

MEDICION DE ILUMINACION NATURAL, CALIBRACION DE SENSORES Y MEJORAMIENTO DE LA FRECUENCIA DE REGISTROS

John Martin Evans

Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad de Buenos Aires, Pabellón 3, Piso 4, Ciudad Universitaria, Buenos Aires
Tel y Fax: (011) 4789 6274 e-mail: evans@fadu.uba.ar

RESUMEN: La Estación Permanente de Registros de Iluminación Natural se encuentra en la terraza de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires. Después de dos años de mediciones continuas de radiación solar e iluminación natural, se realizaron una serie de mejoras en el registro de datos con el fin de aumentar la calidad de los mismos. Los sensores originales fueron reemplazados por nuevos que permiten recalibrar los sensores originales y verificar el posible deterioro en la precisión. Al mismo tiempo se cambió el programa de registros para reducir el intervalo de mediciones con el objetivo de cumplir con los requisitos internacionales. El trabajo presenta los resultados de estos cambios y la disminución en la precisión del piranómetro que llega aproximadamente al 7,4 % durante los dos años de exposición a la intemperie, mientras la disminución del fotómetro llegó al 15%.

PALABRAS CLAVES: Iluminación natural, luxómetros, calibración sensores

INTRODUCCION

La medición sistemática de datos de iluminación natural requiere una buena calidad de instrumental, con verificaciones periódicas de la precisión de los resultados. Además, las estaciones permanentes deben responder a los requisitos de acuerdos internacionales con mediciones de una frecuencia de uno cada minuto (Muneer, 1997).

La estación permanente del CIHE, Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, inició sus mediciones en junio de 1999 (Evans y Torres, 2000). Inicialmente, la frecuencia de mediciones fue cada 15 minutos, aumentando la frecuencia de mediciones a cada minuto desde julio de 2001. Este trabajo presenta las características de la estación y los cambios realizados en la medición de datos.

También se presenta la evaluación de la degradación de los sensores después de dos años de exposición. Este estudio reviste gran importancia en la verificación de la precisión de las mediciones realizadas y la necesidad de reemplazar y recalibrar los sensores cada dos años. Los sensores tienen un costo elevado de aproximadamente \$2500 para los dos fotómetros y un piranómetro. La evaluación pretende responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Es necesario recalibrar los sensores cada dos años debido a los cambios sufridos por exposición a la intemperie?
2. ¿Los cambios de precisión son iguales en sensores con distintos grados de exposición?
3. ¿Los fotómetros y piranómetros tienen la misma disminución, debido al deterioro de los sensores?

INSTALACIÓN DE NUEVOS SENSORES

Después de 2 años, 1 mes y 25 días de exposición a la intemperie, los sensores del LI-COR 1400 fueron reemplazados, según las recomendaciones del fabricante que indica un plazo de dos años (Li-cor, 1991). La tabla 1 indica las características de los sensores originales y nuevos, con referencia, código de fabricante, exposición, etc. La renovación de los sensores permite evaluar los cambios en las lecturas, comparando las variaciones según el grado de exposición de los sensores. En total, cuatro de los sensores fueron utilizados durante dos años. Un piranómetro (1a) y un fotómetro (2a) fueron expuestos totalmente a la radiación solar y luz visible de la totalidad de la bóveda celeste con el fin de medir la iluminancia y radiación global. Otro fotómetro (3a) fue expuesto a la radiación y luz difusa, protegido de la radiación directa por una banda de sombra ajustable. Finalmente un sensor fotómetro (4) fue utilizado para medir niveles de luz artificial en el "cielo artificial" y algunas mediciones al exterior, durante períodos limitados de medición manual de condiciones de iluminación natural en edificios existentes. Cabe notar que el coeficiente de calibración inicial de los fotómetros puede variar entre 2.99 a 3.35, una variación máxima de 12%. El manual del fabricante indica un error absoluto de +/-5% en la calibración, típicamente +/-3%. (Li-cor, 1991).

Los nuevos sensores fueron instalados el 26 de julio entre las 15:45 y las 16:00, y el nuevo programa (Set-up) de calibración fue instalado a las 16:19 horas, con una limpieza total de los datos en el registrador automático Licor 1400. Los sensores nuevos fueron fijados en las bases de nivelación, con una verificación mediante niveles de burbuja.

