

TERMOGRAFIA HUMANA POR  
EL METODO RADIOMETRICO  
EN MICROONDAS.

---

Polívka J.

Secc. Comunicaciones

CINVESTAV - IPN

RESUMEN -----

Se revisa el uso de la medida de la radiación emitida en las bandas de microondas por efecto de la temperatura de los tejidos y su ventaja respecto a la radiometría simple de infrarrojo. Se describen las limitaciones técnicas y algunas soluciones para superarlas.

---

Dado que según la ley de Planck la energía térmica de cualquier cuerpo material se irradia en forma electromagnética con distribución espectral característica de la temperatura, la emisividad, superficie, etc., dicha radiación puede evaluarse en remoto por los detectores (radiómetros) equipados con antenas apropiadas para la parte del espectro que sea de interés.

La radiometría más frecuentemente utilizada para los estudios médicos es la infrarroja, pero la región de microondas (longitud de onda entre 1mm y 1m) presenta las siguientes ventajas:

- las microondas atraviesan los tejidos en espesores de hasta centímetros.
- el ruido inherente a los receptores es muy bajo.
- el rango de temperaturas observables es muy amplio (0 K hasta millones de K)

La instrumentación radiométrica, originariamente concebida para radioastronomía, encuentra recientemente también aplicaciones médicas. Dado que las inflamaciones y tumores tienen temperatura elevada respecto a la de los tejidos sanos, es posible reconocer su ocurrencia por medio de la detección de microondas.

Las microondas mas cortas (milimétricas) atraviesan poco los tejidos que contienen mas agua, pero son las que ofrecen alta resolución espacial (unos milímetros).

Las microondas mas largas (alrededor de 10 cm) atraviesan mejor los tejidos biológicos pero su resolución espacial es inferior.

La complejidad de la radiometría aumenta porque el cuerpo humano no es uniforme, y además detectamos su radiación a través de la piel, que representa una frontera entre los tejidos profundos y el equipo de tele-detección.

Esta complejidad hace que se deba recurrir a técnicas refinadas, que incluyen también procesamiento de datos para presentar sus resultados en forma clara y útil para el médico. Por eso, esta metodología se encuentra en un periodo crítico de su desarrollo: existen ya muchos resultados experimentales, pero aún se padece la carencia de algún equipo completamente satisfactorio.

Como la observación radiométrica es puramente pasiva (se detecta la radiación generada por el paciente) no existe ningún peligro, lo que constituye un aspecto altamente positivo.

#### METODOS DE RADIOMETRIA

La figura 1 muestra la "transparencia" (penetración) de varios tejidos del cuerpo humano para las microondas, y así mismo el comportamiento de un carcinoma.

Hay dos posibilidades para detección:

- sensor radiométrico en contacto con la piel
- sensor remoto

En el primer caso se emplea una antena que se ubica sobre el tejido investigado, y la temperatura que se puede estimar en base a la radiación detectada viene dada por:

$$T_A = E * T_H + R * T_R$$

donde E es la emisividad de la superficie del tejido (piel)  
 $T_H$  es la temperatura del tejido,  
 R es la reflectividad de la superficie de la piel  
 $T_R$  es la temperatura radiada por el radiómetro y por la antena hacia atrás (tejido)

Como vale la ley de Kirchoff:  $E = 1 - R$ , tenemos también:

