

# PERCEPCION REMOTA

## TEORIA



### INTRODUCCION

Desde su nacimiento, el hombre emplea sus facultades a través de los órganos de los sentidos para captar radiaciones correspondientes a un muy limitado rango dentro de los fenómenos captables por elementos sensibles.

La ciencia ha desarrollado cámaras aéreas, cámaras multispectrales, cámaras panorámicas, detectores infrarrojos, equipos de microondas, receptores de frecuencia de radio, magnetómetros, gravímetros, etc., para la detección de radiaciones o fuerzas que aumentan considerablemente la capacidad de detección a distancia; permitiendo una mayor, más completa y rápida información sobre los recursos naturales de la Tierra.

La observación de los objetos que se encuentran en torno a nosotros y el juzgar su calidad y el significado de las imágenes que los representan, ha estado siempre condicionada por las características de nuestros sensores y nuestro cerebro.

La Percepción Remota, (teledetección, remote sensing, sensoriamiento remoto, teledeteccion, telerilevamento, fernerkundung, etc.) puede definirse en principio como el conjunto de técnicas, instrumentos y medios de interpretación que permiten extender y mejorar la capacidad de percepción del ojo humano, suministrando al observador información cualitativa y cuantitativa sobre objetos colocados a distancia y por extensión sobre el ambiente que lo rodea.

Históricamente puede colocarse los inicios de las técnicas de Percepción Remota, con el nacimiento y desarrollo de la técnica fotográfica, así como por los descubrimientos posteriores relativa a radiaciones no visibles, debidos a Herschel (radiaciones infrarrojas). Este descubrimiento abrió la puerta al pensamiento de que el sol puede emitir energía más allá de la capacidad de percepción del ojo humano.

Para familiarizarnos con esa línea de pensamiento tomaremos en consideración nuestro instrumento personal de percepción remota, o sea el conjunto ojo-cerebro, y tengamos presente que ninguno de los dos, ni su conjunto, tienen la característica de un instrumento de medida cuantitativo.

Observemos la retina, la cual es sensible sólo a una pequeña porción del espectro electromagnético, entre 400 y 700 nm de longitud de onda, intervalo que coincide con el "arco iris" y es llamado en consecuencia espectro visible.

Además de esos límites "de banda", la retina no tiene una sensibilidad constante, en el sentido de que es más sensible para longitudes de onda alrededor de los 580nm (luz amarillo-naranja) y menos para las longitudes más cortas (luz azul y verde) y más largas (luz roja), variando además de persona a persona.

Otras dos características del ojo humano, modifican su capacidad en un sentido "instrumental", como ser la existencia de un control automático de luminosidad (variación del diámetro de la pupila), que no permite realizar una comparación imparcial

de la luz que en él incide, y la variación de la sensibilidad cromática en función de la iluminación ambiente (visión fotópica y escotópica).

En cuanto a su ángulo de campo, aún cuando éste sea constante, el movimiento del globo ocular "aumenta" dicho campo; mientras que por efecto de la atención que pone el cerebro a objetos particulares, éste puede ser "reducido".

El hecho de que podamos hacer uso de nuestra memoria, de nuestra experiencia, así como lo expresado anteriormente, hace que el conjunto ojo-cerebro, se vea afectado de errores sistemáticos, variables de persona a persona y muy difícilmente evaluables; así como los factores culturales, ambientales y educacionales condicionan fuertemente la objetividad de las observaciones.

*La incertidumbre que deriva de la subjetividad de las observaciones y la imposibilidad de comunicar las sensaciones visibles, sólo pueden ser superadas por la aparición de instrumentos, así como de técnicas que apunten a la interpretación objetiva de las medidas realizadas por dichos instrumentos.*

---

## Definiciones

Es una práctica normal el limitar el campo de la Percepción Remota a la información registrada en el espectro electromagnético, aunque en una definición ampliada se le denomina a la "colección y tratamiento de información sobre objetos distantes sin estar en contacto con ellos".

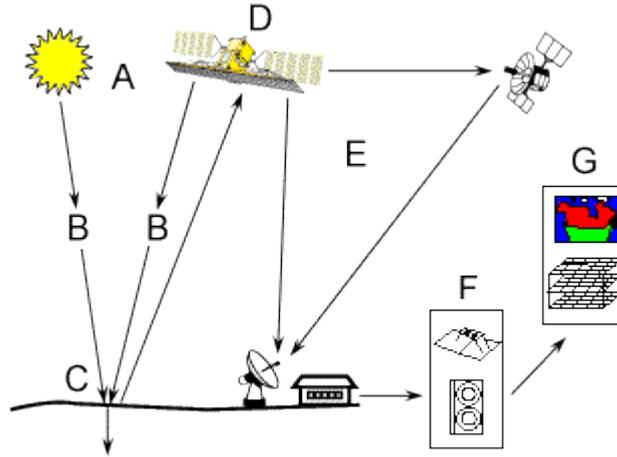
Asimismo se denomina Sensor Remoto a todo "instrumento sensible, capaz de captar o evaluar objetos colocados a distancia, midiendo algún tipo de radiación o emanación proveniente de éstos.

La energía electromagnética que transporta la información utilizable en el campo de la Percepción Remota, se limita en la práctica a las bandas visible, infrarrojo y microondas. Aún cuando existen sensores que trabajan en otros rangos del espectro, su uso es limitado.

Uno de los temas fundamentales de la investigación y aplicación en este campo es el saber a distancia cuál es la naturaleza y el estado de la superficie observada y a partir de ello, aún la condición o características no superficiales.

**Proceso de la Percepción Remota (adaptado del Remote Sensing Tutorial del CCRS-Canadian Centre for Remote Sensing)**

El CCRS aplica la siguiente definición: "Percepción Remota es la ciencia (y en cierta medida, el arte) de adquirir información sobre la superficie terrestre sin estar en contacto con ella. Ello se realiza detectando y registrando energía reflejada o emitida y procesando, analizando y aplicando esa información"



**Fuente de energía - iluminación (A)** - La primer etapa del proceso, es la existencia de una fuente de energía electromagnética que "ilumine" el objeto de interés o que éste emita energía.

**Medio de transmisión - atmósfera (B)** - mientras la energía viaja desde su fuente hacia el objeto se encuentra en contacto e interactúa con la atmósfera que atraviesa. (Esta interacción tiene lugar además en el trayecto de regreso de la energía desde el objeto al sensor).

**Interacción con el objeto iluminado (C)** - después que la energía que viajó por la atmósfera incide en el objeto, interactúa con éste dependiendo de las características del objeto y la radiación iluminante.

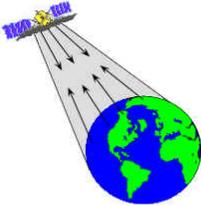
**Registro de la energía por el instrumento (D)** - después que la energía ha sido reflejada o emitida por el objeto necesitamos un instrumento sensible (remoto, sin contacto con el objeto) que reaccione ante la radiación y la registre.

