

## 4 - Ejemplos

### 4-1 Retorno de condensado



Condensado caliente hacia un sistema de drenaje con 98°C

Ejemplo: para producir 1 t de vapor saturado a 1 bar de presión (punto de ebullición 100°C) es necesaria la siguiente energía:

1. temperatura del agua fresca (asumir 20°C) hasta el punto de ebullición de 100°C

$$Q = m c_p \Delta T = 1000 \text{ kg } 4.2 \text{ kJ/kg K } (100-20) = 336 \text{ MJ}$$

2. Evaporando agua a vapor a 1 bar

$$Q = m \Delta h_v = 1000 \text{ kg } 2260 \text{ kJ/kg} = 2260 \text{ MJ}$$

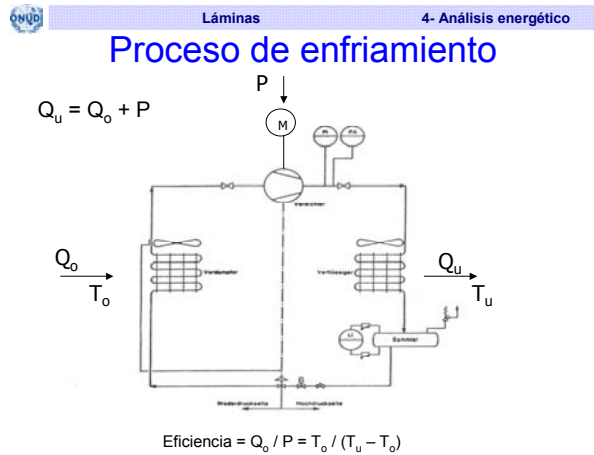
TOTAL DE ENERGIA DE ENTRADA: aprox. 2600 MJ

Para calentar agua fresca hasta la temperatura de ebullición se requiere aproximadamente el **13%** del consumo de energía para la producción de vapor.

Esto significa que debe tenerse un especial cuidado para recuperar el condensado antes de que salga para el sistema de drenaje. Incluso si el condensado puede ser recuperado a niveles bajos de temperatura de 60 a 80°C, puede ahorrarse alrededor del 7 al 10% del consumo de energía, por la simple recolección y retorno del condensado a un tanque de recolección (éste debe estar aislado) para alimentar la caldera con esta agua.

4-2 Enfriamiento

El principio de un proceso de enfriamiento es mostrado en el siguiente diagrama. En el área de enfriamiento el agente refrigerante es evaporado. Por ese calor absorbido la cámara o el producto es enfriado. Entonces, el agente refrigerante va hacia el compresor donde la presión y la temperatura se elevan. En el condensador, todo el calor de la evaporación  $Q_o$  y del trabajo del compresor necesitan ser eliminados a una temperatura  $T_u$ .



En el libro de texto se muestran los puntos para el mejoramiento del enfriamiento. Antes de hablar sobre mejoramientos tecnológicos por cambios en el ciclo de enfriamiento; cambiando el refrigerante; el espesor del aislamiento de la pared, techo y pisos, recuperación del calor y otros, deben ser analizadas primeramente las medidas de organización y de buenas prácticas.

¿Las temperaturas actuales son necesarias y las que deben alcanzarse? Cada grado de temperatura más o menos hace una diferencia. ¿Los servicios de enfriamiento y la cantidad de productos congelados están en una proporción razonable?



Capa de hielo en el evaporador



Producto enfriado versus tamaño de la cámara de enfriamiento.

Una capa de hielo en el evaporador disminuye la transferencia de calor. El agente refrigerante necesita operar a una temperatura más baja, el cual afectará negativamente la eficiencia del ciclo de enfriamiento.

