TEMA 49

FUENTES LUMINOSAS ARTIFICIALES

49.1 PRINCIPIOS DE LAS FUENTES DE LUZ.

La luz se compone de radiaciones electromagnéticas en forma de ondas, por tanto, para su obtención es preciso mover cargas eléctricas. Estas radiaciones pueden producirse de forma variada, según las causas que las provoquen. Si la causa es exclusivamente la temperatura del cuerpo radiante, hablaremos de *termorradiación*, en todos los demás casos de *luminiscencia*.

49.2. TERMORRADIACIÓN.

Todo cuerpo cuando se calienta emite radiación (calor y luz). La energía de este tipo de radiación depende solamente de su capacidad calorífica. De acuerdo con la *Ley de Stefan-Bolztman*, la distribución espectral de la energía depende de su temperatura.

En la termorradiación, la producción de luz siempre va acompañada de radiación térmica, que en general, constituye una pérdida de energía (desde el punto de vista luminoso).

En la Fig.49.1 se ha representado los porcentajes de radiación visible en relación con la temperatura del cuerpo radiante.

Según se desprende de la Fig.49.1 el rendimiento máximo se obtiene a los 6.500ºK, por lo que sería inútil el aumento de temperatura del cuerpo, ya que el rendimiento no pasa del 40%.

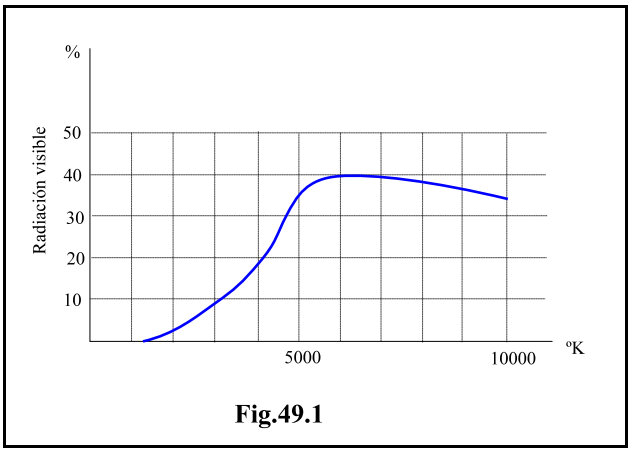


Fig.49.1

Los termorradiadores artificiales los podemos clasificar, siguiendo un orden cronológico, de la siguiente forma:

- Llama de alumbrado
- Arco eléctrico.
- Lámpara incandescente.
- Lámpara relámpago.

49.2.1. LLAMA DE ALUMBRADO.

Es el radiador térmico más antiguo que se conoce. Los tipos de radiadores que se encuentran clasificados en esta categoría son:

La tea[1]
La antorcha[2].
La lámpara de aceite o sebo[1].
La vela[3] .
La lámpara de petróleo[4].
La lámpara de gas:
  • Lámpara de gas con llama directa[5].
  • Lámpara de gas con camisa incandescente de Auer [6].

Hasta principio del siglo XIX no se emplearon lámparas de gas para obtener fuentes luminosas, hasta entonces lo más común eran las lámparas de aceite o sebo, las velas y las lámparas de petróleo. Pero a finales del siglo XIX, se produce un acontecimiento que va a revolucionar la producción de luz mediante la combustión, con la aparición de la lámpara de gas con camisa incandescente de Auer. Esta lámpara consistía en un tejido textil impregnado en una

---

1 Las primeras formas de lámpara eran palos ardientes o recipientes llenos de brasas

2 En casi todas las mitologías se hace referencia a cómo llegó el fuego a la humanidad. Así, se dice que el titán griego Prometeo robó la preciosa llama del monte Olimpo, residencia de los dioses o que encendió una antorcha con los rayos inflamados que emitía el carro del dios del sol Febo.

3 Los romanos utilizaban velas de cera de abejas, y las velas de sebo (grasa animal) empezaron a utilizarse en Europa en la edad media. En el siglo XVIII se fabricaron por primera vez velas con una cera obtenida a partir del aceite de ballena. Desde mediados del siglo XIX las velas normales se fabrican con una mezcla de parafina, ácido esteárico (un ácido graso sólido) y cera de abejas. También se usan aceites hidrogenados vegetales y otras ceras.

