

Emisión de la radiación

Cuando un cuerpo absorbe radiación, se incrementa su estado de excitación, sobre todo los electrones situados en un alto nivel energético, produciéndose fuertes vibraciones de las mallas cristalográficas –es decir, aumentan su temperatura. Los fotones incidentes –"esas cosas rápidas y luminosas"– se habrán esfumado. El cuerpo tiende a restablecer su estado primitivo mediante la reirradiación de esta energía adicional. El proceso se desarrolla ahora en sentido inverso; los fotones emitidos de nuevo tienen unas longitudes de onda determinadas que dependen de la variación de energía, aunque el número de posibles valores es a menudo tan grande que podemos considerar que el espectro de emisión es continuo. Cuando un átomo o una molécula alcanza un estado de excitación, habitualmente sólo permanece en él durante un instante muy breve de tiempo, después del cual lo probable es que vuelva a emitir el fotón. Sin embargo, en un cuerpo sólido o en un gas denso, puede antes de hacer eso, transmitir la energía a los átomos próximos por medio de la acción de las fuerzas interatómicas. Por este procedimiento, se iguala la temperatura y se hace más uniforme el estado de excitación del cuerpo. Como resultado de la redistribución de la energía, la radiación emitida puede que tenga una distribución de longitudes de onda diferente de la de absorción. En particular, la distribución depende ahora fundamentalmente de lo que llamamos temperatura del conjunto del cuerpo.

La acción recíproca entre la radiación y un cuerpo cualquiera, es tan compleja que es totalmente imposible predecirla partiendo de los principios básicos. Es por tanto conveniente considerar, en su lugar, el comportamiento de un cuerpo que se toma como patrón o modelo, con unas propiedades determinadas y bastante sencillas. Si este cuerpo tiene un número infinito de niveles de energía permitidos, se le llama CUERPO NEGRO, porque puede absorber toda la radiación que incide sobre él, cualquiera que sea su longitud de onda. La predicción de las propiedades de radiación de un cuerpo negro, debida a MAX PLANCK (1901) fue el primer caso de utilización de las ideas de la teoría cuántica, y fue uno de los pasos conceptuales más importantes de la historia de la física. No vamos a intentar repetir aquí la argumentación, sino decir simplemente que se demuestra que la radiación emitida por un cuerpo negro, debido a su temperatura, tiene una distribución concreta, de densidad energética D .

Nos damos cuenta en primer lugar, que cuando en un cuerpo la densidad de energía próxima a la banda infrarrojo dentro del espectro visible es suficientemente alta como para que tenga una luminosidad que la destaque de su entorno, la temperatura del cuerpo se debe únicamente a la radiación. Esto se produce a temperaturas próximas a los 1.500 K (alrededor de 1.200 °C) cuando la máxima densidad de energía se produce para una λ de 2 micras. Decimos entonces que el cuerpo está al rojo. Podemos, por supuesto, *percibir* la radiación a temperaturas mucho más bajas a través de su acción de calentamiento de la piel. En una habitación a temperatura ordinaria es posible percibir la radiación térmica de un objeto simplemente si está 10 K más caliente que su entorno. A continuación se muestra una tabla de la densidad de energía en los cuerpos negros:

Temperatura de equilibrio de los cuerpos bajo la radiación

Volvamos ahora al estudio del comportamiento de un cuerpo que se deja bajo la acción del sol. Si consideramos las distintas formas en que puede ganar o perder energía, podemos ver que la situación es bastante complicada. Para poder obtener rápidamente una comprensión de su comportamiento, en primer lugar simplificaremos un poco la situación. Hallamos aquí los elementos de lo que se llama **COLECTOR SOLAR DE LÁMINA PLANA**. Recibe energía del sol y la vuelve a irradiar de nuevo. Lo hemos dispuesto de forma que quede "aislado" de su entorno y que no pueda intercambiar radiaciones con él. Por el momento, despreciaremos el intercambio de calor con la atmósfera por convección y radiación, sobre lo que volveremos más tarde.

