

SISTEMA DE MEDICIÓN Y PROCESAMIENTO DE TEMPERATURA USANDO UN TERMÓGRAFO

Hoyos D., De Paul I., Flores S.
INENCO
Buenos Aires 177
Salta C.P.4400
email hoyosd@ciunsa.unsa.edu.ar

RESUMEN

En las aplicaciones de energías renovables a diversos sistemas, muchas veces nos enfrentamos con la necesidad de conocer las variaciones temporales y espaciales de la temperatura en alguna o varias de las superficies del sistema, tales como paredes, cubiertas, etc. En este trabajo se desarrolla un sistema para realizar mediciones de este tipo, utilizando como elementos un termógrafo, un procesador de imágenes, una PC y un grupo de programas especialmente desarrollado para realizar la medida y el procesamiento de las imágenes térmicas. Se muestra el resultado de su aplicación al comportamiento térmico de un destilador para ensayo en laboratorio.

DESCRIPCIÓN DEL TERMÓGRAFO

El termógrafo es una cámara de video sensible a longitudes de onda en el rango del infrarrojo, que ingresan al equipo atravesando una óptica de silicio y son captadas por un CCD ubicado en su interior. Con la ayuda de un controlador es posible seleccionar las bandas de temperatura que pueden ser de 5°C, 10 °C y 20 °C, 100 °C en las cuales se presupone caerá la medida, como así también enfocar la óptica para obtener la nitidez deseada en la imagen.

La información de la intensidad luminosa es transformada a temperatura y convertida al sistema PAL por el mismo termógrafo, la imagen puede visualizarse utilizando un monitor de video convencional. El termógrafo mide temperaturas entre 0 y 127 °C, con una precisión de 0.1 °C de acuerdo a la curva de calibración suministrada por el fabricante, el conversor A/D del termógrafo es de 7 bits, lo que permitiría medir temperatura con una resolución de 0.039 °C en la banda de 5 °C, 0.078°C en la banda de 10 °C y 0.15 °C en la banda de 20 °C, por lo que en este último rango la precisión dada por el fabricante en la calibración es imposible de alcanzar.

Existen algunas opciones muy interesantes, como la medición puntual de temperatura, o temperaturas promedio por áreas.

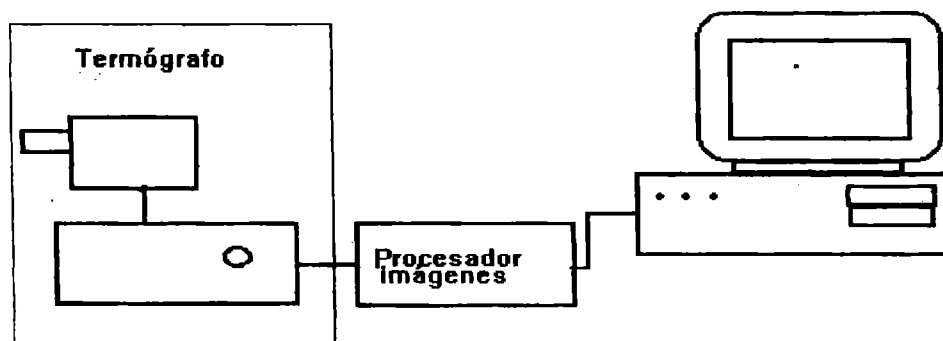


Fig.1: Esquema general

Se contrastó la respuesta del termógrafo con un patrón de referencia y se verificó la calibración suministrada por el fabricante realizando la experiencia en un ambiente sin luz externa, y con una temperatura homogénea de 25 °C en el ambiente. En presencia de luz externa y con temperatura homogénea en el ambiente se verificó que se corría la curva de calibración en 0.5 °C en el rango entre 30 y 40 °C.

Sin embargo, se presentan con el uso del termógrafo algunos inconvenientes. Es prácticamente imposible manejar la inmensa cantidad de información contenida en la imagen sin un procesador auxiliar.

