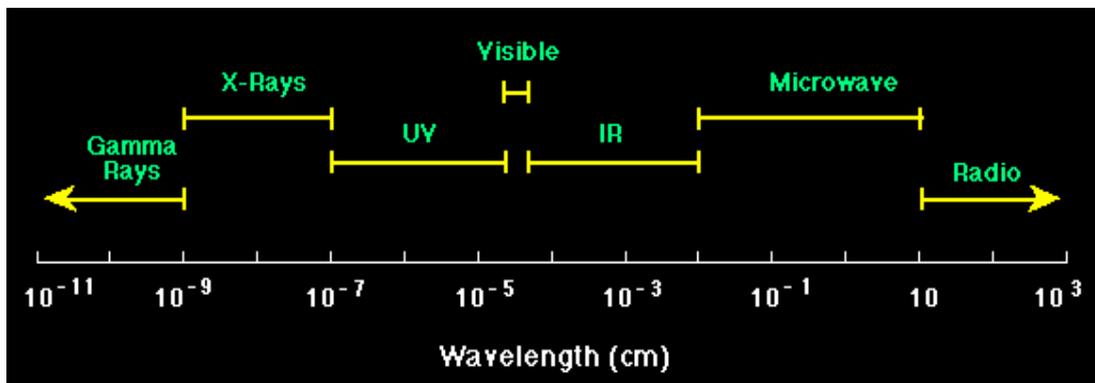


RADIACIÓN INFRARROJA Y TERMOGRAFÍA

Nicolás Agudelo, Juan Esteban Velez, Natalia Arcila y Carolina Cagua
Programa de Ingeniería Biomédica
Escuela de Ingeniería de Antioquia -Instituto de Ciencias de la Salud

Su ubicación en el espectro esta mas allá del extremo rojo. Su principal característica es producir un aumento de temperatura. Su longitud de onda (λ) esta entre 760nm y 10000nm, y se dividen en tres (A, B y C) dependiendo de su λ . La RI puede ser reflejada, refractada, absorbida y emitida.



Tipo de onda	Radiación RI	Long de onda (nm)
Corta	A	760 - 2000
Media	B	2000 - 4000
Larga	C	4000 - 10000

FUENTES DE PRODUCCIÓN

Todos los cuerpos con temperatura superior al cero absoluto emiten radiación RI. Los cuerpos radian energía en función directamente proporcional a su temperatura; ésta radiación es generada por la vibración y rotación propia de los átomos y moléculas que componen un material, a mayor temperatura el movimiento de estas partículas es mayor, por lo que provoca una mayor radiación de energía. La cantidad y longitud de onda dependen de la temperatura y la composición del objeto. En forma artificial la RI no luminosa se obtiene con resistencia eléctrica sobre superficies cerámicas y

luminosas con filamento de tungsteno en ampolla de cristal conteniendo gas inerte a baja presión.

Las características principales de cada emisor se pueden sintetizar en; longitud de onda, densidad de máxima potencia, inercia térmica, vida media y penetración y reflexión de la radiación.

Lo interesante de la RI es su gran eficiencia térmica, ya que permite transferencia de energía entre cuerpos sin un medio material, tiene baja inercia calorífica, la energía radiada es altamente adaptable, el calentamiento se produce en el cuerpo de forma homogénea, necesita reducido mantenimiento y no aporta mucho calor para trabajarlo.

MAGNITUDES Y LEYES TÉRMICAS

Hay dos tipos de fuentes: puntuales y extendidas. El criterio para esta distinción es el valor en radianes de α medido en el ojo, que es el cociente entre la dimensión de la fuente y la distancia de visión.

El α_{\min} es igual 11 miliradianes. Las fuentes extendidas son aquellas que tienen su ángulo de visión mayor al α_{\min} , en todas las distancias extendidas debe haber por lo menos un α_{\min} .

Las magnitudes más importantes para la protección son la radiancia (I) y la radiancia integrada (IP) en el tiempo que expresan el brillo de la fuente. Para valorar el riesgo en la salud, se tiene en cuenta la irradiancia (E) o tasa de exposición y la exposición radiante (H) o dosis de exposición.

Se utiliza la radiancia espectral (I_λ) para saber los efectos biológicos.