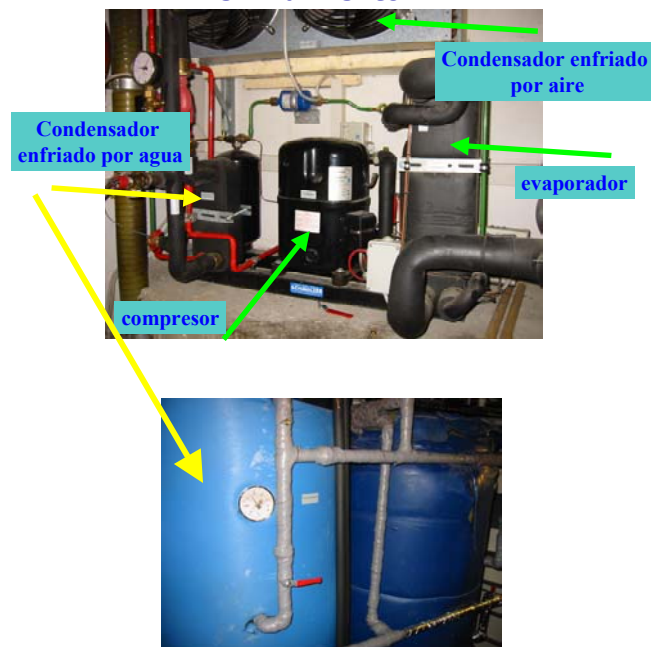
Un ejemplo de **recuperación de calor se muestra** para el área de la cocina y la cafetería de una gran compañía. En la cocina operan varias cámaras de enfriamiento (el ciclo de enfriamiento se muestra a continuación). En el caso específico el refrigerante produce agua fría en el evaporador, la cual es enviada a las cámaras de enfriamiento, donde es usada y retornada al evaporador (intercambiador de calor de placas en la foto) Por otro lado: Esta solución permite emplear una pequeña cantidad de refrigerante en el ciclo debido a que la longitud de la tubería es muy corta. En el condensador, enfriado por aire, el calor es eliminado. El aire de sale del condensador con una temperatura de 35 a 40°C.



Láminas

4- Análisis energético

### Recuperación de calor en unidades de enfriamiento -1

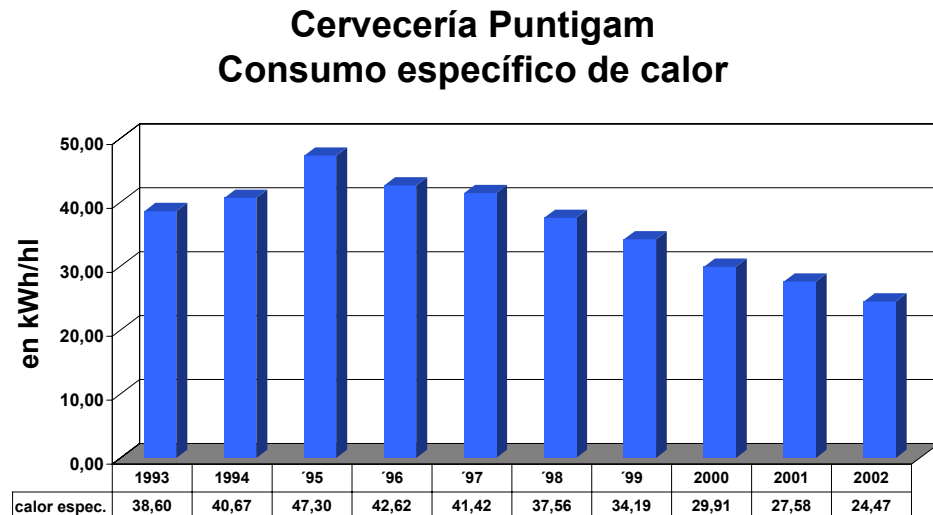


En el proceso modificado es instalado un segundo condensador pequeño enfriado con agua - otro intercambiador de calor de placa. Ahora en el condensador la energía ( $Q_o$  y  $P$ ) es eliminada por el calentamiento de agua fresca fría. Esta agua, que puede tener una temperatura de hasta 45°C, es almacenada y usada como agua caliente en la cocina para varios propósitos (limpieza, lavado de vajillas etc.) Si el agua se necesita a mayor temperatura, a veces a 60°C, entonces necesita ser calentada por electricidad o gas solamente la diferencia para alcanzar este nivel. Si existe suficiente agua caliente, puede ser operado el condensador enfriado por aire.

