





### Aire es igual a aire: ¿Es ésto también correcto para Ud?

Si tomamos el ejemplo del suministro de aire comprimido en una empresa industrial: ¿Dónde es posible ahorrar energía? Es fácil contestar esta pregunta: donde quiera – ej. en la producción, la preparación y especialmente en la distribución del aire comprimido. Lamentablemente, compresores con un porcentaje de trabajo en vacío mayor del 50% no son raros.

El término "trabajo en vacío" se refiere en aire comprimido al trabajo del motor de un compresor que consume cerca del 30% de su potencia para entregar un flujo de 0 m<sup>3</sup>. Dotándolo de un sistema de control o un segundo compresor de menor tamaño o de ambos, estas inversiones se amortizan en un corto tiempo.

La preparación del aire comprimido está en la práctica siempre conectada con caídas de presión. La caída de presión se incrementa con el aumento de la contaminación de los filtros. En este caso el reemplazo a tiempo de estos elementos lleva al aspirado ahorro energético. El uso del punto de rocío en los dispositivos de medición hace posible un ahorro de energía en el secador.

Solamente mencionar la "distribución de aire comprimido" causa dolor de cabeza en todo trabajo de manejo energético. Las enormes pérdidas energéticas frecuentemente son debidas a las fugas o simplemente tuberías con áreas de sección pequeña. Si pensamos en una presión de operación 7 bar a través de un salidero de 1 mm de diámetro en cada segundo, se pierden 1,2 l de aire comprimido el cual ha sido producido y preparado previamente con altos costos. Quien no crea en las enormes pérdidas que surgen del uso de aire comprimido puede mirar una vez más críticamente el suministro de aire comprimido.

Caminando dentro de una compañía un domingo o día festivo se hace más clara esta situación: en algún lugar se oye un sonido, en algún lugar un silbido y el compresor comienza a trabajar de inmediato aunque no exista un consumidor de aire comprimido en la red. La red de aire comprimido tiene un consumo propio. Reparar la conducción de aire comprimido ayuda. La verdadera dimensión del área de sección de una tubería es tan importante como su rugosidad. Cada red de aire comprimido se diseña para una pérdida de presión de solamente 0.2 bar entre la salida del compresor y el consumidor. Lamentablemente en la práctica valores de 1.5 bar e inclusive mayores son normales.

Como Ud puede ver, existen una gran cantidad de campos donde Ud puede probar su "sensatez energética".

#### Pérdidas debido a fugas en una planta de aire comprimido:

Diámetro del orificio en mm	Pérdida de aire en l/s		Potencia requerida para la compresión en kW		Costos en dólares EE.UU./año para 8760 h/a y 0,12 dólares EE.UU./kWh	
	6 bar	12 bar	6 bar	12 bar	6 bar	12 bar
1	1,2	1,8	0,3	1,0	280,-	1.050,-
1,5	2,8	4,4	0,75	2,5	700,-	2334,-
2	5,0	8,3	1,34	5,4	1250,-	5.157,-
3	11,1	20,8	3,1	12,7	2.905,-	11.854,-
4	19,5	37,4	5,4	20,9	5.140,-	19.507,-
5	30,9	58,5	8,3	33,7	7.747,-	31.454,-
10	123,8	236,2	33,0	132,0	30.800,-	123.200,-

## 4-2 Pérdidas por evaporación

Una compañía procesadora de alimentos procesa frutas y vegetales y los envasa en latas. Las latas son calentadas en un baño de agua caliente para la esterilización.

En el presente la compañía usa tres baños de agua con un diámetro de 2 metros cada uno que son directamente calentados con vapor. Los baños no son cubiertos lo cual conduce a la evaporación del agua.

Calcular las pérdidas de agua por evaporación y la cantidad anual de combustible (incluyendo los costos) necesario para suministrar y la energía para estas pérdidas usando los siguientes datos y diagrama.

