TEMA 48

MAGNITUDES RADIANTES, LUMINOSAS Y FOTÓNICAS

48.1 TERMINOLOGÍA Y UNIDADES.

En general existe una cierta confusión en la utilización de los símbolos y unidades de las magnitudes radiantes y luminosas (fotométricas) [1].

Es importante distinguir entre magnitudes radiantes y las luminosas, si no se quiere incurrir en graves errores.

La energía radiante se puede evaluar desde el punto de vista puramente físico mediante la utilización de unidades de energía. Esta energía también se puede evaluar mediante unidades fotométricas. En consecuencia, los dos tipos de magnitudes; radiantes y fotométrica, están representadas por el mismo símbolo, distinguiéndose únicamente por el subíndice. Cuando se usa el subíndice ***e*** o se omite el subíndice, estamos designando una magnitud física, y cuando se usa el subíndice ***v*** se está designando una magnitud fotométrica.

Si las magnitudes se consideran como energía radiante monocromática, son función de la longitud de onda; se deben designar añadiendo el adjetivo ***espectral***. La forma de designar la magnitud es utilizando, entre paréntesis, la letra griega lambda **λ**, por ejemplo la irradiancia espectral se representa mediante **E(λ)** o $\mathbf{E_e(\lambda)}$.

Si se considera una cantidad **X** de una concentración espectral, debe precederse del término *espectral*, pero el símbolo se utiliza con subíndice, por ejemplo $\mathbf{X_\lambda = d\,X / d\,\lambda}$.

[1] La utilización de los símbolos y definiciones de forma homologada es imprescindible en la comunicación entre distintas comunidades científicas y diferentes países. Esta importancia ha sido reconocida por el sistema de unidades del CIE., (CIE, 1970), desde entonces se ha adherido el SI (1974). El sistema CIE había sido adoptado por diversas organizaciones científicas (ANS, 1967, Jones, 1963, Bell, 1959, Thomas, 1973).

48.2 MAGNITUDES RADIOMÉTRICAS.

Las principales magnitudes radiométricas son:

- ☞ Energía radiente.
- ☞ Densidad de energía radiante.
- ☞ Potencia o flujo radiante.
- ☞ Excitación radiante.
- ☞ Irradiancia.
- ☞ Intensidad radiante.
- ☞ Radiancia.
- ☞ Emisividad.

Que se definen a continuación.

48.2.1 ENERGÍA RADIANTE.

Cuando una sustancia se excita, como consecuencia de elevar su temperatura, irradia energía. Esta energía se denomina energía radiante. La energía puede ser irradiada durante un período de tiempo determinado o durante toda la vida del cuerpo radiante. También se puede expresar por unidad de volumen o de superficie, del cuerpo emisor.

Símbolo : Q, Q_e
Unidad : Julio (J)

48.2.2. DENSIDAD DE ENERGÍA RADIANTE.

A veces es útil considerar la energía por unidad de volumen o superficie, en este caso recibe el nombre de *densidad de energía radiante.*

Símbolo : w, w_e
Fórmula: $w = \frac{dQ}{dV}$
Unidad : Julio por metro cúbico ($J\ m^{-3}$)

48.2.3 POTENCIA O FLUJO RADIANTE.

Es la energía radiante emitida por la fuente luminosa en la unidad de tiempo.

Símbolo : Φ, Φ_e
Fórmula: $\Phi = \frac{dQ}{dt}$
Unidad: Vatio (W)

48.2.4 EXCITACIÓN RADIANTE.

Es la potencia radiante por unidad de superficie.

Símbolo : M, M_e

Fórmula : $M = \frac{d\Phi}{dA}$

Unidad : Vatio/metro cuadrado ($W.m^{-2}$)

48.2.5 IRRADIANCIA.

Es la potencia radiante incidente por unidad de superficie**.**

Símbolo : E, E_e

Fórmula : $E = \frac{d\Phi}{dA}$

Unidad : Vatio/metro cuadrado ($W.m^{-2}$)

48.2.6 INTENSIDAD RADIANTE.

Es el flujo radiante por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección.

Símbolo : I, I_e

Fórmula: $I = \frac{d\Phi}{d\omega}$

Unidad : Vatio por estereorradián ($W.sr^{-1}$)

48.2.7 RADIANCIA.

La radiancia de una superficie en una determinada dirección, es el cociente de la intensidad radiante en la dirección dada, por el área aparente de esa superficie.