Para los cuerpos reales, con unos niveles de distribución de energía complejos, hallamos habitualmente que la radiación no está distribuida como la del cuerpo negro, bien con respecto a la longitud de onda o con la dirección de la emisión. Sin embargo, por razón de sencillez, empleamos a veces el cuerpo negro como un patrón para representar en relación con él las propiedades generales de un cuerpo. De esta forma podemos asignar al cuerpo una EMISIVIDAD global, e , de forma que a la temperatura T , emita una fracción e de la energía emitida por el cuerpo negro a esa temperatura. Además, asignamos unas propiedades de REFLECTIVIDAD, p , PODER DE ABSORCIÓN, a , y TRANSMISIVIDAD, z , a un cuerpo en tal forma que si una radiación de intensidad P incide sobre él, las proporciones en que se refleja la energía, se absorbe y transmite, son respectivamente pP , aP y zP . Hemos de darnos cuenta de que todas las propiedades e , p , a y z varían entre cero y uno para los cuerpos reales, aunque para un cuerpo negro real adquirirían respectivamente los valores 1, 0, 1 y 0.

Estas propiedades de radiación, varían mucho según los cuerpos y, lo que es más importante, varían con la longitud de onda de la radiación para un cuerpo dado. Esta dependencia de la longitud de onda, es por supuesto debida al carácter del proceso absorción-emisión. Esto se puede representar muy bien expresando las propiedades en términos de la temperatura del cuerpo (para la temperatura de la fuente de la radiación incidente, y por lo tanto de su longitud de onda (para las otras propiedades).

Se comprueba, en general, que los metales pulimentados tienen baja emisividad para toda temperatura, aunque su comportamiento varía en gran medida por los tratamientos superficiales, presencia de películas de óxido, etc. Las pinturas que son fáciles de distinguir por la vista o por medio del color, pueden tener un poder de absorción alto o bajo para radiaciones parecidas a la de la luz del sol. Pero cuando se expone a radiaciones de onda larga, o cuando está a temperaturas bajas, su poder de absorción y emisividad son siempre altos, excepto cuando están pigmentados con aluminio u otra capa metálica. Por esta razón, en el rendimiento de un radiador en viviendas no influye el color de su pintura, ya que funciona a bajas temperaturas y radiaciones de onda larga. Son enormemente importantes las propiedades de radiación del vidrio. El vidrio se utiliza porque es prácticamente transparente a las radiaciones de onda corta. Para longitudes de onda mayores, no obstante, es casi opaco y como veremos más tarde podemos aprovechar en gran medida estas características.

Otro factor, con efecto opuesto, es la presencia de radiaciones de onda larga provenientes de la atmósfera. Esta es la re-emisión, de la energía absorbida fundamentalmente por las moléculas de dióxido de carbono y de vapor de agua, de la radiación solar, y de la radiación y convección de la tierra. Estas moléculas tienen energía de vibración y de rotación, por lo cual las variaciones cuánticas corresponden a energía de ciertos fotones de longitudes de onda dentro del espectro visible y del infrarrojo. Parte de la energía se redistribuye antes de la reemisión, pero el espectro de emisión de la atmósfera sigue mostrando unas líneas y bandas bastante diferenciadas que corresponden a las longitudes de onda de absorción.

Central solar:

La energía solar se aprovecha mediante dos vías: la térmica y la fotovoltaica. La térmica transforma la energía procedente del sol en energía calorífica. La fotovoltaica convierte directamente la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Por otra parte existen también unas centrales de tipo eólico solar.