Tabla 1. Los sensores utilizados en la estación de medición.

| Referencia | 1a | 1b | 2a | 2b | 3a | 3b | 4 |
|-------------------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|------------|
| Sensor | PY33281 | PY39362 | PH6288 | PH6785 | PH6289 | PH6786 | PH |
| Código del fabricante | LI-200SA | LI-200SA | LI-210SA | LI-210SA | LI-210SA | LI-210SA | LI-210SA |
| Tipo | Piranómetro | Piranómetro | Fotómetro | Fotómetro | Fotómetro | Fotómetro | Fotómetro |
| Años de exposición | 2 años | Nuevo | 2 años | Nuevo | 2 años | Nuevo | Interno |
| Radiación o luz natural | Global | Global | Global | Global | Sólo difusa | Sólo difusa | Artificial |
| Calibración original | -11.43 | -10.46 | -3.35 | -3.06 | -3.12 | -2.99 | |

El nuevo programa de registro de datos (**Set-up25-07-01.L14**) proporciona datos de radiación solar global, iluminación natural global e iluminación natural difusa. Estos datos son registrados como el promedio de 5 segundos, con 1 registro cada minuto en forma continua: 60 por hora, 1440 por día, 10080 por semana, 524000 por año. Adicionalmente los datos de temperatura bulbo seco y humedad relativa fueron registrados cada hora. Los datos son registrados en archivos con el nombre **Li-XXX.txt**, donde XXX es el número de serie, empezando con **Li-001.txt**.

DIFERENCIAS SEGUN PERIODO DE MEDICIONES

Se realizó un estudio para evaluar la variación de la precisión de información debido al cambio de período entre mediciones. La tabla 2 indica las frecuencias iniciales y actuales.

Tabla 2. Frecuencia de mediciones

| | Mediciones iniciales | Mediciones actuales |
|--------------------|---|-------------------------|
| Iluminancia global | Promedio de mediciones cada minuto en un período de 15 minutos, con valores máximos y mínimos | Un registro cada minuto |
| Radiación global | Promedio de mediciones cada minuto en un periodo de 15 minutos, con valores máximos y mínimos | Un registro cada minuto |
| Radiación difusa | Promedio de mediciones cada minuto en un período de 15 minutos, con valores máximos y mínimos | Un registro cada minuto |
| Temperatura | Promedio de mediciones cada minuto en un período de 15 minutos, con valores máximos y mínimos | Un registro cada hora |
| Humedad relativa | Promedio de mediciones cada minuto en un período de 15 minutos, con valores máximos y mínimos | Un registro cada hora |

Una de las aplicaciones principales de datos detallada de iluminancia global es la simulación de sistemas automáticos de control de iluminación artificial. Los sensores de estos sistemas responden a los niveles mínimos registrados con una frecuencia de un minuto e incorporan rutinas de demora para evitar el ajuste de niveles de iluminación artificial con excesiva frecuencia.

En condiciones de sol directo, las variaciones temporales son menores, pero en condiciones nubladas, las variaciones de iluminancia son más irregulares y significativas. La diferencia significativa entre el valor promedio y el valor mediano indica la necesidad de obtener registros con frecuencia. En una muestra de 30 horas de luz diurna en días nublados, se analizó el funcionamiento de un sistema de control con distintos criterios de control y niveles mínimos de luz. Los datos registrados con una frecuencia de un minuto requieren hasta 22% más tiempo de luz artificial, comparado con una distribución aritmética estimada con datos obtenidos cada 15 minutos. En total la diferencia es de aproximadamente 7%.

METODO DE EVALUACION DE LOS SENSORES

Antes de enviar a recalibrar los sensores originales, se realizó una verificación de la variación entre los sensores originales y nuevos. La fecha de calibración de los fotómetros fue el 11 de mayo de 2001, mientras la fecha correspondiente al piranómetro fue el 20 de septiembre de 2000. Se considera que el período entre la fecha de calibración y la fecha de instalación no es significativo dado que los sensores no fueron expuestos a la luz.