4 El químico suizo Aimé Argand inventó una lámpara que empleaba una mecha tubular encerrada entre dos cilindros metálicos. El cilindro interior se extendía hasta más abajo del depósito de combustible y proporcionaba un tiro interno. Argand también descubrió el principio del quinqué, en el que un tubo de vidrio mejora el tiro de la lámpara y hace que arda con más brillo y no produzca humo, además de proteger la llama del viento.

5 Después de que el ingeniero británico William Murdock introdujera el gas del alumbrado a finales del siglo XVIII, este combustible se empezó a usar para la iluminación de las ciudades. Se empleaban tres tipos de lámpara de gas: el quemador de tipo Argand, los quemadores de abanico, en los que el gas salía de una rendija o de un par de agujeros en el extremo del quemador y ardía formando una llama plana, y la lámpara de gas incandescente.

6 El químico Karl Auer, 1858-1929, inventa un mechero de gas con un manguito empapado en óxidos de torio y de cerio (mechero Auer), que da una luz muy clara.

tierra rara, la cual al ser calentada con una llama se ponía en estado de incandescencia y emitía una luz blanca y clara. Este tipo de lámpara se ha utilizado, fundamentalmente en alumbrado público, hasta hace pocas décadas.

49.2.2. ARCO ELÉCTRICO.

El *arco eléctrico* se produce cuando entre dos barras de carbón próximas se produce un arco eléctrico permanente. Este arco fue diseñado y presentado en 1810 por Davy[7] .

Este arco, que se produce en el aire, emite una radiación luminosa que supone el 5% de la potencia absorbida, el resto se pierde en los cráteres incandescentes que se producen en las barras de carbón, los cuales alcanzan temperaturas de 4.300 ºK. Las barras de carbón se conectan a una fuente de tensión continua, y la luz emitida corresponde; un 85% al ánodo y el 15% al cátodo.

Para iniciar un arco, se ponen en contacto los extremos de dos electrodos en forma de lápiz, por lo general de carbono, y se hace pasar una corriente intensa (unos 10 amperios) a través de ellos. Esta corriente provoca un gran calentamiento en el punto de contacto, y si a continuación se separan los electrodos, se forma entre ellos un arco similar a una llama. La descarga está producida por electrones que van desde el electrodo negativo al positivo, pero también, en parte, por iones positivos que se mueven en sentido opuesto. El impacto de los iones genera un intenso calor en los electrodos, pero el positivo se calienta más debido a que los electrones que golpean contra él tienen mayor energía total.

7

Humphry Davy (1778-1829), célebre químico británico, conocido especialmente por sus experimentos en electroquímica y por su invento de la lámpara de seguridad en la minas.
Davy nació el 17 de diciembre de 1778, en Penzance, Cornualles. En 1798 comenzó los experimentos sobre las propiedades médicas de los gases, durante los cuales descubrió los efectos anestésicos del óxido nitroso. Davy fue designado profesor adjunto de química en la recién fundada Institución Real de Londres en 1801 y al año siguiente se le nombró profesor de química en esa misma institución.
Durante los primeros años en dicha institución, Davy comenzó sus investigaciones sobre los efectos de la electricidad en los compuestos químicos. En 1807 recibió el premio Napoleón del Instituto Francés por su trabajo teórico y práctico iniciado el año anterior. Fabricó la mayor batería construida hasta entonces, con 250 células y pasó una corriente eléctrica potente a través de soluciones de varios compuestos sospechosos de contener elementos químicos no descubiertos. Davy aisló rápidamente con este método electrolítico el potasio y el sodio. También preparó calcio con el mismo método. En experimentos posteriores, no descritos, descubrió el boro y demostró que el diamante está compuesto de carbono. Davy mostró, asimismo, que las llamadas tierras raras eran óxidos de metales en lugar de elementos. Sus experimentos con los ácidos indicaron que es el hidrógeno, y no el oxígeno, el que produce las características de los ácidos. Davy también realizó descubrimientos notables sobre el calor.
En el campo de la ciencia aplicada, Davy inventó la lámpara de seguridad para los mineros en 1815. Por esto y por las investigaciones descritas recibió la medallas de oro y plata de Rumford de la Sociedad Real. En 1823 propuso un método para evitar la corrosión de los fondos de cobre de los barcos que consistía en hacer revestimientos de hierro y cinc. Fue nombrado sir en 1812 y fue elevado al rango de baronet en 1818. En 1820 fue presidente de la Sociedad Real. Davy murió el 29 de mayo de 1829 en Ginebra.
Entre sus obras destacan *Elementos de la filosofía química* (1812) y *Elementos de la química agrícola* (1813).

