

# Recuperación de calor de proceso



*Dirección de Enlace y Programas Regionales*  
*Apoyo al Sector Privado*

**Contenido**

<b>1</b>	<b>Sistemas de recuperación de calor.....</b>	<b>3</b>
1.1	Objetivo .....	3
<b>2</b>	<b>Recuperación directa de calor.....</b>	<b>6</b>
2.1	Transferencia de calor de gas a gas .....	6
2.2	Transferencia de calor de líquido a líquido.....	7
2.3	Transferencia de calor de gas a líquido .....	8
<b>3</b>	<b>Recuperación indirecta de calor.....</b>	<b>9</b>
3.1	Térmica-térmica.....	9
3.2	Térmica a mecánica o eléctrica.....	10
<b>4</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>12</b>

## 1 Sistemas de recuperación de calor

### 1.1 Objetivo

Identificar y describir varios métodos de recuperación de calor y tecnologías. La recuperación de calor constituye una forma de optimización del suministro de energía térmica.

Nota: La recuperación de calor debe considerarse solamente después de haber examinado o implementado todas las demás oportunidades operativas. El orden en que se realizan las acciones es muy importante.

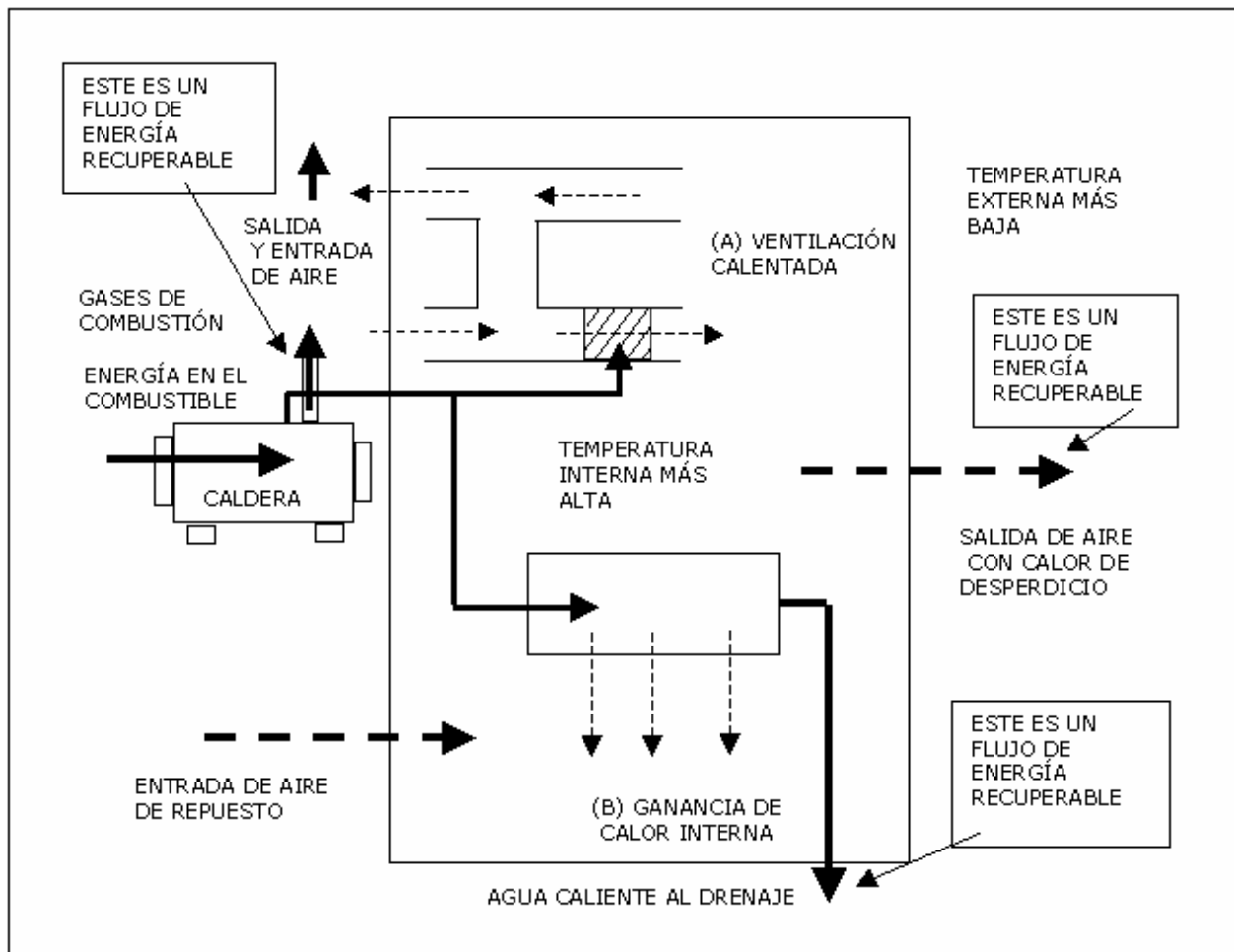


Figura 1.1 Flujos de energía de desperdicio

La Fig. 1.1 muestra un diagrama de flujo de energía simple en una planta con flujos salientes de energía identificados. Éstos se denominan energía (o calor) de desperdicio, ya que no son necesarios para los procesos que los descargan. Sin embargo, pueden ser utilizados por otros procesos o sistemas que utilizan energía. Encontrar los usos más adecuados para estos flujos de energía, implica el contestar algunas preguntas clave:

- ¿Cuáles son las fuentes de calor de desperdicio disponibles?

- ¿De cuánta cantidad de calor (energía) se dispone?
- ¿A qué temperatura está disponible el calor?
- ¿Dónde puede utilizarse el calor?
- ¿Cuánto calor se requiere y a qué temperatura?
- ¿A qué hora coincide el desperdicio de calor y la demanda del mismo?
- ¿Cuál es el grado de recuperación práctico?
- ¿Qué porción del calor de desperdicio puede utilizarse?

La existencia de una corriente de calor de desperdicio saliente de un sistema o proceso, puede ser una oportunidad para utilizar esta energía de baja temperatura en otro proceso. Como lo establece uno de los principios básicos de la termodinámica, el calor sólo puede fluir de los cuerpos calientes hacia los más fríos y por lo mismo, cualquier intento por incrementar la temperatura de un proceso debe involucrar el uso de una fuente de energía más caliente.

