

## MEDICIÓN INDIRECTA DE RADIACIÓN POR PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE LUMINANCIA. RESULTADOS PRELIMINARES<sup>1</sup>

Hoyos, D; Cadena, C;<sup>2</sup> Saravia, L<sup>3</sup>, Bárcena, H. Y Suarez, H.

INENCO<sup>4</sup> Departamento de Física

Facultad de Ciencias Exactas

Universidad Nacional de Salta

Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta - República Argentina

e-mail: cadena@unsa.edu.ar - fax 54-0387-4255489

**RESUMEN:** En el presente trabajo se describe un método para determinar las curvas iso radiación en una superficie plana, cubriendo la misma con un papel blanco, y empleando una cámara digital para obtener una imagen de luminancia. Procesando esta imagen y en base a una distribución de las mismas puede obtenerse una imagen de la radiación sobre este plano. El método requiere, para poder ser cuantificado de la determinación de un punto de referencia de radiación. Por otra parte, se requiere calibrar la cámara con diferentes niveles de radiación. Estos son generados artificialmente con diferentes superficies reflectivas sobre un fondo blanco, consiguiéndose así las distintas escalas de grises. La medición de la radiación incidente en este calibrador, se realiza por métodos convencionales. El dispositivo permite medir distribuciones inhomogéneas de radiación en superficies planas como ser el caso de muros, colectores, cocinas, etc; y cualquier otro tipo de superficies planas, donde se pueda ubicar un fondo blanco, que por razones tales como reflexiones, o incidencia de radiaciones de valor desconocido, tengan distribuciones no uniformes de radiación.

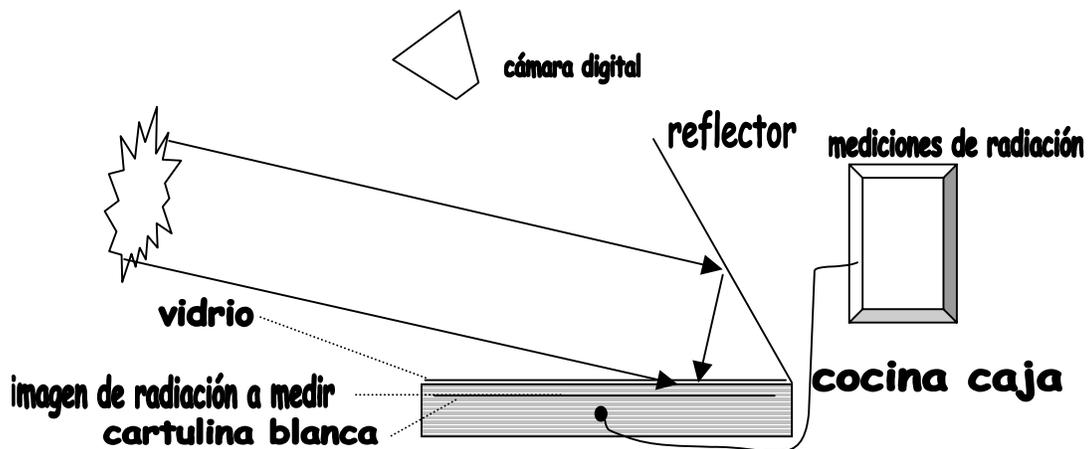


Figura 1: esquema del procedimiento

### INTRODUCCIÓN

Para poder realizar estas mediciones de radiación, se requiere obtener una imagen digitalizada de los rayos de luz reflejados por una superficie blanca, de esta se obtendrá la imagen de luminancia. En el caso que nos ocupa, se trata de una cartulina blanca ubicada en la parte inferior del vidrio, para poder tener en cuenta las modificaciones que este introduce, y que cubre a las cocinas del tipo caja. La superficie en cuestión debe ser plana y en la figura 1, se observa un esquema del método, y las partes constitutivas: cocina caja con reflector, plano imagen, cámara, radiómetro y la placa (cartulina blanca).

Conviene resaltar que en el caso de este ejemplo, las mediciones tienen sentido pues no se trata de un espejo totalmente plano, sino con algunas deformaciones (chapa aluminizada o de acero inoxidable).

<sup>1</sup> Parcialmente financiado CIUNSa

<sup>2</sup> Profesional Principal CONICET

<sup>3</sup> Investigador CONICET

<sup>4</sup> Instituto UNSa-CONICET



*figura 2: fotografía de la aplicación*

El método consiste en tomar una fotografía digital de la cartulina blanca colocada en el lugar donde se desea medir, y procesar después esa información. A ese plano, llega la imagen del reflector (que refleja en forma aproximada todo el espectro visible) más la luz directa.