49.2.3. LÁMPARA DE INCANDESCENCIA.

La lámpara de incandescencia está basada en la propiedad que tienen los conductores lineales de calentarse cuando son recorridos por una corriente eléctrica. Si una resistencia se coloca en el vacío, y se somete a una corriente eléctrica, se pone en estado incandescente y emite una radiación luminosa de color rojo-blanco a temperaturas comprendidas entre los 2.000 y los 3.000 ºK.

Las lámparas, que se utilizaron desde 1854 hasta 1909, tenían el filamento emisor de carbón de bambú o papel coquizados. El punto de fusión de estos elementos era de 3.700 ºK, pero sólo se fabricaban para que alcanzasen una temperatura de 1.900 ºK debido al elevado índice de vaporización que tenían los filamentos emisores. El rendimiento luminoso de estas lámparas apenas alcanzaba $5\ lm.W^{-1}$.

A principio del siglo XX, se inician una serie de experiencia con objeto de encontrar un filamento que permitiese alcanzar mayores temperaturas, y en consecuencia mejorar el rendimiento de las lámparas. Se observó que los elementos que mejor servían para sustituir al filamento orgánico eran el osmio, el tántalo y el wolframio. De los tres se seleccionó el volframio, el cual presenta un punto de fusión de 3.400 ºK, y mucho menor índice de vaporización que el filamento orgánico.

A partir de 1.909 se logró someter el volframio a un proceso de estirado logrando filamentos de muy pequeña sección. Para lograr filamentos de suficiente longitud en la reducida dimensión que presenta el interior de la lámpara, se montaron en zigzag y posteriormente en espiral simple y doble.

De esta forma se obtuvieron lámparas que, con una duración media de 1.000 horas a temperaturas de 2.400 ºK, producían rendimientos de hasta $10\ lm.W^{-1}$.

49.2.4. LÁMPARA RELÁMPAGO.

Las lámparas relámpago son las que emiten una luz nítida en un espacio de tiempo muy pequeño (de ahí su nombre). Para lograrlo, se produce la combustión instantánea de láminas de metal en el interior de ampollas de vidrio insufladas con oxígeno. La ignición se produce mediante un encendido eléctrico.

49.3. LUMINISCENCIA.

La luminiscencia abarca todos los fenómenos luminosos que no tiene su origen exclusivo en la termorradiación. Estos fenómenos se producen, cuando los electrones de las moléculas emiten radiación electromagnética al ser excitados. El fenómeno de la luminiscencia lo vamos a estudiar partiendo del modelo atómico de Bohr.

De acuerdo con este modelo, los átomos están constituidos por un núcleo positivo formado por protones y neutrones rodeado de una nube electrónica negativa constituida por los electrones. Los electrones giran alrededor del núcleo de forma análoga a como lo hacen los planetas alrededor del Sol. Cuando un átomo está en equilibrio, el número de cargas positivas del núcleo es igual al número de cargas negativas de los electrones. A este equilibrio se le denomina *estado fundamental* del electrón.

En la Fig.49.2 se ha representado este modelo. Para el electrón de la capa más interna se ha utilizado la línea de base **f**.

