

EL RECURSO DE ILUMINACIÓN NATURAL EN BUENOS AIRES RESULTADOS DE UN AÑO DE MEDICIONES

John Martin Evans y Santiago Torres
Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo.
Universidad de Buenos Aires, Pabellón 3, Piso 4, (1428), Capital Federal.
Tel: (011) 789 6274. Fax: (011) 4 576 3205. E-mail: evans@fadu.uba.ar

RESUMEN – Para lograr eficiente utilización de la iluminación natural en el diseño arquitectónico se requiere información precisa sobre los niveles de la iluminancia del cielo. Con estos datos se pueden relacionar las mediciones relativas realizadas en un cielo artificial o valores obtenidos mediante simulaciones numéricas, con los niveles de iluminancia obtenidos bajo el cielo real. Con el objetivo de proporcionar los datos del potencial de iluminación natural en la Ciudad de Buenos Aires, se ha establecido una central permanente de mediciones de la FADU-UBA, la primera de su tipo en América del Sur. Este trabajo presenta las características de la Estación, las variables registradas y los resultados del primer año de mediciones, incluyendo la eficacia lumínica de la radiación solar en días soleados y nublados, así como la distribución de iluminancia difusa. Se comparan estos resultados con valores registrados en otras latitudes.

PALABRAS CLAVE: Iluminación natural. Radiación solar. Datos meteorológicos. Fotometría.

INTRODUCCIÓN

La optimización de luz natural proporciona condiciones de iluminación favorables con menor consumo de energía e impacto ambiental. El cielo artificial (Evans et al, 1997) construido en el Centro de Investigación Hábitat y Energía, FADU-UBA, registra datos de iluminación relativa o factor de luz diurna en el plano de trabajo. Alternativamente, programas de simulación numérica (Frame and Birch, 1991 y Baker et al, 1993), facilitan la estimación del Factor de Luz Diurna (FLD), la proporción entre la iluminación recibida en un punto en el interior del edificio y la iluminación recibida sobre una superficie horizontal sin obstrucciones. Para interpretar estos resultados se requieren datos de la iluminancia del cielo con el fin de relacionar las mediciones o simulaciones relativas realizadas en el cielo artificial o en computadora con los niveles de iluminancia obtenidos bajo el cielo real (Baker, 1993).

La medición del recurso de luz natural requiere contar con una serie continua de valores y una frecuencia que registra las variaciones diurnas. Para ello, se procedió a proyectar una Estación de Mediciones ubicada en la terraza del Pabellón III, Ciudad Universitaria, con la instalación de instrumental de medición de radiación solar e iluminación. Este trabajo presenta las características de la Estación, las mediciones obtenidas y resultados del primer año de operación, desde el 1 de julio de 1999.

BANCO DE MEDICIONES

El banco de mediciones consta de una superficie horizontal ubicada a una altura de 1,6m para colocar los sensores con base, nivel de burbuja y tornillos niveladores, y un gabinete para alojar el equipo de registro y sensores de temperatura y humedad relativa (Fig. 1). La altura de los sensores disminuye la posibilidad de eventuales sombras de las personas que se acercan al banco para desgrabar los datos almacenados. Al mismo tiempo, esta altura permite una inspección y eventual limpieza de la superficie superior de los sensores, adicionalmente a su nivelación inicial. Los sensores incluidos en el equipo son:

- Piranómetro P1: mide la radiación global sobre superficie horizontal o radiación directa del sol y difusa de la bóveda celeste. Por su ubicación, se excluye totalmente la radiación reflejada del suelo y de obstáculos.
- Fotómetro F1: mide la iluminancia global con una exposición a la totalidad de la bóveda celeste. Son limitados los obstáculos hacia el oeste con una altura máxima de 6°.
- Fotómetro F2: presenta una exposición similar al fotómetro F1, con el agregado de una máscara ajustable de protección que evita la exposición a la luz directa del sol, proyectando una sombra sobre el sensor en todas las épocas del año.
- Termómetro T1 y Sensor H1: temperatura bulbo seco y humedad relativa integrados en un elemento colocado en la parte inferior del caja de mediciones, con anillo protector para evitar la influencia de la radiación solar directa y la lluvia.

