



## Componente formativo

### **Eficiencia energética en sistemas consumidores de energía**

---

#### **Breve descripción:**

Aquí se estudiarán aspectos sobre la operación de equipos consumidores de energía y conocerán sobre equipos para generación de energía térmica en forma de calor y frío, nuevas infraestructuras para abastecer de energía como los distritos térmicos, iluminación y automatización para la eficiencia energética, los principios de la arquitectura bioclimática. Y algunos métodos para implementar mantenimiento centrado en eficiencia energética.

#### **Área ocupacional:**

Procesamiento, fabricación y ensamble.

---

**Julio 2023**

## Tabla de contenido

Introducción.....	5
1. Intercambiadores de calor.....	6
1.1 Tipos de intercambiadores.....	6
1.2 Medidas para mejorar y mantener la eficiencia .....	11
2. Calderas.....	13
2.1 Componentes de una caldera.....	13
2.2 Calderas pirotubulares.....	15
2.3 Calderas acuotubulares .....	16
2.4 Eficiencia de una caldera.....	17
2.5 Acciones para mejorar la eficiencia .....	19
3. Climatización.....	21
3.1 Conceptos básicos .....	21
3.2 Aire acondicionado .....	22
3.3 Bomba de calor.....	29
3.4 Medidas para mejorar y mantener la eficiencia .....	30
4. Refrigeración.....	31
4.2 Coeficiente de desempeño COP .....	35
4.3 Medidas para mejorar el desempeño energético e impacto ambiental de sistemas de refrigeración.....	36
5. Cogeneración.....	37
5.1 Cogeneración tipo cabeza .....	39

5.2 Cogeneración tipo cola .....	40
5.3 Cogeneración con turbina a gas .....	41
5.4 Cogeneración con turbina de vapor .....	41
5.5 Cogeneración con motor de combustión interna .....	43
5.6 Ciclo combinado .....	44
5.7 Aumento de la eficiencia usando cogeneración.....	45
6. Motores eléctricos .....	46
6.1 Partes del motor eléctrico .....	48
6.2 Datos de placa .....	49
6.2 Eficiencia del motor eléctrico .....	51
7. Automatización y digitalización para generar eficiencia energética .....	52
7.1 Aplicaciones industriales .....	52
7.2 Aplicaciones en edificios (residenciales, comerciales) .....	53
7.3 Impacto en la eficiencia energética.....	56
8. Distritos térmicos .....	56
8.1 Componentes de un distrito térmico .....	60
8.2 Tipos de redes de distribución de los distritos térmicos.....	62
8.3 Fuentes energéticas .....	62
9. Hornos industriales .....	63
9.1 Hornos túnel .....	65
9.2 Hornos rotatorios .....	65
9.3 Altos hornos.....	66

9.4 Hornos de arco eléctrico .....	67
9.5 Eficiencia energética.....	67
10. Sistemas de iluminación.....	68
11. Arquitectura bioclimática .....	75
11.1 Características básicas de la arquitectura bioclimática .....	75
11.2 Estrategias de la arquitectura bioclimática .....	78
11.3 Casas pasivas .....	79
12. Mantenimiento Centrado en la Eficiencia Energética – MCEE.....	80
Síntesis .....	85
Material complementario .....	86
Glosario.....	88
Referencias bibliográficas .....	89
Créditos.....	90

## Introducción

En esta unidad se estudiarán aspectos sobre la operación de equipos consumidores de energía. El aprendiz conocerá sobre equipos para generación de energía térmica en forma de calor y frío, nuevas infraestructuras para abastecer de energía a las ciudades como los distritos térmicos, iluminación y automatización para la eficiencia energética. Además, conocerá acerca de los principios de la arquitectura bioclimática. Finalmente, se entenderán algunos métodos para implementar mantenimiento centrado en eficiencia energética.

### **Video 1.** Eficiencia energética en sistemas consumidores de energía.



[Enlace de reproducción del video](#)

#### **Síntesis del video: Eficiencia energética en sistemas consumidores de energía.**

Desde que se han hecho visibles los efectos adversos del cambio climático ha aumentado la preocupación por encontrar formas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la humanidad consume y seguirá consumiendo energía para satisfacer sus necesidades, pero se hace necesario que el consumo energético sea racional, es decir lo más eficiente que se pueda. Lograr mayor eficiencia en el consumo de energía implica una reducción en el consumo de combustibles quemados y gases de efecto invernadero emitidos, además de la disminución de costos operativos en las empresas y de las facturas

de energía en las casas y edificios. El objetivo de este curso es mostrar las características de consumo de energía de los sistemas más importantes usados para la producción industrial y la satisfacción de las necesidades como climatización, refrigeración e iluminación en los hogares, comercios y edificios; para que el estudiante aprenda cuales son algunas de las medidas para seleccionar los sistemas mas eficientes, mejorar y mantener la eficiencia de los disponibles en el contexto del trabajo y el hogar del aprendiz.

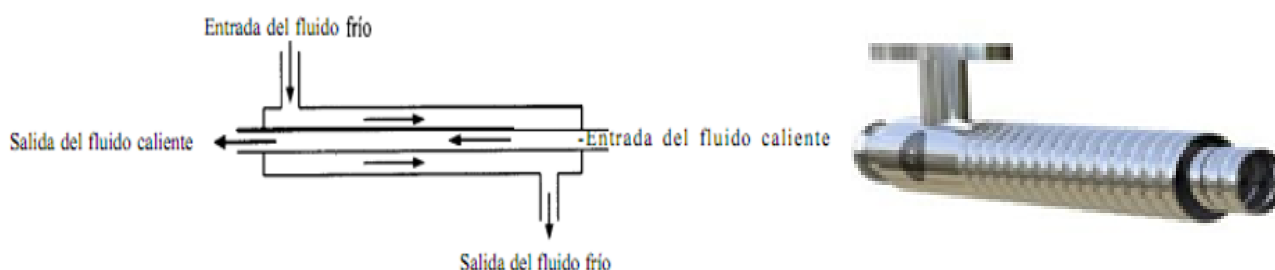
## **1. Intercambiadores de calor**

Los intercambiadores de calor son dispositivos que permiten transferir calor de un fluido a otro sin que se mezclen para que haya intercambio de calor, los fluidos deben estar a diferentes temperaturas. Los intercambiadores de calor se pueden encontrar en muchas aplicaciones domésticas e industriales como refrigeradores, calentadores de agua, aires acondicionados, en plantas de generación de energía, en procesos químicos y agroindustriales. Dependiendo de la aplicación, se puede buscar enfriar o calentar un fluido, líquido o gas; incluso, los intercambiadores pueden ser usados para condensar (pasar de estado gaseoso a líquido) o para evaporar fluidos (pasar de estado líquido a gaseoso).

### **1.1 Tipos de intercambiadores**

- a. Para responder a las necesidades de las diversas aplicaciones de estos aparatos se han diseñado varias configuraciones y tipos de intercambiadores de calor, los más conocidos y de uso más extendido son:
- b. Es el diseño más simple entre los intercambiadores de calor. Consta de dos tubos de diámetro diferente dispuestos uno dentro del otro, de forma que a través del tubo central pasa un fluido y por el espacio anular entre el tubo central y el tubo exterior pasa otro fluido a distinta temperatura. Generalmente, a través del tubo central circula el fluido caliente y por el espacio anular entre los tubos pasa el líquido de menor temperatura. En la figura 1 se puede ver un esquema de los tubos concéntricos de un intercambiador de doble tubo, en la que se observa que los fluidos están a contracorriente.

**Figura 1.** Ejemplo de una figura o imagen



Nota. A la izquierda se puede ver un esquema del flujo de líquidos caliente y frío en un intercambiador de doble tubo. Nota. Tomada de *Farmupibi*. A la derecha un intercambiador de doble tubo de la empresa *Sacome*. Nota. Tomada de *Sacome*.

**c. Los intercambiadores de doble tubo se pueden usar de dos formas:**

Con flujo a contracorriente, cuando los fluidos viajan a través del dispositivo en direcciones opuestas; o con flujo paralelo, cuando los fluidos viajan por el dispositivo en una misma dirección.

**d. Intercambiador de calor compacto:**

Para entender mejor estos intercambiadores, se debe hablar del término densidad de área  $\beta$ , que es la razón (división) entre el área de transferencia de calor y el volumen que ocupa el intercambiador, donde el área de transferencia de calor se trata del área superficial con la que un fluido tiene contacto en el intercambiador de calor y que transmite el calor del fluido que está al otro lado. Un intercambiador de calor compacto es uno en el que el área de transferencia de calor es muy grande comparada con el volumen que todo el intercambiador ocupa.

- e. Se considera compacto cuando la densidad de área  $\beta$  es mayor a  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , esto se logra uniendo placas o aletas corrugadas a las paredes que separan los fluidos para que el material del que están hechas transfiera el calor a través de un área de contacto mayor (Cengel, 2007). Este tipo de intercambiador de calor es útil en aplicaciones en las que se dispone de un volumen muy pequeño en el cual se

debe ubicar el intercambiador, por ejemplo, el radiador de automóvil o el condensador y el evaporador de muchos refrigeradores.

f. Es común que, en este tipo de intercambiadores, la dirección de los fluidos sea perpendicular entre ellos, ya que las aletas impedirían un flujo paralelo.

**Figura 2.** Intercambiador de calor compacto.



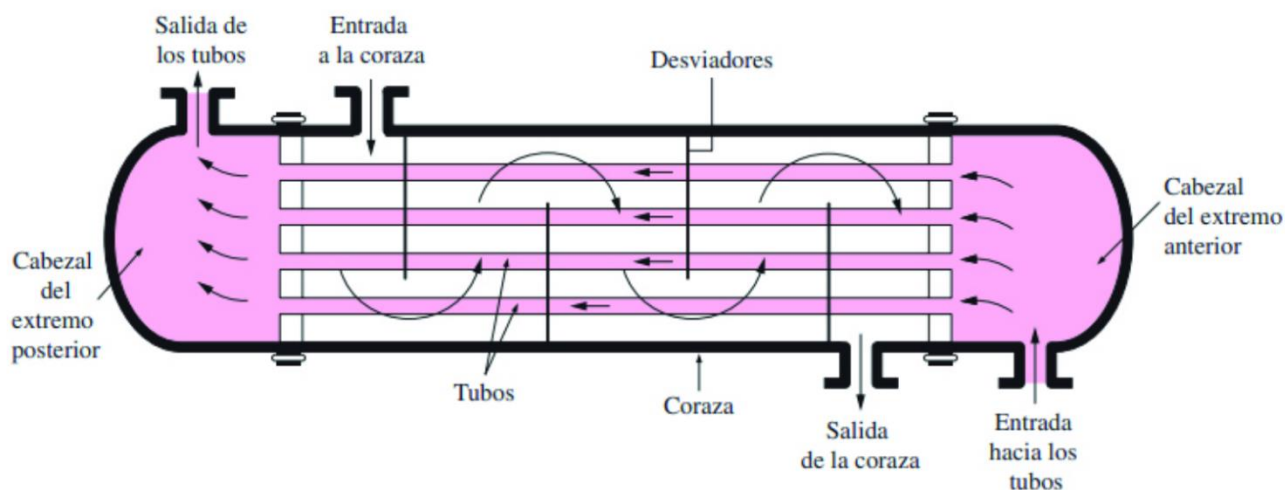
Nota. El intercambiador de esta figura puede ser usado como condensador y evaporador. Tomada de *Direct Industry* (2021).

- g. Son intercambiadores de calor compuestos por un gran número de tubos que se encuentran ubicados dentro de una coraza comúnmente cilíndrica, a través de la cual pasa un fluido; mientras que por los tubos pequeños pasa otro fluido. Los extremos de la coraza son cerrados y se conocen como cabezales. En el interior de la coraza se sitúan placas llamadas desviadores o deflectores, que sirven para dirigir el flujo a través de esta y para mantener un espaciamiento uniforme entre los tubos pequeños a lo largo de toda la coraza. La desviación del flujo se hace con el fin de generar más turbulencia, lo que en palabras coloquiales significa desordenar el flujo al interior de la coraza.
- h. La turbulencia favorece el intercambio de calor. Debido a su gran tamaño, estos intercambiadores son comúnmente usados para tareas industriales, para la



pasteurización de alimentos y bebidas, tratamiento de aceites y grasas animales o vegetales, producción de soluciones en la industria química, entre otros. En la figura 3 se puede ver un esquema de la configuración más básica de un intercambiador de tubo y coraza.

**Figura 3.** Intercambiador de tubos y coraza de un solo paso

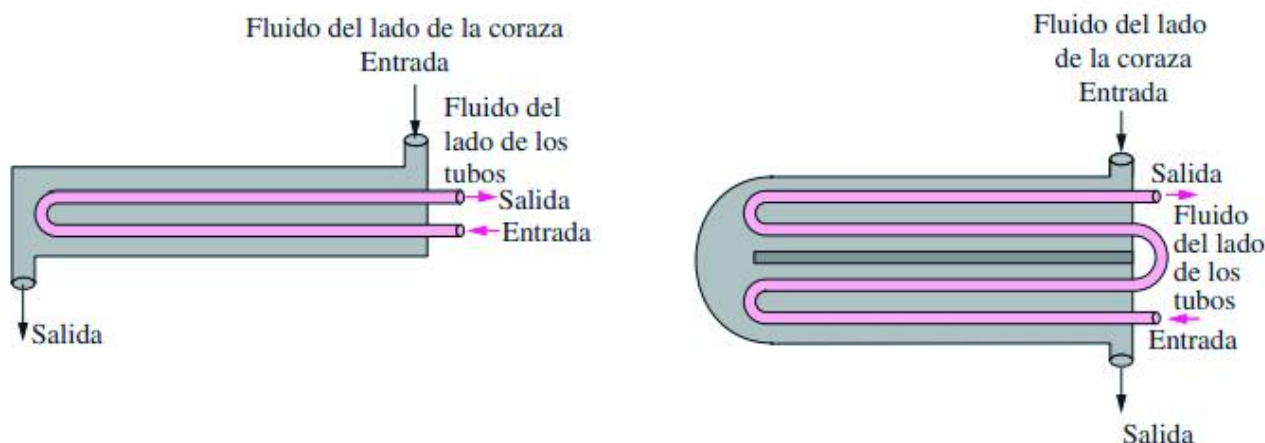


Nota. La zona rosada corresponde al fluido que pasa a través de los tubos, la zona blanca corresponde al fluido que pasa por la coraza. Tomado de Transferencia de calor y masa, por Cengel (2007), (p. 612).

- i- Los intercambiadores de tubo y coraza se pueden clasificar por el número de veces o pasos que los fluidos hacen durante su recorrido por el intercambiador de calor. La configuración más sencilla es la de un paso por la coraza y un paso por los tubos, esto es, el fluido que pasa por los tubos hace su recorrido a través de la coraza una sola vez, al igual que el fluido que atraviesa la sección de coraza, como se ve en la figura 3, que es un intercambiador de este tipo.
- j. La configuración siguiente en complejidad es la de un paso por la coraza y dos pasos por los tubos, como se muestra en el esquema de la figura 4. En este caso los tubos tienen forma de u, por lo que el fluido que pasa por ellos recorre dos veces la sección de coraza, mientras en esta última el flujo solo pasa una vez. También existe la configuración de dos pasos por la coraza y cuatro pasos por los tubos (figura 4), en la

que el fluido que pasa por los tubos recorre en cuatro ocasiones la zona de carcasa, mientras el fluido que recorre la carcasa, lo hace en forma de u.

**Figura 4.** Intercambiadores de tubo y coraza de varios pasos



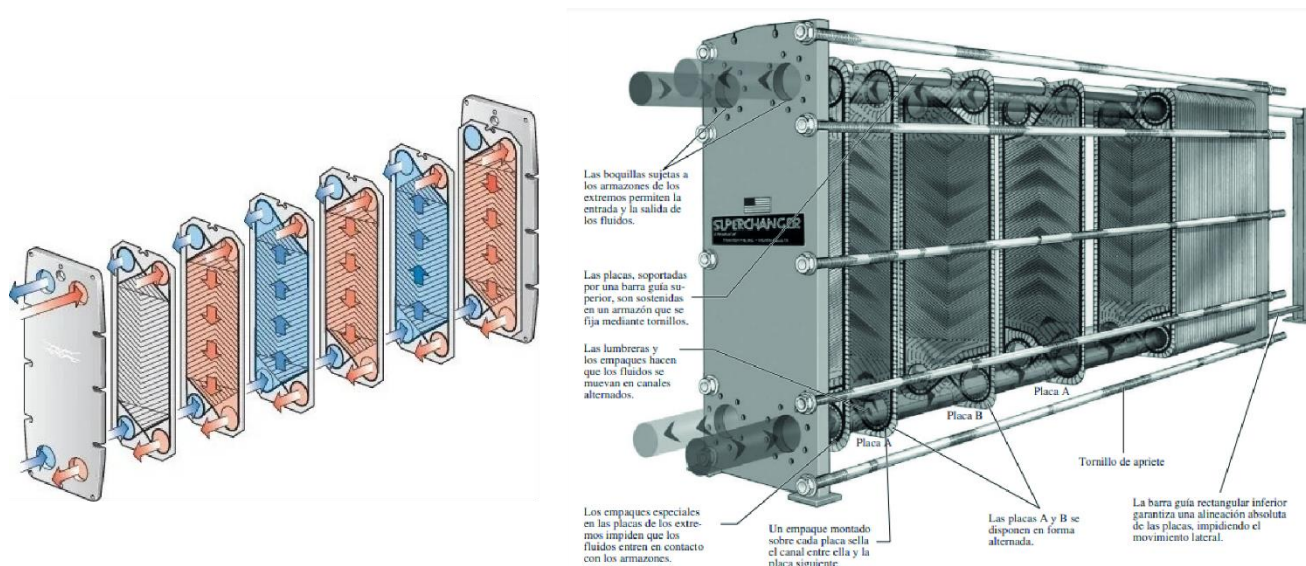
Nota. A la izquierda un intercambiador de un paso por la coraza y dos por los tubos. A la derecha uno de dos pasos por la coraza y cuatro por los tubos.

Tomada de Cengel (2007).

#### k. Intercambiador de calor de placas

También conocido como intercambiador de calor de placas y armazón, consta de una serie de placas corrugadas dispuestas en un armazón. Están diseñadas de forma tal que al poner las placas juntas en el armazón quedan espacios entre ellas que sirven como canales por los que pasan los líquidos frío y caliente. Las placas tienen orificios y cuentan con empaques que impiden que se filtre el líquido y sirven para dar forma al canal. Por su diseño, los líquidos intercambian calor a través del área de las placas y, al ser pequeña la separación, el intercambio se da de forma muy eficiente, lo que permite que este tipo de intercambiador de calor sea muy compacto. Las placas se montan de forma que el fluido frío pase entre dos placas por las que fluye fluido caliente, mejorando la transferencia de calor al fluido frío. En la figura 5 se puede ver un esquema del intercambiador, en azul el fluido frío y en rojo el de mayor temperatura.

**Figura 5.** Intercambiador de calor de placas



Nota. A la izquierda el esquema de funcionamiento de un intercambiador de placas. Tomada de Alfa Laval (s. f.). A la derecha un intercambiador de placas con sus partes. Tomada de *Cengel* (2007).

- I. Los intercambiadores de placas fueron diseñados para el intercambio de calor de líquido a líquido, no así para intercambio entre líquido y gas. Comúnmente estos intercambiadores permiten variar su tamaño al ser posible poner o quitar placas y ajustar el armazón, sin embargo, existen intercambiadores de placas soldadas, esto impide cambiar su tamaño, pero permite su aplicación en condiciones de temperatura y presión elevadas.

Cómo funciona un intercambiador de calor

En el siguiente enlace se puede ver un video que ilustra el funcionamiento de estos novedosos intercambiadores de calor. [Clic aquí.](#)

## 1.2 Medidas para mejorar y mantener la eficiencia

En el siguiente recurso podrás explorar todo lo relacionado con las medidas para mejorar y mantener la eficiencia.

Para obtener una eficiencia térmica óptima en los intercambiadores de calor, se debe seleccionar el intercambiador que mejor se ajuste a las condiciones de operación. Los distintos tipos de intercambiadores se diseñaron para adaptarlos a las distintas condiciones de trabajo.

Por ejemplo, los intercambiadores de placas están pensados para intercambiar calor entre fluidos líquidos mientras que un intercambiador compacto es más apropiado cuando se requiere intercambiar calor entre un líquido y un gas (como el aire).

Por su parte, los intercambiadores de tubo y coraza son ideales para aplicaciones en las que se trabaja con grandes cantidades de fluido y los intercambiadores de doble tubo son más sencillos para aplicaciones que no requiere flujos muy grandes.

Un factor que afecta el desempeño de los intercambiadores de calor es la suciedad que se acumula en su interior debido a las partículas contaminantes o corrosión, que dificultan la transferencia de calor.

Para mantener la eficiencia de un equipo, es necesario efectuar mantenimientos periódicos en los que se revise y elimine la acumulación de suciedad, de esta forma se evita que haya una pérdida significativa de la eficacia del intercambiador.

Ya que en muchos casos uno o ambos fluidos de trabajo en el intercambiador de calor son agua, se puede minimizar la acumulación de suciedad tratando el agua de entrada para reducir el material particulado y las sales, que pueden adherirse gradualmente a las paredes de los ductos.

Otros factores importantes para mejorar la transferencia de calor son el material y el espesor de los tubos o placas a través de las cuales se conduce el calor.

Se debe escoger un material que conduzca muy bien el calor, como el cobre y cuando sea posible, el espesor del material de los tubos o placas. Los intercambiadores de placas son los más adaptables, ya que se pueden redimensionar añadiendo, quitando o cambiando placas, por otras más delgadas o de mejores materiales, por lo que es recomendable que se seleccionen cuando la aplicación lo permita (cuando el intercambio de calor es entre fluidos líquidos)

## **2. Calderas**

Las calderas son dispositivos usados para convertir agua líquida en vapor a presión, usando una fuente de energía en forma de calor. Con la revolución industrial, cuando las máquinas a vapor eran el motor que impulsaba las economías industrializadas, las calderas eran usadas en diversas fábricas y en el transporte, generando vapor en las locomotoras y barcos.