**Trasmisión, Recepción y Procesamiento (E)** - la energía registrada por el instrumento debe ser trasmitada, normalmente por vía electrónica, hacia una estación de recepción y procesamiento donde los datos recogidos serán procesados y normalmente transformados en una imagen (física y/o digital).

**Interpretación y Análisis (F)** - la imagen procesada es interpretada, en forma visual y/o digitalo, para extraer información acerca del objeto iluminado.

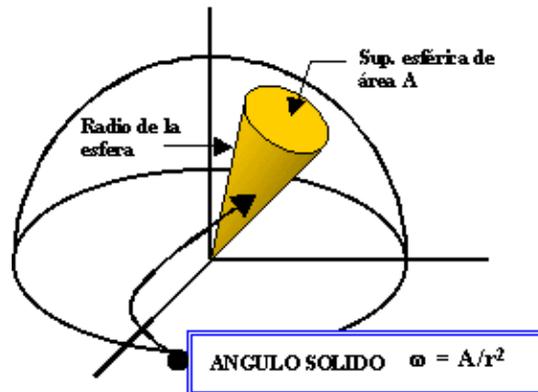
**Aplicación (G)** - el final del proceso de percepción remota lo alcanzamos cuando aplicamos la información que fuimos capaces de extraer de los datos recogidos del objeto a efectos de entender, obtener nueva información o apoyar la solución de un problema particular.

## Clasificaciones o categorías de sensores remotos

En función de los datos iniciales producidos (sin proceso posterior)	
<p>Instrumentos productores de medidas</p> <p>Non-imaging sensors</p> 	<p>Los datos corresponden a la medida de las radiaciones provenientes de puntos de la superficie analizada.</p> <p>Ej.: <i>Radiómetros</i>, <i>Espectrofotómetros</i>, <i>Dispersómetros</i>, <i>Barredores</i>.</p>
<p>Instrumentos productores de imágenes</p> <p>Imaging sensors</p> 	<p>La salida de datos es una representación "visible" del sujeto sobre un soporte bidimensional.</p> <p>Ej.: <i>Tubos convertidores de televisión</i>, <i>Instrumentos fotográficos</i></p>
En función de los datos procesados	
<p>Los <i>radiómetros</i>, <i>barredores</i> y <i>dispersómetros</i> miden la intensidad de la radiación proveniente del objeto y normalmente su proceso ordena una matriz de intensidades que se presenta como una imagen por lo que pueden considerarse como <i>Instrumentos productores de imágenes</i></p>	
En función de la fuente emisora:	
<p>Sensores pasivos</p> 	<p>son aquellos que miden la energía emitida por otra fuente (generalmente el sol) y reflejada por los objetos observados; o emitida directamente por éstos (energía térmica).</p>
<p>Sensores activos</p> 	<p>Son aquellos que poseen su propia fuente de energía, emitiéndola hacia el objeto y detectando la cantidad de energía reflejada.</p> <p>P/ej. una cámara fotográfica que opera con flash para iluminar al sujeto y registrar la respuesta.</p> <p>El Radar es el caso más típico de estos instrumentos.</p>
En función de la ubicación relativa espacial:	
<p>Sensores biestáticos</p>	<p>la fuente de emisión tiene una posición espacial diferente de la receptora (fotografía aérea).</p>
<p>Sensores monoestáticos</p>	<p>la fuente emisora y el receptor ocupan el mismo lugar en el espacio (radar).</p>
<p><b>En función de la plataforma utilizada:</b> Terrestres, Aéreos o Aeroportados, Satelitales o Sateloportados.</p>	

# NOCIONES SOBRE LAS LEYES DE LA RADIACION

## CONCEPTO DE ÁNGULO SÓLIDO EN MEDIDAS ANGULARES



## Definiciones

**Ángulo sólido (cónico)** - Se calcula como el cociente entre la superficie esférica subtendida y el cuadrado del radio de la esfera.

**Esterorradian** : Unidad del ángulo sólido - Ángulo sólido subtendido por un sector esférico de 1m<sup>2</sup> de superficie perteneciente a una esfera de 1m de radio. La esfera completa tiene 4π sr.

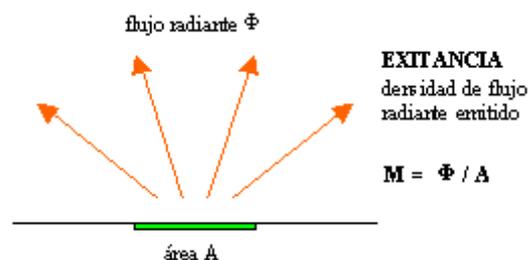
## MAGNITUDES RADIOMETRICAS

**Energía radiante - Q** - Energía total de una radiación. Es una medida de la capacidad de la radiación de realizar un trabajo físico moviendo algo, calentando un objeto, o provocando un cambio en el estado de la materia. La energía radiante causa un cambio físico en un elemento sensor de forma tal que ese cambio físico es la evidencia de la causa.

**Flujo radiante - Φ** - Cantidad de energía radiante que pasa a través de una superficie o que fluye en una posición del espacio en la unidad de tiempo. Es un término muy similar a potencia (lapso de tiempo durante el cual se está realizando un trabajo o gastando energía). Es llamada también potencia radiante.

**Exitancia radiante - M** - Flujo radiante por unidad de área emitido por una superficie en cualquier dirección de un hemisferio. También llamada potencia radiante específica.

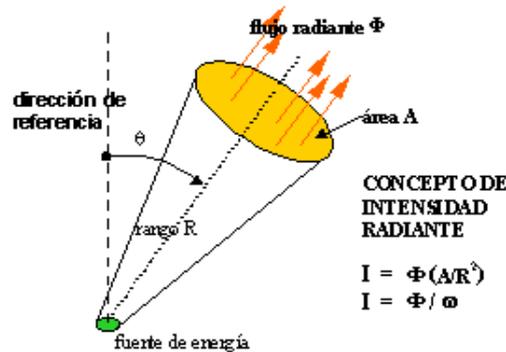
Así como la irradiancia se refiere al flujo que llega a una superficie, la exitancia corresponde a la densidad superficial del flujo radiante emitido o reflejado por una superficie.



**Intensidad radiante - I** - Flujo radiante emitido por una superficie pequeña por unidad de ángulo sólido en una dirección dada.

Una fuente cuasi puntual radia energía para todo el espacio.

Una pequeña superficie A, situada a una cierta distancia R de la fuente, define con ésta un ángulo sólido  $\omega$ , La intensidad radiante de la fuente es la razón en la dirección considerada entre el flujo radiante que se propaga por el ángulo sólido y el valor de éste.