$$T_A = T_H + R * (T_R - T_H)$$

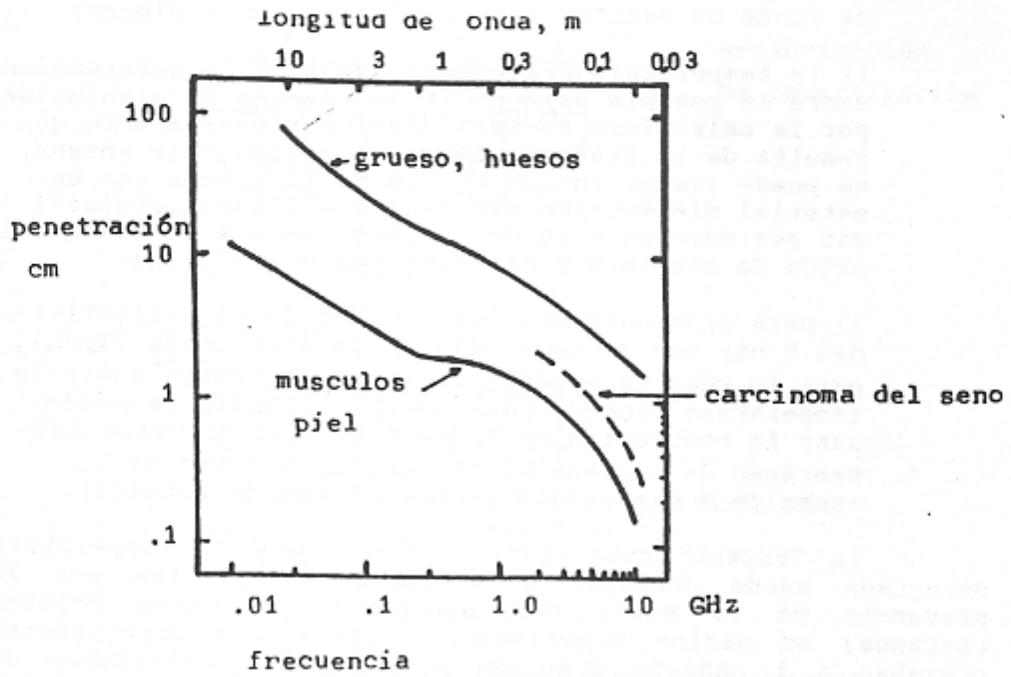


Fig. 1 Profundidad de penetración de microondas al tejido

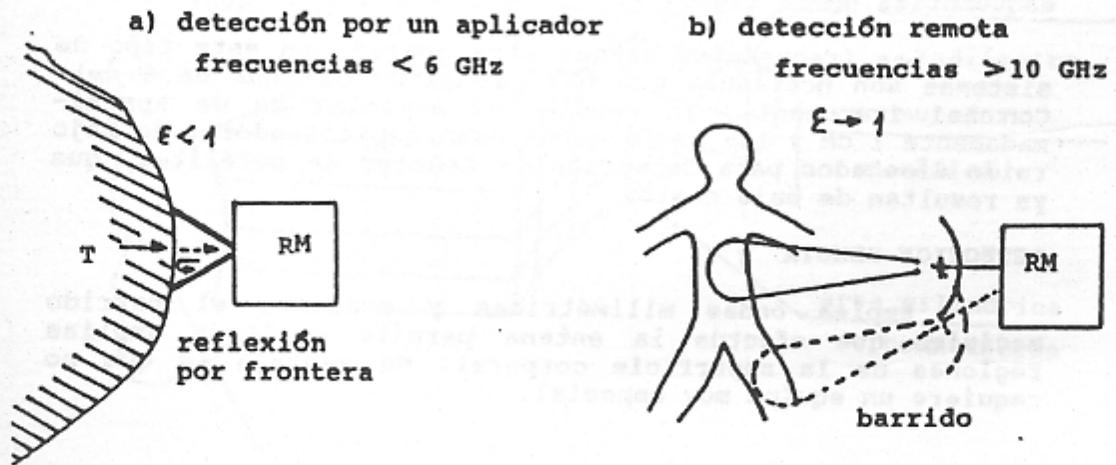


Fig.2 Métodos de medición radiométrica

de donde se deducen las siguientes conclusiones:

1) la temperatura del objeto que trae la información sobre la posible existencia de tumores es disminuida por la emisividad  $E$ . Para disminuir este efecto que resulta de la frontera entre el tejido y la antena, se puede llenar la concavidad de la antena con un material dieléctrico sin pérdidas y cuya permisividad sea cercana a la del tejido, como es el caso del óxido de aluminio y del agua desionizada.

2) para disminuir mas los efectos de la reflectividad  $R$  hay que mantener mínima la diferencia  $(T_R - T_M)$ , para lo cual es preciso calentar la antena hasta la temperatura promedio del cuerpo. También se puede usar la modulación de  $T_R$  para definir el valor instantáneo de  $R$  y anular el segundo miembro de la ecuación a través del procesamiento de datos(4).

La "escena" observada es compleja y la temperatura detectada puede contener diversas interferencias por la presencia de la piel, del equipo y de otros objetos cercanos; en varios experimentos (1)(2) los observadores operaban a la antena como un estetoscopio y trataban de aumentar la indicación de temperatura cambiando la presión de aquella sobre el tejido. La figura 3 esquematiza el tipo de resultados obtenidos.

Para disminuir la subjetividad del operador y proporcionar con rapidez una imagen de la distribución interna de temperaturas se diseñó un detector tipo matriz que presenta un arreglo de guías de onda ante la región anatómica en estudio (5). El autor de éste artículo es titular de una patente por el arreglo detector que se esquematiza en la figura 4.

Las frecuencias usadas para operar con este tipo de sistemas son ncercanas a 5 GHz (longitud de onda de 6 cm). Con tal frecuencia, la resolución espacial es de aproximadamente 1 cm y los radiómetros usan amplificadores de bajo ruido diseñados para detección de señales de satélites, que ya resultan de bajo costo.

