

UTILIZACION DE LA TERMOGRAFIA EN LA DETECCION DE FALLAS EN REDES ELECTRICAS DESDE EL AIRE

E. H. Castro, V. M. Costanzo

División Infrarrojo. Dto. Sistemas de Guiado y Simulación. Gerencia de Tecnología e Innovación, CITEFA
Zufriategui 4380. Villa Martelli (1603). Prov. de Buenos Aires. Argentina
e-mail: ecastro@citefa.gov.ar

Se analizan las ventajas y limitaciones de la utilización de la termografía en la detección de fallas en líneas de transmisión y plantas de distribución eléctricas mediante equipos montados en avión. Se consideran los efectos de la emisividad y de factores naturales en las mediciones, la influencia del fondo y la resolución de los sistemas y se dan ejemplos de mediciones.

Advantages and limitations in the use of thermography for detection of failures in transmission lines and electrical distribution plants by means of airborne equipment are analyzed. The effects of emissivity and natural factors in the measurements, the influence of the background and the resolution of the systems are considered, and examples of measurements are presented.

1. INTRODUCCION

El uso de la termografía para la detección de fallas en elementos eléctricos por elevación de temperatura es habitual, efectuada desde tierra. Cuando se deben controlar grandes distancias en líneas de transmisión o plantas de distribución muy alejadas entre sí, el uso de termografía aérea puede ser muy conveniente porque permite realizar las verificaciones en tiempos breves. Sin embargo, la termografía aérea presenta el problema de que el fondo puede confundirse con el elemento que se controla, mientras que en las imágenes térmicas tomadas desde tierra el fondo es normalmente el cielo, el cual está a baja temperatura, por lo que se obtiene un buen contraste.

En CITEFA hemos construido un equipo para termografía aérea de dos canales, uno para infrarrojo medio y otro para infrarrojo lejano, el cual fue montado en un avión Porter Pilatus de la Armada. En el presente trabajo se describe brevemente el equipo, se analiza la influencia del fondo y de otros factores, se muestran mediciones realizadas y se analizan las limitaciones del equipo para la detección de fallas eléctricas.

2. DESCRIPCION DEL EQUIPO

El sistema está constituido por un cabezal, una consola de control, las fuentes de alimentación y el conjunto de digitalización, visualización y almacenamiento de los datos. Un diagrama en bloque y una foto del equipo pueden verse en la figura 1.

En el cabezal se encuentran el sistema óptico, los detectores, los sistemas de enfriamiento, los preamplificadores, las referencias de temperatura y el giróscopo.

El sistema óptico está compuesto por un espejo rotativo de barrido, un espejo parabólico, un filtro dicróico y dos espejos planos. El filtro dicróico divide la radiación en dos regiones espectrales: 3 a 5 micrómetros y

8 a 14 micrómetros. El espejo rotativo genera el barrido transversal, mientras que el longitudinal es proporcionado por el desplazamiento del avión en uso aéreo o por otro espejo rotativo en uso terrestre.

Los detectores son dos, uno para cada canal del equipo. Un detector de SbIn (Antimoniuro de Indio) se utiliza para detección entre 3 y 5 micrómetros, y un detector de (HgCd)Te (Telururo de Cadmio y Mercurio) para detectar entre 8 y 14 micrómetros, regiones espectrales en que la atmósfera es transparente. Estos detectores se enfrían a la temperatura del nitrógeno líquido (77 °K) mediante sendos refrigeradores miniaturizados de ciclo Stirling, que trabajan con helio.

Los detectores tienen un diámetro de 0,25 mm, lo que permite obtener, con la óptica utilizada, un campo instantáneo de visión de 1,5 milirradiantes. El ángulo de barrido es de 87°.

El número de pixels por línea es de 900. El espejo de barrido gira a 80 revoluciones por segundo; como hemos tomado 500 líneas de resolución, la imagen en la pantalla se completa en 6 segundos y luego se desplaza en forma continua. Dos cuerpos negros situados en el cabezal, cuyas temperaturas se puede regular entre -30 °C y 50 °C, actúan como referencias de temperatura.

Las señales provenientes de los detectores son amplificadas y, junto con las señales de referencia, ingresan a una plaqueta adquisidora de datos y digitalizadora, de donde pasan a una PC Pentium, en cuyo disco rígido se pueden almacenar, y, simultáneamente, las imágenes se visualizan en un monitor de 14", en tonos de grises o en falso color. La escala de temperaturas se visualiza en la pantalla.