La experiencia demuestra que después del cambio en el sistema de recuperación de calor, no es necesario gas adicional para la producción de agua caliente.

**4-3 Ahorro de energía en una cervecería**

El siguiente gráfico muestra la demanda de calor específica en kWh/hl de cerveza en los últimos años para una cervecería con una producción anual de más de un millón de hl.



Esta reducción ha sido lograda por algunas medidas (entre ellas):

- Compresión de vapor en los procesos cerveceros
- Filtración en frío/pasteurización
- Optimización del ciclo de calentamiento
- Cogeneración de calor/energía eléctrica
- Mejoramiento del control de los ventiladores

### Compañía ECOPROFIT: Brau-Union Puntigam

cervecería, > 1 Millón hl, ISO 14.000

➤ Ahorros de agua, energía y productos químicos por algunas opciones de PML:

- filtración en frío/esterilización
- nueva línea de llenado
- co-generación de calor/electricidad
- compresión de vapor
- ...



proceso de filtración en frío

P

En esta cervecería se usa una nueva tecnología para pasteurizar la cerveza. En vez de calentar la cerveza hasta 70°C por razones de su pasteurización después de ser llenada en botellas – esto requiere, energía en forma de vapor y agua fría después – la cerveza es pasada por un **filtro frío** o **proceso de pasteurización en frío** directamente antes del llenado. Este proceso usa una membrana especialmente inventada y patentada que elimina todas las partículas que pueden causar problemas con la calidad. El sabor de la cerveza es diferente ya que no vuelve a calentarse después del llenado y hay ahorros de energía ya que no hay que calentar, ni posteriormente enfriar, la cerveza embotellada.

El uso de esta tecnología requiere un cuidado especial de los aspectos higiénicos dentro de la producción.

En el proceso de cervecería el caldo es calentado y una parte de él es evaporado. Para el calentamiento y evaporación se necesitan agua caliente y/o vapor. Una tecnología eficiente energéticamente es la conocida como **compresión de vapor**. Los vapores de un proceso cervecero son colectados y enviados a un compresor. El compresor eleva mecánicamente la presión y temperatura del vapor hasta que este pueda ser usado como fuente de calor en el proceso de producción de cerveza.

La ventaja del proceso es que el calor del vapor es usado y no desperdiciado. Excepto para la etapa de puesta en marcha no es necesaria una fuente de calor adicional, pero la electricidad es necesaria para que funcione el compresor (principio ver también en el ejemplo 4.5)



Unidad compresora de vapor

La **optimización de los ciclos de calentamiento** incluyen:

- Montar un ciclo de calentamiento propio y apagarlo completamente los fines de semanas.
- Control de la temperatura exterior
- Control de la temperatura del ciclo de calentamiento
- Apagar/reducir los equipos de calentamiento los fines de semana.

En los procesos de **cogeneración de calor y electricidad** de una compañía, el gas natural es quemado en un motor el cual es conectado con un generador que produce electricidad. Los gases calientes que salen del motor son usados para producir agua caliente de alrededor de 95°C la cual es usada en los procesos de producción de cerveza.

La eficiencia total de una unidad de cogeneración de electricidad con motor de gas o diesel es de alrededor de 80 a 84% (30 a 40% producción de electricidad). Esto significa una buena eficiencia y especialmente una buena selección si se requiere electricidad y calor al mismo tiempo.



