



# ***MÓDULO 2: TIPOS DE PROYECTOS***

**Angel Martín Beneit**

**Edición: Junio 2010**

## **INDICE**

<b>1</b>	<b>ALUMBRADO PÚBLICO</b> .....	<b>3</b>
1.1	INTRODUCCIÓN.....	3
1.2	ANÁLISIS SECTORIAL.....	3
1.3	INSTALACIONES ACTUALES DE ALUMBRADO PÚBLICO .....	4
1.4	MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO.....	12
1.5	REAL DECRETO EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ALUMBRADO EXTERIOR.....	31
<b>2</b>	<b>SECTOR TERCIARIO</b> .....	<b>38</b>
2.1	INTRODUCCIÓN.....	38
2.2	ANÁLISIS SECTORIAL.....	38
2.3	INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN .....	40
2.4	CLIMATIZACIÓN EN EL SECTOR TERCIARIO .....	55
2.5	TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN APLICABLES AL SECTOR SERVICIOS: COGENERACIÓN Y TRIGENERACIÓN. ....	61
2.6	ENERGÍAS RENOVABLES.....	71
<b>3</b>	<b>INSTALACIONES INDUSTRIALES</b> .....	<b>81</b>
3.1	INTRODUCCIÓN.....	81
3.2	ANÁLISIS SECTORIAL.....	81
3.3	TECNOLOGÍAS ACTUALES Y MEDIDAS DE MEJORA .....	82
3.4	TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN Y USO DE CALOR. MEDIDAS DE MEJORA .....	93

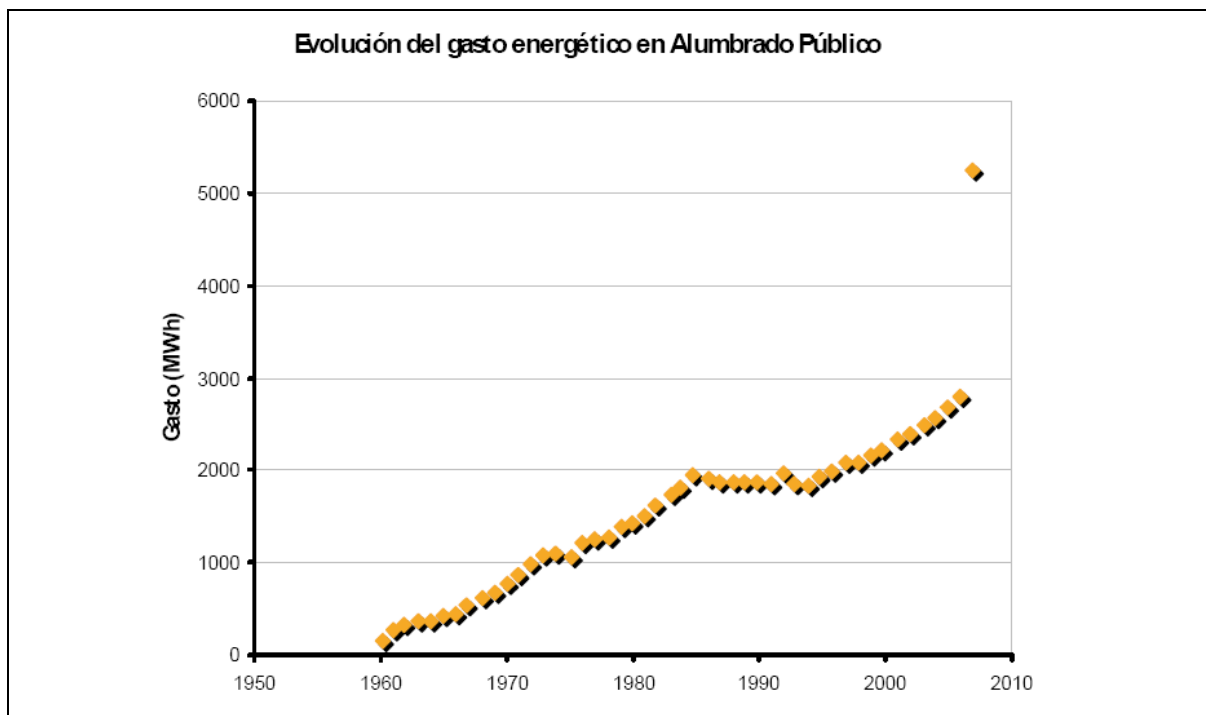
# 1 ALUMBRADO PÚBLICO

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este apartado será aportar al alumno una descripción de los sistemas actuales de alumbrado exterior más empleados, así como las tecnologías de eficiencia energética disponibles para el ajuste energético de este servicio manteniendo las condiciones de confort adecuadas.

## 1.2 ANÁLISIS SECTORIAL

El alumbrado público en España supone un 10% del consumo energético en iluminación. Los últimos datos del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio que se disponen, suponen un gasto de 5,2 TWh en 2007, frente a los 2,8 TWh declarados en 2006. Hay que tener en cuenta que en total existen más de 4 millones de puntos de luz, y que un tercio del alumbrado público se basa en tecnologías ineficientes y obsoletas

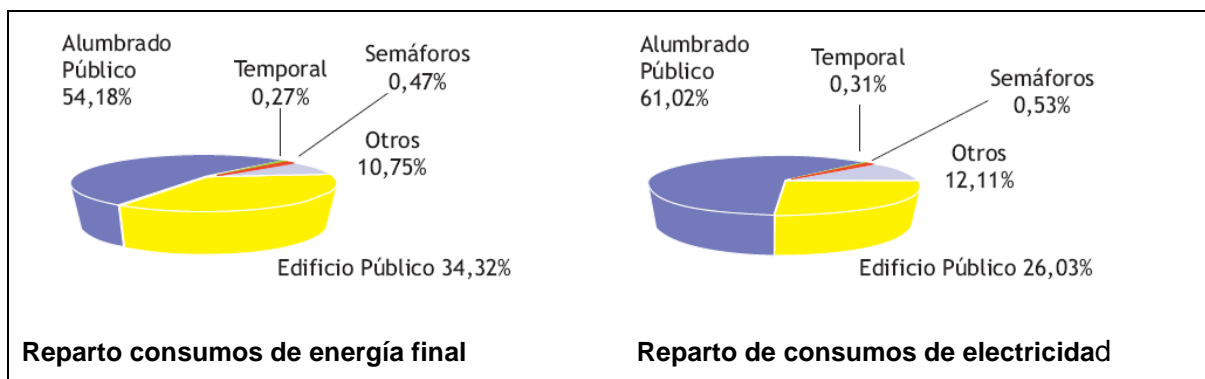


Fuente: MITYC, INE

El gasto en alumbrado público en España se sitúa en 116 kilovatios por año y habitante, frente a los 91 y 43 de Francia y Alemania, respectivamente. El objetivo fijado en el Plan de Eficiencia Energética 2004-2012 consiste en alcanzar 75 kilovatios por año y habitante, un reto importante considerando que ninguna provincia española alcanza dicho objetivo actualmente.

### 1.3 INSTALACIONES ACTUALES DE ALUMBRADO PÚBLICO

Tomando como referencia estudios sectoriales, el alumbrado público es la instalación que causa mayor incidencia en el consumo energético de un municipio, pudiendo representar el 54% sobre el total de los consumos energéticos de las instalaciones municipales y el 61% de electricidad. La importancia de las instalaciones de alumbrado público es tal que en algunos municipios supone hasta el 80% de la energía eléctrica consumida y hasta el 60% del presupuesto de los consumos energéticos del ayuntamiento.



Fuente: Agencia Andaluza Energía

Existen, principalmente, dos tipos de alumbrado en función de los objetivos que se pretenden:

#### Alumbrado funcional

- Ofrece seguridad al tráfico rodado: siendo vital para la prevención de accidentes y pérdidas de vidas (iluminación de carretera, paneles informativos...).
- Ofrece seguridad al tráfico peatonal: previniendo atropellos
- Ofrece confianza en la actividad nocturna.
- Evita actividades delictivas.

## Alumbrado ambiental

- Acompaña a la actividad de ocio nocturna aumentando el horario de disfrute de las áreas lúdicas.
- Aumenta la sensación de comodidad y bienestar, aportando valor a estas áreas.
- Ofrece poder de atracción hacia estas áreas.
- Aporta diseño como valor añadido al entorno nocturno y diurno.

Atendiendo al sistema de alumbrado, los elementos básicos que lo componen son:

- Fuente de luz o lámpara: es el elemento destinado a suministrar la energía lumínica.
- Luminaria: aparato cuya función principal es distribuir la luz proporcionada por la lámpara.
- Equipo auxiliar: muchas fuentes de luz no pueden funcionar con conexión directa a la red, y necesitan dispositivos que modifiquen las características de la corriente de manera que sean aptas para su funcionamiento.

- **LÁMPARAS**

Por tipo de lámparas, los principales equipos que se pueden dar son:

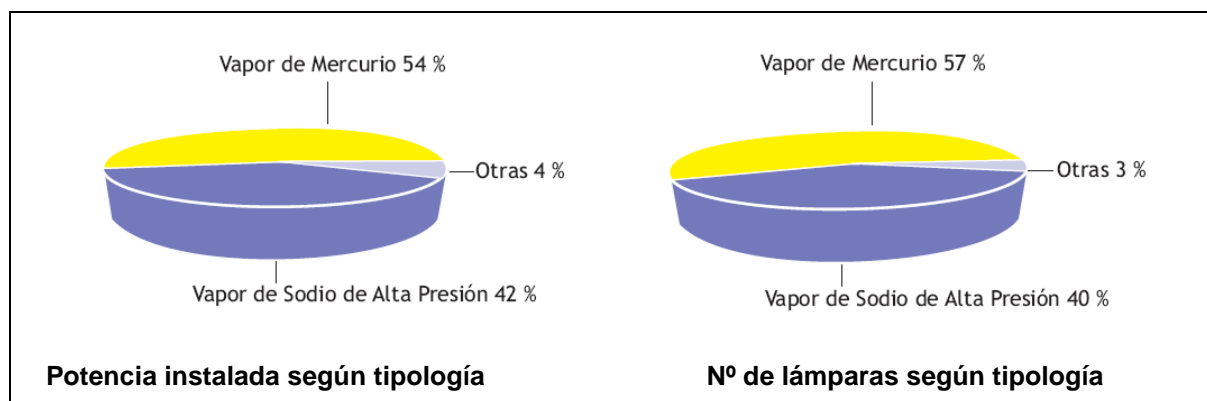
- Lámparas fluorescentes
- Lámparas de vapor de mercurio a alta presión
- Lámparas de vapor de sodio a baja presión
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión
- Lámparas de mercurio con halogenuros metálicos
- Lámparas de descarga por inducción
- LEDS



Fuente: IDAE

Las de vapor de mercurio son las más utilizadas en alumbrado exterior. Este tipo de lámpara se caracteriza por un color blanco azulado, lo que le confiere una temperatura de color fría que unido a una reproducción cromática media las ha hecho tradicionalmente atractivas para el uso en el alumbrado exterior a pesar de su baja eficiencia energética. Frente a ellas, se tienen las lámparas de vapor de sodio de alta presión, con una temperatura de color más cálida y una reproducción cromática más baja, pero con una eficiencia energética muy superior que ha hecho que poco a poco vaya aumentando paulatinamente su presencia en el alumbrado exterior.

A estas dos tipologías de lámparas sigue, aunque a gran distancia en cuanto a su número, las de halogenuros metálicos en sus distintos formatos. Se trata de lámparas en continua evolución y con las que, a través de una mezcla de los gases incluidos en la ampolla, se persigue mejorar la reproducción cromática y la eficiencia energética, aunque sin llegar en general a los niveles de rendimiento del vapor de sodio de alta presión. Otros tipos como luz mezcla, halógenas, fluorescente lineal etc. apenas se encuentran presentes en aplicaciones de alumbrado exterior. La iluminación por LED se está empezando a introducir en algunos proyectos de demostración, y aunque probablemente será la tecnología del futuro, actualmente no tiene implantación. En cualquier caso, se puede encontrar una descripción detallada en apartados posteriores.



Fuente: Agencia Andaluza Energía

- **LUMINARIA**

Son aparatos que distribuyen, filtran o transforman la luz emitida por una o varias lámparas. Contienen todos los accesorios necesarios para fijarlas y protegerlas y, cuando resulta necesario, disponen de los circuitos y dispositivos necesarios para conectarlas a la red de alimentación eléctrica.

**Constitución de las luminarias**

La luminaria se compone de cuerpo o carcasa, bloque óptico y alojamiento de auxiliares, además de las juntas de hermeticidad, cierres, etc., tal y como se representa en la figura siguiente.



Fuente: IDAE

El cuerpo o envolvente principal es la parte que estructuralmente soporta a los conjuntos óptico y eléctrico de la luminaria y, por tanto, debe ser resistente mecánicamente, ligero de peso y con excelentes propiedades de dispersión, resistencia térmica y duración, además de cumplir una misión estética. Aun cuando existen cuerpos de plásticos técnicos y chapa de aluminio, se consideran en principio como los más idóneos los cuerpos o carcasas de aleación ligera, como es el caso de la inyección de aluminio.

El bloque óptico puede estar formado por reflector, refractor y difusor. Los reflectores son normalmente de aluminio de máxima pureza, pulido, abrillantado y tratado normalmente mediante oxidación anódica. El refractor de calidad habitualmente es de vidrio de elevada transmitancia e inalterabilidad a la luz natural o artificial, debiendo ser pequeño su coeficiente de dilatación térmica, obteniéndose los refractores bien por prensado o soplado.

Los alojamientos de auxiliares deben ser mecánicamente resistentes para soportar adecuadamente el peso del equipo eléctrico y térmicamente han de disipar muy bien el calor generado por el propio funcionamiento del equipo eléctrico, con unas dimensiones suficientes para dicho equipo, de fácil accesibilidad y seguridad, que permita con comodidad realizar las reparaciones y reposiciones que se precisen.



Las juntas de hermeticidad han de ser flexibles, resistentes a alta temperatura y a los agentes atmosféricos, empleándose normalmente cauchos silicónicos, policloroprenos, termopolimeros de etileno-propileno, juntas de poliéster calandrado, etc.

La luminaria y, en concreto, el bloque óptico debe estar dotado de los correspondientes dispositivos de reglaje, de forma que pueda variarse la posición de la lámpara respecto al reflector, de acuerdo con el tipo de implantación y prestaciones que se requieran de la luminaria.

Las luminarias tienen un papel muy importante en el conjunto de alumbrado, ya que son las encargadas de dirigir la luz de la lámpara a la zona que se desea iluminar. Existe una gran cantidad de luminarias disponibles, aunque los principales factores que deben tenerse en cuenta es si están cumpliendo su función y si existe espacio suficiente en el alojamiento de los auxiliares en caso de querer realizar una sustitución de los mismos.

A continuación se presentan diferentes tipos de luminarias:



#### • EQUIPOS AUXILIARES

Las lámparas de descarga en general tienen una característica tensión-corriente no lineal y ligeramente negativa, que da lugar a la necesidad de utilización de un elemento limitador de la intensidad que se denomina genéricamente balasto, para evitar el crecimiento ilimitado de la corriente y la destrucción de la lámpara cuando ésta ha encendido. Asociado al balasto, según el tipo deberán preverse los elementos adecuados para la corrección del factor de potencia. Además de los dispositivos de regulación de la corriente de lámpara y de corrección del factor de potencia, requeridos por todas las lámparas de descarga para su funcionamiento, algunos tipos de lámparas de alta corriente de descarga, como son las de vapor de sodio a alta presión (VSAP), lámparas de mercurio con halogenuros metálicos (HM) de tipo europeo y vapor de sodio a baja presión (VSBP), necesitan una tensión muy superior a la de la red para iniciar o “cebar” la corriente de

arco. Se precisa, por tanto, incluir en el equipo auxiliar un dispositivo que proporcione y soporte en el instante de encendido la alta tensión necesaria para el cebado de la corriente de arco de la lámpara. Dicho dispositivo se denomina arrancador.

Las lámparas fluorescentes necesitan para su funcionamiento un cebador, mientras que las de vapor de sodio a baja presión también pueden funcionar con un balasto autotransformador.

### **Balastos**

Tal y como se ha avanzado, son dispositivos limitadores y estabilizadores de la corriente de arco o de lámpara, que impiden que dicha corriente crezca indefinidamente hasta la destrucción de la propia lámpara. Comprenden dos grandes grupos: los balastos electromagnéticos y los electrónicos, cuyos tipos más utilizados son los siguientes:

- Balasto serie de tipo inductivo
- Balasto serie de tipo inductivo para dos niveles de potencia
- Balasto autorregulador
- Balasto autotransformador
- Balasto electrónico

Si bien el balasto electromagnético serie de tipo inductivo es el más utilizado, proporciona una baja regulación de corriente y de potencia frente a las oscilaciones de la tensión de la red de alimentación, por lo que generalmente su uso será adecuado siempre que dicha tensión no fluctúe más del 5 %. Cuando se prevean variaciones constantes o permanentes a lo largo del tiempo superiores en la tensión de la red, resultará idónea la instalación de balastos serie de tipo inductivo con dos tomas de tensión, aplicando la más conveniente. Si dichas oscilaciones de tensión son variables en el tiempo, bien durante las horas de encendido diario, a lo largo del fin de semana y/o estacionales, será adecuado utilizar balastos autorreguladores, electrónicos o un sistema de estabilización de tensión en cabecera de línea.

Los balastos denominados autorreguladores, al presentar una buena regulación de la corriente y potencia de lámpara en relación a las alteraciones de tensión de la red de alimentación, se utilizarán cuando dicha tensión oscile más del 10 %. En el caso de que la mencionada tensión sea insuficiente para un funcionamiento estable de la lámpara, se instalarán balastos autotransformadores que elevarán la tensión y regularán la corriente, y

su uso se preverá generalmente cuando la tensión de la red de alimentación resulte inferior a 200 V. En cualquier caso, estos equipos no son muy empleados.

### **Condensadores**

Para equipos para lámparas de descarga el condensador deberá ir asociado al balasto, bien en conexión a la red de alimentación para corregir el factor de potencia, o bien instalado en serie con el balasto y la lámpara sirviendo como elemento regulador de corriente y compensación, tal como es el caso de los balastos autorreguladores.

Los balastos electrónicos no requieren dispositivos adicionales para la corrección del factor de potencia, al incluir un circuito electrónico diseñado a tal efecto.

### **Arrancadores**

Este equipo es un dispositivo eléctrico, electrónico o electromecánico que por si mismo o en combinación con el balasto, genera y superpone a la tensión de la red el impulso o los impulsos de alta tensión necesarios para el correcto cebado o encendido de la lámpara. Los tipos de arrancadores para lámparas de descarga, excepto las lámparas fluorescentes tubulares, son los siguientes:

- En serie con la lámpara (de impulsos independientes)
- En semiparalelo (de impulsos dependientes del balasto al que va asociado)
- En paralelo (independiente de dos hilos)

- **ELEMENTOS DE MANIOBRA**

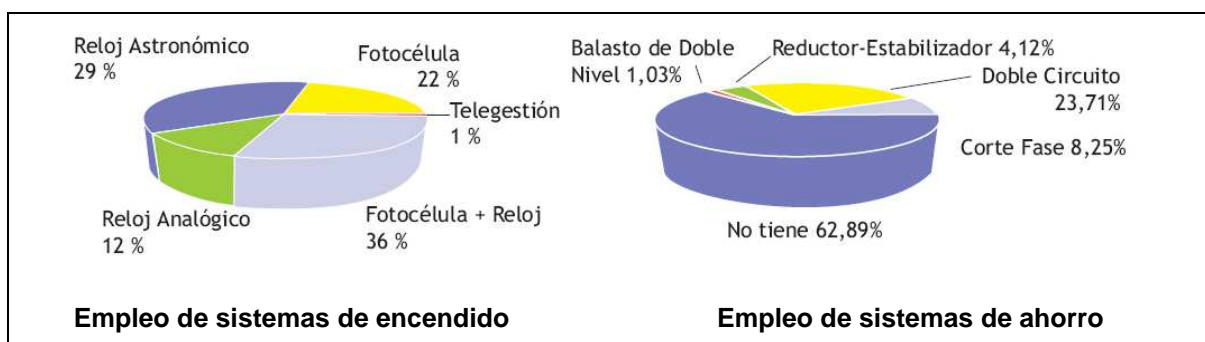
Se tratan de dispositivos que permiten programar el funcionamiento del alumbrado adecuándolo en mayor o menor medida a las necesidades efectivas del mismo. Entre los elementos de maniobra más empleados están las fotocélulas y los relojes analógicos o astronómicos, pudiendo ser en este segundo caso, programado in situ o de forma remota a través de un sistema de telegestión.

Hay que destacar que, según estudios sectoriales como el de la Agencia Andaluza de la Energía, aún hoy, el 34% de las instalaciones se controla sólo con fotocélula o reloj horario, sistemas que provocan grandes desviaciones entre las horas de funcionamiento de las instalaciones y las horas reales de necesidad de las mismas, con la consiguiente pérdida de energía. Por otro lado, destaca el reducido porcentaje que representan en la

actualidad los sistemas de telegestión (1%), cuando son los sistemas que ofrecen el mejor conocimiento y el control más efectivo de las instalaciones de alumbrado público.

Por otro lado, los sistemas de reducción de flujo son elementos que posibilitan reducir el nivel de iluminación a partir de cierta hora de la noche en la que la actividad en la calle ha disminuido, no siendo necesario por tanto un uso tan intenso del mismo. Es importante destacar que más de un 60% de los cuadros de alumbrado público no cuenta con ningún sistema de ahorro energético. Un 30% dispone de sistemas de reducción de nivel de iluminación por corte de fase o doble circuito. Se trata de una práctica bastante habitual, aunque no resulta aconsejable al dar lugar a una mala uniformidad en la iluminación vial con grave pérdida de la seguridad. El resto de sistemas, reguladores de flujo en cabecera y balastos de doble nivel, no han sido muy empleados en las instalaciones, según se muestra en el gráfico, si bien, son los sistemas con los que se consiguen los mayores ahorros energéticos y económicos.

Como se verá más adelante, la instalación de equipos de eficiencia energética queda asegurada en nuevas instalaciones a partir de aparición del Nuevo Reglamento de Eficiencia Energética en Alumbrado Exterior (RD1890/2008), de entrada en vigor en abril de 2009.



Fuente: Agencia Andaluza Energía

## 1.4 MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO

Para reducir el consumo de energía en alumbrado exterior se debe actuar sobre las instalaciones que las componen, bien por optimización de los sistemas instalados o bien por renovación o introducción de nuevos sistemas de eficiencia energética. Se estima que podrían lograrse reducciones de entre el 20 % y el 85 % en el consumo eléctrico del

alumbrado, merced a la utilización de componentes más eficaces así como al empleo de sistemas de control.

#### 1.4.1 LÁMPARAS

Como se ha descrito, las lámparas son la fuente o emisor luminoso de la instalación, por ello su elección constituye una de las mayores dificultades a la hora de diseñar una instalación, fundamentalmente debido a que tanto la potencia consumida, la duración de vida y el color de la luz, vienen condicionados por el tipo de lámpara.

Los factores más importantes que deben tenerse en cuenta en la definición y selección del tipo de lámpara a emplear son la eficacia luminosa, la duración de vida media y vida útil, la temperatura de color y el rendimiento cromático o reproducción de colores.

