico, en coincidencia con el modelo teórico.

Programas de simulación. Se utilizaron dos programas sencillos para el cálculo de la iluminación natural en recintos, con condiciones de cielo cubierto, que calculan y representan gráficamente los valores de FIN (Factor de Iluminación Natural) en un plano horizontal teórico situado a una distancia determinada del suelo:

Daylight 4.1: Admite locales de forma rectangular con pisos y cielorrasos horizontales. Utiliza el modelo de cielo cubierto CIE, desarrollado en el Anglia Polytechnic.

Rafis : Admite locales con formas poligonales sin lados proyectados hacia el interior del local. Utiliza un modelo de cielo cubierto tipo CIE modificado, desarrollado por investigadores de la Universidad Politécnica de Barcelona.

Variabes de diseño. Se analiza el comportamiento lumínico teórico del módulo aula y luego se interviene modificando las siguientes variables:

1. Forma del aula: cuadrada y rectangular;
2. Coeficiente de reflexión de las superficies interiores para aula clara: paredes 0.72, piso 0.56, techo 0.56; aula oscura: paredes 0.64, piso 0.30, techo 0.56⁽¹⁾. Coeficiente de transmisión del vidrio 0.86;
3. Ubicación y tamaño de las aberturas sobre la fachada principal (norte): ventana pared 100%, ventana corrida 50%, ventana alta 25%;
4. Cubierta: "A" dos aguas; "B" dos aguas con entrada de luz lateral (norte) en el centro del local por quiebre de los techos; "C" un agua con entrada de luz lateral por una ventana corrida superior del lado opuesto (sur);
5. Orientación norte para las mediciones en cielo real.

Cielo artificial. Se utilizó para la medición 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).⁽²⁾

Instrumental. 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 "IES", modelo 1330.



Metodología adoptada para la medición.

| TIPO DE CUBIERTA | % aventanamiento | AULA CLARA - [FIN] | | | | AULA OSCURA - [FIN] | | | |
|------------------|------------------|--------------------|-------|-------|---------|---------------------|-------|-------|---------|
| | | MIN | MEDIO | MAX | MIN/MED | MIN | MEDIO | MAX | MIN/MED |
| A | 25% | 2.23 | 4.71 | 9.88 | 0.47 | 1.71 | 4.37 | 10.22 | 0.39 |
| | 50% | 2.83 | 5.87 | 12.34 | 0.48 | 2.10 | 5.27 | 12.04 | 0.40 |
| | 100% | 3.89 | 6.75 | 13.00 | 0.58 | 2.82 | 5.89 | 12.67 | 0.48 |
| B | 25% | 4.86 | 6.68 | 10.40 | 0.73 | 4.01 | 6.03 | 9.91 | 0.66 |
| | 50% | 5.12 | 7.2 | 11.88 | 0.71 | 4.17 | 6.09 | 10.33 | 0.68 |
| | 100% | 6.25 | 8.73 | 13.81 | 0.71 | 5.13 | 7.60 | 13.23 | 0.67 |
| C | 25% | 5.60 | 7.25 | 11.14 | 0.77 | 4.94 | 6.43 | 10.18 | 0.77 |
| | 50% | 6.15 | 7.80 | 11.87 | 0.80 | 5.48 | 7.27 | 11.62 | 0.75 |
| | 100% | 7.13 | 9.22 | 14.30 | 0.77 | 6.07 | 6.07 | 13.98 | 0.73 |

Tabla 1: valores medidos y calculados según mediciones en cielo artificial.