Símbolo: L, L_e

Fórmula : $L = \frac{d^2\Phi}{d\omega.A.\cos\theta} = \frac{I}{dA.\cos\theta}$

Unidad : Vatio/metro cuadrado y segundo ($W.m^{-2}.s^{-1}$)

48.2.8 EMISIVIDAD.

Es el cociente entre la excitancia radiante de la superficie considerada y la del cuerpo negro a la misma temperatura.

Símbolo : ε

Fórmula : $\varepsilon = M/M_{bb}$

Unidad : Adimensional

TABLA 48.1

Magnitudes radiométricas fundamentales

Magnitud	***Símbolo***	***Unidad***	***Definición de la Unidad***	***Relaciones***
Energía radiante	Q	Julio (J)	Es la energía emitida por la fuente de luminosa.	
Densidad de energía radiante	w	Julio/m^3 (J m^{-3})	Energía radiante por unidad de volumen.	Q = w.V
Flujo radiante	Φ	Vatio (W)	Flujo emitido en un ángulo sólido unidad por una fuente con una intensidad luminosa de un vatio	Φ = I.ω
Excitancia radiante	M	vatio por m^2 (W m^{-2})	Es la potencia radiante por unidad de superficie	M = Φ/A
Irradiancia	E	vatio por m^2 (W m^{-2})	Flujo radiante de un vatio que recibe una superficie de 1 m^2	E = Φ/A
Intensidad radiante	I	vatio por estereorradián (W sr^{-1})	Irradiancia por unidad de ángulo sólido	I=Φ /ω
Radiancia	L	vatio por m^2 y estereorradián (W m^{-2} sr^{-1})	Intensidad radiante según la superficie normal al flujo	L = I/S
Emisividad	ε	Adimensional	Es el cociente entre la excitancia radiante de la superficie considerada y la del cuerpo negro a la misma temperatura.	ε = M/M_{bb}

48.3. MAGNITUDES LUMINOSAS.

Las principales magnitudes luminosas o fotométricas son:
- ☞ Energía luminosa o cantidad de luz.
- ☞ Densidad de energía luminosa.
- ☞ Flujo luminoso.
- ☞ Excitancia luminosa.
- ☞ Rendimiento luminoso.
- ☞ Intensidad luminosa.
- ☞ Intensidad de iluminación o iluminancia.
- ☞ Luminancia.
- ☞ Eficacia luminosa fotópica.
- ☞ Eficacia luminosa espectral máxima.

Que se definen a continuación.

48.3.1 ENERGÍA LUMINOSA O CANTIDAD DE LUZ.

Es la energía emitida por la fuente.

Símbolo : Q_v

Fórmula : $Q_v = K_m \int_0^\infty V(\lambda).Q_\lambda.d\lambda$

Unidad : Lumen - segundo (lm.s)

48.3.2 DENSIDAD DE ENERGÍA LUMINOSA.

Energía luminosa por unidad de volumen.

Símbolo : w_v

Fórmula: $w_v = \frac{dQ}{dV}$

Unidad : Lumen - segundo/metro cúbico ($lm.s.m^{-3}$)

48.3.3 FLUJO LUMINOSO.

Es la energía luminosa emitida por la fuente de luz en la unidad de tiempo.

Símbolo : Φ_v

Fórmula : $\Phi_v = \frac{dQ_v}{dt}$

Unidad : Lumen (lm)

48.3.4. EXCITANCIA LUMINOSA.

El flujo luminoso por unidad de superficie.

Símbolo : M_v

Fórmula : $M_v = \frac{d\Phi_v}{dt}$

Unidad : lumen/metro cuadrado (lm m^{-2})

48.3.5 RENDIMIENTO LUMINOSO.

Es la relación entre el flujo luminoso y el flujo radiante..

Símbolo : K

Fórmula : $K = \frac{\Phi_v}{\Phi}$

Unidad : Lumen.watio^{-1} (lm.W^{-1})

48.3.6 INTENSIDAD LUMINOSA .

Es el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección.

Símbolo : I_v

Fórmula : $I_v = \frac{d\Phi_v}{d\omega}$

Unidad : Candela (lumen. estereorradián^{-1}) (cd = lm. sr^{-1})

La candela es la unidad fundamental de luminotecnia en el S.I. y se define como: "*1/60 de la intensidad luminosa por centímetro cuadrado del cuerpo negro a la temperatura de fusión del platino (2046 ºK)*"

48.3.7 INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN O ILUMINANCIA.

Densidad de flujo que incide sobre una superficie iluminada[2].