Actualmente, se usan para generar el vapor que mueve las turbinas a vapor de las plantas generadoras de energía eléctrica, en la producción de calor para climatización de edificaciones y distritos térmicos, además de procesos industriales en los que se requiere calor, como en la producción y pasteurización de alimentos, y también en la fabricación de productos químicos.

La fuente de calor con la que funcionan las calderas es muy variada, usándose, desde la combustión de algún tipo de combustible fósil hasta el calor generado por material nuclear fisible en las centrales de energía nuclear. Los combustibles más usados para su funcionamiento son hidrocarburos como gas natural, carbón, fueloil, entre otros.

### **2.1 Componentes de una caldera**

Los principales componentes de una caldera se describen a continuación:

#### **Quemador**

Mezcla el combustible con aire para iniciar la combustión y sirve también para regular la llama según las necesidades de la operación.

#### **Cámara de combustión u hogar**

Aquí se quema el combustible y se generan las temperaturas más altas.

#### **Circuito de humos**

Por este circuito fluye el humo resultante de la combustión hacia la caja de humos.

#### **Caja de humos**

Es la zona a la que llega el humo de la combustión antes de salir a través de una chimenea.

### **Chimenea**

Conducto por el que el humo de la combustión sale a la atmósfera.

### **Salida de vapor**

Válvula por la que sale el vapor de agua hacia el sistema que lo aprovecha.

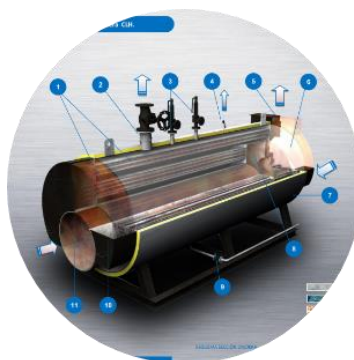
### **Entrada de agua**

Válvula por la que entra el agua a la caldera. Las calderas usan una parte de agua que ingresa por primera vez y agua condensada del vapor generado en la caldera.

### **Circuito de agua**

Es la zona por la que circula el agua cuando está siendo calentada en la caldera y se puede visualizar en la siguiente figura, excepto el quemador.

**Figura 6.** Partes de una caldera



Nota. Las partes más importantes corresponden a los números 1. Circuito de humos. 2. Salida de vapor. 5. Chimenea. 6. Caja de humos. 7. Entrada de agua. 11. Hogar.

Dado que la imagen corresponde a una caldera pirotubular, el espacio que rodea el circuito de humos y el hogar es el circuito del agua.

En el siguiente video se puede ver el funcionamiento de una caldera.

### **Las calderas se pueden clasificar de muchas formas:**

Según el material del que están hechas, la disposición de los fluidos, el combustible usado, la presión de operación, entre otros criterios. La clasificación más común es según la disposición de los fluidos, y se dividen en pirotubulares y acuotubulares.

### **Explicación funcionamiento Caldera de vapor**

Explicación básica del funcionamiento de la caldera de vapor ATTSU modelo RL pirotubular. [Clic aquí.](#)

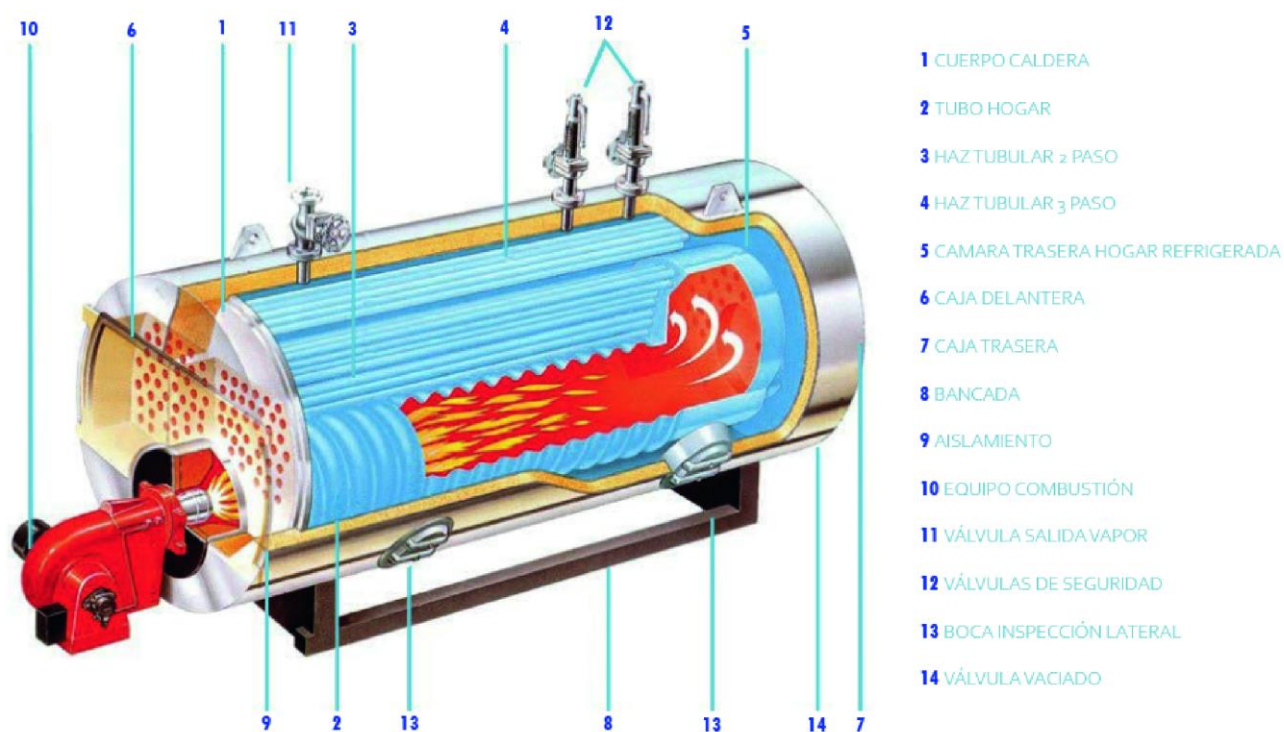
## **2.2 Calderas pirotubulares**

En estas calderas, los gases calientes de la combustión (humos) circulan por tubos sumergidos en el agua que se va a calentar, de esta forma, a través de las paredes de los tubos se transfiere el calor de la combustión para hacer hervir el agua hasta convertirla en vapor. Se pueden clasificar en función de la disposición de los tubos como calderas horizontales y verticales; también se clasifican según el número de pasos que los gases de combustión hacen a través del agua como, calderas de dos pasos, tres pasos, etc.

En las de dos pasos, los gases de la cámara de combustión pasan a través del circuito de humos pasando en dos pasos por el agua, siendo el primer paso a través de un tubo de mayor dimensión que los tubos en el segundo paso. En las calderas de tres pasos los gases recorren tres veces el agua que calientan. Estas últimas son más eficientes que las de dos pasos porque el calor contenido en los gases se aprovecha mejor.



**Figura 7. Caldera piro-tubular**



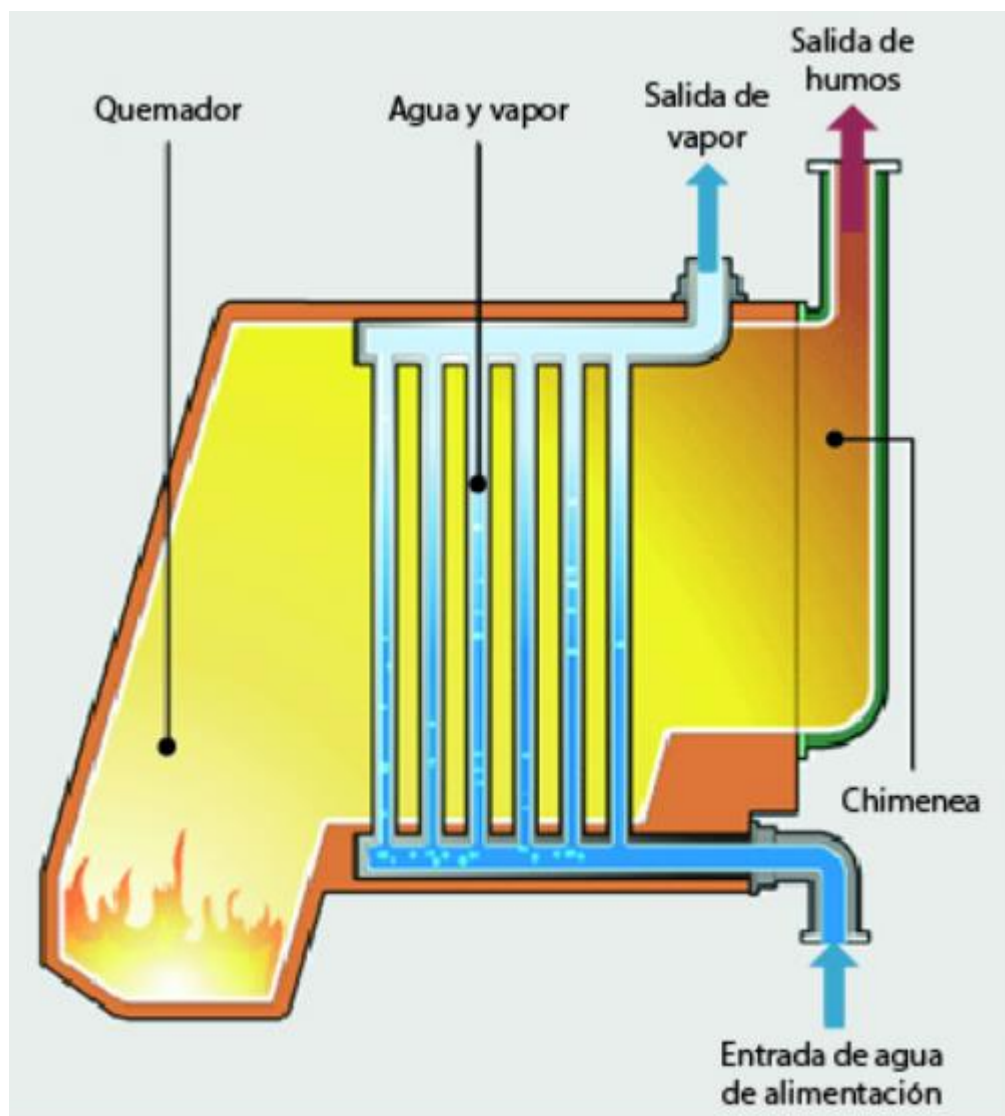
Nota. El número 10 corresponde al quemador. Tomada de *Sogecal* (s. f.).

### 2.3 Calderas acuotubulares

En las calderas acuotubulares, a diferencia de las piro-tubulares, el agua circula por el interior de los tubos, formando un circuito de tubos rodeados por los gases de la cámara de combustión. Este tipo de calderas permite trabajar a presiones más altas que las piro-tubulares, aunque con caudales de agua menores, y son muy utilizadas en plantas termoeléctricas, con altos requerimientos de vapor.



**Figura 8.** Esquema de funcionamiento de una caldera acuotubular



Nota. Los tubos con agua están rodeados por los gases de combustión. Tomada de Portal Electromecánico (s. f.).

## 2.4 Eficiencia de una caldera

Con el siguiente recurso, se podrán conocer las ecuaciones para comprobar la eficiencia de una caldera.

- a. La eficiencia térmica de una caldera se define como la relación entre la energía útil, usada para convertir el agua en vapor, y la energía aportada por el combustible. La energía aportada por el combustible siempre será mayor a la útil, ya que esta no solo debe suplir el consumo de energía útil, sino también las pérdidas que se generan durante el proceso.
- b. Hay pérdidas de energía y partículas no quemadas de combustible (conocidas como inquemados). La eficiencia es un indicador de qué tan bien aprovecha el dispositivo la energía que se le entrega. Cuanta más eficiente es una caldera, menos combustible se desperdicia y, en consecuencia, la operación es más económica y ecológica. Para determinar la eficiencia térmica de una caldera se puede usar la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{E_v}{E_c} * 100$$

- c. Donde  $E_v$  representa la energía útil, es decir, la gastada para producir el vapor y  $E_c$  expresa la energía aportada por el combustible. La energía útil se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$E_v = \dot{m}_v \left[ \left( 1 - \frac{\%purga}{100} \right) h_v - h_t \right]$$

- d. Donde  $m_v$  es el flujo másico de vapor dado en kg/segundo; %purga es el porcentaje de agua dentro de la caldera que se extrae para ser reemplazada por agua de alimentación, es decir, agua que entra por primera vez al sistema:  $h_v$  es la entalpía del agua en condiciones de entrada al sistema.
- Por último, es necesario calcular la energía aportada por el combustible, de la siguiente manera:

$$E_c = m_c * PCI$$

Donde  $m_c$  es el flujo másico de combustible y PCI es el poder calorífico inferior del combustible.

Haciendo uso de estas ecuaciones se puede determinar qué tan eficiente es la caldera. Una caída en la eficiencia de la caldera puede indicar que hay problemas de corrosión, contaminantes en el combustible, inquemados u obstrucciones, etc.

Para mantener una eficiencia aceptable, o mejorarla cuando esta disminuye, se deben tomar medidas que incluyen, entre otras, las siguientes:

## 2.5 Acciones para mejorar la eficiencia

Para mantener una eficiencia aceptable, o mejorarla cuando esta disminuye, se deben tomar medidas que incluyen, entre otras, las siguientes:

**Paso 1:** reducir las pérdidas por inquemados, ajustando los quemadores para asegurar una buena pulverización del combustible, ajustar la relación aire/combustible y hacer más fina la molienda del carbón, si se usa ese combustible.

**Paso 2:** también se puede mejorar el agua que alimenta la caldera para prevenir acumulación de sedimentos, ya que estos hacen más difícil la transferencia de calor al agua.

**Paso 3:** implementar un economizador, que es un intercambiador de calor que se instala a la salida de los humos que van camino a la atmósfera. Estos humos ya no están lo suficientemente calientes para generar vapor de agua, pero sí lo suficiente para precalentar el agua que entrará en la caldera, lo cual reduce la cantidad de energía que la caldera debe emplear para evaporar el agua de alimentación, mejorando de esta forma la eficiencia térmica y reduciendo el consumo de combustible necesario para operar, lo que se traduce en un menor impacto ambiental.

**Paso 4:** es posible recuperar calor de las purgas de agua que se deben hacer periódicamente para evitar la acumulación de sales e impurezas del agua. El agua de purga sale a alta temperatura, por lo que se puede aprovechar usando un intercambiador de calor con el cual precalentar el agua que ingresa en la caldera.

**Paso 5:** cuando las calderas son equipos antiguos, más ineficientes por su diseño y por el desgaste, es recomendable cambiarlas por equipos nuevos, más eficientes.

En la siguiente tabla se resume el impacto de las medidas para mejorar la eficiencia.

**Tabla 1.** Resultados esperados de las medidas para mejorar la eficiencia de las calderas

Medida	Aplicación	Incremento de eficiencia	Reducción de CO <sub>2</sub>
<b>Reemplazo o actualización del quemador.</b>	Todas las calderas con combustibles diferentes a sólidos.	Hasta 5%.	Hasta 6%.
<b>Mejoras en la combustión mediante calibración manual, Sistema de control.</b>	La implementación de un sistema de control solo aplica para calderas de gran capacidad.	0,5% - 6%.	Hasta 8%.
<b>Economizador.</b>	En calderas con capacidades superiores a 25.000 lb/h.	Por cada 40 °C de reducción en los gases de combustión, la eficiencia aumenta en 1%.	Depende del aumento de la eficiencia alcanzado.
<b>Precalentador de aire.</b>	En calderas con capacidades superiores a 25,000 lb/h.	Una disminución de 300 °F representa un aumento del 6% de la eficiencia.	1% por cada 40 °C disminuido.
<b>Recuperador de calor en purgas.</b>	En calderas de purgas continuas que excedan el 5% de su capacidad de producción de vapor.	Hasta el 7%.	3% de las emisiones de la caldera.

Nota. Tomada de MGM International (2018).

### **3. Climatización**

La climatización consiste en tratar el aire dentro de un ambiente ocupado por personas, de manera que se logre mantener un confort ambiental. En otras palabras, su objetivo es modificar las condiciones de temperatura, humedad y calidad del aire de forma que las personas que trabajan o viven en el ambiente tratado se sientan cómodas, sin que haya una sensación de mucho calor o mucho frío, y que exista un nivel de humedad adecuado y una ventilación que permita la circulación de aire.

#### **3.1 Conceptos básicos**

Para modificar las condiciones del aire en búsqueda de confort, este se puede tratar calentándolo, enfriándolo, retirando o añadiendo humedad e incluso, en casos muy especiales, comprimiéndolo. Es decir, cambiar alguno de los siguientes conceptos.

##### **a. Temperatura seca**

Se trata de la temperatura indicada por los termómetros comunes, sin tener en cuenta el nivel de humedad del aire.

##### **b. Temperatura de bulbo húmedo**

Es la temperatura del aire húmedo, es medida con un termómetro cuyo bulbo está envuelto en un material impregnado de agua. Esta temperatura permite tener una medida de la humedad del aire.

##### **c. Humedad relativa**

Es la medida que indica la capacidad del aire de absorber humedad. Es importante, porque afecta directamente la sensación de confort de las personas.

##### **d. Cuando un ser humano está en un ambiente caluroso**

Su cuerpo transpira para desechar calor por medio de calor latente, esto ocurre porque el cambio de estado del sudor al evaporarse absorbe energía térmica del cuerpo. Si la humedad relativa del aire es baja, el cuerpo puede desechar fácilmente calor al evaporar sudor, porque el aire circundante tiene la capacidad de absorber humedad.

**e. Sin embargo**

Cuando la humedad relativa es muy alta, la capacidad del aire de absorber humedad disminuye, dificultando al cuerpo deshacerse del calor, afectando negativamente su confort, es por esta razón que en los ambientes cálidos húmedos la sensación de calor es más agobiante que en los ambientes cálidos secos.

**f. En resumen**

La humedad relativa afecta la sensación térmica del cuerpo y controlarla, ya sea aumentando o disminuyendo, permite influir en la sensación térmica de las personas.

**g. Teniendo en cuenta el concepto de humedad relativa**

Se pueden modificar las condiciones de confort en un ambiente cerrado a partir del tratamiento que se brinde al aire, que puede ser: disminuir su temperatura, aumentar su temperatura, agregar humedad (humidificar), retirar humedad (deshumidificar) o combinando varios mecanismos para garantizar un ambiente agradable a las personas.

A continuación, se describen los principales mecanismos de climatización.

### **3.2 Aire acondicionado**

Se invita a observar el siguiente recurso que orientará en términos de aire acondicionado:

**a. En climas cálidos**

Que predomina en gran parte del territorio colombiano, el sistema de climatización más utilizado es el aire acondicionado. Su función es enfriar el aire dentro del espacio a climatizar, haciéndolo pasar alrededor de un evaporador con refrigerante a baja temperatura. El sistema toma el aire del lugar que se desea enfriar, lo pasa por el evaporador y lo impulsa nuevamente dentro del ambiente a una menor temperatura.

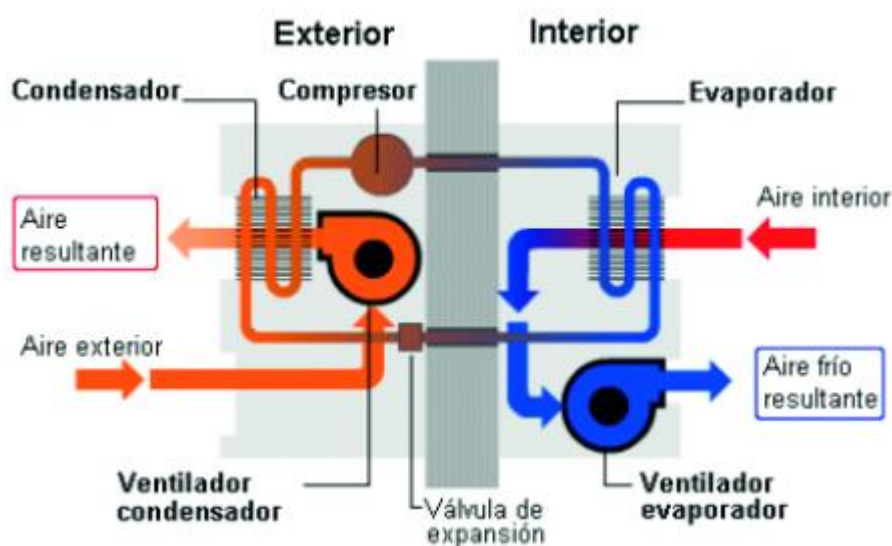
**b. En la parte exterior**

Ocurre un proceso opuesto, el condensador aspira el aire del exterior, elimina el calor del refrigerante y lo expulsa a una temperatura más alta. La configuración de estos equipos puede variar de acuerdo con la disposición de algunas de las partes que lo componen.

**c. Dichas variantes**

Se originan para atender a las diferentes necesidades de los lugares en los que se usan, por ejemplo, en casas unifamiliares, edificios de apartamentos o bloques de oficinas. Sin embargo, el ciclo termodinámico y las partes principales que lo componen son las mismas y se muestran en la figura 9.

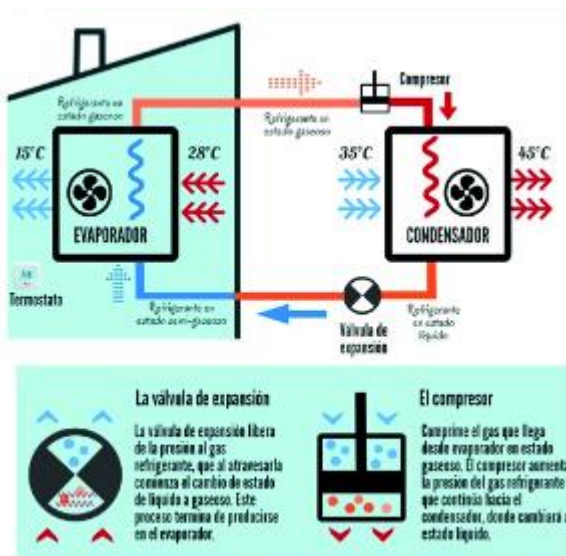
**Figura 9.** Sistema de aire acondicionado



Nota. Tomada de Colocho et al. (2011).