Un giróscopo montado en el cabezal proporciona una señal que permite corregir por software las deformaciones de la imagen debidas al rolido del avión. Los datos de posición geográfica (latitud y longitud), fecha, hora, velocidad y altura, son proporcionados por un GPS incorporado al equipo y almacenados en el disco

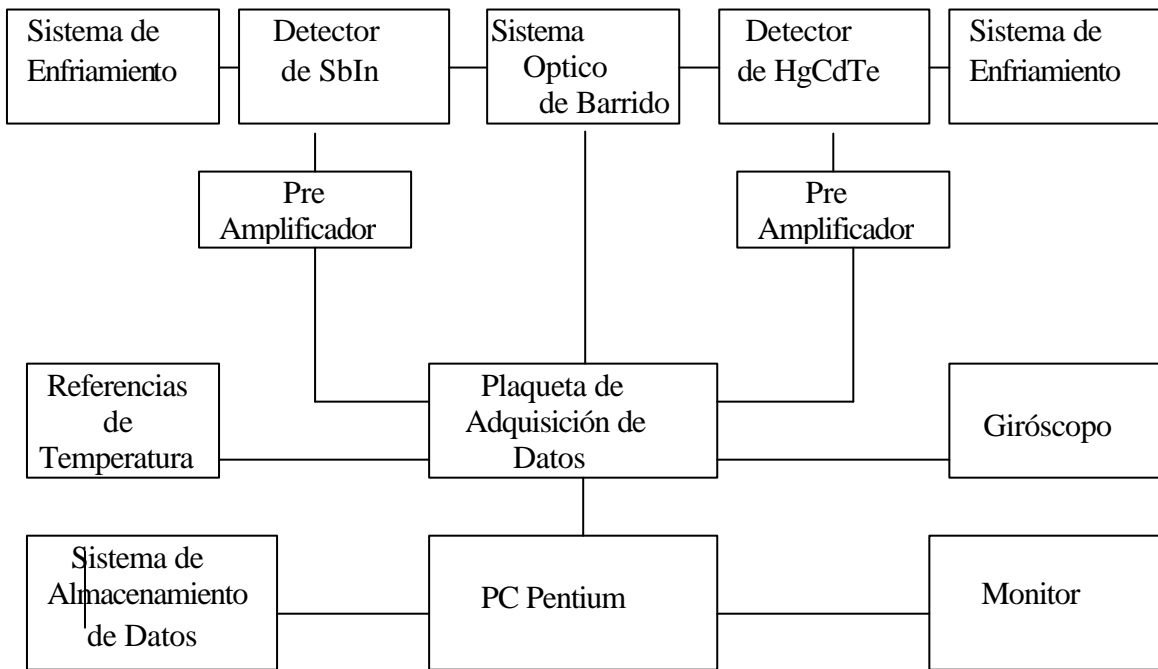


Figura 1: Diagrama en bloques y foto del sistema

rígido. Los datos guardados en el disco rígido pueden ser visualizados en el monitor o impresos en tonos de grises o falso color.

El sistema fue montado en un avión Porter de la Armada Argentina. Este avión es no presurizado y puede volar a baja altura. Una imagen del equipo montado en el avión puede verse en la figura 2. La radiación llega al sistema a través de una abertura en la parte inferior del fuselaje; en la figura puede verse una puerta que cierra la abertura durante el despegue y el aterrizaje para evitar daños a la óptica.



Figura 2: Equipo montado en avión

3. CARACTERÍSTICAS DE LAS MEDICIONES

La irradiancia que llega al detector proveniente del objeto que se quiere medir, cuando éste ocupa al menos un pixel, es independiente de la distancia y está dada por:

$$H_t = \int \left[\varepsilon_t \{ W(\lambda, T_t) + \rho_t \cdot W(\lambda, T_e) \} \tau_{atm}(\lambda, r) + \{ 1 - \tau_{atm}(\lambda, r) \} W(\lambda, T_a) \right] d\lambda \quad (3.1)$$

siendo

H_t : irradiancia que llega al sistema de detección desde un pixel del objeto (W/m^2)

$W(\lambda, T_t)$: emitancia del objeto (W/m^2)

$W(\lambda, T_e)$: emitancia del ambiente (W/m^2)

$W(\lambda, T_a)$: emitancia del aire (W/m^2)

λ : longitud de onda (μm)

T_t : temperatura del objeto ($^{\circ}K$)

T_e : temperatura del ambiente ($^{\circ}K$)

T_a : temperatura del aire ($^{\circ}K$)

ε_t : emisividad del objeto

ρ_t : reflectividad del objeto

τ_{atm} : coeficiente de transmisión atmosférica

r : rango (m)