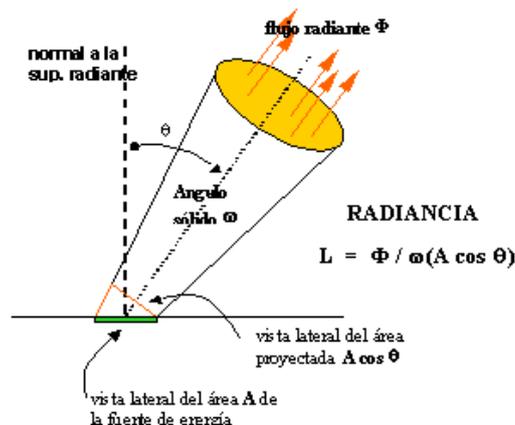


Si la fuente es isotrópica (que radia igual en todas direcciones) su intensidad radiante para un flujo emitido  $\Phi$  será de  $I = \Phi / 4\pi$  Watts por estereorradian.

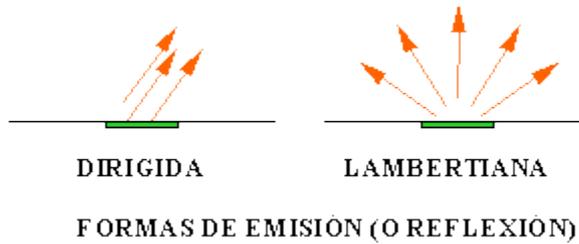
**Radiancia - L** -a) flujo radiante emitido por ángulo sólido elemental, por una fuente en una dirección dada, por unidad de superficie de la fuente proyectada en esa dirección.

El concepto de radiancia para un flujo emitido (o reflejado) se corresponde con el concepto de brillo.

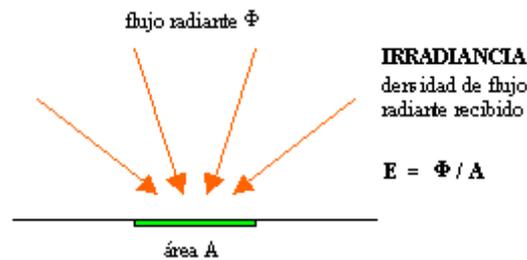
b) corresponde igual concepto para el flujo radiante recibido por unidad de área, desde una dirección dada según un ángulo sólido elemental.



Cuando la radiancia es independiente de la dirección de emisión (en fuentes isotrópicas), se denomina lambertiana.



**Irradiancia - E** - Cuando el flujo radiante es interceptado por una superficie plana, el flujo interceptado dividido por el área corresponde a la densidad promedio del flujo radiante en ese plano. Cuando las áreas que interceptan se consideran infinitesimalmente pequeñas, la relación puede considerarse como la densidad de flujo radiante en cada punto de la superficie donde esas áreas están ubicadas. No se especifica la dirección del flujo dado que llega al punto de la superficie desde cualquier dirección dentro de un hemisferio sobre la superficie.



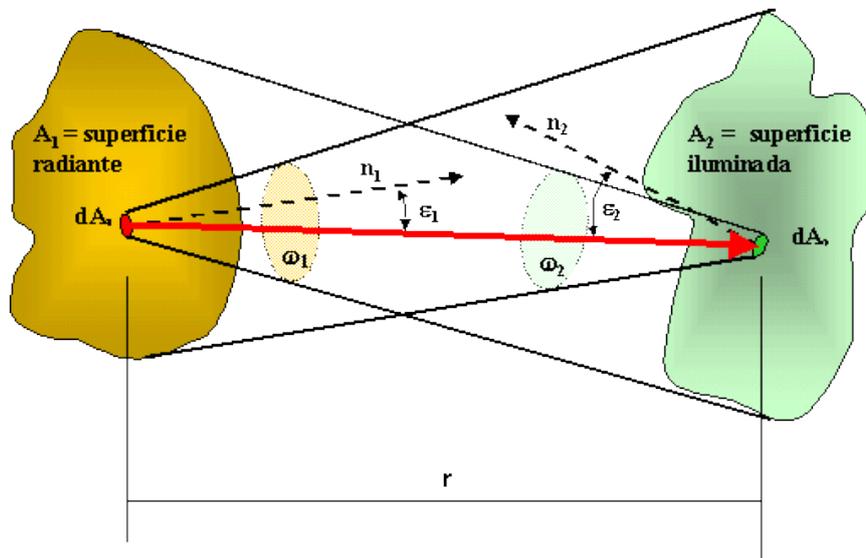
**Exposición radiante - H** - Energía radiante incidente en la unidad de superficie.

**RELACIONES ENTRE LAS MAGNITUDES Y UNIDADES**

	Q	$\phi$	M	I	L	E	H
Q =	Q	$\phi \cdot t$	M.t.A <sub>1</sub>	I.t. $\omega_1$	L.t. $\omega_1 \cdot \omega_2 \cdot r^2$	E.t.A <sub>2</sub>	H.A <sub>2</sub>
$\phi$ =		$\phi$	M.A <sub>1</sub>	I. $\omega_1$	L. $\omega_1 \cdot \omega_2 \cdot r^2$	E.A <sub>2</sub>	H.A <sub>2</sub> /t
M =			M	I. $\omega_1/A_1$	L. $\omega_1 \cdot \cos \epsilon_1$	E.A <sub>2</sub> /A <sub>1</sub>	H.A <sub>2</sub> /(t.A <sub>1</sub> )
I =				I	L. $\omega_2 \cdot r^2$	E.A <sub>2</sub> / $\omega_1$	H.A <sub>2</sub> /(t. $\omega_1$ )
L =					L	E/( $\omega_2 \cdot \cos \epsilon_2$ )	H/(t. $\omega_2 \cdot \cos \epsilon_2$ )
E =						E	H/t
H =							H

MAGNITUD	SIMBOLO	UNIDAD	
Energía radiante	Q	J	Joule
Flujo radiante	$\Phi$	J.s <sup>-1</sup> ó W	Joule/seg ó Watt
Exitancia radiante	M	W.m <sup>-2</sup>	Watt/m <sup>2</sup>
Intensidad radiante	I	W.sr <sup>-1</sup>	Watt/sterradian
Radiancia	L	W.sr <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	Watt/(sterradian*m <sup>2</sup> )
Irradiancia	E	W.m <sup>-2</sup>	Watt/m <sup>2</sup>
Exposición radiante	H	J.m <sup>-2</sup>	Joule/m <sup>2</sup>

## FOTOMETRIA



$r$  = distancia entre las superficies emisora y receptora

$n_1, n_2$  = normales a cada superficie

$\epsilon_1, \epsilon_2$  = ángulo formado por la dirección de la radiación y la normal de la superficie

Ángulo sólido de emisión

$$\omega_1 = A_2 \cos \epsilon_2 / r^2$$

Ángulo sólido de recepción

$$\omega_2 = A_1 \cos \epsilon_1 / r^2$$

### LEY FUNDAMENTAL DE LA FOTOMETRÍA

$$\phi = L * A_1 \cos \epsilon_1 * A_2 \cos \epsilon_2 / r^2$$

$\phi$  = flujo radiante [W]

L = radiancia [W.sr<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>]