Tabla 1. Datos de los sensores

Medición	Radiación	Iluminación	Ilum sin sol directo	Temp. bulbo seco	Humedad relativa
Código, Li-cor 1400	I1P LI-200SA	I2P LI-210SA	I3P LI-210SA	V1M LI-1400-104	V2M LI-1400-104
Tipo de sensor	Piranómetro	Fotómetro	Fotómetro	Vaisales	Vaisales
Referencia y unidades	P1, Watts/m ²	F1, klux	F2, klux	T1, ° Celsius	H1, %

TABLERO

El tablero, ubicado en el interior de la caja de instrumentos, fue proyectado e instalado con los siguientes elementos (Fig. 2):

- Interruptor general (1): controla la entrada de alimentación permanente de 220V.
- Segundo interruptor (2): opera una lámpara en caso de utilizar el equipo durante la noche.
- Dos toma corrientes: proveen alimentación al equipo de registro (3a) y a la PC portátil (3b) para la operación periódica de descarga de los datos almacenados.
- Lámpara (4): ilumina el teclado, pantalla del equipo de registro de datos y estante de apoyo de la PC portátil.
- Equipo de registro (5): almacena las mediciones de los sensores.

Adicionalmente, el equipo de grabación y almacenamiento de datos tiene baterías internas que aseguran su funcionamiento en forma autónoma. La lectura de los datos almacenados en las horas nocturnas evitará las posibles sombras sobre los sensores. Sin embargo, durante el día, se puede verificar mejor la limpieza de los sensores y el ajuste de la banda protectora según la variación de la declinación del sol en distintas épocas del año.



Fig. 1 Estación de medición en la terraza del Pabellón 3, FADU-UBA, con los tres sensores superiores.

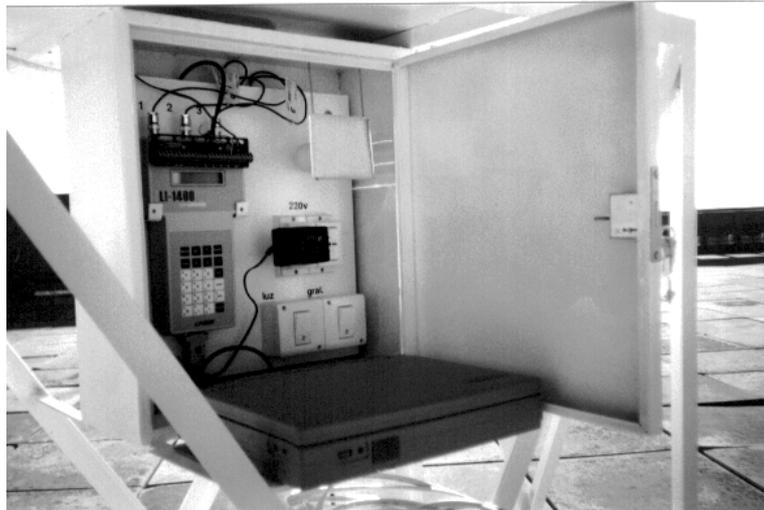


Figura 2. Vista interior de la Estación de medición y registro de iluminación natural: Datalogger conectado a la computadora portátil.

MEDICIÓN

Se registra las señales de los cinco sensores en un data-logger manual modelo Li-cor 1400. Este equipo puede ser programado usando una PC, mediante un programa especialmente proporcionado para tal fin, ingresando los siguientes datos:

- Rutinas de grabación de datos: tiempo de iniciación, tiempo de terminación, período de muestreo, período de registro.
- Datos del sensor en cada canal: etiqueta del canal, constante de calibración del sensor, rutina de grabación, etc.

Los datos de los sensores están registrados con una frecuencia de 1 minuto durante las 24 horas del día. Cada 15 minutos el equipo realiza un promedio de los registros acumulados y graba los resultados en la memoria, junto con los valores máximos y mínimos durante cada período. Esta rutina de obtención de datos proporciona información con una frecuencia suficientemente corta para analizar las condiciones medias y variaciones durante cada período del día. Al mismo tiempo, evita la acumulación de un número excesivo de datos que disminuye el tiempo de autonomía de la grabación. Con esta rutina de medición instalada, el equipo almacena los datos de por lo menos 9 días. Sin embargo, los datos son transferidos a la computadora con un intervalo máximo de 7 días, aunque se realiza generalmente cada 3-4 días como medida de seguridad. La rutina de grabación de datos graba los nuevos valores sobre los datos más viejos. La transferencia de los datos a la computadora no anula los datos grabados. De esta forma, siempre quedan valores de la transferencia anterior que permiten verificar el empalme y la continuidad de los datos. El pre-procesamiento de los datos y su organización facilita el análisis posterior. Los archivos de datos tienen un formato de texto (.TXT) apto para su incorporación directa en una planilla electrónica.