### Datos:

Horas de trabajo: 250 días/año con 10 horas al día

Temperatura de la superficie del agua:  $T = 68^\circ\text{C}$ , velocidad del aire:  $v = 0 \text{ m/s}$

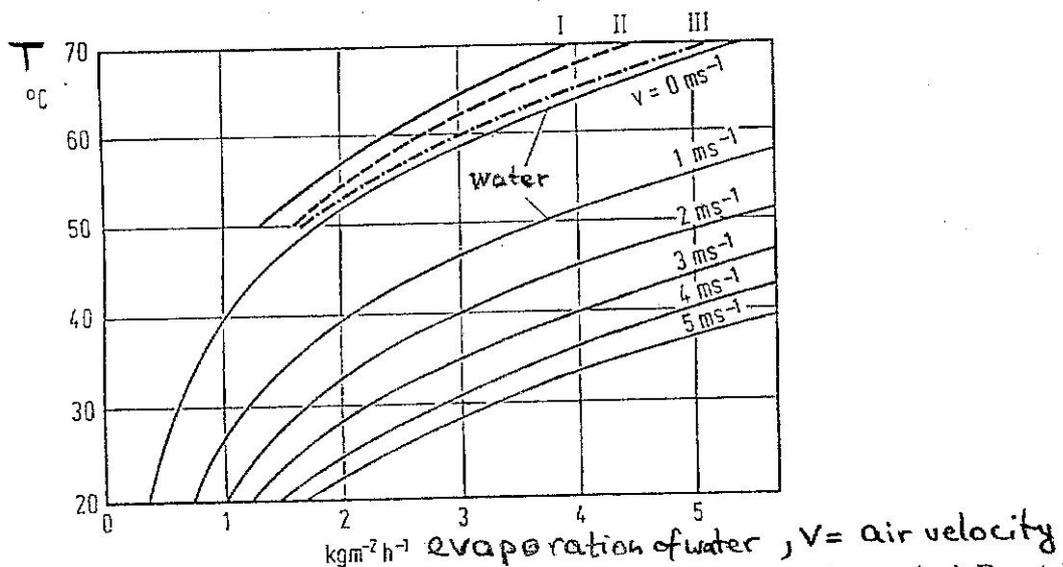
área:  $A = \pi \cdot d^2/4$ ,  $d = \text{diámetro}$ ,  $\pi = 3,141$

Calor específico para la evaporación del agua: aprox..  $2.600 \text{ kJ/kg} = 0,722 \text{ kWh/kg}$

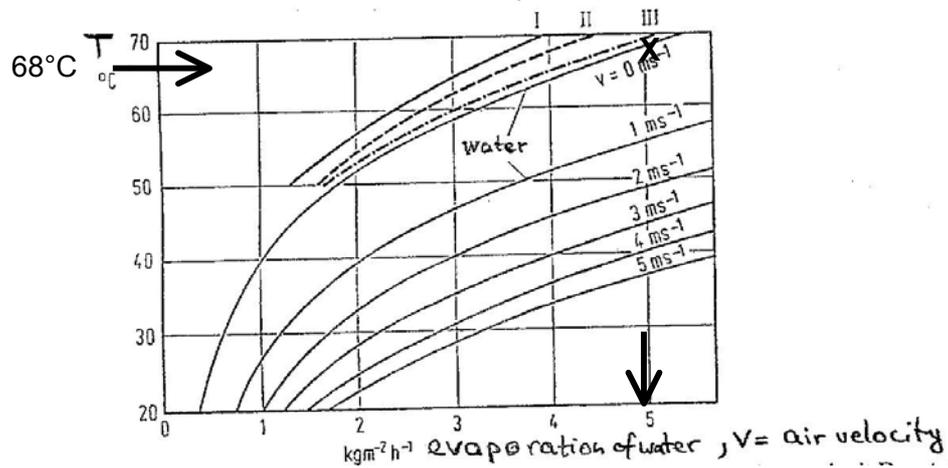
Energía de un litro de petróleo: aproximadamente.  $10 \text{ kWh/l}$

Factor de eficiencia del sistema de calentamiento (quemador, distribución):  $80\%$

Costos del combustible:  $0,35 \text{ dólares EE.UU/l}$



Solución:



**Evaporación a 68°C: 5 kg/m<sup>2</sup> h**

**Área:  $3 * \pi * 2^2 / 4 = 9,4 \text{ m}^2$**

**Evaporación de agua:  $9,4 \text{ m}^2 * 5 \text{ kg/m}^2 \text{ h} * 10 \text{ h/d} * 250 \text{ d/a}$   
= 117.500 kg/a**

