

EVALUACION DE LA ILUMINACIÓN NATURAL EN EDIFICIOS. MODELOS A ESCALA

Andrea Pattini¹

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV)- Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCICHUSA) CRICYT-CONICET. Av. Ruiz Leal s/n 5500 Mendoza – Tel. 0261 4288797-Fax 0261 4287370 – Web: <http://www.cricyt.edu.ar/> - E-mail: apattini@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo analiza los elementos a considerar para utilizar los modelos a escala como herramienta de evaluación de iluminación natural en edificios. En el caso de la luz natural, el concepto de la mejor alternativa involucra varios aspectos que pueden ser agrupados en dos categorías: 1) Comportamiento ambiental y 2) Comportamiento energético. El primero, concierne a la calidad del ambiente luminoso desde el punto de vista de la respuesta humana. El segundo, está relacionado con la dependencia en energías no renovables del diseño del edificio, en un ambiente exterior dado, para asegurar condiciones de confort en los ocupantes. Los resultados de la aplicación de este método dependen de la construcción de los modelos, de reproducir las reflectancias interiores y evitar filtraciones de luz exterior al interior. En las conclusiones se destacan los errores más comunes que pueden cometerse en el uso no adecuado de esta importante herramienta de evaluación.

Palabras Claves: Iluminación natural en edificios – modelos a escala - mediciones de iluminación.

INTRODUCCION

Los diseñadores necesitan herramientas para evaluar correctamente sus alternativas y realizar adecuadas elecciones de las mismas. En el caso de la iluminación natural, el concepto de *alternativa de mejor comportamiento* involucra varios aspectos, básicamente estos aspectos pueden ser agrupados en dos categorías:

- Comportamiento ambiental: Calidad del ambiente lumínico y su respuesta a la visión humana.
- Comportamiento energético. Cantidad de luz que ingresa a la construcción y su distribución. Posibles reducciones de consumo de energía eléctrica por mejor aprovechamiento de la luz natural en el interior.

Por otra parte, la evaluación en modelos a escala, además de ser una de las herramientas con las que los proyectistas están más familiarizados, posee razones técnicas por las cuales los modelos a escalas son un método de análisis ventajoso: pueden ser extremadamente confiables (los resultados cuantitativos dependen de la confiabilidad de los equipos fotométricos de medir). (Pattini et al. , 1995). Cuando el modelo a escala esta correctamente construido, los niveles de luz medidos en él y su distribución será exactamente igual a la que se obtendrá en el local a escala 1:1. Esto ocurre porque las ondas de luz son extremadamente chicas en comparación con los modelos a escala (1:20). Las ondas electromagnéticas en el espectro visible tienen un tamaño en el rango que va de los 380 a 750 nanómetros, por lo que inciden y se reflejan en el modelo a escala, de la misma manera que lo harían en el local real. Las diferencias si las hubiera, no podrían ser percibidas por el sistema visual humano, ni las diferencias en cantidad de luminancia, brillos y distribución entre ambos. Además este método permite evaluar la calidad del espacio iluminado por observación directa o por registro fotográfico.

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO A ESCALA

La utilización de un modelo como un análogo de la realidad depende de cómo se construya éste. La decisión de como construir el modelo debe ser cuidadosamente analizada, éste debe ayudar a maximizar la información a obtener y minimizar los costos.

El análisis cuantitativo de un modelo requiere el uso de un sensor fotométrico y equipo para medir. El tamaño del sensor relativo al tamaño del espacio modelado es crítico.

Generalmente un solo sensor es utilizado, de modo que debe preverse su acceso al interior del modelo y su movimiento dentro del, y su fijación para cuando el modelo deba ser inclinado.

El análisis cualitativo de la iluminación natural en un modelo se hace a través de observación directa, fotografía o videos para la apreciación subjetiva de la apariencia del espacio. Lo crítico de toda evaluación cualitativa es el punto de vista, puerto de observación o el paso de la visión. Un puerto de observación puede ser una abertura en el modelo como una puerta o una sección removible para observación. La intrusión del ojo del lente de una cámara puede influir en la escala del modelo.