Símbolo : E_v

Fórmula : $E_v = \frac{d\Phi_v}{dA}$

Unidad : Lux (Lumen/metro cuadrado) (lm.m^{-2})

[2]En los países anglosajones se utiliza la unidad, Foot-candles (fc) = lumen/pie cuadrado ≈ 10 lux

48.3.8 LUMINANCIA.

Luminancia de una superficie en una determinada dirección, es el cociente de la intensidad luminosa en la dirección dada, por el área aparente de esa superficie.

Símbolo: L_v

Fórmula : $L_v = \frac{d^2\Phi_v}{d\omega . A . \cos\theta}$

Unidad : Nit (Candela/metro cuadrado) ($cd.m^{-2}$)

48.3.9 EFICACIA LUMINOSA FOTÓPICA.

La eficacia luminosa fotópica de una fuente luminosa en una determinada longitud de onda, es el cociente entre la eficacia luminosa en esa longitud de onda y la eficacia total.

Símbolo : $V(\lambda)$

Fórmula : $V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K}$

Unidad : Adimensional

48.3.10 EFICACIA LUMINOSA ESPECTRAL MÁXIMA.

Es la máxima eficacia luminosa fotópica.

Símbolo : K_m.
Fórmula : $K_m \approx 680$ a $\lambda = 555$ nm
Unidad : Lumen/vatio ($lm\ W^{-1}$)

TABLA 48.2

Magnitudes luminosas fundamentales

Magnitud	*Símbolo*	*Unidad*	*Definición de la Unidad*	*Relaciones*
Energía luminosa	Q_v	lumen por segundo (lm s)	Es la energía emitida por la fuente.	
Densidad de energía luminosa	w_v	Lumen por segundo/metro cúbico (lm s m^{-3})	Densidad de energía luminosa por unidad de volumen.	$Q_v = w_w.V$
Flujo luminoso	Φ_v	Lumen (lm)	Flujo emitido en un ángulo sólido unidad por una fuente con una intensidad luminosa de una candela	$\Phi_v = I_v.\omega$
Excitancia luminosa	M_v	Lumen/metro cuadrado (lm m^{-2})	Es el flujo luminoso por unidad de superficie.	$\Phi_v = M_v.A$
Iluminancia	E_v	Lux (lx)	Flujo luminoso de un lumen que recibe una superficie de 1 m^2	$E_v = \Phi_v/S$
Intensidad luminosa	I_v	Candela (cd)	1/60 de la intensidad luminosa por cm^2 del *cuerpo negro* a la temperatura de fusión del platino (2.046ºK)	$I_v = \Phi_v/\omega$
Luminancia	L_v	Candela/metro cuadrado (cd m^{-2})	En una determinada dirección, es el cociente entre la intensidad luminosa en la dirección dada, y el área aparente de esa superficie.	$L_v = I_v/A$
Rendimiento luminoso	K	Lumen por vatio (lm/W)	Flujo luminoso emitido por unidad de flujo radiante	$K = \Phi_v/\Phi$
Eficacia luminosa fotópica	$V(\lambda)$	Adimensional	En una determinada longitud de onda, es el cociente entre la eficacia luminosa en esa longitud de onda y la eficacia total.	$V(\lambda) = K(\lambda)/K$
Eficacia luminosa espectral máxima	K_m	Lumen/vatio (lm W^{-1})	Es la máxima eficacia luminosa fotópica.	$K_m = 680$ $\lambda = 555$ nm

48.4. MAGNITUDES FOTÓNICAS.

Las principales magnitudes fotónicas son:
- ☞ Número fotónico.
- ☞ Flujo fotónico.
- ☞ Intensidad fotónica.
- ☞ Radiancia fotónica.
- ☞ Irradiancia fotónica.
- ☞ Exposición fotónica.
- ☞ Excitancia fotónica.

que se definen a continuación.

48.4.1 NÚMERO FOTÓNICO.

Es el número de fotones emitido por una fuente de energía radiante:

Símbolo: N_p

El número de fotones N_p se obtiene a partir de la concentración espectral de energía radiante Q_λ o Q_ν mediante la ecuación:

$$dN_p = Q_\nu . d\nu \left(\frac{1}{h\nu}\right) = Q_\lambda . d\lambda \left(\frac{\lambda}{hc}\right)$$

$$N_p = \int dN_p = \frac{1}{h}\int \frac{Q_\nu}{\nu} . d\nu = \frac{1}{hc}\int Q_\lambda . \lambda . d\lambda$$

Donde:

ν = frecuencia.
h = constante de Planck
λ = longitud de onda
c = velocidad de la luz

48.4.2 FLUJO FOTÓNICO.

Es el número de fotones emitidos, transferidos o recibidos en la unidad de tiempo.