Esta fuente de energía sólo podrá ser útil al proceso en tanto que su temperatura sea más alta que la del “vertedero” que está alimentando. Llega un punto en el que la fuente de calor deja de ser útil para esa tarea y el calor se desecha. Sin embargo, si esa fuente de calor es más caliente que la necesaria para otra tarea (por ej. el agua de enfriamiento a 40° C está más caliente que la requerida para calefacción de oficinas), puede dejar de considerarse desperdicio y convertirse en una fuente utilizable de energía para economizar recursos y optimizar el suministro.

La recuperación de calor implica mover energía en forma de calor de un sistema hacia otro. El equipo que hace esto posible es el intercambiador de calor. Para determinar su capacidad y la viabilidad de realizar la transferencia, se necesita conocer las características tanto de la fuente de calor como las del proceso que se quiere alimentar (vertedero) en términos de flujos, calores específicos y temperaturas de entrada. Balanceando las energías de las dos corrientes, se puede determinar el tamaño y características del intercambiador necesario. La tabla 1.1 presenta una lista de los intercambiadores típicos y sus aplicaciones.

Tipo	Régimen	Cambiador	Usos
Recuperación directa de calor	Gas - Gas	Flujo cruzado Rotativo Regenerativo	Recuperación de calor de gases de combustión Escape de calor en alta temperatura y bajo volumen Calentamiento de aire en comercios
	Líquido - Líquido	Coraza y tubos Espiral Placas Heliflow	Agua para proceso Enfriadores de aceite Enfriado a alta presión Agua para lecherías, cremerías
	Gas - Líquido	Caldera de recuperación Enfriamiento evaporativo de aire	Escape de hornos y motores Enfriamiento de agua, Humidificación, Lavadoras de gases Enfriamiento de aceite Calefacción de edificios
Recuperación indirecta de calor	Térmica - Térmica	Bomba de calor Enfriador por absorción Tanque flash Recompresión mecánica de vapor Combustión de gases de desecho	Calefacción de edificios Producción de agua caliente Enfriado de agua Purgas de caldera Cervecerías Ingenios azucareros Tratamiento de aguas Fundiciones
	Térmica – Mecánica / Eléctrica	Turbina de expansión Ciclos Rankine	Plantas químicas Gases de desperdicio a alta temperatura