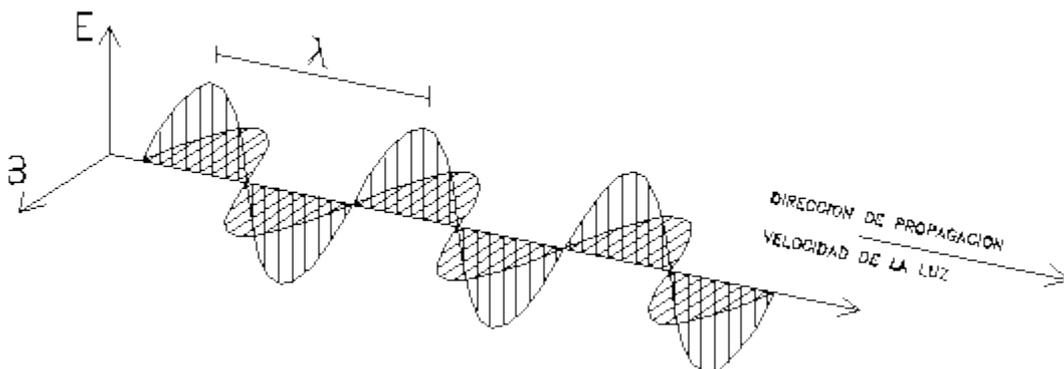
## RADIACION ELECTROMAGNÉTICA

La REM es una forma dinámica de energía que se manifiesta solamente por sus efectos en la materia.

Maxwell proporcionó las bases para establecer la posible existencia de una forma dinámica de fenómenos eléctricos y magnéticos en la forma de un movimiento ondulatorio. Consideró la REM en una escala macroscópica, dependiendo su interacción con la materia en las propiedades eléctricas y magnéticas de la materia.

La teoría sobre la REM se basan en el concepto de campo de fuerza. Un ejemplo directamente relacionado con la REM puede establecerse con la fuerza que desvía una aguja magnética cuando la acercamos a una determinada masa metálica y la obliga a orientarse en una dirección particular, sin que exista nada material que conecte el metal con la aguja. La causa no material de la fuerza que provoca el movimiento de la aguja es un campo de fuerza.

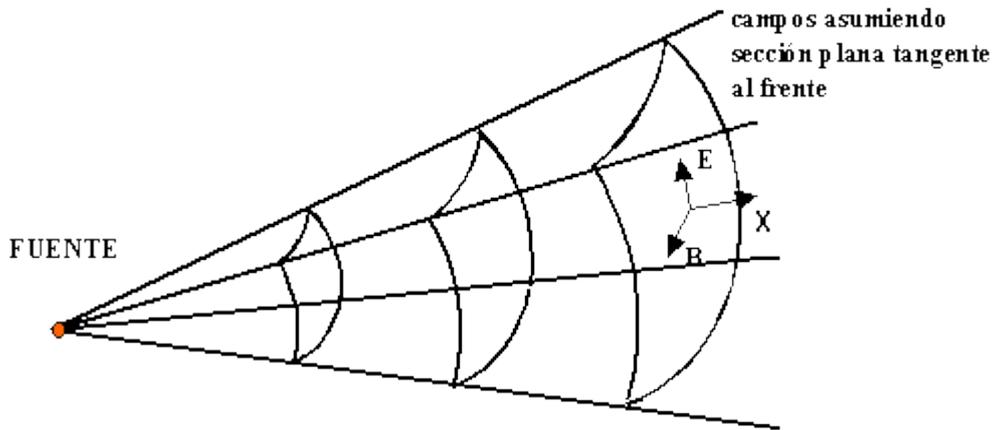
La REM es uno de los campos de fuerza más útiles para la percepción remota, formando un nexo de comunicaciones de alta velocidad entre el sensor y elementos lejanos. Los cambios en la cantidad y propiedades de la REM, se transforman, después de detectadas en una valiosa fuente de datos para la interpretación de las propiedades de los medios con los que interactúa. El conocimiento de las propiedades fundamentales de la REM es la base de su uso para ampliar las capacidades de los sensores humanos.



El concepto de Maxwell sobre la REM es que un movimiento ondulatorio y uniforme existe en los campos de fuerza magnético (B) y eléctrico (E), estando ambos directamente relacionados, por lo que en cualquier punto donde se produzca una variación del campo eléctrico, un campo magnético aparece automáticamente en la misma región como un elemento conjugado. Esto se expresa como que los campos están en fase, o sea que tienen ceros, máximos y mínimos simultáneos.

En cada punto de la onda la intensidad del campo eléctrico es igual a  $c$  por la del magnético.

En una radiación electromagnética no hay ondas eléctricas puras, ni ondas magnéticas puras. Cuando esas ondas inciden en la materia el resultado dependerá de las propiedades eléctricas y magnéticas de la materia.



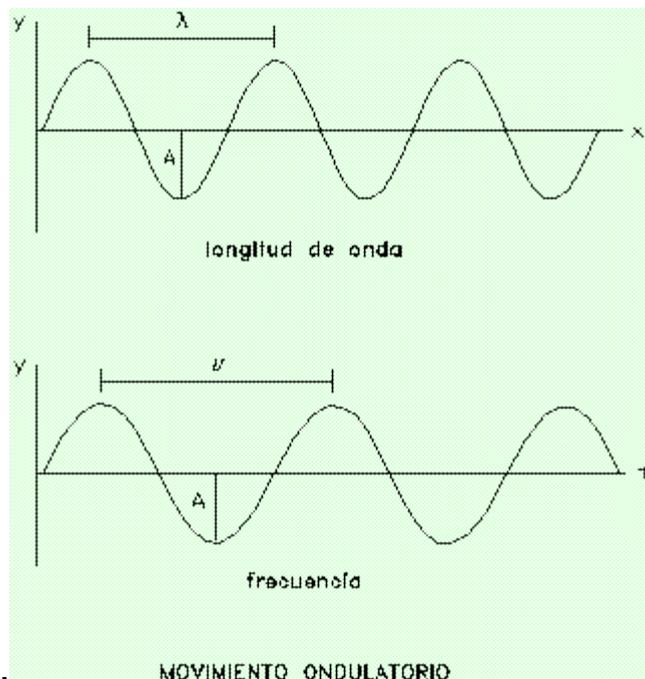
### FRENTE DE ONDA

Cuando se propaga a través de un material, la velocidad de propagación depende de las características del material y la frecuencia de la onda.

Velocidad de propagación en el vacío  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.

A partir de una fuente de radiación y en un instante determinado, los campos eléctrico y magnético presentan simetría central esférica, con idéntico valor a igual distancia de la fuente, conformando frentes de onda con valores idénticos.

Período (T) es el tiempo en el que E o B alcanzan un mismo valor en forma consecutiva y con la misma pendiente de la onda



La frecuencia (ν) es la inversa del período (cantidad de veces por unidad de tiempo que E ó B alcanzan un mismo valor en forma consecutiva y con la misma pendiente de la onda).