#### DETECCION REMOTA

Emplea ondas milimétricas y mediante el barrido mecánico que efectúa la antena permite explorar amplias regiones de la superficie corporal. Su ventaja es que no requiere un equipo muy especial.

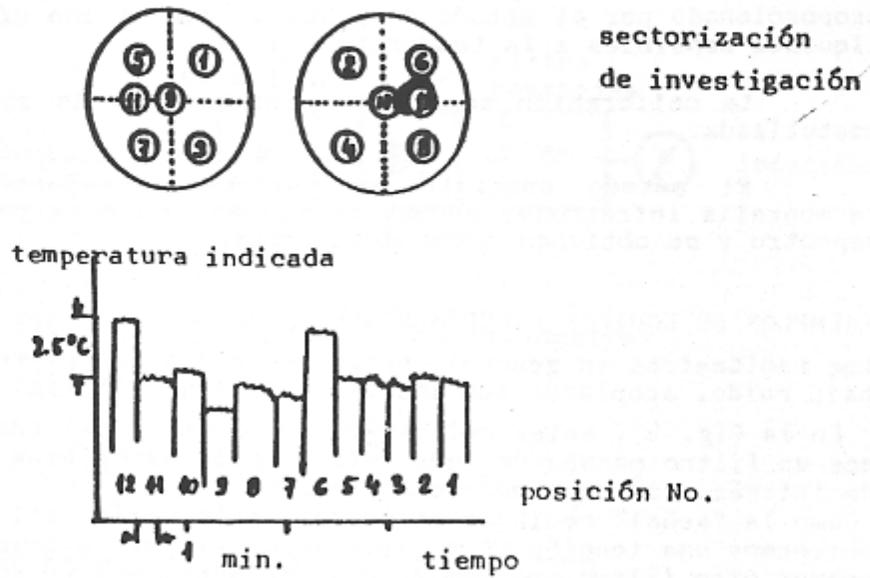


Fig. 3 Medición de temperaturas sobre senos

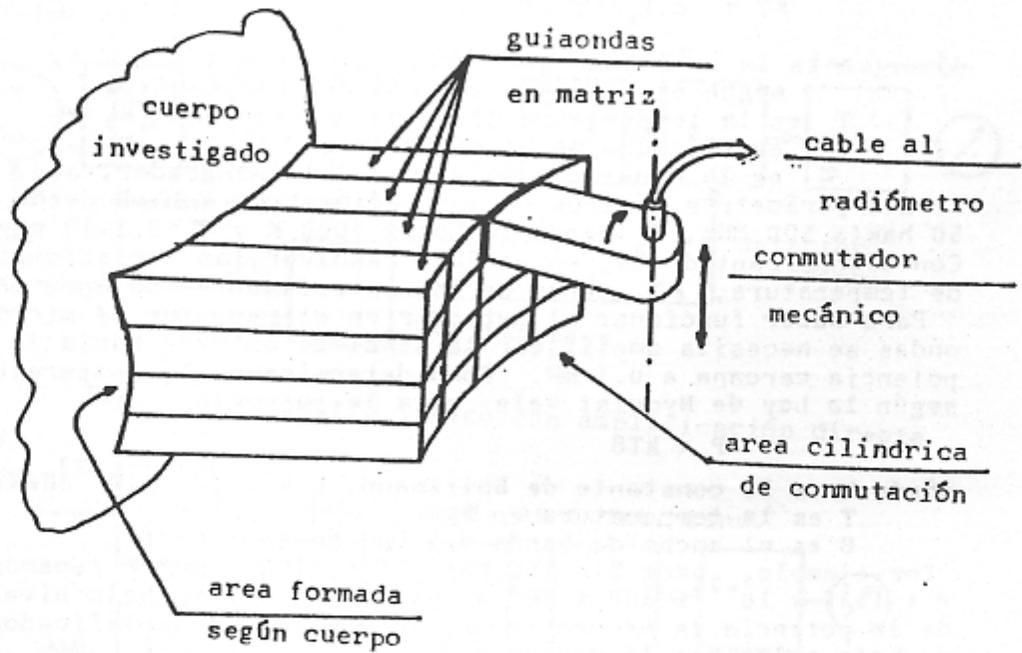


Fig. 4 Aplicador tipo matriz

Como se usan ondas milimétricas, a distancias de 2 o 3 metros la resolución espacial puede ser cercana a 1 mm, aunque el espesor de detección no excede de 3 mm de tejido.