Ley de radiación de Planck

$$I_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{(\lambda^5 (e^{hc/(\lambda kT)} - 1))}$$

c = velocidad de la luz

h = cte. De Planck

k = cte. De Boltzmann

Longitud de onda de la emisión máxima

$$\lambda_{\max} = \frac{2.898 * 10^{-3}}{T} \quad (\text{Ley de Wien})$$

Las unidades de la constante son m*K

Los mecanismos para generar radiación óptica son:

- Excitación térmica o radiación del cuerpo negro la cual esta dada por :

$$M(T) = 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 \text{ (Ley de Stefan Boltzmann)}$$

Las unidades de la constante son $W/(K^4 m^2)$

Esta depende de la cuarta potencia de la temperatura.

- Descarga gaseosa (es el menos importante).
- Amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación (láser).

El Láser tiene mucho riesgo de producir efectos biológicos por sus inusuales características y emiten niveles muy altos de RI.

En un cuerpo negro se idealiza que la radiación recibida es absorbida y en cuerpo real esto no se da. En un cuerpo real una fracción de la radiación incidente se absorbe (α), otra se refleja (ρ) y otra se transmite (τ) y estos factores dependen de la longitud de onda. La absorbancia espectral (α_λ) es la relación entre la radiación absorbida y la incidente; la reflectancia espectral (ρ_λ) es la relación entre la radiación reflejada y la incidente; la transmitancia espectral (τ_λ) es la relación entre la radiación transmitida y la incidente. La radiación total es la suma de estas tres fracciones. Para materiales opacos la transmitancia espectral es cero.

La emisividad espectral (ϵ_λ) es la relación entre la radiación emitida por un objeto y la que emitirá el cuerpo negro a la misma temperatura y longitud de onda, entonces, un buen absorbente es un buen radiador, y que un buen reflector es un mal radiador; aunque se debe tener en cuenta que todas estas variables son función de la longitud de onda.

Magnitudes	Unidades
Intensidad radiante	W/sr (estereorradian)
Radiancia integrada en tiempo	J/(sr* m ²)
Flujo radiante	W
Irradiancia	W/m ²
Dosis	J/m ²
Radiancia (L)	W/(sr* m ²)

EFECTOS BIOLÓGICOS

Generalmente en condiciones de exposición el principal mecanismo de interacción de la RI es térmico, solo los impulsos de onda corta como los Láser producen efectos termomecánicos. Con la RI no se producen efectos ionizantes, ni ruptura de enlaces químicos, debido a que la energía de las partículas es menor de 1.6 eV. Los efectos biológicos que dependen de la longitud de onda son debido a las propiedades ópticas y longitud de onda de los tejidos.

Los principales objetivos de la RI son la piel y el ojo.

Efectos sobre el ojo

El ojo esta protegido fisiológicamente contra lesiones de luz intensa por una respuesta que limita la exposición a una fracción de segundo y además se autoprotege de la radiación del ambiente.

La RI-A afecta a la retina por la transparencia de los medios oculares y cuando se enfoca la mirada a un haz láser o a una fuente puntual.

Cuando aumento λ , por encima de $1\mu\text{m}$, aumenta la absorción del ojo, por eso la absorción de RI-A por el cristalino y el iris y el calentamiento del iris por absorción de radiación visible o RI próxima forma opacidades en el cristalino.

Con RI-B y RI-C los medios oculares se vuelven opacos debido a la gran absorción de RI por el agua presente.

La absorción de RI de larga λ por la cornea puede elevar la temperatura del interior del ojo. Por la rápida renovación de las células de la cornea un daño únicamente exterior (cornea) es temporal. La RI-C produce en la cornea quemaduras como las de la piel, pero no son muy probables por los efectos de aversión que producen dolor (reacción fisiológica).

Efectos sobre la piel

La RI no penetra en la piel a mucha profundidad, por eso la exposición a RI intensa puede generar efectos térmicos diversos y hasta quemaduras graves. Los efectos además de depender de la profundidad de penetración en función de λ también dependen del tiempo de exposición. Si la exposición se prolonga con valores por debajo del umbral de dolor se puede sufrir una elevada carga térmica y puede generar un desequilibrio del sistema termorregulador. El umbral de tolerancia a la exposición depende de diferentes condiciones individuales y ambientales como el metabolismo de cada persona en el momento de la exposición o la temperatura ambiente, entre

otras. En ausencia de trabajo se puede tolerar 300 W/m^2 como máximo y con trabajo pesado 140 W/m^2 .