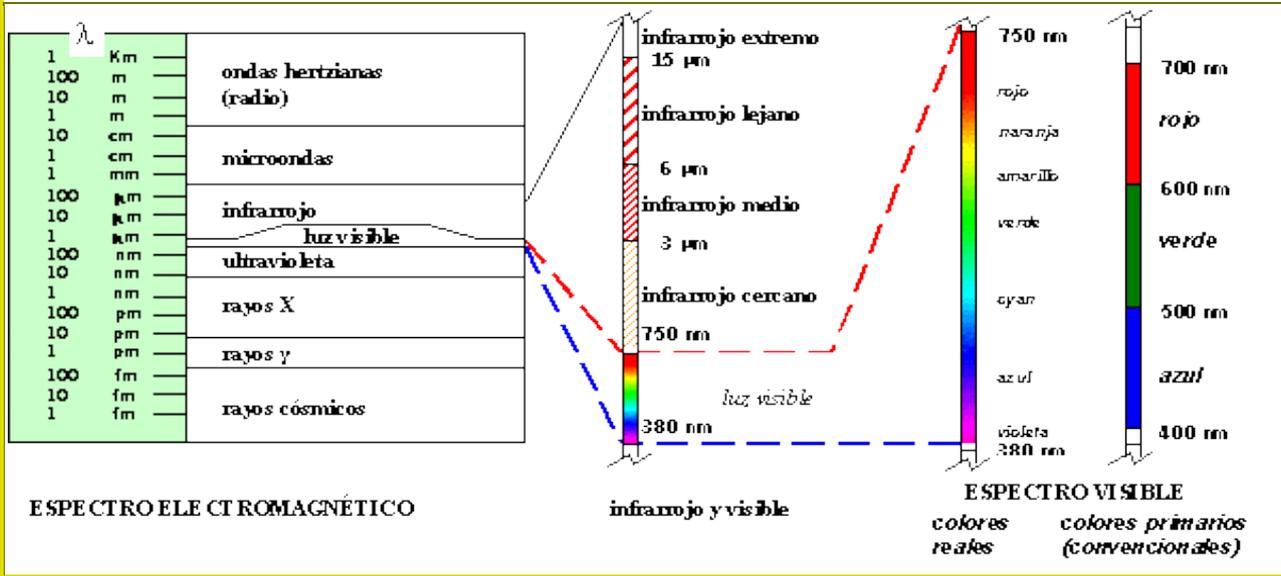
La longitud de onda ( $\lambda$ ) es la distancia que se desplaza la onda durante un período.

La relación entre la velocidad de propagación ( $v$ ) la longitud de onda ( $\lambda$ ) y la frecuencia ( $\nu$ ) es

$v = \nu * \lambda$	en el vacío	$c = \nu * \lambda$
---------------------	-------------	---------------------

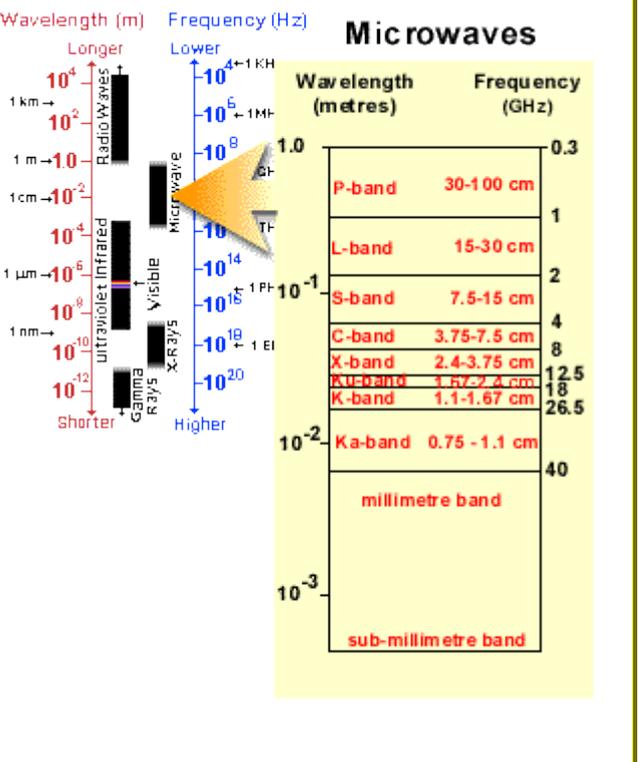
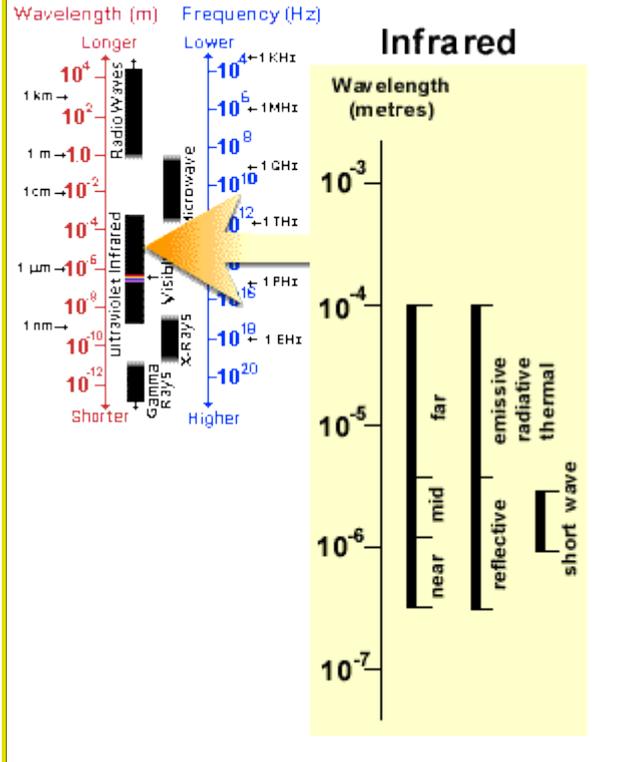
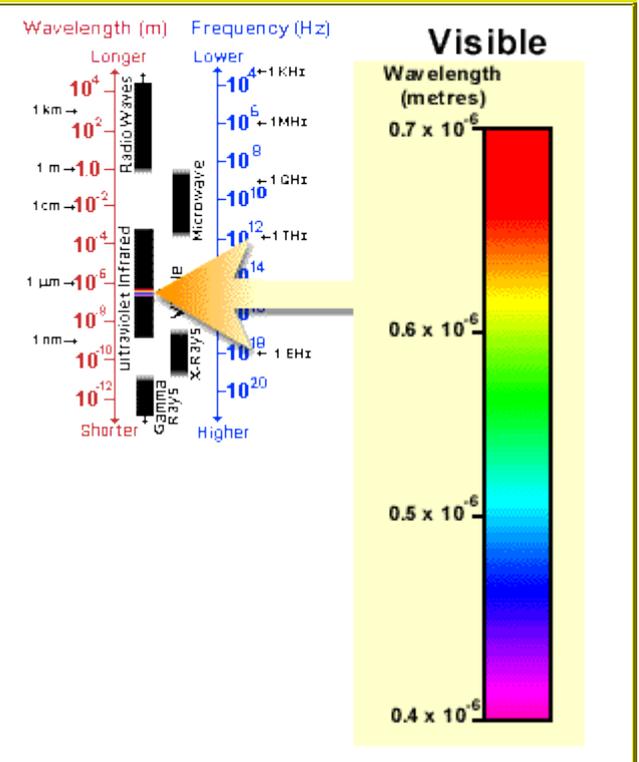
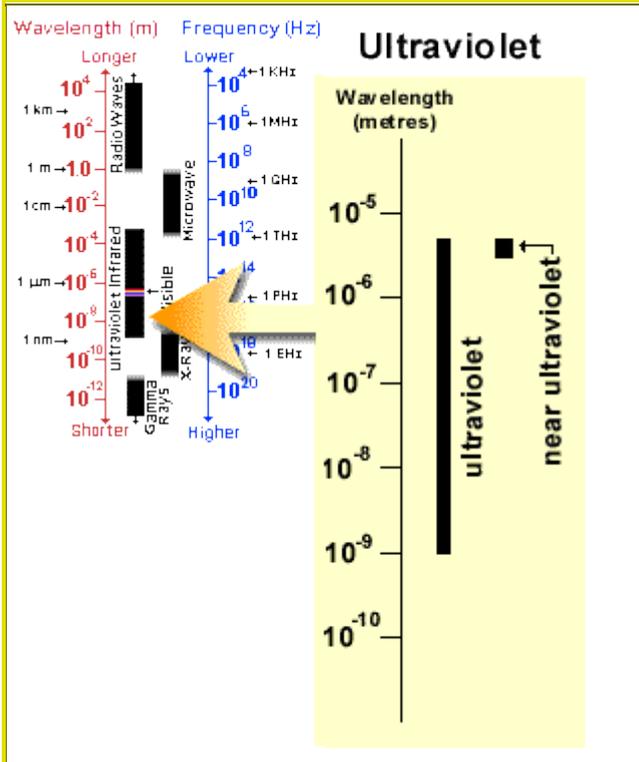
## ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Se denomina espectro al arreglo continuo de las radiaciones ordenado en función de la longitud de onda, subdividido en regiones espectrales, en forma arbitraria pero centradas en los efectos o características de las radiaciones dominantes de la región.