Los sistemas solares basados en la vía térmica que se utilizan para la producción de electricidad más importantes, son los llamados de alta temperatura. Las centrales de este tipo más extendidas son las centrales termoeléctricas de receptor central. Estas constan de una amplia superficie de helióstatos, es decir de grandes espejos sostenidos por soportes, que reflejan la radiación solar y la concentran en un pequeño punto receptor, que habitualmente está instalado en una torre. Los haces del sol son concentrados y reflejados sobre la caldera que se encuentra en la torre, en ella el aporte calorífico de la radiación solar es absorbido por un fluido térmico (agua, aire, sales fundidas..) que es conducido a través de un circuito primario hacia un generador de vapor, en él intercambia calor y vaporiza a un segundo fluido que circula por un circuito secundario (agua), que es quién acciona los álabes del grupo turbina-alternador para generar energía eléctrica. El fluido del

circuito secundario es posteriormente condensado para repetir el ciclo. El fluido del circuito primario, vuelve a la caldera y repite también el ciclo.

El helióstato se va moviendo siguiendo la orden de un ordenador central para que en todo momento se encuentre en la posición idónea para captar la radiación solar.

Entre las instalaciones solares a alta temperatura cabe citar también a las centrales solares con discos parabólicos. En él la figura geométrica de las superficies reflectantes es la de un paraboloide de revolución.

En los sistemas solares mediante células fotovoltaicas las células Célula fotoeléctrica se disponen en paneles. La luz solar transporta energía en forma de un flujo de fotones, cuando éstos inciden en determinado tipo de materiales (semiconductores) y bajo ciertas condiciones se convierte la energía luminosa en eléctrica. La explotación a un cierto nivel comercial de este tipo de sistemas, está comenzando a realizarse actualmente.

En cuanto al funcionamiento las centrales eólicas-solares es como sigue: la radiación solar incide sobre una cubierta que calienta el aire contenido en su interior mediante el efecto invernadero. El aire caliente pesa menos que el frío y tiende a subir, canalizado convenientemente se dirige hacia una chimenea de conducción, en el interior de esta hay alojada una turbina que está asociada a un generador de corriente eléctrica.

Célula fotoeléctrica [electricidad]

Dispositivos realizados en un material que tiene la propiedad de emitir electrones cuando es alcanzado por un haz luminoso. El fenómeno fotoeléctrico fue observado por primera vez por Hertz en 1887, pero se debe a Hallwachs (1889) su interpretación correcta. En un principio se pensó que la energía cinética con que se producía la emisión de electrones debería de ser proporcional al flujo luminoso, es decir a la amplitud de la ondulación representante del haz luminoso, sin embargo un resultado importante de las experimentaciones fue el descubrimiento de que la velocidad máxima de emisión de electrones dependía solamente de la frecuencia de la radiación incidente, pero no de la intensidad de dichas radiaciones. Fue Einstein en 1905 el que ofreció una teoría, basada en los Cuantos de Planck, que explicaba perfectamente la emisión fotoeléctrica, básicamente exponía que cuando un fotón choca contra la célula y es absorbido completamente, desaparece cediendo su energía E a uno de los electrones libres. Para extraer este electrón del metal o célula es preciso comunicarle cierta energía superior a un valor umbral E_0 que depende del material de que se trate. El excedente de energía entre la que se le suministra y la energía umbral $E - E_0$, constituye la energía cinética máxima del electrón. E_0 representa la energía mínima necesaria para liberar el electrón del material, mientras que la energía proporcionada por el fotón es directamente proporcional a la frecuencia de la longitud de onda de la radiación, siendo la constante de proporcionalidad, la conocida constante de Planck. Por ello una radiación puede ser muy débil pero poseer la suficiente energía para producir fotoelectrones. Los electrones emitidos por efecto fotoeléctrico poseen realmente una energía cinética variable dentro de un intervalo de valores, ya que son arrancados del interior de la superficie del metal y antes de emerger sufren colisiones con los átomos del mismo. Los fotoelectrones de energía máxima son aquellos que se originaron muy próximos a la superficie y, por tanto, escaparon sin verificar ningún choque.