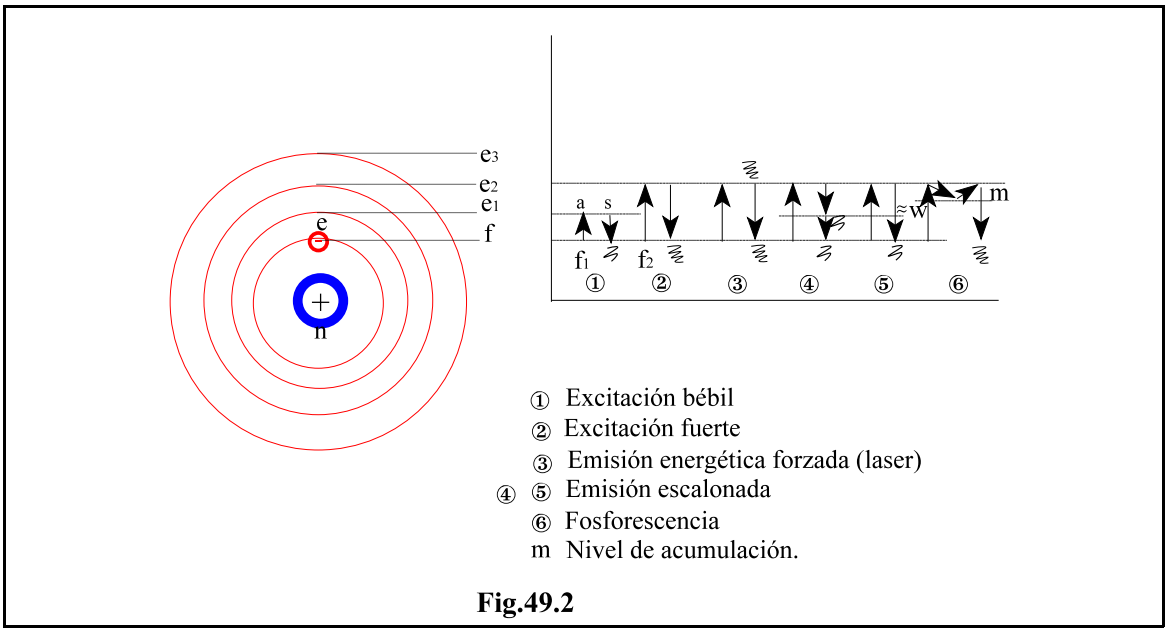


Fig.49.2

Supongamos que se le comunica una energía al electrón **e**, es decir se le somete a una *excitación.* Como consecuencia de dicha excitación, el electrón es desplazado de su órbita (o capa) a otra más externa, esto se traduce en una absorción de energía, **a** . Una vez transcurrido un tiempo muy pequeño de permanencia en dicha capa, el electrón volverá a su capa fundamental, es decir a **f**. En esta vuelta, cede energía que se puede manifestar en forma de radiación electromagnética.(caso ❶)

Si la energía que se le suministra al electrón es mayor, pasará a otra capa superior, y la cesión de energía en forma de radiación electromagnética al volver a su capa fundamental **f,** será mayor (caso ❷).

En este modelo cada capa a la que puede desplazarse el electrón tiene un nivel energético determinado, lo cual significa que para excitar un átomo es preciso suministrarle una cantidad determinada de energía, sin que existan estados intermedios. La energía suministrada es devuelta en forma de radiación o de calor, cuando recupera su estado fundamental. En el caso ❺ se produce radiación calorífica cuando el electrón vuelve a su capa fundamental.

La emisión de energía se realiza en forma de *cuantos*, de acuerdo con la hipótesis de Planck. A partir de la teoría de Planck, los diferentes elementos al ser excitados emiten un espectro discontinuo correspondiente a diferentes longitudes de onda, a estos espectros se les conoce como *espectro de líneas.* De esta forma, cada sustancia tiene un espectro característico.

49.4. DESCARGA ELÉCTRICA EN EL SENO DE UN GAS.

En los gases contenidos en el interior de las lámparas de descarga, junto con los átomos de gas, existen electrones algunas veces por naturaleza y otras despedidos por el cátodo.

Sea la Fig.49.3, en la que se ha representado un tubo de descarga al que se ha aplicado una diferencia de potencial continua. Como consecuencia de la cual, se ha formado un campo eléctrico entre los electrodos de los extremos, cátodo **C** y ánodo **A**.