La verificación fue realizada con los sensores originales en un instrumento manual registrando una serie de 20 mediciones, uno cada minuto, que fueron comparados con las mediciones registradas en forma simultánea en el data-logger Li-cor 1400, utilizando el reloj del mismo datalogger automático, asegurando registros simultáneos. Los registros fueron tomados utilizando la tecla 'hold' que mantiene en pantalla el valor correspondiente al momento de la depresión de la tecla, con una precisión estimada de medio segundo de diferencia entre el registro manual y automático. Los registros manuales fueron anotados en planillas con la identificación de cada sensor y el horario de las mediciones. Una condición de los registros era mantener la estación permanente en funcionamiento ininterrumpido. En el caso de las mediciones comparativas de los sensores nuevos, el sensor 4 fue utilizado en reemplazo del nuevo, realizando el cambio de sensor en el intervalo de un minuto entre registros.

Todas las mediciones fueron realizadas con iluminación natural global o radiación global. Esta fuente de luz o radiación es variable, produciendo cierta dispersión en los valores. Sin embargo, se considera importante de medir la variación entre sensores, bajo la fuente real, con sus variaciones, características espectrales y niveles absolutos de luz. Cabe aclarar que, durante las mediciones, los niveles de iluminancia y radiación corresponden a invierno (28 y 31 de julio) y no alcanza los picos previsible en verano.

Figura 1 indica los resultados generales. Figura 2 indica la diferencia en lecturas entre el sensor piranómetro original, después de 2 años de exposición y el nuevo, Figuras 3, 4 y 5 indican la diferencia entre el nuevo sensor fotómetro y los originales, utilizados para la medición de iluminancia global, iluminancia difusa sin sol directo y para mediciones en interiores respectivamente. Finalmente la figura 6 indica la variación entre dos fotómetros nuevos.

Figura 1. Disminución porcentual de las lecturas, según la exposición de los cinco sensores.

Las referencias (1a, 2a, 3a, 4 y 5) corresponden a los sensores indicados en la Tabla 1:

- 1a. Piranómetro expuesto a radiación global durante 2 años
- 2a. Fotómetro expuesto a radiación global durante 2 años
- 3a. Fotómetro expuesto a radiación difusa durante 2 años
4. Fotómetro con limitada exposición a luz durante 2 años
5. Fotómetro nuevo (3b), sin exposición a luz o radiación

En todos los casos, la disminución corresponde a la diferencia entre las lecturas de los sensores originales y el sensor nuevo (2b), expresada como porcentaje del sensor nuevo.

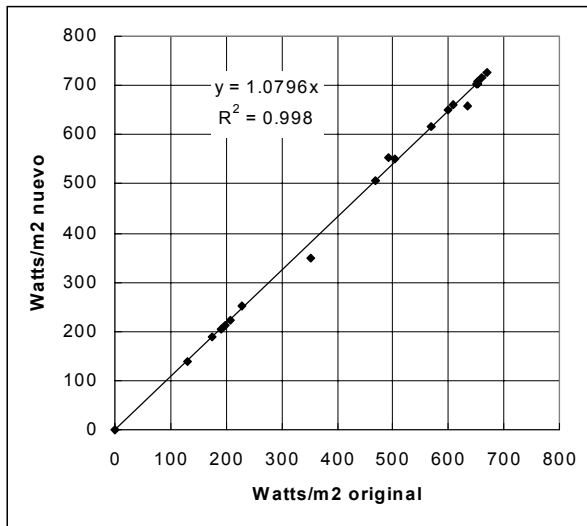
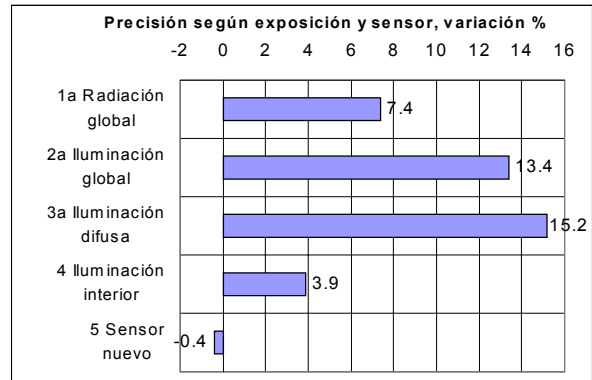


Figura 2. Comparación entre las mediciones de radiación solar con el piranómetro original después de 2 años de uso y el sensor nuevo. Las mediciones realizadas indican una diferencia de 7,4% entre el sensor nuevo (Referencia 1b) y el sensor original (Referencia 1a).