Símbolo : Φ_p

$$\Phi_p = \frac{dN_p}{dt}$$

Unidad: 1 por segundo (s^{-1})

48.4.3 INTENSIDAD FOTÓNICA.

La intensidad fotónica de una superficie en una dirección, es el flujo fotónico emitido por la fuente y propagado en un elemento de ángulo sólido en la citada dirección, por elemento de ángulo sólido.

Símbolo: I_p

$$I_p = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

Unidad : 1 por segundo por estereorradián (s^{-1} sr^{-1})

48.4.4 RADIANCIA FOTÓNICA.

La radiancia fotónica en una dirección, en un punto de la superficie de una fuente o de un receptor, es el flujo fotónico emitido o recibido en un elemento de superficie alrededor del punto y propagado en una dirección definida por un elemento de cono contenido en la dirección dada, por el producto del ángulo sólido del cono y el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre el plano perpendicular a la cita dirección.

Símbolo: L_p

$$L_p = \frac{d^2\Phi_p}{d\omega . dA \cos\theta}$$

Unidad : 1 por segundo por estereorradián por metro cuadrado (s^{-1} sr^{-1} m^{-2})

48.4.5 IRRADIANCIA FOTÓNICA.

La irradiancia fotónica en un punto de una superficie, es el flujo incidente sobre un elemento de la superficie que contenga el punto, dividido por el área del elemento.

Símbolo: E_p

$$E_p = \frac{d\Phi}{dA}$$

Unidad : 1 por segundo por metro cuadrado (s^{-1} m^{-2})

48.4.6 EXPOSICIÓN FOTÓNICA.

La exposición fotónica en un punto de una superficie es el número de fotones recibidos por unidad de superficie.

Símbolo: H_p

$$H_p = \frac{dN_p}{dA} = \int E_p.dt$$

Unidad : 1 por metro cuadrado (m^{-2})

También se puede definir por el producto de la irradiancia fotónica en una cantidad de tiempo.

48.4.7 EXCITANCIA FOTÓNICA.

Es el flujo fotónico emitido por un elemento de superficie que contenga el punto, dividido por el elemento de superficie.

Símbolo: M_p

$$M_p = \frac{d\Phi_p}{dA} = \int L_p \cos\theta.d\omega$$

Unidad : 1 por segundo y metro cuadrado (s^{-1} m^{-2})

48.5. UNIDADES UTILIZADAS EN IRRADIACIÓN ARTIFICIAL DE PLANTAS.

Aunque no existe un acuerdo universal en lo concerniente a la terminología usada en medidas de irradiación de plantas, sugerimos las recomendaciones de los comités internacionales de *L'Eclairage (CIE), National Boureau of Weights and Measures* e *International Commitee on Radiaton Units.*

48.5.1. EINSTEIN.

La unidad fundamental para expresar la cantidad de radiación recibida es el *einstein (E)*. Esta unidad indica una cantidad de radiación equivalente a un mol de fotones, es decir, **$6{,}02.10^{23}$ fotones**[3].

[3] Con respecto a la expresión einstein, Incol y colaboradores, en 1977 sugirieron que esta magnitud debería expresarse en unidades de molaridad, pero en la actualidad la unidad einstein se utiliza como tal con su propio significado.

Es de notar que según la definición dada del einstein, este término es aplicable tanto desde el punto de vista cuántico, en el que representaría el número de fotones, como desde el punto de vista energético, en el que teniendo en cuenta la longitud de onda de los mismos, indicaría la energía total de la radiación incidente según la ecuación de Plank.

$$J = h.\frac{c}{\lambda} \qquad (48.4)$$

Siendo:
J : Energía del fotón, expresada en julios.
h : Constante de Plank.
c : Velocidad de la luz.
λ : Longitud de onda.

El einstein y sus submúltiplos se utilizan para cuantificar el número de fotones incidentes de radiación fotosinteticamente activa.

48.5.2. RADIACIÓN FOTOSINTETICAMENTE ACTIVA (PAR).[4]

Se define como la radiación comprendida entre los 400 y los 700 nm de longitud de onda, que posee actividad fotosintética.