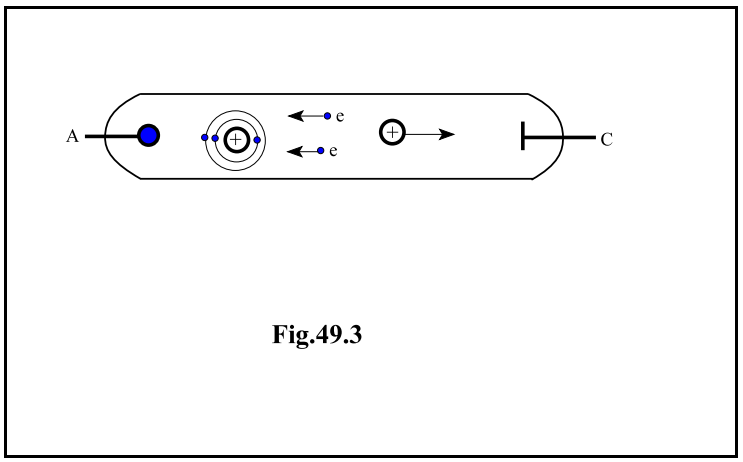


Fig.49.3

El campo eléctrico formado en el interior del tubo es capaz de acelerar los electrones presentes en su seno, precipitándolos al ánodo. Estos electrones en su camino poseen la energía suficiente para *excitar* un átomo de gas tal como se ha señalado en el apartado anterior. La velocidad del electrón puede ser tal, que en el choque con el átomo de gas, arranque algún electrón de su nube electrónica, con lo cual se formará un ión positivo, al quedar el átomo con un electrón de menos, y un electrón desprendido. Este proceso se denomina *ionización de choque*. De esta forma, se produce una reacción en cadena al aumentar de forma progresiva los electrones libres, razón por lo que es preciso dotar al tubo de un estabilizador capaz de limitar la corriente.

Los iones positivos, que se han descrito más arriba, se dirigen al cátodo, pero debido a su menor velocidad, no provocan ninguna excitación en las partículas con las que se encuentran. De hecho, transcurrido un breve tiempo captan un electrón para volver a su estado fundamental, a cambio de emitir una cierta energía.

Los fenómenos que se acaban de describir se producen en el interior del tubo de descarga. El volumen comprendido entre el ánodo y el cátodo forma una columna gaseosa, pero no en toda ella se produce radiación luminosa sino que se pueden distinguir distintas zonas (ver tubo de Geissler, Fig. 50.3).

Si en vez de conectar los electrodos del tubo a una fuente de corriente continua se hiciese a una de alterna, los electrodos cambiarían de polaridad tantas veces como fuese la frecuencia

de la tensión, con lo cual se producirían cambios periódicos de polaridad en los electrodos, pero el fenómeno descrito más arriba se produce de la misma forma.

Las descargas en el seno de los gases, que producen radiación luminosa, serán distintas según la presión en el interior del tubo, en consecuencia los tubos de descarga se pueden clasificar en dos tipos:

Tubos de descarga, con baja presión.
Tubos de descarga, con alta presión.

Cuanto mayor sea la presión, mayor será la anchura de las líneas espectrales, por lo que mejor será el espectro cromático.

Las lámparas de descarga poseen un metal, que a la temperatura ambiente está en estado sólido o líquido (mercurio), por ello se necesita la incorporación dentro del tubo de una gas noble que facilite el arranque.

49.5. RADIACIÓN POR EMISIÓN FORZADA.

En la Fig.49.2 se ve que, cuando se excita un átomo para que se produzca la luminiscencia, el electrón permanece un tiempo en un nivel superior de energía antes de que vuelva a su estado fundamental, en este paso se libera energía en forma de radiación. Pero supongamos que durante el tiempo que el electrón está en un nivel energético superior, es interceptado por un rayo luminoso, tal que tenga su misma longitud de onda, y que proceda de una fuente exterior (caso ❸ de la Fig.49.2). Este rayo incidente obliga a los átomos excitados a emitir luz. La consecuencia es que el rayo de luz incidente, no sólo no se debilita, sino que se intensifica propagándose en la misma dirección. Este fenómeno recibe el nombre de *intensificación luminosa mediante la emisión de radiación forzada* (LÁSER)[8].