El procedimiento de transferencia y mantenimiento tiene una duración de 10 minutos en total, generalmente dos veces por semana:

- Cuando el operador abre la casilla, verifica el estado de los instrumentos en su interior. En días de lluvia, será necesario secar los bordes de la puerta y el estante para apoyar la PC durante el proceso de bajada de datos.
- Se conecta la computadora al datalogger con el cable RS232.
- Con el software de la computadora, se establece la conexión y se inicia la transferencia de datos a un archivo con un nombre correlativo: Datos-1.txt, Datos-2.txt, etc.
- Se realiza una inspección de los sensores para verificar su limpieza.

- En pantalla se verifica el estado de las baterías; un ‘display’ titilando indica baterías bajas. El equipo mantiene la grabación de datos durante varios días sin perder los datos grabados, aunque éstos se pierden durante el cambio de baterías (10 min. aprox). Se comprobó que la vida útil de las baterías es aproximadamente 60 días.
- En días soleados se verifica la ubicación de la banda de sombra en el sensor F2, debiéndose realizar el ajuste necesario, según la variación de la declinación del sol.

DATOS OBTENIDOS

Durante el primer año de funcionamiento, desde julio 1999 a julio 2000, la Estación registró datos completos, exceptuando 9 días, equivalente a la pérdida de 2,5 %. Los datos faltantes corresponden a una demora en la instalación inicial (24 horas), al cambio mensual de pilas (hasta 1/2 hora) y a problemas de alimentación eléctrica. El acopio de los datos se organizó semanalmente, efectuando al mismo tiempo un resumen y graficación de los valores promedio horarios de cada día.

Los archivos de datos están organizados en cuatro etapas. Primero, los datos iniciales están almacenados en archivos TXT, sin cambios. En caso de pérdida de datos durante intervalos muy limitados en días con cielo claro es posible preparar un archivo adicional con los datos interpolados. Para intervalos muy extensos o en días con variaciones imprevisibles se descarta el día entero para evitar errores en los promedios diarios. Desde el inicio de los registros en junio de 1999 hasta el 15 de agosto de 2000 se cuenta con 95 archivos TXT con datos originales: Datos-01.txt – Datos-95.txt.

Estos datos están transferidos directamente a archivos en formato Excel; Datos-01.xls a Datos-95.xls. La información diaria ha sido introducida en una planilla que presenta resúmenes con valores promedio horarios para cada día de la semana, gráficos y resúmenes de valores medios de cada semana. Finalmente, los datos de radiación e iluminación se analizan con una planilla mensual. En estas planillas, se computaron estadísticas mensuales para estudiar las características de la iluminación natural, así como su disponibilidad, en plazos más largos.

ANÁLISIS DE MEDICIONES

Las planillas semanales grafican los valores de radiación global, iluminancia global y difusa, temperatura y humedad relativa. En las Figuras 3, 4, 5 y 6 se presentan resultados típicos para días de cielo claro y nublado en invierno y verano.