La resolución obtenida es de menos de una décima de grado Kelvin de modo que el resultado es mucho mejor que el proporcionado por el método de pintura cutánea con cristales líquidos sensibles a la temperatura.

La calibración se efectúa con tanques de agua termostaticada.

El método descrito es entonces semejante a la termografía infrarroja, aunque se trabaja en otra parte del espectro y se obtienen datos diferentes.

#### EJEMPLOS DE EQUIPOS EXPERIMENTALES

Los radiómetros en general consisten de los receptores de bajo ruido, acoplados con los filtros, según la Fig. 5:

En la Fig. 5, antes del detector (o receptor) encontramos un filtro pasabanda, que determina la banda espectral de interés, con su ancho de banda B.

Como la "señal" recibida es ruido y a la salida del receptor obtenemos una tensión DC y fluctuaciones, para suprimirlas usamos otro filtro- pasabajas o integrador, con su constante de tiempo,  $\tau$ . La constante de tiempo determina por una parte la resolución en temperatura, pero por otra parte limita la rapidez de reacción, si la temperatura a la entrada se cambia rápidamente.

El receptor mismo, representado como detector, tiene su temperatura de ruido,  $T_s$ , que es una límite básica en la determinación de la resolución en temperatura:

$$\Delta T = a \cdot T_s / (\sqrt{B\tau}) \quad (5)$$

dónde a es la constante que tiene valores entre 1 y 3, según el régimen temporal del radiómetro,

$T_s$  es la temperatura de ruido del sistema, K,

$B$  es el ancho de banda RF, Hz,

$\tau$  es la constante de tiempo del integrador, seg.

Los parámetros típicos de los radiómetros son: B desde 50 hasta 500 MHz,  $T_s$  desde 30 hasta 3000 K y  $\tau = 0.1-10$  seg. Con dichas cantidades, es posible resolver las variaciones de temperatura,  $\Delta T$ , menos de 1K, extremadamente de unos mK.

Para hacer funcionar el detector en el receptor de microondas se necesita amplificar la señal de entrada hacia la potencia cercana a 0.1 mW. Como determinamos la temperatura, según la Ley de Nyquist vale para la potencia

$$P = kTB \quad (6)$$

dónde k es la constante de Boltzmann,  $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K,

T es la temperatura en K,

B es el ancho de banda del radiómetro, Hz.

Por ejemplo, para  $B = 100$  MHz y  $T_s = 35^\circ\text{C} = 308$  K tenemos  $P = 1.38 \times 10^{-23} \times 308 \times 10^8 = 4 \times 10^{-10}$  mW. Este bajo nivel de la potencia es necesario amplificar por un amplificador de bajo ruido con la ganancia de