La expresión para el fondo es similar:

$$H_b = \int \left[\varepsilon_b \{ W(\lambda, T_b) + \rho_b \cdot W(\lambda, T_e) \} \tau_{atm}(\lambda, r) + \{ 1 - \tau_{atm}(\lambda, r) \} W(\lambda, T_a) \right] d\lambda \quad (3.2)$$

siendo:

H_b : irradiancia en el sistema de detección proveniente de un pixel del fondo (W/m^2)

T_b : temperatura del fondo ($^{\circ}K$)

ε_b : emisividad del fondo

Para la detección interesa el contraste entre el objeto y el fondo, o sea la diferencia entre 3.1 y 3.2:

$$\Delta H = \int \tau_{atm}(\lambda, r) \{ \varepsilon_t W(\lambda, T_t) + \rho_t \cdot W(\lambda, T_e) - \varepsilon_b W(\lambda, T_b) - \rho_b \cdot W(\lambda, T_e) \} d\lambda \quad (3.3)$$

El término $\{ 1 - \tau_{atm}(\lambda, r) \} W(\lambda, T_a)$ es prácticamente el mismo en las expresiones 3.1 y 3.2 porque la distancia al objeto y al fondo se pueden considerar iguales en una medición aérea, y por consiguiente, no aparece en 3.3.

El coeficiente de transmisión atmosférica afecta a todos los términos por igual, por lo que no influye en el contraste. La emisividad de los elementos eléctricos es en general alta y la reflectividad baja; en consecuencia el primer término del paréntesis suele ser mucho mayor que el segundo. El contraste depende del material del fondo, que puede ser vegetación, pasto, suelo desnudo, cemento, asfalto, arena, etc. Normalmente estos fondos son de emisividad alta, por lo que el contraste no es bueno cuando están a temperaturas próximas entre sí, pero permite detectar aumentos de temperatura en los elementos eléctricos.

Por ser baja la reflectividad de los elementos eléctricos que se miden, la influencia de la radiación proveniente del Sol, del suelo y del ambiente en general es normalmente despreciable. La pérdida de calor por convección por influencia del viento puede ser importante y enmascarar el calentamiento de un elemento defectuoso. En la Figura 3 se puede apreciar la variación de temperatura por la circulación de aire en una resistencia calentada mediante una corriente eléctrica: en la primera imagen no hay circulación de aire y las subsiguientes muestran el enfriamiento progresivo en el tiempo por la acción del viento simulado con un secador de cabello y luego el aumento de temperatura al suprimir la corriente de aire. Las imágenes fueron obtenidas con el mismo equipo de uso aéreo al que se le agregó un espejo rotativo para remplazar el desplazamiento del avión.

Para las mediciones realizadas desde avión, como el ángulo instantáneo de visión del sistema es de 1,5 milirradiantes, a una distancia de 100 metros cada pixel será un cuadrado de 15 cm de lado; teniendo en cuenta que el barrido es de 80 rps, para no perder información el avión deberá volar para esa altura a una velocidad de $80 \times 0,15 = 12 \text{ m/s} = 43,2 \text{ Km/h}$, muy baja para una aeronave. Por lo tanto adoptamos una altura de vuelo de 300 metros con una velocidad de 130 Km/h, valores aceptables para este avión Porter Pilatus. El tamaño del pixel pasa entonces a ser de 45 cm de lado, demasiado grande para tener una buena definición en gran parte de los elementos eléctricos.

En base a las consideraciones anteriores podemos concluir que las principales limitaciones que encontramos para determinación de fallas en elementos eléctricos desde el aire son:

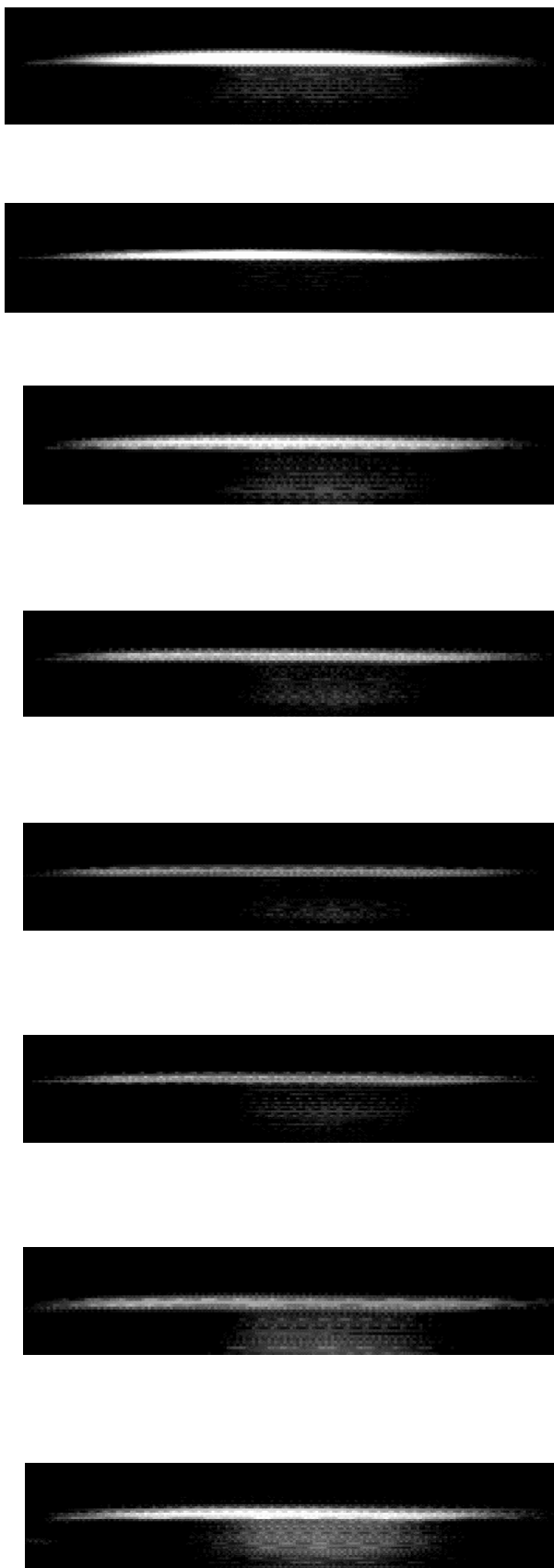


Figura 3: Efecto de la circulación de aire

- El bajo contraste con el fondo por la poca diferencia de temperaturas y la similitud de coeficientes de emisividad;
- El ángulo instantáneo de visión de este equipo de 1,5 milirradiantes, que unido a la altura de vuelo necesaria por la velocidad de barrido y la velocidad mínima del avión, resulta en un tamaño de pixel demasiado grande;
- El efecto del viento que puede enmascarar las fallas. Debe tenerse en cuenta que la temperatura del fondo varía según las horas del día y la época del año, siendo el invierno la estación más favorable, y las horas de la noche las que dan mayor contraste.

4. EJEMPLOS DE MEDICIONES EFECTUADAS

El equipo descrito se utilizó para obtener imágenes infrarrojas en vuelos realizados en distintas épocas del año. Se presentan como ejemplo algunas imágenes tomadas en una estación distribuidora de energía en las proximidades de Verónica, en la provincia de Buenos Aires. Una fotografía aérea de esta estación se muestra en la Figura 4.

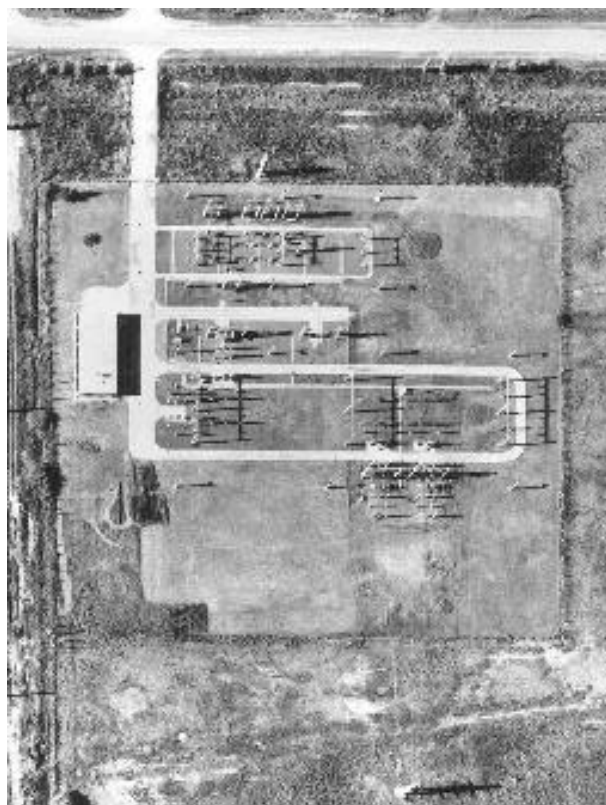


Figura 4: Imagen fotográfica de la estación distribuidora

Las imágenes que se presentan a continuación se obtuvieron en la banda espectral de 8 a 14 μm , poco después del mediodía, volando a una altura de 300 metros aproximadamente. La banda de 8 a 14 μm es más conveniente que la de 3 a 5 μm porque es menos afectada por la radiación solar.