Por estas razones, para aumentar la potencialidad del equipo, es conveniente colocar una computadora y un procesador de imágenes, como se muestra en el Fig 1.

PROCESADOR DE IMÁGENES

El procesador de imágenes ITEX-MFG permite captar la información de una cámara con sistema PAL. El tamaño de la imagen es de 640 x480 pixeles y permite visualizar 16×10^6 colores. Se encuentra colocado en el bus de expansión de un computador 486 DX2. Para acceder a las distintas funciones del procesador de imágenes se deben utilizar rutinas suministradas por el fabricantes que deben ser programadas en C, que fueron agrupadas en un programa denominado TERMO.

CALIBRACIÓN DEL TERMÓGRAFO

El CCD del termógrafo es un arreglo matricial de sensores de intensidad luminosa, cada uno de los cuales presenta características de comportamiento ligeramente distintas. Sabemos que esta intensidad viene dada por la ecuación 1, con T en °Kelvin, σ constante de Stefan-Boltzman y ϵ emisividad que depende de la superficie. La intensidad captada por los sensores se transforma en una salida de tensión y el procesador del termógrafo es el encargado de convertir este dato en un valor de temperatura, por medio de una relación lineal dada por la ecuación (2)

$$I = \epsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

$$T = a.V + b \quad (2)$$

Para mejorar la calibración del termógrafo, es necesario disponer de información sobre el comportamiento de cada pixel (P) de la imagen. Para esto se necesita conocer los valores de referencia de intensidad del pixel (Pmin) a la temperatura mínima de la escala (Tmin), el valor de intensidad del pixel (Pmax) a la temperatura máxima de la escala (Tmax) con lo cual la temperatura registrada por el pixel de intensidad P sería

$$T = (T_{max} - T_{min}) / (P_{max} - P_{min}) * (P - P_{min}) + P_{min}$$

La calibración del equipo se realizó tomando imágenes térmicas de una fuente calibradora (cuerpo negro) MIKRON M340 a las dos temperaturas anteriormente mencionadas. Estas imágenes son guardadas como archivos tif y posteriormente procesadas desde un programa desarrollado en el sistema KHOROS[1] que dispone de un conjunto de rutinas de procesamiento digital de imágenes, que pueden ser combinadas en un programa mayor, en función de las necesidades del usuario, realizando en el procesamiento a nivel de imágenes las operaciones descritas en el punto anterior. El programa desarrollado se denomina *Cal_Temp2*.

PROGRAMAS DE APLICACIÓN

Se describen a continuación distintos programas de aplicación desarrollados en la plataforma Khoros.

Tomando una imagen térmica procesada por el programa *Cal_Temp2* se puede elegir una zona de la imagen y obtener datos estadísticos de la misma: valor medio, valor eficaz, desviación standard, varianza, máximo, mínimo, valor de la integral. Se debe notar que la información suministrada por este programa depende de la disposición geométrica del termógrafo respecto del sistema a medir, ya que si su posición cambia en dos medidas diferentes, los datos no son comparables. El nombre de este programa es *Termo2*

Una imagen térmica suministrada por el termógrafo es muy precisa; esto que puede ser una ventaja no permite visualizar rápidamente en forma cualitativa la información, entonces es importante disponer de un programa que discretizando la imagen, muestre con falso color las distintas franjas de temperatura. Esto lo realiza el programa *Discre_temp* dividiendo la intensidad de cada pixel de la imagen por un número igual a 255 dividido el número de franjas que se quiere obtener y luego multiplicando la intensidad del pixel por el mismo número, como el procesador trabaja con números enteros se obtienen franjas discretas de igual temperatura.

También se puede necesitar conocer que fracción de la superficie contribuyó con una dada temperatura a la emisión. El programa *Franjatemp* se encarga de realizar esta acción. Utilizando las dos temperaturas límites se obtiene una imagen que tiene valor cero si se encuentra fuera de la franja y toma valor uno si se encuentra dentro de la franja, por lo tanto la integral sobre la imagen es el valor buscado.