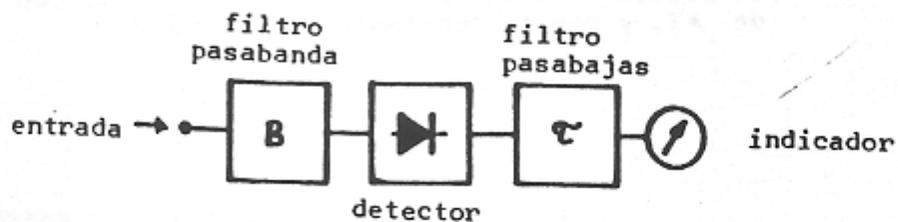


Fig. 5 Circuito básico del radiómetro

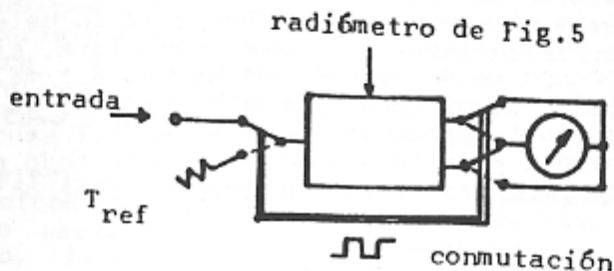


Fig. 6 Radiómetro con "modulación" según Dicke

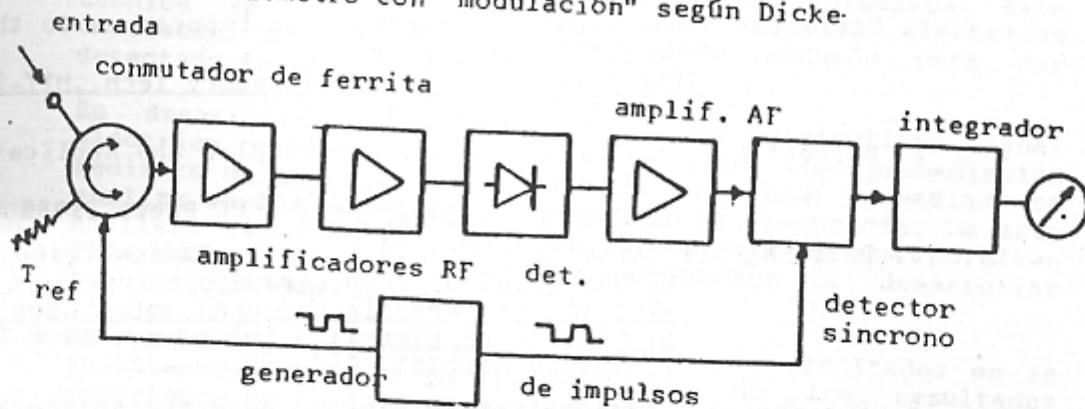


Fig. 7 Radiómetro típico con amplificación directa

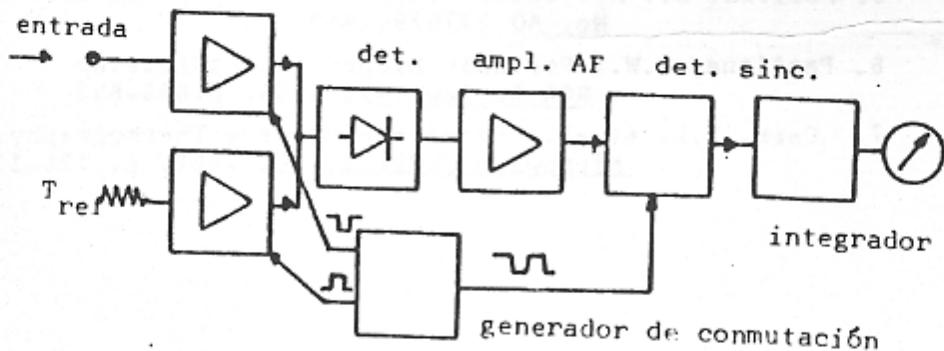


Fig. 8 Radiómetro con amplificadores conmutados

$$G = 0.1 \text{ mW} / (4 \times 10^{-10} \text{ mW}) =$$

$$= 2.5 \times 10^8 \dots 84 \text{ dB.}$$

Los amplificadores con ganancias tan grandes sufren por las inestabilidades causadas por temperatura y alimentación. Para evitar toda inestabilidad, se emplean circuitos según la Fig. 6, con la conmutación o modulación.

A la entrada del radiómetro se alternan los niveles de temperatura de la antena, y la de referencia,  $T_{ref}$ . Por eso, el sistema evalúa la diferencia de ambas, con la resolución de  $\Delta T$ , y con la constante de tiempo  $\tau$ .

Para detectar tumores, con frecuencia se usan los rayos X y la detección en infrarrojas. Estos métodos tienen varias desventajas: los rayos X dañan el organismo y las infrarrojas sólo detectan la temperatura superficial.

Los métodos radiométricos en microondas pueden proporcionar una imagen de la distribución de temperaturas dentro del tejido. La tarea para resolver es muy compleja. Los conocedores de la teoría electromagnética han tratado determinar procedimientos para obtener la imagen más clara, sin embargo, hasta ahora no se determinó una manera óptima.

Los métodos de microondas han confirmado su valor para la determinación temprana de los tumores del seno, de inflamaciones en uniones y de la apendicitis. Por todo eso, se recomienda para complementar otros métodos de diagnosis.

#### REFERENCIAS

1. Carr, K.L.: Microwave Radiometry :Its Importance to the Detection of Cancer  
IEEE Trans, on Microwave Theory Tech., MTT-37,  
12,1989,p.1862-1868
2. Barrett,A.H.,Myers,P.C.: Basic Principles and Applications of Microwave Thermography  
Microwave Thermography, IEEE Press, 1980
3. Polívka, J.: Características del Equipo Radiométrico para el Uso Clínico (en checo)  
VYFO-85, Conferencia Nacional sobre Usos de Microondas en Ciencia e Industria, mayo 1985, Liptovský Mikuláš, Checoslovaquia
4. Polívka, J.: Radiometria en Microondas y sus Aplicaciones, VI, Seminario Nacional de Metrologia, febrero de 1989, CINVESTAV, México D.F.
5. Polívka, J.: Aplicador tipo matriz, Patente checoslovaca No. A0 237079,1985
6. Paglione, R.W.: Portable Diagnostic Radiometer  
RCA Review, 47, 1986, p.635-643
7. Carr, K.L. et al.: Passive Microwave Thermography, Microwave Journal, 25, 1982, p. 125-136