Como ya se ha indicado anteriormente, en las instalaciones actuales, la lámpara más comúnmente utilizada en el alumbrado exterior es la de vapor de mercurio. Sin embargo, este tipo de lámpara tiende hoy en día a ser sustituido, en las zonas sin exigencias de color, por lámparas de mayor eficacia como son las lámparas de sodio a alta o baja presión. En el caso de las lámparas de sodio de alta presión, su elevada eficacia las hace especialmente aconsejables, bajo la óptica energética, en zonas donde los requisitos de color no son críticos, como por ejemplo, en autopistas.

Las lámparas de sodio de baja presión, a pesar de ser la solución de mayor eficacia existente en la actualidad, poseen grandes dimensiones que pueden determinar en muchos casos, su escasa utilización, ya que el cambio de luminaria para adaptarse a la lámpara implicaría un coste adicional que puede no hacer rentable el proyecto. A esto se debe unir su mala reproducción cromática, haciendo que no sean aplicables en gran parte de las situaciones



Fuente: Fenercom

En la siguiente tabla se refleja la diferencia de potencia (W) de las lámparas de vapor de mercurio y de sodio de alta presión a igualdad de flujo luminoso

Energía (W)	
Vapor de Mercurio (VM)	Vapor de Sodio Alta Presión (VSAP)
80	50
125	70
250	150
400	250

Para lámparas instaladas en zonas de altos requerimientos cromáticos (luz blanca) se aconseja que se usen lámparas de halogenuros metálicos, que presentan un comportamiento energético mejor que el de las lámparas de vapor de mercurio emitiendo una luz de parecidas características.

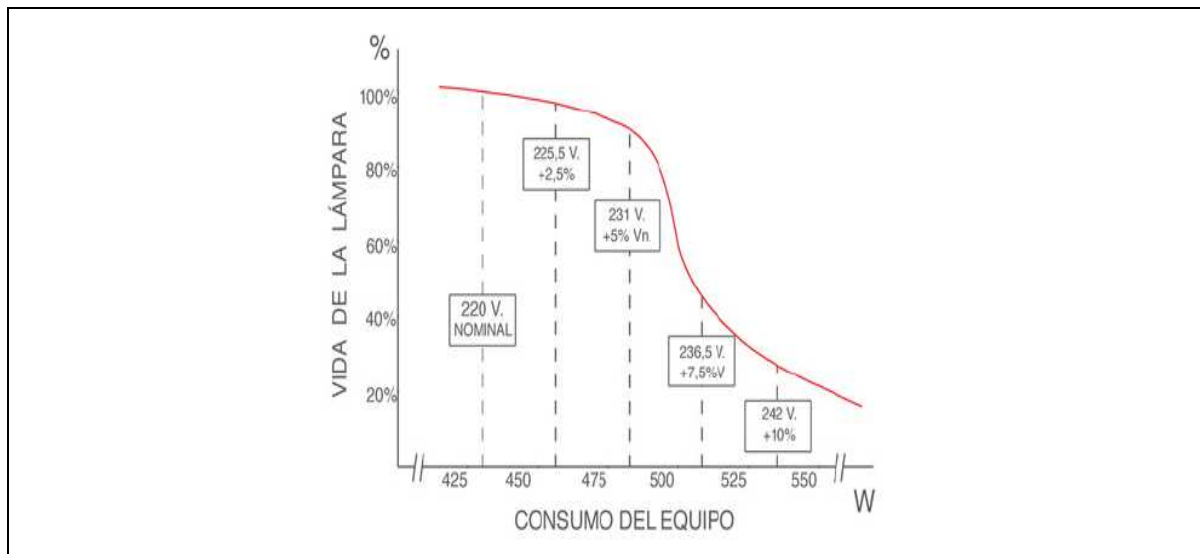
A continuación se presenta una tabla resumen de los sistemas de iluminación más empleados:

	Sodio Baja Presión	Sodio Alta Presión	Vapor de Mercurio	LEED
Potencia	18-200	35-1.000	50-1.000	1.5-160
Flujo luminoso	2.000-30.000	1.500-150.000	2.000-57.000	50-10.000
Eficacia luminosa	120-180	95-140	50-60	80-186
€/Klumen	2-5	0.8-3	0.96-2.06	>100
€/W	0.24-0.7	0.076-0.33	0.050-0.071	> 7.5
IRC	25	25-65	40-55	60-92
Tª Color (ºK)	2.000-2.300	2.000-2.300	3.500-4.000	2.650-6.800
Vida Media (h)	12.000	15.000	5.000	35.000
Vida útil (h) 6h/día	16.000	24.000	3.500-4.000	>50.000
T encendido (sg)	7-12	2-10	300	0
T reencendido (min)	1-15	3-7	1-25	0

#### 1.4.2 EQUIPOS AUXILIARES

Como se ha adelantado anteriormente, los sistemas para iluminación que integran lámparas de descarga asociadas a balastos tipo serie, de Vapor de Sodio Alta Presión (VSAP) o Vapor de Mercurio (VM), son muy susceptibles a las variaciones en su tensión de alimentación. Tensiones superiores al 105 % del valor nominal para el que fueron diseñadas disminuyen fuertemente la vida de las lámparas y equipos incrementando el consumo de energía eléctrica.

La figura siguiente refleja la fuerte influencia de la tensión de alimentación en el consumo y en la vida de una lámpara VSAP. El incremento del 7 % produce una disminución en la vida de la lámpara del 50 % y un exceso de consumo del 16 %. De ahí la gran importancia de estabilizar la alimentación que llega a los receptores de alumbrado.



Fuente: Fenercom

La introducción de balastos electrónicos soluciona este problema, además de reducir el consumo del equipo auxiliar de manera importante. De manera concreta, el balasto electrónico es un dispositivo compacto que realiza las funciones del equipo auxiliar y, por tanto, sustituye al balasto electromagnético, condensador y arrancador en las lámparas de sodio a alta presión. El balasto electrónico estabiliza la potencia en lámpara y, consecuentemente, el consumo en red frente a variaciones de tensión comprendidas entre 180 y 250 V. Como resultado, al estabilizar la potencia, mantiene la vida media de la lámpara mejor que los balastos electromagnéticos. Por el contrario, los balastos electrónicos son equipos más sensibles y menos robustos que los electromagnéticos.

En las condiciones de funcionamiento las pérdidas propias del balasto electrónico no superan el 4 ó 5% de la potencia eléctrica consumida en lámpara, lo cual resulta ventajoso frente al consumo real del equipo auxiliar (balasto electromagnético, condensador y arrancador) que oscila entre un 9,3 y un 27,5% sobre la potencia nominal de la lámpara.

El inconveniente de los balastos electrónicos frente a los electromagnéticos, dada su mayor sensibilidad, es la especial protección que debe tenerse en cuenta en relación específicamente a las tormentas meteorológicas entre nubes y tierra con sobrecargas eléctricas (rayos), elevadas temperaturas, perturbaciones eléctricas, etc.

Como se verá más adelante, existen otras formas de estabilizar la tensión de entrada sin necesidad de sustituir balastos y que puede resultar más rentable desde el punto de vista económico.



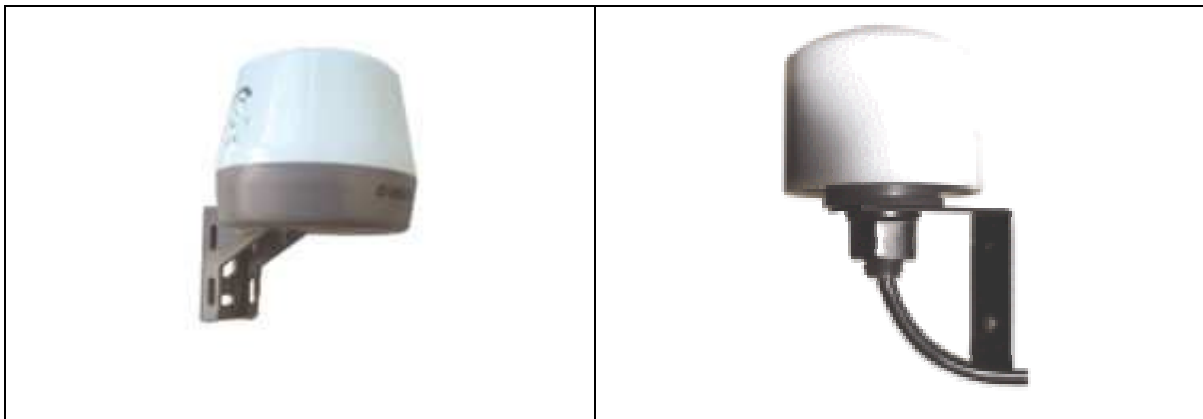


#### 1.4.3 EQUIPOS DE CONTROL

Se puede actuar en el funcionamiento normal del ciclo de iluminación desde varios puntos: por un lado optimizando los tiempos de encendido (en el ocaso) y de apagado (en el orto), ajustándolos exactamente a las condiciones de ahorro deseadas, siempre manteniendo las condiciones de seguridad. Esto se realiza mediante el uso de equipos de control destinados a estas funciones, como pueden ser los interruptores crepusculares y los interruptores horarios astronómicos. Igualmente se puede actuar sobre la intensidad luminosa del alumbrado mediante la reducción del nivel luminoso.

- **INTERRUPTORES CREPUSCULARES**

Son dispositivos electrónicos capaces de conmutar un circuito en función de la luminosidad ambiente. Para ello utilizan un componente sensible a la luz (célula fotoeléctrica) que detecta la cantidad de luz natural que existe en el lugar de instalación, comparando este valor con el ajustado previamente. En función de esta comparación, se activa o desactiva un relé que estará conectado en la instalación con los elementos de maniobra de encendido-apagado de la iluminación.



Para un correcto funcionamiento de las instalaciones de alumbrado con interruptores crepusculares, éstos deben estar dotados de circuitos que incorporen histéresis, es decir, un retardo antes de las maniobras que posibilite eliminar fallos de encendidos o apagados debidos a fenómenos meteorológicos transitorios, tales como el paso de nubes, rayos, etc., o luces de automóviles.

Los inconvenientes del uso de los interruptores crepusculares son el difícil acceso a los mismos durante su mantenimiento o reparación, ya que normalmente se instalan en lugares de complicado acceso. Además, la polución provoca un paulatino oscurecimiento de las envolventes, por lo que a lo largo del tiempo las maniobras no se realizan en los momentos esperados.

- **INTERRUPTORES HORARIOS ASTRONÓMICOS**

Son interruptores horarios que incorporan un programa especial que sigue los horarios de ortos y ocasos de la zona geográfica donde esté instalado. Esta característica tiene la importante ventaja de que no es necesaria la reprogramación manual y periódica de los tiempos de encendido y apagado. Además, tienen la posibilidad de poder retrasar o adelantar de manera uniforme estos tiempos de maniobra, consiguiendo con ello un ahorro adicional.

Estos interruptores horarios deben disponer de dos circuitos independientes, uno para el encendido y apagado total del alumbrado y otro para las órdenes de reducción y recuperación de flujo luminoso, durante las horas de menos necesidad de todo el flujo.

Existen modelos que permiten incorporar días especiales, en los que las maniobras son distintas debido a festividades, fines de semana, etc.



Finalmente, no hay que olvidar que para que el interruptor horario no derive la ejecución de las maniobras a lo largo del tiempo, debe cumplir con una buena base de tiempos y un ajuste adecuado de su precisión de marcha.

#### 1.4.4 METODOS DE CONTROL

- **APAGADO PARCIAL (DOBLE CIRCUITO)**

Con este sistema lo que se consigue es reducir el consumo apagando parte de las luminarias durante un periodo de tiempo determinado, siendo el ahorro conseguido directamente proporcional al número de luminarias apagadas.

Aunque el sistema es efectivo, su mayor inconveniente es la pérdida de uniformidad lumínica. Además, en los casos donde siempre se apagan las mismas luminarias existe una disparidad en la vida de las lámparas. Por estos motivos, se desarrollaron los interruptores horarios astronómicos con circuitos alternativos, de forma que cada día alternaba el circuito a apagar

- **REACTANCIAS DE DOBLE NIVEL**

Este sistema está basado en una reactancia que posibilita variar la impedancia del circuito mediante un relé exterior, reduciendo la intensidad que circula por las lámparas y consiguiendo ahorros del 40 % aproximadamente. La orden de activación viene dada por un hilo de mando o por un temporizador interno.

Pese a evitar el problema de la falta de uniformidad lumínica, el cambio brusco de régimen normal a régimen reducido provoca una sensación de falta de luz en el usuario. En los sistemas que incorporan un temporizador para evitar la instalación de la línea de mando, la reducción no está sincronizada y se produce a destiempo en las lámparas. En caso de un reencendido de la instalación de alumbrado cuando está en situación de nivel reducido, el temporizador inicia un nuevo retardo al volver la tensión de red, perdiéndose prácticamente el ahorro correspondiente al tiempo de régimen reducido.

Ninguno de los dos sistemas anteriormente descritos solventan los problemas de sobretensión en la red que disminuyen fuertemente la vida de las lámparas y equipos, y que provocan un gran incremento en el consumo de energía eléctrica

- **ESTABILIZADORES DE TENSIÓN Y REDUCTORES DE FLUJO LUMINOSO EN CABECERA**

La ventaja principal de estos equipos frente a las reactancias de doble nivel es que soluciona los problemas producidos por la inestabilidad de la red ya que durante las horas de régimen normal estabilizan la tensión de alimentación de la línea. En las horas de régimen reducido disminuyen la tensión a todas las luminarias, consiguiendo un ahorro adicional. Véase la incidencia de la tensión de alimentación en la siguiente figura.



Fuente: Fenercom

El hecho de estar instalados en cabecera de línea, hace que su incorporación tanto en instalaciones de alumbrado nuevas como las ya existentes sea sencilla (no se precisa intervención, siempre costosa, en cada uno de los puntos de luz del alumbrado) y facilita el acceso para su mantenimiento.

La instalación de un estabilizador de tensión y reductor de flujo en cabecera de línea (en adelante reductor de flujo) evita excesos de consumo en las luminarias, prolonga la vida de las lámparas y disminuye la incidencia de averías.

A modo de resumen, las ventajas de los estabilizadores de tensión y reductores de flujo luminoso en cabecera de línea son:

- Prolonga la vida de las lámparas.
- Disminuye el coste de mantenimiento.
- Mantiene la uniformidad del alumbrado.
- Evita excesos de consumo (nivel nominal).
- Disminuye el consumo hasta el 40 % (nivel reducido).
- Rápida amortización.

- Apto para VSAP y VM.



Fuente: ORBIS

- **FUNCIONAMIENTO DE LOS REDUCTORES DE FLUJO LUMINIOSO**

Los reductores de flujo están previstos para funcionar a régimen continuo. No obstante se recomienda desconectar de la red durante las horas en que la iluminación no funciona, evitando de esta forma su reducido consumo en vacío. La conexión y desconexión de la red se realiza diariamente por un contactor controlado por un interruptor crepuscular o por un interruptor horario astronómico instalado en el cuadro de alumbrado.

Detallando el funcionamiento, los bornes del cambio de nivel (flujo nominal a reducido) reciben la orden a la hora deseada, iniciando una lenta disminución (aprox. 6 V por minuto) hasta situarse en la tensión de régimen reducido. La regulación de la tensión nominal de salida tiene que seguir manteniéndose en el  $\pm 1\%$  para cualquier variación de carga de 0 a 100 %, y para las variaciones de la tensión de entrada admisibles (normalmente  $\pm 7\%$ ), debiendo ser esta regulación totalmente independiente en cada una de las fases.

- **CICLOS DE FUNCIONAMIENTO**

#### **Régimen de arranque**

Desde el momento de la conexión a la red, los reguladores de flujo inician su ciclo de funcionamiento con una tensión de arranque ligeramente superior a la necesaria por los ignitores de encendido del equipo de iluminación, consiguiendo un suave arranque de las

lámparas y limitando los picos de intensidad de arranque en los balastos y líneas de alimentación. Este valor de tensión de arranque se mantiene durante un tiempo programable (desde unos segundos hasta varios minutos), transcurrido el cual el equipo varía la tensión de salida hasta quedar estabilizada en el nivel correspondiente (normal o reducido). Los tiempos más cortos (menos de 3 minutos) se utilizan para fluorescencia y lámparas especiales. Con 6 minutos aproximadamente de tiempo de arranque se consigue la estabilización después del encendido de las lámparas de VSAP. Finalmente con 12 minutos de tiempo de arranque, se garantiza el reencendido adecuado de lámparas de VM y halogenuros metálicos.

### **Estabilización a régimen normal**

Normalmente se puede elegir un pequeño rango de tensiones de salida, dependiendo del grado de envejecimiento de las lámparas, de su tensión nominal y del ahorro adicional que se quiera conseguir en el caso de nuevas instalaciones. El proceso sería el siguiente:

- Cuando toda la instalación tiene lámparas nuevas, se puede programar un régimen normal a 210 V.
- Pasado el primer tercio de la vida útil, se puede cambiar a 215 V
- Pasados dos tercios de la vida útil de las lámparas se puede volver a cambiar a su tensión nominal.

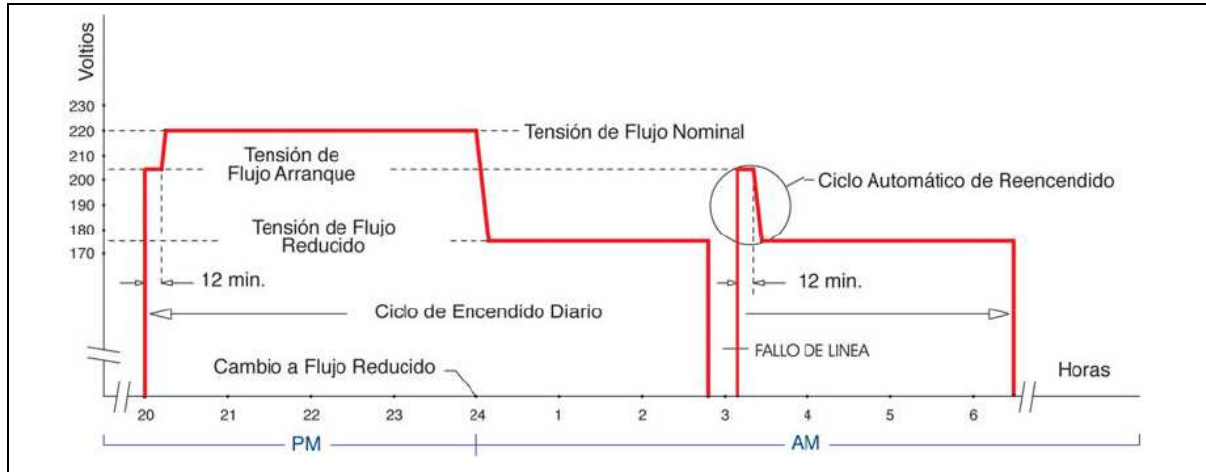
De esta forma se mantiene prácticamente uniforme el flujo luminoso de la instalación durante toda la vida de las lámparas

### **Estabilización a régimen reducido**

Una orden externa, generada por un elemento de control (interruptor crepuscular o interruptor horario astronómico) fija el nivel de iluminación en función de las horas a régimen normal o régimen reducido. La velocidad de variación de la tensión de salida, cuando se cambia de régimen normal a régimen reducido o viceversa se realiza de forma lenta (alrededor de 6 V por minuto), de manera lineal en los equipos de variación continua y con pequeños saltos en los modelos de variación escalonada. De esta forma se garantiza el perfecto comportamiento de las lámparas sin deterioro de su vida.

Las tensiones de régimen reducido oscilan entre 175 V para VSAP y 195 V para VM. El régimen reducido puede ser mantenido hasta la hora de apagado del alumbrado o retornar al régimen normal en las primeras horas de la mañana. Estas tensiones se pueden

programar con un pequeño incremento (por ejemplo 5 V) a fin de corregir una iluminación escasa o caídas de tensión importantes en las instalaciones de alumbrado



Fuente: Fenercom

## • RENDIMIENTO

El rendimiento de los reductores de flujo se determina como cociente entre la potencia activa de salida y la potencia activa de entrada, expresado en porcentaje, y en cualquier caso debe ser siempre superior al 95 %.

## • CARACTERÍSTICAS GENERALES

A modo de resumen, las características básicas que debe cumplir cualquier reductor de flujo son las siguientes:

- Rendimiento superior al 95 %.
- Rango de potencia variable
- Reducción de consumo hasta el 40 % sobre el nominal.
- Fases totalmente independientes.
- Protección por magnetotérmico en cada fase.
- By-pass por fase.
- Carga admisible del 0 al 100 %.
- Mantenimiento del Cos Fi
- No introducción de armónicos en la red.
- Estabilización  $\pm 1$  %.



- Flujo nominal configurable.
- Flujo reducido configurable.
- Tiempo de arranque variable.
- Velocidad de cambio de nivel: 6 V/minuto aprox.

Por su tipo de regulación, los reductores de flujo se pueden clasificar en reguladores de variación continua y de variación escalonada.

#### • **AUXILIARES DE REGULACIÓN**

Como se ha definido anteriormente, las instalaciones de alumbrado público se componen de forma mayoritaria de equipos con lámparas de VSAP o VM. En los equipos con balasto serie y lámpara de VSAP se pueden regular y reducir su potencia con los equipos reductores de flujo en cabecera de línea hasta el 40 % sobre el valor nominal. Con equipos para lámparas VM y balastos tipo serie, se puede reducir directamente la potencia del sistema hasta el 25 % del valor nominal, equivalente a una tensión de alimentación de 195 V. Cuando se intentan reducciones por debajo de 195 V se producen apagados e inestabilidad en la instalación de alumbrado motivados por la característica inversa de la tensión de arco de las lámparas (a menor potencia, mayor tensión de arco).

Existen instalaciones de alumbrado con lámparas de VSAP y VM en la misma instalación, caso en el que se restringe la reducción de toda la instalación a los parámetros de las lámparas de VM (25 % de reducción). Con el fin de lograr el mayor ahorro posible y un funcionamiento estable en las lámparas de VM, se desarrollan los auxiliares de regulación, un novedoso componente que instalado entre el balasto y lámpara de VM, permite reducir la tensión a 175 V evitando los indeseados apagados e inestabilidades y obteniendo ahorros superiores al 35 % en VM para valores en la tensión de flujo reducido equivalentes a las lámparas de VSAP de 175 V. Con la incorporación de los auxiliares de regulación se obtienen ahorros similares en las lámparas VSAP y VM, en instalaciones que comparten los dos modelos o únicamente con lámparas de VM eliminando a su vez las molestas perturbaciones que producen estas lámparas

### 1.4.5 TELEGESTIÓN

Los sistemas de telegestión permiten, por un lado, controlar desde el punto de vista energético las instalaciones, supervisando en todo momento los consumos energéticos que se están produciendo, pudiendo valorar si son coherentes o no y el ahorro que se está realizando tras la introducción de medidas de ahorro energético. Por otro lado, posibilita mantener la correcta gestión de las instalaciones a distancia, permitiendo detectar puntos de luz fuera de funcionamiento o problemas que generen alarmas.

Los sistemas de telegestión suelen estar formados por equipos encargados de realizar las medidas eléctricas, ofrecer información directa y establecer las comunicaciones; pueden disponer también de varios nodos secundarios conectados en las diversas líneas del cuadro y que vigilan el perfecto funcionamiento de las maniobras y protecciones del mismo, mandan información permanentemente del funcionamiento y anomalías al controlador principal.

#### • **FUNCIONAMIENTO**

En relación a la valoración del ahorro energético, los sistemas de telegestión efectúan un cálculo del ahorro de energía por cada fase, a partir de la diferencia de potencial entre las tensiones de entrada y salida de cada una de las fases. El porcentaje de ahorro se estima para una instalación de alumbrado con lámparas de VSAP y vida media de las lámparas. En cuanto a las maniobras, se activa un relé, con salida libre de potencial, por cada fase de entrada, a fin de efectuar un by-pass independiente en cada fase del reductor-estabilizador en el cuadro de alumbrado, en cuanto se detecte que la tensión de salida desaparece o es inferior a 160 V.