Tabla 1.1 Tipos de intercambiadores de calor y sus usos típicos

## 2 Recuperación directa de calor

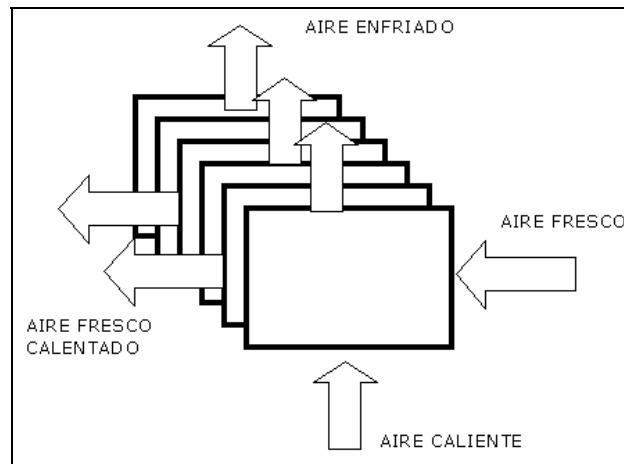
La recuperación directa de calor es la transferencia de energía de una corriente de proceso a otra, sin la adición de trabajo o alguna otra forma de energía por una fuente externa. Recuerde que la energía se degradará, ya que el calor fluirá solamente desde una fuente “caliente” hacia un vertedero más “frío”. Dependiendo del diseño del vertedero de calor, la diferencia entre estas dos temperaturas puede ser de tan sólo algunos grados.

### 2.1 Transferencia de calor de gas a gas

Es muy reducida la transferencia de calor entre dos gases y en la mayoría de los casos requiere una caída de temperatura alta ( $>10^{\circ}\text{C}$ ) entre la fuente y el vertedero para obtener buenos resultados. Para evitar el uso de ventiladores de extracción, la caída de presión a través del cambiador de calor debe de ser muy baja, lo que deriva en superficies de intercambio y componentes muy grandes. Los materiales con que se construyen dependen de la temperatura, presión y propiedades de los gases que se manejarán. En la mayoría de los casos se utilizan materiales de alta conductividad térmica, como el aluminio y el cobre. Los diseños típicos son:

#### A. FLUJO CRUZADO.

Se utiliza en la mayoría de los casos, en intercambiadores pequeños (p. ej. Cambiadores residenciales). Consisten en una serie de placas separadas por las que pasan, a través de los espacios adyacentes, los dos flujos de gases.



**Figura 2.1 Flujo cruzado**

#### B. ROTATIVO

Consiste en una rueda motorizada que gira lentamente entre las corrientes de gases (aisladas) fría y caliente. El gas caliente calienta la rueda, la cual gira hacia la corriente de gas frío. Se usa para grandes volúmenes de gas.

Cambiadores de calor regenerativos – En estos cambiadores, las corrientes caliente y fría están alternando periódicamente entre dos bloques estacionarios que absorben y liberan el calor.

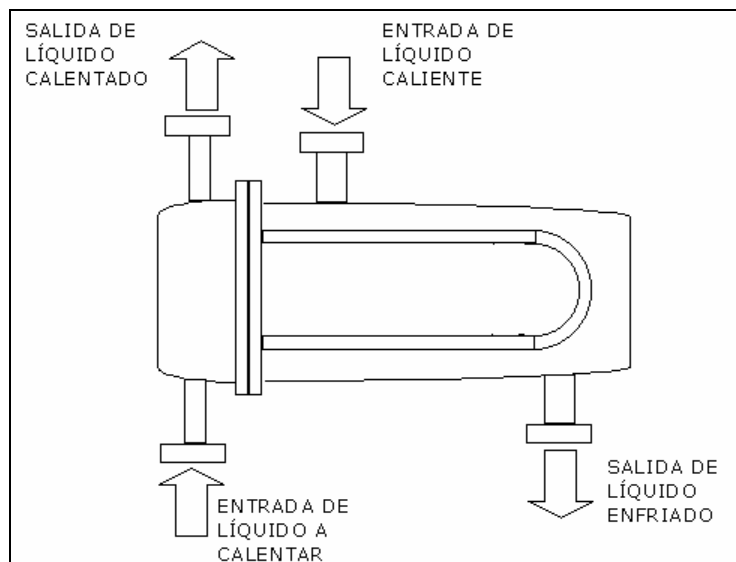
El costo de los cambiadores depende principalmente de su capacidad, los materiales con que están contruidos y la complejidad técnica de su diseño y construcción. Por ejemplo, el costo de un cambiador rotativo es mayor que uno de flujo cruzado, más complejo y más eficiente, pero más caro.