El término PAR abarca simultáneamente los conceptos fotónicos[5] y energéticos.

48.5.3. DENSIDAD DE FLUJO FOTÓNICO FOTOSINTETICAMENTE ACTIVO (PPFD).[6]

Se define como la densidad de flujo de fotones de PAR. PPFD es el número de fotones incidentes con longitudes de onda comprendidas entre 400 y 700 nm, por unidad de superficie.

El sensor ideal PPFD debe responder por igual a todos los fotones que incidan en el intervalo de longitudes de onda comprendidos entre los 400 y los 700 nm, y tiene que tener respuesta coseno.

Esta magnitud física es medida por un sensor cuántico coseno.

La unidad es:

$$1\mu Es^{-1}m^{-2} = 6{,}02.10^{17}\, fotones.s^{-1}m^{-2}$$

[4] En inglés *Photosymthetically Active Radiation (PAR)*

[5] El concepto fotónico es el preferido por McCree (1972)

[6] En inglés *Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD).*

48.5.4.PROPORCIÓN DE FLUJO INCIDENTE DE FOTONES FOTOSINTETICAMENTE ACTIVO (PPFFR)[7].

Se define como la proporción de flujo incidente de fotones de PAR.

PPFFR es la integral de la irradiancia de flujo fotónico en un punto sobre todas las direcciones cerca del mismo.

PPFFR es los mismo que PPFD para una radiación colimada incidente normal. Es 4π veces PPFD en la radiación difusa total.

El sensor ideal PPFFR tiene una superficie colectora esférica que presenta la propiedad de recibir en coseno, respondiendo igual en todos los puntos de su superficie, a todos los fotones que inciden con longitudes de onda comprendidas entre 400 y 700 nm.

Esta magnitud física es medida por un sensor cuántico esférico (4π colector).

La unidad es: $1\mu E.s^{-1}.m^{-2} = 6{,}02.10^{17}\ fotones.s^{-1}m^{-2}$

48.5.5. IRRADIANCIA FOTOSINTETICAMENTE ACTIVA (PI)[8].

Se define como la densidad de flujo de la energía radiante de PAR.

PI es la energía radiante, entre 400 y 700 nm, incidente por unidad de tiempo y unidad de superficie.

El sensor PI responde por igual a la energía incidente entre 400 y 700 nm de longitud de onda, y tiene una respuesta coseno.

Esta magnitud es medida por un sensor coseno PI.

La unidad es: $W.m^2$

48.6. REFLEXIÓN, TRANSMISIÓN Y ABSORCIÓN.

A continuación se dan unos conceptos fundamentales sobre reflexión, transmisión y absorción, definiendo los tipos más importantes.

[7] En inglés *Photosynthetic Photon Flux Fluence Rate.*

[8] En inglés *Photosynthetic Irradiance.*

48.6.1 REFLEXIÓN.

Si un rayo o haz de rayos luminosos inciden sobre un superficie especular, se reflejan de forma que el ángulo de incidencia sea igual al de reflexión.

En la reflexión de la energía radiante interviene la constitución de la superficie reflectante, distinguiendose respecto a la misma los siguientes tipos:

Reflexión especular: Reflexión sin difusión de acuerdo con las leyes de la reflexión óptica como en un espejo.

Reflexión difusa: Difusión por reflexión en la cual, considerada a escala macroscópica, no sería reflexión regular.

Reflexión difusa isotrópica: Reflexión difusa en la cual la distribución espacial de la energía radiante reflejada es tal que la radiancia (luminancia) es la misma en todas las direcciones del hemisferio de incidencia.

Reflexión mixta: Es aquella en la que una parte es regular y otra difusa.

Reflexión reflejada o retroreflexión: Es la reflexión en la cual la energía radiante retorna en la misma dirección en que partió.

Este propiedad se mantiene en un gran intervalo a partir de la dirección de la energía radiante incidente.

Reflectancia: Relación entre el flujo radiante (luminoso) reflejado y el flujo incidente.

Símbolo: ρ

Reflectancia espectral $\rho(\lambda) = \frac{\Phi_{\lambda\rho}}{\Phi_{\lambda}}$

Donde:

$\Phi_{\lambda\rho}$ = Flujo radiante espectral reflejado.
Φ_{λ} = Flujo radiante espectral incidente.