En la fotografía de la figura 2, se observa el equipo a evaluar. Se alcanza a apreciar el reflejo que provoca sobre el vidrio de la cocina, el conjunto de rayos provenientes del reflector, lo atraviesa, e incide sobre la cartulina. Puede observarse, y como consecuencia de una aberración de la superficie espejada, que los mismos tienen su máxima intensidad en una zona cercana a la parte central de la imagen, disminuyendo hacia los bordes. El método permitiría entonces complementariamente, realizar correcciones de las imperfecciones en el espejo, aún cuando estas no fuesen visibles a simple vista.

Una vez obtenida la imagen, ésta debe ser transformada (con técnicas de geometría proyectiva, tal como se describe en Hoyos, et al. 1999.) para poder ser llevada a un plano que forme un ángulo recto con el eje de la cámara, de manera tal que esta se calibre y los puntos de la imagen representen posiciones en la placa. Conviene remarcar el hecho que las imágenes, son habitualmente oblicuas y para que el método funcione, deben ser corregidas.

condición	W/m <sup>2</sup>	Val rel
solo difusa	74	0,09
reflejada con áng. mayor 90°	390	0,47
reflejada del espejo vertical	624	0,75
Radiación directa más difusa	824	1,00
Radiación solar directa más difusa, más reflejada, con ángulo mayor de 90°	1145	1,38
Radiación solar directa más difusa, más reflejada, con ángulo de 90°	1321	1,60

*Tabla 1: características de los planos de calibración*

## CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA

Para proceder a calibrar la cámara, y transformar la imagen de luminancia en irradiancia con una escala de grises, se construyó una superficie con tramos con distintos tonos, como la que se observa en la imagen fotográfica de la figura 3. Se observan placas sombreadas, empleadas para determinar los diferentes niveles de intensidad de radiación. Para proceder a la calibración de la cámara CCD, se ubican algunos parasoles y espejos con diferentes ángulos de reflexión para la superficie blanca, tal como se muestra en la tabla 1

Se obtiene una fotografía oblicua de la placa con estos niveles, y se procede a medir la intensidad de radiación en cada uno de ellos, contrastándose estos niveles con los valores obtenidos con un medidor fotovoltáico. Esto es procesado posteriormente para los tres colores (rojo, verde y azul) encontrándose una relación como la mostrada en la figura 4, que permite obtener el valor del pixel para los distintos niveles de color.



*figura 3: imagen para la calibración*

Debido al ángulo en la cual es tomada la fotografía y a la óptica de la cámara, la imagen debe ser calibrada (Beyer Horst, 1992). Por esta razón se debe ubicar sobre la placa cuatro puntos de referencia. Para proceder a realizar la calibración se construyó una subrutina que, utilizando los cuatro puntos mencionados anteriormente y la ubicación de los mismos en la imagen, obtiene una transformación de coordenadas que efectúa las correcciones geométricas correspondientes. Debe aclararse que la placa es un rectángulo.

Como se dijo el plano fotografiado por la cámara y el plano de la cámara no siempre son paralelos. Los ángulos formados entre estos planos provocan una deformación de la imagen. Para corregir este inconveniente se debe realizar una transformación de perspectiva que permita acomodar la imagen.

Se puede definir una matriz de transformación de la forma:

$$\begin{aligned} X_r &= a_{11} \cdot X_c + a_{12} \cdot Y_c + a_{13} \cdot Z_c \\ Y_r &= a_{21} \cdot X_c + a_{22} \cdot Y_c + a_{23} \cdot Z_c \\ Z_r &= a_{31} \cdot X_c + a_{32} \cdot Y_c + a_{33} \cdot Z_c \end{aligned}$$

En donde  $X_r, Y_r, Z_r$  son las coordenadas homogéneas referidas a un sistema real en el espacio, en cambio  $X_c, Y_c, Z_c$  son coordenadas homogéneas referidas a un sistema en la imagen obtenida por la cámara. Se debe notar que debido a que ambos son planos un sistema de coordenadas reales necesita solo dos coordenadas ( $x, y$ ). Para calcular las coordenadas reales se debe realizar la siguiente transformación:

$$\begin{aligned} X_{real} &= X_r / Z_r \\ Y_{real} &= Y_r / Z_r \end{aligned}$$

Utilizando estas herramientas matemáticas se utiliza el siguiente método basado en geometría proyectiva:

- Marcar en el plano a medir cuatro puntos de los cuales se conocen sus coordenadas espaciales.
- Sobre la imagen fotografiada se identifican estos puntos y sus coordenadas en píxeles.
- Se aplica el algoritmo ya descrito y se obtiene la matriz de transformación.
- Conocida esta matriz de transformación se puede obtener la coordenada de cualquier punto de la imagen

Esta curva de calibración se obtiene de la imagen de la figura 3. Sobre cada una de las regiones de grises, se seleccionó un área determinada, efectuándose el promedio aritmético del contenido de rojos, verdes y azules por separado a posteriori. Cada uno de los valores obtenidos, representa un punto de la curva de la figura 4, y una zona de la figura 3.