## 2.2 Transferencia de calor de líquido a líquido

Por su gran cantidad de aplicaciones, este es el tipo más común de cambiadores de calor; algunos de éstos han sido diseñados para diferenciales de temperatura tan bajos como 3° C. Las pérdidas de presión interna son normalmente bajas (< 0.07 kg/cm<sup>2</sup>), incluso con velocidades altas de corriente, permitiendo una buena transferencia de calor en diseños compactos. Las presiones y las temperaturas de los sistemas son mayores a las de las unidades gas-gas y los equipos se diseñan frecuentemente según las normas para recipientes a presión ASME. Los diseños más comunes de intercambiadores de calor líquido a líquido son:

### A. CARCAZA Y TUBOS

Son diseños estándar, utilizados para muchas aplicaciones y disponibles en una gran variedad de cabezas, carcazas y tubos, con y sin aletas, mamparas, tipos de material, etc. Este tipo de cambiador puede ser diseñado prácticamente para cualquier presión y temperatura.



**Figura 2.2 Intercambiador de carcaza y tubos**

### B. PLACAS

Son de un diseño compacto, que ofrece la posibilidad de utilizar el menor diferencial de temperaturas entre la fuente y el sumidero. Pueden ser desarmados fácilmente para su limpieza; se utiliza frecuentemente en

tratamiento de agua y en la industria de los lácteos. Limitado a 120°C y 21 kg/cm<sup>2</sup>, debido a los sellos entre las placas.

### **C. ESPIRAL**

Es el diseño más eficiente para sistemas de alta presión. Constituido por placas con canales en espiral a contracorriente entre cada placa, suministran una transmisión de calor excelente y son de diseño compacto.

### **D. HELICOIDALES**

Consisten en un tubo con forma de espiral dentro de un recipiente parecido a un bote. Son muy eficientes, libres de fugas y muy efectivos para enfriadores de aceite y aplicaciones de baja capacidad.

De estos diseños, los de carcaza y tubos y el helicoidal son los más baratos, pero están limitados en eficiencia y tamaño. Las unidades de placas son más eficientes, más caras y limitados para aplicaciones a baja presión (< 21 kg/cm<sup>2</sup>). Los cambiadores del tipo espiral son, por mucho, los más caros, pero también los más eficientes para aplicaciones de alta presión (arriba de los 21 kg/cm<sup>2</sup>).

## **2.3 Transferencia de calor de gas a líquido**

La transferencia de calor entre una corriente de gas y un líquido es una de las formas más comunes de transferir energía en una planta industrial. Este proceso se mejora mediante el uso de aletas del lado del gas o mediante el diseño en forma de espiral de los tubos que van dentro del ducto de gas. Un ejemplo típico son los tubos en espiral de los equipos de calefacción en edificios.

Dentro de otras técnicas típicas para el intercambio de calor, se incluyen:

### **A. CALDERAS DE RECUPERACIÓN**

Los gases calientes (p. ej. gases de combustión) se utilizan para generar vapor. Normalmente son de diseño vertical, de tubos de humo y en la mayoría de los casos se necesita el apoyo de un quemador de combustible convencional.

### **B. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO**

Es la forma más común para intercambiar calor entre gas y líquido, la más compacta y barata. Las gotas de líquido descienden por gravedad y están en contacto físico con la corriente de gas ascendente. Este tipo puede usarse para enfriar el gas o la corriente de líquido. El ejemplo típico de este proceso son las torres de enfriamiento de agua.

### **C. ENFRIAMIENTO CON AIRE**

Su tamaño varía desde los radiadores de automóvil hasta unidades condensadoras muy grandes. Requieren de potencia extra para mover radiadores y/o bombas. Pueden ser los mayores y más caros intercambiadores de calor.

### 3 Recuperación indirecta de calor

La recuperación indirecta de calor implica la transferencia y conversión de una forma de energía a otra, posiblemente a través de la adición de energía externa. Se considera usualmente una alternativa secundaria a la recuperación directa, debido a que se obtiene una energía de menor grado y que se requiere el uso de energía adicional de alto grado, como la electricidad o un combustible.

#### 3.1 *Térmica-térmica*

Mejorar una fuente de energía térmica puede realizarse de muchas formas: Mediante bombas de calor, enfriadores de absorción, recompresión mecánica de vapor, tanques flash o la combustión de gases de desecho.

##### **A. BOMBA DE CALOR**

La bomba de calor es en esencia un circuito de refrigeración. La energía se recupera de una fuente con calor de baja calidad (el interior del refrigerador) transfiriéndola a un refrigerante con baja temperatura de vaporización. El refrigerante vaporizado es comprimido para aumentar su temperatura por arriba de la del vertedero de calor (la de la cocina).

En el siguiente paso, se deja condensar al refrigerante, que se licua y enfría. Una vez en estado líquido y enfriado, se expande reduciendo aún más su temperatura antes de ser enviado de nuevo a la fuente de calor. Al aplicar este principio a un proceso, se puede recuperar energía de una corriente de un gas o líquido a baja temperatura y suministrarla a otra corriente de mayor temperatura.