- d.** Ahora bien, al hablar de sistemas de aire acondicionados, se habla de equipo de consumo final de energía y, por lo tanto, de eficiencia energética, la cual se define como el cociente entre la potencia de enfriamiento y la potencia eléctrica que consume.

**Figura 10.** Descripción del funcionamiento de un sistema de aire acondicionado.



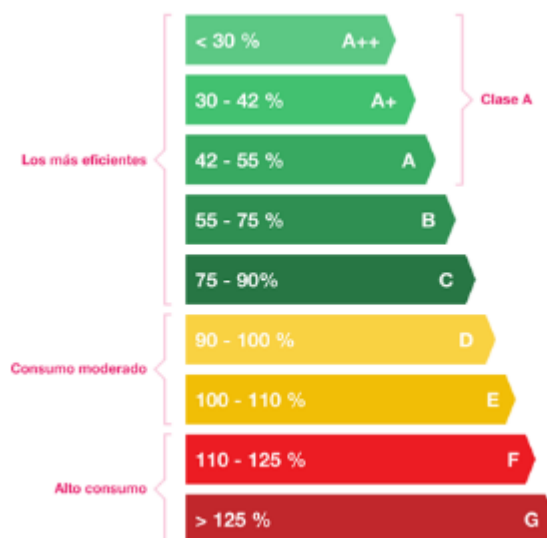
**e. Este cociente se conoce como EER y también como COP**

Según sean las unidades empleadas en el cálculo. A mayor valor de estos cocientes, más eficiente es el equipo. Si la relación es igual a 1, el equipo produce una unidad de energía térmica por cada unidad de electricidad consumida. Si su valor es 5, por ejemplo, por cada unidad de energía eléctrica que consume produce una de energía térmica. En la actualidad, en los aires acondicionados, al igual que en otros electrodomésticos, se utilizan etiquetas de eficiencia energética para informar a los usuarios acerca del desempeño del equipo.

**f. Los componentes principales de un sistema de aire acondicionado se describen a continuación:**

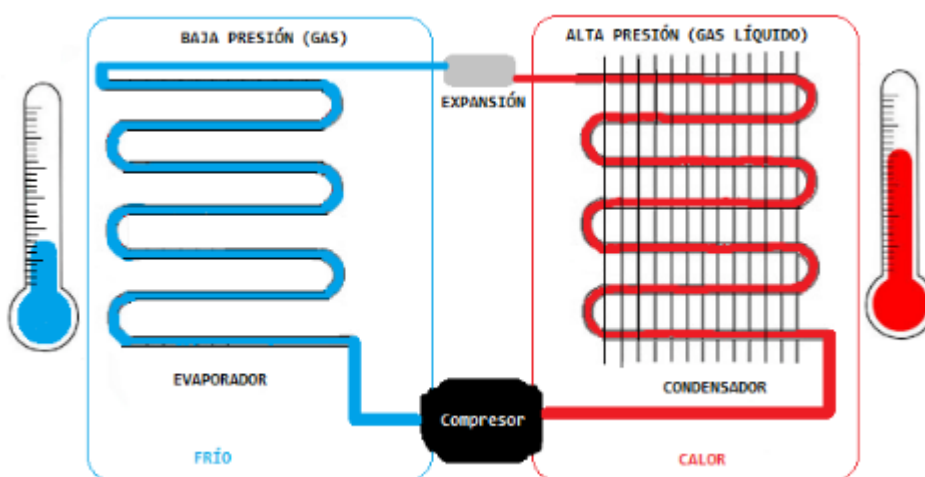


**Figura 11.**Etiqueta de eficiencia energética para equipos como aires acondicionados



#### g. Válvula de expansión

Esta válvula es un dispositivo instalado entre el condensador y el evaporador. A través de este accesorio, se regula el flujo del refrigerante en estado líquido y se abastece al evaporador con la cantidad de líquido correcta, donde se encuentra a presión más baja.



#### h. Evaporador

Es un intercambiador de calor al que ingresa el refrigerante en estado líquido desde la válvula de expansión. La presión en su interior es baja, por lo que el refrigerante se evapora en su interior. El refrigerante cambia de fase a temperatura

constante y absorbe calor que se aprovecha para enfriar el aire que circula en el evaporador. El aire que pasa por el evaporador es el que se usa para disminuir la temperatura ambiente al interior de una casa o edificio.

**i. Compresor**

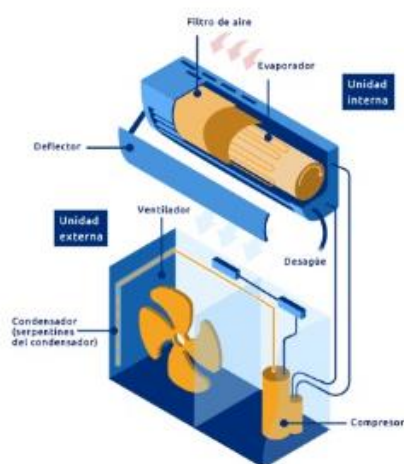
Este se encarga de comprimir el gas que proviene del evaporador con tal presión que se incrementa la temperatura del gas que luego pasa al condensador. Sus funciones también incluyen la de facilitar la circulación del refrigerante por todo el circuito del aire acondicionado. Funciona con motor eléctrico.

**j. Condensador**

El condensador es otro intercambiador de calor, en cuyo interior se encuentra el gas refrigerante a una presión tal que empieza a retornar a estado líquido. En el condensador, el refrigerante intercambia calor con el aire exterior, entregando el calor absorbido durante el proceso de evaporación. En la figura se pueden ver las partes descritas en un aire acondicionado tipo “split” (comúnmente también llamado “minisplit”).

- k.** La unidad externa, como lo indica su nombre, se debe ubicar por fuera del espacio a climatizar, por lo que es necesario extender la línea que transporta el refrigerante hasta el lugar en el que se sitúa la unidad interna con el evaporador en ella. Los sistemas de aire acondicionado pueden ser domésticos, diseñados para una sola vivienda o apartamento, o pueden ser grandes sistemas de refrigeración para climatizar edificios residenciales, comerciales o industriales.

**Figura 12.** Partes básicas de un aire acondicionado tipo “minisplit”



### I. Las grandes unidades de acondicionamiento de aire

Funcionan bajo el mismo ciclo termodinámico, pero a una escala mayor, implicando el uso de ductos para el transporte de aire, humidificadores o deshumidificadores, según las condiciones ambientales y del equipo usado. Algunos equipos de gran tamaño refrigeran agua en vez de aire y envían esta agua a radiadores en los que el agua fría intercambia calor con el aire para climatizar el área.

Tecnologías de aire acondicionado.

Existen diferentes tecnologías de aire acondicionado, a saber:

**Ventana:** son compactas, aunque menos eficientes que las tecnologías más modernas. Requieren de una abertura en la pared de cada recinto a climatizar. Al interior de la edificación se ubica el evaporador, que enfría el aire interior, mientras en la parte externa del edificio se encuentra el condensador, que intercambia calor con el exterior.

**Sistemas mini y “multisplit”:** cuentan con una unidad central en la que se ubican el condensador, el compresor y un ventilador, mientras el evaporador se ubica al interior de las zonas a climatizar. Puede tener más de un evaporador. Son equipos de fácil instalación y de mayor uso. La figura 12 corresponde a un sistema “minisplit”.

**Unidades paquete:** son equipos utilizados para enfriar recintos amplios, como salones o almacenes. Se pueden ubicar directamente en el recinto o fuera de ellos y comunicados por medio de ductos.

**Sistemas de agua helada tipo “Chiller”:** son equipos que, a diferencia de los sistemas mini o “multisplit”, tienen el evaporador en la unidad central, en donde enfrían el agua que se envía mediante tuberías aisladas hasta equipos que inyectan el aire a las zonas que se desea climatizar. Dichas unidades se conocen comúnmente como Unidades Manejadoras de Aire. Los “Chiller” pueden ser de dos tipos: condensador por aire o condensador por agua, en los que utilizan torre de enfriamiento.

**Sistemas centrales de refrigerante variable (VRF):** son equipos que se utilizan en hoteles, centros comerciales, edificios residenciales, etc. Controlan la circulación del refrigerante entre la unidad de condensación y la de evaporación, de acuerdo con la demanda. Permiten distribuir el refrigerante requerido por cada unidad instalada en los diferentes espacios que se climatizan, logrando así que el sistema sea más eficiente.

**Tabla 2.** Unidades de aire acondicionado

Unidades paquete	Sistemas de agua helada tipo iChiller	Sistemas centrales de refrigerante variable (VRF)
		

Nota. Elaboración propia con imágenes tomadas de MGM International (2018).

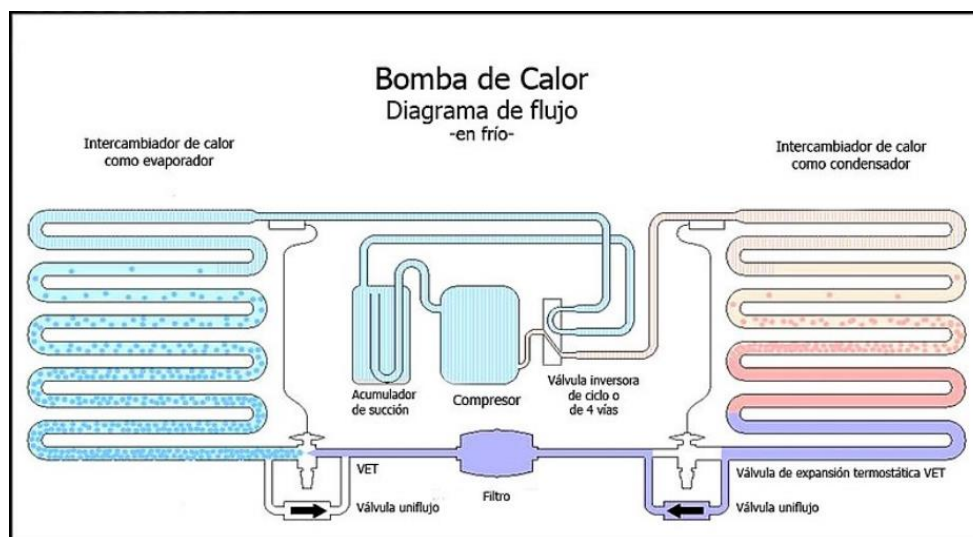
<https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1295/GUIA%20-%20Aire%20Acondicionado.pdf?sequence=1>

### 3.3 Bomba de calor

Las bombas de calor son máquinas térmicas que transportan energía en forma de calor de un espacio a otro. Funcionan bajo los mismos principios y con los mismos componentes fundamentales que el aire acondicionado. La diferencia con estos últimos radica en que las bombas de calor están diseñadas para producir calor en un recinto en vez de frío, por lo que se utilizan para calefacción y calentamiento de agua. La inversión del funcionamiento se logra haciendo uso de un componente llamado válvula de inversión, también conocida como válvula de cuatro vías.

Las bombas de calor también aprovechan los cambios de estado de un refrigerante y son equipos muy utilizados en zonas en las que hay cambios estacionales de clima, sirviendo en invierno o verano. Los componentes de la bomba de calor son: compresor, condensador, válvula de expansión, evaporador.

**Figura 13.**Partes de una bomba de calor



Nota. Algunas partes distintas a la válvula de cuatro vías pueden no estar en todas las bombas de calor. Tomada de Wikipedia “Commons” (s. f.).

### **3.4 Medidas para mejorar y mantener la eficiencia**

Para mejorar la eficiencia térmica en la climatización de un espacio es importante seleccionar el sistema de climatización de acuerdo con el tipo de clima, de forma que si el área a climatizar es un ambiente cálido húmedo se seleccione un equipo que deshumidifique el aire para bajar la sensación térmica de temperatura y de esa forma evitar tener que usar mucha potencia en la climatización. Mientras que, si se trata de un clima cálido seco, humidificar el aire permite disminuir un poco la temperatura, cuidando de no llegar al extremo de aumentar mucho la humedad. Algunas de las acciones para incrementar la eficiencia energética de los sistemas de climatización incluyen:

- Distribuir los equipos por zonas para atender las demandas de frío particulares.
- Utilizar aislamientos térmicos adecuados.
- Elegir adecuadamente las temperaturas de evaporación y condensación.
- Utilizar motores de frecuencia variable en los sistemas de distribución de fluidos.
- Incorporar infraestructura de cogeneración.
- Reutilizar la energía térmica contenida en los condensados de los equipos de enfriamiento o el calor de los humos que salen de las calderas.

Por otro lado, los aires acondicionados y las bombas de calor cuentan con intercambiadores de calor a los que se debe hacer mantenimientos periódicos para mantener una buena tasa de transferencia de calor, ya que cuando estos componentes se ensucian se hace más difícil el intercambio de calor y aumenta el nivel de energía consumida.

### **6 TRUCOS PARA AHORRAR EN EL AIRE ACONDICIONADO**

Para conocer más acerca de cómo usar de manera eficiente el aire acondicionado, se invita a visitar el siguiente enlace: [“Sostenibilidad para todos”](#)

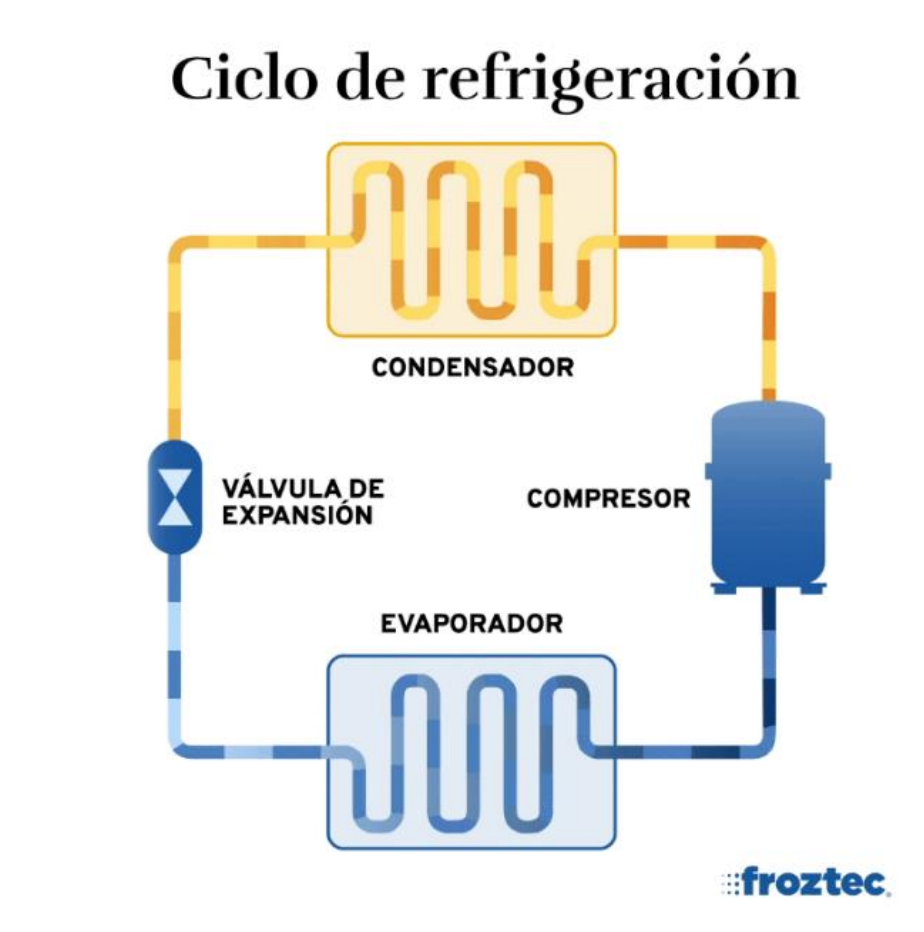
## 4. Refrigeración

Le invitamos a explorar el siguiente recurso, con el fin de adentrarse en la temática sobre refrigeración.

- a. Refrigeración
- b. En la vida cotidiana, se asocia el término refrigeración exclusivamente con los equipos que se tienen en casa (neveras) y con las vitrinas que se observan en tiendas y locales. No obstante, la refrigeración está presente en múltiples áreas, que incluyen la industria de alimentos, la industria química, el sector salud y el sector energía.
- c. En el sector salud se usan refrigeradores para conservar medicamentos, muestras y vacunas, y en procedimientos como la crioterapia. En el sector energía, por ejemplo, se utiliza para el tratamiento criogénico del gas natural y así facilitar su transporte. La invención de la tecnología de refrigeración impactó positivamente la salud pública y la seguridad alimentaria.
- d. La refrigeración consiste en reducir la temperatura o extraer calor de un espacio, objeto o sustancia y transferirlo a un área capaz de absorber la energía térmica que, por lo general, es el aire ambiente. Para lograr la transferencia del calor y la refrigeración, se utilizan fluidos que se denominan refrigerantes.

Las aplicaciones de refrigeración comprenden la climatización de ambientes, el transporte y/o conservación de alimentos u otros productos a los que afecte el calor, la obtención de hielo, la reducción de temperatura en motores y proceso de mecanizado, entre otros. Los métodos más comunes para la refrigeración de espacios son los ciclos de compresión y de absorción, siendo el primero el más utilizado.

**Figura 14.** Ciclo de funcionamiento de un refrigerador



Nota. Tomado de Froztec (2021).

- e. Mediante un intercambiador de calor (evaporador), se absorbe el calor del refrigerante que se evapora (se convierte en gas), el cual es luego eliminado mediante otro intercambiador de calor (condensador) a medida que el refrigerante vuelve a estado líquido, es decir se condensa. El refrigerante utilizado en un sistema de refrigeración se evapora a temperaturas que por lo general oscilan entre  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , estando a baja presión.

Este parámetro se controla con el fin de que el fluido se evapore a una temperatura menor que la del objeto o producto que se desea enfriar. El objeto se enfría por acción indirecta del aire enfriado. En el evaporador, el refrigerante se encuentra a baja temperatura, enfriando el espacio dentro del refrigerador, absorbiendo el calor



de los productos contenidos en él. Luego, el vapor refrigerante se comprime, incrementando su presión y temperatura (mayor que la temperatura del aire ambiente o el fluido que retira el calor del refrigerante). Posteriormente, se convierte en líquido al ceder calor y reducir su temperatura, calentando el aire ambiente o agua. Finalmente, se dirige de nuevo a la válvula de expansión, repitiendo el ciclo.

- f. El mecanismo de funcionamiento de las instalaciones de refrigeración, es similar al mecanismo de los aires acondicionados. El ciclo termodinámico se realiza con base en los mismos componentes principales: el compresor, el evaporador, el condensador, la válvula de expansión. No obstante, se diferencian en aspectos relacionados con la instalación de los frigoríficos y los equipos de acondicionamiento. El funcionamiento de cada parte principal puede verse en el apartado de climatización.

#### **4.1 Refrigerantes**

Observe el siguiente recurso con los principales refrigerantes:

##### **1. Refrigerantes**

Se denomina refrigerante al fluido que se utiliza para reducir o conservar la temperatura de un espacio por debajo de la temperatura del ambiente a su alrededor. A partir de cambios en la presión y temperatura, se origina un cambio de estado del refrigerante, modificando su fase de líquido a gas a baja temperatura y viceversa, y se logra extraer el calor en un espacio para disiparse en otro. En otras palabras, la función del refrigerante es la de un agente de transferencia de calor o de enfriamiento.

##### **2. Los refrigerantes**

Pueden ser orgánicos e inorgánicos. Hacen parte de los orgánicos el agua y el amoníaco. El amoníaco ha sido muy usado en aplicaciones industriales, con la desventaja de ser tóxico. Por su parte, los inorgánicos, son principalmente refrigerantes fluorados, como los clorofluorocarbonos (CFC), hidroclorofluorocarbonos (HCFC), fluorocarbonos HFC, entre otros.

### 3. Clorofluorocarbono

CFC (flúor, carbono, cloro): no contienen hidrógeno. Ejemplos: R-11, R-12, R-115. Son perjudiciales para la capa de ozono y su producción está prohibida desde 1995.

### 4. Hidroclorofluorocarbonos

HCFC (hidrógeno, carbono, flúor, cloro): incluyen átomos de hidrógeno en su molécula, tienen bajo impacto negativo para la capa de ozono. Ejemplo: (R-22)

### 5. Fluorocarbonos

HFC (hidrógeno, flúor, carbono): sin cloro ni hidrógeno. Ejemplos: R-134a, 141b.

**Tabla 1.** Refrigerantes comúnmente utilizados en equipos de aire acondicionado, refrigeración y bombas de calor.

Tipo	Refrigerantes comunes	Refrigerantes menos comunes
Objeto del Reglamento sobre gases fluorados		
HFC puros	R-134a	R-23, R-32, R-125, R-143a
HFC en mezcla	R-403 (A,B), R-404A, R-407C, R-408A, R-410A, R-413A, R-417A, R-419A, R-507A	R-401 (A,B,C), R-402 (A,B), R-405A, R-407 (A,B,D), R-411B, R-416A, R-422 (A,D), R-423A, R-508A
Otros refrigerantes – fuera del objeto del Reglamento sobre gases fluorados o del Reglamento sobre las sustancias que agotan la capa de ozono		
HFC puros	R-22	R-123, R-124
HCFC en mezcla		R-406A, R-409 (A,B)
CFC – puros y en mezcla	R-11, R-12, R-502	R-13
Otros refrigerantes - fuera del objeto del Reglamento sobre gases fluorados o del Reglamento sobre las sustancias que agotan la capa de ozono		
Alternativos	R-717 (amoníaco), R-290 (propano), R.600a (isobutano), R-1270 (propileno), mezcla de hidrocarburos (HC)	R-744 (CO <sub>2</sub> )

Nota. Tomada de <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/los-gases-refrigerantes.html>

Los refrigerantes más usados han sido R-11, R-12, R-22, R-134a, R-502. Algunos de estos últimos causaban un gran impacto ambiental por ser nocivos para la

capa de ozono, por lo que fueron prohibidos hace varios años. El R-22 está prohibido en muchos países desde 2020 y en Colombia su uso se eliminará en 2040. En Colombia algunos de los refrigerantes más usados son el R-22 y el R-141b. Para elegir el refrigerante es conveniente verificar que no esté prohibido por las normas ambientales.