En el láser de gas, una mezcla gaseosa es sometida a una descarga eléctrica[9] la cual eleva

8

El término LÁSER son las iniciales del fenómeno escrito en inglés *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*.

9

La radiación de bombeo está producida por una descarga de condensadores en un tubo de xenón. La energía requerida en el bombeo es de algunos millares de julios y el rayo de luz que se obtiene corresponde a un flujo de energía de varios $MW.cm^{-1}$. La longitud de onda de la radiación emitida por un láser de rubí es de 694,3 nm, que se encuentra en la zona del rojo en el espectro visible. Otros sólidos que pueden emitir láser en distintas zonas del espectro son: el borato $+Tb^{3+}$ cuya radiación tiene una longitud de onda de 535 nm o el $CaF_2 + U^{3+}$, $BaF_2 + Nd^{3+}$, que emiten la radiación en la zona del infrarrojo.
El láser de rubí funciona a impulsos de aproximadamente una centésima de segundo y requiere una considerable potencia de bombeo. Un funcionamiento continuo con menor potencia de bombeo se logra mediante el láser de gas, que utiliza el helio. Su funcionamiento es similar al anterior y consiste en la excitación del helio mediante una descarga eléctrica con un nivel de energía de 19,8 eV. Este nivel es metastable y, por tanto, el átomo puede

la mezcla gaseosa a un nivel energético superior. El láser de gas emite una intensa radiación luminosa. La luz que emite el láser es una luz coherente[10].

En el láser de cuerpo sólido se utiliza la mayor parte de las veces el rubí como elemento de resonancia, cristal que contiene iones de cromo en una malla de corindón; éste se bombea con la luz blanca de una potente lámpara de flash electrónico, adquiriendo una fluorescencia con elevado rendimiento cuántico, emitiendo dos líneas espectrales muy nítidas en la zona del rojo.

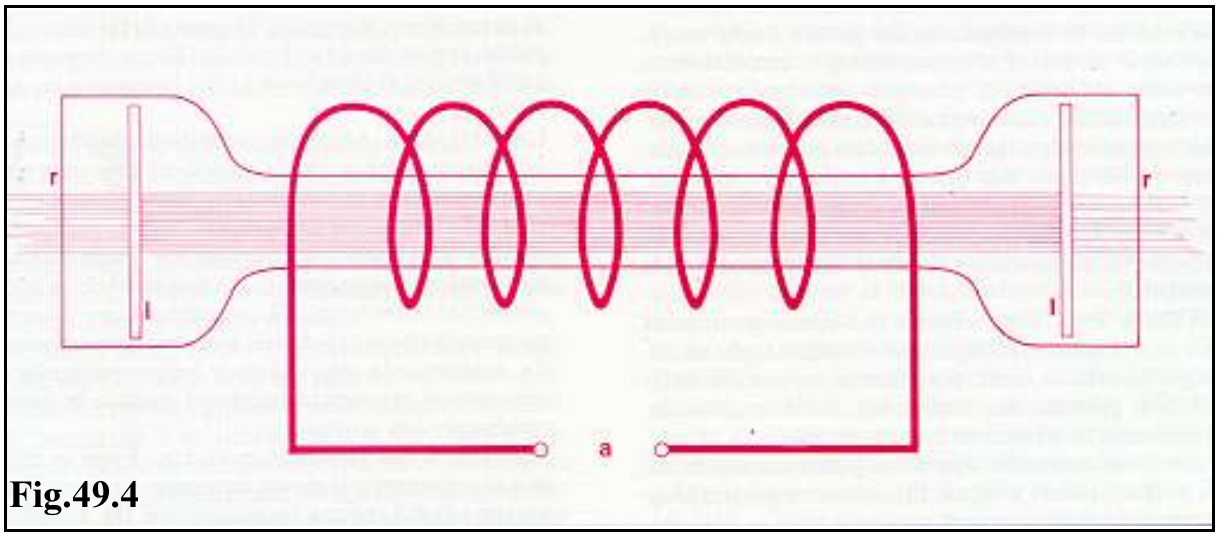


Fig.49.4

En la Fig.49.4 se ha representado un láser de gas constituido por un tubo de descarga en el que se contiene una mezcla de **He** y **Ne**.