Las bombas de calor tienen coeficientes de comportamiento (COP) de entre tres y cuatro. Es decir, por cada unidad de energía utilizada en compresión, tres o cuatro unidades se extraen hacia el vertedero de calor.

##### **B. ENFRIADORES POR ABSORCIÓN**

De la misma forma que las bombas de calor, un enfriador por absorción puede extraer calor de una fuente de baja temperatura y enviarlo a un vertedero a una temperatura mayor. En estos sistemas el refrigerante es una solución de bromuro de litio y agua, la cual absorbe agua con una ganancia de energía considerable.

Al añadir calor de una fuente como vapor de baja presión, la concentración de la solución se aumenta. Ésta es luego transferida a otro lugar donde es vuelta a diluir para extraer calor de los alrededores. El proceso requiere vapor de baja presión ( $1 \text{ kg/cm}^2$ ), un suministro de agua de enfriamiento y una corriente de proceso para ser enfriada.

Tanto los enfriadores por absorción como las bombas de calor pueden usarse para transferir calor de una fuente de energía que se puede beneficiar al enfriarse, hacia otra que puede ser calentada (calefacción, precalentamiento de aire, precalentamiento de agua de alimentación a calderas).

##### **C. TANQUE FLASH**

Una corriente de líquido a temperatura media, pero con alta presión, puede ser reutilizada si se reduce rápidamente su presión. A una presión menor, una parte del líquido se convierte en vapor y puede ser

utilizado en algún lugar del proceso. Aunque no es un proceso muy eficiente, resulta un buen método para obtener vapor limpio partiendo de agua contaminada.

#### **D. RECOMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR**

El vapor de baja presión puede ser mejorado mediante su compresión mecánica. Este procedimiento es común donde se requieren grandes cantidades de vapor a baja presión, por ejemplo, para la evaporación de solución de azúcar, producción de sal, destilerías, etc. Debido a la compresibilidad del vapor de agua a baja presión, el proceso es intensivo en uso de energía y mucha de ésta se transforma en sobrecalentamiento del vapor recomprimido.

#### **E. COMBUSTIÓN DE GASES DE DESECHO**

Algunos procesos (como la combustión anaeróbica) producen gases que contienen componentes combustibles. Estos gases pueden ser introducidos como combustibles complementarios al utilizado en un proceso de combustión y reducir el suministro de gas o derivados del petróleo comprados.

### **3.2 Térmica a mecánica o eléctrica**

Este es el método de recuperación o reuso de energía más complejo, menos eficiente y más costoso. Se necesita una fuente de energía de alta calidad (p. ej: alta temperatura y presión). Cada operación deriva en una degradación de la fuente de energía y puede ser considerada como una fuente en sí misma con oportunidad de recuperación de calor.

#### **A. TURBINAS DE EXPANSIÓN**

Son utilizadas como sustitución de válvulas reductoras de presión en algunas aplicaciones. El vapor de alta presión, gas o algún otro tipo de vapor es expandido a través de una turbina y, acoplado a ella un generador, bomba, etc., el trabajo obtenido puede sustituir al realizado por un motor eléctrico. Las eficiencias de expansión varían entre el 30 y el 75%, dependiendo del diseño de la unidad. La sustitución de una válvula reductora es posible si la electricidad recuperada es mayor a los 250 kW.

La turbina obtiene trabajo de la corriente de vapor, cosa que no ocurre con la válvula reductora. Este trabajo obtenido debe ser considerado en los balances de energía, en caso de que el vapor expandido se utilice en alguna otra parte del proceso.

#### **B. CICLO RANKINE**

Es la base de los ciclos de generación de energía eléctrica con turbinas de vapor. Utiliza varias formas de transferencia de calor para, finalmente, convertir energía térmica de alta calidad en energía mecánica. En estos ciclos, una fuente de calor a alta temperatura (>300°C) transfiere su energía a una corriente de un líquido que hierve bajo presión.

El vapor a presión hace girar una turbina de expansión conectada a un generador eléctrico, un compresor o alguna otra forma de equipo mecánico. El vapor expansionado se condensa a baja presión en un condensador, proporcionando una fuente recuperable de calor de desperdicio; después, el condensado se regresa nuevamente a la caldera.

Este tipo de conversión de energía requiere de operarios calificados y su costo puede estimarse en alrededor de los 10 000 \$/kW de potencia. Es práctico sólo cuándo se genera más de 1 MW de potencia eléctrica.

---

## 4 Referencias

1. Dollars to Sense: Spot the Energy Savings Opportunities, Natural Resources Canada, 2005