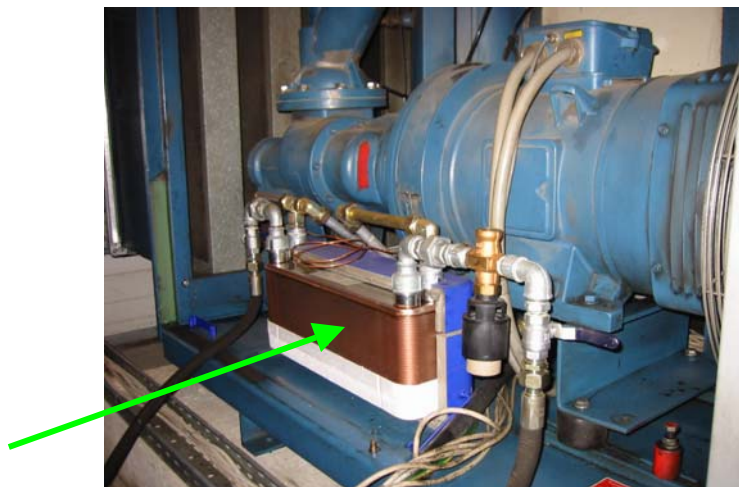
Cogeneración de calor/electricidad – motor de gas



### 4-4 Recuperación de calor a partir un compresor de aire

El 80 al 90% del trabajo del compresor es convertido en calor, que necesita ser retirado del compresor y del aire comprimido. El enfriamiento es hecho por aire – directo o parcialmente indirecto por aceite refrigerante, el cual necesita a su vez ser reenfriado.

Aquí una compañía decidió instalar un intercambiador de calor de placa adicional (ver figura).



Con el intercambiador de calor el aceite refrigerante caliente es enfriado alternativamente con agua para su retorno. Puede ser producida un agua caliente de 40 a 45°C, almacenada y más tarde usada en la producción.

Un compresor de 50 kW opera aproximadamente 8 horas por día a plena carga. Si el 80% del consumo de electricidad necesita ser retirada por enfriamiento,

$$8 \text{ horas} \times 50 \text{ kW} \times 80\% = 320 \text{ kWh o}$$

32 a 40 l de combustible por día.

Esto significa un ahorro anual de aproximadamente 12.000 l de petróleo por año (300 días de producción) o aproximadamente 5.000 dólares EE.UU. En este caso específico esto es igual aproximadamente al 4% del total de consumo de petróleo de la compañía.

El período de retorno de la inversión de esta opción en esta compañía es de aproximadamente un año considerando las inversiones necesarias para instalar un intercambiador de calor adicional, las tuberías y el re uso de un tanque de almacenamiento existente.



**4-5 Evaporación: multiple efecto y compresión de vapor**

La evaporación es un paso de proceso energético intensivo e importante para varias industrias, específicamente para la industria procesadora de alimentos.

Para evaporar 1 kg de agua se necesita 1,1 kg de vapor, si la evaporación se hace en un simple efecto.

En la industria azucarera por ejemplo la evaporación es necesaria para concentrar el jugo clarificado (a partir de la caña o remolacha) de 12 a 16% hasta el 68 al 72% de sólidos secos y por consiguiente una gran cantidad de agua debe ser evaporada.

Para reducir el alto consumo de energía la evaporación se realiza con un procedimiento a múltiple efecto, en el cual algunos evaporadores son operados en serie. El vapor del primer evaporador es usado como "vapor" en el segundo evaporador y así sucesivamente. Para esto en cada evaporador la presión y la temperatura necesitan ser menor que en el anterior. Un flujo esquemático es mostrado en el diagrama de evaporación a múltiple efecto (flujo directo) en la página siguiente.

El promedio de vapor consumido por un evaporador a múltiple efecto es mostrado en la siguiente tabla. A partir de la quinta etapa los ahorros adicionales de energía no son mucho más altos, y los ahorros de energía tienen que ser sopesados contra los altos costos de inversión del equipo.