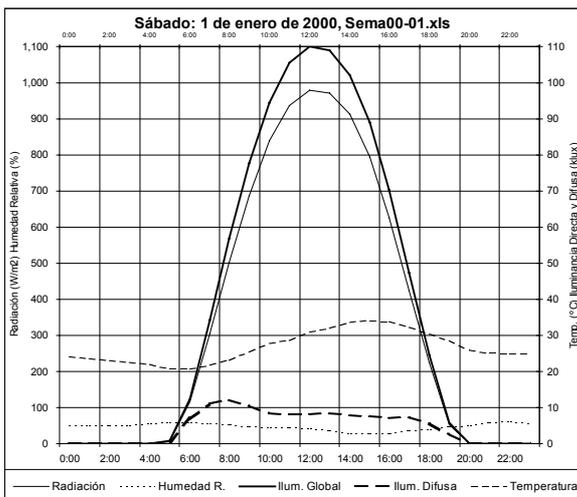


Figura 3. Día de cielo claro, verano: 1 de enero de 2000

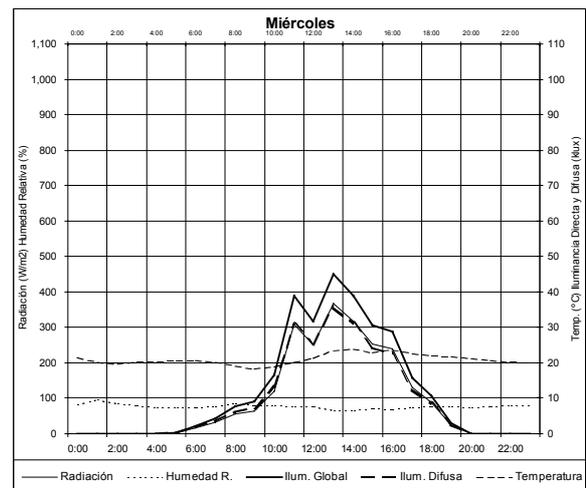


Figura 3. Día de cielo nublado, verano: 27 del 12 de 1999.

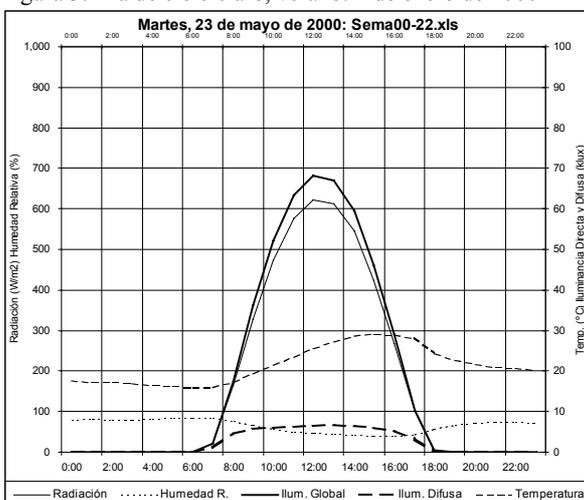


Figura 5. Día de cielo claro, invierno: 23 de mayo de 2000

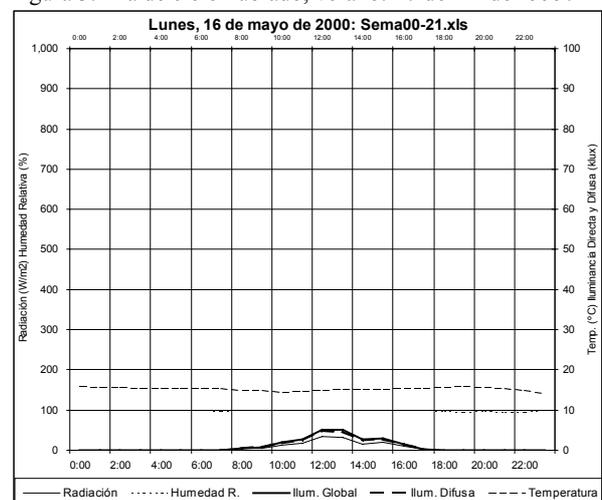


Figura 6. Día de cielo nublado: 16 de mayo de 2000

Las planillas mensuales indican la cantidad de horas de luz y su distribución en condiciones de cielo claro, semi-nublado y nublado. Calculando la posición del sol para cada medición efectuada, se pueden establecer tendencias que vinculen la altitud solar con la iluminancia global y la eficacia lumínica, según las condiciones del cielo. La eficacia lumínica de la radiación solar es la iluminancia dividida por la intensidad de radiación, en kilolux/Watt. Son especialmente significativos los gráficos de eficacia correspondientes a cielo claro, por ser más evidente la influencia de la luz solar directa.

La eficacia lumínica de la luz natural con cielo claro es aproximadamente 0,105 klux/Watt, con tendencia a disminuir cuando la altura del sol es inferior a 25°. Durante el período de medición en julio, la altura máxima del sol era 34°. Los resultados obtenidos son compatibles con los valores publicados en la bibliografía internacional (Baker et al, 1995, Muneer, 1997), aunque algunos autores indican eficacias inferiores a 0,09 (Fig. 7).