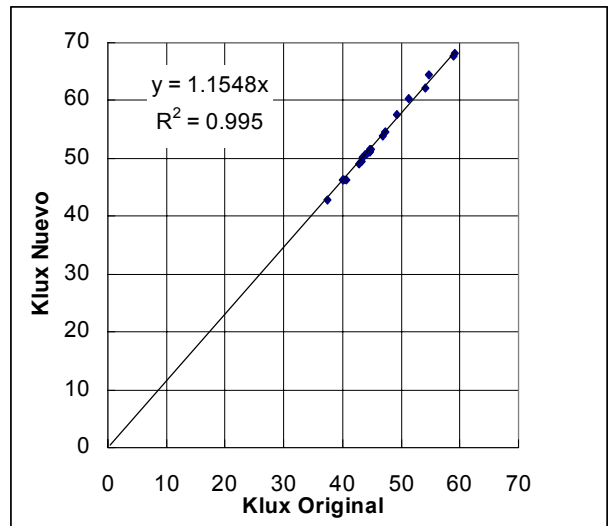


Figura 3. Comparación entre las mediciones de iluminación natural con el fotómetro original después de 2 años de uso en el exterior, expuesto a la iluminación global y el sensor nuevo. Las mediciones realizadas indican una diferencia de 13,4 % entre el sensor nuevo (Referencia 2b) y el sensor original (Referencia 2a).

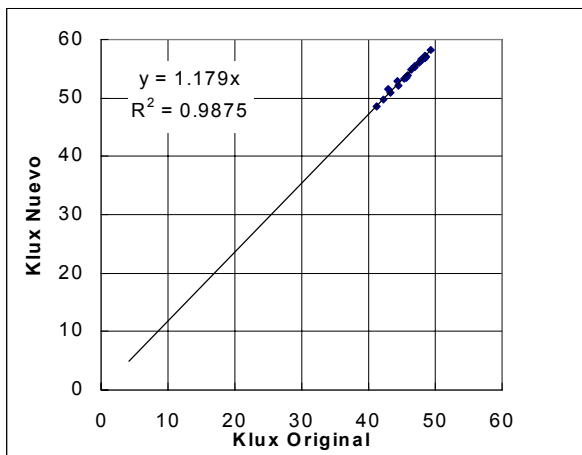


Figura 4. Comparación entre las mediciones de iluminación natural con el fotómetro original después de 2 años de uso en

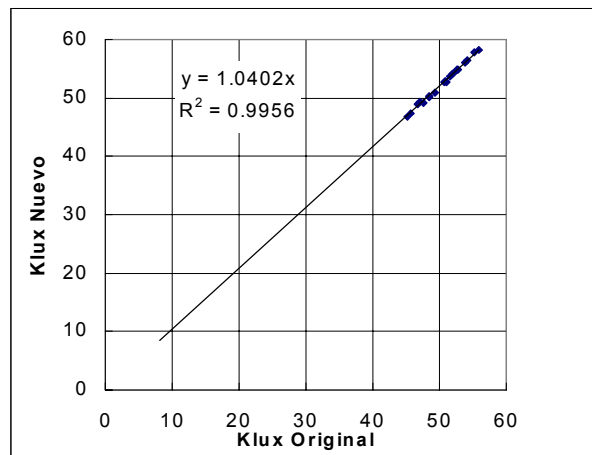


Figura 5. Comparación entre las mediciones de iluminación natural con el fotómetro original después de 2 años de uso en

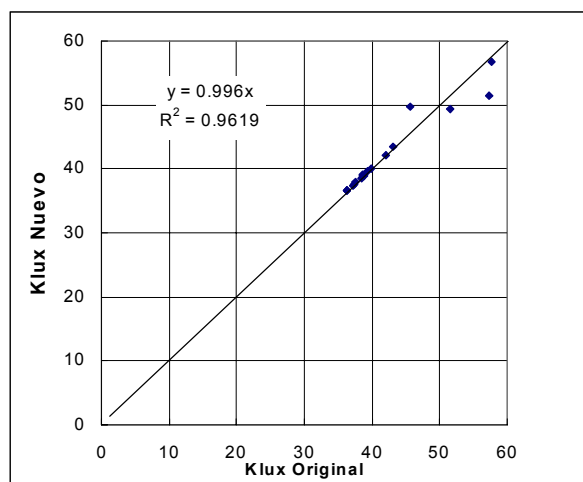
interiores con luz difusa (sin sol directo) y el sensor nuevo. Las mediciones realizadas indican una diferencia de 15,2 % entre el sensor nuevo (Referencia 2b) y el sensor original (Referencia 3^a).

interiores con mínima exposición a la luz y al sol y el sensor nuevo. Las mediciones realizadas indican una diferencia de 3,9 % entre el sensor nuevo (Referencia 2b) y el sensor original (Referencia 4).