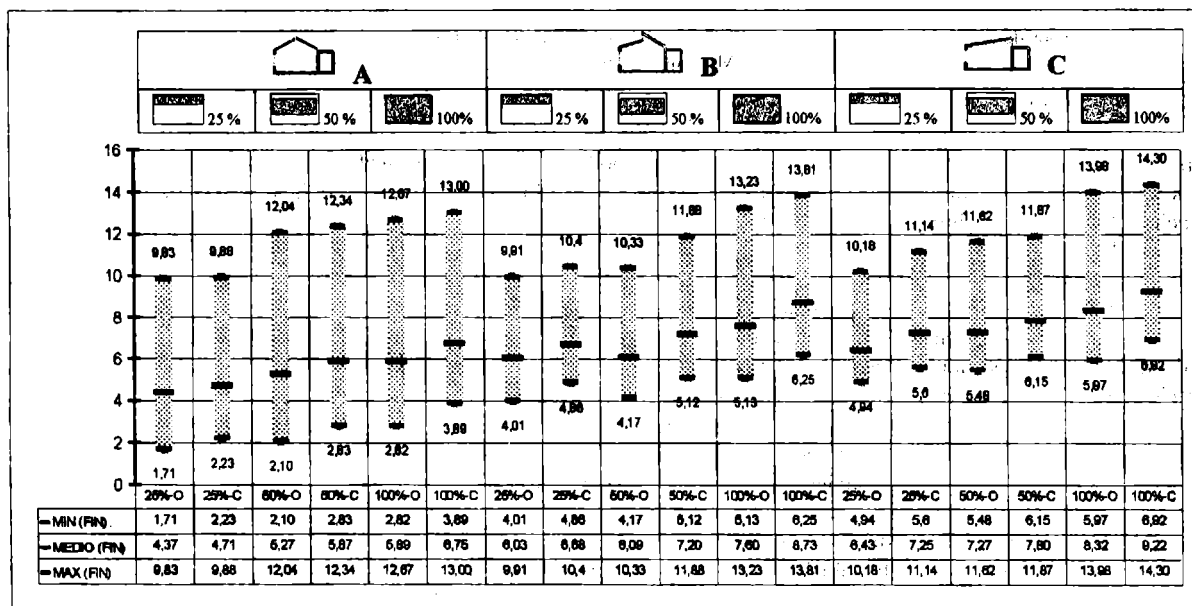
- Se subdividió la planta del aula en una malla regular, conformada por un total de 12 puntos de medición. No se consideró la franja perimetral de 0.50m de profundidad (fig. 3);
- Se midió simultáneamente en el interior y en el exterior del aula con el objetivo de calcular el FIN en cada punto como porcentaje respecto al nivel exterior. (FIN= cociente entre ambos valores medidos);
- Se realizó un número de campañas de mediciones igual a las variantes de diseño previstas: las tres soluciones de techo con las tres soluciones de aventanamiento adoptadas. Todas esas se repitieron en aula clara y en aula oscura;
- Se tomaron como FIN_{min} y FIN_{max}, los valores mínimo y máximo respectivamente, mientras el FIN medio 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.

RESULTADOS. Resulta oportuno dividir los resultados según el esquema siguiente:

Variación de coeficientes de reflexión interior. En todos los casos la variante color influye principalmente sobre el valor mínimo del FIN, resultando de dicha comparación valores entre un 15 y un 30% menores en el aula oscura que en el aula clara, lo cual se debe a la mayor absorción de las superficies interiores con respecto a la componente reflejada de la luz entrante. Considerando los valores medios y máximos, se observa que la diferencia entre las dos variantes de color, es menor no superando el 8% aproximadamente.

Variación de la solución de cubierta y aventanamientos. Lo más significativo que se obtiene con diferentes soluciones de cubierta es la variación de la uniformidad de la iluminación natural en el aula y de los valores mínimos cuando existe una fuente de iluminación natural suplementaria. En el caso de cubierta opaca los resultados obtenidos muestran un elevado contraste entre los valores mínimos y máximos; este contraste se acentúa para el caso de aula con paramentos oscuros. Por ejemplo; para el caso "A" - avent. 50% en aula clara, el valor menor de FIN_{máx} es de 12,34% con un FIN_{mín}=2,83%, siendo la relación de contraste entre ambos de 4:1. Según la norma argentina (7) esta relación no debería superar 3:1. El tipo de cubierta "A" cumple con los requisitos de la norma nacional ya citada sobre el FIN_{mín} en escuelas que corresponde al 2%. La norma británica eleva este valor a un 5 %, previendo para el caso de un FIN_{mín} del 2%. la necesidad de iluminación artificial complementaria (8).