permanecer excitado durante bastante tiempo de modo que durante la descarga el número de átomos excitados es muy elevado. En el movimiento de agitación térmica, la energía de excitación de los átomos de helio es trasferida por choques a los átomos de neón, que tienen un grupo de niveles de excitación próximos a 19,8 eV. El neón tiene un segundo grupo de niveles inferiores en 1 eV al primero, grupo que no puede ser excitado por choque por los átomos de helio, precisamente a causa de la citada diferencia de energía y que, por tanto, resulta mucho menos saturado que el de 19,8 eV. Se obtiene así la inversión de saturación necesaria al proceso láser, con emisión de longitud de onda 1,15 μ. La potencia irradiada por un láser de gas es notablemente menor que la de los láser de sólidos, los cuales alcanzan potencias del orden de centenares $kW.cm^{-2}$.

10 Se entiende luz coherente aquella que tiene su origen en un foco luminoso y cuyas radiaciones tienen la misma longitud de onda, fase y plano de oscilación.

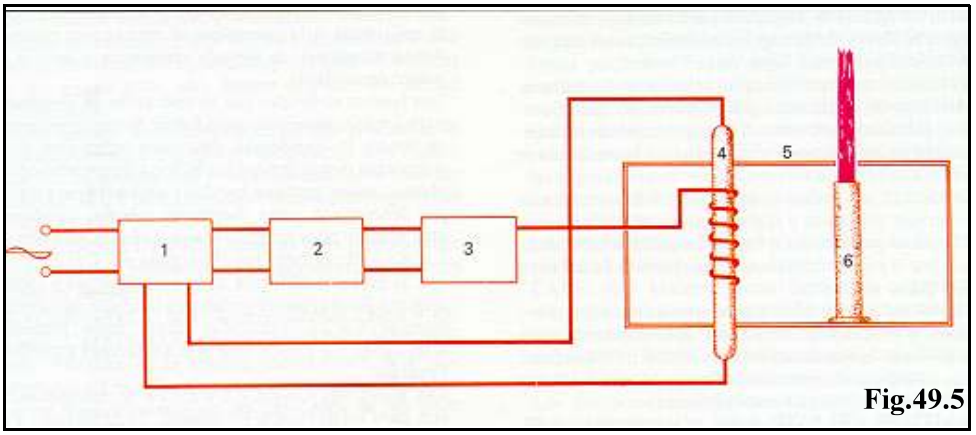


Fig.49.5

En la Fig.49.5 se ha representado el esquema de un láser sólido. El sólido que emite la luz (6) y el tubo de xenón que produce la radiación de bombeo (4), se hallan situados en los focos de un reflector de forma elíptica (5). Se representa también la batería de condensadores que se descarga en el tubo de xenón, y los circuitos de encendido y descarga (1, 2 y 3).

Entre las múltiples aplicaciones del láser destacan:
Aplicaciones médicas.
Estudio de microorganismos mediante la técnica de la radio puntura microscópica.
Medida de la distancia.
Radioastronomía.
Óptica no lineal.

49.6 FOTOLUMINISCENCIA.

Se entiende por fotoluminiscencia, a la luminiscencia que emite una sustancia al ser irradiada. La mayor parte de las veces, la radiación es ultravioleta. Las sustancias luminiscentes empleadas emiten radiación luminosa mientras son excitadas por la radiación ultravioleta, razón por la cua,l se utiliza la línea de resonancia del vapor de mercurio cuya longitud de onda es de 253,7 nm. Mediante este fenómeno, se transforma una radiación de onda corta en otra de onda más larga. Las sustancias luminiscentes se encuentran dentro de las sustancias *transformadoras de radiaciones.*

Las sustancias luminiscentes que más se emplean son:
• Wolframato de calcio.
• Wolframato de magnesio.
• Silicato de zinc.
• Silicato de cadmio.
• Borato de cadmio.
• Halofosfatos

Cada una de las anteriores sustancias emiten un tipo de luz con un color característico. De esta forma, mediante la mezcla de estas sustancias, podemos obtener el color que se desee. Además, si se consigue que las bandas de emisión se superpongan, podemos obtener un espectro prácticamente continuo que va desde el azul al rojo, variando desde el blanco frío al blanco cálido.