Como era de esperar, la relación entre radiación y nivel de color no es lineal. La función obtenida es del tipo:

$$y = Ax^y \quad (1)$$

Conviene aclarar que en la ecuación (1), el valor de “ $\gamma$ ” no varía si se cambia la iluminación de la escena, en las condiciones que se realiza la medición, o sea con altos niveles de radiación, mientras que “A” es una función de la iluminación máxima. Por esta razón es que se debe calibrar las imágenes para cualquier medición que se realice, con al menos un punto de radiación conocida.

Para poder calibrar satisfactoriamente el sistema completo, deben cumplirse tres condiciones durante la medición:

- La posición relativa entre la cámara y la placa debe quedar fija
- La óptica de la cámara digital debe permanecer fija.
- No debe variar la fuente de radiación (en este caso la radiación solar global)

Se puede obtener las curvas de isocolor utilizando una subrutina diseñada especialmente para estos efectos, tal como lo describe Hoyos et al 1998. Las curvas de isocolor, obtenidas en intervalos de 32 niveles de grises, se pueden observar en la figura 5 que contiene las líneas de isocolor (en niveles de grises) superpuestas con la imagen calibrada

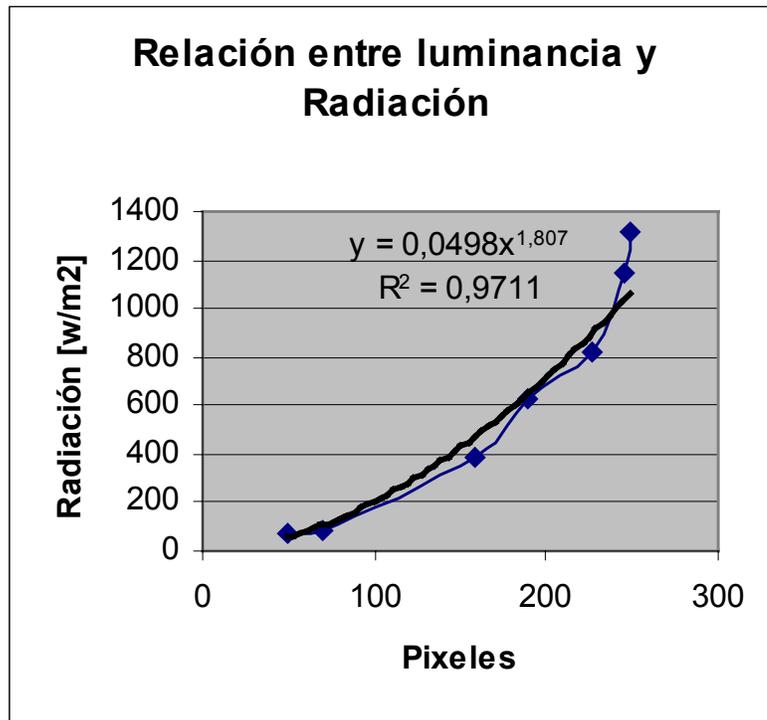


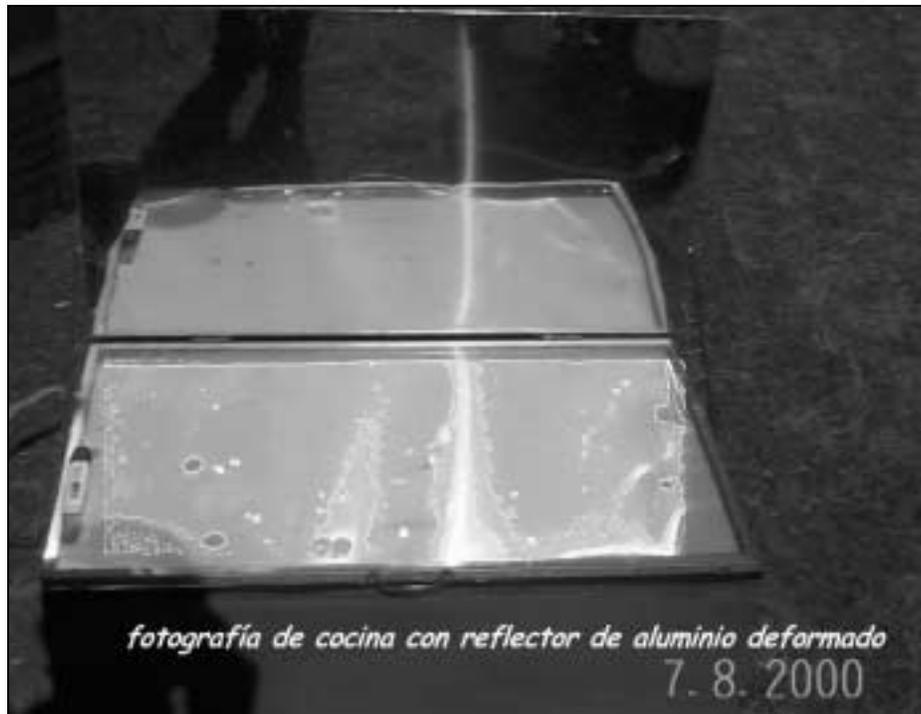
Figura 4: curva de calibración del CCD

## PROGRAMAS

Las subrutinas anteriormente descritas son partes de un programa desarrollado especialmente con este fin. Se utilizó el lenguaje TCL-TK, que es un lenguaje de script con el utilitario VTCL que permite realizar programación gráfica. Este lenguaje es multiplataforma o sea que funciona bajo WINDOWS o LINUX. El software permite realizar operaciones aritméticas y lógicas entre imágenes, detección de bordes, conversión de color a luminancia, cálculo de histograma, filtrado digital, y algunos cálculos estadísticos sobre una imagen.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se ha elaborado un método para medir distribuciones y por ende el valor medio de radiación solar, procesando una imagen fotográfica que se obtiene con una cámara digital. Los resultados obtenidos son promisorios, y se supone que el método podrá ser empleado en diversas aplicaciones



**Fig. 5:** superposición de líneas de isocolor con la imagen

El procedimiento consiste en:

- Tomar una imagen fotográfica digital del plano que se desea evaluar