Tabla 2. Cuadro comparativo de resultados para cielo artificial. (Variables: cubierta, aventanamiento, superficie interior)



Los tipos de cubierta "B" y "C" cumplen con esta norma, (excluyendo los casos de aventanamiento de 25 y 50% para aulas oscuras con techo tipo "B"). En el caso del techo tipo "B", con el cual la mitad del aula recibe luz complementaria por una ventana en la cubierta con la misma orientación que el aventanamiento principal, se registran coeficientes de uniformidad más elevados que en el caso del techo de tipo "A". La condición óptima resulta ser la del techo tipo "C", con la cual se detectan los mejores coeficientes de uniformidad - valores que fluctúan entre 0.73 a 0.80 - y los mayores valores mínimos. De lo expuesto se desprende que los resultados óptimos se obtienen en el caso del aula con superficies interiores claras y con techo tipo "C". Entre estas opciones la solución con ventana del 50% es la que proporciona el más elevado coeficiente de uniformidad, al igual que valores aceptables de FIN mínimo y medio.

Mediciones en cielo real. Se efectuó una medición de referencia en cielo real con el modelo a escala correspondiente a la solución: aula clara, aventanamiento del 50%, y las tres diferentes soluciones de techo. Los valores obtenidos son similares a los medidos en el cielo artificial, como se puede apreciar en la tabla 3.

Excluyendo el valor máximo para el caso tipo "C", en condiciones de cielo real los valores son asimilables a los del cielo artificial. En el caso del cielo real las condiciones no son estables, no correspondiendo exactamente al modelo teórico, lo que implica una repentina variación de la iluminación de un sector de la bóveda celeste causando diferencias con los valores medidos.

Evaluación con modelos de simulación por computadora. La evaluación con los programas de cálculos no se puede realizar con todas las variables de diseño prevista en el trabajo ya que algunas soluciones no pueden ser representadas en los

| Tipo techo | CIELO ARTIFICIAL | | | CIELO REAL (solsticio de invierno) | | |
|------------|------------------|---------|---------|------------------------------------|---------|---------|
| | FIN mín | FIN med | FIN máx | FIN mín | FIN med | FIN máx |
| A | 2.83 | 5.87 | 12.34 | 2.59 | 4.87 | 9.95 |
| B | 5.12 | 7.2 | 11.88 | 4.36 | 6.34 | 11.04 |
| C | 6.15 | 7.80 | 11.87 | 5.08 | 8.02 | 15.81 |

Tabla 3: Valores medidos y calculados en cielo artificial y real para una misma solución de aula (clara)

programas. Se utilizaron soluciones formales aproximadas a los casos reales. Los resultados obtenidos son asimilables a los medidos en cielo real y artificial.