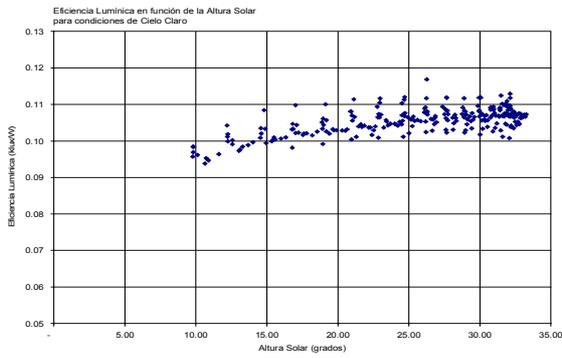


Figura 7. Eficacia lumínica de radiación solar: cielo claro

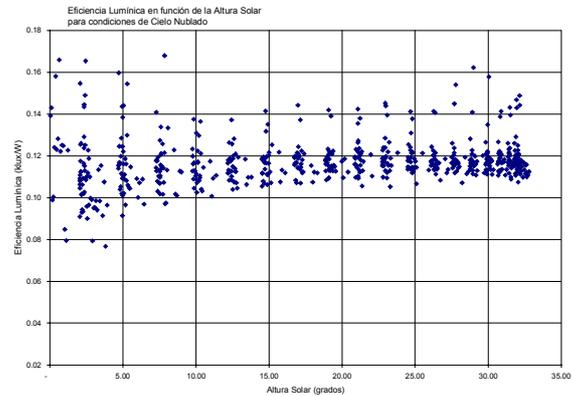


Figura 8. Eficacia lumínica de radiación solar: cielo nublado

Con condiciones de cielo nublado, los valores de la eficacia lumínica presentan mayor dispersión, en especial para altitudes solares menores de 10°. En general, se obtuvieron valores más elevados que con cielo claro, arrojando un promedio de 0,116 klux/Watt. Igual que en el caso anterior, se observa una tendencia decreciente en bajos ángulos de altura solar (Fig. 8).

El gráfico de iluminancia global en función del ángulo de altura solar para condiciones de cielo claro (Fig. 9) presenta valores ordenados sobre una recta de proporcionalidad directa, mostrando una distribución coherente de los datos con muy poca dispersión para altitudes menores de 25°.

Los datos obtenidos permiten configurar curvas de los umbrales de iluminancia que se excede durante un periodo de tiempo. Estas curvas indican la proporción del tiempo con niveles de iluminación exterior adecuados para evitar el uso de luz artificial, según el factor de luz diurna interior (Fig. 10).

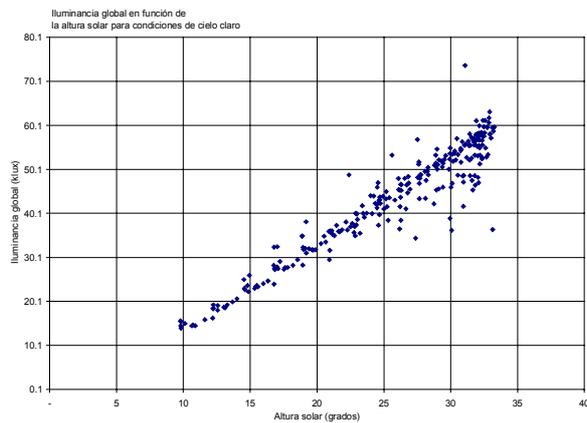


Figura 9. Iluminancia global en función de la altura solar, con cielo claro

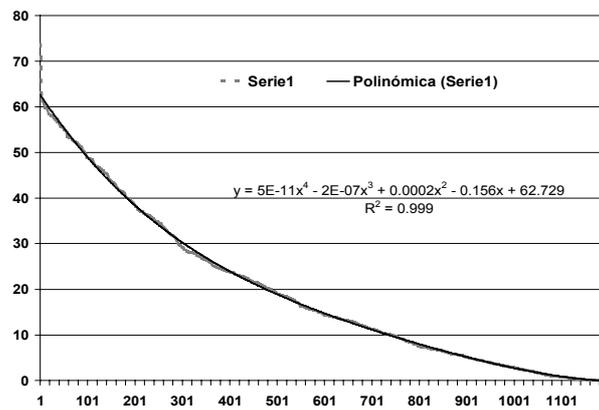


Figura 10. Número de observaciones (x) con niveles de iluminancia superiores a los valores de kilolux indicados (y), mes de julio de 1999.