Además, hay que tener en cuenta que la presión dentro del evaporador debe ser mayor a una atmósfera (1 atm) y que la temperatura de ebullición a la presión del evaporador debe ser de entre 5 y 10 grados menos que la temperatura a la que se mantendrá el refrigerador (Cengel, Termodinámica, 2014). Por ejemplo, si la presión en el evaporador es de 1 atm y se quiere que el espacio refrigerado esté a -5 °C, el refrigerante debe tener una temperatura de ebullición de entre -10 y -15 °C a la presión del evaporador.

#### 4.2 Coeficiente de desempeño COP

El coeficiente de desempeño de los refrigeradores, o COP, es una medida que indica qué tanto enfría el aparato frente a la potencia que consume, es decir, es la relación entre la carga de refrigeración y la potencia consumida por el compresor, como se expresa en la siguiente ecuación (Cengel, 2014):

$$COP = \frac{\text{Carga de refrigeración}}{\text{potencia del compresor}} = \frac{Q_L}{W_C} = \frac{m^*(h_1 - h_4)}{W_C}$$

Por lo que la carga de refrigeración es el efecto de refrigeración que se debe lograr para el ambiente a refrigerar y los productos en él.

QL es la carga de refrigeración, que se calcula multiplicando el flujo másico de refrigerante (m) por la diferencia entre la entalpía a la salida del evaporador (h1) y la entalpía a la entrada del evaporador (h4). El COP sirve para comparar distintas opciones de compra. En muchas ocasiones los valores de carga de refrigeración y de potencia del compresor vienen dados en las etiquetas de los frigoríficos, con lo que se puede hacer el cálculo para

comparar. También es un indicador de utilidad en los centros de investigación y desarrollo para evaluar cambios en refrigerantes o en componentes.

#### **4.3 Medidas para mejorar el desempeño energético e impacto ambiental de sistemas de refrigeración**

A partir de la siguiente didáctica, se descubrirán las medidas que le permiten mejorar el desempeño energético.

- a. Existen medidas de eficiencia energética que se pueden implementar en los sistemas de refrigeración, las cuales pueden estar orientadas ya sea a los aspectos operativos o a los de mantenimiento. A continuación, se presentan algunas de las medidas de eficiencia energética en estos sistemas.
- b. Reemplazar tecnología con refrigerantes HFC por CO<sub>2</sub>: los sistemas de refrigeración se pueden sustituir por tecnología moderna que utiliza CO<sub>2</sub>, siendo más amigable con la capa de ozono.

Se puede reducir el consumo eléctrico usando refrigeración con sistemas automáticos de control de presión. Estos equipos varían la presión de salida del compresor optimizándola para ajustarla a las necesidades de operación. También pueden apagar el compresor en los largos periodos de tiempo en que no se abren los refrigeradores, por lo que conservan la temperatura interior por más tiempo.

- c. Es importante que el aislamiento térmico de los equipos esté en buen estado, ya que esto mantiene los niveles de consumo bajos.

En los sistemas de refrigeración industrial, en los que se requiere simultáneamente frío para unos procesos y calor para otros, se puede recuperar calor de los condensadores. De esta manera, se mejora la operación del frigorífico, ya que la temperatura de salida del compresor será más baja.

- d. Para reducir el impacto ambiental debido al consumo de energía de los refrigeradores y al impacto de los refrigerantes en la capa de ozono, se pueden tomar medidas como seleccionar equipos que usen refrigerantes que no dañen la capa de ozono, como el R-141b, R-134a o CO<sub>2</sub>, revisar periódicamente los

equipos para determinar el nivel de refrigerante y, en los casos en los que el condensador sea un intercambiador compacto, limpiar periódicamente las aletas y espacios que puedan estar obstruidos por el polvo para mantener una buena transferencia de calor con el ambiente.

e. Cabe aclarar que gran parte de las neveras domésticas tienen condensador tipo rejilla o distribuidor al interior de las paredes laterales, mientras muchos equipos de uso comercial tienen el condensador como un equipo compacto con un ventilador para mejorar el intercambio de calor.

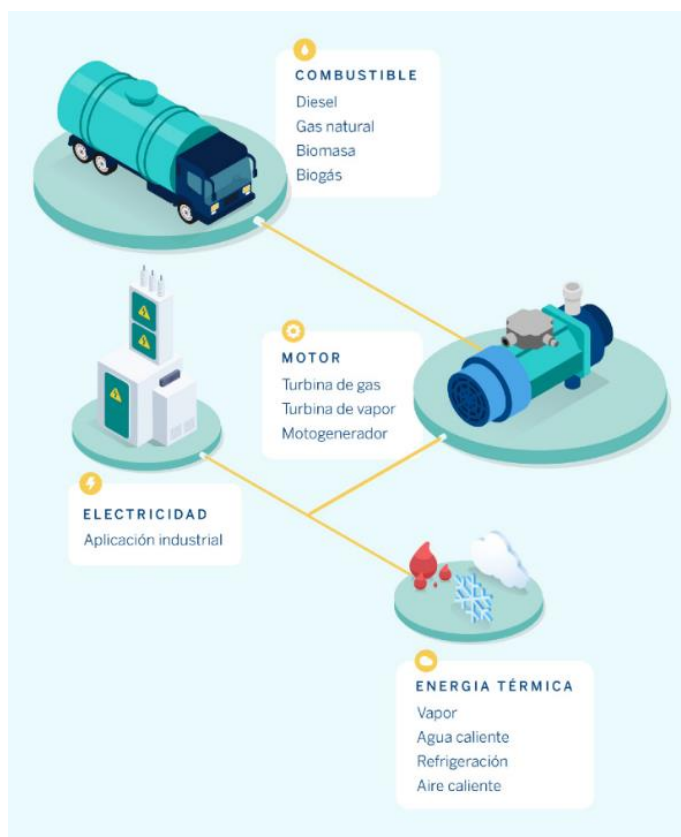
## **5. Cogeneración**

Se invita a explorar el siguiente recurso y seguir complementando el componente.

- a. La cogeneración o CHP (“Combined Heat and Power”), es la generación conjunta de dos formas de energía. Usualmente se genera energía eléctrica y otra forma aprovechable de energía, ya sea energía térmica (calor residual en forma de vapor, agua caliente, gases calientes, frío) o mecánica, a partir de una sola fuente de energía primaria utilizada como combustible.
- b. El combustible con el que funciona una planta de cogeneración puede ser fósil como carbón, gas natural, etc., o renovable como la energía solar, biomasa, gases excedentes de un proceso, entre otros.
- c. La cogeneración puede ser usada en la industria del papel, en plantas procesadoras de alimentos y bebidas, sector automotriz, industria textil, industria minera, hospitales, entre otras aplicaciones.
- d. Es una de las principales alternativas para aumentar la eficiencia energética en procesos industriales, ya que permite aprovechar la energía residual de la producción de electricidad en otros procesos. Su uso representa obtener rendimientos de hasta 90% en comparación con sistemas convencionales, donde la energía residual se desperdicia.
- e. La reducción de las pérdidas de energía con el uso de sistemas de cogeneración disminuye la cantidad de combustible requerido para los procesos y, por consiguiente, disminuye costos de operación, al tiempo que se minimiza el

impacto ambiental al emitir menos cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

**Figura 15.** Infografía de qué es la cogeneración



Nota. Tomada de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-cogeneracion-la-industria-frente-al-espejo-de-la-transicion-energetica/>

- f. Los sistemas de cogeneración cuentan, principalmente, con los siguientes componentes: elemento primario, que es una máquina o motor (turbinas de gas o de vapor o motor alternativo), un generador de electricidad y un sistema de recuperación de calor, que convierte en energía útil el calor de desecho del sistema primario.
- g. El motor primario suele ser una turbina gas o de vapor o un motor de combustión interna, y se encargan de transformar la energía del combustible en energía mecánica y calor. La energía mecánica acciona el eje acoplado de un generador

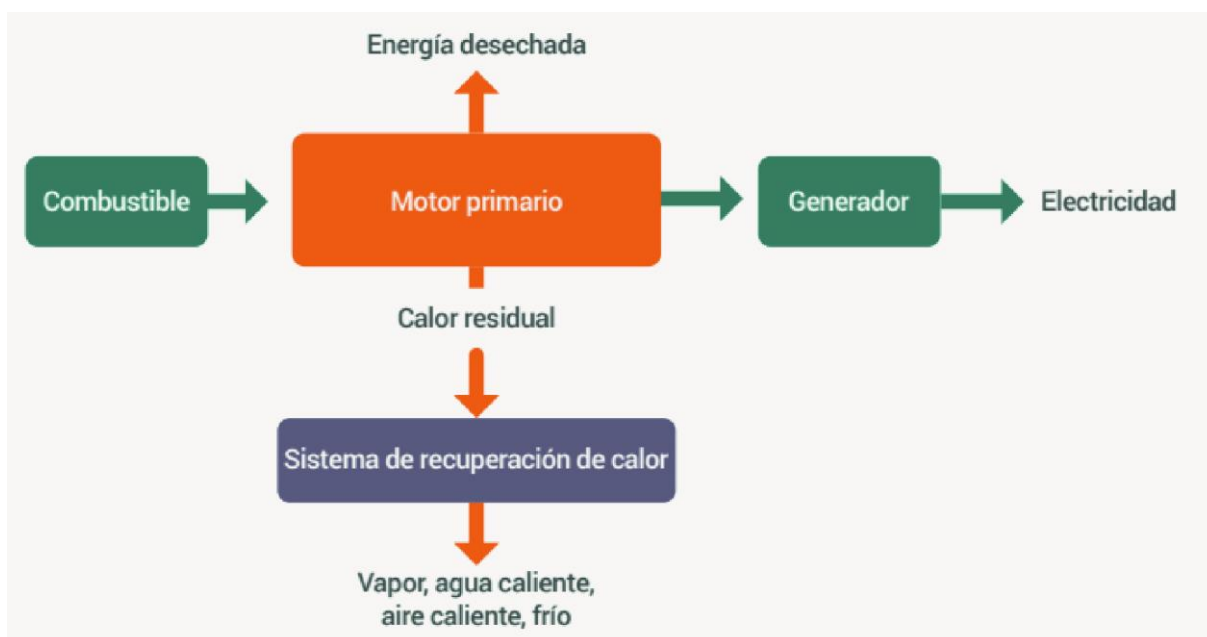
eléctrico, transformándose así en energía eléctrica. En algunas ocasiones se usa directamente la energía mecánica para accionar maquinaria, pero no es muy frecuente. Por su parte, el calor residual se puede aprovechar para subprocesos térmicos, mediante equipos como calderas, intercambiadores de calor, entre otros. La cogeneración como estrategia para el aprovechamiento de la energía

En el siguiente video se explican algunas de las generalidades de la cogeneración de energía eléctrica y calor: [“La cogeneración como estrategia para el aprovechamiento de la energía”](#).

### 5.1 Cogeneración tipo cabeza

También conocido como tipo “topping”, consiste en un motor primario que se encuentra acoplado a un generador de electricidad. El combustible se utiliza para producir electricidad en primera instancia. Luego, el calor residual del motor es enviado al sistema de recuperación que lo usa para producir vapor, agua caliente o cualquier forma de energía térmica.

**Figura 16.**Representación esquemática de la cogeneración tipo cabeza o “topping”

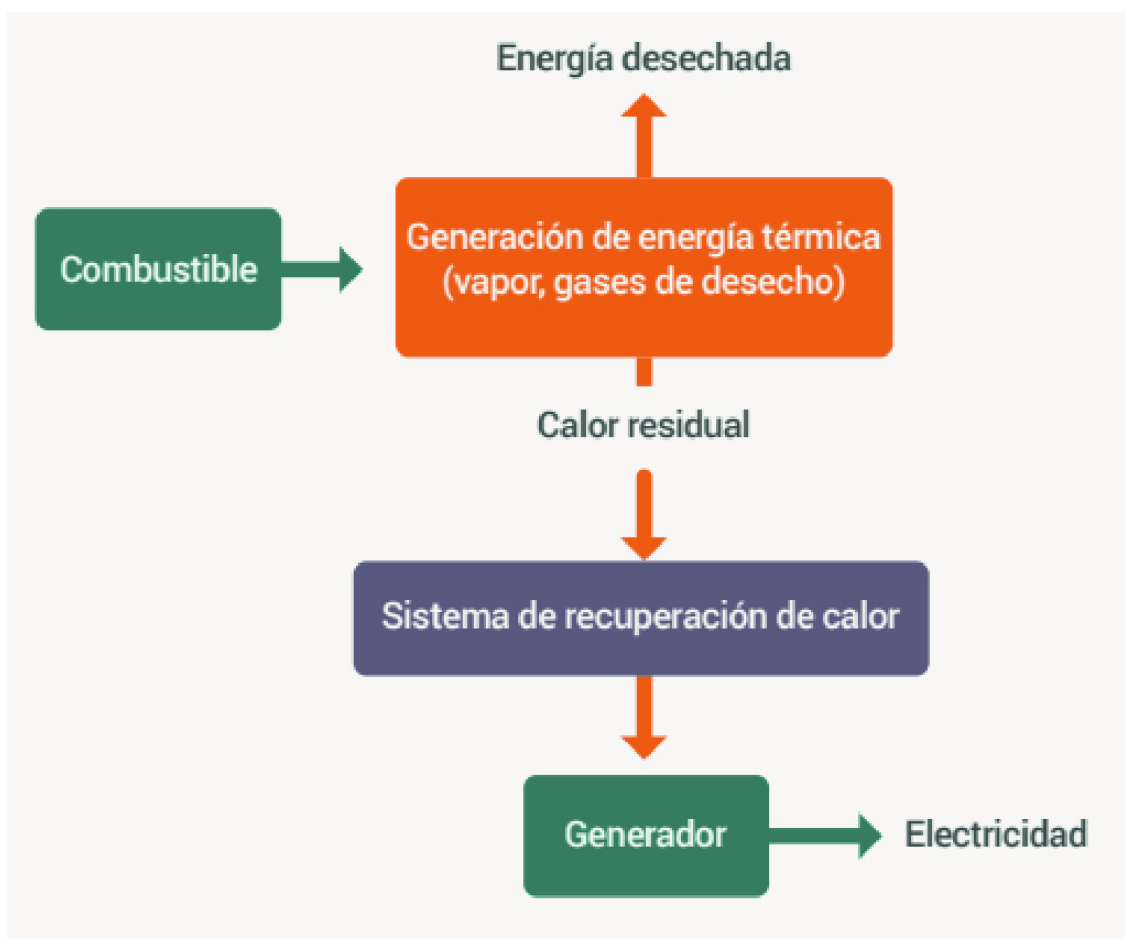


Nota. Tomada de Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). (s. f.).

## 5.2 Cogeneración tipo cola

También llamada “bottoming”, en este sistema, el combustible se utiliza inicialmente en un generador de energía térmica, como una caldera de vapor o un horno, mientras que el calor residual de los gases de desecho es direccionado a un sistema de recuperación que, a su vez, produce vapor para generar energía eléctrica mediante una turbina de vapor. Este tipo de configuración es usada en procesos que operan a altas temperaturas, por lo que la temperatura y cantidad de gases calientes iniciales se aprovechan para la generación de energía eléctrica.

**Figura 17.**Representación esquemática de la cogeneración tipo cola o “bottoming”.



Nota. Tomada de Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). (s. f.).

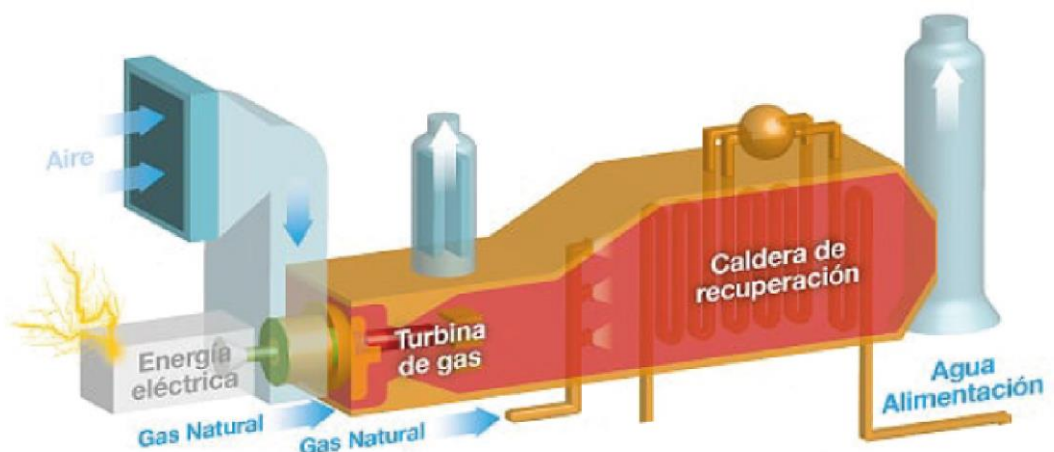


### 5.3 Cogeneración con turbina a gas

Consiste en la combustión de gas en una turbina que incluye compresor y cámara de combustión, y que se encuentra conectada a un generador eléctrico. Los gases de escape a alta temperatura de la combustión se aprovechan para producir energía mecánica que acciona al generador. La corriente de gases residuales es dirigida a una caldera de recuperación de calor para producir vapor, útil en otras aplicaciones industriales.

Los gases también se pueden reutilizar para producir frío en un “chiller” de adsorción. Es una de las configuraciones más utilizadas en plantas medianas con equipos consumidores de vapor. Dentro de los fabricantes de turbinas a gas en el mundo se encuentran “Siemens”, “Rolls Royce”, “Kawasaki”, “Pratt & Whitney”, entre otros.

**Figura 18.** Ciclo con turbina de gas



Nota. En este caso se genera energía eléctrica y vapor de agua. Tomada de “Naturgy” (s. f.).

### 5.4 Cogeneración con turbina de vapor

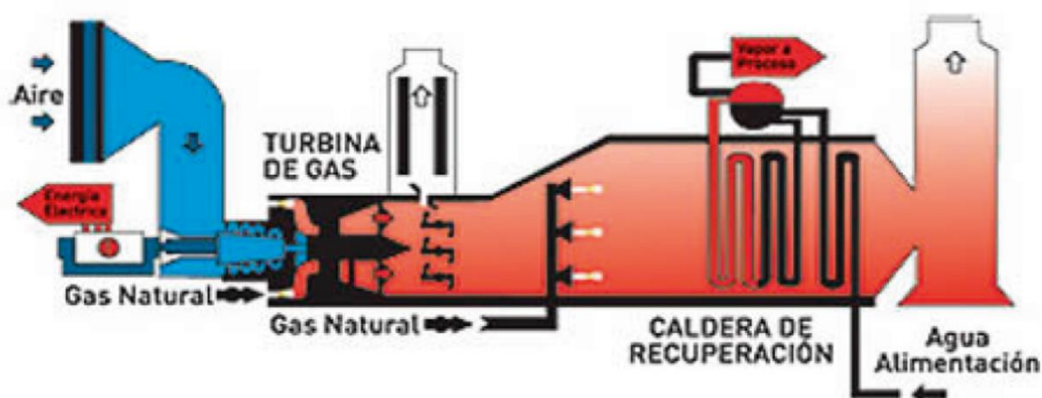
A partir de esta presentación interactiva, se podrá descubrir el tema de cogeneración con turbina de vapor. ¡Adelante!

- a. Cogeneración con turbina de vapor

Consiste en el uso de vapor a alta presión en una turbina para generar energía eléctrica. El vapor proviene de una caldera y es dirigido a una turbina en la que se produce energía mecánica. La turbina activa el eje de un generador y se produce energía eléctrica.

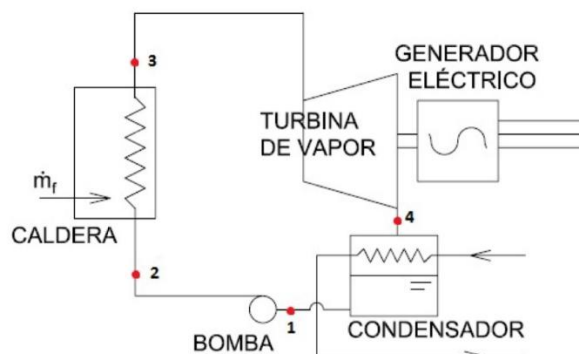
- b. El vapor que sale de la turbina porta calor, por lo que puede ser usado en procesos industriales o para la calefacción de edificios o viviendas. Es importante mencionar que la turbina requiere de una caldera donde se produzca vapor que puede ser a partir de la combustión o la recuperación de calor de otros procesos.
- c. Dentro de los principales fabricantes de turbinas de vapor se encuentran General Electric, Siemens, Toshiba, entre otros.

**Figura 19.** Ciclo con turbina de vapor.



Nota. Este ciclo genera energía eléctrica con turbina de gas y turbina de vapor alimentada por vapor calentado por los gases de escape de la turbina.

**Figura 20.**Ciclo con turbina de vapor

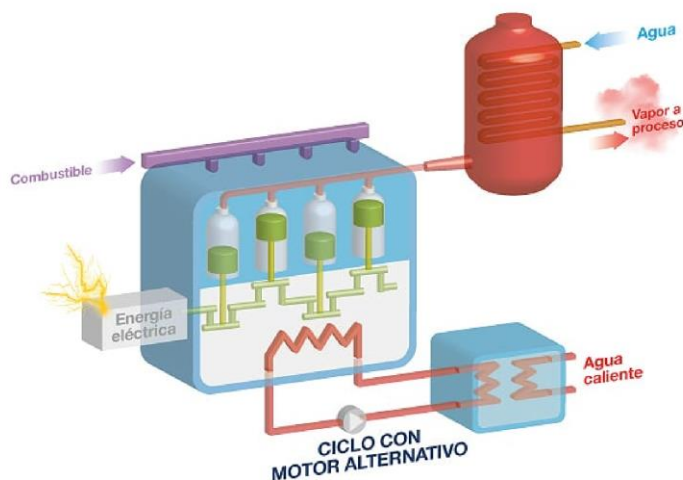


Nota. Tomada de <https://grebus.wordpress.com/tag/cogeneracion/>

### 5.5 Cogeneración con motor de combustión interna

En esta configuración, se utiliza un motor de combustión interna como elemento primario. Estos motores utilizan gas o fueloil como combustible, Los gases de escape a alta temperatura pasan por una caldera de recuperación, en la que se produce vapor que se aprovecha en una turbina de vapor para generar energía eléctrica o energía mecánica. También es posible obtener calor a partir del circuito de refrigeración del motor, en el que se calienta el agua y se reutiliza, bien sea en otro proceso o para alimentar la caldera de vapor.