Existen muchas aplicaciones tecnológicas del efecto fotoeléctrico. Las células fotoeléctricas se utilizan como aparatos de control, cuando se modifica la iluminación de la fotocélula se produce una variación en la corriente fotoeléctrica y cambia el voltaje a través de una resistencia en serie con la célula, esto provoca la aparición de una señal eléctrica que es amplificada convenientemente. También se usan como medidores de intensidades luminosas, dispositivos de alarma contra robos e incendios, contadores de personas u objetos opacos que pasan por delante de la misma interrumpiendo el haz incidente, apertura automática de puertas etc. Una de las aplicaciones más interesantes del efecto fotoeléctrico es para la producción de energía solar utilizando células solares o fotovoltaicas. Los sistemas solares fotovoltaicos consisten en un conjunto de células solares realizadas con un material semiconductor (germanio o silicio) dispuestos en paneles que transforman directamente la energía solar en eléctrica. Este tipo de instalaciones se encuentran en su fase de

desarrollo, ya que el coste de una célula solar es aún muy elevado.

IMPLANTACION DE LA ENERGIA SOLAR

A menudo, se considera que la energía solar es gratuita porque podría decirse que nos llueve del cielo en casi todas partes y sin que tengamos que realizar esfuerzo alguno. A muchos les ha extrañado, por lo tanto, por qué no se ha utilizado esta enorme fuente de energía desde hace ya tiempo para proporcionarnos toda la energía que necesitamos a un coste despreciable. Pero la energía solar es igual de gratis que las demás fuentes de energía. Todas se encuentran allí esperando a que la tomemos, pero al cogerla cuesta dinero, y en especial coger la energía solar cuesta más que las demás. En este capítulo, examinaremos brevemente alguna de las características de la energía solar que la hacen costosa de aprovechar, agrupando los distintos métodos de aprovechamiento para ver comparativamente cuáles son sus posibilidades.

10.1 Intensidad de la energía solar

Uno de los obstáculos para el aprovechamiento en general de la energía solar es su baja intensidad. Incluso para las condiciones de tiempo despejado que se consideraban en ese capítulo, quedó claro que la baja intensidad (y la variabilidad) de la energía eran unas desventajas importantes en una potencial fuente de energía.

A mediodía, en los trópicos, la intensidad puede acercarse a 1 kW por m² de superficie expuesta. Incluso el mejor de los muchos dispositivos estudiados anteriormente para la conversión de la energía solar en formas más convenientes, no nos daría más de unos 150 W/ml aun en estas condiciones ideales. La energía diaria sería tan sólo de 0,5 a 1 kWh/m². Evidentemente, el tamaño de los colectores por sí sólo haría antieconómico abastecer por este procedimiento otra cosa que no fuese una demanda de energía local y pequeña. En los países más desarrollados, la demanda total de energía ya es del orden de 50 kWh por persona y día. Para satisfacer esa demanda en una comunidad de tamaño medio por ejemplo 100.000 personas, mediante el método de mayor rendimiento con el que pudiésemos contar en la actualidad, se necesitarían unos colectores con una superficie total mayor de 5 km². Esta superficie es del mismo orden que el área de terreno sobre la que se construye la ciudad, incluso para las intensidades medias de una ciudad antigua. Si se utilizase una zona alrededor del perímetro de esta ciudad, tendría que ser de una anchura de varios cientos de metros. Donde el clima es menos favorable, hay muchos países del mundo donde el consumo de energía excede a la energía solar que incide sobre todo su territorio, habitado o no,

Se han hecho proyectos para situar colectores solares en autopistas y vías de ferrocarril y, en todos aquellos lugares donde no obstaculicen la incidencia de la luz en las apreciadas tierras de labor. Se puede demostrar que con esos sistemas se podría conseguir una parte importante del suministro de energía en zonas desarrolladas. No obstante, aunque no se puede decir que no llegará el día en que se lleven a la práctica esos proyectos, podemos afirmar sin riesgo a equivocarnos que durante bastante tiempo las comunidades de estas zonas seguirán obteniendo su energía por otros procedimientos.