Escalas apropiadas para los modelos

Pequeña escala: Los modelos de pequeña escala son utilizados para las etapas de diseño preliminar, para tomar decisiones de orientación y acceso al sol, o de reflexiones o de obstrucciones de la luz natural.

En estas etapas preliminares las observaciones pueden ser realizadas en modelos con muy pocos detalles en escalas de 1:50 a 1:200

¹ Diseñadora Industrial. Investigadora CONICET

Escala media y completa: Para las evaluaciones sobre el comportamiento de determinada estrategia de iluminación natural, incluyendo la penetración y distribución de la luz natural, para comparar distintas estrategias. (Escalas aproximadas 1:20). Para evaluar los detalles o los componentes del espacio (ventanas, vidrios especiales, elementos de sombreado, difusores estantes de luz, etc.) se utilizan modelos más grandes, los que permiten, además de medir y fotografiar, la observación directa. En estos casos las escalas pueden ser inclusive 1:1; lo que permitirá reproducir la mayoría de los detalles sobre los que se necesita información.

Reflectancias

La reflectancia de las superficies interiores de un local y de su equipamiento afectan el nivel de la iluminación. Debido a que la calidad del efecto espacial y las cantidades de luz natural cambian con distintas reflectancias, es importante que su correcto ajuste sea representado. Para los modelos de pequeña escala o los modelos de estudio en las fases preliminares, es más fácil y más representativo utilizar una reflectividad promedio en todas las áreas como el gris del cartón.

La mayoría de los locales tienen una reflectividad promedio de 50% entre piso (20%), los muros (50% considerando pinturas, muebles, etc.) y el cielorraso (80%). Pero si el local tiene equipamiento especial, por ejemplo un aula que lleva todo un muro interior con un pizarrón, un efecto especial con un muro muy luminoso, o superficies brillantes, esto puede cambiar drásticamente no solo los niveles de iluminación sino también su distribución.

Para evaluaciones donde un ajuste con los valores reales deba ser muy preciso pueden utilizarse dos métodos:

- Por comparación de las superficies que se utilizarán en las maquetas con una cartilla de reflectividades para todos los colores.
- Por medición de la luminancia L y la iluminancia E de las superficies a utilizar en los modelos para obtener la reflectividad. Por ejemplo, si se mide un cartón blanco, la luz incidente es de 1000 lux (medido con un luxímetro) y la luz reflejada (medida con un luminancímetro) es de 800 cd/m², entonces la reflectancia del cartón es de 800/1000, o del 80%.

Otros métodos pueden ser igualmente utilizados para averiguar la reflectancia de los materiales de las superficies de los modelos (Evans, 1999).

Si bien no es un aspecto específico de la reflectancia, la textura también afecta el comportamiento de la luz. En las texturas con tamaño considerable (granulado), parte de luz es absorbida por los espacios intersticiales. Como regla general todos los materiales de las superficies del modelo deberán tener un acabado mate, solo cuando se requiere evaluar un efecto reflejante, pueden utilizarse superficies brillantes.

Infiltraciones de luz

La mayor diferencia entre los modelos construidos para estudios de iluminación natural, es que la distribución de la luz debe ser evaluada con precisión. Para esto la luz natural debe ingresar por una ventana diseñada, no por una rendija entre el muro y el techo. De modo que la construcción de las juntas a las cuales generalmente no se les da mayor importancia, puede ser crítica en un estudio de luz. Todas las uniones en la construcción del modelo deben ser tapadas en el exterior con cinta eléctrica negra u otra cinta opaca (la cinta de enmascarar no es opaca). Cuando los muros o techos del modelo deban ser removidos una forma de tapar las infiltraciones de luz, que se pueda remover con facilidad, es utilizar lámina de aluminio en forma de L sobre las juntas. (Fig. 1).