**Figura 21.**Ciclo con motor alternativo o de combustión interna



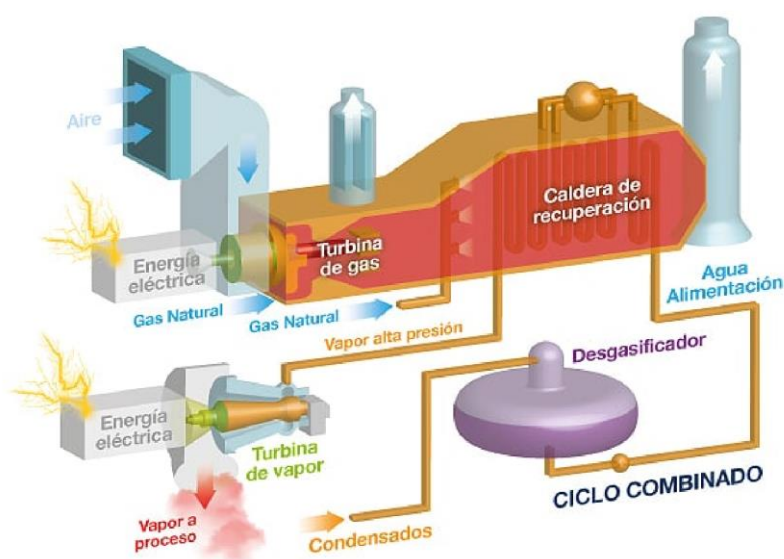
Nota. En este caso además de energía eléctrica, se obtiene vapor de agua y agua caliente. Tomada de “Absorsistem” (s. f.).

## 5.6 Ciclo combinado

La cogeneración en ciclo combinado consiste en generar energía en un sistema a partir de dos ciclos termodinámicos, uno que funciona con gas y otro con vapor de agua. El primer fluido se genera por combustión y es el responsable de la generación de electricidad. Los gases a alta temperatura que salen de la turbina de gas se dirigen a una caldera en la que se produce vapor.

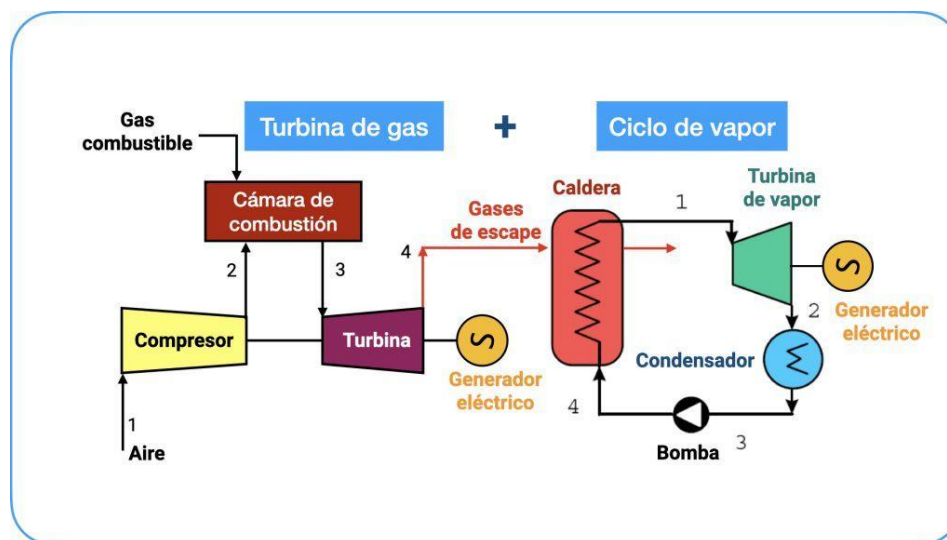
El vapor luego pasa a una turbina de vapor que se encuentra acoplada a un generador eléctrico, transformándose así la energía mecánica en energía eléctrica. El vapor sale de la turbina a baja presión, y puede condensarse para obtener agua caliente o sobrecalentada, útil para otro proceso asociado.

**Figura 22.**Ciclo combinado



Nota. Este ciclo genera energía eléctrica con turbina de gas y turbina de vapor alimentada por vapor calentado por los gases de escape de la turbina. Tomada de “naturgy” (s. f.).

**Figura 23.**Ciclo combinado



Nota. Tomada de Pumps Bombas (s. f.).

## 5.7 Aumento de la eficiencia usando cogeneración

Le invitamos a explorar la siguiente didáctica, con el fin de mejorar los conceptos aprendidos.

- El desarrollo de un proyecto de cogeneración se justifica por el aumento de la eficiencia térmica, que implica una reducción de los costos de operación del sistema. Al usar más eficientemente el combustible, el costo por unidad de energía generada disminuye, además de reducirse las emisiones de gases de efecto invernadero. El cambio de un sistema convencional de generación de electricidad y calor por separado, a un sistema de cogeneración puede reducir el consumo de energía entre 10% y 30% (MGM International, 2018).
- Para evaluar la viabilidad de un proyecto de cogeneración se debe determinar qué tanto aumenta la eficiencia del sistema, comparando el consumo de energía del sistema sin cogeneración frente al consumo que se daría al implementar cogeneración. Para determinar el ahorro de energía, comparando el consumo de combustible, que es la fuente primaria de energía, usamos la siguiente fórmula.

$$\text{Ahorro de energía} = \left( 1 - \frac{\text{Consumo con cogeneración}}{\text{Consumo sin cogeneración}} \right) * 100$$

c. En el ejemplo de la figura 25 se puede observar que hay una disminución de combustible consumido de 21%, al pasar de requerir 215 unidades de gas natural a 170 para producir la misma cantidad de energía eléctrica y térmica, debido a que se pasó de tener una eficiencia térmica de 60% al 76,5%.

**Figura 24.** Comparación entre generación convencional y cogeneración



## 6. Motores eléctricos

Se invita a explorar el siguiente recurso y descubrir las diferentes características de los motores eléctricos.

- Los motores eléctricos son máquinas rotatorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Esto es posible gracias a los campos magnéticos presentes en las bobinas que se encuentran en su interior. Los motores eléctricos son dispositivos muy utilizados en casi todas las máquinas modernas, desde grandes vehículos hasta pequeños artefactos domésticos.

- b. Dentro de las principales aplicaciones de los motores se pueden encontrar sistemas de bombeo, ascensores, barcos, ventiladores, hornos rotativos, licuadoras, lavadoras, taladros, equipos de compresión de aire, medios de transporte eléctrico, grúas, industria metalmecánica, entre otros. Los motores ofrecen beneficios como: ocupan un menor volumen (tamaño) y facilidad de manejo, alta potencia de trabajo, incrementando la potencia de las máquinas, funcionamiento silencioso, contaminación baja, eficiencias altas, típicamente de 75% y no requieren refrigeración ni ventilación.
- c. Los motores eléctricos se pueden clasificar como:  
Motor de corriente continua: poseen igual cantidad de polos en el rotor y el estator. Pueden clasificarse de acuerdo con la conexión de sus devanados como: de excitación en serie, de excitación en paralelo (shunt), de excitación mixta o compuesta, y sin escobillas. En electrónica se utilizan los motores paso a paso y servomotores.
- d. Motor de corriente alterna: como su nombre lo indica, su funcionamiento es con corriente alterna. Transforman la energía eléctrica y fuerzas de rotación mediante la interacción entre los campos electromagnéticos. Se clasifican en motores síncronos y motores asíncronos (monofásicos o trifásicos).
- e. En términos generales, un motor eléctrico está constituido por una parte fija o estática y una móvil. La primera se denomina estator y la segunda rotor. El funcionamiento de un motor eléctrico se basa en la inducción electromagnética y consiste en el uso de la electricidad para inducir campos magnéticos que se rechazan entre sí. Cuando se conecta el suministro eléctrico, se genera un campo eléctrico giratorio en el estator.
- f. La bobina, cableado de cobre que envuelve al rotor, posee un campo magnético opuesto al del estator. Los campos magnéticos son generados mediante imanes permanentes, cuya repulsión causa el movimiento del rotor dentro del estator, y por consiguiente el giro de un eje que transmite la energía mecánica. Una vez alineados los polos se detiene el giro del rotor. Para que el motor siga funcionando, se invierte la polaridad de los imanes de manera constante, función que es asignada a un alternador. Es por ello que casi todos los motores eléctricos trabajan

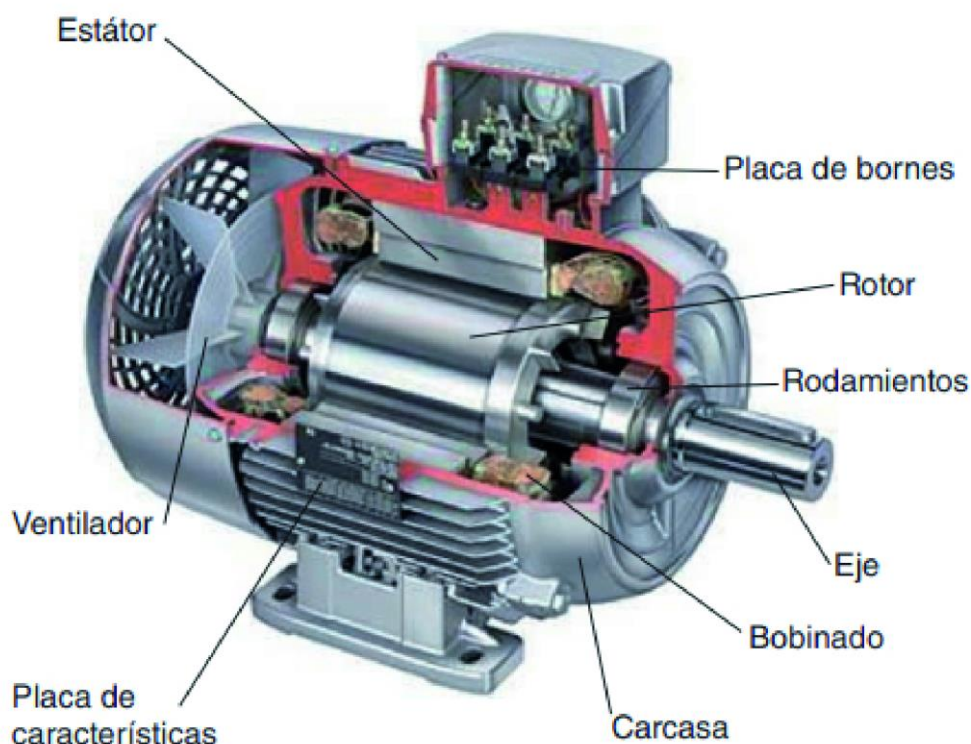


con la llamada corriente alterna. A medida que el tamaño del motor y la corriente que se le aplica aumentan, la energía mecánica que se produce es mayor. A continuación, se describen las partes principales de un motor eléctrico.

Cómo Funcionan los Motores Eléctricos - Motores de Inducción de CA Trifásicos Motor de CA

Explora más acerca del funcionamiento de los motores eléctricos en el video disponible en el enlace: [“Cómo Funcionan los Motores Eléctricos - Motores de Inducción de CA Trifásicos Motor de CA”](#).

**Figura 25.**Partes de un motor eléctrico



### 6.1 Partes del motor eléctrico

Las partes principales que constituyen un motor son el estator, el rotor, la bobina, la carcasa y la caja de terminales, descritas a continuación.



### **Estator**

Es el elemento fijo del motor y brinda soporte y permite la rotación a este. Se compone de láminas de acero al silicio las cuales facilitan el flujo del campo magnético a través de él.

### **Rotor**

Es la parte móvil que contiene espiras o devanados metálicos llamados bobinas. Tiene la función principal de transferir la potencia al eje. Está compuesto por láminas de acero y puede ser tipo ranurado

### **Bobina**

Son espiras o conjunto de hilos conductores de la energía eléctrica para proporcionar el campo magnético necesario para producir la fuerza que produce el movimiento del motor., de jaula de ardilla o de polos salientes.

### **Carcasa**

Es la base sobre la que se apoyan el rotor y el estator. Cuenta con rodamientos para facilitar la rotación y se encarga de proteger el conjunto de elementos anteriores.

### **Caja de conexiones**

Llamada también caja de terminales, cuya función es proteger a los conductores que alimentan el motor, manteniéndolos alejados de la operación mecánica de este.

## **6.2 Datos de placa**

Al tratarse de una máquina tan importante y de uso tan frecuente, existe una estandarización general mediante la cual los motores son usados correctamente para determinada aplicación. Los motores eléctricos tienen fijada a su carcasa una placa metálica de acero inoxidable, con la información relevante y específica del dispositivo. Los datos son códigos y números, que permiten comprender las características de funcionamiento del motor y verificar que cumpla con los requerimientos deseados.

**Figura 26.**Placa de características del motor eléctrico

Número de fabricación		Clase térmica	
Peso	Referencia		
<b>SIEMENS</b> D-91056 Erlangen		3~Mot. 1LA7166-2AA60 E0107/471101 01 001 IEC/EN 60034	
93kg	IM B3	160L	IP55 Th.Cl.F
50 Hz 400/690 V $\Delta/Y$ 18,5 kW 32,5/18,8 A cos $\phi$ 0,91 2940/min 380-420/660-725 V $\Delta/Y$ 34,0-32,0/19,6-18,5 A		60 Hz 460 V $\Delta$ 21,3 kW 32,0 A cos $\phi$ 0,92 3540/min 440-480 V $\Delta$ 33,5-31,0 A	
Datos para 50 Hz		Tamaño	Datos para 60 Hz
Fecha de fabricación AA MM		Forma constructiva	Tipo de protección

1. Fabricante
2. Tipo, tamaño y forma de construcción (Modelo)
3. Clase de corriente (alterna o continua)
4. Número de serie de fabricación la máquina.
5. Conexión del devanado estatórico (oY).
6. Tensión nominal.
- 7 Corriente nominal.
8. Potencia nominal.
9. Clase de servicio (según no ciclos/hora)
10. Factor de potencia nominal.
11. Velocidad nominal y sentido de giro.

- 12. Frecuencia nominal.
- 13. Forma de conexión del bobinado.
- 14. Tensión rotórica en motores de rotor bobinado.
- 16. Clase de aislamiento.
- 17. Grado de protección.
- 18. Año de construcción y norma de aplicación.

## 6.2 Eficiencia del motor eléctrico

Aunque en muchos casos este dato sea proporcionado por el fabricante, la eficiencia de un motor eléctrico se determina con la división de la potencia que se obtiene del eje del motor (o también conocida como la potencia mecánica), entre la potencia absorbida por el motor.

$$n = \frac{P_{eje}}{P_{abs}}$$

Tomando como ejemplo un motor eléctrico trifásico de inducción, se puede decir que la potencia absorbida se puede expresar como:

$$P_{abs} (KW) = \frac{\sqrt{3} * Voltaje * Corriente * \cos \varphi}{1000}$$

Los motores eléctricos, al no emitir directamente gases de efecto invernadero, son una alternativa para reemplazar los motores de combustión interna, como una forma de reducir la polución que afecta la salud de las personas.

## **7. Automatización y digitalización para generar eficiencia energética**

En este apartado verá, aplicaciones industriales, automatización, aplicaciones en edificios (residenciales, comerciales), digitalización para generar eficiencia energética e impacto en la eficiencia energética.

### **7.1 Aplicaciones industriales**

A partir del siguiente recurso usted podrá descubrir cómo automatizar y digitalizar procesos relacionados con la eficiencia energética en la industria.

#### **Automatización**

La automatización es el uso de tecnologías de control diseñadas y programadas para manejar de forma automática la operación de dispositivos eléctricos o mecánicos.

La digitalización consiste en el registro de datos en medios digitales. Y la automatización y la digitalización permiten el control y monitoreo de procesos para mejorar la eficiencia energética en aplicaciones industriales, comerciales y residenciales.

#### **Popularización**

La popularización de conceptos como internet de las cosas (IoT), ha impulsado el desarrollo de muchas aplicaciones de control automático con innumerables posibilidades para la optimización de procesos y la reducción del consumo de energía mediante el monitoreo y manipulación de variables de operación en los equipos.

#### **Automatización de procesos**

La automatización de procesos y digitalización de datos de operación permiten implementar algoritmos para la detección de anomalías en las operaciones e incluso predecir tendencias, como picos o caídas de demanda, por ejemplo, energía o materias primas para la producción. Estos datos pueden servir al sistema de control para actuar automáticamente en respuesta a las anomalías o cambios para operar de forma eficaz y eficiente.

## **Aplicaciones industriales**

Aplicaciones industriales: en casi todas las industrias, especialmente las manufactureras, se emplean equipos que consumen grandes cantidades de energía, como calderas, motores, hornos, reactores químicos, compresores, sistemas de climatización, producción de calor o frío para procesos de producción; estos equipos tienen periodos de actividad variable, según el nivel de operación.

### **Variables de operación**

Las variables de operación pueden ser medidas y controladas, por ejemplo, un proceso de combustión usado en hornos, calderas y reactores, tiene niveles óptimos de relación aire/combustible que varían según la operación o necesidades de producción; un sistema automatizado de control puede variar los niveles de aire o combustible de forma que sean óptimos y como resultado el consumo de combustible mermaría.

## **Aplicaciones industriales**

En otras aplicaciones industriales que consumen energía, la automatización y digitalización permite gestionar más eficientemente el consumo, teniendo en cuenta la demanda en las distintas áreas y equipos. El análisis de datos digitalizados da una oportunidad para evaluar el desempeño de los procesos y equipos industriales para desarrollar mecanismos de mejora que permitan optimizar los recursos y minimizar el impacto ambiental.

### **7.2 Aplicaciones en edificios (residenciales, comerciales)**

- a. La automatización se usa en edificios comerciales y residenciales para optimizar el consumo de energía o recursos como el agua. Esto se conoce como Sistema de Control de Edificios, o BMS por sus siglas en inglés. Un ejemplo de BSM son los sistemas de control de climatización, que automáticamente pueden optimizar el uso de las plantas de aire acondicionado o calefacción, controlando la temperatura en

las zonas climatizadas según los datos de temperatura de las distintas áreas de un edificio.

- b. De esa forma, si una habitación tiene una temperatura poco confortable, el sistema automáticamente actúa regulando la temperatura, bajándola o aumentándola, según la demanda de climatización; incluso, si el sistema detecta que alguna habitación o área está deshabitada en un momento, puede apagar el aire acondicionado o la calefacción para evitar el consumo inoficioso de energía, ahorrando costos y reduciendo el consumo de electricidad.
- c. En países en los que el valor de la energía térmica varía según la hora del día, se implementan sistemas automáticos de control que regulan el almacenamiento de frío para los sistemas de aire acondicionado, según la demanda. Para ello, en las horas en las que el valor de la energía es menor, se almacena agua fría en tanques diseñados para ese propósito, esta agua es usada para climatizar en las horas en las que las tarifas son más caras, logrando un ahorro de dinero.
- d. Un sistema automatizado también puede regular el uso de las redes de iluminación, atenuando, apagando y encendiendo las luces dependiendo de si hay o no personas en la zona, o según el nivel de luz ambiental disponible. Los BMS pueden implementarse para el control de ascensores y bombas de agua; además, es posible implementar sistemas de seguridad automáticos para el reconocimiento de personas, control de ingreso, vigilancia y seguridad frente a accidentes como incendios o fugas de gas, agua o daños eléctricos.

¿Qué es el BMS?

En este video se explican algunas de las capacidades que ofrece una empresa de implementación de control automático de edificios: [“¿Qué es el BMS?”](#).

Algunos elementos importantes de un sistema de control de edificios son, según Cad y Lan (s. f.):

**Sensores:** miden variables de interés para el sistema. Hay sensores de movimiento, temperatura, humedad, gases, corriente o tensión eléctrica y cualquier otra variable importante. Envían los datos recogidos a un controlador que los procesa.

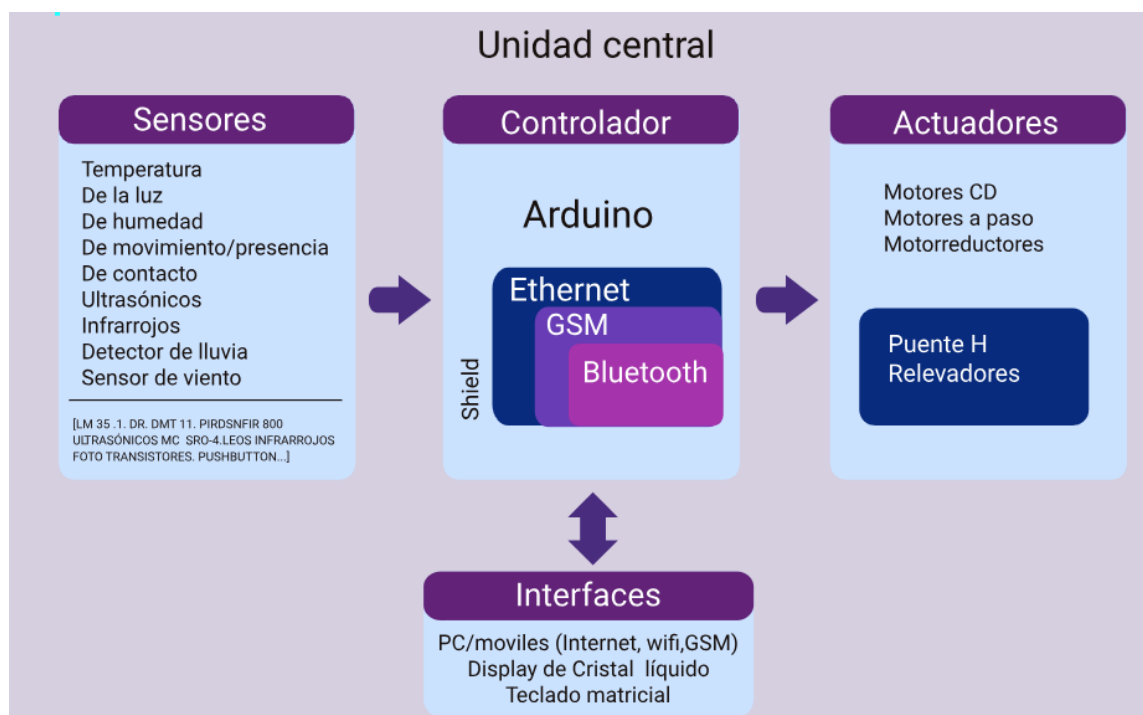
**Controladores:** reciben datos de los sensores, los procesa y controla los dispositivos para regular variables de forma que el conjunto de sistema de control garantice el confort, seguridad y eficiencia energética.