Puede disponer de una entrada de control de tensión, para indicar el estado de funcionamiento de la instalación de alumbrado y para la señalización del estado de reducción de flujo. Disponen de alarmas por fallo de tensiones en las salidas y en la entrada general, alarmas de intrusismo y apertura del cuadro.

Todas las alarmas y medidas se pueden gestionar mediante aplicaciones informáticas, bien en modo local o bien en modo remoto, mediante módem, telefónico o GSM. Asimismo, se puede programar el envío de ciertas alarmas a teléfonos GSM mediante mensajes SMS. Igualmente desde el teléfono GSM se pueden enviar ciertos comandos

mediante mensajes SMS al módem GSM instalado en el cuadro eléctrico para recibir información de las tensiones de entrada -salida y alarmas, ordenar conexión y desconexión del cuadro, anular la reducción de flujo y conexión - desconexión del by-pass. Estas últimas funcionalidades son muy útiles en tareas de mantenimiento

- **SOFTWARE DE COMUNICACIONES**

Las aplicaciones informáticas tienen, entre otras, las siguientes posibilidades en cuanto a petición de parámetros de trabajo:

- Tensión de línea, intensidad de línea y cosenos de cada fase.
- Tensión de salida del regulador-estabilizador en cada fase.
- Porcentaje de ahorro por faseT.
- Porcentaje de ahorro total.
- Consumo energético por fase y total.
- Incidencias posibles en cada nodo esclavo.

#### 1.4.6 TECNOLOGÍA LED

- **INTRODUCCIÓN**

El rápido desarrollo de los LEDs (Light Emiting Diodes) como nuevas fuentes de emisión luminosa ha permitido que de ser consideradas en el pasado simplemente indicadores luminosos, pasen a ser habitualmente empleadas en sistemas de señalización luminosa y se inicie su introducción en los sistemas de alumbrado e iluminación. Esto ha sido posible por la elevada vida media de los LEDs de las últimas generaciones, el notable incremento de su luminosidad y el mantenimiento de su reducido consumo, dando lugar a sistemas altamente eficaces energéticamente y de bajo coste de mantenimiento. Su empleo en los sistemas de iluminación ha sido bastante limitado hasta la actualidad, dado que los niveles de iluminación necesarios son muy elevados y los requerimientos en cuanto a la “calidad visual” de la iluminación que produce cualquier fuente luminosa empleada para iluminación convencional, exige altas prestaciones en cuanto a:

- aspecto del color de dicha luz (temperatura de color de la fuente),
- índices de reproducibilidad cromática,

- posibilidad de control de los haces luminosos, y confort visual: reducción de deslumbramientos molestos directos e indirectos.

Todos estos aspectos quedan cubiertos, como se verá más adelante, por los LEDs de última generación: altas temperaturas de color, contribución de emisión luminosa de todo el espectro visible, y elevadas intensidades y posibilidad de agrupación e incorporación de elementos ópticos que permitan regular, direccionar y apantallar la iluminación según convenga para cada aplicación.

A todo ello se pueden añadir otras ventajas adicionales muy importantes: alta vida media (bajos costes de trabajos de mantenimiento y reposición), y reducido consumo energético (disminución en los costes de mantenimiento de las instalaciones e incluso posibilidad del empleo de baterías).

- **CARACTERÍSTICAS LEDS**

Las características más importantes, desde el punto de vista de su aplicación a sistemas de iluminación, son:

#### **Larga vida útil**

Con relación a la vida, un LED puede funcionar durante un período de tiempo que oscila entre las 50.000 y las 100.000 horas, de modo similar a la lámpara de vapor de mercurio, puede emitir luz durante toda su vida, pero lo importante de su vida útil es la posibilidad de emitir el mayor flujo luminoso útil durante la mayor parte de tiempo. Como consecuencia las operaciones de mantenimiento y reemplazamiento se verán drásticamente reducidas, pues no serán prácticamente necesarias durante períodos superiores a 10 años.

#### **Emisión luminosa**

En cuanto a la emisión luminosa, los avances tecnológicos producidos en los últimos años en este tipo de dispositivos los sitúan en una posición privilegiada con respecto a las lámparas tradicionales.

#### **Depreciación luminosa**

La despreciable depreciación luminosa de los LED de alta luminosidad proporciona una alternativa de fuente de luz práctica que contrarresta los elevados costes de mantenimiento de las lámparas convencionales. Del mismo modo que este aspecto ha

contribuido notablemente a la sustitución de las lámparas incandescentes en los semáforos y señales de tráfico, por este tipo de dispositivos, se espera que conduzca a la adopción de esta tecnología también en el mundo de la iluminación.

### **Calidad de luz**

Con los últimos perfeccionamientos en los dispositivos LED de alta luminosidad se ha conseguido una excelente calidad de luz, tanto coloreada como blanca. Dicha luz está libre de UV (ultravioletas) e IR (infrarrojos). Los colores son muy saturados y casi monocromáticos. En general para obtener la luz blanca se utiliza, o bien la mezcla de dispositivos rojo, verde y azul, o bien un fósforo sobre un determinado color, generalmente sobre el azul. El rendimiento cromático y la eficacia luminosa han mejorado significativamente en los últimos tiempos.

### **Alumbrado urbano**

En cuanto al aspecto de dinamicidad del futuro alumbrado urbano de nuestras ciudades, las características eléctricas de los LED permitirán una regulación total sin variación de color, un encendido instantáneo a todo color, un cambio dinámico de color.

### **Consideraciones especiales de diseño**

Entre las características más aprovechables de los LED están su compacto tamaño, la naturaleza direccional de la luz, los elevados rendimientos de gestión térmica y los avances tecnológicos que permiten una creciente emisión luminosa, por lo que se ofrecen nuevas oportunidades para los diseñadores. Para una mejor comprensión de estas ventajas, a continuación se resumen los aspectos más interesantes para su utilización:

- Ganancias en el flujo emitido.
- Control de la luz.
- Gestión térmica.

Además de los enormes incrementos de flujo luminoso que se han producido en los últimos meses, en los que se van reduciendo sus pérdidas térmicas, que han ido evolucionando desde un 80 % que suponían en un pasado no muy lejano, a una proporción muy inferior en nuestros días y con esperanzas de reducirlas enormemente en un futuro próximo.

La aparición de los LED de alta luminosidad ha modificado sustancialmente el nuevo diseño de las luminarias que incorporen estos dispositivos, que además se verán beneficiadas por la duración de un ciclo de vida de las luminarias de cinco a siete años sin necesidad de hacer ninguna operación de mantenimiento sobre ellas. Al mismo tiempo, la direccionalidad de su emisión y su pequeño tamaño abren nuevas vías al desarrollo de sistemas ópticos con un elevadísimo control de la distribución luminosa, mejorando notablemente las eficiencias conjuntas de fuente de luz convencional y luminaria.

• **APLICACIONES EN ALUMBRADO EXTERIOR**

En las aplicaciones de iluminación exterior, los aspectos más interesantes son:

- Elevada duración de vida, con lo que las operaciones de mantenimiento se pueden distanciar en el tiempo o incluso eliminar con respecto a las de las lámparas convencionales. No hay que olvidar que mientras en los LED la vida supera las 50.000 horas, la mayor duración de vida de las lámparas convencionales es de 24.000 horas.
- Poder para direccionar la luz gracias al pequeño tamaño de los dispositivos emisores de luz, como ya se ha explicado previamente, que da origen a conseguir iluminaciones semejantes a las aquí recogidas.
- Reducido consumo energético (disminución en los costes de mantenimiento de las instalaciones e incluso posibilidad del empleo de baterías).

El ahorro energético producido por el uso de la tecnología LED es importante, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Pot. Bombilla incandescente a sustituir (W)	Pot. LED (W)	Ahorro energía (kWh) durante la vida útil LED (50.000h)	Ahorro factura eléctrica (€)	Ahorro en emisiones CO2 (kg CO2)
40	9	1.550	186	1.162
60	11	2.450	294	1.837
75	15	3.000	360	2.250
100	20	4.000	480	3.000
150	32	5.900	708	4.425

Nota: Coste estimado de 0.12€/kWh

Es evidente que con estas predicciones y realidades, debemos confiar en que el futuro, el uso de la tecnología LED en el alumbrado público será la opción predominante.



## 1.5 REAL DECRETO EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ALUMBRADO EXTERIOR

A continuación se presenta un resumen de las principales novedades del RD Eficiencia Energética en Alumbrado Exterior, que introduce medidas muy interesantes desde el punto de vista de ahorro energético. La entrada en vigor del presente R.D es el 1 Abril 2009. Se debe aplicar sobre las instalaciones de:

- Alumbrado Vial (funcional y ambiental)
- Alumbrado Específico
- Ornamental
- Vigilancia y seguridad nocturna
- Señales y anuncios luminosos
- Festivos y Navideño

Es aplicable a nuevas instalaciones y a instalaciones existentes con modificaciones de importancia (>50% de la potencia o luminarias instaladas) y ampliaciones. Quedan

exentas las instalaciones que ya estén iniciadas antes del 01/04/09 y con finalización antes del 01/04/10.

Este Real Decreto está dividido en las siguientes ITC's:

- ITC-EA-01 Eficiencia Energética
- ITC-EA-02 Niveles de Iluminación
- ITC-EA-03 Resplandor Luminoso Nocturno y Luz Intrusa
- ITC-EA-04 Componentes de las Instalaciones
- ITC-EA-05 Documentación Técnica. Inspecciones
- ITC-EA-06 Mantenimiento Eficiencia Energética
- ITC-EA-07 Mediciones Luminotécnicas

En referencia a la ITC-EA-01 Eficiencia Energética, destacan las siguientes definiciones:

La eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior se define como:

$$\epsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} \left( \frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}} \right)$$

Siendo:

- S = superficie iluminada (m<sup>2</sup>);
- E<sub>m</sub> = iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto (lux);
- P = potencia activa instalada (lámparas y equipos auxiliares) (W);

O bien por la expresión:

$$\epsilon = \epsilon_L \cdot f_m \cdot f_u \left( \frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}} \right)$$

La eficiencia energética también se puede determinar mediante la utilización de los siguientes factores:

- ε<sub>L</sub> = eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares (lum/W= m<sup>2</sup> lux/W)



- fm = factor de mantenimiento de la instalación (en valores por unidad)
- fu = factor de utilización de la instalación (en valores por unidad)

Tras esta definición, se presentan los requisitos mínimos de alumbrado según su uso:

Iluminancia media en servicio $E_m$ (lux)	EFICIENCIA ENERGÉTICA MÍNIMA ( $m^2 \cdot lux$ )/ w	Iluminancia media en servicio $E_m$ (lux)	EFICIENCIA ENERGÉTICA MÍNIMA ( $m^2 \cdot lux$ )/ w
>30	22	>20	9
25	20	15	7,5
20	17,5	10	6
15	15	7,5	5
10	12	<5	3,5
<7,5	9,5		
Nota - Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal		Nota - Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal	
<b>Instalaciones alumbrado funcional</b>		<b>Instalaciones alumbrado ambiental</b>	

Por otro lado, las instalaciones de alumbrado exterior, excepto las de alumbrados de señales, anuncios luminosos y festivos y navideños, se calificarán en función de su índice de eficiencia energética, que será el cociente entre la eficiencia energética de la instalación ( $\epsilon$ ) y el valor de eficiencia energética de referencia ( $\epsilon_R$ )

$$I\epsilon = \epsilon / \epsilon_R$$

El índice utilizado para la escala de letras será el índice de consumo energético (ICE) que es igual al inverso del índice de Eficiencia energética

$$ICE = 1 / I\epsilon$$

Los criterios de calificación energética de una instalación de alumbrado se muestran en la siguiente tabla.

Calificación Energética	Índice de consumo energético	Índice de Eficiencia Energética
A	$ICE < 0,91$	$le > 1,1$
B	$0,91 \leq ICE < 1,09$	$1,1 \geq le > 0,92$
C	$1,09 \leq ICE < 1,35$	$0,92 \geq le > 0,74$
D	$1,35 \leq ICE < 1,79$	$0,74 \geq le > 0,56$
E	$1,79 \leq ICE < 2,63$	$0,56 \geq le > 0,38$
F	$2,63 \leq ICE < 5,00$	$0,38 \geq le > 0,20$
G	$ICE \geq 5,00$	$le \leq 0,20$

- **ITC-EA-02 Niveles de Iluminación**

Se entiende por nivel de iluminación el conjunto de requisitos luminotécnicos o fotométricos (luminancia, iluminancia, uniformidad, deslumbramiento, relación de entorno, etc) - Los niveles máximos de luminancia o de iluminancia media no podrán superar en más de un 20% los niveles medios de referencia. Deberá garantizarse asimismo el valor de la uniformidad mínima:

- Alumbrado viario.
- Alumbrados específicos para pasarelas, jardines, pasos subterráneos etc.
- Alumbrado Ornamental, fachadas y edificios.
- Alumbrado zonas de vigilancia y seguridad nocturna.
- Alumbrado de señales, escaparates y anuncios luminosos.
- Alumbrado de uso festivo y navideño.

Deberá reducirse el nivel de iluminación en las instalaciones de alumbrado vial, alumbrado específico, alumbrado ornamental y alumbrado de señales y anuncios luminosos, con potencia instalada superior a 5 kW Debiendo mantener el criterio de uniformidad de luminancia e iluminancia y deslumbramientos. No se podrá realizar la reducción del nivel de iluminación mediante el sistema de media apagada, si no esta aplicada a cada elemento o luminarias.

- **ITC-EA-04 Componentes de las Instalaciones**

## Lámpara

Excepto en alumbrado navideño y festivo, las lámparas utilizadas en instalaciones de alumbrado exterior tendrán una eficacia luminosa superior a:

- 40 lum/W, para alumbrados de vigilancia y seguridad nocturna y de señales y anuncios luminosos
- 65 lum/W, para alumbrados vial, específico y ornamental.

Teniendo en cuenta la tabla comparativa de vida media y de rendimiento lúmenes/W, de las lámparas comercializadas en la actualidad:

Lámpara	Vida Media (horas)	Eficiencia Energética (lumens / Wat)
Incandescente	1000	14
Fluorescente	6500	65
Vapor Mercurio	10000	50
Vapor Sodio Baja Presión	12000	170
Vapor Sodio Alta Presión	12000	100
Halogenuros Metalicos	10000	90
LEDs	50000	80

Se puede observar como las **lámparas prohibidas por el número real decreto** son las siguientes:

- Incandescentes en todos sus usos.
- Las de Vapor de Mercurio para instalaciones de alumbrado vial, específico y ornamental

## Luminarias

Las luminarias incluyendo los proyectores, que se instalen en las instalaciones de alumbrado excepto las de alumbrado festivo y navideño, deberán cumplir con los requisitos de la siguiente tabla

PARÁMETROS	ALUMBRADO VIAL		RESTO ALUMBRADOS (1)	
	Funcional	Ambiental	Proyectores	Luminarias
Rendimiento ( $\eta$ )	$\geq 65\%$	$\geq 55\%$	$\geq 55\%$	$\geq 60\%$
Factor de utilización	(2)	(2)	$\geq 0,25$	$\geq 0,30$

(1) A excepción de alumbrado festivo y navideño.  
(2) Alcanzarán los valores que permitan cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en las tablas 1 y 2 de la ITC-EA-01.

## Equipos auxiliares

La potencia eléctrica máxima consumida por el conjunto del equipo auxiliar y lámpara de descarga, no superará los valores de la tabla

POTENCIA NOMINAL DE LÁMPARA (W)	POTENCIA TOTAL DEL CONJUNTO (W)			
	SAP	HM	SBP	VM
18	--	--	23	--
35	--	--	42	--
50	62	--	--	60
55	--	--	65	--
70	84	84	--	--
80	--	--	--	92
90	--	--	112	--
100	116	116	--	--
125	--	--	--	139
135	--	--	163	--
150	171	171	--	--
180	--	--	215	--
250	277	270 (2,15A) 277 (3A)	--	270
400	435	425 (3,5A) 435 (4,6A)	--	425

## Accionamiento

Se deberá regular el encendido y apagado según necesidades de la luminosidad lo requiera, al objeto de ahorrar energía. como por ejemplo:

- fotocélulas,
- relojes astronómicos
- y sistemas de encendido centralizado.

Para potencias instaladas (suma de lámparas y equipos auxiliares superiores a 5 kW, deberá incorporar un sistema de accionamiento por reloj astronómico o sistema de

**encendido centralizado**, y aquellas con una potencia en lámparas y equipos auxiliares inferior o igual a 5 kW también podrá incorporarse un sistema de accionamiento mediante fotocélula.

### **Sistemas de reducción luminosa**

Con la finalidad de ahorrar energía, las instalaciones de alumbrado recogidas en el capítulo 9 de la ITCEA- 02, se proyectarán con dispositivos o sistemas para regular el nivel luminoso mediante alguno de los sistemas siguientes:

- balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia;
- reguladores - estabilizadores en cabecera de línea;
- balastos electrónicos de potencia regulable.

Los sistemas de regulación del nivel luminoso deberán permitir la disminución del flujo emitido hasta un 50% del valor en servicio normal, manteniendo la uniformidad de los niveles de iluminación, durante las horas con funcionamiento reducido

## **2 SECTOR TERCIARIO**

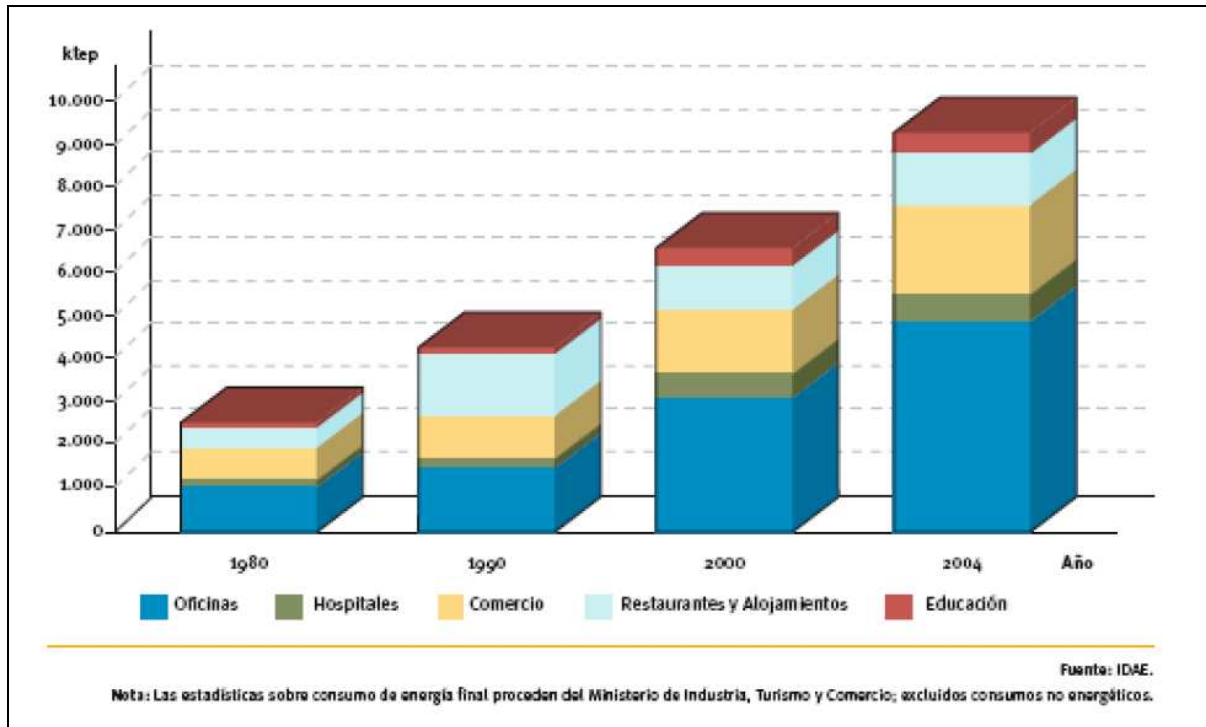
### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En este apartado se revisarán las principales instalaciones que se pueden encontrar en los edificios típicos del sector servicios, diferenciando en iluminación interior y climatización (refrigeración y calefacción). Por otro lado, se detallarán los equipos de ahorro energético más interesantes a instalar en cada caso.

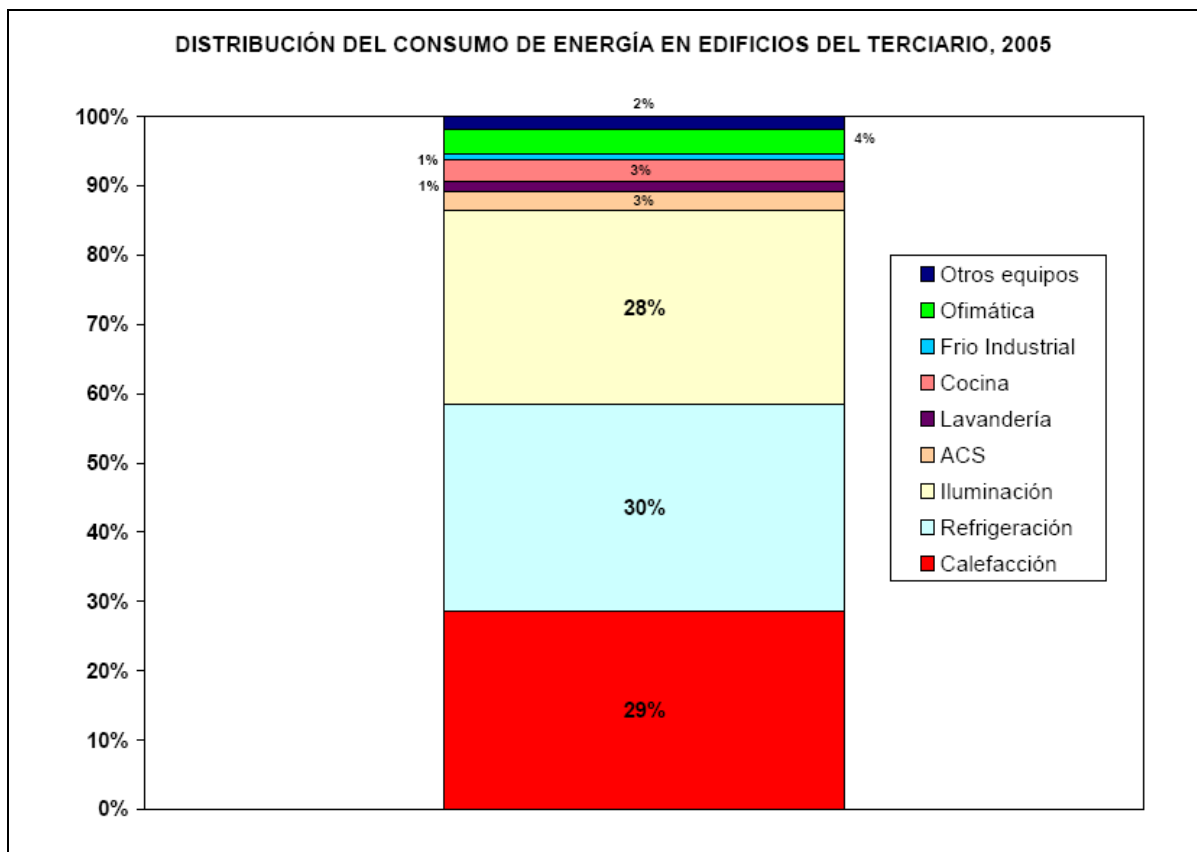
### **2.2 ANÁLISIS SECTORIAL**

El consumo de energía final del Sector Edificación ascendió en el año 2005 a 18.123 ktep sobre un total nacional de 106.940 ktep, lo que representa el 17% del consumo de energía final nacional. De este consumo, 7.330 ktep corresponden al sector terciario, un 7% sobre el total nacional. Respecto al área de ocupación, hay que tener en cuenta que 389 millones de m<sup>2</sup> corresponden al sector terciario en sus diferentes usos.

Analizando los edificios englobados dentro del sector terciario, los de uso administrativo son los que tiene un mayor peso en el consumo de energía del sector, seguido por los edificios destinados al comercio, los restaurantes y alojamientos, edificios sanitarios y educativos



Atendiendo a la distribución de consumo entre sectores para el terciario y su distribución de consumo específica por usos, se obtiene por ponderación, la distribución media de consumo de energía por usos para el sector de edificios del terciario que se indica en el gráfico siguiente.



Fuente: IDAE

Entre los tres consumidores más importantes se llevan el 87% del consumo de energía del sector, prácticamente con la misma importancia: refrigeración (30%), calefacción (29%) e iluminación (28%). La ofimática (4%) y el agua caliente sanitaria (3%) le siguen a gran distancia.

A continuación se detallan las principales instalaciones que se pueden encontrar en los edificios del sector terciario.

### 2.3 INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN

La iluminación juega un papel fundamental en el desarrollo de las actuales actividades sociales, comerciales e industriales. La tecnología ha evolucionado a sistemas de alumbrado capaces de adaptarse a las exigencias actuales y que, a su vez, son más eficientes energéticamente. La iluminación representa en muchos edificios un porcentaje elevado del consumo eléctrico. Así, el porcentaje de energía eléctrica dedicado a iluminación puede llegar a alcanzar en algunos casos más del 50 %.



Sector	% de energía eléctrica dedicada a iluminación
Oficinas	50%
Hospitales	20-30%
Industria	15%
Colegios	10-15%
Comercios	15-70%
Hoteles	25-50%
Residencial	10-15%

Por tanto, existe un gran potencial de ahorro, tanto energético como económico, alcanzable mediante el empleo de equipos eficientes, unido al uso de sistemas de regulación y control adecuados a las necesidades del espacio a iluminar. A través de este módulo se proporcionan los conocimientos y pautas necesarias para que los sistemas de iluminación sean energéticamente eficientes prestando también atención a los criterios de calidad y ergonomía en cada caso. Deben tenerse en cuenta todas las fases del proyecto: diseño, selección de equipos, mecanismos de gestión y control y operaciones de mantenimiento

### 2.3.1 CONSUMO ENERGÉTICO

Antes de analizar las diferentes posibilidades vamos a recordar unos conceptos básicos. La energía consumida por una instalación de iluminación depende de la potencia del sistema de alumbrado instalado y del tiempo que está encendida. Ambos aspectos son importantes ya que sus variaciones pueden afectar a la eficiencia energética de la instalación. Es importante conocer el consumo de energía de una instalación (existente o futura) cuando se considera el coste-efectividad de medidas para mejorar su eficiencia energética. Tales medidas requerirán una inversión económica, pero reducirán el consumo de energía en el futuro.

Para calcular el consumo energético de una instalación es necesario considerar los siguientes factores:

**Potencia Instalada:** La potencia instalada se calcula multiplicando el número de lámparas por su potencia unitaria, teniendo en cuenta que en la potencia de la lámpara se debe incluir la potencia del equipo auxiliar (en caso de que la lámpara lo requiera).

**Horas de Uso:** Las horas de uso de una instalación dependen de los patrones de ocupación del espacio, la luz natural disponible y el sistema de control usado.

**Consumo Energético:** El consumo energético se calcula multiplicando la potencia instalada por las horas de uso.

### 2.3.2 SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

Refrescados estos conceptos básico, se procede a analizar los sistemas de iluminación. Tal y como se ha visto en el apartado de alumbrado exterior, un sistema de iluminación está formado por:

- Fuente de luz.
- Equipos Auxiliares.
- Luminarias.

#### • **FUENTES DE LUZ**

Las fuentes de luz (lámparas) en alumbrado interior, al igual que en el exterior, pueden producir la luz de diferentes maneras:

- Calentando cuerpos sólidos hasta alcanzar su grado de incandescencia (fundamento de las lámparas incandescentes).
- Provocando una descarga eléctrica en el seno de un gas.
- Provocando una descarga en un cuerpo sólido (LED).

Las principales características para definir las fuentes de luz son las siguientes:

- **Potencia:** Potencia eléctrica de alimentación (W) necesaria para el correcto funcionamiento de una fuente de luz.
- **Eficacia Luminosa:** La eficacia luminosa de una fuente de luz es el flujo de luz que emite dividida por la potencia eléctrica consumida en su obtención. Indica la eficiencia

con la que la energía eléctrica es transformada en luz. En la definición de eficacia luminosa no se tiene en cuenta la potencia consumida por los equipos auxiliares (potencia de pérdidas); sin embargo, este consumo debe considerarse al analizar el funcionamiento de la lámpara

- **Vida de la Lámpara:** Las lámparas incandescentes dejan de funcionar de manera brusca, aunque mantienen prácticamente constante el flujo luminoso a lo largo de toda su vida. Sin embargo, en el resto de fuentes de luz se produce una depreciación del flujo luminoso emitido a lo largo de su vida, por lo que es importante determinar cuando deja de ser funcional, pues suele ser mucho tiempo antes de dejar de funcionar. Teniendo en cuenta lo anterior se establecen dos conceptos:
  - Vida media: indica el número de horas de funcionamiento a las cuales el final de vida de un lote representativo de fuentes de luz del mismo tipo alcanza el 50 % en condiciones estandarizadas.
  - Vida útil (económica): indica el tiempo de funcionamiento en el cual el flujo luminoso de la instalación ha descendido a un valor tal que la fuente de luz no es rentable y es recomendable su sustitución, teniendo en cuenta el coste de la lámpara, el precio de la energía consumida y el coste de mantenimiento.

A continuación se muestran valores orientativos de estos tiempos:

Lámpara	Vida Media (horas)	Vida Útil (horas)
<b>Incandescencia</b>	1.000	1.000
<b>Halógena</b>	2.000	2.000
<b>Fluorescente tubular</b>	12.500	7.500
<b>Fluorescente compacta</b>	8.000	6.000
<b>Vapor de Mercurio</b>	24.000	12.000
<b>Luz Mezcla</b>	9.000	6.000
<b>Vapor Sodio Baja Presión</b>	22.000	12.000
<b>Vapor Sodio Alta Presión</b>	20.000	15.000

- **Propiedades Cromáticas:** Las lámparas se pueden clasificar en función de su Índice de Reproducción Cromática (IRC o Ra) de la siguiente manera:

Clase	Ra
1 <sup>a</sup>	>90
1B	80-89
2 <sup>a</sup>	70-79
2B	60-69
3	40-59
4	<20

La siguiente tabla muestra los tipos de lámparas en función de sus características de temperatura de color e índice de reproducción cromática

Índice de reproducción cromática (Ra)	Clase	Temperatura de color		
		Cálido <3.300 K	Neutro 3.300-5.000 K	Frio >5.000 K
≥ 90	1 A	Halógenas	Fluorescencia lineal y compacta	Fluorescencia lineal y compacta
		Fluorescencia lineal y compacta	Halogenuros metálicos y cerámicos	
		Halogenuros metálicos y cerámicos		
80-89	1 B	Fluorescencia lineal y compacta	Fluorescencia lineal y compacta	Fluorescencia lineal y compacta
		Halogenuros metálicos y cerámicos	Halogenuros metálicos y cerámicos	
		Sodio blanco		
70-79	2 A	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos
< 70	2 B, 3, 4	Mercurio	Mercurio	
		Sodio		

Fuente: FENERCOM

• **TIPOS DE LÁMPARAS**

Actualmente en el alumbrado interior se emplean casi con exclusividad las lámparas eléctricas. Existen distintos tipos de fuentes de luz, dependiendo la elección de un tipo u otro de las necesidades concretas de cada aplicación. A continuación se describen los distintos tipos de lámparas, algunos de ellos ya mencionados en apartados anteriores.:

## **Lámparas incandescentes**

Lámparas incandescentes no halógenas: Las lámparas incandescentes son las más utilizadas principalmente en el sector doméstico, aunque también se encuentran en el sector terciario. Sus principales características son su bajo coste, su versatilidad y su simplicidad de uso. Su funcionamiento se basa en hacer pasar una corriente eléctrica por un filamento de wolframio hasta que alcanza una temperatura tan elevada que emite radiaciones visibles por el ojo humano.

Lámparas incandescentes halógenas: La incandescencia halógena mejora la vida y la eficacia de las lámparas incandescentes, aunque su coste es mayor y su uso más delicado. Incorporan un gas halógeno para evitar que se evapore el wolframio del filamento y se deposite en la ampolla disminuyendo el flujo útil como ocurre en las incandescentes estándar.

## **Lámparas de descarga**

Las lámparas de descarga constituyen una forma de producir luz más eficiente y económica que las lámparas incandescentes. La luz se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos. A diferencia de la incandescencia, la tecnología de descarga necesita un equipo auxiliar (balasto, cebador) para su funcionamiento. Según el tipo de gas y la presión a la que se le somete, existen distintos tipos de lámparas de descarga.

Lámparas fluorescentes tubulares: Son lámparas de vapor de mercurio a baja presión de elevada eficacia y vida. Las cualidades de color y su baja luminancia las hacen idóneas para interiores de altura reducida. Ocupan el segundo lugar de consumo después de las incandescentes, principalmente en oficinas, comercios, locales públicos, industrias, etc. Las lámparas fluorescentes más usadas hoy en día son las T8 (26 mm de diámetro); sin embargo, se han desarrollado las T5 (16 mm de diámetro) que sólo funcionan con equipo auxiliar electrónico. Esto, junto a su menor diámetro les proporciona una alta eficacia luminosa, que puede alcanzar hasta 104 lm/W.

Lámparas fluorescentes compactas: Poseen el mismo funcionamiento que las lámparas fluorescentes tubulares y están formadas por uno o varios tubos fluorescentes doblados. Son una alternativa de mayor eficacia y mayor vida a las lámparas incandescentes. Algunas de estas lámparas compactas llevan el equipo auxiliar incorporado (lámparas

integradas) y pueden sustituir directamente a las lámparas incandescentes en su portalámparas.

Lámparas fluorescentes sin electrodos: Las lámparas sin electrodos o de inducción emiten la luz mediante la transmisión de energía en presencia de un campo magnético, junto con una descarga en gas. Su principal característica es la larga vida (60.000 h) limitada sólo por los componentes electrónicos.

Lámparas de vapor de mercurio a alta presión: Ya vistas en el apartado de alumbrado exterior.

### **Lámparas de luz mezcla**

Son una combinación de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión y lámparas incandescentes y, habitualmente, un recubrimiento fosforescente. Estas lámparas no necesitan balasto ya que el filamento actúa como estabilizador de corriente. Su eficacia luminosa y su reproducción en color son muy pobres. Es un tipo de lámpara en desuso.

### **Lámparas de halogenuros metálicos**

Como ya se ha visto en apartados anteriores, este tipo de lámpara posee halogenuros metálicos además del relleno de mercurio por lo que mejoran considerablemente la capacidad de reproducir el color, además de mejorar la eficacia. Su uso está muy extendido y es muy variado, por ejemplo, en alumbrado público, comercial, de fachadas, monumentos, etc.

### **Lámparas de halogenuros metálicos cerámicos**

Esta nueva familia de lámparas combina la tecnología de las lámparas de halogenuros metálicos con la tecnología de las lámparas de sodio de alta presión (quemador cerámico). El tubo de descarga cerámico, frente al cuarzo de los halogenuros metálicos convencionales, permite operar a temperaturas más altas, aumenta la vida útil (hasta 15.000 h), la eficacia luminosa y mejora la estabilidad del color a lo largo de la vida de las lámparas. En definitiva, combinan la luz blanca propia de los halogenuros metálicos, y la estabilidad y la eficacia del sodio. Por sus características, son lámparas muy adecuadas para su uso en el sector terciario (comercios, oficinas, iluminación arquitectónica, escaparates, hoteles, etc.).

### **Lámparas de vapor de sodio a baja presión y alta presión**

Ya vista en el apartado de alumbrado exterior

## Tecnología LED

Además de sus aplicaciones en alumbrado exterior, los LEDs tienen uso en el sector terciario. Mantienen sus características de elevada vida (hasta 50.000 horas) y son muy resistentes a los golpes. Además, son un 80 % más eficientes que las lámparas incandescentes. Por estas razones están empezando a sustituir a las bombillas incandescentes y a las lámparas de bajo consumo en un gran número de aplicaciones, como escaparates, señalización luminosa, iluminación decorativa, etc.

La siguiente tabla muestra los principales tipos de lámparas empleados en cada una de las aplicaciones:

	Incand. Estándar	Halógena	Fluorescente Tubular	Fluorescente Compacta	Mercurio Alta Presión	Halogenuro	Sodio Alta Presión	Sodio Baja Presión	Halogenuro Metálico Cerámico	Inducción	Sodio Blanco
Oficinas			X	X		X			X	X	X
Tiendas (general)	X	X	X	X		X			X	X	X
Tiendas (exposición)	X	X	X	X		X			X	X	X
Deportes (interiores)			X			X			X		
Industrial			X		X	X	X		X		
Doméstico (seguridad)	X			X							
Industrial (seguridad)			X					X			X
Deportes						X	X		X		
Grandes Áreas		X			X	X	X		X		
Doméstico	X	X	X	X							
Alumbrado Público					X		X	X	X	X	X

Fuente: FENERCOM

## • EQUIPOS AUXILIARES

Continuando con el contenido expuesto en apartados anteriores, mientras que las lámparas incandescentes funcionan de forma estable al conectarlas directamente a la red, la mayor parte de las fuentes de luz requieren un equipo auxiliar para iniciar su funcionamiento o evitar crecimientos continuos de intensidad. En algunas lámparas, como las halógenas de baja tensión, la tensión de funcionamiento es distinta a la suministrada por la red, por lo que requieren igualmente de equipos auxiliares.

Los equipos auxiliares determinan en gran parte las prestaciones de servicio de la lámpara, en lo que a calidad y a economía en la producción de luz se refiere. Estos equipos tienen su propio consumo eléctrico que ha de ser tenido en cuenta al evaluar el sistema de iluminación en su conjunto. Como ya sabemos, los equipos auxiliares más comunes son los balastos, arrancadores o cebadores, y condensadores, así como, transformadores para las lámparas halógenas de baja tensión. En caso de trabajar con equipo electrónico los tres componentes necesarios para el adecuado funcionamiento de la lámpara (equipo, cebador y condensador) se incorporan en un solo elemento.

Desde el punto de vista energético, en función del tipo de equipo auxiliar que se emplee, las pérdidas en la potencia de la lámpara son del siguiente orden:

Rango de pérdidas	Tipo de equipo auxiliar		
	Electromagnético estándar (resistivo)	Electromagnético bajas pérdidas (inductivo)	Electrónico
Fluorescencia	20-25%	14-16%	8-11%
Descarga	14-20%	8-12%	6-8%
Halógenas Baja Tensión	15-20%	10-12%	5-7%

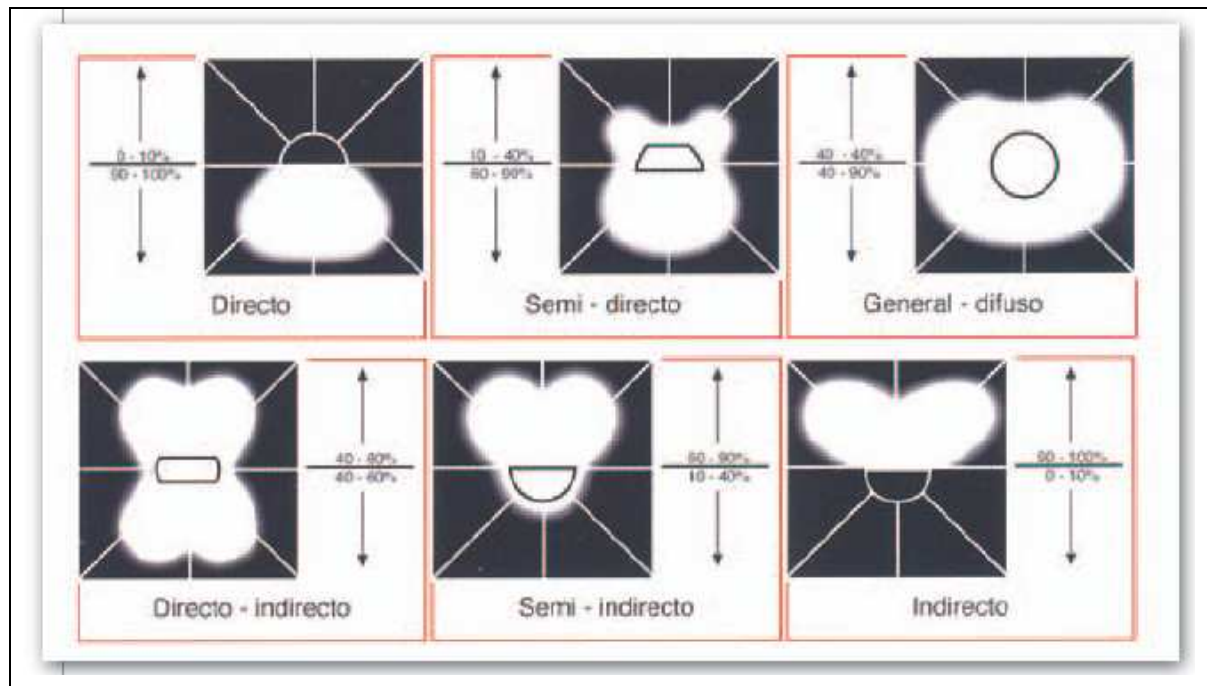
## • LUMINARIAS

Las luminarias son los equipos que reparten, transforman o filtran la luz emitida por una o varias lámparas. Comprenden todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas (excluyendo las propias lámparas) y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación.

### Distribución fotométrica

Las luminarias se clasifican en función de su distribución fotométrica, es decir en función de la forma en que distribuye la luz. Según la C.I.E la clasificación es la siguiente:





Fuente: IDAE

### Rendimiento de la luminaria

El rendimiento de la luminaria se puede considerar como la relación existente entre el flujo luminoso que sale de ella y el flujo luminoso de la lámpara. La elección de la luminaria adecuada a cada caso dependerá de la tarea a realizar. Sin embargo, es importante tener en cuenta los dos parámetros anteriores, un elevado rendimiento y una apropiada distribución de la luz proporcionarán un sistema de alumbrado de calidad y bajo coste

### 2.3.3 ILUMINACIÓN EFICIENTE

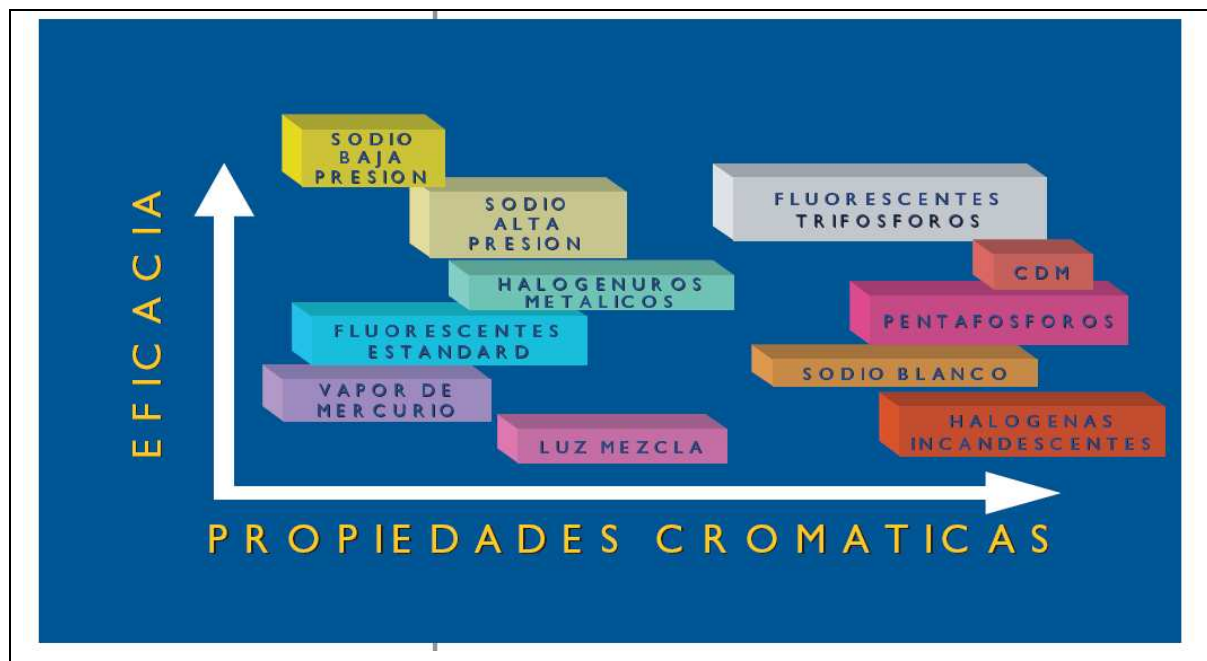
Un sistema de alumbrado energéticamente eficiente posibilita obtener una importante reducción del consumo, sin necesidad de disminuir sus prestaciones de calidad, confort y nivel de iluminación. En la eficiencia de la iluminación influyen:

- Eficiencia energética de los componentes (lámparas, luminarias, equipos auxiliares).
- Uso de la instalación (régimen de utilización, utilización de sistemas de regulación y control, aprovechamiento de la luz natural).
- Mantenimiento (limpieza, reposición de lámparas).

En función de las necesidades del local a iluminar, se eligen las fuentes de luz, equipos auxiliares y luminarias.

## • ELECCIÓN DE FUENTES DE LUZ

Además de por sus características luminotécnicas, las lámparas han de elegirse por su eficacia luminosa. La siguiente figura muestra una comparación de los distintos tipos de lámparas en función de su eficacia luminosa y propiedades cromáticas. Como se ha aclarado anteriormente, las lámparas incandescentes presentan el mayor índice de reproducción cromática ( $R_a = 100$ ) y una temperatura de color de 2.700 K; sin embargo, su eficacia luminosa es muy baja. En el caso de las lámparas fluorescentes la temperatura de color puede variar de 2.700 K a 6.500 K.



Fuente: Fenercom

## • ELECCIÓN DEL EQUIPO AUXILIAR

El equipo auxiliar influye de forma determinante en la eficiencia energética del conjunto. Ya hemos determinado anteriormente que los balastos electrónicos ofrecen numerosas ventajas respecto a los electromagnéticos, tanto en confort de iluminación como en lo que a ahorro energético se refiere:

- Reducción del 25 % de la energía consumida, respecto a un equipo electromagnético.
- Incremento de la eficacia de la lámpara.
- Incremento de la vida de las lámparas hasta del 50 %.
- Encendido instantáneo y sin fallos.

- Luz más agradable, sin parpadeo ni efecto estroboscópico, mediante el funcionamiento a alta frecuencia. Reducción de los dolores de cabeza y el cansancio de la vista, atribuidos al parpadeo producido por los balastos magnéticos.
- Aumento del confort general eliminándose los ruidos producidos por el equipo electromagnético.
- Mayor confort, permitiendo ajustar el nivel de luz según las necesidades.
- Posibilidad de conectarse a sensores de luz y ajustar en automático la intensidad de luz de la lámpara, y mantener un nivel de luz constante. Para ello, el balasto debe ser regulable.

### • **ELECCIÓN DE LAS LUMINARIAS**

La distribución de la luz puede tener dos funciones diferenciadas, una funcional donde lo más importante es dirigir la luz de forma eficiente, y otra decorativa para crear un determinado ambiente y destacar ciertos elementos. Una iluminación adecuada y eficiente conseguirá un compromiso entre ambas funciones. El uso de más de un tipo de luminaria, unas para proporcionar una iluminación ambiental general y otras para una iluminación localizada, permite adaptarse de una forma más eficiente a las necesidades del espacio a iluminar. Además, hay que tener en cuenta el rendimiento de la luminaria, de forma que refleje y distribuya mejor la luz, ya que cuánto mayor rendimiento menor potencia será necesario instalar. Las luminarias con reflector de aluminio de tipo especular son las de mejor rendimiento. A continuación se presentan algunos ejemplos de luminarias:



### • **APROVECHAMIENTO DE LA LUZ NATURAL**

Además de crear un ambiente agradable, el uso de la luz natural para alumbrado de espacios permite una considerable reducción del consumo de energía eléctrica, ya que en determinados momentos, y con un buen diseño, permite reducir el uso de iluminación artificial.

Como es lógico, la presencia de luz natural depende de la profundidad de la habitación, el tamaño y localización de las ventanas y techos de luz, el sistema de acristalamiento y cualquier obstrucción externa. Normalmente estos factores se fijan en la etapa inicial de diseño del edificio. Una planificación y diseño apropiados en esta primera etapa pueden producir un edificio que será más eficiente energéticamente.

Los sensores de luz (fotocélulas) regulan automáticamente el alumbrado artificial en función del aporte de luz natural, bien apagando o encendiendo la iluminación cuando el nivel está por debajo o por encima de un valor, o bien regulando la iluminación artificial de forma progresiva, para lo cual necesitan ir acompañados de balastos electrónicos regulables. Su instalación es conveniente en las luminarias próximas a las ventanas y de forma más atenuada en el resto. Estos sistemas permiten alcanzar ahorros de hasta el 60 %.

- **SISTEMAS DE REGULACIÓN Y CONTROL**

Los sistemas de regulación y control apagan, encienden y regulan la luz según interruptores, detectores de movimiento y presencia, células fotosensibles o calendarios y horarios preestablecidos. Posibilitan un mejor aprovechamiento de la energía consumida, reduciendo los costes energéticos y de mantenimiento, además de dotar de flexibilidad al sistema de iluminación. El ahorro energético conseguido al instalar este tipo de sistemas puede ser de hasta un 70 %.

Como no todas las zonas requieren el mismo tratamiento, es importante controlar las luminarias de cada zona mediante circuitos independientes. Por ejemplo, las luminarias que se encuentren próximas a las ventanas deben poder regularse en función de la luz natural de distinta forma que el resto de las luminarias de una sala o habitación.

El sistema de control más sencillo y extendido es el interruptor manual. Su uso correcto, apagando la iluminación en periodos de ausencia de personas, permite ahorros significativos, más aún cuando en una misma sala hay varias zonas controladas por interruptores distintos de forma que una pueda estar apagada aunque otras estén encendidas. Por desgracia, el buen uso de este sistema depende de la persona que lo maneja, por lo que su eficacia no está garantizada. Existen interruptores temporizados que apagan la iluminación tras un tiempo programado y que son más convenientes en

lugares dónde las personas permanecen un tiempo limitado. Por ejemplo, el hall de un edificio de viviendas o los servicios o escaleras de un edificio de oficinas.

Los detectores de presencia o movimiento encienden la iluminación cuando detectan movimiento y lo mantienen durante un tiempo programado. Son muy útiles para zonas de paso o permanencia de personas durante poco tiempo, pero deben instalarse en los lugares adecuados para evitar dejar zonas de paso ciegas a las que no llegan los detectores. Por ejemplo, en un edificio de viviendas se obtiene un elevado ahorro al instalar estos detectores en las escaleras, de forma que la iluminación se vaya encendiendo por zonas en lugar de encenderse todas las plantas a la vez.

En los edificios del sector terciario, por ejemplo edificios de oficinas o edificios comerciales, en los que existe un horario definido, es posible encender y apagar la iluminación automáticamente por control horario, en función de los distintos días de la semana, incluyendo los tiempos libres (comidas, etc.), haciendo distinción entre fines de semana y días laborables, o incorporando periodos festivos.

En estos edificios destinados a usos múltiples (oficinas, hoteles, etc.) es muy interesante disponer de un sistema que permita el manejo y el control energético de las instalaciones de iluminación, de forma similar a los implantados para otras instalaciones como las de climatización. El control centralizado, compuesto por detectores (células fotoeléctricas, detectores de presencia, etc.) y por una unidad central programable, supone una serie de ventajas, entre las que destacan:

- Posibilidad de encendido/apagado de zonas mediante órdenes centrales, bien sean manuales o automáticas.
- Modificación de circuitos de encendido a nivel central sin obras eléctricas.
- Monitorización de estado de los circuitos y consumos de los mismos.

- **GESTIÓN Y MANTENIMIENTO ENERGÉTICO**

El paso del tiempo hace que disminuya la eficiencia energética de la iluminación debido a la depreciación del flujo luminoso de las lámparas a lo largo de su vida útil y la suciedad acumulada en las luminarias. Un mantenimiento correcto de la iluminación permite alcanzar ahorros de hasta el 50 %. El mantenimiento incluye:

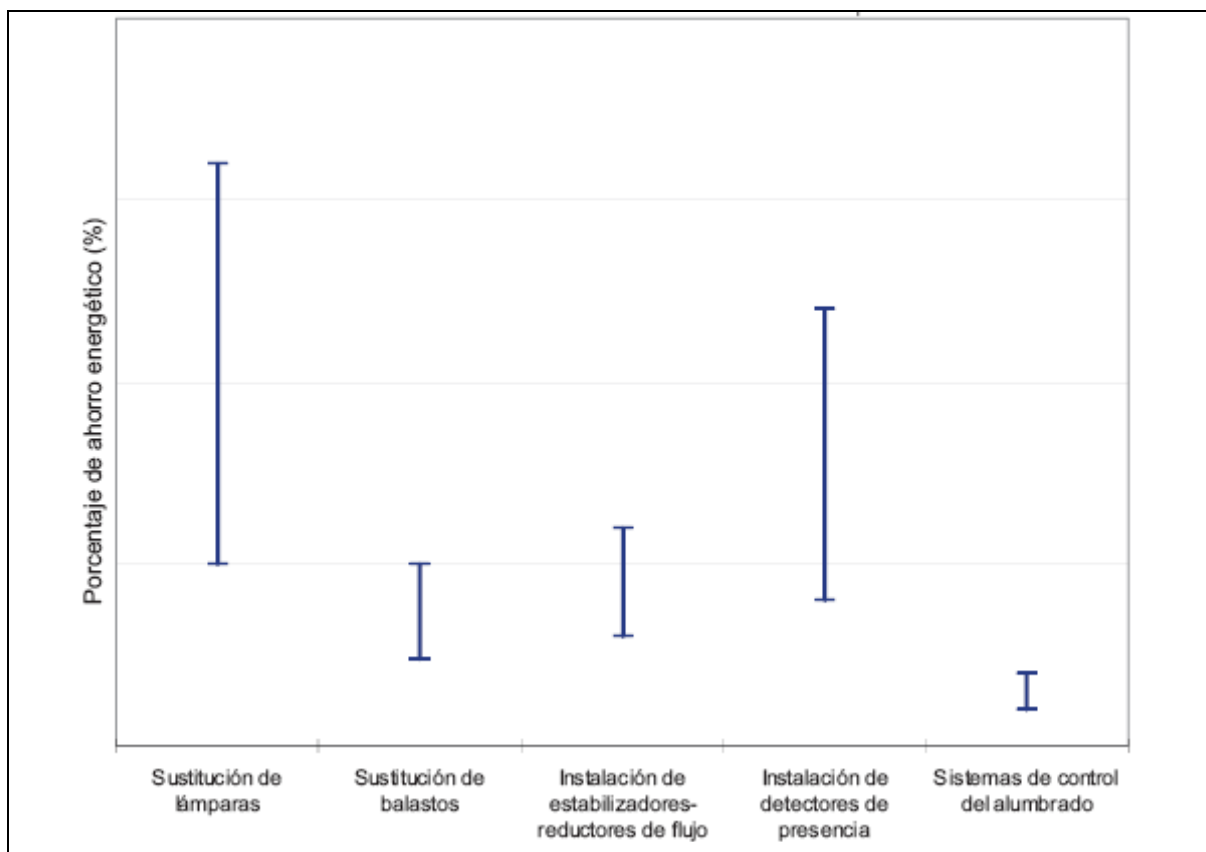
- Limpieza de las luminarias

- Sustitución de lámparas. Debe hacerse al final de la vida útil indicada por el fabricante, ya que, aunque no hayan fallado, su eficacia habrá disminuido. En grandes instalaciones es aconsejable sustituir las lámparas por grupos en lugar de individualmente para mantener los niveles de iluminación adecuados.
- Revisión periódica del estado de los distintos componentes de la instalación

Las grandes instalaciones han de tener una gestión del alumbrado, prestando atención a:

- Seguimiento de los planes de mantenimiento (limpiezas, reposiciones de lámparas por grupos, etc.).
- Control de horarios de funcionamiento.
- Control de consumos y costes.
- Seguimiento de la tarificación.

A continuación, a modo de resumen, se presenta una tabla con el potencial de ahorro que tiene las principales tecnologías analizadas en alumbrado:



## 2.4 CLIMATIZACIÓN EN EL SECTOR TERCIARIO

Analizados los sistemas de iluminación se procede a describir los sistemas más importantes de climatización que pueden encontrarse en el sector terciario.

La climatización consiste en crear unas condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire adecuadas para la comodidad dentro de los espacios habitados. La comodidad térmica está sujeta a tres factores:

- El factor humano: la manera de vestir, el nivel de actividad y el tiempo durante el cual las personas permanecen en la misma situación, influye sobre la comodidad térmica.
- El espacio: la temperatura de radiación y la temperatura ambiental.
- El aire: influyen su temperatura, su velocidad y su humedad.

De los factores anteriores, el factor humano puede ser muy variable, puesto que depende del gusto o actividad de las personas. Los otros factores pueden controlarse para ofrecer una sensación de bienestar mediante la climatización.

Cuando nos referimos a acondicionar el aire implica controlar una serie de variables físicas en el interior del local, principalmente la temperatura, la humedad y la calidad del aire, factores fundamentales en el control del confort térmico. En este sentido es importante hacer notar que, cuando calentamos o refrigeramos un local, no estamos controlando necesariamente factores como la humedad, sino que aportamos calor o frío actuando sobre su temperatura seca sin tener un control real sobre las variaciones originadas en la humedad del ambiente. No hay que olvidar que los tres ejes principales que rigen la evolución de la climatización son: la calidad del aire interior, el consumo energético y el impacto medioambiental.

### 2.4.1 SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN APLICABLES

A continuación se realiza una descripción básica de los principales sistemas de climatización, ya que no es objeto del curso profundizar en este aspecto. Así, en función del fluido encargado de compensar la carga térmica en el recinto a climatizar podemos diferenciar los siguientes sistemas:

- **SISTEMA TODO AIRE**

El aire es utilizado para compensar las cargas térmicas en el recinto que se va a climatizar, y se controle además la humedad ambiente y la limpieza del aire (renovaciones hora), sin existir ningún tratamiento posterior.

Las unidades centralizadas son climatizadores que se encargan de enfriar o calentar, deshumidificar o humidificar, y limpiar el aire. Estas unidades climatizadoras pueden ser del tipo expansión directa, como parte de una unidad autónoma compacta o partida, o bien un climatizador de agua (UTA), en cuyo caso precisará de unidades enfriadoras de agua o calderas que realicen el aporte térmico.

Las principales unidades terminales que utilizan este sistema son unidades de difusión (difusores y rejillas de todo tipo), o unidades de control de la cantidad de aire que se va a suministrar a cada local (cajas de compuertas o elementos de similar función).

- **SISTEMA TODO AGUA**

Son aquellos sistemas de climatización en los que el agua es el agente que se ocupa de compensar las cargas térmicas del recinto acondicionado (aunque también puede tener aire exterior para la renovación). Entre este tipo de sistemas encontramos las instalaciones de calefacción con radiadores o por suelo radiante.

- **SISTEMA AIRE-AGUA**

Se trata de sistemas a los que llega tanto agua como aire para compensar las cargas del local. Un ejemplo de este tipo de instalaciones son los fan-coils. En estos equipos, el aire (normalmente procedente de la misma habitación que se va a climatizar) se hace pasar a través de una batería de frío o de calor.

- **SISTEMA TODO REFRIGERANTE O DE EXPANSIÓN DIRECTA**

Se trata de instalaciones de climatización en las que el fluido que se encarga de compensar las cargas térmicas del local es el refrigerante. Dentro de estos sistemas podemos englobar los pequeños equipos autónomos (split y multisplit).

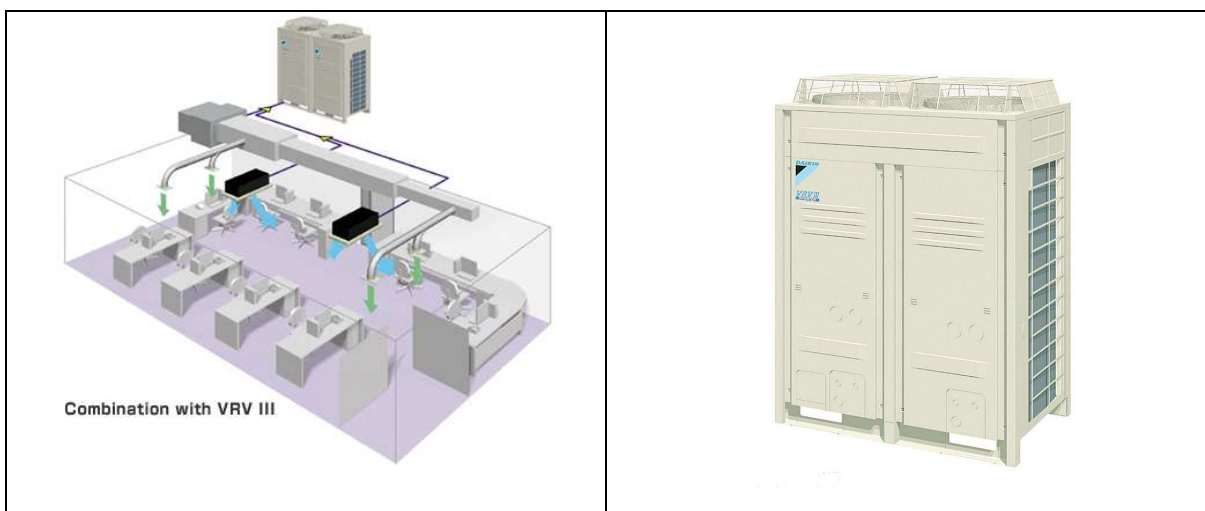
Los sistemas split son muy utilizados en el ámbito doméstico o de servicios y tienen múltiples configuraciones. Constan de una unidad normalmente exterior en la que se



sitúan el condensador y el compresor, y otra unidad situada en el interior del local a climatizar (el evaporador).



Los sistemas multisplits (VRV o CRV) están compuestos por una unidad condensadora que distribuye a varios evaporadores (alguno de éstos puede preparar el aire primario de evaporación).



## 2.4.2 MEJORA Y OPTIMIZACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EQUIPOS

La reducción del consumo energético de un edificio en aspectos de climatización se puede lograr mediante diferentes vías de actuación. Las principales vías son las siguientes:

- Disminuir la demanda de energía en los edificios.
- Sustituir las fuentes de energía convencionales por energías renovables (solar térmica, solar fotovoltaica, biomasa o geotérmica).
- Utilizar sistemas y equipos térmicos más eficientes.
- La recuperación de energía residual y el enfriamiento gratuito (free cooling).

A continuación se procede a describir los principales factores de ahorro:

- **GENERACIÓN**

La principal mejora susceptible de implantación en los equipos de generación (frío y calor) es la sustitución de equipos ineficientes (antiguos, mal mantenidos, obsoletos...) por equipos eficientes. Al aumentar el rendimiento de los equipos, disminuirá el consumo energético y, por lo tanto, los costes energéticos asociados a la climatización. Por ejemplo, las calderas de baja temperatura y las calderas de condensación, a pesar de ser más caras que las convencionales, pueden producir ahorros de energía superiores al 25%, lo que hace que se pueda recuperar el sobrecoste a lo largo de la vida de la instalación.

Es muy importante destacar que estas calderas de alta eficiencia (condensación y baja temperatura) alcanzan su máximo potencial para temperaturas de trabajo bajas, en las que se pueda aprovechar el calor de condensación de los gases de escape, por lo que debe asegurarse que la instalación cumple con estos requisitos. En caso contrario, no se mejora el rendimiento frente a una caldera tradicional.

Como se verá más adelante, otra de las mejoras principales será el empleo de sistemas de cogeneración, trigeneración y energías renovables para la producción de energía útil.

- **REGULACIÓN**

Las necesidades de climatización no son constantes ni a lo largo del año ni a lo largo del día. La temperatura exterior varía a lo largo del día, aumentando gradualmente desde que amanece hasta primeras horas de la tarde para luego volver a descender. También sabemos que unos días son más fríos que otros, e incluso que no se necesita el mismo calor en todas las estancias ni están ocupadas de la misma manera. También hay espacios, como, por ejemplo, las salas con hornos u ordenadores, que tienen sus propias fuentes de calor y requieren menos calefacción, aunque necesitarán mayor refrigeración. Por ello, es importante disponer de un sistema de regulación de la climatización que adapte las temperaturas.

Mediante sectorización por zonas, el uso de sistemas autónomos para el control de la temperatura en cada zona, la regulación de las velocidades de los ventiladores o la regulación de las bombas de agua, se pueden obtener ahorros del 20-30% de la demanda energética de calefacción y aire acondicionado de las instalaciones.

- **AISLAMIENTO**

Al margen de las medidas anteriores, es importante notar que la cantidad de calor o frío que se necesita para mantener un edificio a la temperatura de confort depende, en buena medida, de su nivel de aislamiento térmico. Un edificio mal aislado necesita más energía: en invierno, ya que se enfría rápidamente y puede tener condensaciones en el interior; y en verano se calienta más y en menos tiempo.

El aislamiento exterior es fundamental a la hora de obtener un buen comportamiento energético del edificio, por lo que es importante partir de un buen diseño que incluya el aislamiento tanto de las paredes, como de las ventanas, el suelo y el tejado, de forma que se minimicen las pérdidas a través de los cerramientos. Sin embargo, aunque la diferencia de temperatura más acusada se produce entre el exterior y el interior del edificio, también son necesarios los aislamientos en otras zonas contiguas a espacios no climatizados.

El aislamiento se debe considerar en las siguientes partes de un edificio:

- **Cubierta:** es generalmente el elemento de mayor ganancia térmica por radiación solar. Por esa razón, los áticos son, por lo general, más fríos en invierno y más calurosos en verano.

- Fachadas: hay que considerar la opción de disponer de alguna solución constructiva que permita crear una cámara de aire entre el material exterior de acabado y el cerramiento interior. De esta manera, se amortigua de manera considerable tanto la ganancia de calor en verano, como la pérdida de calor durante los meses de invierno. En este último caso, las pérdidas de calor se pueden reducir hasta la sexta parte mediante la aplicación de este aislamiento con pared hueca.
- Con vistas al ahorro energético, también es importante considerar otros elementos como: ventanas y acristalamientos, marcos y molduras de puertas y ventanas, cajetines de persianas enrollables sin aislar, tuberías y conductos, chimeneas, etc. Pequeñas mejoras en el aislamiento pueden conllevar ahorros energéticos y económicos de hasta un 30% en calefacción y aire acondicionado.

## 2.5 TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN APLICABLES AL SECTOR SERVICIOS: COGENERACIÓN Y TRIGENERACIÓN.

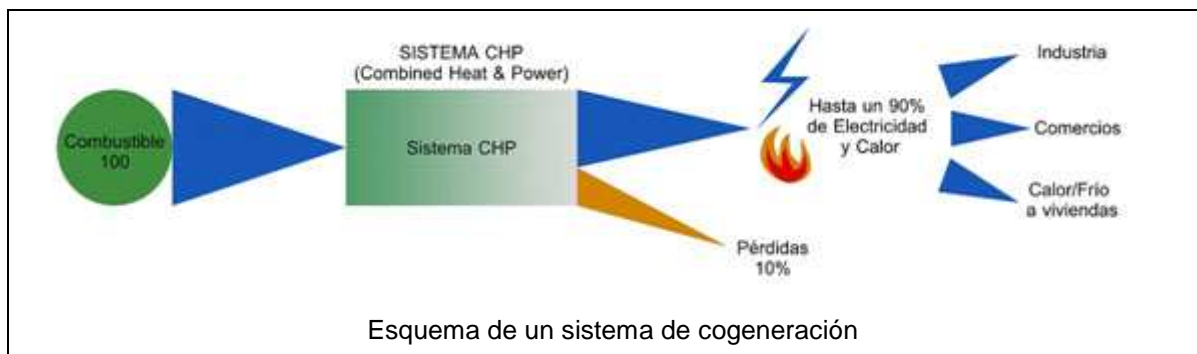
### 2.5.1 COGENERACIÓN Y MICROTRIGENERACIÓN

La cogeneración se define como la producción simultánea de electricidad y calor útil a partir de un único combustible. Los sistemas de cogeneración engloban diversas tecnologías (motores alternativos de combustión interna, turbinas, motores de combustión externa, etc.) y distintos combustibles (gas natural, propano, biomasa, etc.). Según la potencia de los equipos, se habla de cogeneración o microcogeneración (menos de 1 MW); ésta última está orientada principalmente al sector terciario: hoteles, hostales, grandes restaurantes, hospitales, residencias, locales comerciales, edificios residenciales, etc.

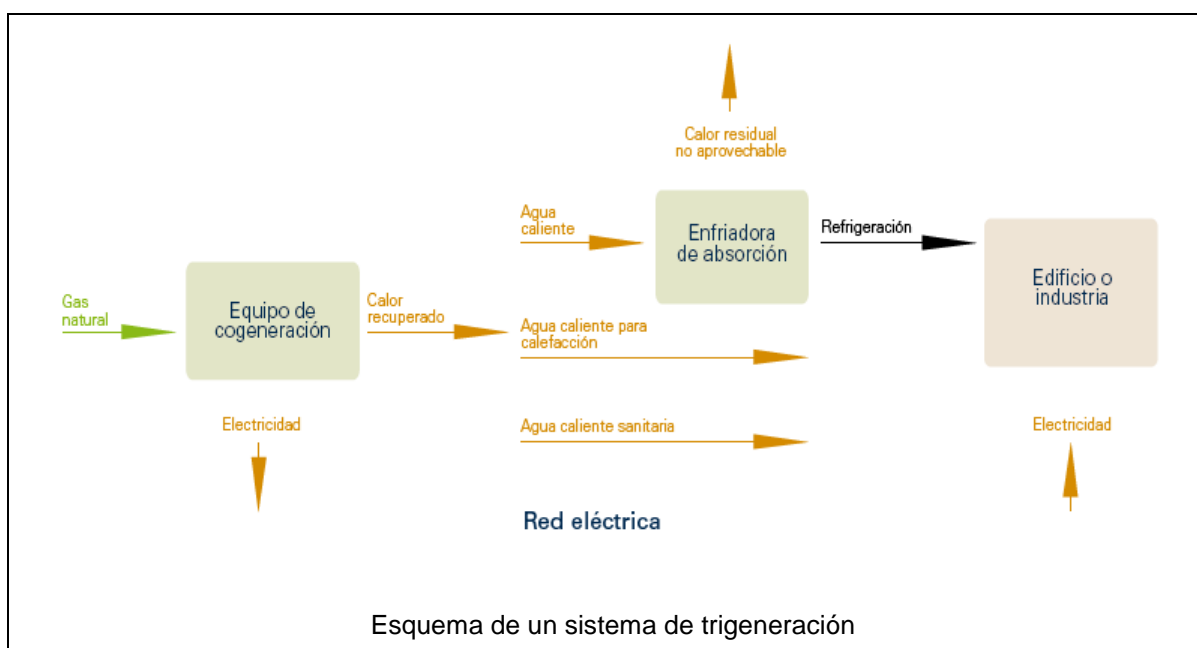
La finalidad de una instalación de este tipo es la de aprovechar el calor residual (en torno al 60% de la energía liberada) de una máquina térmica para satisfacer los servicios de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y calefacción, a la vez que se produce energía eléctrica. Si a este sistema se le incorpora una máquina de absorción, de forma que se aproveche el mismo calor residual para producir frío, el sistema se convierte en una instalación de trigeneración, o en su nivel de potencia más pequeño, microtrigeneración.

La microcogeneración, y por extensión la micro-trigeneración, es por tanto una tecnología perfectamente desarrollada y extendida para mejorar la eficiencia y el ahorro energéticos, además de reducir las emisiones contaminantes y fomentar la generación distribuida de energía.

Si se compara un suministro de energía mediante cogeneración con un suministro convencional de energía, se obtienen ahorros de consumo en términos de energía primaria que oscilan entre el 30% y el 40%. Estos ahorros de consumo además implican unos ahorros equivalentes en términos de emisiones contaminantes (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, partículas, etc.).



Fuente: COGEN



Fuente: EOI

De igual modo, se obtiene un importante beneficio económico al producir una energía más barata que la que se compra, e incluso al poder vender los excedentes de electricidad a la red, a la vez que se garantiza el suministro energético en caso de una avería.

Por tanto, se puede afirmar que a corto y medio plazo, las instalaciones de cogeneración y trigeneración (o en sus variantes de baja potencia) son las tecnologías más adecuadas para convertir el actual sistema energético en un sistema sostenible y mucho más racional. Y además ayudan al cumpliendo con los compromisos adquiridos con la firma del Protocolo de Kioto por nuestro país.

En la actualidad, las instalaciones de generación combinada de energía utilizan diversas tecnologías, cada una con sus ventajas e inconvenientes. En la tabla siguiente se observan las diferencias entre las distintas opciones.

Tipo de máquina térmica	Turbina de gas	Turbina de vapor	Motor de combustión interna	Motor Stirling	Pila de combustible
Potencia (kWe)	>20	>20	>1	>1	>1
Rendimiento eléctrico	15% - 35%	10% - 40%	25% - 45%	25% - 50%	35% - 55%
Rendimiento térmico	40% - 59%	40% - 60%	40% - 60%	40% - 60%	40% - 60%
Rendimiento total	60% - 85%	60% - 85%	70% - 85%	70% - 90%	70% - 90%
Carga mínima (%)	75%	20%	50%	50%	Sin límite
Disponibilidad	90% - 98%	99%	92% - 97%	92% - 97%	>95%
Coste de instalación (€/kWe)	600 - 800	700 - 900	700 - 1400	>2000	>2500
Temperatura aprovechable	450 °C - 800 °C	100 °C*	300 °C - 600 °C	300 °C - 600 °C	250 °C - 550 °C
Combustible	GN, GLP (de alta calidad)	Todos	Gas, diesel, biocombustibles	Todos	H <sub>2</sub>

Fuente: AEDIE

La elección de tecnología está condicionada por el tipo de demanda energética de la aplicación. Por ejemplo, si el consumo es principalmente eléctrico, los motores de combustión interna y Stirling ofrecen mejores prestaciones (rendimiento superior), mientras que las turbinas de gas presentan muy buenas propiedades cuando la principal de las demandas es la térmica.

Por último, además de las ventajas ya comentadas, tanto las instalaciones de cogeneración como las de trigeneración, independientemente de su potencia, se pueden combinar con sistemas de energía renovable, bien mediante el empleo de biocombustibles o mediante su combinación con energía solar, aunque es importante estudiar a priori la aplicación para evitar que las tecnologías se “estorben” entre sí.

## 2.5.2 CLIMATIZACIÓN POR ABSORCIÓN

El principio de funcionamiento de una instalación de trigeneración es similar al de una instalación de cogeneración, con la salvedad de que parte o todo el aporte térmico generado es utilizado para producir frío, utilizando para ello una máquina de absorción. Este frío se emplea generalmente para satisfacer la demanda de refrigeración existente en el edificio.

La absorción se basa en la circulación cíclica de un fluido llamado refrigerante en unas determinadas condiciones de presión y temperatura, de forma que se aprovecha el calor latente de vaporización de dicho fluido para bombear calor del foco frío (zona que se va a refrigerar) al caliente (torre de refrigeración) a través de un evaporador y un condensador. Para que este fenómeno se produzca, en ambos casos (compresión y absorción) debemos aportar una energía externa para poder variar cíclicamente las condiciones del fluido.

Mientras que en el ciclo clásico esta energía externa es de origen mecánico (electricidad), mediante un compresor, en la absorción la energía que se aporta al sistema es de origen térmico y generalmente de baja temperatura.

Así, un equipo de absorción está compuesto por un evaporador, un condensador, un absorbedor y un generador, y son estos dos últimos elementos los que harían las veces de compresor.

Existen muchas variantes y evoluciones de las máquinas de absorción, principalmente en cuanto a su funcionamiento, que puede ser de una etapa o de simple efecto o de varias. La finalidad de estas evoluciones es la de conseguir una mayor eficiencia o para superar al ciclo de simple efecto en alguna característica determinada.

Las más destacadas son los ciclos de múltiple efecto, en los que se realizan varias separaciones de vapor a partir de un aporte inicial de calor externo, de forma que el Coeficiente de Eficiencia Energética (CEE) aumenta sustancialmente.



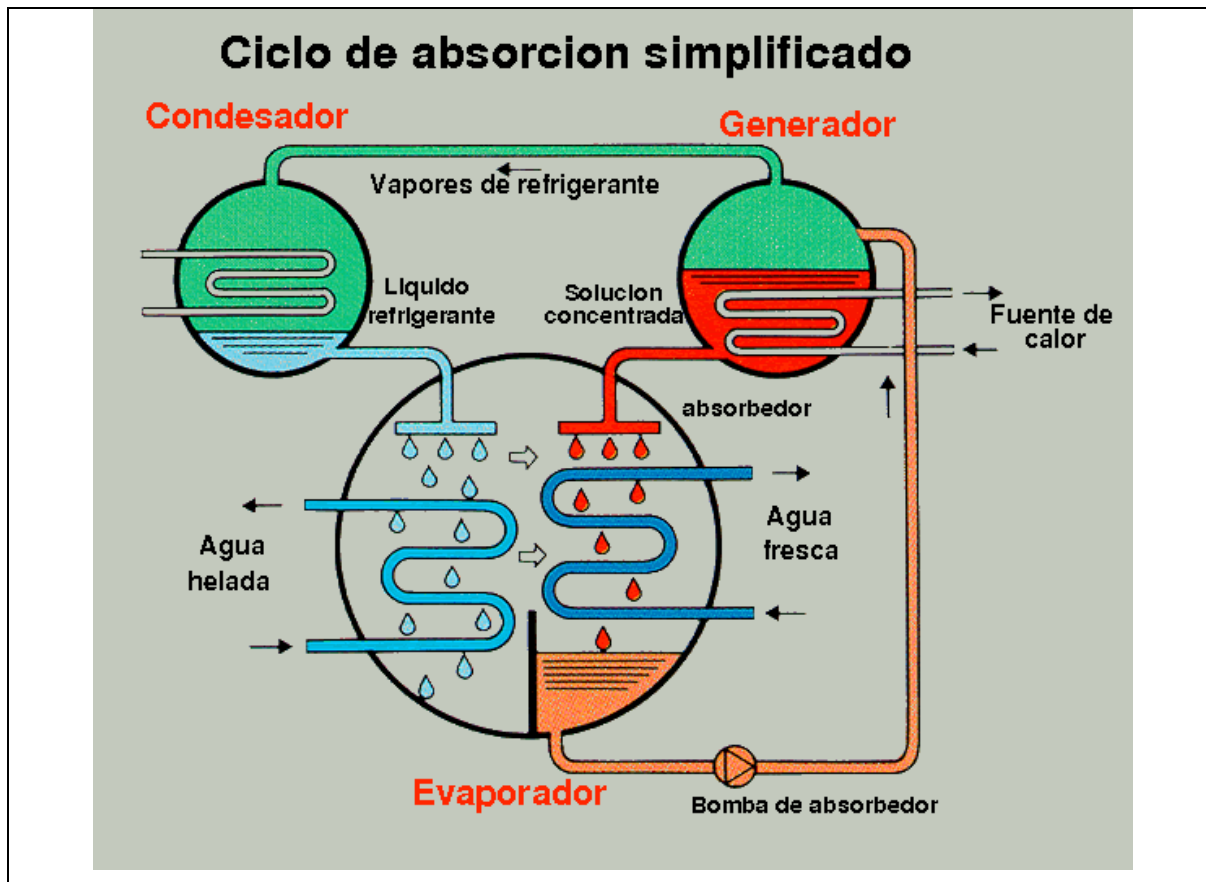


Fuente: Climaticwell

Los equipos de absorción funcionan con una solución compuesta por dos elementos fácilmente separables y miscibles entre ellos, de manera que uno es el refrigerante y el otro el absorbedor. En la práctica se utilizan básicamente dos tipos de soluciones, la primera de ellas preferentemente en aplicaciones de refrigeración y la segunda en climatización y bombas de calor en general:

- **Máquina de Bromuro de Litio (H<sub>2</sub>O-BrLi)**

El ciclo térmico que emplean puede verse de forma simplificada en el siguiente gráfico:



Se basan en el comportamiento de la solución de bromuro de litio con agua. El bromuro de litio es una sustancia muy higroscópica, que cuando absorbe agua genera calor, y cuando la pierde es necesario aportar energía. Pueden apreciarse cuatro procesos:

**Generador.** En esta parte del equipo se evapora el fluido refrigerante, que no es otra cosa que agua. De la mezcla de bromuro de litio y agua, cuando es calentada con el fluido caliente que proviene de la planta de cogeneración, se evapora agua. El generador tiene pues una entrada de fluido caliente (vapor, agua sobrecalentada, agua caliente o gases calientes) y una salida de ese mismo fluido a una temperatura inferior.

**Condensador.** En esta parte del equipo el vapor generado en la fase anterior se condensa, ayudado para ello de una corriente de fluido refrigerante que circula a través de los tubos de un intercambiador de haces tubulares. Este líquido refrigerante suele ser agua proveniente de una torre de refrigeración.

**Enfriador o evaporador.** En esta parte se produce el 'frío útil'. El agua condensada en la etapa anterior entra en contacto con los tubos del haz tubular del enfriador, por cuyo interior circula el agua que se quiere enfriar. Al entrar en contacto con los tubos, el calor

necesario para volverse a evaporar lo toma del agua que circula por los tubos. La presión del equipo para permitir esa evaporación a temperaturas próximas a 0 °C es muy baja, próxima al vacío absoluto, tan sólo unos milímetros de columna de agua, por lo que el agua se evapora a unos 3 °C y el calor necesario para la evaporación lo toma, como se ha dicho, del agua circulante que entra a una temperatura entre 6 °C y 10°C a la máquina de absorción y sale a 4 o 5 °C.

**Absorbedor.** La última etapa, que cierra el ciclo recoge ese vapor generado en la fase anterior y lo absorbe en la disolución de bromuro de litio. La concentración de bromuro disminuye, se diluye, y este proceso produce calor que es necesario evacuar. Para ello, la máquina tiene una segunda entrada de agua de refrigeración, y su correspondiente salida. Normalmente la salida del condensador y la entrada del absorbedor se conectan en serie, de manera que el sistema sólo tiene una entrada de agua de refrigeración (la entrada al condensador) y una sola salida (la salida del absorbedor).

El COP de las máquinas de bromuro de litio está en torno al 0,6 en las de simple efecto.

- **Máquinas de Amoniac (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O):**

El ciclo térmico es muy parecido al de las máquinas de absorción de bromuro de litio. En este proceso la principal diferencia es que en la mezcla agua-amoniaco, es el segundo el que actúa como fluido refrigerante, y no el agua, como en el caso anterior. El amoniaco se libera de la solución cuando se adiciona calor.

El amoniaco se evapora a temperaturas inferiores al agua para la misma presión, lo que permite conseguir en esta máquina temperaturas más bajas.

El rendimiento térmico o COP de las máquinas de amoniaco está normalmente comprendido entre el 0,45 y el 0,55. Naturalmente menor que las de bromuro de litio porque trabajan a menor temperatura de foco frío. Estas máquinas requieren calor a mayor temperatura que las de BrLi de simple efecto.

Al contrario de lo que sucede con la cogeneración, las máquinas de absorción son una tecnología menos desarrollada y sobre todo menos difundida debido a la enorme expansión de los equipos convencionales. No obstante, el nuevo marco energético que fomenta la reducción de emisiones y la eficiencia ha promovido que desde distintos

sectores se esté realizando un importante esfuerzo en desarrollar e introducir comercialmente estos equipos, cuyo potencial de desarrollo en países cálidos es enorme.



### 2.5.3 CRITERIO DE VIABILIDAD PARA UNA SISTEMA DE CHP

Para que un sistema de este tipo pueda encajar en una instalación del sector servicios se deben de cumplir una serie de requisitos mínimos de funcionamiento y de demanda, que garanticen la amortización de los equipos en el menor tiempo posible. Estos requisitos dependerán fundamentalmente de tres factores:

**Horas de funcionamiento:** las horas de funcionamiento al año es un parámetro clave en los sistemas de microgeneración o de microtrigeneración, ya que la alta eficiencia de estos equipos permite producir la misma energía a menor coste. Por ello es muy importante asegurar un elevado número de horas de trabajo al año, ya que así se consigue amortizar los equipos en un plazo breve de tiempo.

En invierno, al poder usar la energía térmica para calefacción, el número de horas que se pueden utilizar los equipos cogeneradores es mayor, mientras que en verano, al usar la energía térmica para producir ACS, las horas de funcionamiento son menores.

Este principio corresponde a las instalaciones de cogeneración puesto que, en trigeneración, al poder aprovechar la energía térmica para producir frío mediante una máquina de absorción, el perfil de demanda de los meses de verano sería similar a los de invierno, aumentando por tanto en gran medida las horas de funcionamiento, y por tanto, la rentabilidad de la instalación.

**Demanda eléctrica:** Las primas por la venta de energía de cogeneración en régimen especial hace que estos sistemas no se planteen para autoconsumo, por lo que la demanda eléctrica de la instalación no es importante, ya que la electricidad producida será vertida a la red.

**Demanda térmica:** Es necesario que la instalación demande una cantidad de energía térmica que permita al sistema estar operativo el mayor número de horas al año. La instalación de una máquina de absorción permite darle una utilidad a la energía térmica producida en los meses cálidos del año, aumentando el número de horas de funcionamiento del sistema de microtrigeneración. Además, para poder vender energía eléctrica a red en régimen especial debe cumplirse con el rendimiento eléctrico equivalente (REE), que se detalla a continuación.

- **RENDIMIENTO EN UNA PLANTA DE COGENERACIÓN**

La bondad de la tecnología se mide por su eficiencia o rendimiento. El rendimiento pues es sin duda el parámetro más importante en una planta de cogeneración, pero hay varios rendimientos a considerar.

El rendimiento eléctrico es el cociente entre la energía eléctrica generada por la planta y la energía aportada por el combustible. Este es el único rendimiento a considerar en las centrales de producción de electricidad. Siendo,

$$\eta_e = \frac{E}{Q}$$

- $\eta_e$ : Rendimiento eléctrico
- E: Energía eléctrica generada en un periodo, medida en bornas de alternador (kWh).
- Q: Combustible consumido por la planta, en kWh PCI.

En plantas de cogeneración, junto con este valor se utiliza el rendimiento global:

$$\eta_g = \frac{V + E}{Q}$$

- $\eta_g$  Rendimiento global.
- V: Calor útil producido (kWh).

Desde el punto de vista legal se utiliza el rendimiento eléctrico equivalente (REE). Se define el rendimiento eléctrico equivalente según la siguiente fórmula:

$$\eta_{ee} = \frac{E}{Q - \frac{V}{0,9}}$$

- $V/0,9$ : combustible para generar V (kWh) de calor
- $Q - V/0,9$ : combustible atribuible a la generación de electricidad en una planta de cogeneración.
- Se asume que el rendimiento térmico de una caldera en la que se produjera el calor útil es del 90%.

Para conocer todo el proceso relacionado con la cogeneración y su venta de energía en régimen especial, será necesario consultar el RD 661/2007. el 1 de junio de 2007 entró en vigor el RD 661/2007 por el que se regula la actividad de producción de electricidad en el Régimen Especial. Este RD otorga diferentes precios a la electricidad vertida a la red en función de los siguientes parámetros: tipo de combustible, rango de potencia y eficiencia energética. Para la actividad del sector terciario, nos centraremos preferentemente en el combustible gas natural o GLP para el rango de centrales de menos de 1 MW eléctrico.

Todas las cogeneraciones del grupo a.1. deben cumplir una alta eficiencia energética como se describe en el anexo I del RD 661/2007. Esta eficiencia implica el cumplimiento

del REE. Para turbinas de gas de menos de 1 MW, el valor es de 53,1% y para los motores del mismo rango de potencia, es de 49,5%.

Los precios de venta de energía eléctrica a la red para cada uno de los grupos y segmentos comentados (a.1.1. Gas natural, a.1.2. Gasóleo/ GLP) se basan en la denominada 'tarifa regulada', la cual es actualizada trimestralmente. En la siguiente tabla se muestran los valores de la tarifa regulada vigentes para el primer trimestre del año 2010.

Grupo	Subgrupo	Combustible	Potencia	Tarifa Regulada (c€/kWh)
a.1	a.1.1	Gas Natural	P<0,5kW	12,7166
			0,5<P<1MW	10,4352
	a.1.2	Gasóleo/GLP	P<0,5kW	14,3837
			0,5<P<1MW	12,2408

## 2.6 ENERGÍAS RENOVABLES

Como se ha definido anteriormente, las energías renovables son una de las fórmulas de ahorro energético para la generación de energía útil. A continuación se realizará un repaso básico sobre las diferentes tipologías de instalaciones renovables con mayor potencial para aplicar en el sector terciario.

Las energías renovables son fuentes de abastecimiento respetuosas con el medio ambiente, se producen de manera continua y son inagotables a escala humana. Estas son la energía solar, eólica, hidráulica, biomasa, geotérmica y mareomotriz o energía de las olas. El impacto de dichas energías es prácticamente nulo y en todo caso reversible. Las principales ventajas de las energías renovables respecto a las energías convencionales son, por un lado, su respeto por el medio ambiente (no producen emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes a la atmósfera así como residuos de difícil tratamiento) y, por otro lado, su contribución al equilibrio territorial (ya que pueden instalarse en zonas rurales y aisladas) y la disminución de la dependencia de suministros externos (las energías renovables son autóctonas mientras que los combustibles fósiles sólo se encuentran en un número limitado de países). Asimismo, otro aspecto favorable de las energías renovables es su capacidad de creación de empleo de forma descentralizada,

distribuyendo los nuevos empleos en el territorio en el que se implantan las energías renovables.

## 2.6.1 ENERGÍA SOLAR

### • **ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

La energía fotovoltaica es una tecnología fiable, de fácil instalación y poco mantenimiento que, además de ser rentable para aquellos que acometen su inversión permite producir electricidad allí donde se consume, en el propio entorno urbano.

Los sistemas fotovoltaicos transforman la energía que irradia el sol en energía eléctrica mediante un elemento semiconductor denominado célula fotovoltaica. Cuando la luz solar incide sobre una célula fotovoltaica, los fotones con energía suficiente liberan electrones, apareciendo de este modo una corriente eléctrica que se extrae de la célula y, posteriormente, se transforma y adecua, poniéndola a disposición para su consumo. La conexión de células fotovoltaicas y su posterior encapsulado y enmarcado son los denominados paneles fotovoltaicos.

Las instalaciones fotovoltaicas pueden estar conectadas a la red de distribución de energía eléctrica (las cuales venden la electricidad a la compañía eléctrica) o aisladas, cuyos usos principales son la electrificación de viviendas y explotaciones agrícolas situadas en zonas rurales que no disponen de electricidad, así como para bombas hidráulicas en zonas aisladas.

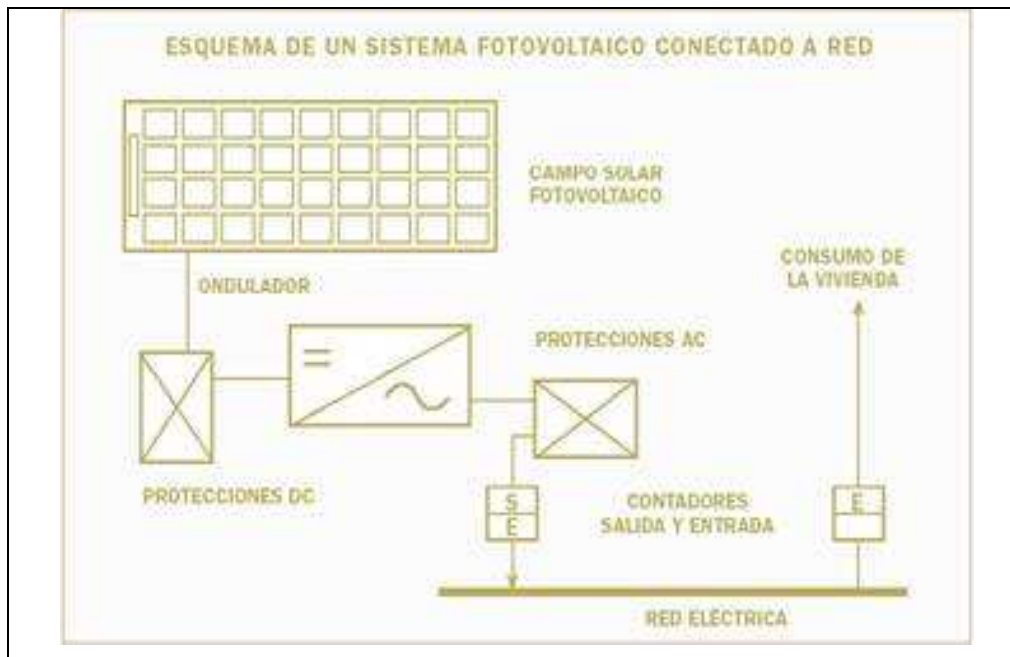
A continuación se describen los componentes de una instalación fotovoltaica conectada a la red de distribución por ser la aplicación más interesante en el contexto del presente apartado:

- **Generador fotovoltaico:** transforma la energía que llega del sol en energía eléctrica que es enviada a la red. Requiere que los rayos de sol incidan perpendicularmente en su superficie.
- **Cuadro de protecciones:** el cual contiene alarmas, desconectadores, protecciones, etc.
- **Inversor:** transforma la corriente continua producida por los paneles en corriente alterna de las mismas características que la red eléctrica.



- Contadores: formado por un contador principal que mide la energía producida (kWh) y enviada a la red para que pueda ser facturada a la compañía, y un contador secundario que mide los pequeños consumos de los equipos fotovoltaicos (kWh) para descontarlos de la energía producida.

A continuación se presenta un esquema de un sistema fotovoltaico con sus principales componentes.



En el caso de una instalación fotovoltaica aislada, la instalación requeriría, adicionalmente a lo descrito anteriormente, unos acumuladores de energía eléctrica para poder disponer de ella durante los períodos donde no hay radiación solar. Las instalaciones fotovoltaicas suelen tener una potencia desde 1 a 5 kWp en el tejado o terraza de una vivienda, a una potencia de 100 kWp sobre cubiertas de naves industriales. En este sentido, hay muchos parámetros tales como la inversión o el período de retorno que dependerán de la dimensión de la instalación.

Los ahorros económicos asociados a la aplicación de esta medida son los asociados a la energía vertida a la red y, por lo tanto, el beneficio económico por la venta de la energía vertida. Adicionalmente al beneficio económico que supone una instalación fotovoltaica, se ha de considerar el ahorro energético que supone dicha medida, ya que con ésta se generan MWh de energía renovable que contribuyen a aumentar el porcentaje de energía renovable del mix energético.

- **ENERGÍA SOLAR TÉRMICA**

La energía solar térmica se basa en la capacidad de conversión de la energía luminosa del sol en energía calorífica aprovechable en múltiples aplicaciones, tanto residenciales como industriales. La transformación de la energía luminosa en calorífica se realiza por medio de unos dispositivos denominados colectores, que concentran e intensifican el efecto térmico producido por la radiación solar. Estos colectores utilizan la radiación solar para calentar un fluido (que, por lo general, suele ser agua) a una cierta temperatura. La temperatura alcanzada depende del diseño del colector y puede oscilar entre los 20 °C a varios millares. En este sentido, existen diferentes instalaciones en función de la temperatura que se aprovecha:

**Energía solar térmica de baja temperatura:** consiste en una captación directa. La temperatura alcanzada por el fluido no sobrepasa los 100 °C (máximo 70-80 °C). Las principales aplicaciones de esta energía son: producción de agua caliente sanitaria (ACS), calefacción de edificios, calentamiento de piscinas, suministro de energía para bombas de calor, etc. Son los sistemas que mayor implantación tienen, ya que se basan en una tecnología completamente desarrollada y comercializada a todos los niveles y, además, son sistemas sencillos, silenciosos, limpios, sin partes móviles y con una gran vida útil.

**Energía solar térmica de media temperatura:** va destinada a aquellas aplicaciones que requieran temperaturas de fluido comprendidas entre 80 y 250 °C. Sus principales aplicaciones son: producción de vapor para procesos industriales, producción de energía eléctrica a pequeña escala, desalinización de agua de mar y refrigeración mediante energía solar.

**Energía solar térmica de alta temperatura:** va destinada a aquellas aplicaciones que requieran temperaturas de fluido superiores a 250 °C. Su principal aplicación es la generación de vapor para la producción de electricidad a gran escala.

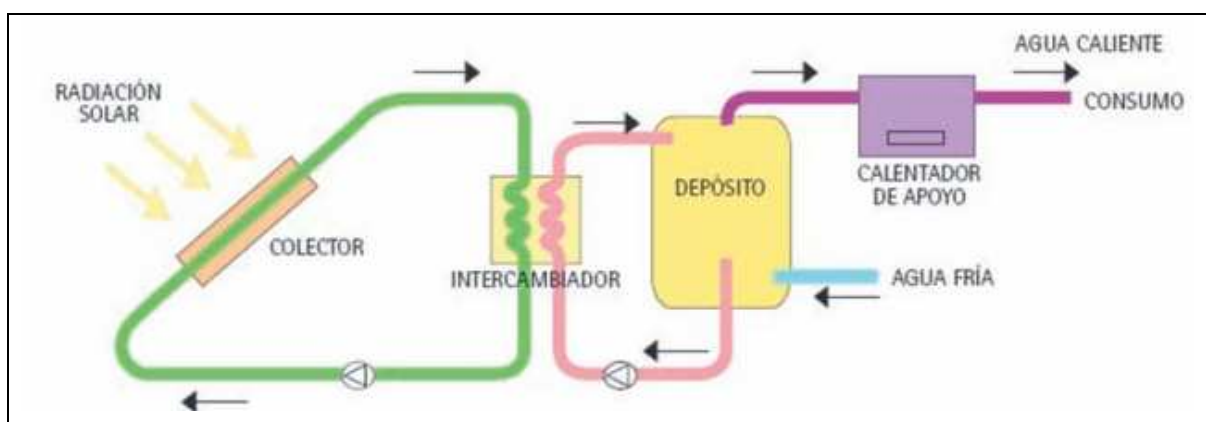
A continuación se procede a describir con más detalle la energía solar térmica de baja temperatura, ya que constituye la energía solar térmica con mayor potencial de recibir servicios por parte de una ESE y que, además, precisa de una tecnología sencilla, una inversión inicial reducida y es amortizable en pocos años.

El procedimiento actual que se lleva a cabo en cualquier instalación consiste en absorber la energía térmica contenida en los rayos solares. Una vez que el fluido que circula en el interior del captador se calienta, hay que evitar su enfriamiento a través de un aislamiento térmico lo más eficaz posible (como puede ser un tanque de almacenamiento bien aislado). No obstante, los depósitos de almacenamiento terminan por perder la energía térmica conseguida a lo largo del tiempo, por lo que generalmente la instalación se dimensiona para que la acumulación solar sea la demandada por los usuarios en un día.

Los elementos principales de una instalación solar térmica de baja temperatura son:

- Colector: cuya finalidad es la captación de la energía solar.
- Almacenamiento: cuya finalidad es adaptar en el tiempo la disponibilidad de energía y la demanda, acumulándola cuando está disponible, para poderla ofrecer cuando se solicite.
- Subsistema de distribución o consumo: cuya finalidad es transportar el fluido caliente contenido en los captadores solares hasta el punto de consumo.
- Sistema de apoyo convencional: es un sistema de energía auxiliar basado en energías “convencionales” para evitar que las instalaciones sufran restricciones energéticas en aquellos periodos en los que no hay suficiente radiación y/o el consumo es superior a lo previsto. Los sistemas de apoyo pueden ser eléctricos o calderas de gas/gasóleo.

En la siguiente figura se presenta el esquema de una instalación solar térmica de baja temperatura para ACS.



La energía solar térmica tiene una gran variedad de aplicaciones siendo las siguientes las más susceptibles de recibir servicios de una ESE:

**Producción de ACS:** es una alternativa madura y rentable muy apropiada para este uso por los niveles de temperatura que se requiere alcanzar (40 y 45 °C). Además, esta aplicación debe satisfacerse todo el año, por lo que la inversión en el sistema solar se rentabilizará más rápidamente que en el caso de otros usos solares como la calefacción (que tiene utilidad durante los meses fríos). Con esta alternativa se consigue cubrir el 100% de la demanda de ACS en verano y del 50 al 80% del total a lo largo del año.

**Sistemas de calefacción:** permite satisfacer parcialmente la necesidad de calefacción de edificios. Estos equipos suelen ser compatibles con la producción de ACS, existiendo elementos de control que dan paso a la calefacción una vez cubiertas las necesidades de ACS. El principal inconveniente de los sistemas de calefacción mediante energía solar térmica es que no suelen trabajar a temperaturas superiores a 60 °C por lo que se utilizan para precalentar el agua mientras que las instalaciones de calefacción convencionales abastecen los radiadores de agua con temperaturas entre 70 y 80 °C.

**Climatización de piscinas:** constituye una aplicación interesante tanto para piscinas cubiertas como a la intemperie. En el caso de las piscinas al aire libre, el sistema es muy simple, ya que el agua es circulada directamente por los captadores solares sin requerirse ningún sistema acumulador y la temperatura de trabajo suele ser baja (30 °C), lo que permite prescindir de cualquier tipo de material aislante y consigue reducir el precio del captador sin excesivo perjuicio en su rendimiento. Asimismo, la energía solar es también ventajosa para climatizar piscinas cubiertas aunque los sistemas empleados son un poco más complejos que para piscinas descubiertas. En este caso se suelen emplear captadores de placa plana con un sistema formado por un doble circuito e intercambiadores combinables con la producción de ACS y calefacción. Además, se requiere un aporte energético convencional para alcanzar una temperatura de 25 °C.

**Refrigeración de edificios:** es una de las aplicaciones térmicas con mayor futuro, ya que las épocas en las que más se necesita enfriar el espacio coinciden con las que se disfruta de mayor radiación solar. Además, permite aprovechar las instalaciones solares durante todo el año, empleándolas en el invierno para la calefacción y en verano para la producción de frío. Esta tecnología ya está madura desde el punto de vista tecnológico y ambiental, así como desde el punto de vista económico. La fórmula para aprovechar el calor solar para acondicionar térmicamente el ambiente es la constituida por el sistema de refrigeración por absorción, que se basa en la capacidad de determinadas sustancias para absorber un fluido refrigerante.

## 2.6.2 ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica es una de las fuentes de energía renovable menos conocidas. Se encuentra almacenada bajo la superficie terrestre en forma de calor y ligada a volcanes, aguas termales, etc. A diferencia del resto de energías renovables cuyo origen es la radiación solar, ya sea de forma directa (como la solar térmica y la fotovoltaica) o indirecta (como la eólica, hidráulica o biomasa), la energía geotérmica proviene del calor interior de la Tierra. Así, la energía geotérmica es, en su más amplio sentido, la energía calorífica que la tierra transmite desde sus capas internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre. Existen diferentes tipos de energía geotérmica en función de la temperatura del fluido geotermal que determinará su uso y aplicaciones. A continuación se presenta un esquema de los tipos de yacimiento existentes, el rango de temperatura al que se encuentran y sus aplicaciones principales:

Tipo Yacimiento		Rango de Temperatura	Uso Principal
MUY BAJA ENTALPÍA	Subsuelo (con o sin agua)	$5\text{ °C} < T < 25\text{ °C}$	Climatización
	Aguas subterráneas	$10\text{ °C} < T < 22\text{ °C}$	
BAJA ENTALPÍA	Aguas termales	$22\text{ °C} < T < 50\text{ °C}$	Balnearios, Acuicultura
	Zonas volcánicas	$T < 100\text{ °C}$	Calor de distrito
	Almacenes sedimentarios profundos		
MEDIA ENTALPÍA		$100\text{ °C} < T < 150\text{ °C}$	Electricidad ciclos binarios
ALTA ENTALPÍA		$T > 150\text{ °C}$	Electricidad

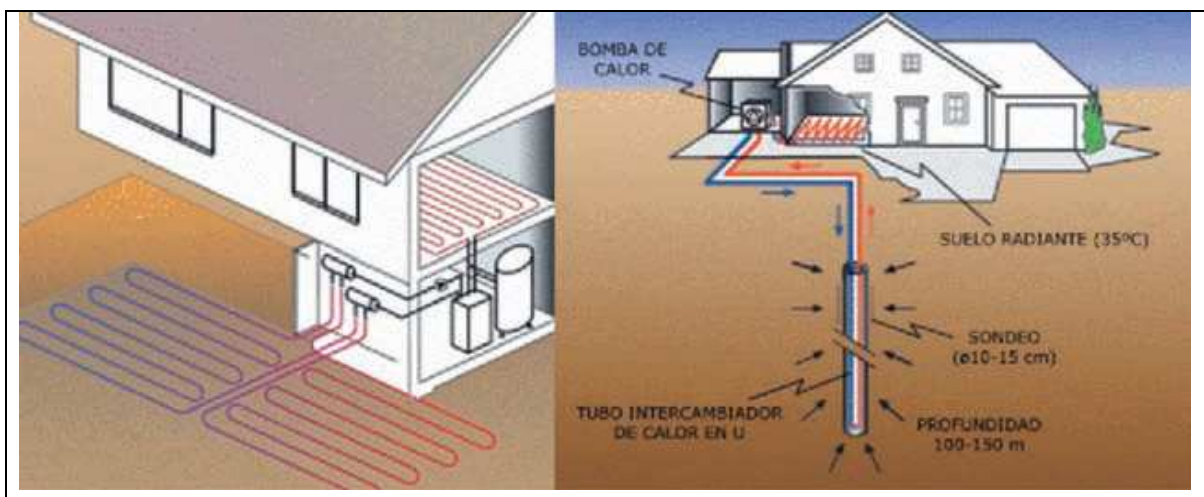
Los recursos geotérmicos de alta entalpía existentes en las zonas activas de la corteza con una temperatura superior a  $150\text{ °C}$  se aprovechan principalmente para la producción de electricidad a partir del vapor que se genera en la superficie. Cuando la temperatura

del yacimiento no es suficiente para producir energía eléctrica o la conversión de vapor-electricidad se produce con un rendimiento menor, sus principales aplicaciones son térmicas en los sectores industrial, servicios y residencial. En el caso de temperaturas por debajo de 100 °C, puede hacerse un aprovechamiento directo a través de una bomba de calor geotérmica<sup>23</sup> para procesos de calefacción y refrigeración (por absorción). Si las temperaturas están por debajo de los 25 °C, las aplicaciones son la climatización y la obtención de ACS.

Considerando las instalaciones que pueden ser susceptibles de recibir servicios por parte de una ESE y teniendo en cuenta el grado de implantación de los diferentes tipos de energía geotérmica, se considera oportuno describir con más detalle la tecnología geotérmica de baja entalpía.

### Geotermia de baja entalpía

El fundamento técnico de esta tecnología consiste en el aprovechamiento de la temperatura existente a poca profundidad. Los sistemas geotérmicos usan la temperatura constante de la Tierra como fuente de calor en los meses fríos y como disipadora de calor en los meses cálidos, aprovechando que a pocos metros por debajo de la superficie, las temperaturas se mantienen constantes entre 10 y 18 °C. Para la transferencia de energía geotérmica se emplea un intercambiador geotérmico, mecanismo que permite transferir el calor del subsuelo terrestre al sistema de calefacción. Para poder aprovechar al calor del subsuelo, son necesarios unos captadores de energía o colectores por los cuales circulará un fluido que, al ponerse en contacto con el subsuelo, captará o cederá energía como consecuencia de un salto térmico entre el fluido y el terreno



Fuente: FENERCOM

La captación de la energía geotérmica de baja entalpía se puede hacer mediante diferentes sistemas de captación:

- Captación vertical: consiste en la ejecución de una o varias perforaciones para introducir los captadores con una longitud hasta los 200 m.
- Captación horizontal: consiste en la ejecución de una serie de zanjas en las cuales se colocan los colectores de energía. Su profundidad está comprendida entre los 0,6 y 1,5 metros.
- Captación de lagos y ríos: consiste en la introducción de los colectores dentro del agua con la que realizarán el intercambio energético con el terreno.
- Captación de aguas subterráneas: consiste en extraer agua subterránea por una perforación, realizar el intercambio energético y devolverla al subsuelo por otra perforación diferente

Las ventajas que presenta la energía geotérmica de baja entalpía son:

- Grado de eficiencia muy considerable.
- En términos generales, se estima que se puede alcanzar un ahorro energético asociado de hasta un máximo del 70% en calefacción y del 50% en refrigeración<sup>24</sup>.
- Otras ventajas técnicas son su flexibilidad en todo tipo de climas, la ausencia del carácter estacional y su distribución en el territorio. Además, permite la calefacción y refrigeración simultánea.

Por otro lado, cabe destacar que se trata de una tecnología con un elevado coste inicial. En este sentido, se estima que la inversión necesaria para la sustitución de la climatización a través de una bomba de calor, así como para la sustitución de la climatización a través de calderas es de 1.500 € por kW instalado. Por consecuencia, el período de retorno de este tipo de instalaciones es elevado, superándose los 20 años.

### 2.6.3 BIOMASA

La biomasa es toda materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial. Desde el punto de vista energético, la biomasa se puede aprovechar para producir energía eléctrica, calor y biocombustibles.

#### **Biomasa para uso térmico**

Una de las mejores aplicaciones de la biomasa es su uso en calefacción y producción de agua caliente en edificios, en especial los destinados a vivienda en grandes ciudades. Actualmente, la mayoría de las aplicaciones térmicas en edificios o redes centralizadas con biomasa suponen un ahorro superior al 10% respecto el uso de combustibles fósiles, pudiendo alcanzar niveles aún mayores según el tipo de biomasa, la localidad y el combustible fósil sustituido.

Cabe destacar que las instalaciones de calefacción con biomasa son más seguras que una instalación de gasóleo o gas (al tratarse de un combustible sólido con bajo riesgo de explosión y de emisiones tóxicas). No obstante, existen algunas desventajas, como la necesidad de un silo de almacenamiento (mayor que los depósitos de combustibles líquidos) y la necesidad de retirar eventualmente las cenizas producidas y compactadas automáticamente por la caldera. Por ello, la opción con biomasa es especialmente recomendable para aquellos edificios que dispongan de calefacción de carbón, ya que pueden utilizar el mismo lugar de almacenamiento del combustible.



## **3 INSTALACIONES INDUSTRIALES**

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

En este módulo se analizarán las principales instalaciones comunes que pueden encontrarse en el sector industrial, sin analizar procesos concretos propios de cada industria, material que no sería objeto del curso.

### **3.2 ANALISIS SECTORIAL**

El coste de la energía constituye uno de los factores de mayor peso dentro de los costes totales de los procesos productivos. Un consumo energético sostenido permite a las industrias alcanzar una mayor productividad y calidad en su producción.

Por otra parte, con la entrada en vigor de la revisión del Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión (PNA II), las empresas implicadas tendrán que verse obligadas a reducir sus emisiones y/o a comprar en el mercado de derechos de emisión, con el consiguiente coste económico que ello implica.

El estudio realizado al Sector Industria se debe contemplar bajo dos puntos de vista. El primero es el estudio global del sector Industria Manufacturera y, el segundo, el estudio pormenorizado de las Agrupaciones de Actividad que lo componen.

Las Agrupaciones de Actividad estudiadas son las siguientes: Alimentación, Bebidas y tabaco Textil, Cuero y Calzado Madera, corcho y Muebles Pasta, Papel e Impresión Química Minerales No Metálicos Equipo de Transporte Metalurgia y Productos metálicos Maquinaria y Equipo mecánico Equipo eléctrico, electrónico y óptico

Estas Agrupaciones de Actividad representan el 92% del Consumo de Energía Final Total del Sector Industria Manufacturera, excluido el Refino de Petróleo y Tratamiento de combustibles nucleares.

En consecuencia, el Sector Industria, al estar integrado por un conjunto de Agrupaciones de Actividad, que tiene un comportamiento muy distinto en el consumo de energía, siendo,

algunas de ellas, intensivas en el consumo energético y con un importante peso del coste energético en sus costes de producción, y otras, en donde el peso del coste energético en los costes de producción tiene una escasa importancia. En consecuencia, las acciones de ahorro de energía, tanto bajo el punto de vista de mejora de las instalaciones existentes, como de realización de inversiones en equipos que tengan optimizados sus rendimientos energéticos, tal como ha ocurrido históricamente, se han abordado prioritariamente en las Agrupaciones de Actividad intensivas en el consumo de energía, frente al resto, que las aborda, cuando es necesario un cambio sustancial de su sistema productivo, por razones de producción o de nuevos mercados.

Las Agrupaciones de Actividad citadas anteriormente, junto con aquellas instalaciones industriales de combustión con una potencia térmica nominal superior a 20MW, están integradas en el escenario de asignación de las actividades sujetas al régimen de comercio de emisiones del Plan nacional de asignaciones de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008 – 2012 (PNAII) en el que se contempla, entre otras, la aplicación de las medidas de ahorro de la E4, por lo que la evolución esperada en el consumo de energía de las agrupaciones de Actividad e instalaciones de combustión debería encontrarse dentro de lo establecido en la Estrategia.

Tal como se cita en el Plan nacional de asignaciones de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008 – 2012 (PNAII), dentro de las instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal superior a 20MW, se pueden encontrar instalaciones que pertenezcan, entre otras, a la Industria Química, Alimentación, Cerámica, Metalurgia no Férrea, Textil, Yeso, Tableros de madera.

### **3.3 TECNOLOGÍAS ACTUALES Y MEDIDAS DE MEJORA**

#### **3.3.1 TECNOLOGÍAS ELÉCTRICAS**

En esta sección se evalúan las tecnologías y componentes con uso intensivo de energía eléctrica dentro de las prácticas habituales en la industria, como motores, bombas y ventiladores, sistemas de iluminación y equipos de refrigeración industrial. En cada uno de los apartados se describe de forma general su funcionamiento y los aspectos claves que permiten optimizar la eficiencia energética de las instalaciones.

## • MOTORES ELÉCTRICOS

Aproximadamente el 60% de la energía eléctrica consumida a nivel mundial se debe al funcionamiento de los motores eléctricos, ya que mueven una gran cantidad de dispositivos industriales y domésticos como bombas, compresores, ventiladores, maquinaria, vehículos, etc. Además, el gasto asociado a este consumo eléctrico es del orden de 60 a 100 veces mayor que la inversión realizada inicialmente. A pesar de ello, el criterio de eficiencia energética no suele ser tenido en cuenta a la hora de la adquisición de un nuevo equipo. No se comprende suficientemente que los motores con mayor eficiencia, aunque son más caros inicialmente, compensan la diferencia en un plazo reducido gracias al menor coste de operación.

Otra razón es la poca información que tienen los ingenieros y técnicos de la eficiencia energética de los motores, parámetro por otra parte de difícil cuantificación y comparación. Este desconocimiento da inseguridad en el momento de la aplicación y en algunos casos puede ocasionar inconvenientes en la operación de los motores.

### **Principio de funcionamiento**

La misión fundamental del motor eléctrico es la de transformar la energía eléctrica en energía mecánica que permita poner en movimiento el mecanismo del equipo en el que se instale. El funcionamiento de un motor se basa en las propiedades electromagnéticas de la corriente eléctrica y la posibilidad de crear a partir de ellas unas determinadas fuerzas de atracción y repulsión encargadas de actuar sobre un eje y generar un movimiento de rotación. Con independencia de la tecnología que utilice, la eficiencia energética de un motor está caracterizada por una serie de pérdidas eléctricas y mecánicas en sus componentes y que se pueden agrupar en tres:

- Pérdidas por efecto Joule: tienen lugar como consecuencia de la resistencia que oponen los devanados del motor (rotor y estator) al paso de la corriente eléctrica.
- Pérdidas magnéticas: pérdidas asociadas a los campos magnéticos presentes en el interior de la máquina.
- Pérdidas mecánicas: son debidas a la fricción que ejerce el aire y los elementos fijos sobre las partes móviles del motor.

La mayor o menor eficiencia energética de un motor eléctrico depende de la magnitud de los diferentes tipos de pérdidas. Así, los motores con un diseño apropiado de sus devanados y partes móviles y unos materiales adecuados permiten, para una potencia en

el eje similar, un menor consumo respecto de un motor más económico en el que estos aspectos no se hayan tenido en cuenta de forma exhaustiva. Pero hay otros factores que se refieren al régimen y modo de funcionamiento del motor, como por ejemplo:

- El dimensionamiento adecuado del motor para la aplicación a la que va destinado.
- Régimen de carga: carga parcial o nominal, carga variable o estacionaria, sobrecargas, etc.
- Alimentación del motor: características y calidad de la corriente eléctrica de entrada al motor.
- Mantenimiento realizado.