**Pérdidas de energía por evaporación:  $117.500 \text{ kg/a} * 0,722 \text{ kWh/kg.} = 84.835 \text{ kWh/a}$**

**Consumo de combustible:  $84.835 \text{ kWh/a} / (80\% * 10 \text{ kWh/l}) = 10.604 \text{ l/a}$**

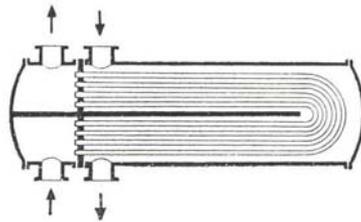
**Costos:  $10.604 \text{ l/a} * 0,35 \text{ dólares EE.UU./l} = 3.711 \text{ dólares EE.UU/a}$**

### 4-3 Recuperación de calor con un intercambiador de calor.

Este ejercicio ayuda a calcular el potencial de la recuperación de calor. La tecnología de intercambiador de calor propuesta también es usada frecuentemente en la industria alimenticia (ej. fermentación y destilación de frutas para la producción de licor) o cualquier otro proceso donde las aguas residuales contienen partes sólidas indeseables.

#### Descripción del proceso:

Una gran lavandería trabaja con algunas líneas de lavado, maquinas planchadoras y secadores y necesita diariamente agua suave en cantidades de 380 m<sup>3</sup>. Al mismo tiempo 300 m<sup>3</sup> de agua residual son generadas diariamente con una temperatura 45°C – muy caliente para ser descargada en la alcantarilla. Sin embargo el agua residual es enfriada con un intercambiador de calor de celda y tubo (ver figura) llegando a 35°C y el agua suave es respectivamente precalentada.



- a)** Calcular la cantidad de energía que diariamente es intercambiada en el intercambiador de calor. ¿Cuál es la temperatura de salida del agua suave, si tiene una temperatura promedio de 10°C cuando es sacada del pozo?

Comentario: cantidad de energía  $Q = m c_p (T_1 - T_2)$ ,  $c_{p, \text{agua}} = 4,2 \text{ kJ/kg K}$

El principal problema es que el filtro que elimina las pelusas, colocado antes del intercambiador, no trabaja bien. Por eso muchas pelusas de la ropa entran en el intercambiador de calor y lo obstruyen. Los trabajos de mantenimiento son tan complicados que el administrador decide no usar el intercambiador de calor.

- b)** Calcular la cantidad y los costos de combustible que ahora tiene que ser usado para calentar el agua suave comenzando con 10°C que originalmente era hecho por el intercambiador de calor.



Asumir: 1 l de combustible = 36 MJ or 10 kWh, 1 l oil = 0,33 dólares EE.UU, 1 l combustible = 0,9 kg

250 días de trabajo por año

**c)** ¿Qué porcentaje representa del consumo total de energía de una empresa que consume anualmente 800 t de combustible?

**d)** ¿Qué medidas de mejoramiento podría Ud. recomendar y qué costos de inversión son aceptables?

**Solución:**

**a)** Calcular la cantidad de energía que es diariamente intercambiada en el intercambiador de calor. ¿Cuál es la temperatura de salida del agua suave, la cual es tomada del pozo con una temperatura promedio de 10° C?

Comentario: cantidad de energía  $Q = m c_p (T_1 - T_2)$ ,  $c_{p, \text{agua}} = 4,2 \text{ kJ/kg K}$

$$Q = 300.000 \text{ kg} \times 4,2 \text{ kJ/kg K} \times (45^\circ - 35^\circ)\text{K} = 12.600 \text{ MJ}$$

or  $12.600 \text{ MJ} / 3.600 \text{ s} = 3.500 \text{ kWh}$

$$\Leftrightarrow \begin{aligned} 12.600 \text{ MJ} &= 380.000 \text{ kg} \times 4,2 \text{ kJ/kg K} \times (T - 10^\circ)\text{K} \\ T &= 17,9^\circ \text{ C} \end{aligned}$$

El principal problema es que el filtro que elimina las pelusas, colocado antes del intercambiador, no trabaja bien. Por eso muchas pelusas de las ropas entran en el intercambiador de calor y lo obstruyen. Los trabajos de mantenimiento son tan complicados que el administrador decide no usar el intercambiador de calor.

**b)** Calcular la cantidad y los costos de combustible que ahora tiene que ser usado para calentar el agua suave comenzando con 10° C que originalmente era hecho por el intercambiador de calor.