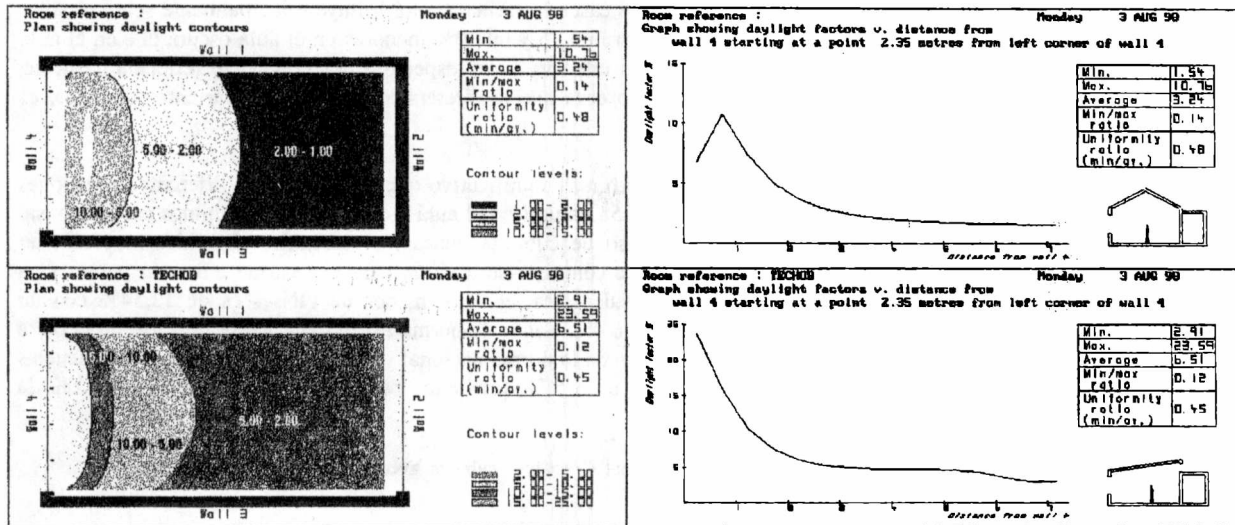




Figura 4. Comparación de distribución de la iluminación natural en dos casos. (Techo "A", avent. 25%, clara y Techo "C", avent. 50%, clara). Malla de puntos 15 x 15.

CONCLUSIONES

La utilización de técnicas de simulación en computadora o modelos analógicos a escala, brindan resultados asimilables entre sí. La elección de la metodología utilizada depende de la situación particular de las exigencias del caso, aunque la utilización de programas simples de simulación puede ser útiles para un estudio preliminar, debido a la rapidez de realización del cálculo.

El caso de cubierta tipo "A" () ventana 50 %, que representa buena parte del universo construido necesitará complementarse con iluminación artificial para cumplir con los requerimientos mínimos de confort. En este caso aumentará considerablemente el consumo de energía eléctrica y se incrementará además el 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 que genera deslumbramiento y falta de uniformidad en la distribución de la luz entrante. Para el caso analizado las condiciones mínimas de iluminación varían entre 1.71 y 3.89 % (fuera de confort); coeficientes de uniformidad no aconsejables - 0.39 a 0.58 - y valores de contraste entre 0.22 y 0.29 %.

La situación óptima será la propuesta por la solución "C" () con cualquier condición de aventanamiento. Los valores mínimos obtenidos con esta solución varían entre 5 y 7.13 % y coeficientes de uniformidad aceptables (0.73 a 0.80); mientras que el contraste fluctúa entre 0.45 y 0.52. El cumplimiento de las normativas no implica necesariamente condiciones de confort. Por ejemplo, el caso de techo "C", avent 100%, aula clara, cumple con la normativa pero requerirá sistemas de sombreado en días claros ya que en esta situación los valores máximos aumentan entre diez y quince veces.

AGRADECIMIENTOS.

Realización de maqueta: Javier Posik y Leticia Cadario (docentes); M.A Nuñez, J. Careggio y J. Koller (estudiantes FAU-UNLP)

REFERENCIAS.

- (¹) San Juan G.A., Bogatto M., Toigo A., Rosenfeld E. "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. Noviembre 1996.
- (²) San Juan G.A., Hoses S., Rosenfeld E. "Evaluación del funcionamiento energético y habitabilidad higrotermica 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. Noviembre 1996.
- (³) Evans J.M., San Juan G.A., Bogatto M., Marmora M. "Iluminación en maquetas y espacios con iluminación natural. Recomendaciones para su medición". Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar, N° 2. Salta, Argentina. Noviembre 1998.
- (⁴) San Juan G.A., Hoses S., Bogatto M., Toigo A., Rosenfeld E. "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. Rio Cuarto, Cordoba, Argentina. Noviembre 1997.
- (⁵) BS 4800: 1972 - British Standard Institution. "Paint Colours for Building Purposes". 1972
- (⁶) Evans J.M., Baroldi M., Marmora M. "Equipamiento para el estudio de Iluminación natural: Diseño, construcción y calibración de un cielo artificial". IV Encontro Nacional no Ambiente Construído. Salvador, Bahía. Brasil. Noviembre 1997.
- (⁷) Norma IRAM AADL J20-04. "Iluminación en escuelas. Características". Buenos Aires. 1974.
- (⁸) DD 73: 1982. British Standard Institution. "Basic Data for the Design of Buildings: Daylight Draft for Development". 1982