- Verificar que la imagen puede ser calibrada con puntos de intensidad conocidos, midiendo la radiación en la placa por métodos convencionales
- Proyectar la imagen oblicua procedente de la cámara
- Calibrar el nivel de intensidad de un conjunto de píxeles para poder calibrar la cámara CCD
- Encontrar la relación entre los valores de intensidad de píxeles y los distintos niveles de radiación.
- Corregir esta imagen calibrándola en valores de radiación.
- Calcular el valor medio de la imagen, para obtener el valor medio de radiación.
- Obtener la distribución de radiación en el plano deseado.

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Cadena, C. y Saravia, L (1998) Medidor de intensidad de radiación solar para un concentrador fresnel. *Avances en Energía Renovables y Medio Ambiente. Vol 2, pp 2.69.*
- Hoyos, D et al (1997). Sistema de medición y procesamiento de temperatura usando un termógrafo. . *Avances en Energía Renovables y Medio Ambiente. Vol 1, pp 21.*



*fotografía de cocina con reflector de aluminio deformado*

**figura 6: imagen resultante**

- 
- Cadena, C; Hoyos, D. y Saravia, L. (1999). Determinación de la distribución de radiación incidente en el plano focal de un concentrador por procesamiento digital de imágenes. *Avances en Energía Renovables y Medio Ambiente. Vol 2, pp 08.53.*
- Beyer Horst, 1992 Accurate Calibration of CCD Cameras IEEE pag 96.
- Brent Welch, 1997 Practical Programming in TCL and TK Pretince Hall

#### **ABSTRACT**

A method to fit iso radiation curves over a flat surface is described in the present paper. The surface is covered with a white paper and a digital camera is used in order to obtain a luminance figure. By the processing of the figure is possible to get the radiation image over this plane. Previously, it is necessary to know a reference point of radiation and to calibrate the camera with different levels of radiation. The mentioned radiation levels are artificially generated with different reflective surfaces over a white bottom, so a gray scale is obtained. The incident radiation on the calibrator device is measured by conventional methods. Inhomogeneous distributions of radiation can be measured on flat surfaces like walls, collectors, kitchens, etc., as well as on any flat surface which is able to support a white bottom