Cuando la reflexión mixta aparece, la reflectancia total debe ser dividida en dos partes, reflectancia regular ρ_r y reflectancia difusa ρ_d, correspondiendo, respectivamente, a los dos modos de reflexión referidos en la definición de reflexión regular y reflexión difusa:

$\rho = \rho_r + \rho_d$

Reflectancia regular: Es la proporción del flujo incidente radiante (luminoso) que pasa a reflexión regular.

Símbolo: ρ_r

Reflectancia difusa: Es la proporción del flujo radiante (luminoso) que pasa a reflexión difusa.

Símbolo: ρ_d

Reflectividad: Es la reflectancia de una capa de material de tal espesor que no experimente cambios de reflectancia, aunque incremente su espesor.

Símbolo: ρ_∞

Densidad de reflexión óptica: Es el logaritmo decimal del recíproco de la reflectancia.

Símbolo: D

La ecuación de definición es:

$$D(\lambda) = \log[\frac{1}{\rho(\lambda)}]$$

Reflectancia espectral Fresnel: Si un cuerpo transparente y absorbente (índice de refracción **n**, indice de absorción **k**) tiene superficies pulidas y capas superficies continuas, la reflectancia Fresnel $\boldsymbol{\rho_p(\lambda)}$ y $\boldsymbol{\rho_s(\lambda)}$ pueden ser calculadas para los componentes de los flujos que están polarizados paralela o normalmente al plano de incidencia, respectivamente.

Para un material no absorbente (k=0) con un ángulo de incidencia $\boldsymbol{\theta}$ y un ángulo de refracción $\boldsymbol{\theta'}$, las dos componentes pueden ser calculadas como sigue (en estas ecuaciones se ha omitido el símbolo $\boldsymbol{\lambda}$, que indica la longitud de onda)

$$\bar{\rho}_s = [\frac{\cos\theta - (n^2 - sen^2\theta)^{½}}{\cos\theta + (n^2 - sen^2\theta)^{½}}]^2 = \frac{sen^2(\theta - \theta')}{sen^2(\theta + \theta')}$$

$$\bar{\rho}_p = [\frac{n^2\cos\theta - (n^2 - sen^2\theta)^{½}}{n^2\cos\theta + (n^2 - sen^2\theta)^{½}}]^2 = \frac{tang^2(\theta - \theta')}{tang^2(\theta + \theta')} \qquad (48.1)$$

Para la energía radiante polarizada, la reflectancia total Fersnel está dada por:

$$\bar{\rho}_t = ½.(\bar{\rho}_s + \bar{\rho}_p) \qquad (48.2)$$

Con un ángulo de incidencia θ = 0 (índice 0) la ecuación (48.1) se puede expresar como:

$$\rho_0 = \rho_{t,0} = \rho_{s,0} = \rho_{p,0} = \left[\frac{n-1}{n+1}\right]^2 \qquad (48.3)$$

Factor de radiancia espectral:

$$\beta(\lambda) = \frac{L_\lambda}{L_{\lambda w}} \qquad (48.4)$$

[9]

Donde:

L_λ = Radiancia espectral del medio.
$L_{\lambda w}$ = Radiancia espectral del difusor reflectante perfecto.

En el caso de medio fluorescente, el factor de radiancia (o iluminancia), es la suma de otras dos porciones; el factor de radiancia (o iluminancia) de reflexión, β_s y el factor de radiancia (o iluminancia) fluorescente β_L[10].

$\beta_T = \beta_s + \beta_L$

Factor de radiancia (luminancia) reflejada:Es la relación entre la radiancia (luminancia) debida a la reflexión del medio y la del difusor reflectante perfecto idénticamente irradiado (iluminado).

Símbolo: β_S

Factor de radiancia (iluminancia) fluorescente: (en un elemento representativo de la superficie de un medio, en una dirección dada, bajo condiciones específicas de irradiación (o iluminación) debido a la fluorescencia del medio y a la radiancia (o iluminancia) de un difusor reflectante perfecto idénticamente irradiado (o iluminado).

El factor de radiancia (o iluminancia) fluorescente espectral, es una constante que depende también de la distribución de la energía radiada.