Sin embargo, para las demandas más modestas de una comunidad en desarrollo o rural, la perspectiva puede ser muy diferente. En este Caso, el aprovechamiento de la energía, en unas cantidades muy inferiores a la energía incidente sobre la región, produciría unos cambios espectaculares para el futuro de la zona. Además, los dispositivos solares serían competitivos con otras fuentes de energía. La prueba la tenemos en el éxito de las instalaciones de agua caliente solar. La demanda de agua caliente, incluso en los países desarrollados, puede satisfacerse por medio de dispositivos cuya área de colectores sea menor que la superficie de cubierta de los edificios normales de viviendas. Los millones de estos aparatos hoy en uso son una prueba de su competitividad en estas aplicaciones.

Hay cantidad de pequeñas labores, en la actualidad realizadas a mano o utilizando trabajo animal o que no se realizan en absoluto, cuya demanda energética estaría dentro de las posibilidades de los sistemas solares con

superficies de colector desde unos cuantos metros cuadrados hasta unos cuantos cientos de metros. Al igual que con otras innovaciones, la introducción de estos aparatos es en gran medida una cuestión económica, materia especialmente **difícil**, que trataremos de examinar brevemente después. Mientras tanto, sin embargo, estudiaremos de nuevo otra causa de dificultades, que existe incluso cuando la intensidad solar es la máxima posible. Es la variación de la intensidad según la hora y la estación, y la gran proporción de tiempo al día en que no podemos contar con la energía solar.

10.3 Almacenamiento de la energía

Siempre que se diseñe un sistema de calefacción o de refrigeración de edificios, producción de energía eléctrica para uso continuo y cualquier otra utilización en la que la variación de la demanda no coincida con la variación de suministro, hay que habilitar un sistema de almacenamiento de la energía. Para un cielo continuamente despejado, que se da durante gran parte del año en algunas zonas desérticas, puede ser necesario habilitar un almacenamiento equivalente únicamente al suministro de un día, ya que al día siguiente el suministro se volverá a restablecer. Este pequeño almacenamiento puede seguir siendo suficiente cuando se prevea la utilización de una fuente auxiliar, para aquellas ocasiones en que el suministro no pueda satisfacer la demanda. La mayoría de sistemas de calefacción para viviendas que funcionan con energía solar suelen llevar un sistema auxiliar, ya que sería antieconómico diseñar un sistema de calefacción solar de forma que pudiese satisfacer la demanda en el día más nublado y frío del año, ya que para el resto del tiempo resultaría una ins tasación sobredimensionada. Evidentemente hay una relación en este caso, entre la variabilidad de la radiación solar, la variabilidad de la demanda de calefacción, la capacidad del sistema auxiliar y la capacidad de almacenamiento que hay que habilitar. El equilibrio que hay que establecer entre estos factores depende fundamentalmente de razones económicas. No podemos entrar aquí en demasiadas profundidades; depende de factores tales como el coste del combustible, materiales, maquinaria y mano de obra, y de la variación de la temperatura del aire exterior y velocidad del viento durante todo el año. De alguno de estos factores, como el soleamiento, no se puede hacer una predicción exacta para un emplazamiento dado, sino que se debe hacer un acopio de datos estadísticos durante un período largo de tiempo, para ese emplazamiento concreto. Se verá, sin embargo, que en la relación entre estas magnitudes no se incluyen tanto los valores de asoleo máximos o mínimos que se hayan registrado, sino el tiempo que duran esos períodos de máximo o mínimo.

Contando con este tipo de datos, el ingeniero puede empezar a equilibrar las distintas partes del sistema: el convertidor de energía, la maquinaria auxiliar (si hace falta) y el sistema de almacenamiento.