Asumir: 1 l de combustible = 36 MJ o 10 kWh, 1 l oil = 0,33 dólares EE.UU, 1 l combustible = 0,9 kg. 250 días de trabajo por año

$$\text{diariamente: } 12.600 \text{ MJ} / 36 \text{ MJ} = 350 \text{ l de combustible}$$

para 250 días = 87.500 l/año

$$87.500 \text{ l/año} \times 0,33 \text{ dólares EE.UU/l} = 28.875,- \text{ dólares EE.UU/año}$$

**La eficiencia optima de la caldera y su distribución:**  
**90% (asumir)**

$$28.875 \text{ dólares EE.UU} / 0,9 = \sim 32.000 \text{ dólares EE.UU/año}$$

c) ¿Qué porcentaje representa del consumo total de energía de una empresa que consume anualmente 800 t de combustible?

**87.500 l/año x 0,9 kg/l = 78,75 t/año,  
Esto es aprox. 10% de las 800 t del combustible total**

d) ¿Qué medidas de mejoramiento podría Ud recomendar y qué costos de inversiones son aceptables?

**Posibles mejoras:**

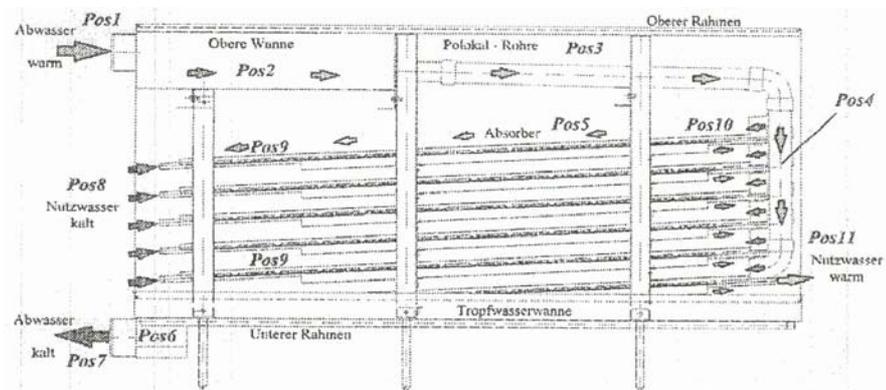
- **Nuevo filtro de pelusa o la instalación de un segundo filtro.**
- **Verificar si el intercambiador de calor existente puede ser cambiado de manera, que esté menos obstruido**
- **instalación de un nuevo intercambiador de calor que esté diseñado para residuales líquidos cargados de sólidos (ver la figura abajo)**
- **verificar, si la cantidad de agua residual y su temperatura en el proceso de lavado pueden ser minimizadas.**

**Costo total de la inversión podría ser de alrededor de:**

**64.000 dólares EE.UU, si el período de recuperación de 2 años es aceptable**

**200.000 dólares EE.UU, si el período de recuperación de 6 años es aceptable.**

**etc.**



**Ejemplo: Intercambiador de calor VESUV para residuales líquidos cargados de sólidos.**

**Diseñado para más de 6 l/s**

**Costos de inversión: 50.000 dólares EE.UU**

### 4-4 Producción de agua caliente, colector solar

Este ejercicio puede ser visto como una continuación del balance de agua a partir del ejercicio de análisis del flujo de materiales 3-3. En este caso específico la producción de agua caliente fue hecha por una caldera muy ineficiente y sobredimensionada .

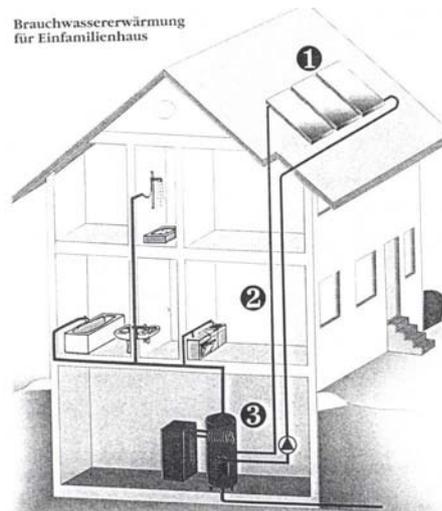
(ver también ejercicio-3-3)

- a)** En junio el consumo de gas natural para la producción de agua caliente fue registrado diariamente. Un promedio de  $18,3 \text{ Nm}^3$  de gas son usados. ¿Cuánto mayor es el consumo que el mínimo necesario (calculado en 3-3, ej..  $1.360 \text{ l/d}$ )?