Factor reflectante: (en un elemento representativo de una superficie, para la parte de energía radiante reflejada en un cono dado con vértice en el elemento representativo de la superficie, y para la energía radiante incidente de una composición espectral y

[9] En el supuesto que se trate de un medio fluorescente, el factor de radiancia (luminancia) es igual a la suma de dos términos, el factor de radiancia (luminancia) reflejada β_s y el factor de radiancia (luminancia) fluorescente β_L (CIE, 1977; Grum y Costa, 1977) $\beta_T = \beta_S + \beta_L$

[10] CIE, 1977; Grum y Costa, 1977

distribución geométrica dada). Es la relación entre el flujo radiante (o luminoso) reflejado en la dirección delimitada por el cono, y el reflejado en la misma dirección por un difusor reflectante perfecto idénticamente irradiado (o iluminado).

Símbolo: R

48.6.2. TRANSMISIÓN.

Se conoce con el nombre de transmisión de la energía radiante, a su propagación a través de los cuerpos transparentes o traslucidos.

Transmitancia: Es la relación entre el flujo radiante (luminoso) transmitido y el flujo incidente.

Símbolo: τ

Medio transparente: Es un medio en que la transmisión es principalmente regular y tiene una alta transmitancia regular.

Los objetos se ven claramente a través de un medio apreciándose con su verdadera forma geométrica.

Medio translucido: Es un medio que transmite íntegramente la luz, o casi íntegramente, pero con transmisión difusa.

En general los objetos no se ven claramente.

Medio opaco: Es un medio que no transmite energía radiante o prácticamente casi nada.

Transmisión regular o directa: Es la transmisión sin difusión.

Transmisión difusa: Es la transmisión en la que la difusión aparece con independencia, en escala macroscópica, de las leyes de la refracción.

Transmisión difusa isotrópica: Es la transmisión difusa en la que la distribución espacial de la energía radiante transmitida es tal que, la radiancia (o iluminancia) es la misma en todas direcciones del hemisferio, en que la energía radiente es transmitida.

Transmisión mixta: Es la transmisión en que una parte es regular y otra difusa.

Transmitancia regular: Es la relación entre el flujo radiante (o luminoso) que después de pasar a través del medio se convierte en regular, y el flujo radiante (o luminoso) incidente.

Símbolo: τ_r

Transmitancia difusa: Es la relación entre el flujo radiante (o luminoso) que después de pasar a través del medio se convierte en difuso, y el flujo radiante (o luminoso) incidente.

Símbolo: τ_d

Transmitancia espectral: La transmitancia espectral está definida por la expresión:

$$\tau(\lambda) = \frac{\Phi_{\lambda\tau}}{\Phi_{\lambda}}$$

Donde:

$\Phi_{\lambda\tau}$ es el flujo radiante espectral transmitido.
$\Phi\lambda$ es el flujo radiante espectral incidente.

Donde la transmisión mixta aparece, la transmitancia total puede ser dividida en dos partes, la transmitancia regular τ_r y la transmitancia difusa τ_d. Por tanto se cumple:

$$\tau = \tau_r + \tau_d$$

Transmitancia interna espectral (de una capa homogénea no difusa): Es la relación entre el flujo radiante espectral $(\Phi_\lambda)_{ex}$ que alcanza la superficie de salida de la capa, y el flujo espectral $(\Phi_\lambda)_{in}$ que deja entrar la superficie.

El símbolo es τ_i (λ)

De acuerdo con lo expuesto se cumple:

$$\tau_i(\lambda) = \frac{\Phi_{\lambda_{ex}}}{\Phi_{\lambda_{\epsilon}}}$$

Para una capa determinada, la transmitancia interna espectral depende de la longitud de la trayectoria de la energía radiante en la capa y por tanto, en particular, del ángulo de incidencia.

Transmitancia espectral (de un material absorbente): Es la transmitancia interna espectral de una capa de material tal que, la trayectoria de la energía radiante sea de longitud unidad, y bajo condiciones en que la capa externa del material no tenga influencia.

El símbolo es: $\tau_{io}(\lambda)$

48.6.3. ABSORCIÓN.

En los fenómenos de reflexión y transmisión, parte de la energía radiante que incide sobre los cuerpos es absorbida en mayor o menor proporción según la constitución del material que los componen.

De aquí que los fenómenos de reflexión, transmisión y absorción tengan una estrecha relación. La absorción juega un importante papel en el colo de los cuerpos.

La absorción siempre representa una pérdida de energía radiante.

Podemos definir la absorción como una transformación de energía radiante, en una forma diferente de energía por interacción de la materia.

Absorbancia: Es la relación entre el flujo radiante (luminoso) espectral absorbido y el flujo incidente.