**Dispositivos de salida:** reciben órdenes del controlador, para manejar variables, como apagar, encender o atenuar luces, encender o apagar el aire acondicionado o graduar su potencia para disminuir o aumentar la temperatura e incluso abrir o cerrar ventanas y cortinas.

**Interfaz de control:** es el panel o pantalla de control, en la que se pueden ver datos relacionados con la operación de los equipos controlados, también puede estar en forma de interfaz gráfica en una computadora o “Smartphone”.

El sistema de control automático puede estar conectado a servidores en la nube para el monitoreo del desempeño, toma de decisiones mediante algoritmos y control desde dispositivos electrónicos a distancia. En la figura se puede ver un diagrama de los componentes de un sistema de control de edificios basado en un controlador “Arduino”.

**Figura 27.**Componentes de un sistema de control de edificios



Nota. Tomada de “Ikastaroak” (2020).



### 7.3 Impacto en la eficiencia energética

La implementación de la automatización y digitalización de procesos y la gestión energética puede representar reducciones de consumo de entre 20% y 35% de energía respecto a las condiciones previas a la implementación y se pueden lograr desarrollando proyectos de monitoreo de consumo eléctrico y térmico, sistemas de acumulación de energía, control de iluminación u optimizando los procesos de combustión en las empresas industriales. Esto implica también una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero y un ahorro económico que puede amortizar la inversión hecha para su puesta en marcha (MGM International, 2018).

## 8. Distritos térmicos

Un distrito térmico es una alternativa de infraestructura energética que suministra calor y frío a los edificios que conforman un área urbana o localidad. La producción de calor y frío se realiza en un sistema centralizado urbano y no en los inmuebles individualmente. La configuración consiste en una planta central de generación en donde, a partir de la combinación de tecnologías, se obtiene energía térmica que luego se distribuye por redes de tuberías hasta los diferentes puntos de consumo de los clientes finales del distrito.

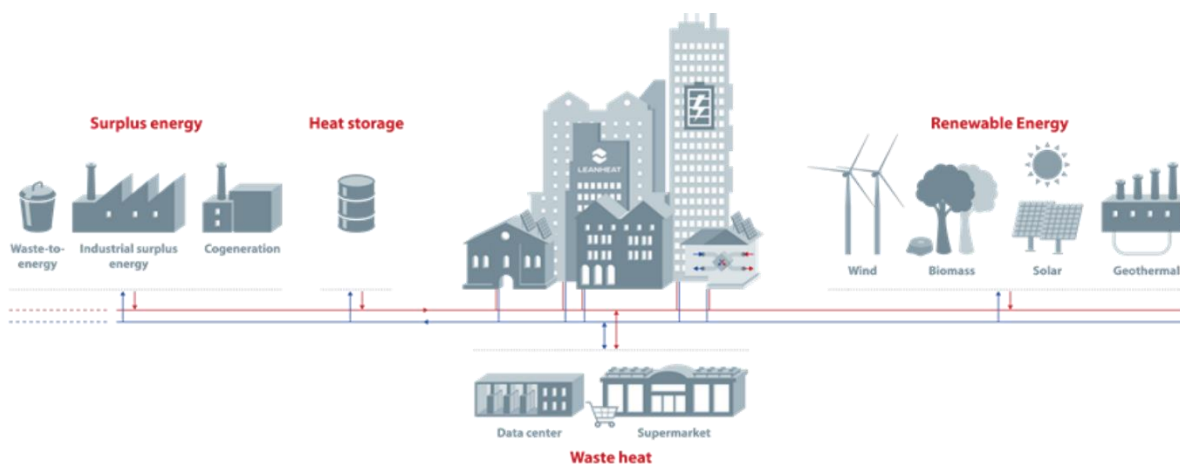
La energía térmica se transporta en forma de vapor, agua caliente, agua helada, y se utiliza para calefacción, producción de aire acondicionado y agua caliente sanitaria. Cabe destacar, que estos sistemas pueden utilizar diversas fuentes de energía, como, por ejemplo, las renovables, haciendo posible descarbonizar la refrigeración, la calefacción y el uso doméstico de agua caliente.

Distrito Térmico - *Celsia*

En el siguiente video se puede encontrar una descripción de un distrito térmico y sus aplicaciones: [“Distrito Térmico - Celsia”](#).



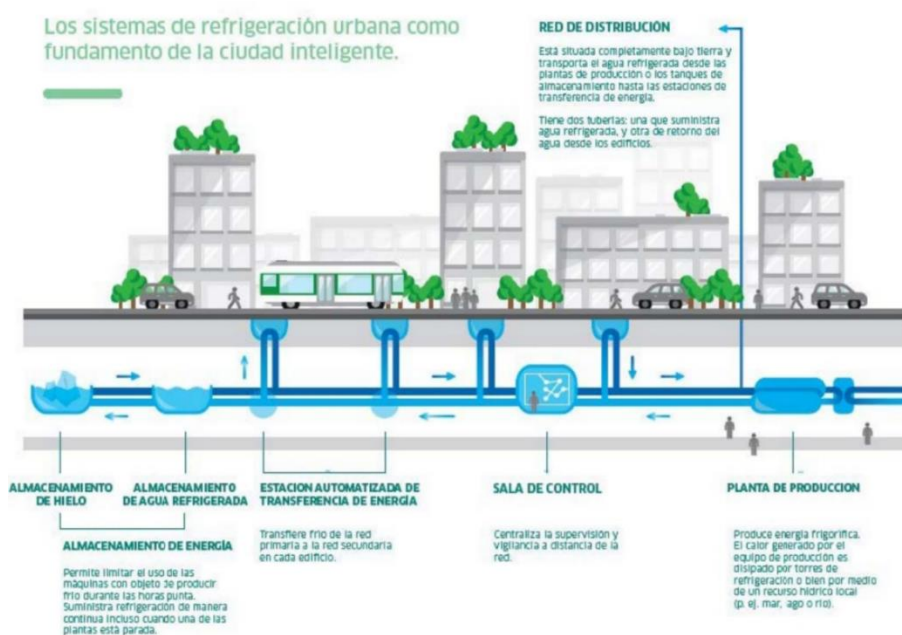
**Figura 28.** Distrito térmico



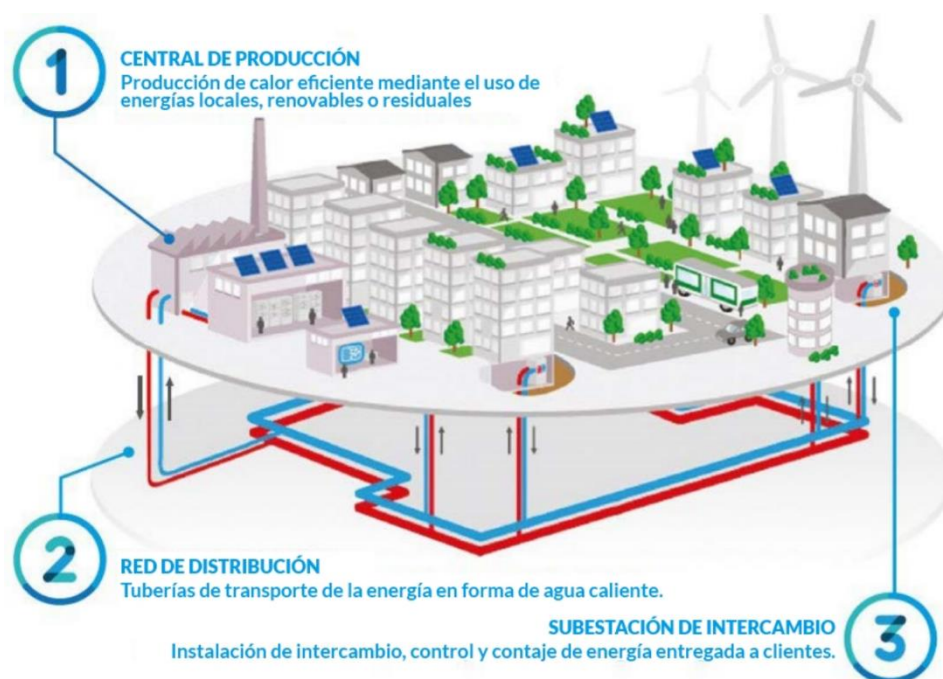
Nota. Tomada de *Danfoss* (s. f.).

Los distritos térmicos son una alternativa eficiente que se ha venido popularizando en el mundo frente a los requerimientos de climatización de un gran número de ciudades en países con alta demanda de calor y frío. En el contexto internacional se conocen como “District Heating & Cooling”.

**Figura 29.** Representación de redes de frío



**Figura 30.** Representación de redes de calor



Dentro de los principales beneficios que ofrece la implementación de estos sistemas, se encuentran:

**Eficiencia energética:** ya que se evita el uso de pequeños sistemas de climatización distribuidos, reemplazándolos por una central grande y más eficiente, representando ahorros de hasta el 30 % en eficiencia energética. Esto también influye en que se reduzcan los costos de operación y mantenimiento.

**Menos GEI (Gases de Efecto Invernadero):** al reemplazar los equipos de aire acondicionado se disminuye el consumo de energía y se reduce o elimina el uso de refrigerantes, que son nocivos para la capa de ozono y que también tienen potencial de generar efecto invernadero y destruir la capa de ozono. Adicionalmente, se reducen las emisiones GEI porque es posible utilizar fuentes de energía renovable (solar, biomasa, etc.).

**Confort:** disminuye la contaminación por ruido dentro de los edificios y potencia la innovación en los diseños arquitectónicos, entre otros.

En Colombia, la implementación de distritos térmicos hace parte de unas de las medidas de eficiencia energética del PAI Proure 2017-2022, por consiguiente, el interés por

desarrollarlos ha venido aumentando. Existe un potencial importante en el país para utilizar distritos térmicos en la generación de agua fría para reemplazar los aires acondicionados convencionales, especialmente en hospitales, hoteles, centros educativos y edificios administrativos o gubernamentales.

La primera planta piloto instalada en el país se encuentra en el Centro Administrativo la Alpujarra en Medellín, provee solamente enfriamiento y es alimentada por gas natural y energía eléctrica. El sistema envía agua fría a 5 °C y la recibe a 12 °C, luego de haber climatizado los edificios del distrito (“Enersinc”, 2017). Con la integración del proyecto se redujeron en un 30% las emisiones de GEI de los edificios del distrito y se eliminaron en ellos el 100% de los refrigerantes, nocivos para la capa de ozono. En la siguiente figura, se puede ver el esquema del proyecto piloto de Distrito Térmico la Alpujarra.

Se puede conocer más acerca de este proyecto piloto en

<https://www.epm.com.co/site/inversionistas/inversionistas/noticias-y-novedades/distrito-t%C3%A9rmico-epm-un-proyecto-que-contribuye-a-la-eficiencia-energ%C3%A9tica>.

**Figura 31.** Distrito térmico La Alpujarra

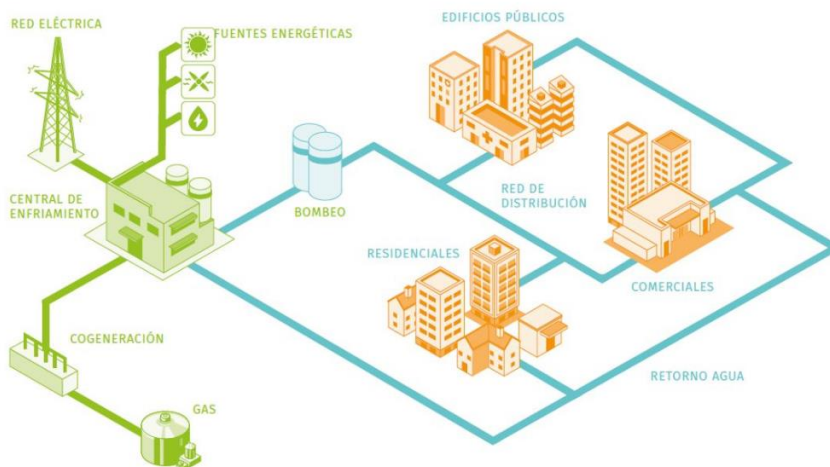


Los principales retos que enfrenta el uso de los distritos térmicos en las ciudades se relacionan con las inversiones en la infraestructura requerida (acondicionamiento de las edificaciones para recibir la red de frío o calor, construcción de redes de distribución, etc.), la tecnología (falta de mediciones) y de los esquemas de financiación de proyectos de este tipo. Además, en el ámbito regulatorio aún falta consolidar la normativa de eficiencia energética que impulse el amplio desarrollo de distritos térmicos.

## 8.1 Componentes de un distrito térmico

En el siguiente recurso, se descubrirán los diferentes componentes de un distrito térmico.

**Figura 32.** Componentes de un distrito térmico

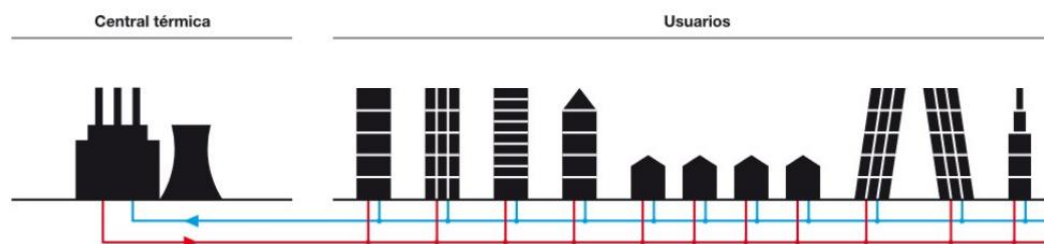


Los componentes característicos de un distrito térmico son la central de generación, la red de distribución compuesta por la tubería (aislada) y el sistema de bombeo y la subestación.

**Figura 33.** Tubería flexible preaislada



**Figura 34.** Representación de dirección de tuberías en un Distrito térmico



La tubería de un distrito térmico puede ser de tres tipos:

**Red troncal:** es la tubería principal, transporta el fluido que contiene la energía térmica (calor o frío) desde las centrales de generación hasta las redes de distribución secundarias o locales. Conduce altos caudales y presiones y suele ser de tubos de diámetros grandes, metálicos y preaislados.

**Ramales:** llevan el calor o el frío desde la red troncal hasta el edificio o cliente. También pueden conducir el calor o el frío desde una central de generación de menor tamaño.

**Acometidas:** son ramales de servicio al consumidor y conectan a los ramales con la subestación de cada edificio o cliente. Para diámetros pequeños suele emplearse tubería de plástico y preaislada.

### Sistemas de bombeo

Se utilizan para regular el flujo que transita por las tuberías. Pueden ser:

**Bombeo centralizado:** el fluido es impulsado por toda la red: planta de generación y tuberías (principales y de distribución).

**Bombeo distribuido a cada subestación:** existe un sistema de bombeo para cada central generadora y cada edificio consumidor. Es comúnmente utilizado en las redes de gran extensión.

**Bombeo híbrido:** combinación de los anteriores.

## **Subestaciones**

La subestación es la infraestructura de transferencia entre la red de distribución de energía térmica y los edificios o viviendas (clientes). Se encarga de regular y controlar la temperatura y la presión de la red a las condiciones que requiere el cliente, y en ella se mide, además, el consumo de energía. Comúnmente la conforman un conjunto de intercambiadores de calor y los dispositivos de regulación y control.

Además, las subestaciones pueden ser directas o indirectas. En las subestaciones directas, usadas principalmente en redes de baja temperatura, la conexión de la red general y la red del usuario son la misma. Las subestaciones indirectas usan un intercambiador de calor, estando separados el circuito de la red de distribución y el circuito interior del usuario.

### **8.2 Tipos de redes de distribución de los distritos térmicos**

Las redes de distribución de los distritos térmicos pueden clasificarse según el trazado, según los circuitos y según el sector al que abastecen. Se describe a continuación el primero; y los trazados de las redes pueden ser tipo árbol, malla o anillo.

Tipo 1. Red tipo árbol o ramificado: cada edificio está conectado directamente a una única central térmica, mediante una tubería de suministro y retorno.

Tipo 2. Red tipo malla: los edificios se conectan por múltiples puntos a una central térmica. En caso de cercanía a otras centrales térmicas o de avería, se puede conectar también a una o más de una.

Tipo 3. Red tipo anillo: es una combinación entre los trazados árbol y malla. El punto final se interconecta con el punto inicial, generando un lazo cerrado.

### **8.3 Fuentes energéticas**

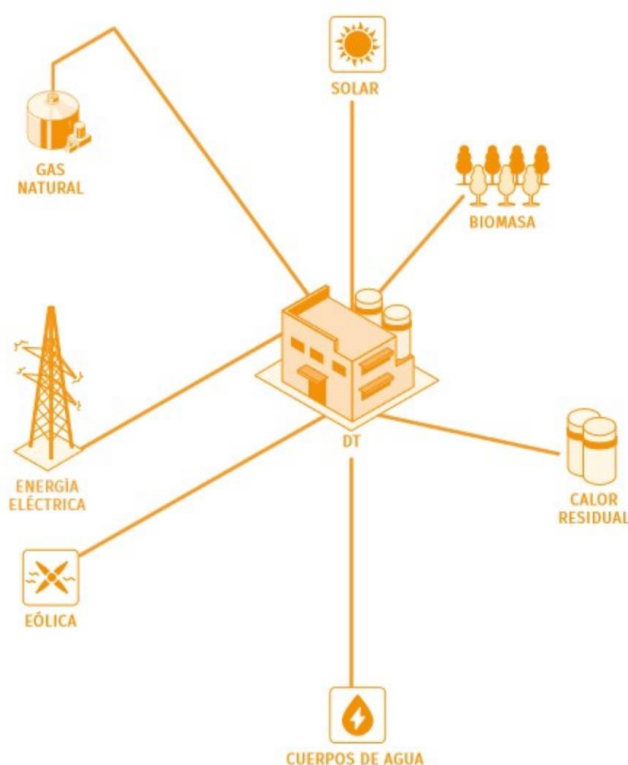
Los distritos térmicos pueden utilizar diversas fuentes de energía. A escala mundial, existen distritos térmicos que utilizan fuentes renovables y no renovables, y además aguas



profundas del mar. Dentro de las fuentes convencionales predomina el gas natural; también figura la electricidad para la refrigeración por compresión.

Entre las fuentes de energía renovables se distinguen la solar (térmica y/o fotovoltaica) y la biomasa (de origen forestal, industrial, agropecuario, urbano, biogás, etc.). Una forma eficiente de generación de energía para el sistema es el uso de ciclos de cogeneración. En algunos casos es posible usar energía térmica “gratuita” contenida en fuentes geotérmicas para extraer calor de la tierra.

**Figura 35.** Posibles fuentes de energía para los distritos térmicos



## 9. Hornos industriales

Conozca algunos aspectos importantes de los hornos industriales.

Los hornos son dispositivos que generan energía térmica en forma de calor al interior de un espacio cerrado. Están diseñados para calentar objetos a alta temperatura. Generalmente los hornos industriales funcionan quemando un combustible fósil, también

existen algunos que funcionan con energía eléctrica, aunque estos últimos no son tan usados debido a su alto costo de operación.

El combustible usado en cada aplicación depende de las características de los productos, así, un horno para producción de alimentos utiliza combustibles gaseosos, como el gas natural o GLP, que permite una combustión limpia, sin inquemados que puedan dañar los alimentos. Mientras que en industrias como la producción de ladrillos, cemento, cal, entre otros, es posible usar combustibles pesados, como el carbón pulverizado.

Los hornos se encuentran incorporados en los procesos de diferentes industrias y sectores, por ejemplo, el sector de alimentos, tomando parte fundamental en la producción de galletas, tostadas, pan, entre otros. En industrias productoras de materiales de construcción se usan para fabricar cerámicos, ladrillos, cemento, etc. En el sector siderúrgico y metalmecánico sirven para la producción de acero y otros metales, además de usarse para realizar tratamientos térmicos a las aleaciones metálicas para mejorar sus propiedades mecánica.

La siguiente figura muestra algunos sectores que emplean hornos en sus procesos, los tipos y para qué se usa.

**Figura 36.** Sectores industriales que usan hornos en sus procesos

	Sector Industrial	Tipo de Horno	Proceso
	Cal y Cemento	Hornos rotatorios	Calcinación de caliza
	Cerámico	Hornos túnel	Cocción de materiales cerámicos.
	Siderúrgico	Altos hornos Horno de arco eléctrico	Reducción de mineral de hierro y producción de acero a partir de chatarra.
	Metalmecánico	Hornos eléctricos	Tratamientos térmicos
	Agroindustria	Hornos rotatorios	Secado de productos
	Alimentos	Hornos túnel	Producción de galletas



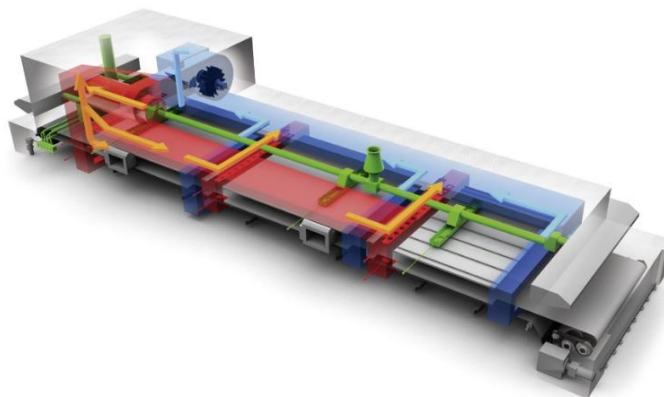
Existen diferentes tipos de hornos, diseñados para múltiples usos, según las necesidades de las empresas que los utilizan. Son tipo túnel, giratorio, altos hornos, de arco eléctrico y de fusión, de los cuales se describen resumidamente algunos a continuación.