Los registros permiten evaluar la distribución temporal de la iluminancia difusa media, según época del año y hora del día. La iluminancia difusa indica la disponibilidad de luz, sin contar con la luz directa en días de cielo claro. Así se obtienen valores indicativos del recurso lumínico en locales con protección solar que elimina la penetración de sol directo. A diferencia de latitudes más altas (Button y Pye, 1993), los valores de Buenos Aires (Figuras 11 y 12) indican una reducida variación entre invierno y verano.

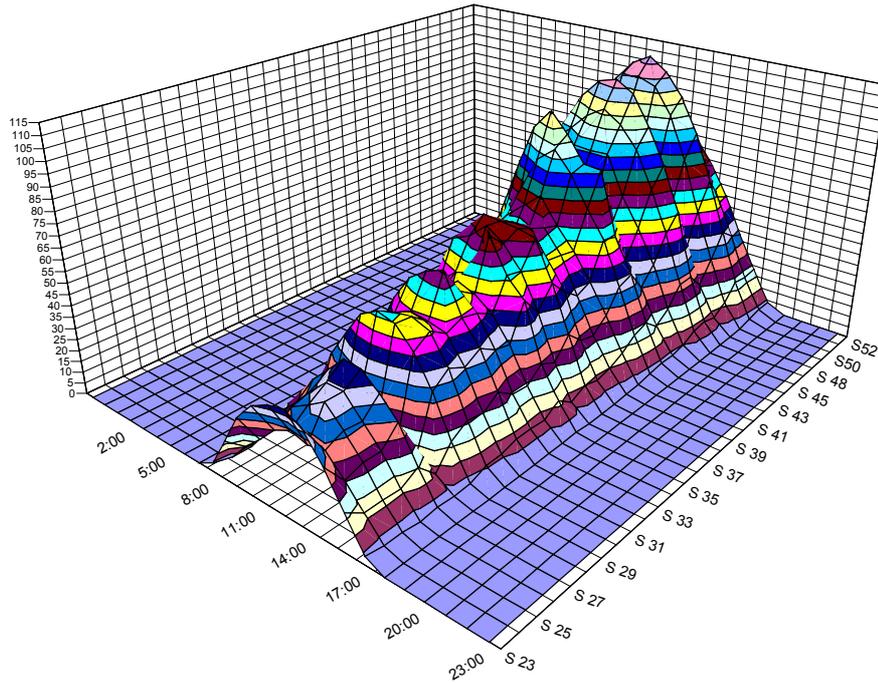


Figura 11. Distribución de la iluminancia global media según mes y hora: semana 23 a 52 de 1999.