Comentario: cantidad de energía  $Q = m c_p (T_1 - T_2)$ ,  $c_{p, \text{agua}} = 4,2 \text{ kJ/kg K}$

Suponer:  $1 \text{ Nm}^3 \text{ gas} = 33,8 \text{ MJ}$  o  $9,4 \text{ kWh}$ ,  $1 \text{ Nm}^3 \text{ gas} = 0,33 \text{ dólares EE.UU}$

- b)** El administrador está ahora pensando en la instalación de un colector solar para producir agua caliente (tamaño entre  $20$  a  $40 \text{ m}^2$ ). En la figura que sigue puede encontrar más información acerca de esto. Calcule / estime si esta opción es razonable desde el punto de vista económico. ¿Cuánto gas natural podría ser ahorrado?



Entrada anual de energía para agua caliente de  $50^\circ\text{C}$  en Austria:  $\sim 400 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$

Comportamiento máximo por día soleado para un agua caliente de  $50^\circ\text{C}$ :  $\sim 60 \text{ l/m}^2$

Costo del sistema por unidad de colector solar

$\sim 600 \text{ dólares EE.UU/m}^2 \text{ a } 10 \text{ m}^2$

$\sim 400 \text{ dólares EE.UU/m}^2 \text{ a } 100 \text{ m}^2$

$\sim 200 \text{ dólares EE.UU/m}^2 \text{ a } 1.000 \text{ m}^2$

**Solución:**

**a)** En junio el consumo de gas natural para la producción de agua caliente fue registrado diariamente. Un promedio de 18,3 Nm<sup>3</sup> de gas son usados. ¿Cuánto mayor es el consumo que el mínimo necesario (calculado en 3-3, ej.. 1.360 l/d)?

$$Q = 1.360 \text{ kg} \times 4,2 \text{ kJ/kg K} \times (50^\circ - 10^\circ) \text{K} = 228 \text{ MJ}$$

$$\Leftrightarrow 228 \text{ MJ} / 33,8 \text{ MJ/Nm}^3 = 6,76 \text{ Nm}^3 \text{ gas}$$

**Consumo actual es mayor por el factor 2,7, o eficiencia en el verano: solamente 37 %**

**b)** El administrador está ahora pensando en la instalación de un colector solar para producir agua caliente (tamaño entre 20 a 40 m<sup>2</sup>). En la figura que sigue se puede encontrar más información acerca de esto. Calcule / estime si esta opción es razonable desde el punto de vista económico. ¿Cuánto gas natural podría ser ahorrado?

Entrada anual de energía para agua caliente a 50°C en Graz:

~ 400 kWh/m<sup>2</sup> a

Comportamiento máximo por día soleado para un agua caliente de 50°C:

~ 60 l/m<sup>2</sup>

**Para 1.360 l de agua tibia mínimo 1.360 / 60 = 22,6 m<sup>2</sup> son necesario si se suministra totalmente con energía solar**

**Unidad con 25 m<sup>2</sup>: inversión de 15.000 dólares EE.UU**

**10.000 kWh de calor = 1.060 Nm<sup>3</sup> gas,  
2.860 Nm<sup>3</sup> y η 37 % ~ 1.000 dólares EE.UU/a  
15 años de período de retorno de la inversión.**

**Unidad con 40 m<sup>2</sup>: inversión de 20.000 dólares EE.UU  
16.000 kWh de calor = 1.700 Nm<sup>3</sup> gas  
4.600 Nm<sup>3</sup> y η 37 % 1.500 dólares EE.UU/a  
13,3 años de período de recuperación de la inversión**

### 4-5 Haciendo café (agua caliente)

Este es un ejercicio interactivo en el cual varios grupos de personas (ideal para grupos de aprox.4 personas) tienen que analizar un proceso real pero simple. (ver también ejercicio 3-2, análisis de flujo de material).

Tiempo: 10 min. de explicación, 40 a 60 min. de producción, 15 a 30 min. de presentación y evaluación.

Prepare y explique los objetivos y el equipo antes de comenzar el ejercicio.

Materiales (ver también la descripción que sigue):



(no mostrado: taza de medida de ½ l de agua)

Los grupos podrían trabajar con equipo diferente. Por ejemplo:

- grupo 1 con dos o tres cafeteras de diferente potencias;
- grupo 2 con diferentes hervidores de agua de diferentes potencias;
- grupo 3 usando la cocina eléctrica (primero fría – perdidas de puesta en marcha -, después comenzar cuando esté caliente) con diferentes vasijas.