Figura 6. Verificación comparativa de los dos fotómetros nuevos (Referencia 2b y 3b, Tabla 1).

Las lecturas son muy consistentes con una variación de solamente 0,4 % entre los dos sensores. Se puede notar una dispersión de valores con lecturas altas, correspondientes a momentos de sol directo mas fuerte, en períodos cortos de variación rápida en el nivel de iluminación.

El fabricante indica un error máximo de 5% en la calibración, aunque normalmente este error será de 3% máximo.



DISCUSIÓN

Las diferencias detectadas entre mediciones corresponden a sensores calibrados recientemente y después de dos años de uso. Para la recalibración de los sensores u obtener valores más precisos, corresponde realizar las mediciones con una fuente de luz normalizada o sensores de alta precisión según las normas internacionales. Sin embargo, las diferencias detectadas son muy significativas, confirmado la necesidad de recalibración y ajustar los valores medidos. Las mediciones comparativas indican:

- Las lecturas de los dos fotómetros nuevos tienen diferencias mínimas, indicando la precisión de la calibración inicial y la confiabilidad de los equipos de medición.
- Los fotómetros, sensores de iluminación, han sufrido mayor disminución que el piranómetro, que mide radiación.
- La diferencia entre el sensor expuesto a radiación y luz global y el sensor expuesto a luz y radiación difusa no es muy significativa, aunque se puede haber esperado mayor disminución en el sensor con mayor exposición.
- El sensor 4, expuesto a interiores, principalmente durante ensayos en el cielo artificial tiene escasa disminución.
- Las mediciones realizadas no indican la variación de la tasa de disminución a través del tiempo. Esto puede ser lineal y proporcional al tiempo de exposición, geométrica con una creciente disminución a través del tiempo o irregular, con una disminución mayor durante el verano con mayor intensidad de radiación solar y menor en invierno.

CONCLUSIONES

Las mediciones realizadas confirman la necesidad de recalibrar los sensores cada 2 años, según las recomendaciones de los fabricantes y las normas internacionales. En caso de sensores expuestos en forma continua al sol, será deseable reducir este intervalo a cada año con el fin de aumentar la precisión. Con este intervalo, se puede evitar variaciones mayores a 10% durante el periodo entre calibraciones (Figura 1).

El aumento de la frecuencia de mediciones es necesario con el fin de obtener datos útiles para la simulación de sistemas automáticos de control de iluminación artificial. Sin embargo, la frecuencia de registros cada minuto requiere intervalos reducidos de transferencia de datos y triplica la capacidad de almacenamiento de datos necesarias.

REFERENCIAS

- Li-cor Inc (1986), *Li-cor Radiation Sensors: Instruction Manual*, Li-cor, Lincoln, Nabraska.
- Evans y Torres, (2000) *El recurso de iluminación natural en Buenos Aires: resultados de un año de mediciones*, pp 5.59-5.64, AERMA, Vol 4, N° 2, 2000.
- Muneer, T. (1997), *Solar radiation and Daylight models for Energy efficient building design*, Butterworth-Hienemann, Oxford.

ABSTRACT

The permanent station for measuring daylight, located on the roof of the Faculty of Architecture, Design and Urbanism, university of Buenos Aires, has been active for 2 years. Recently, improvements were made in the measurement of solar radiation and daylight. The original sensors were replaced in order to recalibrate them and check the possible deterioration due to exposure to sun. At the same time, the data logging program was changed to reduce the interval between registers to comply with international requirements. The work presents the results of these changes and the measurements that show a reduction of 7,4% of the pyranometer and up to 15% in the photometers.

KEYWORDS: Daylight, photometers, pyranometers, calibration of sensors