### DETALLE DE ZONAS DEL ESPECTRO USADAS EN PERCEPCIÓN REMOTA

(tomado del Remote Sensing Tutorial - CCRS - Canada Centre for Remote Sensing)



## Propiedades cuánticas de la REM

La formulación de Maxwell de la REM como un movimiento ondulatorio matemáticamente perfecto, falla cuando se analizan ciertas interacciones con la materia. La generación de ondas electromagnéticas siempre ocurren en pequeños trenes de onda o paquetes de radiación, en las cuales cada tren de ondas lleva una cantidad de energía radiante  $Q$  proporcional a la frecuencia de la onda

$Q = \nu * h$	$h = \text{constante universal de Plank}$ $h = 6.6256 * 10^{-34} \text{ [J.s]} \text{ ó } \text{[W.s}^2\text{]}$
tomando $c = \nu * \lambda$	$Q = h * (c/\lambda)$

La energía radiante transportada por ese tren de ondas no se entrega a un receptor como si se distribuyera uniformemente en la onda, sino que es entregada como un paquete (cuántum) en algún lugar de la onda bajo condiciones estadísticamente analizables y que son proporcionales a la densidad de flujo de la onda en ese punto en especial.

Por lo tanto la cantidad de energía que fluye hacia un receptor, cambiará continuamente debido a la naturaleza cuántica y estadística de la REM.

## Origen de la teoría de Planck

En el cálculo clásico de la energía promedio  $Q(\text{prom})$  de un número grande de elementos en equilibrio térmico a temperatura  $T$ , se supone que la densidad de energía es una variable continua. Planck supuso que la densidad de energía radiante empero, era una variable discreta y que el conjunto de los valores era

$$Q = 0, \Delta Q, 2\Delta Q, 3\Delta Q, \dots \quad Q_n = n\Delta Q \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Con esta suposición, calculó que la energía promedio tiende a cero si se elige  $\Delta Q$  grande y que tiende a  $kT$  si se elige pequeña (coincidiendo con la suposición de  $Q$  continua).

$$Q(\text{prom}) = kT \quad k = \text{Cte. de Boltzmann} = 1.3805 * 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$$

Por lo indicado, Planck estableció que las diferencias grandes correspondían al comportamiento a altas frecuencias y las diferencias pequeñas a las bajas frecuencias. Estableció entonces que la diferencia era proporcional a la frecuencia

$$\Delta Q = h\nu \quad \text{y siendo } Q_n = n\Delta Q$$
$$Q_n = nh\nu \quad h = \text{cte. de Plank} = 6.6256 * 10^{-34} \text{ J.s}$$

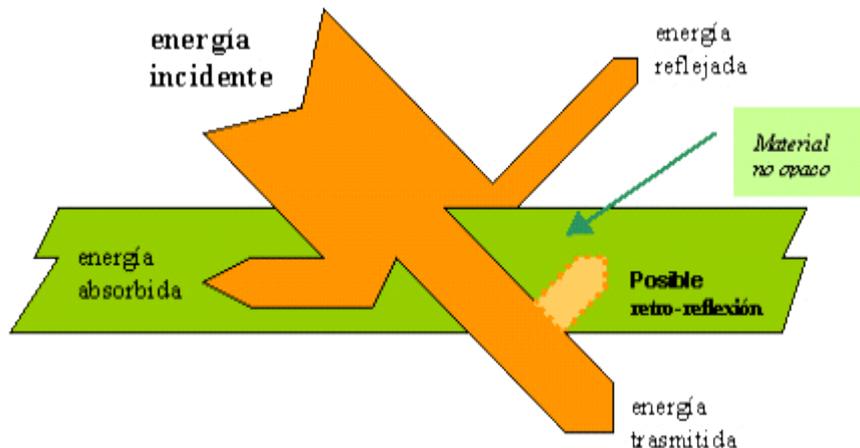
El término fotón se usa para indicar las propiedades cuánticas y estadísticas de la radiación, en tanto el término onda se usa para indicar los efectos promedio generales de la radiación.

Las técnicas de percepción remota utilizan la medida del flujo radiante cuantitativo para inferir "cuánto hay de lo que está ahí".

## Reflexión, Trasmisión, Absorción

Radiación térmica - A la radiación emitida por un cuerpo como resultado de su temperatura se le llama radiación térmica. Todos los cuerpos emiten en su alrededor y absorben de sus inmediaciones. Si al principio un cuerpo está más caliente que sus inmediaciones, se enfriará, porque su rapidez de emisión de energía excede a su rapidez de absorción de la misma. Cuando se alcanza el equilibrio térmico, la velocidad de emisión y la de absorción son iguales.