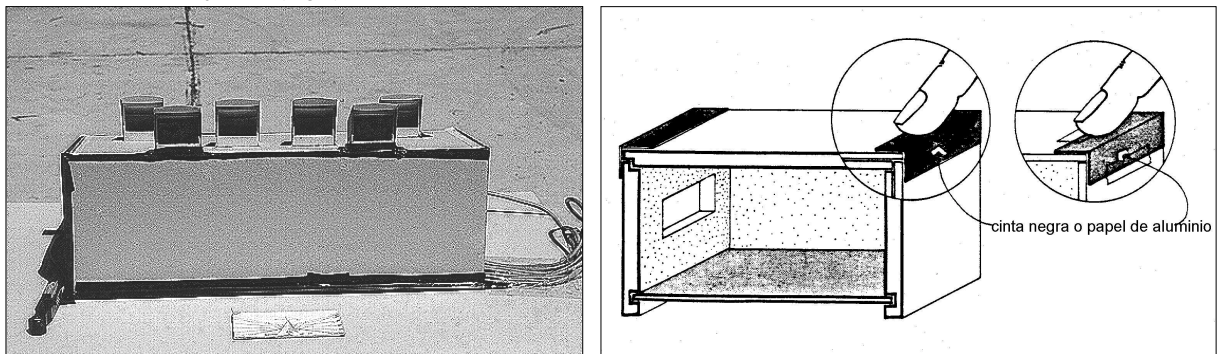


Figura 1- Sellado de las uniones de las piezas de los modelos para evitar infiltraciones de luz.

Factores de corrección

Existen unos pocos ítems que requieren ser ajustados a los datos obtenidos en las mediciones. }

- Marcos, travesaños y contravidrios:
La fracción definida por el área de vidrio real y la estructura de soporte de los mismos (marcos y travesaños, y contravidrios) puede variar considerablemente la superficie real por la que ingresa la fuente de luz. Si esta obstrucción no es construida en el modelo, al dato resultante de la medición debe multiplicarse por un factor de corrección (por ejemplo para un marco de madera sin travesaños se le aplica un factor de corrección de 0.75).
- Transmitancia de superficies de la ventana:
Como en general el modelo no es construido con vidrios ni cortinas, los valores de iluminancia medidos deben ser ajustados. Para ello se pueden utilizar los valores de transmitancia otorgadas por los fabricantes (vidrios, policarbonatos, superficies translúcidas) o valores de tablas o bien realizar mediciones de transmitancia para los materiales que se utilizarán en el local real.
- Factor de mantenimiento del vidrio y de las superficies interiores:

Para no cometer el error de realizar predicciones optimistas, que luego en la realidad no se ajusten, todos los niveles de iluminación medidos durante la evaluación del modelo deben ser ajustados para reflejar el deterioro de las superficies interiores, especialmente cuando se han usado materiales brillantes en los acabados interiores.

TIPOS DE CIELOS

Los tipos de cielos de diseño son:

1. *Cielo Uniforme*: es caracterizado por la igualdad de luminancia en todas las direcciones. Es el cielo más fácil de simular tanto por un cielo artificial como para los cálculos, pero es muy raro de encontrar en condiciones naturales. La mayoría de los primeros trabajos de investigación en iluminación natural asumían condiciones de cielo uniforme.
2. *Cielo nublado*: el cielo nublado es causado por partículas de agua relativamente grandes, refractando/reflejando difusamente todas las longitudes de onda de la luz solar de igual manera en todas las direcciones. Esto da como resultado un cielo blanco, de aproximadamente tres veces mayor luminancia en el cenit que en el horizonte. (Fig 2)
3. *Cielo parcialmente nublado*: Estos ocurren cuando una porción del cielo claro (azul-celeste) está obstruido por nubes. Este tipo de cielo ocurre frecuentemente, su distribución de luminancia cambia constantemente por lo que no ha sido propuesto un cielo estándar parcialmente nublado, la luminancia de las nubes depende principalmente de su posición relativa con respecto al sol (Fig. 3).
4. *Cielo Claro*: la luz del cielo es una luz difusa resultante de la refracción y reflexión de la luz solar en su paso a través de la atmósfera. Bajo cielo claro, el pequeño tamaño de las partículas de agua, causa solo refracciones y reflexiones en la porción azul del espectro visible dándole al cielo una coloración azul-celeste. Bajo estas condiciones, el cielo es más oscuro a 90 grados desde el sol y más brillante en las proximidades del sol. (Fig. 4).