El programa *Isoterma* se encarga de obtener las líneas de igual temperatura. Realiza un filtrado pasabajo para alisar la imagen. Luego discretiza la imagen teniendo como umbral la temperatura deseada; con un filtro gradiente se obtiene uno si encuentra un borde y cero si no lo encuentra, luego invierte la imagen para obtener una máscara que es aplicada a la imagen original utilizando una función AND.

Si la emisividad ϵ_1 con la que se realiza la medida no es la que corresponde a la superficie observada, se puede corregir la temperatura medida usando el programa *Emisividad*, que modifica el nivel de gris de cada pixel con la siguiente expresión.

$$T_2 = (\epsilon_1 / \epsilon_2)^{1/4} * T_1 + ((\epsilon_1 / \epsilon_2)^{1/4} - 1) * 273$$

donde ϵ_2 es la emisividad correcta que corresponde a la superficie que se quiere analizar si fuera una zona de emisividad no uniforme.

El programa *Gradiente* se encarga de dibujar sobre la imagen una aproximación del gradiente del campo de temperatura. Divide la imagen en zonas de 64x64 pixeles, con un filtro pasabajo suaviza la imagen y encuentra la temperatura media. Elige una franja centrada en la temperatura media y discretiza dejando uno si la temperatura se encuentra en esta franja. Si se realiza un cálculo de serie discreta de Fourier en dos dimensiones sobre la zona, se observa que el resultado presenta una línea brillante en la dirección perpendicular a la franja tratada, lo que coincide con la dirección del gradiente de temperatura en la zona. El programa discretiza esta imagen, la invierte y la aplica a la imagen original, obteniéndose una serie de líneas que indican la dirección del gradiente.

APLICACIÓN

Se utilizó este sistema de medida para analizar el comportamiento térmico de un destilador para ensayo en laboratorio. En este trabajo se presenta el tratamiento de la información de una de las imágenes a modo de ejemplo de las posibilidades del sistema de medida y de las ventajas de los distintos procesamientos de la información utilizados.