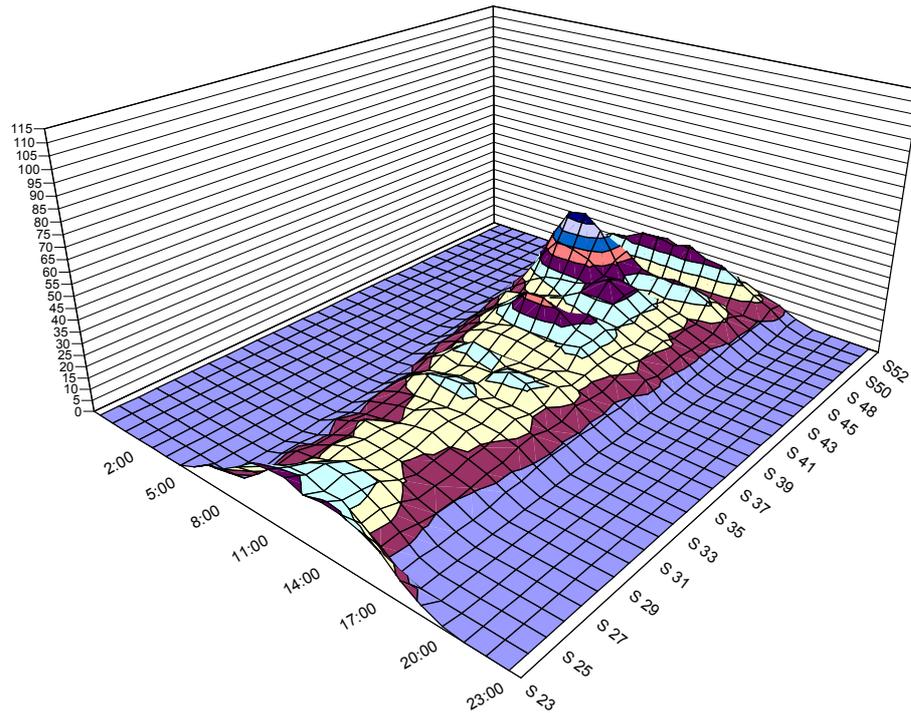


Figura 12. Distribución de iluminancia difusa media según mes y hora: semana 23 a 52 de 1999.

CONCLUSIONES

La nueva información obtenida sobre el recurso lumínico en Buenos Aires, correspondiente al primer año de mediciones comprendido entre julio 1999 y julio 2000, proporciona datos de niveles de iluminación natural registrados en la Estación, su distribución en el tiempo y su relación con la radiación solar. Los valores de eficacia lumínica e iluminancia global según la altura del sol también permiten establecer valores de iluminancia en otras localidades cercanas, utilizando información existente de la intensidad de radiación solar (Grossi Gallegos, 1997) y valores calculados de la altura del sol. A su vez, con los datos de iluminancia global se establece la curva acumulativa del número de mediciones registradas, mayor que ciertos valores obtenidos durante las horas de uso de edificios, tales como escuelas, oficinas, etc. De esta manera, se puede establecer

la disponibilidad, en horas por día, de un cierto nivel de iluminancia global, la demanda de iluminación artificial y el ahorro energético logrado al optimizar la iluminación natural.

Se continúa con el procesamiento de datos obtenidos a fin de mejorar y ampliar la interpretación así como la aplicación de la información en estudios de iluminación natural. Adicionalmente, está previsto mejorar la programación del registro de datos para obtener valores a intervalos de un minuto, para alcanzar un nivel de detalle comparable al de las estaciones de medición del recurso lumínico Nivel A. Con el registro de datos sobre superficies verticales, la Estación accedería al Nivel B, según la clasificación internacional de estaciones de este tipo.

RECONOCIMIENTO

El presente trabajo forma parte del Proyecto de Investigación BID 802/OC-AR-PICT 1623 "Optimización de condiciones lumínicas y energéticas: ensayos en el cielo artificial, mediciones y simulaciones", de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Se agradece la asistencia prestada por los Arqts. Claudio Delbene y Sonia Suppa, y los estudiantes Julian Evans y Daniel Kozak, en tareas de registro y procesamiento de datos.

REFERENCIAS

- Button D., y Pye, B, *Glass in Buildings*. Butterworth Architecture, Londres, 1993.
- Baker N., Fanchiotti A., Steemers K. [editores] (1993), *Daylighting in Architecture, An European Reference Book*, James & James, London.
- Evans, J. M., Baroldi, G. y Marmora, M.I. (1997), Diseño y construcción de un cielo artificial tipo espejo, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 1, N° 1 pp 121-124, INENCO, Salta.
- Grossi Gallegos H. (1997), *Evaluación a nivel de superficie de la radiación solar global en la República Argentina*, Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Luján, División Física, Departamento de Ciencias Básicas.
- Munier T. (1997) *Solar Radiation and Daylight Models for the Energy Efficient Design of Buildings*, Butterworth-Heinemann, Oxford.

DAYLIGHT AVAILABILITY IN BUENOS AIRES ONE YEAR OF MEASUREMENTS

ABSTRACT - To introduce efficient natural lighting in architectural design it is necessary to have accurate information of the sky illuminance levels. With this data, proportional measures made in an artificial sky or relative values obtained by means of numerical simulations, can be related to illuminance levels from real sky conditions. To obtain values of the natural lighting potential in Buenos Aires, a permanent station for measuring and recording natural lighting potential has been set up in the FADU-UBA, one of the first in South America. This paper introduces the characteristics of the station, the variables recorded and the results of the first year of measurements, including luminous efficacy of solar radiation in sunny or cloudy days. Results are compared with values from other latitudes. With luminous efficiency data and solar radiation measurements, the illuminance levels in other regions of Argentina can be estimated.