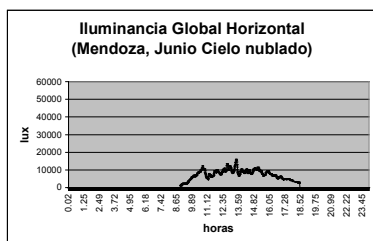


Figura 2 Distribución de cielo nublado.



Figura 3. Dist. Cielo parcial. Nublado.

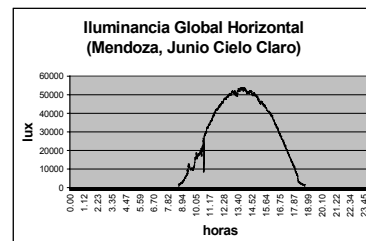


Figura 4. Distribución Día cielo claro.

MEDICIONES EN MODELOS EN CIELO REAL Y CIELO ARTIFICIAL

Los modelos para evaluar iluminación natural pueden ser evaluados tanto bajo cielo real como bajo cielo artificial. Cada caso tiene ventajas y desventajas.

Evaluar bajo un cielo real es más barato y resulta más fácil de realizar. El modelo es simplemente medido bajo condiciones similares a aquellas que son esperadas para como típicas para el edificio. El modelo puede ser analizado en el mismo sitio donde se va a emplazar la construcción, aproximándose más a las obstrucciones del entorno y las reflectancias exteriores que el edificio tendrá. La mayor ventaja de evaluar bajo cielo real es que es posible observar los efectos simultáneos de la luz solar directa y de la luz difusa del cielo. De modo que si nuestro edificio tiene propuestas de aprovechamiento térmico y lumínico (es muy probable que la misma superficie vidriada sea aprovechada para ganancia térmica y lumínica) deben observarse el comportamiento y distribución de la directa para evitar deslumbramientos y posible discomfort visual.

Para obtener la distribución de cielo real, y colocarse en un ángulo solar correcto relativo al modelo, el modelo puede ser girado e inclinado siguiendo los movimientos permitidos por un heliodon (Jackaway, 1997) asociado a un reloj solar para la latitud del lugar donde se emplazará el edificio real (Moore, 1983). Debe tenerse especial cuidado con las reflectancias del piso y del cielo.

En mediciones de cielo claro real, generalmente se simula la luz solar para los meses de junio, septiembre y diciembre (9hs, 12hs y 15hs respectivamente). Es conveniente que el procedimiento de medir se realice en el mediodía solar, ya que corresponde a la mayor estabilidad de luminancia de cielo.

Las condiciones parcialmente nubladas, cuando la luminosidad y la distribución de la misma en el cielo cambian considerablemente a lo largo del tiempo en que se realizan las mediciones, no son recomendables, y evitables en lo posible.

Para simular en condiciones de cielo nublado real, hay que esperar un día completamente nublado. A pesar de tener estas condiciones de distribución de luminancias relativamente constantes, las mediciones deben ser realizadas en el menor tiempo posible y siempre tener la referencia de una medición de iluminación exterior al inicio y al final de las mediciones en el interior simultáneamente. (Fig. 5).

Cuando es necesario comparar varias opciones, los rápidos cambios de luminancia de un cielo real, hacen dificultosa la tarea de mediciones comparativas. Realizar evaluaciones de modelos a escala en cielo artificial provee un ambiente controlable y estable para las mediciones de iluminación.

Dos tipos de cielo artificial son utilizados para estudios de penetración y distribución de iluminación: un cielo espejado se utiliza para simular condiciones de cielo nublado (Evans, 1998), y un cielo abovedado para simular las condiciones de cielo claro o nublado. La componente directa (el sol) se simula por separado, sobre un heliodon y con fuentes puntuales que simulan los equinoccios. La mayoría de los cielos artificiales simulan un cielo nublado uniforme. (Robins, 1983).

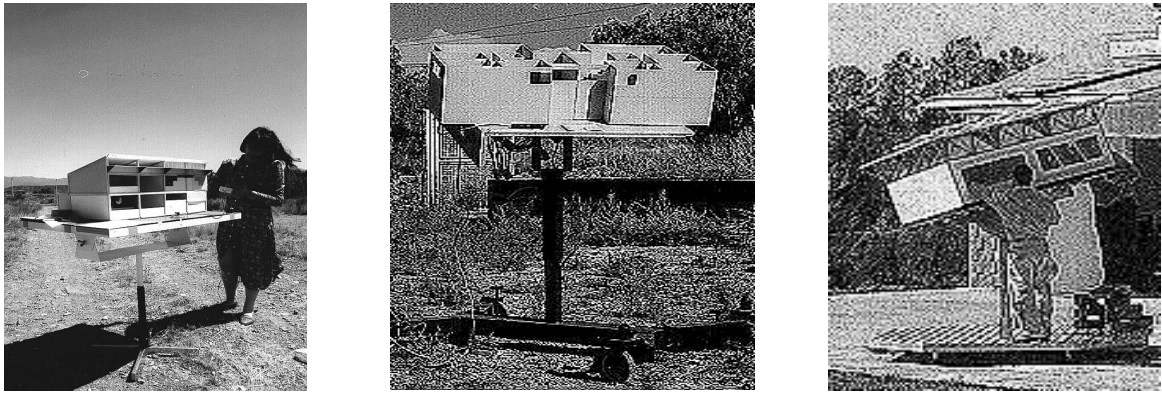


Figura 5 – Mediciones de modelos a escala en condiciones de cielo real, sobre heliodon.

MEDICIONES

Equipamiento fotométrico

Para medir los niveles de iluminancia interior de modelos a escala, pueden ser utilizados sensores fotométricos (luxímetros) simples que se venden en casas de electrónica, los más económicos cuestan entre \$50 y \$100, y pueden ser utilizados en cualquier tipo de cielo. Cuando un luxímetro es utilizado para calcular el factor de luz natural (la relación entre la luz incidiendo en el interior del modelo y la luz disponible en el exterior simultáneamente) debe tener un rango de sensibilidad de 1 a 100.000 lux, cuando se mide bajo cielo real. Para un adecuado ajuste de las mediciones el luxímetro debe tener corrector de coseno y corrector de color.

En lo posible, es adecuado realizar las mediciones con multisensores, esto disminuye los posibles errores introducidos en el recorrido de un solo sensor en el interior del modelo. Estos pueden ser fijados en sus posiciones de medir y medidos simultáneamente en una grilla simulando una superficie de trabajo interior. (Fig. 6).

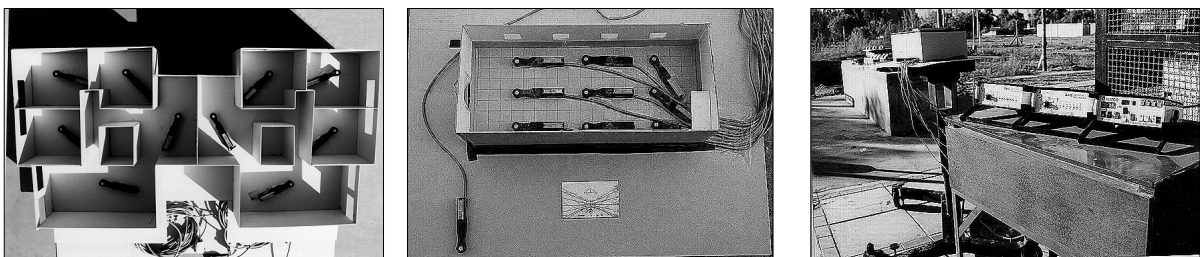
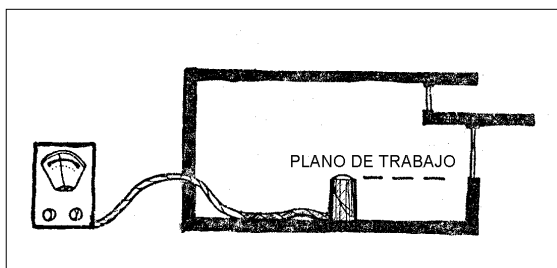


Figura 6. Distintas posiciones de mediciones realizadas con luxímetro multicanal.



El tamaño del sensor fotométrico influye en la escala del modelo a evaluar, ya que puede inducir a errores de medición por la altura donde se simula el plano de trabajo. (Fig. 7).

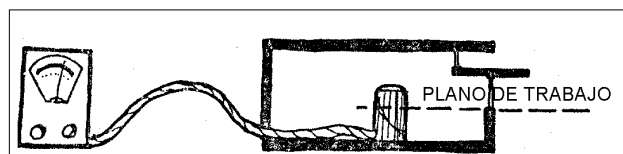


Figura 7. Influencia del tamaño del sensor en la escala de la maqueta y su posición relativa al plano de trabajo.

La evaluación requiere una cuidadosa preparación:

1. El lugar de las mediciones. Debe simularse el entorno del edificio, ya sea en cielo artificial o natural. Se tendrá especial cuidado de las obstrucciones del entorno que no sean las del edificio, las reflectancias del piso y las personas que estén cerca del modelo no deben hacer sombra.
2. Un buen modelo. El modelo debe estar construido bajo las recomendaciones efectuadas en los puntos anteriores según el grado de detalle con que se requiera la respuesta del análisis. Es importante que la escala del modelo sea apropiada al tamaño del sensor fotométrico. Las posiciones donde se requiera medir deben estar indicadas en el modelo a priori, en una grilla sobre el piso cuando se utiliza un solo luxímetro.
3. Un luxímetro. Es preferible utilizar dos luxímetros adecuadamente calibrados. Uno se colocará en el exterior donde no tenga obstrucciones y otro en el interior. En mediciones bajo cielo claro real debe tenerse especial cuidado de obstruir la luz solar directa sobre el sensor, haciendo sombra con pequeño disco alejado del luxímetro. Cuando sólo se dispone de un luxímetro puede utilizarse comenzando las mediciones con una exterior, luego las interiores y finalizar con una exterior, si entre la primera y la última medición del exterior el valor varía en $\pm 5\%$, deberá repetirse la medición.

- Una planta del modelo. Con marcas claras de las posiciones en las que se medirá la luz en el interior. Marcar los puntos puede ayudar a la persona que mueve el sensor. (Grilla de medición que representa el plano de trabajo útil) Los puntos marcados en la planta deben ser los mismos que están marcados en el modelo. La altura del sensor (en escala del modelo) representa la altura de la grilla de medición. (Fig. 8).

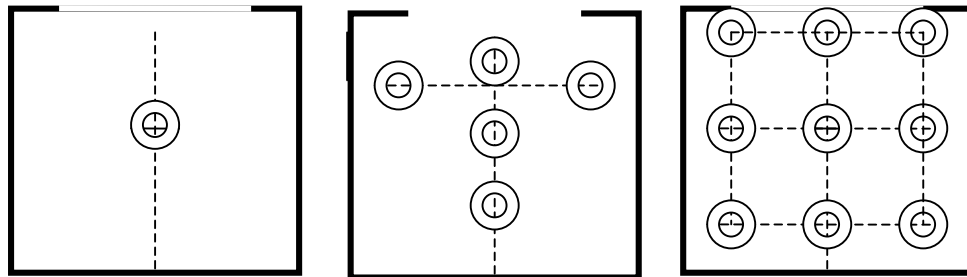


Figura 8. Distintas grillas de medición de iluminación natural interior.

- Un reloj para controlar. Debe anotarse la hora al principio y al final del ensayo, un intervalo considerado como normal es de 15 a 60 segundos.

EVALUACIÓN FOTOGRÁFICA

Esta técnica provee un método de evaluación por observación de la calidad de la luz y una comparación entre diferentes opciones. La limitación del método se basa en la sensibilidad de la película. Una cámara fotográfica de 35mm se recomienda para esta aplicación. Las lentes mas adecuadas son 21mm, 24mm, y 28mm porque sus ángulos de vista se aproximan al ángulo de vista del ojo humano. (Fig. 9) Puede también utilizarse la lente ojo de pez. En cuanto a la película se deben utilizar de 400 ASA.

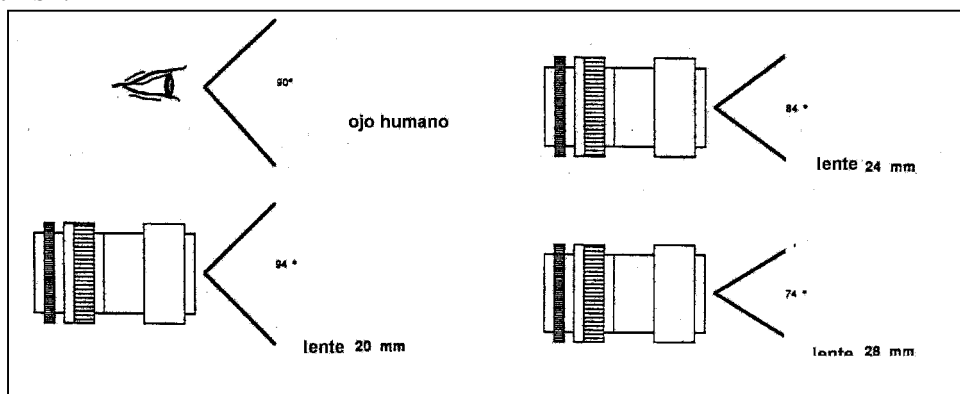


Figura 9. Distintas lentes para evaluación fotográfica comparadas con el ojo humano.

Para el ingreso del objetivo de la cámara fotográfica en el modelo debe haberse dejado la abertura, cuando se tomen las fotos deberá cuidarse que no ingrese luz por los costados de la lente, tapando con un trapo negro si esto ocurriera.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los modelos de estudio de luz natural generan una importante cantidad de datos cuantitativos, ese recomendable presentar estos datos gráficamente para facilitar su interpretación y comprensión, tanto de cantidad y de distribución de la luz como de la comparación de comportamiento a la luz natural de varias alternativas de diseño. Las dos formas más difundidas de presentación de resultados son: una planta del local con curvas de iso-lux (Igual cantidad de lux, Fig. 10) y una sección de los valores absolutos (lux) o relativos (Factor de luz Natural en %.) (Fig. 11).

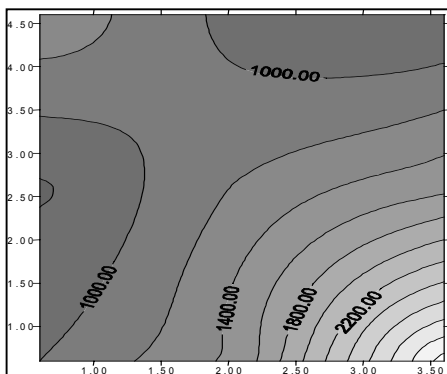


Figura 10. Gráfico de curvas de isolux

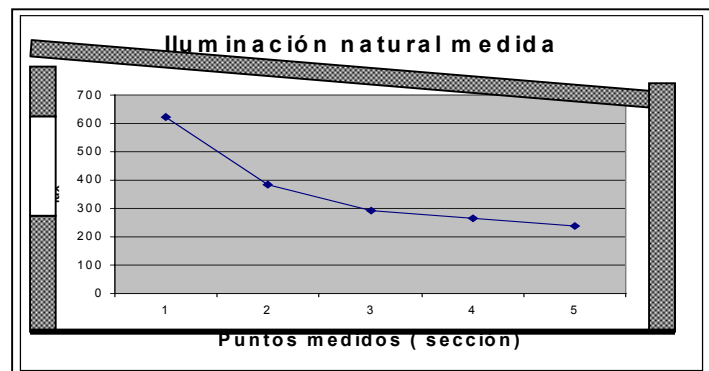


Figura 11. Gráfico en sección de la distribución de iluminación.

Los resultados cualitativos pueden ser realizados con evaluación fotográfica para comparar con el local construido. (Fig. 12).

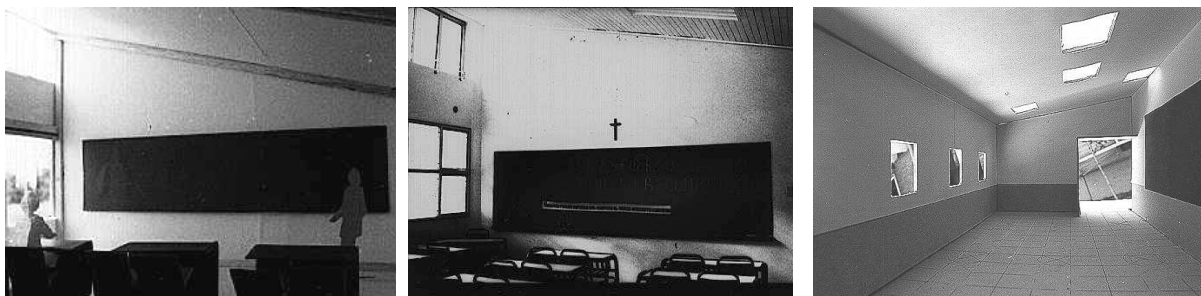


Fig. 12. Izquierda: foto modelo escala. Centro: espacio real. Derecha: otro interior de modelo a escala.

CONCLUSIONES

La evaluación en modelos a escala es la mejor de las herramientas para evaluar la iluminación natural en edificios por varias razones. Primeramente porque las propiedades físicas de la luz no introducen errores debidos a la escala, por otra parte se pueden reproducir las condiciones del edificio real, provee evaluación cuantitativa y cualitativa. No importa cuan complicada sea la estrategia de iluminación natural a evaluar, un modelo a escala permite predecir los resultados con un ajuste de aproximadamente del 2%. Ninguna otra técnica de predicción, ni gráfica ni matemática, puede lograr el ajuste que logra esta técnica.

Esta precisión depende en gran medida de la construcción del modelo y del equipo de mediciones disponibles, pero con equipos simples y un especial cuidado en las recomendaciones mencionadas en este trabajo se logran iguales precisiones la evaluación de la luz natural.

AGRADECIMIENTOS: se agradece al Profesor Donald Prowler , School of Fine Arts, Department of Architecture, University of Pennsylvania, USA y al Prof. David Carter, School of Architecture, University of Liverpool, UK, por su colaboración en la discusión de criterios de medición de luz natural en modelos a escala.

Abstract

This paper discusses the daylighting scale model evaluations. In the case of daylighting, the “best strategy” involves many aspects, basically, these aspects can be grouped into two categories: *Environmental performance* (quality of the luminous environment from the point of view of human reaction to it) and *Energy performance* (level of dependence on non-renewable energy of the building design). Physical models of a building provide a means of accurately predicting interior daylight illumination. But the precision of data depends of the model construction, interior reflectance and light leafages.

BIBLIOGRAFÍA

- Pattini et al. (1995) Evaluación en modelo an escala de aberturas cenitales para aprovechar la luz solar. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Actas de la 18° ASADES, N°2, 8.7-8.11.
- Evans J.M et al. (1999) Uso de modelo a escala en el cielo artificial. Características de reflexión de los acabados superficiales interiores y exteriores. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 3, N°2, 8.169-8.172.
- Jackaway, A et al. (1997) A new approach to heliodons: A foru-axis prototype capable of operating under varying altitude light sources, Actas del 22 National Passive Solar Conference, ASES, Washington, DC.
- Moore, F. (1985) Concepts and practice of architectural daylighting. Chapter 14, pp. 167-178. Van Nostrand Reinhold Company. New York.
- Evans J.M et al. (1998) Iluminación en maquetas y espacios con iluminación natural. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 2, N°2, 5.37-5.40.
- Robbins, C. (1986) Daylighting. Design and Analysis. Chapter 11, pp. 221-234. Van Nostrand Reinhold Company. New York.