### Caso de estudio: Haciendo café (agua caliente)

#### Tarea:

Mida el **consumo energético**, la **electricidad de entrada** y el tiempo necesario para producir 0,5 l de agua caliente para hacer café.

Para hacer esto, haga las mediciones de acuerdo a la tabla de evaluaciones en el siguiente orden:

I. Medición de energía: *equipo 1 (puede ser diferente para cada grupo)*

II. Medición de energía: *equipo 2 o procedimiento 2 con equipo 1 (puede ser diferente para cada grupo)*

III. Medición de energía: *equipo 3 o procedimiento 3 con equipo 1 o 2 (puede ser diferente para cada grupo)*

Ahora calcule los siguientes valores sobre la base de los resultados de mediciones anteriores:

1. la *eficiencia* (teórica/medida). La cantidad teórica de energía usada para calentar 0,5 l de agua desde 10°C hasta 100 °C es 0,0467 kWh.
2. los costos anuales de electricidad sobre la base del consumo. 1 kWh le costará un promedio de 0,10 dólares EE.UU./kWh.
3. Los costos anuales de electricidad sobre la base de curva de carga de potencia. Asumir que la cafetera contribuirá hasta un máximo de la carga pico y 1 kW peak le costará a Ud 130 dólares EE.UU./kW.
4. Discuta los resultados y brinde sugerencias para el mejoramiento.

El cálculo de los costos en su propia compañía podría estar basado: el café es hecho 210 días por año, 3 veces al día a una proporción de 4 tazas por día (0,5 l = 1 taza.) Cuatro cafeteras son usadas para este propósito al mismo tiempo.



"Caso de estudio" de energía		Tabla de evaluación		
<b>(propuesta)</b> <b>Grupo 1 (2, 3)</b>				
Mediciones				
		Equipo 1	Procedimiento 2 con el equipo 1	Equipo 2
Potencia	[kW]			
Consumo	[kWh]			
Tiempo	[min]			

Cálculos				
		Equipo 1	Procedimiento 2 con el equipo 1	Equipo 2
Consumo	[kWh]			
1. Eficiencia	[0,0467/ Consumo]			
2. Costo del consumo costos /a	dólares EE.UU/a {0,10 \$ / kWh}			
3. Costo de potencia	dólares EE.UU/a			
Por año	{130 \$ / kW}			
4. Costos Totales-	dólares EE.UU/a			

Notas: *(dependiendo del equipo usado)*

**Discusión del caso de estudio:**

Existe una gran variedad de medidas de ahorro de energía que pueden ser aplicadas en la práctica pero ellas dependen de cada máquina individual. Además existen asuntos básicos los cuales deberán ser tratados por medio del ejemplo "haciendo café" (ver también ejercicios de análisis del flujo de materiales 3-2) donde las diferentes maneras son comparadas en términos de consumo y costos de energía. Las mediciones fueron tomadas con dispositivos de medición los cuales fueron facilitados por el suministrador local de energía. (Para altos voltajes las mediciones corrientes tienen obviamente que ser verificadas por la agencia de ingeniería eléctrica para obtener los mismos resultados. El suministrador de energía conserva metros antiguos en almacén; pero en general se pueden adquirir a un precio barato. Se recomienda que estos sean instalados para la medición de los mayores consumidores internos, tales como plantas de refrigeración centrales etc. Finalmente, los resultados serán interpretados de manera tal que se deriven de ellos ideas valiosas y que puedan ser implementadas en su propia compañía. Los datos resultantes han sido agrupados en la tabla.

La tarea es determinar el consumo de energía, la demanda de potencia y el tiempo requerido para "hacer café" con 0,5 l. de agua. En este caso, los 0.5 l. se refieren a la cantidad de agua usada en vez de a la cantidad de café hecho (Ver Ecoprofit vol. 4, "Análisis del Flujo de Materiales").

La energía teórica necesaria para calentar 0,5 l de agua de 10°C a 100°C es 0,0527 kWh. Esto permite que el grado de eficiencia pueda ser calculado.

Como fue mencionado anteriormente, la electricidad es facturada en la base de dos valores, el precio de la potencia provista y el precio de la potencia consumida = trabajo hecho. La potencia provista usualmente cuesta 130 dólares EE.UU por kW. por año. Un kWh. es facturado a un precio promedio de 0,12 dólares EE.UU/kWh.