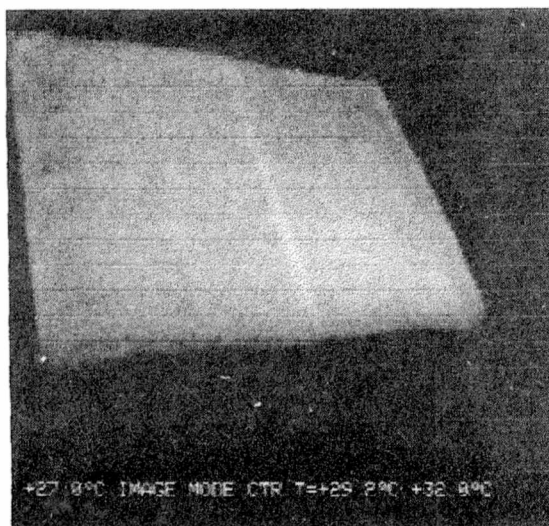


Fig. 2: Imagen térmica del destilador

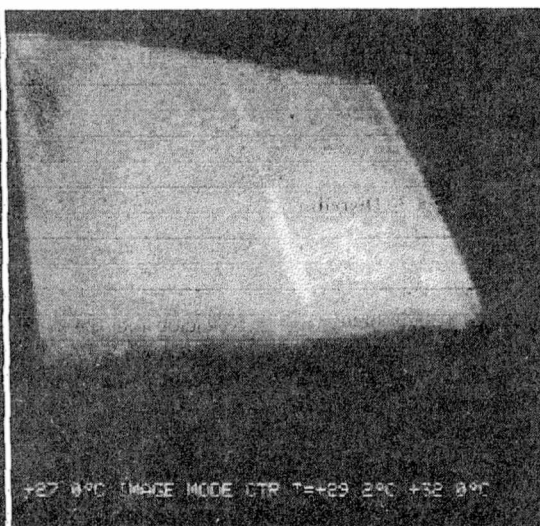


Fig. 3: Imagen discretizada en 8 niveles que muestra inhomogeneidad

La figura 2 muestra la imagen térmica del destilador sin procesar. El programa *Discretemp* se utilizó sobre esta imagen, realizando una discretización, figura 3, poniendo de manifiesto una inhomogeneidad en el campo de temperatura, antes imperceptible, cuyo origen era una pequeña deformación en la superficie de calentamiento del agua, que actúa concentrando el agua caliente en una zona particular del destilador. Esto muestra la importancia del sistema de análisis en la optimización del diseño térmico de un dispositivo, analizando con el mismo las variaciones de temperatura y sus causas, cambiando el diseño hasta que la variación de temperatura no sea significativa.

Se seleccionó un área que cubre aproximadamente toda la cubierta del destilador y con el programa *Termo2* se obtuvo los siguientes valores:

Valor medio=28.5 °C	Mínimo= 27.35
Valor eficaz=28.5 °C	Máximo= 29.60
Varianza=0.15	Integral=1.70*10 ⁻⁹
Desviación Standart= 0.4	Número de puntos medidos=60000

Utilizando el programa *Franja_temp* se determinaron cinco franjas de temperaturas, cada una de las cuales contribuye a las pérdidas térmicas en cierta proporción del área total de la cubierta. El programa permite calcular el área de contribución de cada temperatura. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Rango de temperatura (°C)	Porcentaje de área (%)
27 a 28	83
28 a 29	5
29 a 30	14
30 a 31	3
31 a 32	3

Tabla 1

El programa *Isotermas*, figura 4, permite trazar las líneas de igual temperatura sobre la imagen, facilitando la interpretación y la determinación del gradiente de temperatura. La figura 4 muestra las isotermas obtenidas a partir de la imagen de la figura 2. Este programa es interesante de utilizar para analizar en varias imágenes el desplazamiento de una isoterma en el tiempo.

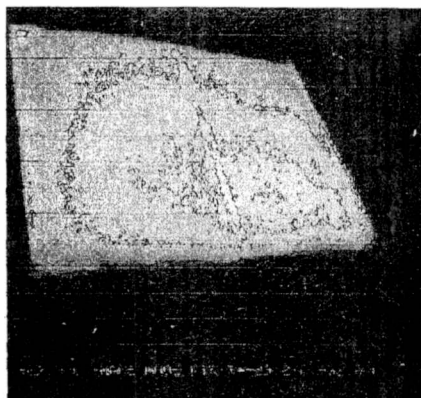


fig. 3: Distribución de isotermas correspondientes a la imagen de fig 2.

CONCLUSIÓN

El uso del termógrafo permite obtener una información muy detallada del comportamiento térmico de un sistema, pero son necesarias algunas herramientas, que permitan simplificar la información obtenida de forma que puedan ser interpretadas para análisis y/o comparadas con la de algún otro sensor. Los programas presentados en este trabajo permiten aumentar las potencialidades del termógrafo, en algún caso suministrando información cualitativa, que es muy importante y en otros casos obteniendo datos que simplifican el análisis térmico del sistema, por ejemplo, la integral de una zona tiene una relación directa con la cantidad de energía absorbida.

NOTA:

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSA)

REFERENCIA Y BIBLIOGRAFIA

- [1] KRI. Khoros Pro User's Guide, *Khoros Research Inc* (1997)
- [2] Jain A. J., *Fundamentals of digital image processing*, *Pretince Hall* (1989)
- [3] Gonzalez R. C Woods R. E., *Digital Image Processing*, *Pretince Hall* (1992)
- [4] Barbe D.F., *Charge-Coupled Devices*, *Springler-Verlag Berlin* (1980)