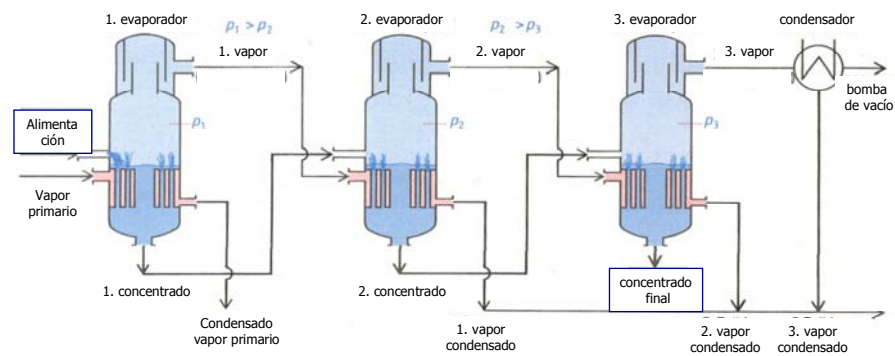
Consumo de vapor para evaporar 1 kg de agua	En kg de vapor
Evaporación a simple efecto	1,1 kg
Evaporación a doble efecto	0,57 kg
Evaporación a triple efecto	0,4 kg
Evaporación a cuádruple efecto	0,3 kg
Evaporación a quíntuple efecto	0,27 kg

Teórico: n-efecto 1/n consumo específico de energía

Práctico: 10 a 30% más alto

En la industria azucarera por ejemplo el proceso de evaporación se realiza en evaporadores desde tres hasta seis efectos, en su mayoría son de cuatro y cinco efectos. Específicamente en la industria azucarera el vapor de uno o más efectos también pueden ser utilizados para otros propósitos como, por ejemplo, para el precalentamiento del jugo.

### Evaporación a múltiple efecto



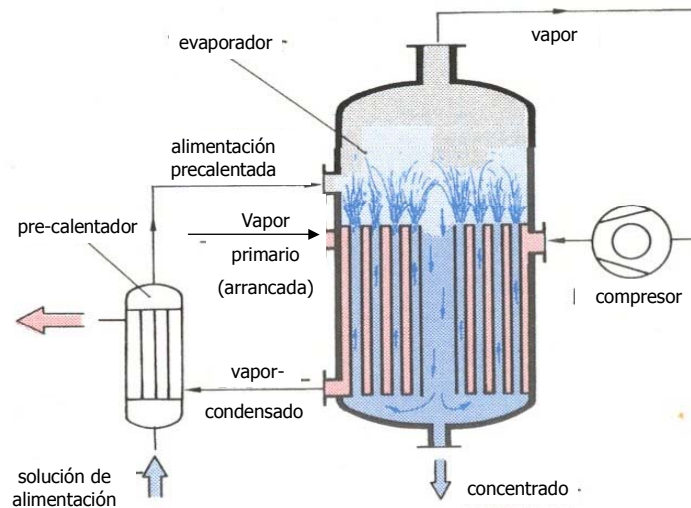
Fuente: Ignatowitz 1994

Otro ejemplo de opciones de ahorros de energía en evaporación es el uso de **unidades de compresión de vapor**.

Para la puesta en marcha, la solución de alimentación es calentada con vapor y una vez que alcanza la temperatura de ebullición el vapor producido es enviado a un compresor, donde la presión se eleva hasta que la temperatura de condensación sea aproximadamente  $10^{\circ}\text{K}$  más alta que la temperatura de ebullición de la solución de alimentación. El vapor, la temperatura del cual ha sido incrementada por la compresión, es usado como "vapor" en el evaporador. En un estado de régimen estacionario no es necesario vapor adicional. El consumo de energía de la unidad es cubierto por el consumo de electricidad del motor del compresor.

Podemos citar como ejemplo el compresor de vapor usado en las casas de producción de caldo cervecero (ver ejemplos previos 4.3 en este documento).

### Evaporación con compresión de vapor



Fuente: Ignatowitz 1994