### 9.1 Hornos túnel

Son hornos largos dotados de rieles o cintas transportadoras internas, en las que los productos se calientan mientras recorren el interior del túnel. Permiten tener un perfil de temperatura adecuado para lograr las características requeridas de los productos finales, es decir, no tienen una temperatura uniforme a lo largo del recorrido, sino que varía según la zona del horno.

También es posible variar la velocidad de recorrido en el interior. Son usados para grandes volúmenes de producción, principalmente en la producción de alimentos, ladrillos y cerámicos para construcción, vajillas o aisladores eléctricos.

**Figura 37.** Horno túnel



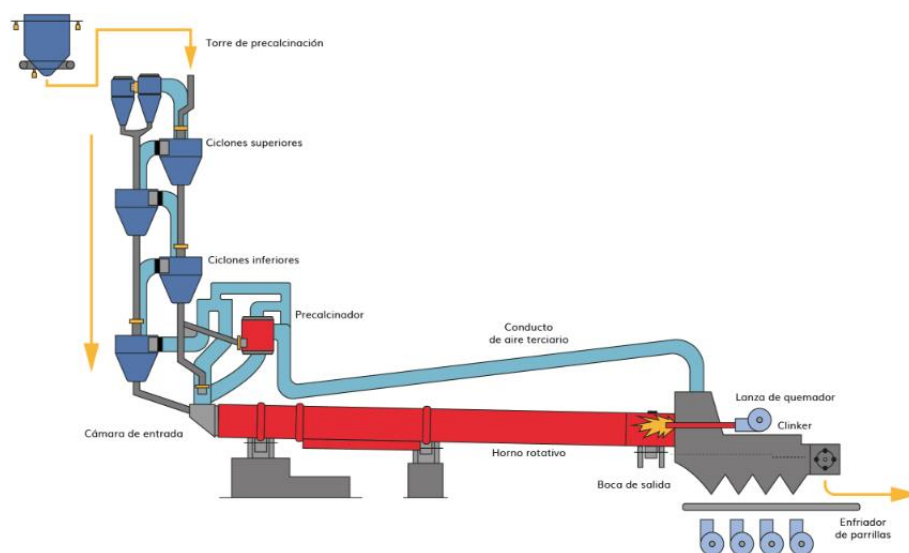
### 9.2 Hornos rotatorios

Son hornos en forma de cilindro, de gran longitud, diseñados para girar mientras calientan el producto que reside en su interior. Se puede variar la velocidad de giro para graduar el tiempo que permanecen los productos en su interior, y operan en un rango variado de temperaturas, según la actividad económica en la que se usan.

Son de amplio uso en la industria de cal y cemento, en la que se usan para producir Clinker, operando a una temperatura superior a  $1000^{\circ}\text{C}$ . También son usados para secar productos, en ese caso la temperatura de operación no tiene que ser muy alta, alrededor de  $100^{\circ}\text{C}$ .

En el siguiente enlace se puede hacer un recorrido virtual por un horno de producción de Clinker para cemento <https://www.assecuratte.es/assecuratte360/videos/web/index.htm>

**Figura 38.** Proceso de producción de Clinker



### 9.3 Altos hornos

Son hornos usados especialmente para el procesamiento de metales ricos en hierro. Son llamados así por su gran altura, que alcanza los 30 metros en muchos casos. Su diámetro puede ser de hasta 9 metros. En su interior se calienta una mezcla de mineral de hierro con coque y fundente, para producir Arrabio, un precursor en la producción del hierro.

#### Funcionamiento Alto Horno

En la parte baja del alto horno la temperatura puede superar los  $1.800^{\circ}\text{C}$ . En el siguiente video se puede ver un alto horno y su funcionamiento. [Clic aquí.](#)

## 9.4 Hornos de arco eléctrico

Estos dispositivos utilizan electrodos entre los que hay una gran tensión que genera un arco eléctrico a alta temperatura, haciendo fundir los metales o minerales que se encuentran en su interior. Se usan para producir aleaciones metálicas y fundir chatarra de la cual se hacen nuevas aleaciones. Pueden ser de uno, dos y hasta tres arcos, siendo estos últimos los de corriente alterna.

El arco eléctrico puede calentar los metales por radiación de calor, o estar directamente entre el metal a fundir, fundiéndolo por la resistencia de los materiales al paso de la corriente eléctrica. La temperatura en su interior puede superar los 3.500 °C, que es superior al punto de fusión de casi cualquier metal.

### Horno De Arco Electrico - Herramientas

Su principal desventaja es que consume cantidades enormes de energía eléctrica, por lo que su operación es muy costosa. En este video se puede ver el funcionamiento de un horno de arco eléctrico en la industria del acero. [Clic aquí.](#)

## 9.5 Eficiencia energética

El siguiente recurso muestra la eficiencia energética en el uso adecuado de los hornos.

### Eficiencia energética

Debido a que los tipos de hornos son muy variados por la gran cantidad de distintas aplicaciones que requieren de hornos diseñados y ajustados específicamente para cada aplicación, es muy difícil determinar de forma confiable la eficiencia térmica de los mismos.

### Es importante saber que...

Sí es posible evaluar con mayor facilidad y confiabilidad el consumo específico que es la relación entre el combustible, o energía eléctrica consumida, y la cantidad de productos procesados. Por ejemplo, el número de metros cúbicos de gas natural consumido por tonelada de ladrillos producidos.

## **El cálculo para analizar y comparar hornos**

Se puede hacer dependiendo del tipo de energía usada, si se trata de un horno a gas se puede calcular por metro cúbico, si se usa carbón se puede hacer por kilogramo de carbón consumido o si es un horno eléctrico se puede determinar por kWh. La fórmula es básicamente la siguiente:

$$\text{Consumo específico} = \frac{\text{Cantidad de combustible o energía consumida}}{\text{Cantidad de productos procesados}}$$

## **Principales medidas de eficiencia energética**

HCFC (hidrógeno, carbono, flúor, cloro): incluyen átomos de hidrógeno en Se pueden desarrollar en los hornos sobresalen la mejora en la combustión, la recuperación de calor para otros procesos y el mantenimiento del aislamiento térmico. Para mejorar la eficiencia en los hornos de combustión es necesario usar una mezcla óptima de aire/combustible, para evitar inquemados. También se puede mejorar la combustión usando como oxidante aire enriquecido de oxígeno u oxígeno puro, en vez de aire normal, ya que el aire además de oxígeno contiene nitrógeno, que no reacciona y no aporta a la combustión, pero que al calentarse “roba” energía que al final sale del sistema sin haber generado ningún beneficio.

## **El horno debe tener un buen aislamiento térmico**

Para evitar pérdida de calor, es necesario mantener en buen estado el material refractario del horno, reemplazando el que se dañe. Dependiendo de los procesos que involucra la cadena productiva se pueden implementar sistemas de recuperación de calor o cogeneración, para aprovechar parte del calor residual del proceso de horneado, de esa forma se aumenta la eficiencia térmica, se reduce el consumo de combustible y la emisión de GEI.

## **10. Sistemas de iluminación**

En el siguiente recurso usted podrá explorar los sistemas de iluminación para conocer más sobre su funcionamiento.

## **Sistemas de iluminación**

Uno de los inventos más revolucionarios que ha hecho el ser humano ha sido la iluminación artificial, ya que permite trabajar, estudiar o hacer cualquier actividad cuando la luz del sol no está disponible en los espacios interiores.

### **En la sociedad moderna**

Es inconcebible la ausencia de iluminación y los breves periodos en los que no se cuenta con ella por un apagón eléctrico, paralizan la economía y el normal transcurrir de las vidas humanas. La iluminación se necesita en las actividades diarias. Por eso la iluminación representa uno de los rubros más grandes de consumo de energía eléctrica y en algunos casos su uso es prácticamente ininterrumpido.

### **La tecnología de iluminación**

Ha avanzado hasta lograr sistemas de bajo consumo de energía y eficientes en términos energéticos, permitiendo reducir la demanda de energía y las emisiones de GEI. Las primeras lámparas inventadas funcionaban haciendo brillar delgados filamentos incandescentes, luego aparecieron las lámparas que iluminan excitando un gas en su interior y actualmente se extiende el uso de las luces LED, que son más eficientes y fiables que sus antecesoras.

### **Los sistemas de iluminación**

Están compuestos por una o varias fuentes de luz, que son las lámparas, como bombillas incandescentes, tubos fluorescentes o diodos LED. Las principales características que se observan de las fuentes de luz son la potencia eléctrica, la eficacia luminosa, el flujo luminoso, la vida útil, entre otras.

### **Flujo luminoso**

Indica qué tanta luz emite un emisor. Su valor se elige según las necesidades de iluminación para garantizar el confort en él. Se expresa en lumen (lm).

### **Eficacia luminosa**

Es la relación entre el flujo luminoso y la potencia eléctrica consumida por la fuente de luz. Indica qué tanta energía eléctrica consume un dispositivo para emitir luz.

### **Vida útil**

Es el tiempo que un dispositivo de iluminación dura funcionando hasta que su flujo luminoso decae al punto de no justificarse continuar.

### **Los sistemas de iluminación**

Están compuestos por:

- a. Equipos auxiliares necesarios para el funcionamiento.
- b. Luminarias que permiten direccionar la luz para distribuirla de la forma más adecuada según el espacio a iluminar.

Los sistemas de iluminación cuentan con diferentes tipos de lámparas para su uso, entre los que se tienen en cuenta para la gestión eficiente de la energía están:

### **Lámparas incandescentes**

Funcionan haciendo pasar corriente eléctrica a través de un delgado filamento metálico (de Wolframio) que se calienta hasta emitir luz visible. Pueden ser halógenas y no halógenas. Las no halógenas poseen un filamento que está al vacío en la bombilla. Su configuración es versátil y para uso sencillo. Son las más comunes y económicas.

Las halógenas tienen el filamento inmerso en un gas halógeno, que evita que el Wolframio se evapore, alargando la vida útil del dispositivo. Son más costosas, pero más duraderas. Cabe anotar, que las lámparas incandescentes son las menos eficientes, ya que consumen mucha energía, la mayoría de la cuales se pierde en forma de calor.

Su reemplazo por nuevas tecnologías es una de las principales metas de los planes de ahorro eléctrico.

**Figura 39.** Lámparas incandescentes.



Nota. Tomada de Ingenio virtual (2021).

### **Lámparas incandescentes**

Contienen un gas, que al ser sometido a una descarga eléctrica emiten luz. Requieren de equipo auxiliar, llamado comúnmente balasto, y arrancador. Estos dispositivos al ser más complejos son más costosos que las lámparas incandescentes, pero son más eficientes, por tener una eficacia luminosa mayor. Consumen menos electricidad para emitir un mismo nivel de flujo luminoso que la tecnología incandescente, por lo que han ido desplazando paulatinamente el uso de estas últimas. Sin embargo, generalmente las lámparas luminosas usan gases que son tóxicos para los seres humanos. En esta tecnología se destacan:

1. **Lámparas fluorescentes:** usan vapor de mercurio a baja presión, se comercializan en forma tubular y en tamaño compacto. Son las de uso más extendido en los hogares. Pueden ser tubulares o compactas (uno o varios tubos), siendo estas últimas más eficaces y duraderas.
2. **Lámparas de vapor de mercurio a alta presión:** usan vapor de mercurio a alta presión por lo que emiten más flujo luminoso que las fluorescentes, pero son menos eficientes. Se utilizan para iluminar áreas grandes.
3. **Lámparas de vapor de sodio:** la descarga eléctrica la hacen al vapor de sodio, en vez de mercurio. Son las de mayor eficacia luminosa, por lo que su consumo eléctrico es bajo, pero emiten luz amarillenta, por lo que su uso está muy limitado a espacios públicos abiertos, como carreteras.
4. **Lámparas de halogenuros metálicos:** además de vapor de mercurio, contienen una mezcla de halogenuros metálicos que mejoran la eficiencia y reproducción cromática. Son de uso extendido en alumbrado público, fachadas, etc.

5. **Lámparas de halogenuros metálicos cerámicos:** se diferencian de las de halogenuros metálicos en que incluyen vapor de sodio y tienen un tubo cerámico de descarga. Tienen una mayor vida útil y una alta eficacia luminosa.

**Figura 40.** Lámparas fluorescentes.



Nota. Tomada de Ingenio virtual (2021).

**Figura 41.** Lámparas fluorescentes compactas.



Nota. Tomada de Ingenio virtual (2021).

**Figura 42.** Lámparas halógenas.



Nota. Tomada de Ingenio virtual (2021).



## Diodos emisores de luz (LED)

Las luces LED (“Lighting” “Emitting” “Diode”) usan un material semiconductor que transforma la corriente eléctrica en luz. Al no usar filamentos ni contener gases en su interior, son resistentes y tienen una vida útil larga, además de tener una muy alta eficacia luminosa, por lo que son de bajo consumo eléctrico.

Actualmente están reemplazando a las lámparas incandescentes y fluorescentes, ya que las mejoras en los procesos industriales y su masificación han reducido su costo. Se pueden encontrar en casi cualquier aplicación, desde linternas hasta lámparas con forma de bombillo en los hogares, además de cintas de luces y lámparas para áreas abiertas y comerciales.

**Figura 43.** Lámparas LED.



Nota. Tomada de Ingenio virtual (2021).

En el siguiente recurso se indican otros sistemas de iluminación. ¡Adelante!

## Equipos auxiliares

Son dispositivos que permiten que las lámparas se desempeñen adecuadamente. La mayoría de las lámparas requieren de equipos auxiliares para funcionar. Las fuentes de luz incandescentes no los requieren, pero, por ejemplo, las lámparas de descarga requieren de arrancador y de balastos.

## Estos...

Junto con los condensadores y transformadores son los equipos auxiliares más usados, teniendo su propio consumo de electricidad. El arrancador provee el voltaje inicial requerido para hacer arrancar el dispositivo y el balasto se encarga de estabilizar la corriente,

de forma que sea la más adecuada para el dispositivo. También se usan condensadores que corrigen el factor de potencia a valores reglamentarios y permiten una disminución en el consumo de energía. En dispositivos electrónicos se utilizan también los tres componentes, unidos en un mismo elemento.

### **Luminarias**

Son los dispositivos que distribuyen la luz, dan soporte y permiten fijar las lámparas. Además, en algunos casos incluyen piezas para filtrar y brindar tratamiento a la luz, como dar color, entre otros. Cumplen también una función estética y, en algunos casos, hacen parte importante del diseño arquitectónico. El ejemplo más simple es el plafón, hay también campanas, proyectores e incluso faroles.

### **Eficiencia**

Un sistema de iluminación eficiente se caracteriza por no tener un alto consumo de energía y, a su vez, ofrecer alumbrado de calidad y con un adecuado nivel de confort e iluminación. Los componentes, el régimen de uso y control del conjunto (instalación) y el mantenimiento influyen en la eficiencia de la iluminación.

### **Para analizar un proyecto de eficiencia de sistemas de iluminación...**

Es necesario determinar las necesidades de luz en un espacio y el tipo de sistema apropiado, con el fin de definir el número y tipo de lámparas, luminarias y equipos auxiliares requeridos. Se deben realizar mediciones y calcular una línea de base de consumo energético basada en la potencia y régimen de operación.

### **Además**

Se comparan los equipos existentes y los nuevos en materia de potencia eléctrica y se estiman potenciales ahorros. Se debe buscar un equilibrio entre los pros y contras de cada tipo de lámpara, como la vida útil, la eficacia y el tipo de luz. Por otro lado, para reducir el consumo eléctrico de los sistemas de iluminación es posible implementar sistemas automáticos de control para encender y apagar las luces según la concurrencia o control en

el flujo luminoso dependiendo de la disponibilidad de luz natural en los espacios, usando reguladores de voltaje.

**Estos sistemas también pueden ajustarse para encender y apagar la iluminación a determinadas horas**

Además, en un espacio abierto, por ejemplo, conviene un tipo de lámpara con una vida útil larga y una eficacia alta, sin importar mucho si se trata de luz amarilla o blanca; en una casa, en cambio, la luz amarilla no es confortable y resulta mejor usar lámparas que reflejen los colores de forma similar a la luz natural, pero con una eficacia y una vida útil apropiadas.

## **11. Arquitectura bioclimática**

La arquitectura bioclimática es el diseño de edificaciones en función de las condiciones climáticas locales, centrándose en el aprovechamiento de los recursos naturales como el sol, el viento, la lluvia, etc., con el fin de disminuir los impactos ambientales y gestionar y reducir el consumo de energía.

El enfoque principal de la arquitectura bioclimática es proporcionar el máximo confort térmico con el menor consumo energético. Mediante la implementación de los principios de arquitectura bioclimática, existe el potencial de reducir sensiblemente el impacto ambiental del ser humano sobre el planeta, además de impactar positivamente la economía de los hogares.

¿Qué es la arquitectura bioclimática?

En el siguiente video Carlos “Placitelli Mañé” explica algunas generalidades sobre la arquitectura bioclimática.

### **11.1 Características básicas de la arquitectura bioclimática**

El diseño de una construcción bioclimática implica tener en cuenta un conjunto de elementos o criterios técnicos encaminados a lograr los objetivos de bajo consumo

energético, confort y menor impacto en el ambiente. Algunos de estos principios son la orientación, el clima y los materiales.

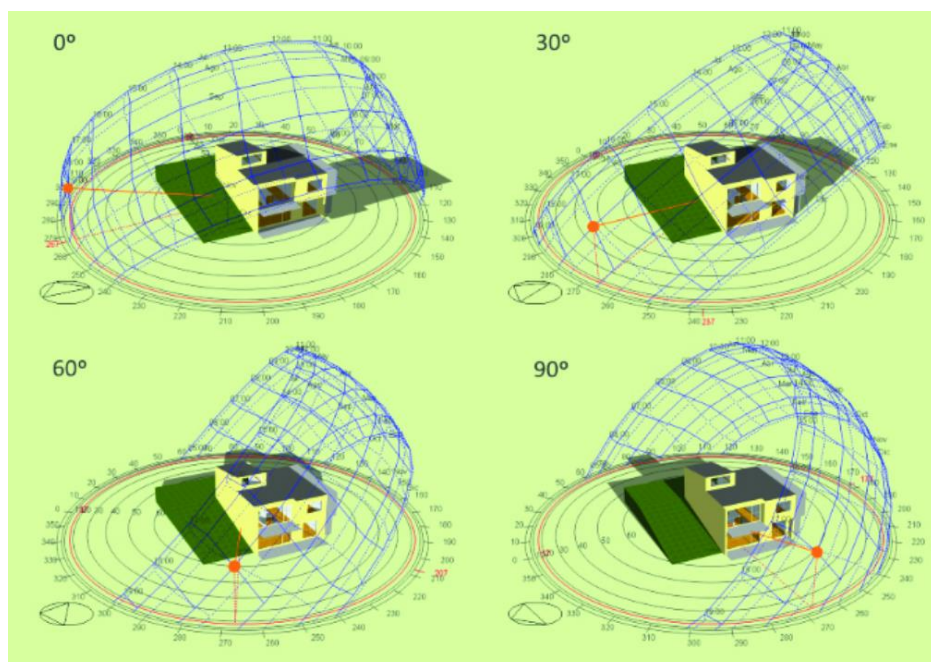
**La orientación:** el diseño arquitectónico tiene en cuenta la posición del sol con el fin de aprovechar la luz solar al máximo.

**Soleamiento y protección solar:** se busca aprovechar la luz solar en las zonas interiores y exteriores del edificio, para brindar confort térmico a sus habitantes. Esto varía de acuerdo con el lugar donde esté ubicado y es preferible que los vidrios cuenten con protección solar para disminuir los efectos por la incidencia de la radiación solar.

**Aislamiento térmico:** se utiliza para mantener la temperatura de confort. Las técnicas se aplican en fachadas, techos, puertas y ventanas, e incluyen muros de gran espesor, edificios completa o parcialmente enterrados, entre otras.

**Ventilación:** se diseña para aprovechar las corrientes de aire en dirección opuesta (ventilación cruzada), renovar el aire y garantizar ventilación en todo el espacio; esta puede ser natural y convectiva.

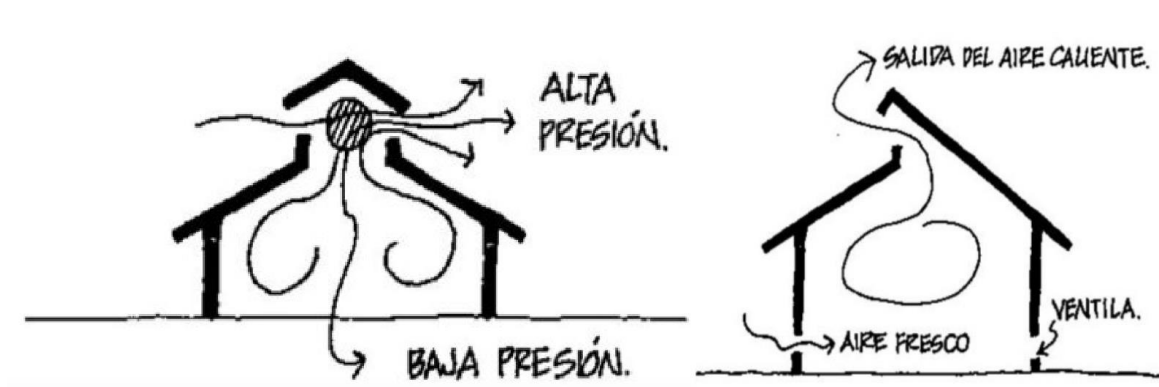
**Figura 44.** Trayectoria del sol en diferentes latitudes



Existen efectos que favorecen la ventilación y la salida del calor acumulado al interior. Entre ellos, el efecto Venturi, creando aberturas en la parte superior a lado y lado de las caras más comúnmente enfrentadas al viento, que cuando pasa a través de las aberturas succiona el aire del interior extrayendo calor.