Se asume que se laboran 210 días al año y que tres veces al día se hace 0,5 l de café (un recipiente cada vez). Por lo general, se emplean tres cafeteras u hornillas eléctricas para este fin. También se supone que el café del recipiente A no se mantiene caliente por no ser este un recipiente termo (aislado) sino que una hornilla eléctrica se mantiene encendida por una hora.

Sobre la base de las suposiciones anteriormente expuestas y los resultados de las mediciones, podemos ahora calcular el costo anual del consumo de energía eléctrica. Observe el porcentaje de la potencia suministrada (kW) y el de la potencia consumida en (kWh). También se puede calcular el costo de energía por recipiente de 0,5 l.

La siguiente tabla muestra los resultados de las principales mediciones de conjunto con comparaciones y una interpretación del resultado así como los valores calculados sobre esta base aunque ellos le brindan una exposición detallada, estas parecen ser muy complejas para permitir una primera interpretación.

### Ejemplificación de algunos comentarios para el “caso de estudio” con el equipo específicamente utilizado.

Artículos comparados	Ahorros potencial/tecnología	Observaciones
Cafetera con recipiente termo (A) vs. cafetera con hornilla eléctrica (B)	Precio de la potencia suministrada.	La cafetera A muestra un comportamiento superior, lo cual causa que el costo energético total sea superior al de la maquina B (diferencia = 58%)
	Aislamiento	Para mantener el café caliente, se utiliza una hornilla eléctrica en el caso B, lo cual consume en una hora tanta energía como para hacer el café. En el caso A el uso de un recipiente termo, evita este costo adicional.
	Servicio ejecutado	El indicador de eficiencia de la máquina A es de casi el 100%. Esto se debe a que la base de comparación es 100°C . En esta máquina solamente parte del agua es calentada hasta esta temperatura no obstante el servicio ejecutado se mantiene igual. (Hay máquinas también que muestran un indicador de eficiencia del 115%)
Plancha de calentamiento fría o tibia.	Pérdidas en la arrancada / calentamiento	En el caso de planchas de calentamiento de diseño antiguo estas requieren para su calentamiento una gran cantidad de energía (pérdidas de arrancada.) por lo cual se hace obvio que la energía usada para calentar la plancha alcanza hasta 1/3 del consumo energético total.
Recipiente para la cocción con tapa o sin ella.	Perdidas térmicas	Un aislamiento adecuado aunque sea solo cubrir las superficies calientes, permite que el consumo de energía para calentar la hornilla pueda ser reducido por más del 15%.
Vasija de tamaño adecuado, vasija muy pequeña.	Pérdidas térmicas	Si el recipiente es más pequeño que hornilla. El calor no puede ser usado eficientemente, y no puede ser empleado de manera óptima. Parte de él se transfiere al aire causando problemas adicionales como áreas de trabajo sobrecalentadas.
Hornilla de calentamiento rápido vs. Hornilla normal (no incluida en el ejemplo)	Precio de la potencia instalada.	En la comparación entre las cafeteras A y B, el precio de la potencia instalada es relevante. A menor tiempo mayor potencia es utilizada. Frecuentemente el tiempo no juega un papel significativo en la producción, pero aun así tendrá que pagar un mayor precio.
En todos los casos	Programando la producción.	En todos los casos se supuso que las 3 máquinas están trabajando simultáneamente. Si fuera posible utilizarlas en secuencia, solamente una tercera parte de la energía sería consumida, lo cual reduciría los costos considerablemente (en este caso en aproximadamente 1/3). Esto demuestra que una producción bien programada ayuda a evitar consumos picos innecesarios.



Hablando en términos prácticos, las siguientes medidas pudieran ayudarlo a reducir el consumo de energía en su firma y así ahorrar en costos energéticos:

- Evite pérdidas durante las arrancadas.
- Maquinaria adecuada y bien adaptada a la producción a realizar
- Diseñe sobre la base del servicio requerido
- Aislamiento / protección contra las pérdidas de calor
- Disminuya la simultaneidad / Programando la producción

Este "caso de estudio" muy simple como es "hacer café" muestra cuantas opciones interesantes pueden ser encontradas para el ahorro de energía. Pudiera servir como ejemplo aplicable a su propio caso concreto.