SISTEMA DE GENERACIÓN DE IMÁGENES INFRARROJAS

Una cámara de infrarrojo tiene un procesador de 32 bits de señal digital combinada con un software real multitarea; los sensores utilizados son hechos de antimonio de indio (InSb) de 256×256 píxeles, los cuales confieren alta sensibilidad, buena resolución espacial y operatividad y produce sobre el monitor imágenes de buena claridad y contraste.

Son sistemas portátiles, operan con 19-35 voltios DC y su sistema de refrigeración son compactos.

En 1996 se introdujeron al mercado equipos con las características anteriores además no necesitaban refrigeración, éstos estaban basados en la tecnología de sensores de microbolómetros que se construyen en parte fundamental por circuitos integrados construidos por 76800 microresistores en un arreglo de 320×240 cada uno soportado por un multiplexor.

Cada detector es un pequeño termistor integrado sobre un micropuente de menos de $50 \mu\text{m}$, con aislamiento térmico y mecánico para cada detector.

Los elementos del montaje cambian de temperatura debido a la RI incidente, y el cambio en la resistencia correspondiente se mide y se utiliza para generar una imagen.

COMPONENTES BÁSICOS:

1. **Ventanas y lentes:** enfocan la imagen al detector (algunos dispositivos usan espejos).
2. **Fuente**
3. **Sensores**
4. **Sistemas de Automatización:** Para los dispositivos analizadores on line (referencias).

SENSIBILIDAD Y RESOLUCIÓN:

- **Sensibilidad:** Relación entre la variación del voltaje y la variación de la temperatura en la señal térmica.

$$s(T_0) = (dV/dT)T_0$$

- **Resolución Espacial.**
- **Resolución Temporal.**
- **Resolución Térmica.**

SENSORES:

Convierte la radiación en una señal manipulable

- **Térmicos:** Se genera una señal cuando su propia temperatura cambia. Absorben la radiación infrarroja y la convierten en calor.
- **Detectores de Fotones:** Semiconductor que genera una señal proporcional al flujo de fotones que inciden en él, adicionalmente tiene un filtro pasa-banda. Se utiliza HgCdTe, **Antimoniuro de indio(InSb) de 256×256 píxeles** y siliciuro de potasio y siliciuro de platino.
InSb: Confieren alta sensibilidad, buena resolución espacial y operatividad, produciendo sobre el monitor imágenes de buena claridad y contraste, detecta diferencias de 0.025 °C

APLICACIONES EN LA SALUD

Ayuda al organismo a recuperarse de las lesiones y también mitiga el dolor. El principal efecto del calor radiante sobre la piel es que al intentar extender la carga térmica sobre todo el cuerpo, los capilares de la dermis y de los tejidos profundos se dilatan activando la circulación sanguínea. Como la sangre está continuamente suministrando nutrientes y oxígeno a los tejidos y eliminando productos tóxicos, la RI acelera los procesos de recuperación y cicatrización.

Aplicaciones:

- Tratamiento del dolor y lesiones
- Tratamientos cosméticos
- Termografía
- Oximetría
- Capnografía
- Purificación del agua

TERMOGRAFIA

Es una técnica que mide la distribución de la temperatura corporal, la medición de la radiación infrarroja emitida por la piel es común y muy utilizada, dado que es una técnica no invasiva; para obtenerse una termografía segura es necesario obtener la información de la emisividad de la piel y la temperatura de la radiación ambiente.

El termógrafo consiste en un dispositivo que convierte energía electromagnética térmica radiada en señales electrónicas de video que son amplificadas y transmitidas a un monitor.

Cuando el organismo trabaja en condiciones normales y los termorreceptores trabajan en condiciones óptimas, sobre el cuerpo se registran líneas y zonas isotermas; si existe alguna alteración, las figuras térmicas del cuerpo presentan distribución anormal de temperatura, conocido como termatoma, que pueden ser:

- Angiológico: Caída de flujo por obstrucción arterial.
- Dérmicos: Zonas sensitivas con desorden somatosensorial neuronal.
- Metabólico: Exceso o defecto de producción de calor.
- Muscular: Lesiones, zonas de dolor crónico.