## • **PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS**

**Utilización de motores de alta eficiencia** Este tipo de motores cuentan con un diseño y construcción especiales que favorecen unas menores pérdidas que los motores estándar. De los costes totales de operación de un motor durante su vida útil, el coste de compra supone el 1%, la energía el 95%, el mantenimiento el 3% y los costes de ingeniería y logística el 1%. Así, el coste de compra del motor es poco significativo respecto al coste total de operación, por eso, al seleccionar motores eléctricos hay que considerar fundamentalmente su eficiencia.

Hay tres tipos estandarizados de motores de alta eficiencia: EFF1, EFF2 o EFF3, en función de las características de la aplicación a la que estén destinados. A continuación se presentan una serie de ventajas y limitaciones que tienen estos motores.

Ventajas de los motores de alta eficiencia:

- Son más robustos que los motores estándar, lo que se traduce en menores gastos en mantenimiento y mayor tiempo de vida.
- Una mayor eficiencia supone un menor coste de operación. Limitaciones de los motores de alta eficiencia:
- Operan a una velocidad mayor que los motores estándares. Esto puede significar un incremento en la carga. Esta posibilidad debe valorarse en cada caso.
- El par de arranque puede ser menor que el de un motor estándar, por lo que hay que analizar cuidadosamente cada caso. La corriente de arranque suele ser mayor, lo que

puede provocar que se sobrepase el límite de caída de tensión en la red en el momento del arranque.

Recomendaciones para la aplicación de motores de alta eficiencia. Se recomienda la compra de motores de alta eficiencia en los siguientes casos:

- En los motores entre 10 CV y 75 CV cuando operan 2.500 horas anuales o más.
- En motores de menos de 10 CV o superior a 75 CV cuando superan las 4.500 horas.
- Cuando se usan para reemplazar a motores sobredimensionados.
- Cuando se aplican conjuntamente con variadores electrónicos de frecuencia.

**Sustitución en lugar de reparación de un motor usado:** Cuando un motor falla se presentan dos alternativas: reparar el motor averiado o comprar un nuevo motor. La alternativa de la reparación parece ser, a primera vista, la más oportuna cuando su coste es inferior a una nueva compra. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones, el rebobinado de un motor conduce a una pérdida de rendimiento y a una menor fiabilidad de funcionamiento. Según estudios de General Electric, la eficiencia empeora entre 1,5% y 2,5% tras el rebobinado. La decisión de sustituir el motor averiado por un motor de alta eficiencia depende de varios factores, como el coste de reparación, la variación del rendimiento, el precio del nuevo motor, la eficiencia original del motor instalado, el factor de carga, las horas de operación anuales, el precio de la energía y el criterio de amortización. No obstante, es recomendable atender a los siguientes criterios de elección:

- Relacionarse con talleres de reparación cualificados para la obtención de información fiable.
- Los motores menores de 40 CV y más de 15 años de utilización y los motores menores de 15 CV son candidatos a ser reemplazados.
- Si el coste del rebobinado supera el 50% del coste de un motor nuevo, debería ser sustituido.

### **Dimensionamiento adecuado**

Se recomienda que la potencia nominal esté sobredimensionada del 5% al 15% respecto a la potencia necesaria para la aplicación, con el objetivo de que el motor opere con eficiencia y factor de potencia (relación entre el consumo de energía activa y energía reactiva) adecuados. El procedimiento para el cálculo de la potencia adecuada depende

del régimen de carga del motor, ya que es posible subdimensionar en ciertos casos el motor en función de la cantidad de arranques y paradas a las que se vea sometido.

### **Mejora de la calidad de la energía eléctrica**

Los motores eléctricos están diseñados y fabricados para operar en las condiciones especificadas en la placa de características, llamadas condiciones nominales. Sin embargo, los sistemas eléctricos industriales generalmente no presentan las condiciones ideales ni en simetría, forma de onda y magnitud. Estas variaciones pueden perjudicar el rendimiento y el tiempo de vida del motor. A continuación se indican las recomendaciones más habituales para asegurar una mínima calidad del suministro eléctrico:

- Mantener los niveles de tensión cercanos al valor nominal.
- Minimizar el desequilibrio de tensiones.
- Disminuir la distorsión armónica de la red.

### **Optimización de la transmisión**

Los sistemas de transmisión permiten transmitir el par del motor a las cargas o equipos (bombas, compresores, etc.) ya sea cambiando o no la velocidad que entrega el motor, lo que se logra mediante acoplamientos al eje de engranajes, poleas. Es importante en la selección del sistema de transmisión conocer las características de cada sistema para realizar una adecuada selección. Se recomienda seguir las siguientes recomendaciones en función del tipo de acoplamiento:

- Acople directo: asegurar un correcto acoplamiento entre el motor y la carga.
- Correas: usar bandas en V y preferentemente dentadas.
- Reductores: seleccionar adecuadamente el tipo de reductor (helicoidal, cónicos, cilíndrico y tornillo sin fin) de acuerdo a la potencia y a la relación de velocidades
- Cadenas: no tienen deslizamiento y se recomiendan para transmitir elevadas cargas. Su eficiencia puede alcanzar el 98%.

### **Utilización de control electrónico de velocidad**

Es importante que el motor y el equipo operen en su punto óptimo de operación, es decir, que el motor accione la carga a la velocidad necesaria con un consumo mínimo de energía. El equipo más utilizado para este fin es el variador electrónico de velocidad o frecuencia.

Un variador modifica la frecuencia de la onda de tensión de alimentación al motor, permitiendo que el motor trabaje muy cerca del punto óptimo de operación. Este tipo de equipos permite regular el par motor sin necesidad de recurrir a otras opciones mucho menos eficientes, logrando un considerable ahorro de energía y otros beneficios adicionales como una mayor vida útil del motor, menor ruido, menor desgaste, mejor control y posibilidades de regeneración.

Las cargas que tienen un régimen variable son las mejores candidatas a ser accionadas mediante un motor con variador para ahorrar energía. Un ejemplo muy típico son los ventiladores y bombas centrífugas

- **BOMBAS Y VENTILADORES**

#### **Descripción de un sistema de bombeo**

La finalidad de una instalación de bombeo consiste en el transporte de un fluido hasta el punto de consumo, almacenamiento o evacuación, venciendo una determinada altura geométrica y las pérdidas por rozamiento generadas en el circuito de tuberías (pérdida de carga). Un sistema de bombeo está formado por dos componentes principales:

**Circuito hidráulico: por el que circula el fluido**, caracterizado por la longitud, diámetro y rugosidad del entramado de tuberías. Este circuito vence una determinada altura geométrica y, además, para un caudal determinado que circula por él tiene asociada una determinada pérdida de carga (resistencia al paso del fluido de las paredes de las tuberías), lo que permite elaborar una curva característica (altura-caudal) del funcionamiento del circuito.

**Equipos de bombeo:** bomba o agrupación de bombas que impulsan un determinado caudal de fluido, de modo que le confieren la energía necesaria para vencer la altura geométrica y la pérdida de carga determinada por dicho caudal en el circuito. La bomba consiste en un rodete con álabes arrastrado por un motor, normalmente eléctrico. En función del circuito al que esté conectada, la bomba es capaz de impulsar un determinado caudal hasta una determinada altura (altura geométrica más altura equivalente por pérdidas de carga). Ello permite trazar una curva característica (altura-caudal) de la operación de la bomba.

La combinación de ambas curvas características permite la determinación del punto de operación del sistema, que viene dado por el punto de corte de ambas curvas. El consumo de energía de la bomba es la suma de tres componentes:

- La energía necesaria para la elevación del fluido (altura geométrica).
- Pérdidas en el motor de la bomba.
- La energía necesaria para vencer las pérdidas de carga del circuito hidráulico.

Por tanto, el consumo energético de la bomba depende del motor empleado para arrastrarla, de la altura a vencer, el caudal y las pérdidas de carga del circuito

- **PROPUESTAS DE MEJORA EN BOMBEO**

Las causas más frecuentes de un bajo rendimiento del sistema son las siguientes:

**Motores de accionamiento de bajo rendimiento:** Las medidas de mejora de eficiencia energética en estos equipos ya fueron comentadas en el apartado anterior (motores eléctricos).

**Circuito inadecuado:** diseño defectuoso o modificaciones de la instalación original. Debido a que la característica de funcionamiento de una bomba es fuertemente no lineal, toda desviación de la operación del sistema fuera del rango óptimo de la bomba conduce a un funcionamiento ineficiente de la misma. Estas desviaciones pueden ser fruto de un mal dimensionamiento o de posteriores modificaciones o ampliaciones del circuito hidráulico. Toda modificación del circuito ha de llevar consigo un estudio de la modificación del punto de funcionamiento de la bomba para determinar la necesidad del ajuste o sustitución del equipo de bombeo para asegurar que trabaja en unas condiciones óptimas.

**Regulación inadecuada:** A menudo los circuitos de bombeo no funcionan con una carga constante sino que el caudal que circula por ellos es variable. Esta circunstancia es muy habitual en la industria (centrales de frío, condensadores, circulación de líquidos, etc., en los que la demanda no es constante).

Para variar el caudal que circula por el circuito es necesario modificar las condiciones de operación del circuito o de la bomba. Las distintas opciones son las siguientes:



- Válvulas de regulación: se introduce una pérdida de carga adicional en el circuito, por lo que el caudal disminuye. La potencia requerida disminuye, pero el rendimiento global de la instalación desciende en mayor medida.
- Arranque/parada: es una opción muy perjudicial para la bomba y el circuito porque se producen golpes de ariete (cambios bruscos en la presión del fluido). Energéticamente es más eficiente que la opción anterior.
- By-pass: se recircula cierta cantidad de fluido por la apertura de una válvula de by-pass. Es la opción menos eficiente energéticamente.
- Control de velocidad: es el método más eficiente, ya que en todo momento la bomba opera en su punto óptimo de funcionamiento



- **SISTEMA DE VENTILACIÓN Y EXTRACCIÓN**

Las instalaciones industriales de ventilación y extracción son muy parecidas a las de bombeo, diferenciándose en las propiedades del fluido transportado, que en este caso es un gas (frecuentemente aire). Las medidas propuestas anteriormente para el caso de las instalaciones de bombeo son aplicables en su totalidad a los sistemas industriales de ventilación y extracción.

### 3.3.2 AIRE COMPRIMIDO

- **DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO**

El aire comprimido es un elemento muy habitual en todo tipo de instalación industrial. Normalmente se emplea para obtener trabajo mecánico lineal o rotativo, asociado al desplazamiento de un pistón o de un motor neumático. En otras ocasiones, se emplea para atomizar o aplicar sprays de barnices o pinturas. Una instalación básica de aire comprimido para uso industrial suele constar de los siguientes elementos: compresor, depósito de almacenamiento y regulación, enfriador, deshumidificador, líneas de distribución y los puntos de consumo con su regulador y filtro. El consumo eléctrico del sistema lo realiza el compresor, pero todos los elementos influyen en mayor o menor medida en el rendimiento energético del sistema. Por tanto, este rendimiento depende de múltiples factores.



El principal es el buen funcionamiento de los equipos de compresión, seguido por la cantidad de aire perdido por fugas, pérdidas de carga excesivas que afecten a la potencia de las herramientas y equipos consumidores, sistema de control, etc. En el siguiente apartado se presentan algunas actuaciones que se pueden llevar a cabo para reducir el coste derivado del uso de los compresores, sin menoscabo de la seguridad y del rendimiento del personal y los equipos.

- **PROPUESTAS MEJORA AIRE COMPRIMIDO**

**Recuperación del calor:** El principio de funcionamiento termodinámico de los compresores es muy ineficiente. Aproximadamente, un 94% de la energía consumida en un compresor se transforma en calor recuperable y únicamente un 6% se transforma en energía de presión. La recuperación del calor disipado puede significar un ahorro de energía importante. Con compresores refrigerados por agua puede recuperarse hasta el 90% de la energía de entrada en forma de agua caliente a temperatura de 70 °C - 80 °C, que puede utilizarse para duchas, calefacción, alimentación a calderas, etc.

**Utilización de compresores de velocidad variable:** El aire comprimido es uno de los campos de aplicación más favorable de los variadores de velocidad (o VSD, “Variable Speed Drive”), debido a que la demanda de aire comprimido en una instalación es frecuentemente muy variable, por lo que el compresor (o compresores) operan a carga parcial durante gran parte de su vida útil. Como se comentó en el apartado correspondiente (“Utilización de control electrónico de velocidad”), este tipo de accionamientos permite ajustar la potencia desarrollada por el motor a la carga instantánea, mejorando notablemente de esta forma la eficiencia energética del conjunto.

**Fraccionamiento de potencia de los compresores:** Es otra opción en industrias con un gran consumo de aire comprimido. Consiste en disponer de una central de producción de aire con varios compresores de similar potencia, de forma que uno de ellos sea de velocidad variable. Este último estaría en funcionamiento permanentemente para ajustar el consumo eléctrico a la demanda instantánea de aire del sistema. El resto de compresores entrarían en funcionamiento secuencialmente en función de las necesidades, de forma que en todo momento todos los compresores operen de forma óptima.

### 3.3.3 PRODUCCIÓN DE FRÍO INDUSTRIAL

Ciertas industrias necesitan del frío para mantener los productos o como parte de sus procesos productivos (industria alimentaria y de bebidas, farmacéutica, química, etc). Los sistemas de producción de frío se basan en ciclos termodinámicos o procesos físicos, en los que de modo continuo tiene lugar un transporte de energía térmica entre un foco a baja temperatura y un foco a alta temperatura. Los sistemas más extendidos en la

actualidad son los que siguen el ciclo denominado de “compresión mecánica de vapor”. Una instalación de este tipo consta de los siguientes elementos principales:

- Compresor: acoplado a un motor, que puede ser de diferentes tipos. Realiza la compresión del refrigerante.
- Condensador: en su interior se produce la condensación del gas refrigerante mediante la disipación de calor al ambiente.
- Evaporador: situado en la correspondiente cámara frigorífica o equipo de refrigeración. En su interior el refrigerante absorbe el calor del aire y se evapora.
- Circuito del refrigerante: el refrigerante sigue un ciclo cerrado por un circuito de tuberías, a lo largo del cual sufre una serie de transformaciones físicas.

De todos los elementos, el que requiere una cantidad significativa de energía eléctrica para su funcionamiento es el compresor. Existen diversos tipos de compresores, siendo los más comúnmente empleados los de pistón, los centrífugos y los denominados de tornillo.

A continuación se describen con más detalle las acciones más frecuentes de mejora a tener en cuenta para incrementar el rendimiento energético de la instalación de producción de frío industrial.

### **Aislamiento de las cámaras frigoríficas**

El aislamiento es el factor más importante en el consumo energético de una instalación de conservación por frío, tanto por la proporción en que influye en las ganancias de calor, como por la dificultad de su modificación una vez construido o colocado. Las ganancias de calor a través del aislamiento dependen en gran medida de la geometría y disposición de los bloques de cámaras, que determinan la superficie exterior por metro cúbico interior.

- Cuanto mayor sea la altura de cámaras, menor será la superficie aislada.
- El tamaño en planta de los bloques de cámaras adyacentes conviene que sea el máximo posible. Una vez establecida la superficie a aislar, las entradas de calor dependen de la naturaleza y espesor del aislante.

### **Adecuación de la demanda de frío**

En toda instalación frigorífica existe un cambio continuo de la demanda de refrigeración, por lo que la producción frigorífica debe ser variable para satisfacer la demanda. Para

lograr un buen ajuste entre la generación de frío y las necesidades del proceso existen varias opciones:

Variador de velocidad en el motor eléctrico. Estos equipos reducen el número de revoluciones del compresor y por tanto reducen el volumen desplazado y la potencia frigorífica del compresor y del sistema de refrigeración. En este caso se reduce el consumo de motor eléctrico de forma casi lineal a la reducción de capacidad. Las limitaciones están en el diseño de los compresores y en la gestión de la lubricación y enfriamiento de las partes móviles.

Fraccionamiento de potencia. Debido a las condiciones de los compresores y a las características de las plantas, con frecuencia existen varios compresores en una instalación que funcionan de manera coordinada por un sistema superior de mando. Cuando los compresores son de distinto tipo, su combinación permite un mejor acoplamiento a la demanda de la instalación. Por ello, en contra de la práctica habitual, se recomienda utilizar compresores de distintos tamaños en una misma instalación. La combinación de compresores de tornillo y compresores de pistones produce unos rendimientos energéticos muy altos. Cuando uno de ellos es controlado por un variador de velocidad el acoplamiento es casi perfecto.

### **Recuperador de calor**

El calor disipado en el condensador puede ser recuperado para otras aplicaciones de calentamiento. La forma más simple es conducir el agua de condensación a través de un intercambiador de calor, de modo que ceda su energía al fluido a calentar (precalentamiento de agua, ACS, etc.).

## **3.4 TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN Y USO DE CALOR. MEDIDAS DE MEJORA**

### **3.4.1 VAPOR**

El vapor de agua es un fluido muy común en la industria que se utiliza para proporcionar energía térmica a los procesos de transformación de materiales. La eficiencia del sistema de generación, la distribución adecuada y control de su consumo tendrán un gran impacto

en la eficiencia total de la planta. Esta situación se refleja en los costos de producción de vapor y, en consecuencia, en la competitividad de la empresa.

El vapor de agua es el conductor térmico preferido en la mayoría de aplicaciones de las instalaciones energéticas industriales debido a sus óptimas características para la transferencia de calor:

- El agua es un fluido barato y muy accesible.
- Permite un amplio rango de temperaturas de trabajo.
- Se transporta de forma fácil.
- Alto calor específico.
- Alto calor latente.
- No inflamable y no tóxico.
- Se puede regular la temperatura de condensación de forma fácil.

La generación de vapor se realiza en calderas mediante la aportación de energía a partir de combustible, y el vapor generado se transporta mediante tuberías a los puntos requeridos. Los procesos industriales que utilizan vapor para el aporte de calor son, en general, procesos con una alta demanda térmica, por lo que la potencia de este tipo de instalaciones de generación y distribución de vapor suelen ser de elevada potencia (del orden de MW). Estas dimensiones requieren una elevada inversión inicial y un cuidadoso diseño que tenga como uno de los objetivos principales la consecución de un óptimo rendimiento energético del sistema para evitar pérdidas e ineficiencias.

Los principales elementos de un sistema de generación y distribución de vapor son la caldera, la red de distribución a los puntos de consumo y el sistema de recogida de condensados. En los siguientes apartados se analizarán las características más importantes de los dos últimos, y se deja el análisis de la caldera para más adelante, ya que son elementos comunes con otros sistemas de distribución:

### **Red de distribución**

Es el conjunto de elementos que unen el generador de vapor y los equipos consumidores, y cierra finalmente el ciclo del vapor que retorna de nuevo a la caldera. Consta de una serie de tuberías aisladas y de ciertos elementos de regulación, control y seguridad, como pueden ser las válvulas reductoras y de seguridad, las trampas de evacuación de condensados y los purgadores.

Desde el punto de vista energético, los aspectos que tienen una mayor influencia en el rendimiento de la instalación son el diseño y dimensionamiento del circuito, el aislamiento de la red y la recuperación de condensados

### Diseño y dimensionado del circuito

El principal parámetro de diseño de la red es el diámetro de las tuberías, ya que la temperatura y presión de trabajo están determinadas por los procesos consumidores y, por tanto, están fijadas. Cuanto mayor sea el diámetro de la tubería, menor será la pérdida de carga que hay que vencer pero la inversión se dispara, por lo que hay que llegar a un compromiso entre el diámetro de la tubería y el coste de la instalación. Si el diámetro elegido es demasiado reducido, la velocidad resultante del vapor será excesiva y originará una elevada pérdida de carga, un alto nivel de ruido y problemas de ajuste en los elementos de conexión

### Aislamiento

El aislamiento en tuberías, equipos y accesorios del sistema de distribución de vapor y retorno de condensado, evitará pérdidas de calor hacia el ambiente. Es muy importante instalar, en cada tramo de tubería, el tipo y espesor óptimo de aislamiento. Es conveniente revisar periódicamente el estado del aislamiento de los diferentes tramos de la red, sobre todo durante cualquier operación de mantenimiento o después de modificaciones en ella

Tipo de material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Temperatura cara caliente (°C)	Temperatura cara fría (°C)	Conductividad (kcal/m <sup>2</sup> h °C)	
Coquilla de lana mineral	100	300	35	0,048	
		400	35	0,056	
Manta de fibra mineral	50	100	25	0,050	
		200	25	0,050	
		180	30	0,045	
		70	220	30	0,049
		100	300	35	0,051
		125	400	35	0,063
		500	40	0,059	
		600	40	0,066	
Manta de fibra de roca	100	300	35	0,048	
		400	35	0,056	
Espuma de poliuretano expandido	-	-	38	0,036	

Fuente: Gas Natural/Unión Fenosa

## Recogida de condensados

Tan pronto como el vapor deja la caldera, empieza a ceder parte de su entalpía a cualquier superficie con menor temperatura. Al hacer esto, una parte del vapor se condensa, transformándose en agua a la misma temperatura. La presencia de líquido en el interior de las tuberías y demás elementos de distribución de vapor es muy perjudicial para su funcionamiento ya que produce un mayor desgaste y vibraciones en los elementos, por lo que es necesario separar y recoger este condensado mediante una serie de trampas o purgadores en los lugares apropiados para retornarlos de nuevo al generador. Con ello se pretende recuperar no solo la masa de agua tratada, sino también la energía térmica contenida en ella.

Hay diferentes tipos de trampas de vapor en función del origen del condensado (red de transporte o equipo de intercambio). Es preferible que sean equipos automáticos por razones de operatividad y de eficacia del sistema. El revaporizado se forma cuando el condensado pasa a una presión inferior (es decir, en el punto de purga). Se forma en el orificio de descarga del purgador y en el espacio posterior, que es donde se produce el descenso de presión. En ese momento el sistema de retorno de condensados debe admitir al condensado y al revaporizado. Para recuperar y aprovechar el revaporizado hay que separarlo del condensado mediante un tanque de revaporización.

Las ventajas de recuperar los condensados son las siguientes:

- Se recupera la energía de los condensados.
- Se reducen las pérdidas en purgas de las calderas.
- Disminuye el consumo de agua tratada y su coste ya que el tratamiento resulta costoso.
- El coste de la producción de vapor se reduce

### 3.4.2 AGUA CALIENTE

El agua caliente no es utilizada tan frecuentemente en los procesos industriales como fluido térmico, y su uso se restringe a procesos de calentamiento que requieren potencias reducidas o aplicaciones de calefacción especiales. Las ventajas que ofrece la utilización de agua caliente como fluido térmico son las siguientes:



- En algunas conducciones de productos que deben calentarse con calor de acompañamiento es interesante la utilización de agua caliente y no vapor, sobre todo por razones de seguridad. Las instalaciones de agua caliente pueden trabajar a una presión inferior.
- Supone una mayor simplicidad de los equipos.
- Al trabajar a una temperatura inferior se producen menos pérdidas por radiación y, por tanto, una mayor economía en aislamientos.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

- E4: Plan de Acción 2008-2012, IDAE
- Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Municipios, Agencia Andaluza de la Energía
- Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.
- RD 661/2007 por el que se regula la actividad de producción de electricidad en el Régimen Especial
- Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación: Alumbrado Público, IDAE
- Guía de Ahorro Energético Instalaciones Industriales, FENERCOM
- Guía de Gestión Energética en Alumbrado Público, FENERCOM
- Guía de la Cogeneración, FENERCOM
- Manual de Eficiencia Energética, EOI
- Guía Técnica Iluminación Eficiente en el Sector Residencial y Terciario, FENERCOM
- Guía sobre Empresas de Servicios Energéticos, FENERCOM