La Figura 5 muestra la imagen de la estación en verano (mes de enero), mientras que en la Figura 6 se puede ver la misma estación en el invierno (mes de julio).

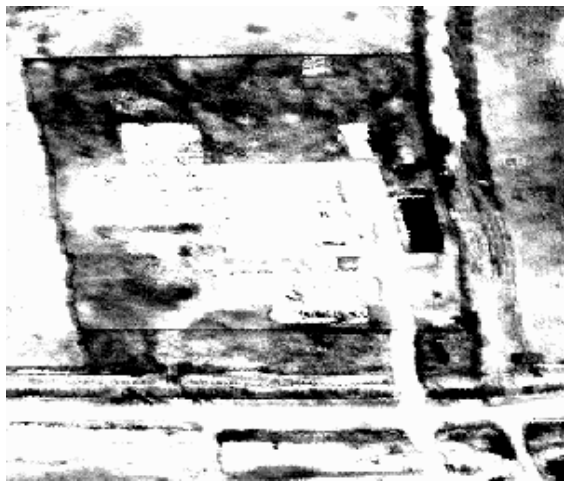


Figura 5: Imagen infrarroja de la estación distribuidora en verano



Figura 6: Imagen de la misma estación en invierno

De la comparación de ambas imágenes se puede notar el contraste mucho mayor en invierno. En la Figura 6 se observan líneas de transmisión en la parte inferior sobre el pavimento del camino; estas líneas no se ven en el resto de la imagen, donde el fondo es la vegetación, pero allí se distinguirían mejor en caso de calentamiento de las mismas. En la Figura 7 se muestra una ampliación de la zona donde se observan estas partes de las líneas de transmisión.

En la Figura 5 se puede apreciar que debido al calentamiento del fondo en horas del mediodía o en las primeras de la tarde es imposible hacer una detección de fallas durante ese período del día.

Las limitaciones debido a la resolución espacial no permiten distinguir las imágenes de temperatura más elevada con precisión, aún cuando se distingan puntos calientes. En la Figura 8 se ha ampliado una parte de la imagen de la estación distribuidora de energía: en esa ampliación se puede apreciar el tamaño de los pixels.

5. CONCLUSIONES

La ventaja de usar imágenes infrarrojas desde el aire es importante por las grandes distancias que se pueden recorrer en poco tiempo, pero el contraste es mucho menor que cuando se obtienen desde tierra con el cielo como fondo uniforme y frío.

Los posibles caminos para solucionar las limitaciones de la termografía aérea en la detección de fallas en elementos eléctricos han sido tratadas en otros trabajos⁽¹⁾⁽²⁾.



Figura 7: Detalle de la Figura 6

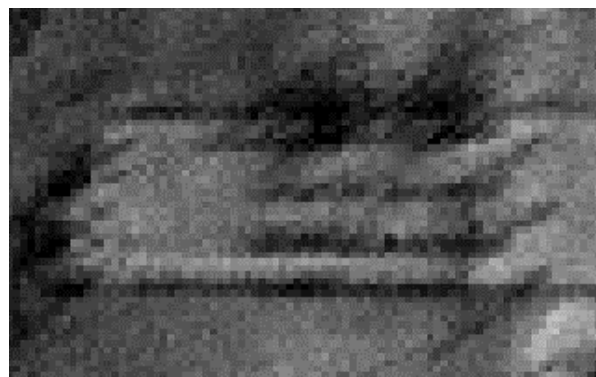


Figura 8: Detalle de la Figura 5

Para mejorar la resolución se puede usar un equipo montado en un helicóptero, ya que puede volar a menor altura que un avión y, por consiguiente, acercarse mucho más al elemento que se quiere medir, pero debe utilizarse el montaje sobre una plataforma estabilizada por las vibraciones y la movilidad del helicóptero. A pesar del mayor costo por la estabilización, estos sistemas están en uso⁽³⁾.

La utilización de un GPS permite localizar los lugares donde se encuentran las fallas.

Referencias

- 1 - Castro, E. H., Leone, E., Costanzo, M. Luca, R., Proceedings SPIE, **3700**, 273-282, (1999).
- 2 - Snell, J. R., Renowden, J., Proceedings SPIE, **4020**, 115-126 (2000)
- 3 - West, L. M., Segerström, T., Proceedings SPIE, **4020**, 382-386, (2000).