Para realizar los estudios de termografía es necesario: un detector con lentes especiales para captación de RI, un visor de control y un sistema de almacenamiento de imágenes.

En la actualidad se trabaja en desarrollar nuevos sensores para RI buscando una mejor resolución térmica y mayor lectura de puntos por tiempos de medición y en el procesamiento de las imágenes para mejorar la interpretación y el análisis de datos

TERMOGRAFIA DE MAMA

Registro gráfico de la distribución de las distintas temperaturas que existen en la mama. En casi todos los casos se practica adicionalmente la mamografía.

La termografía de mama consiste en el estudio del calor local de las glándulas mamarias; el aumento de la temperatura que generan los tumores mamarios es emitido por radiación infrarroja, la cual se recoge mediante cámaras ultrasensibles, situadas a una distancia que permite reconstruir un mapa térmico de la mama y determinara diferencias de temperatura del orden de 0.1°C.

Existen dos métodos de estudio en la termografía de mama:

La termografía infrarroja.

La termografía colesterólica de contacto.

VENTAJAS DE LA TERMOGRAFIA

- Los sensores no hacen contacto con el objeto.
- Los sensores presentan un tiempo de respuesta muy pequeño.
- El sistema de barrido óptico que incorporan los sistemas de termografía permite obtener un termograma en tiempo real que puede ser grabada y analizada posteriormente.

Una de las cámaras utilizadas en este tipo de estudios es la *VIDEOTHERM 2000*, la cual puede utilizar cualquiera de 15 paletas de color, tanto en la imagen térmica como en isoterma.

DOSIMETRÍA Y LÍMITES DE EXPOSICIÓN

Normas de exposición

Los efectos biológicos de la exposición a la RI dependen de la longitud de onda y de la duración de la exposición, solo son intolerables si se sobrepasan ciertos umbrales de intensidad o de dosis.

Para proteger frente a tales condiciones de exposición intolerables ciertas organizaciones internacionales han propuesto límites de exposición a la RI de fuentes ópticas, se trata de prevenir lesiones térmicas de la retina y de la córnea y a evitar posibles efectos retardados en el cristalino.

Medición

Algunas técnicas e instrumentos radiométricos permiten analizar el riesgo para la piel y los ojos derivado de la exposición a fuentes de radiación óptica. Para definir condiciones de exposición peligrosa a fuentes ópticas son importantes la irradiancia y la exposición radiante.

Para evaluar fuentes de banda ancha se deben tener en cuenta las características espectrales y el tamaño de la fuente.

Medidas de protección

La protección normal más eficaz frente a la exposición a la radiación óptica es el confinamiento total de la fuente y de todas las vías de radiación que puedan partir de ella, con estas medidas generalmente se cumple con los límites de exposición.

Si es necesario se usa protección individual, como protección ocular en forma de gafas, o ropa protectora.

De ser necesario se debe restringir el acceso a las fuentes de radiación muy intensas; en algunos casos para proteger al trabajador se puede reducir la potencia de la fuente o el tiempo de trabajo.

Estado del Arte

En la actualidad la empresa Computerized Thermal Imaging™, Inc., tiene licencia en Canadá para fabricar sistemas de imagen térmica para detectar cáncer de mama.

En el medio encontramos diversos equipos fabricados por:

- Therm-O-Typ
- IRISYS
- AVIONICS
- MicroHealth Systems
- Meditherm
- Flir system
- Nippon Avionics
- Inframed
- Tecnap

BIBLIOGRAFIA

Serway, Física. Tomo 2. Ed Mc Graw Hill. Mexico

Correa, Mauricio. Morales, Juan D. Sierra, Jorge E. Diagnostico de cáncer de mama por imagenología infrarroja (Termografía). Metodología de la investigación. 2001.

[Documentos html]

<http://www.cti-net.com>

http://imagineis.com/breasthealth/thermal_imaging.asp

<http://www.omega.com/literature/transactions/volume1/linescan2.html#thermapps>