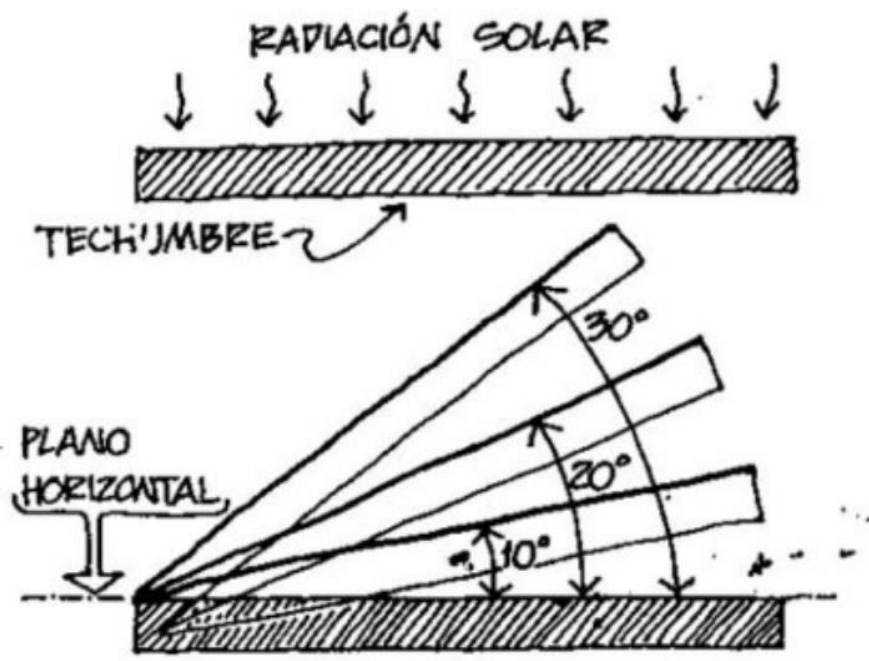
También usa el efecto chimenea, que aprovecha que el aire caliente es menos denso que el frío y por tanto tiende a ascender, se implementa haciendo pequeñas aberturas cerca al piso, por las que entra el aire frío más denso, en una parte alta de las paredes o en el techo se ubica una abertura por la que sale el aire cálido, esto crea un flujo de aire interior evitando la acumulación de calor.

**Figura 45.** Efectos Venturi y chimenea



Otra medida para evitar la acumulación de calor es el diseño de techos altos e inclinados, ya que la inclinación reduce la cantidad de radiación solar que se absorbe, frente a los techos planos. Cada 10 grados de inclinación permiten aproximadamente 10% menos de acumulación de calor de radiación solar (Arias, et al., 2013).

**Figura 46.** Radiación solar en techos



## 11.2 Estrategias de la arquitectura bioclimática

Las construcciones bioclimáticas utilizan estrategias de diseño y uso diario, útiles para disminuir el consumo energético. Incluyen, entre otras:

**Diseño bioclimático y eficiente:** las edificaciones se diseñan de manera que puedan adaptarse al medio que lo rodea.

**Control y uso inteligente del espacio:** al construir un edificio se intenta dar las dimensiones adecuadas a la casa y sus estancias con el objetivo de optimizar el uso de energía.

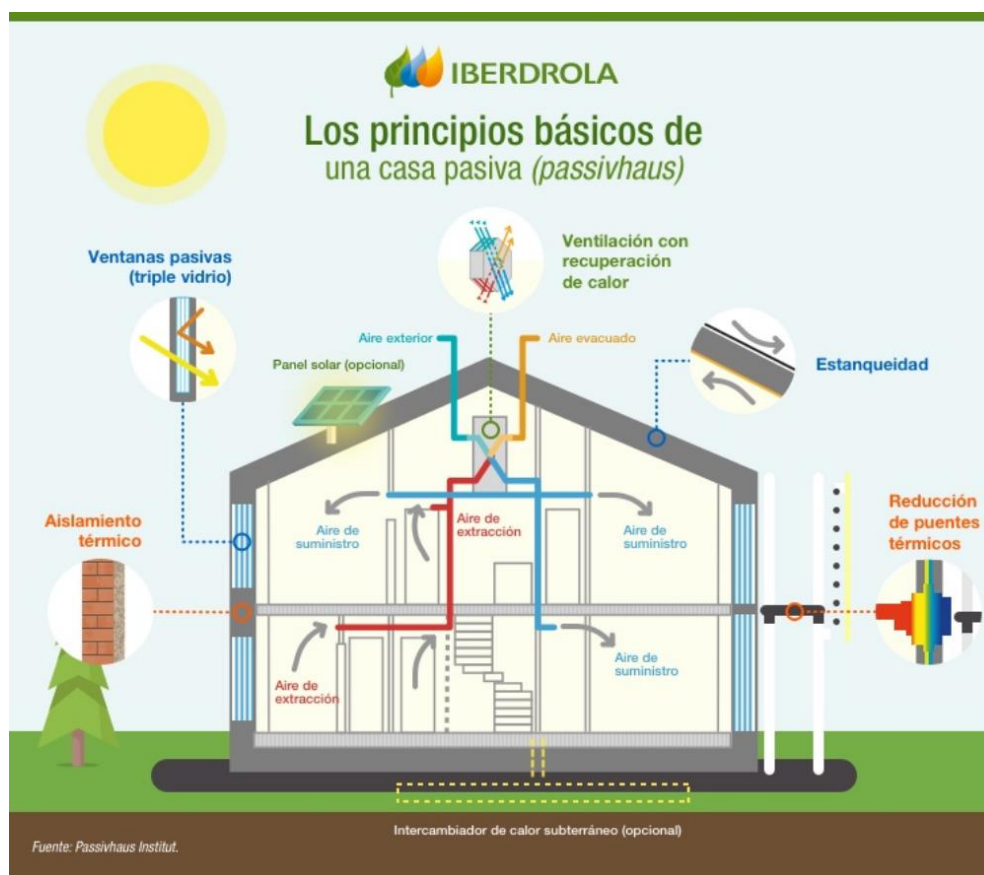
**Integración de energías renovables:** las construcciones bioclimáticas incorporan varios tipos de energías renovables para evitar consumir energía de la red.

**Materiales:** los edificios bioclimáticos utilizan materiales sustentables, como la madera, fibras naturales, piedra, materiales reciclados, etc., que reducen los impactos de la construcción.

### 11.3 Casas pasivas

Conocidas como “Passivhaus” por su nombre en alemán, son un tipo de construcción que, además de adaptar la edificación a las condiciones del entorno, lo hacen con el consumo de energía interno, para reducir la necesidad de energía térmica. Estas construcciones deben cumplir con especificaciones establecidas en el estándar del “Passivhaus” “Institut” para obtener una certificación.

**Figura 47.** Principios de una casa pasiva



Nota. Tomada de Iberdrola (s. f.).



Otra forma de construcción sostenible es la arquitectura vernácula, que incluye las técnicas con las que se construían casas en la antigüedad, cuando no existían los medios para climatizar, por lo que las viviendas se concebían para dar confort térmico, además de estar hechas de materiales sostenibles. La tapia o el bahareque son ejemplos de arquitectura vernácula sostenible.

## **12. Mantenimiento Centrado en la Eficiencia Energética – MCEE**

En el siguiente recurso se indica cómo realizar un mantenimiento adecuado para mantener la eficiencia energética.

### **El Mantenimiento Centrado en la Eficiencia Energética (MCEE)**

Es una premisa de mantenimiento que tiene como objetivos mantener y mejorar la eficiencia energética de los equipos, incluyendo dichos objetivos en el plan de mantenimiento. El propósito del MCEE es racionalizar los costos operativos asociados al consumo de energía y las emisiones de GEI.

#### **El MCEE...**

No es una filosofía de mantenimiento desarrollada para reemplazar otras, sino que complementa las filosofías de mantenimiento centradas en la confiabilidad, el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.

#### **El mantenimiento centrado en la confiabilidad**

Busca garantizar la continuidad de la operación y la disponibilidad de los equipos, sin dar mayor importancia a la eficiencia energética de los equipos. Por su parte, el MCEE se diferencia en que se planifican las tareas de mantenimiento para prevenir y corregir caídas en la eficiencia energética. Por lo tanto, en el MCEE una disminución considerable en la eficiencia energética es tratada como un fallo que debe ser corregido. Una de las metodologías más extendidas en Colombia para implementar el MCEE es la planteada en García, Campos y Vanegas (2018).



### **Y consiste en:**

1. Identificar los Usos Significativos de Energía (USE), que son los equipos con consumo energético más significativo y que, por tanto, representan las oportunidades de mejora que se deben priorizar.
2. Determinar los subsistemas que intervienen en la operación del equipo.
3. Definir las funciones de los equipos USE, su funcionamiento, las variables de interés y sus valores en operación normal.

### **Sigue con...**

Hacer un análisis de falla energética, es decir, identificar cuándo hay una deficiencia en el funcionamiento del equipo que afecta la eficiencia energética y la operación normal establecida por el fabricante. Las fallas se manifiestan cuando hay un consumo de energía atípico, superior al promedio en operación normal. Diagnosticar las causas y efectos de la falla. Esto es, identificar cuáles son los elementos o subsistemas que están deteriorando la eficiencia energética y por qué están funcionando por fuera de la operación deseada. Este paso es necesario para definir cuáles son las acciones correctivas que se deben tomar.

### **Busca también...**

Seleccionar los componentes o subsistemas que más influyen en el consumo de energía del equipo y que son importantes para la operación. Estos son los que serán intervenidos para mantener la eficiencia o corregirla cuando haya una falla. Los componentes y subsistemas seleccionados deben ser monitoreados para evaluar la efectividad de los mantenimientos preventivos o correctivos.

Recolectar y analizar los datos más relevantes para la evaluación de la eficiencia energética del equipo.

Diseñar las tareas de mantenimiento para la corrección, prevención o predicción de las fallas energéticas. Se deben definir las actividades que se deben realizar, éstas

comprenden desde el monitoreo hasta la reparación de piezas o subsistemas que están causando falla.

### **Y, por último,**

Se debe implementar el programa definido en el paso anterior, creando los manuales, herramientas y capacitaciones necesarios para la mejora en la eficiencia energética en los equipos.

Evaluar el comportamiento de la eficiencia energética con la implementación del programa de MCEE para establecer si se están mejorando, empeorando o manteniendo iguales los niveles de consumo de energía en operación. Los resultados de las evaluaciones permiten tomar decisiones sobre el programa de MCEE y estimar si hay un ahorro económico lo suficientemente significativo para hacer viable la continuación del plan de mantenimiento.

**Para cuantificar el desempeño del equipo frente al consumo de energía se puede hacer uso de la siguiente fórmula, llamada Indicador de base 100.**

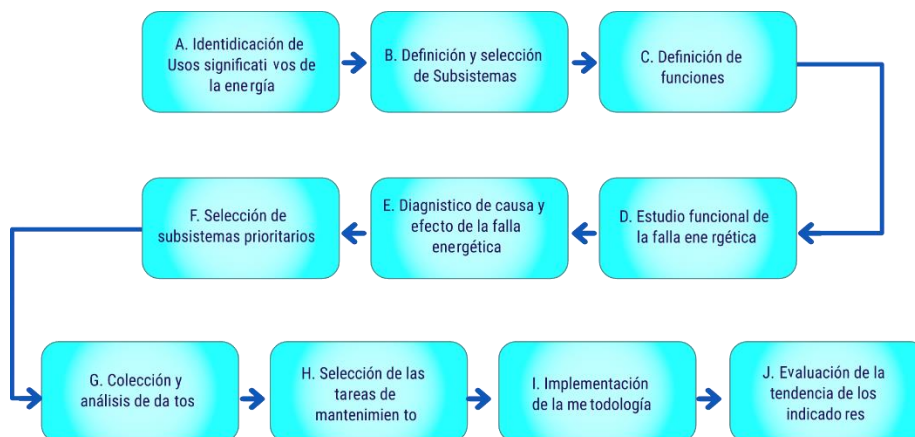
$$\text{Indicador base 100} = \frac{\text{Consumo energético teórico [kWh]}}{\text{Consumo energético real [kWh]}}$$

Donde el consumo energético teórico representa el consumo de energía de referencia, indicado en los manuales de los equipos o en las mediciones realizadas bajo operación óptima. El consumo energético real es el consumo de energía medido luego de la implementación del plan de mantenimiento MCEE.

### **Cuando el indicador de base 100 es mayor que 1**

Quiere decir que hubo una reducción en el consumo de energía, por lo que el plan de mantenimiento ha tenido un impacto positivo para la eficiencia, mientras que un valor inferior a 1 indica un aumento en el consumo y, por ende, una reducción de la eficiencia. Las mediciones y el cálculo del indicador se deben realizar periódicamente para tener suficientes datos para evaluar el desempeño del MCEE.

**Figura 48.** Esquema de la metodología MCEE



Dado que en esta filosofía de mantenimiento la ineficiencia energética se trata como una falla, toda medida en pro de la mejora en la eficiencia es una forma de superar la falla. Por lo que los planes de mantenimiento deben ser diseñados de forma que se monitoreen y ejecuten tareas orientadas a disminuir el consumo de energía asociado a la operación.

Como ejemplo, una planta en la que se use una caldera que no cuenta con economizador de calor, debe procurar corregir esa ausencia implementando un recuperador de calor para aumentar la eficiencia e incluirlo en el programa de mantenimiento para el monitoreo y corrección de la operación de todo el conjunto del equipo. Si en una planta se trabaja con equipos que producen altas vibraciones, el monitoreo y la reducción de vibraciones es una medida correctiva para mejorar la eficiencia.

Para implementar de forma exitosa la metodología para el MCEE se deben tener claros los objetivos de eficiencia en los equipos que tienen oportunidad de mejora y definir los parámetros que permiten la evaluación del desempeño de estos. Algunas de las variables de interés son difíciles de medir, por lo que se deben buscar medios que lo permitan. Además, es necesario hacer uso de la información disponible de los equipos, como manuales y recomendaciones técnicas de los fabricantes, para tener una referencia de la estabilidad, mejora o retroceso en la eficiencia energética. Es recomendable implementar herramientas tecnológicas como software para el monitoreo del consumo energético y de las demás variables de interés, el control de las tareas de mantenimiento y la programación de tareas futuras.

Con el avance en las ciencias de datos y el Big data se pueden implementar algoritmos para la extracción de información que puede resultar en mejoras en el mantenimiento preventivo. Las medidas técnicas deben estar acompañadas de programas de pedagogía organizacional en torno a la importancia de la reducción del consumo de energía y de recursos, para que un mayor número de colaboradores participen identificando las oportunidades de ahorro energético y diseñen planes correctivos.

## Síntesis

A continuación, se muestra un mapa conceptual con los elementos más importantes desarrollados en este componente.



## Material complementario

Tema	Referencia APA del Material	Tipo de material	Enlace del Recurso o Archivo del documento material
Intercambiador de calor	Alfa Laval. (2019). Cómo funciona un intercambiador de calor.	Video	<a href="https://corporate.alfalaval.com/como-funciona-un-intercambiador-de">https://corporate.alfalaval.com/como-funciona-un-intercambiador-de</a>
Componentes de una caldera	Attsu Térmica. (2019). ATTSU Caldera de vapor RL - Explicación funcionamiento.	Video	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=QJRaP0BDt7I">https://www.youtube.com/watch?v=QJRaP0BDt7I</a>
Cogeneración	Tecnológico de Monterrey Innovación Educativa. (2017). La cogeneración como estrategia para el aprovechamiento de la energía.	Video	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=r0MFyzJAueI">https://www.youtube.com/watch?v=r0MFyzJAueI</a>
Motores eléctricos	Mentalidad de ingeniería. (2021). Cómo funcionan los motores eléctricos - motores de inducción de CA trifásicos motor de CA.	Video	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=MuNEI1b1F4w">https://www.youtube.com/watch?v=MuNEI1b1F4w</a>
Automatización y digitalización para la eficiencia energética	Refrigeración Industrial Beirute. (2019). ¿Qué es el BMS?.	Video	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=H39neD0i0Vw">https://www.youtube.com/watch?v=H39neD0i0Vw</a>
Distritos térmicos	Empresas Públicas de Medellín. (2017). Distrito Térmico EPM, un proyecto que contribuye a la eficiencia energética y al cuidado del medio ambiente en Medellín. EPM.	Página Web	<a href="https://www.epm.com.co/site/inversionistas/inversionistas/noticias-y-novedades/distrito-t%C3%A9rmico-epm-un-proyecto-que-contribuye-a-la-eficiencia-energ%C3%A9tica">https://www.epm.com.co/site/inversionistas/inversionistas/noticias-y-novedades/distrito-t%C3%A9rmico-epm-un-proyecto-que-contribuye-a-la-eficiencia-energ%C3%A9tica</a>

Distritos térmicos	Celsia Energía. (2017). Distrito Térmico - Celsia.	Video	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=D5FFNx_3zy0">https://www.youtube.com/watch?v=D5FFNx_3zy0</a>
Hornos rotatorios	Asseguratte. (s. f.). Etapas de fabricación del cemento.	Video (Recorrido virtual)	<a href="https://www.asseguratte.es/asseguratte360/videos/web/index.htm">https://www.asseguratte.es/asseguratte360/videos/web/index.htm</a>
Altos hornos	Documentales TV. (2014). Funcionamiento alto horno.	Video	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=WerjnrTqI0">https://www.youtube.com/watch?v=WerjnrTqI0</a>
Hornos de arco eléctrico	Miquelmatias. (2012). Horno de arco eléctrico - Herramientas.	Video	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=0bKbBJUR7hk">https://www.youtube.com/watch?v=0bKbBJUR7hk</a>
Arquitectura bioclimática	Proyectartv. (2017). ¿Qué es la arquitectura bioclimática?	Video	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=dCYdFWGseCI&amp;t=1s">https://www.youtube.com/watch?v=dCYdFWGseCI&amp;t=1s</a>

## Glosario

**Big data:** procesamiento de gran cantidad de datos generados por sistemas electrónicos.

**Capa de ozono:** zona de la atmósfera con una concentración alta de O<sub>3</sub> (ozono). Bloquea parte de los rayos ultravioleta nocivos provenientes del sol.

**Casa pasiva:** edificación diseñada para mantener una temperatura confortable y estable de forma natural, sin recurrir a sistemas de climatización, o requiriéndolos en muy pocas ocasiones.

**Ciencia de datos:** disciplina dedicada al análisis y extracción de información implícita contenida en grandes volúmenes de datos (Big data).

**Domótica:** implementación de sistemas automatizados de control de electrodomésticos, iluminación y climatización en casas.

**Eficacia:** indica en qué medida se cumple el propósito para el que un sistema fue diseñado, sin tener en cuenta qué tan eficiente fue el proceso.

**Eficiencia térmica:** relación entre la energía aportada a un sistema y la energía útil producida por el mismo para el propósito con el que fue diseñado.

**Gases de Efecto Invernadero (GEI):** gases que al llegar a la atmósfera tienen la capacidad de absorber calor del sol y mantenerlo. En grandes cantidades tiene el potencial de aumentar la temperatura media del planeta.

**Internet de las cosas:** uso de dispositivos electrónicos conectados a internet para monitorear y controlar las funciones y el desempeño de un equipo.



## Referencias bibliográficas

Agencia de Sostenibilidad Energética. (2018). Guía Implementación de Sistemas de Gestión de la Energía basados en ISO 50001. Cuarta edición.

<https://drive.google.com/file/d/1OBbFU1XgjCcUt4r8gt79EVubc-oLsHAY/view>

CONUEE (2016). Manual para la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía. Segunda Edición.

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/119159/Manual\\_SGEEn\\_Conuee\\_2da\\_Edicion.compressed.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/119159/Manual_SGEEn_Conuee_2da_Edicion.compressed.pdf)

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2017). Guía Técnica Colombiana. Sistemas de gestión de la energía. Medición del desempeño energético usando líneas de base energética (LBE) e indicadores de desempeño energético (IDE). Principios generales y lineamientos. (GTC-ISO 50006:2017).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2019). Norma Técnica Colombiana. Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. (NTC-ISO 50001:2019).

Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética - RECIEE. (2019). Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía - Guía con base en la norma ISO 50001:2018. Segunda edición.

[https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/EEIColombia/Guia\\_estructura\\_ISO50001.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/EEIColombia/Guia_estructura_ISO50001.pdf)

Unidad de Planeación Minero Energética-UPME. (2021). Proyectos de eficiencia energética. <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/Proyectos-de-eficiencia-energetica.aspx>

Unidad de Planeación Minero Energética-UPME. (2020). Guía de Planes de Gestión Eficiente de la Energía en Entidades Públicas.

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Guia\\_liviana\\_PGEE.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Guia_liviana_PGEE.pdf)

## Créditos

Nombre	Cargo	Regional y Centro de Formación
Claudia Patricia Aristizábal	Responsable del Equipo	Dirección General
Norma Constanza Morales Cruz	Responsable de línea de producción	Regional Tolima Centro de Comercio y Servicios
Linda Díaz Rivera	Experta temática	Global Green Growth Institute (GGGI)
<u>Leidy Carolina Arias Aguirre</u>	Diseñadora instruccional	Regional Distrito Capital- Centro de diseño y metrología
Carolina Coca Salazar	Revisora Metodológica y Pedagógica	Regional Distrito Capital- Centro de diseño y metrología
Rafael Neftalí Lizcano Reyes	Responsable Equipo Desarrollo Curricular	Regional Santander - Centro Industrial del Diseño y la Manufactura
José Gabriel Ortiz Abella	Corrector de estilo	Regional Distrito Capital - Centro de Diseño y Metrología
Juan Gilberto Giraldo Cortés	Diseñador instruccional	Regional del Tolima – Centro de Comercio y Servicios
María Inés Machado López	Metodóloga	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
José Yobani Penagos Mora	Diseñador Web	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Oscar Daniel Espitia Marín	Desarrollador Fullstack	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Gilberto Junior Rodríguez Rodríguez	Storyboard e Ilustración	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Nelson Iván Vera Briceño	Producción audiovisual	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios

Oleg Litvin	Animador	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Francisco Javier Vásquez Suarez	Actividad Didáctica	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Jorge Bustos Gómez	Validación y vinculación en plataforma LMS	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Gilberto Naranjo Farfán	Validación de contenidos accesibles	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios