

**USO DE MODELOS A ESCALA EN EL CIELO ARTIFICIAL.
CARACTERISTICAS DE REFLEXION DE LOS ACABADOS SUPERFICIALES INTERIORES Y EXTERIORES.**

Evans J.M., Bogatto M., Eguia S., Baroldi G.
Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires.
CIHE, Pabellón 3, Piso 4, Ciudad Universitaria, (1428) Capital Federal
Tel: (+54 11) 4789-6247. Fax: (+ 54 11) 4576-3205. E-Mail: evans@fadu.uba.ar

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo de técnicas experimentales para ensayos con maquetas en el cielo artificial y resultados de mediciones con fines comparativos. Las técnicas incluyen métodos de control remoto para mover el sensor en el interior de una maqueta, desarrollo y aplicación de un instrumento para evaluar la absorción de materiales y terminaciones de superficies interiores y exteriores. Los resultados de estas mediciones de reflexión indican, en el caso de materiales exteriores, valores menores a los establecidos.

INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es presentar el desarrollo de técnicas de medición de iluminación natural en maquetas de edificios. En un trabajo anterior (Evans et al., 1997) se realizó una presentación de aspectos del uso de maquetas en el cielo artificial (Evans et al., 1998). Los tres aspectos considerados en este trabajo se refieren a los siguientes temas:

- Medición de la reflexión de materiales y terminaciones existentes en edificios y la verificación de la reflexión de materiales utilizados en maquetas ensayados en el cielo artificial.
- Medición de la iluminancia en el interior de la maqueta, donde se requiere obtener mediciones de una serie de puntos en una grilla con el fin de lograr un registro de la distribución de niveles relativos de iluminancia.
- Realización de ensayos con la aplicación de estas técnicas.

REFLEXION DE LOS ACABADOS SUPERFICIALES INTERIORES Y EXTERIORES.

Para poder realizar mediciones de iluminación natural con maquetas es preciso conocer y reproducir las características de reflexión y absorción a la luz de los diferentes acabados superficiales interiores y exteriores. Además, las características de los materiales empleados en las maquetas tienen que ser equivalentes a las de los materiales utilizados en el edificio que se está representando. Estas características son, en la mayoría de los casos, desconocidas para los acabados reales, ya que los fabricantes de materiales para la construcción (pinturas, pisos, empapelados, etc.) no suelen proporcionarlos. Solamente alguna empresa extranjera que produce pinturas para paredes brinda las características de reflexión y absorción de sus productos. Además, la reflexión de las superficies puede cambiar con el tiempo, debido a suciedad, degradación de los pigmentos, cambios en los materiales – como oxidación -, etc.

Para la realización de las maquetas no siempre es posible utilizar los mismos materiales que los reales, como por ejemplo en el caso de los pisos. Se utilizan entonces acabados superficiales que tienen el mismo coeficiente de reflexión de aquellos. También en este caso es preciso conocer el comportamiento de los materiales empleados con respecto a la luz. Las aplicaciones de programas de simulación numérica también requieren los datos de reflexión. Estos programas normalmente consideran valores de reflexión constantes, con condiciones de reflexión difusa, sin reflejos especulares. En la práctica, la mayoría de los materiales y terminaciones que se utilizan en espacios interiores son difusores (autores varios, 1993).

Para resolver estos problemas y conocer las características de reflexión de los materiales, usados en el edificio así como en las maquetas, se proyectó en el CIHE un instrumento experimental para la medición del coeficiente de reflexión de diversos materiales y colores en laboratorio o “in situ”. El equipo utiliza dos luxómetros de la misma marca, con lecturas iguales cuando están expuestos a la misma intensidad de luz (ver foto, Figura 1). La caja de cartón negra, dividida en dos secciones iguales, tiene tres orificios en cada mitad:

- En la superficie inferior hay dos secciones cuadradas de 90mm x 150mm, uno se coloca sobre la muestra a medir y el otro sobre una superficie con coeficiente de absorción conocido,
- Dos entradas de luz de sección rectangular de 110 mm por 85 mm, orientadas para recibir luz con un ángulo de altura media de 45°,
- Dos orificios en la cara superior para colocar los sensores de los luxómetros, con un diámetro de 50 mm.

En una de las superficies inferiores se coloca el material de referencia, cuyo coeficiente de reflexión es conocido, en la otra el material a ensayar. Se mide la cantidad de luz (lux) en cada una de las dos secciones de la caja. Debido a la conformación geométrica de la misma, la cantidad de luz medida por los luxómetros es principalmente luz reflejada por los materiales.

Conociendo el valor de 'r' de uno de los dos materiales y el valor de iluminancia medido en las dos secciones, es posible establecer el valor del coeficiente de reflexión del material a ensayar. Las mediciones se realizan con condiciones de luz difusa, en el cielo artificial o en el cielo real; en el segundo caso con condiciones de cielo cubierto o utilizando una pantalla difusora para que la entrada sea de luz difusa.

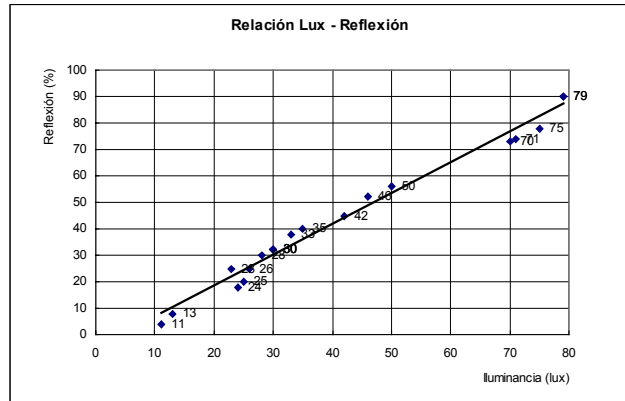
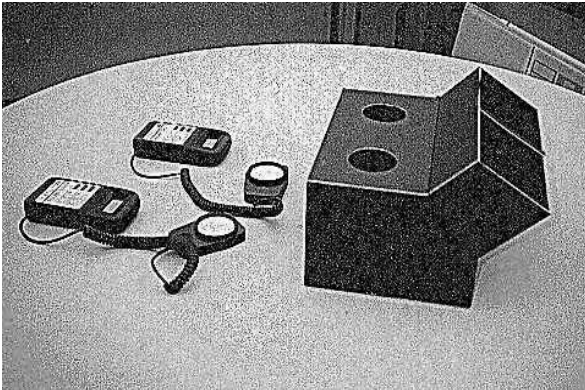


Figura 1. Foto del instrumental realizado para la medición del coeficiente de absorción de materiales. Se pueden ver los sensores de los dos luxómetros a colocarse en la cara superior del mismo.

Figura 2. Línea de tendencia que define la relación entre los valores de iluminancia medidos y los coeficientes de reflexión estimados de las muestras utilizadas.

Para determinar el tipo de relación entre los valores de reflexión y la iluminancia medida se utilizaron diferentes muestras de materiales, estimándose sus coeficientes de reflexión a la luz, mediante una comparación visual con los colores del "Paint Colours for Building Purposes" (BSI, 1972), un catalogo de colores cuyos coeficientes de absorción y reflexión son conocidos. Las iluminancias correspondientes a las muestras fueron medidas en el cielo artificial y con los valores obtenidos se realizó la línea de tendencia que los representa (ver Figura 2). Los resultados indican una relación de tipo lineal.

De haber comprobado esta relación, se procedió a verificar la recta con dos muestras de referencia cuya reflexión es conocida. Los materiales de referencia son las tarjetas blanca y gris Kodak ("Gray Card"), utilizadas por fotógrafos profesionales. El blanco refleja el 90% de la radiación luminosa incidente y el gris el 18%. La recta obtenida establece la línea de calibración de este equipo, siendo la ecuación $y = 1,02x - 12,53$.

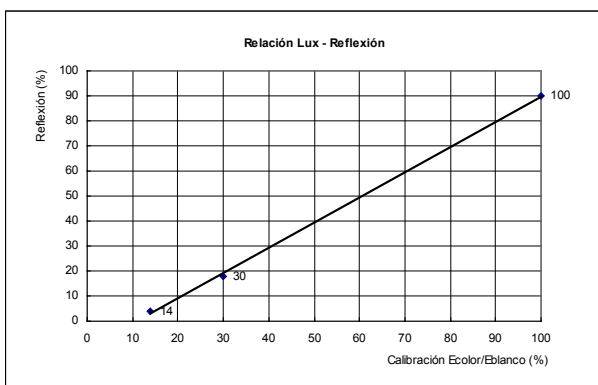


Figura 3. Curva de calibración del instrumento, obtenida utilizando las Tarjetas Kodak, de coeficiente de reflexión conocido, como patrón de comparación.

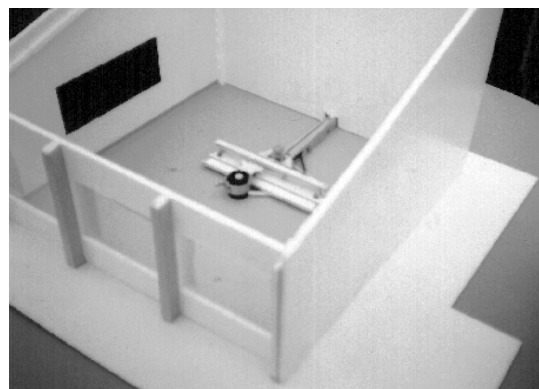


Figura 4. Foto del interior de una maqueta. Se puede ver el sensor del luxómetro Li-Cor, colocado en el dispositivo que permite su deslizamiento en el modelo a escala.

El coeficiente de reflexión de todos los colores se establece gráficamente, o matemáticamente utilizando esta recta o su ecuación. Para poder efectuar las mediciones en cualquier condición, en el cielo o "in situ", se transformó el gráfico iluminancia-reflexión en uno calibración-reflexión. La calibración, expresada en %, se obtiene del cociente entre el valor de iluminancia medido con el material a ensayar y el valor medido con el blanco Kodak (ver Figura 3).

MEDICIONES DE REFLEXIÓN

El equipo desarrollado fue utilizado para medir la reflexión a la luz de superficies exteriores típicas. Se midieron diferentes materiales que conforman los suelos exteriores, como hormigón – en obra y en baldosas - con o sin cantos rodados o piedra lavada, tierra seca, pasto de diferentes tipos y asfalto. Las mediciones se efectuaron al mediodía solar colocando las entradas de luz hacia el sur, estas condiciones se lograron cubriendo con una tapa difusora las entradas de luz del instrumento

Tabla 1. Coeficientes de reflexión de materiales exteriores.

Tipo material exterior	Coeficientes de reflexión indicados en bibliografía (%)		Coeficientes de reflexión medidos (%)
Pasto seco – invierno	-	-	11
Pasto verde – invierno	10 (5)	24 (6)	1 – 2
Piso tierra seca	20 (5)	25-30 (6)	9
Piso hormigón pobre (para tránsito peatones)	40 (5)	22 (6)	18
Baldosas hormigón y piedra lavada (para tránsito peatones)	-	-	14
Piso hormigón y canto rodado (para tránsito peatones)	-	-	8
Arena	30 (5)	43 (6)	
Grava, piedra partida	-	20 (6)	8 – 20
Piso ladrillos rojos	20 (5)	27 (6)	
Asfalto calle	-	10 (6)	12 – 13

Los coeficientes de reflexión medidos resultaron ser más bajos de los que habitualmente se encuentran en la bibliografía específica (ver Tabla 1). El valor estándar de “r” aconsejado es 0,2 (20%), a utilizarse para materiales oscuros o cuando no se sabe con precisión de que material se trata. En las mediciones valores similares se obtuvieron solamente en el caso del piso de hormigón pobre, mientras que los demás materiales proporcionaron valores decididamente inferiores. En el caso del pasto – habiéndose medido diferentes tipos de superficies verdes – se obtuvo un coeficiente de reflexión del 1-2%. Esta diferencia puede originarse del hecho que en algunos casos los valores indicados en los textos (Tregenza, David, 1998) se refieren al factor o coeficiente de reflexión a la luz de una superficie con condiciones de luz difusa, mientras que en otros a (Muneer, 1997) evaluaciones efectuadas con “albedo medio hemisférico total” y se refieren a la reflexión de toda la radiación de onda corta. Además, en el caso de materiales muy rugosos, el equipo de medición puede afectar los resultados debido al color negro del interior de la caja.

La influencia de los materiales exteriores sobre las condiciones de iluminación natural de los espacios cerrados lindantes con ellos es muy importante y una evaluación equivocada de su comportamiento a la luz puede llevar a sobrestimar el valor de iluminancia interior. Además hay que considerar que para estos influye mucho la suciedad que se va acumulando con el tiempo y que ciertamente disminuye sus características de reflexión en manera importante. Considerando este factor y los resultados obtenidos de las mediciones no parece oportuno utilizar valores altos del coeficiente de reflexión para los materiales exteriores de un edificio.

MEDICIONES EN MAQUETAS

En los ensayos realizados con maquetas se comprobó la dificultad de medir una grilla de puntos utilizando un solo sensor. Debido a la leve variación de iluminancia del cielo artificial, es importante realizar las mediciones en un tiempo mínimo, aunque se utiliza un sensor adicional exterior con el fin de controlar posibles cambios. Otro problema es la necesidad de abrir y cerrar la maqueta a cada medición efectuada con el fin de mover el sensor en la grilla. Los elementos móviles de la maqueta no deben permitir la entrada de luz, contando con cinta adhesiva negra para sellar las posibles rendijas. La literatura presenta ejemplos con sensores múltiples en cada intersección de la grilla. Si bien este permite mediciones simultáneas, el gran número de sensores de color negro afecta las reflexiones interiores y los resultados obtenidos. Una solución al problema es utilizar un dispositivo que permita un rápido deslizamiento de un único sensor en el interior del modelo en escala, sin la necesidad de abrir el mismo por cada medición efectuada o de usar muchos sensores. En el CIHE se realizó un equipo que permite este movimiento en las dos direcciones de la grilla de puntos (ver Figura 4). Este está construido con perfiles de aluminio y un mecanismo de deslizamiento controlado por una polea, el mecanismo permite un movimiento controlado mediante una escala que indica la ubicación del sensor en el interior de la maqueta.

Una segunda versión, actualmente en construcción, se mueve mediante un pequeño motor que funciona con baterías y se pone en funcionamiento con un simple interruptor exterior. En este caso una serie de luces indica la ubicación del sensor en el modelo, con un micro-interruptor que interrumpe el recorrido del sensor cuando este se acerca a los extremos del riel. En este caso, la verificación de la ubicación del sensor en la maqueta es directa y el controlador puede ser manipulado sin que el operador afecte la distribución de luz proveniente del cielo artificial. Ambas versiones ocupan cierto espacio en la maqueta y el color del equipo puede afectar las mediciones realizadas.

Finalmente, y como resultado de ensayos de los elementos anteriores se propone otra alternativa, utilizando un brazo con pivote deslizante y el sensor fijado en un extremo. Manipulando el extremo exterior, se puede mover el sensor en una grilla de punto en el interior de la maqueta.

MEDICION DE ILUMINACION EN ESPACIOS INTERIORES

Adicionalmente a las mediciones en maquetas, se está desarrollando una campaña de mediciones en los espacios interiores reales que será presentado en un trabajo futuro. Estos espacios tienen obstáculos exteriores que habitualmente no se representan en las maquetas, pero disminuyen significativamente los valores de iluminancia interior. Las mediciones se realizan utilizando una grilla de puntos, y midiendo simultáneamente con dos registros adicionales:

- Uno sobre el techo, en un lugar sin obstáculos; en este caso los valores son medidos automáticamente por la Estación de Medición del Recurso de Iluminación Natural colocada en el techo de la FADU-UBA.
- Uno en el interior, en un punto fijo, para evaluar las inevitables variaciones del nivel de luz a lo largo del proceso de medición.

Los niveles de iluminancia en un cielo nublado pueden variar hasta en un 100 % durante un período de media hora.

CONCLUSIONES

La simulación de iluminación natural en un cielo artificial y la medición de las condiciones lumínicas en maquetas presentan varios problemas técnicos para lograr condiciones comparables con los edificios reales. Este trabajo presenta los estudios realizados para verificar la reflexión de superficies interiores y solados exteriores *in situ*, y medir la reflexión de los materiales a utilizar en las maquetas. En general, los resultados obtenidos para solados exteriores indican valores menores a los publicados en la bibliografía específica. Esta diferencia se debe a las condiciones de los materiales ensayados, con varios años de exposición a la intemperie, y a la rugosidad de las superficies exteriores. Como consecuencia, esta variación del valor de la reflexión disminuye la componente de reflexión interna y los niveles de iluminación medidos en las partes más oscuras de los locales. La baja reflexión de la luz visible también afectará la de la radiación solar.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo cuenta con el apoyo económico de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de la Universidad de Buenos Aires y la Agencia Nacional de Promoción de Ciencia y Tecnología. Se agradece la colaboración de Jorge Kikuchi, colaborador del CIHE en el desarrollo de los equipos de medición en el interior de maquetas.

REFERENCIAS

- Evans J.M., Baroldi G., Marmora M. (1997) Diseño y construcción de un cielo artificial tipo espejo. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar, ASADES, Volumen 1, N°1, paginas 121-124.
- Evans J.M, Bogatto M, Marmora M. (1998) Iluminación en maquetas y espacios con iluminación natural. Recomendaciones para su medición. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar, ASADES, Volumen 2, N°2, paginas 05.37-05.40.
- Autores Varios. Daylighting in architecture. A European Reference Book. Publicado para la UE por James & James, Londres, 1993
- British Standard Institution. Paint Colours for Building Purposes. British Standard Institution, Londres, 1972.
- Tregenza P, David L. The design of light. E & FN Spon, Londres, 1998.
- Muneer T. Solar Radiation & Daylight Models for the Energy Efficient Design of Buildings. Architectural Press, Oxford, 1997.