Símbolo: α

Absorbancia espectral: La absorbancia espectral está definida por la expresión:

$$\alpha(\lambda) = \frac{\Phi_{\lambda\alpha}}{\Phi_{\lambda}}$$

Donde:

$\Phi_{\lambda\alpha}$ es el flujo radiante espectral absorbido.
$\Phi\lambda$ es el flujo radiante espectral incidente.

Densidad de transmisión (óptica): Es el logaritmo decimal, del reciproco de la transmitancia.

Símbolo: D

Fórmula: $D(\lambda) = \log_{10}\frac{1}{\tau(\lambda)}$

Densidad de transmisión espectral interna: Es el logaritmo decimal del recíproco de la transmitancia espectral interna.

Símbolo es A(λ).

Fórmula: $A(\lambda) = \log_{10}\frac{1}{\tau_i(\lambda)}$

Para una capa dada, la densidad de transmisión espectral interna depende de la longitud de la trayectoria de la energía radiante en la capa, y en consecuencia del ángulo de incidencia.

Ocasionalmente se usa el logaritmo natural en lugar del logaritmo decimal, la correspondiente magnitud es denominada densidad de transmisión interna neperiana.

Fórmula: $A(\lambda) = \log_e \frac{1}{\tau_i(\lambda)}$

Absorbancia interna espectral (de una capa homogénea no difusa): Es la relación entre el flujo radiante espectral absorbido entre las superficies de entrada y salida de la capa, y el flujo radiante espectral que deja entrar la superficie.

Símbolo: $\alpha_i (\lambda)$

Fórmula:

$$\alpha_i(\lambda) = \frac{(\Phi_\lambda)_{inte} - (\Phi_\lambda)_{exte.}}{(\Phi_\lambda)_{inte.}}$$

Donde:
$(\Phi_\lambda)_{inte}$, significa el flujo que entra por la superficie de entrada.
$(\Phi_\lambda)_{ext.}$, significa el flujo que sale por la superficie de salida.

Absorbancia espectral (de un material absorbente): Es la absorbancia interna espectral de una capa de material tal que la trayectoria de la energía radiante es de longitud unidad y bajo condiciones en que el límite del material no tenga influencia.

Símbolo: $\alpha_{io} (\lambda)$

La unidad de longitud de la trayectoria usada debe ser especificada.

Coeficiente de absorción espectral lineal (de un medio absorbente): Es la relación entre la densidad de transmisión interna neperiana y la longitud de la trayectoria, *l* atravesada por la energía radiante.

Símbolo: a(λ)

Fórmula: $a(\lambda) = \frac{A_n(\lambda)}{l}$

Unidad: m^{-1}

El coeficiente de absorción espectral lineal es también la parte del coeficiente de alteración lineal espectral que es debido a la absorción.

Índice de absorción espectral: El índice de absorción espectral es usado para muchos materiales absorbentes, en vez del coeficiente de absorción lineal espectral.

Símbolo: K(λ)

Fórmula: $K(\lambda) = \frac{\lambda}{4\pi}.a(\lambda)$

Coeficientes de absorción: Los coeficientes de absorción espectral de algunas materias ópticas transparentes (como por ejemplo cristales isotrópicos, líquidos homogéneos y gases a temperatura y presión normales) son característicos de estos materiales.

Para soluciones solubles de materiales absorbente y no absorbentes, los coeficientes de absorción espectral relativa, definidos más abajo, son obtenidos dividiendo por la concentración. Estos coeficientes son característicos de las sustancias disolventes, de acuerdo con la *Ley de Beer*, siempre que sus estados de agregación y solución sean independientes de la naturaleza del solvente y de la concentración.

Coeficiente de absorción espectral molar: Es el cociente entre el coeficiente de absorción espectral a(λ), y la concentración molar C de una solución de material absorbente.
Símbolo: $a_c(\lambda)$

Fórmula:

$$a_c(\lambda) = \frac{a(\lambda)}{c} = \frac{1}{c}.\frac{A_n(\lambda)}{l}.\frac{2{,}30}{cl}.A(\lambda)$$

Unidad: litro por mol y centímetro ($l.mol^{-1}.cm^{-1}$)

Coeficiente de absorción masa espectral: Es el cociente entre el coeficiente de absorción espectral a(λ), y la densidad de masa del medio.

Coeficiente de absorción volumen espectral: Para un material en medio no absorbente, es el coeficiente de absorción espectral a(λ) y la concentración de volumen C_v del material, o por el tanto por ciento de la concentración en volumen.