Para comprender lo que esto significa, debemos indicar algunas relaciones respecto a la incidencia de una radiación sobre una superficie de un material cualquiera.



Tomemos:

$E_i$  = energía incidente sobre la superficie

$E_r$  = energía reflejada por la superficie

$E_a$  = energía absorbida por el material

$E_t$  = energía transmitida a través del material

Parte de la energía incidente, será reflejada, parte transmitida y parte absorbida en función de parámetros característicos de la superficie y el material que la contiene.

<i>coeficiente de reflexión</i>	reflectancia	$\rho = E_r/E_i$
<i>coeficiente de trasmisión</i>	trasmítancia	$\tau = E_t/E_i$
<i>coeficiente de absorción</i>	absortancia (absorbancia)	$\alpha = E_a/E_i$

Los valores de estos coeficientes varían entre 0 y 1. Dependen de la naturaleza física de la superficie y de su grado de rugosidad o pulimento.

Estos tres parámetros (de acuerdo al principio de conservación de la energía) pueden integrarse en la relación:

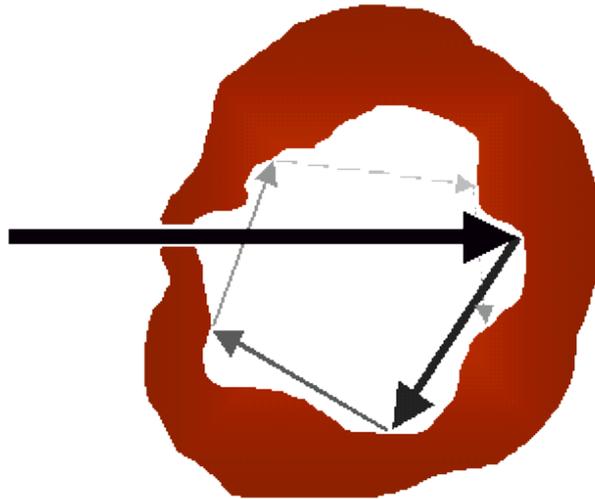
$$\rho + \tau + \alpha = 1$$

## Radiación de cuerpo negro

Las características del espectro de radiación emitida por un cuerpo caliente a una temperatura dada depende de la composición del cuerpo.

Hay una clase de cuerpos ideales, llamados cuerpos negros que se definen como el cuerpo que absorbe toda la radiación que incide sobre él. Tales cuerpos como no reflejan la luz (puesto que la absorben) se ven negros.

En virtud de la ley de Kirchoff (que veremos a continuación) cuando ese cuerpo se caliente hasta la incandescencia, será más brillante que cualquier otro cuerpo no negro calentado a la misma temperatura.



Podemos imaginar un cuerpo negro como una cavidad con una abertura muy pequeña. La radiación exterior a la cavidad penetra a través del agujero, choca contra la pared interior que en parte la absorbe y en parte la refleja. La radiación reflejada choca sucesivamente contra la pared interior, siendo absorbida en cada impacto, lo que provoca que luego de varias reflexiones la radiación incidente es totalmente absorbida por la pared interior de la cavidad. Del punto de vista práctico, puede despreciarse la cantidad de energía que eventualmente se refleje a través del agujero.

Por lo tanto podemos decir que el agujero absorbe toda la radiación exterior incidente, comportándose exactamente como la superficie de un cuerpo negro.

De hecho a bajas temperaturas el agujero parece negro, pero si elevamos la temperatura calentando uniformemente las paredes de la cavidad, pasará a ser autoluminoso. Las paredes internas emiten radiación térmica en la cavidad y una parte de ésta saldrá del interior a través del agujero. Si analizamos respecto de la imagen anterior, que estamos recorriendo el camino inverso de los rayos y que la cavidad interior emite y refleja, la radiación chocando sucesivamente con la pared agregará energía en cada reflexión, por lo que saldrá más energía por el agujero que la que emite la superficie exterior.

Puesto que el agujero se comporta como una superficie negra, el espectro de la radiación emitida por éste será el espectro característico de un cuerpo negro.

Lo antedicho puede verificarse mediante un experimento práctico calentando un tubo que tenga un agujero en su pared. Verificaremos que cuando el tubo esté al rojo, el agujero será más brillante que la pared del tubo.

## Radiancia espectral

La distribución espectral de la radiación de un cuerpo negro se describe mediante la cantidad  $R_T(\nu)$  llamada radiancia espectral definida de forma que la cantidad  $R_T(\nu)d\nu$  es la rapidez con que una superficie radia energía por unidad de área a temperatura absoluta  $T$  para frecuencias en el intervalo  $\nu$  a  $\nu+d\nu$ .

La Radiancia Espectral aumenta al aumentar la temperatura, siendo proporcional a la exitancia espectral.

## Emisividad

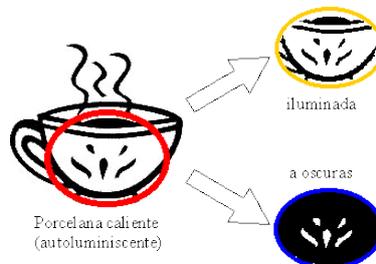
La emisividad  $\epsilon$  de un cuerpo es la relación entre su exitancia radiante  $M$  y la exitancia radiante  $M_s$  de un cuerpo negro a la misma temperatura  $T$ .

$$\epsilon(T) = M(T) / M_s(T)$$

## Emisividad y absorptancia - Ley de Kirchoff

Podemos inferir una ley fundamental de la radiación, mediante la experiencia realizada accidentalmente por Kirchoff con una loza decorada que llevó a la incandescencia con una llama. Si la habitación está suficientemente iluminada la parte de decoración que parecía oscura cuando la loza estaba a temperatura ambiente, también aparecerá oscura cuando se la caliente. Sin embargo si el material incandescente lo observamos en la habitación a oscuras, las partes oscuras aparecerán más brillantes.

Como las partes oscuras de un dibujo, lo son en virtud de que absorben la luz incidente sobre ellas, se deduce que los cuerpos buenos absorbentes son también buenos emisores.



La Ley de Kirchoff establece que cuando un cuerpo se encuentra en equilibrio térmico (o sea que no se enfría ni se calienta) la absorptancia es igual a la emisividad.

la emisividad de un cuerpo para distintas gamas de longitud de onda es siempre igual a la absorptancia  $\alpha$ .

$$\epsilon(\lambda, T) = \alpha(\lambda, T)$$

$$\alpha = \epsilon$$

o sea que un "buen radiador" es un "buen absorbente".

Nuestra ecuación  $\rho + \tau + \alpha = 1$  queda  $\rho + \tau + \varepsilon = 1$

y, por tanto, para cuerpos opacos con  $\tau = 0$

$$\rho + \varepsilon = 1$$

Esta ecuación nos dice que cuanto más reflectante sea una superficie, tanto menos capaz es de generar y emitir radiaciones electromagnéticas y viceversa.