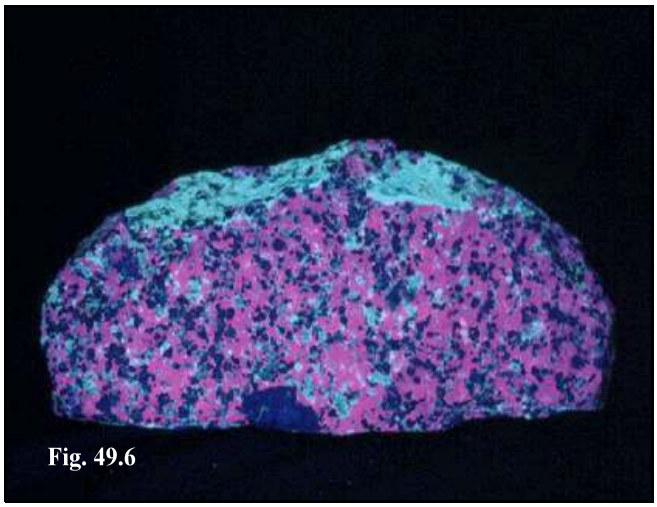


Fig. 49.6

Se define *fluorescencia* los fenómenos luminiscentes en los que la radiación luminosa solo persiste mientras las sustancia está excitada. El caso contrario es la *fosforescencia*.

49.7 FOSFORESCENCIA.

En las sustancias fluorescentes la emisión de la radiación tiene lugar en un tiempo del orden de 10^{-8} segundos, después de recibir la radiación. Si esta emisión se prolongase por más tiempo, el fenómeno recibiría el nombre de fosforescencia. El tiempo de emisión puede durar desde fracciones de segundo hasta meses. Este fenómeno se corresponde con el caso ❻ descrito en la Fig.49.2. Se debe al hecho, de que por debajo de uno de los niveles de energía de ciertos compuestos químicos de los alcalinotérreos, existe un *nivel de acumulación* que impide que los electrones vuelvan de forma inmediata a su capa fundamental.

Si un electrón llegase a este nivel de acumulación, solamente podría recuperar su estado fundamental lentamente, siendo durante este período cuando irradia energía.

Este procedimiento es muy común en la fabricación de relojes con esferas o agujas luminosas.

Los materiales fluorescentes emiten luz después de absorber energía. Para identificar minerales con fluorescencia se emplea luz ultravioleta. Al proyectar luz ultravioleta sobre determinados materiales, como en los minerales de la roca de la Fig.49.6, éstos presentan una fluorescencia con diferentes longitudes de onda características.

49.8 ELECTROLUMINISCENCIA.

Este fenómeno se produce, cuando se inserta una sustancia luminiscente entre dos capas conductoras a las que se les aplica una tensión alterna, de forma análoga a como se aplica la tensión a las placas de un condensador de láminas paralelas.

Esta forma de producir radiación visible se ha utilizado en las *placas luminosas* que se utilizan en las salas de los hospitales, en la numeración de los portales de los edificios, etc.

49.9 BIOLUMINISCENCIA.

Se define bioluminiscencia, la luminiscencia que producen ciertos animales o plantas (luciérnagas[11], algunos peces, algas marinas, madera en estado de descomposición, etc.)

Este fenómeno se debe a un proceso de oxidación de algunas sustancias químicas u orgánicas en contacto con el aire o con el agua, sin que hasta el presente, se haya logrado reproducir este fenómeno de forma artificial.



Fig.49.7 Luciérnaga

[11]

Fig.49.7: Las luciérnagas son insectos bioluminiscentes, capaces de producir químicamente energía luminosa. Tanto el macho como la hembra, pueden generar luz. Se cree que la luz les sirve para atraerse. La luz se genera cuando dos sustancias, la luciferina y la luciferasa, generadas por el animal, entran en contacto con el oxígeno.