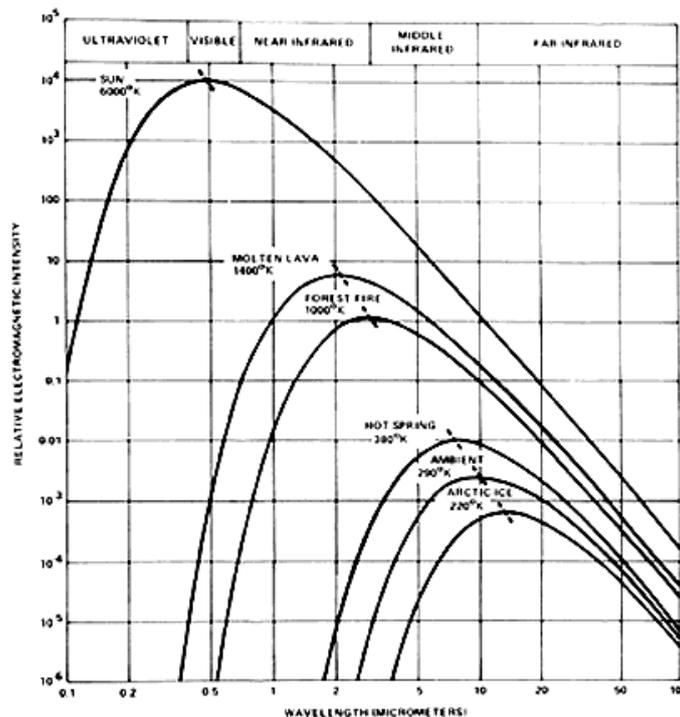
Una superficie de cuerpo negro se definirá por  $\alpha = \varepsilon = 1$   $\rho = 0$

Una superficie perfectamente reflejante por  $\alpha = \varepsilon = 0$   $\rho = 1$

NOTA : todos los parámetros hasta ahora definidos son función de la longitud de onda, así que siempre deben especificarse aquellos con expresa mención de ésta.

De acuerdo a esta relación se puede elegir el instrumento y la banda espectral más adecuada, de acuerdo a la temperatura de la superficie a examinar.

## Ley de desplazamiento de Wien



La materia en estado sólido o líquido emite un espectro continuo de radiación, dependiente de su temperatura, así como transforma en energía térmica parte o toda la energía que absorbe.

A temperaturas ordinarias los cuerpos son visibles no por la luz que emiten, sino por la que reflejan. A temperaturas muy altas, sin embargo los cuerpos son autoluminosos y es posible verlos brillar en la oscuridad (una brasa, p.ej.).

Si elevamos uniformemente la temperatura de un cuerpo caliente, observamos dos efectos principales:

1) cuanto más alta es la temperatura, mayor es la radiación térmica emitida (al principio el cuerpo parece opaco, después brilla intensamente)

2) Cuanto más alta es la temperatura, más alta es la frecuencia (o menor la longitud de onda) de la parte del espectro que radia más intensamente, cambiando el color predominante del cuerpo caliente de "rojo oscuro" a "rojo vivo", "rojo Blanco" y "azul".

Si llamamos  $\nu_{\text{máx}}$  a la frecuencia  $\nu$  para la que la radiancia espectral  $R_T(\nu)$  alcanza su valor máximo, la Ley de desplazamiento de Wien indica que al aumentar  $T$ ,  $\nu_{\text{máx}}$  se desplaza hacia frecuencias más altas.

Como  $c = \nu \cdot \lambda$  la Ley de desplazamiento de Wien puede representarse como

$$\lambda_{\text{máx}} T = b \text{ (cte.)}$$

$$b = \text{cte. de Wien} = 2.8978 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$$

La longitud de onda  $\lambda_{\text{máx}}$  de la radiancia máxima del cuerpo negro es inversamente proporcional a su temperatura absoluta.

P. ej.: para el Sol con una temperatura superficial de 5700K, la aplicación de la fórmula anterior nos da  $\lambda_{\text{máx}} = 510\text{nm}$ , lo que nos dice que la energía máxima emitida queda dentro de la porción visible del espectro. La tierra con una temperatura superficial de 280K aprox. irradia dentro del infrarrojo térmico.

## Ley de Planck

La Ley fundamental de la emisión electromagnética, es la Ley de Planck que indica la dependencia de la Exitancia espectral  $M$ , de la temperatura  $T$  de cavidad de cuerpo negro y la longitud de onda  $\lambda$

$$M(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\lambda kT} - 1}$$

$$h = \text{cte. Planck} = 6.6256 \cdot 10^{-34} \text{ [J.s] ó [W.s}^2\text{]}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$k = \text{cte. Boltzmann} = 1.3805 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$$

$\lambda$  = longitud de onda en metros

$T$  = temperatura absoluta en Grados Kelvin

## Ley de Stefan-Boltzmann

Si se integra la Radiancia para todas las frecuencias se obtiene la energía total emitida en la unidad de tiempo por unidad de área desde un cuerpo negro a temperatura  $T$ . Esta cantidad llamada radiancia total, se puede interpretar como el área bajo la curva de radiancia espectral, donde vemos que el área aumenta rápidamente al aumentar la temperatura. Esta dependencia está dada por la siguiente fórmula

$$M(\tau) = \sigma T^4$$

(para cuerpo negro)

$$\sigma = \text{cte. de Stefan-Boltzmann} = 5.6693 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-4}$$

## Sumario acerca de las Leyes de radiación

- Cualquier superficie exterior de un cuerpo, a temperatura superior al cero absoluto, emite radiaciones electromagnéticas propias, que dependerán de la temperatura del cuerpo y la naturaleza de su superficie; en tanto que refleja, absorbe o es atravesado por radiaciones externas.
- La emisión, reflexión, absorción y transmisión de las radiaciones son el tema que ocupa a la percepción remota.
- La ley fundamental de la emisión electromagnética es la ley de Planck, que relaciona la potencia emitida por una superficie unitaria de un cuerpo negro en forma de radiación electromagnética, por unidad de superficie y longitud de onda.
- La integración de la ecuación de Planck sobre todas las longitudes de onda del espectro, brinda la ecuación de Stefan-Boltzmann. De ellas surge que la energía total (o potencia radiante) emitida por un cuerpo negro es función de la temperatura a la que se encuentra.
- En cuanto a la capacidad de la superficie del cuerpo (a temperatura mayor que el 0 K) de emitir radiaciones electromagnéticas, para una cierta temperatura:
  - una superficie de cuerpo negro emite energía en forma proporcional a la temperatura, sobre todo el espectro, en todas direcciones.
  - una superficie igual de un cuerpo no negro, emite una potencia proporcional, no sólo a la temperatura, sino a un coeficiente llamado emisividad  $\epsilon$  (entre 0 y 1), definido como la relación entre la energía electromagnética emitida por una superficie a una temperatura dada y la de una superficie igual de un cuerpo negro a la misma temperatura.
- Se define como negra una superficie donde el coeficiente de emisividad es igual a 1.