



Ahorro de energía y manejo de vapor

Energy saving and steam management

ANDRES ECHEVERRY¹

RESUMEN

Dada la importancia que hoy en día tiene el vapor en una planta extractora de aceite de palma, en esta conferencia se pretende darle herramientas útiles a la persona encargada del mantenimiento de la planta para que pueda atacar y corregir oportunamente los problemas relacionados con la generación, transporte o utilización del vapor, y así evitar paradas inoportunas de la planta o pérdidas de eficiencia o capacidad de extracción de aceite. Primero se analizan muy rápidamente los problemas generados en el transporte del vapor. Estos problemas, por norma general, son causados por diseños originales deficientes, y en la mayoría de los casos, la única solución que se tiene es corregir el defecto original cambiando el montaje. Luego se consideran problemas en la transferencia de calor generados por defectos en las trampas de vapor o daños similares. También se analizan los problemas relacionados con la generación de vapor, comenzando por el tratamiento del agua de alimentación de la caldera y su importancia en la vida útil de los equipos de generación, transporte y uso del vapor. Finalmente, discute la eficiencia y capacidad de la caldera y la generación de energía eléctrica.

SUMMARY

Bearing in mind the present importance of steam in an palm oil mill, this paper is aimed at providing some useful tools for those responsible for mill maintenance, enabling them to tackle and correct the problems related with the generation, transportation, or use of steam, in order to avoid unnecessary downtime, or efficiency and oil extraction capacity losses. The problems created by steam transportation are briefly analyzed. In general, these problems are caused by poor original designs and in most cases the only solution is to correct the original defect by changing the assembly. Next, heat transfer problems created by poor steam traps or other damages are considered. Problems related with steam generation are also described, starting with the treatment of boiler feed water and its importance in the life of generation equipment, transportation, and the use of steam. Finally, boiler efficiency and capacity are discussed, as well as power generation.

Palabras claves: Plantas extractoras, Energía, Equipos, Electricidad.

1. VR Ingeniería y Mercadeo. Car. 42 No. 14-60. Santafé de Bogotá. Colombia.

DIMENSIONAMIENTO DE LAS TUBERIAS DE VAPOR

Para seleccionar el diámetro de las tuberías que van a conducir vapor es importante tener en cuenta los siguientes elementos:

- Flujo de vapor
- Longitud total del tramo
- Condiciones del vapor (presión, temperatura y calidad)

Todo vapor que se conduzca por una tubería sufrirá una disminución de presión debida a las pérdidas por rozamiento, por lo tanto, y con base en los datos anteriores, se deberá seleccionar el menor diámetro (menor inversión) que en la longitud determinada cause la menor caída de presión posible (menores pérdidas) usando velocidades de transporte del vapor recomendadas. Si se selecciona un diámetro exagerado, se estará cumpliendo de sobra con los requisitos técnicos pero se estará incurriendo en costos no justificables.

Las propiedades físicas del vapor influyen notoriamente en el dimensionamiento de las tuberías, puesto que en la medida en que se tenga el vapor a una mayor presión, éste tendrá una mayor densidad y por lo tanto una misma masa de vapor ocupará un menor volumen. A manera de ejemplo, mientras que 220 libras de vapor (100 kg) a 150 PSia ocupan un volumen de 18,77 m³, a 50 PSia ocupan 53 m³. De igual forma, un vapor a una misma presión pero de inferior calidad, ocupará un menor volumen que un vapor de mayor calidad.

En resumen, para seleccionar el diámetro de una tubería de conducción de vapor se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para grandes longitudes se deberá buscar una mínima caída de presión por metro, aumentando en lo posible la presión del vapor a conducir para poder, de esta

forma, usar un menor diámetro. Así se logra con la menor inversión un buen montaje en el aspecto técnico.

Para distancias cortas, la caída de presión por metro admitida podrá ser mayor transportando el vapor a una menor presión o usando un diámetro menor de tubería.

De cualquier forma, para lograr el uso de un diámetro de tubería menor para una masa de vapor determinada, con una caída de vapor autorizada se deberá:

- Transportar el vapor a la mayor presión permisible.
- Usar la ruta técnicamente más corta con la menor cantidad de accesorios.
- Para líneas de conducción principales buscar diámetros de tubería en los cuales la velocidad del vapor oscile entre 6.000 y 12.000 pies/minuto.
- Para equipos de calentamiento, la velocidad recomendada se encuentra entre 4.000 y 6.000 pies/minuto.
- Para serpentines fabricados en materiales distintos al acero, se recomienda usar velocidades tan bajas como 1.500 a 2.000 pies/minuto a la entrada.

En la Figura 1 se encuentra una guía completa para preseleccionar los diámetros de tubería adecuados para distintas capacidades de vapor a varias presiones. Luego de seleccionar el diámetro, se deberá revisar en la Figura 2 la caída de presión para la instalación.

AISLAMIENTO DE LAS TUBERIAS

Un componente muy importante en el manejo de vapor y en el ahorro de energía es el tratamiento adecuado del aislamiento de las tuberías conductoras de vapor, y de esta forma se evitarán pérdidas de calor

Las propiedades físicas del vapor influyen en el dimensionamiento de las tuberías, puesto que en la medida en que se tenga el vapor a una mayor presión, éste tendrá una mayor densidad y por lo tanto una misma masa de vapor ocupará un menor volumen.

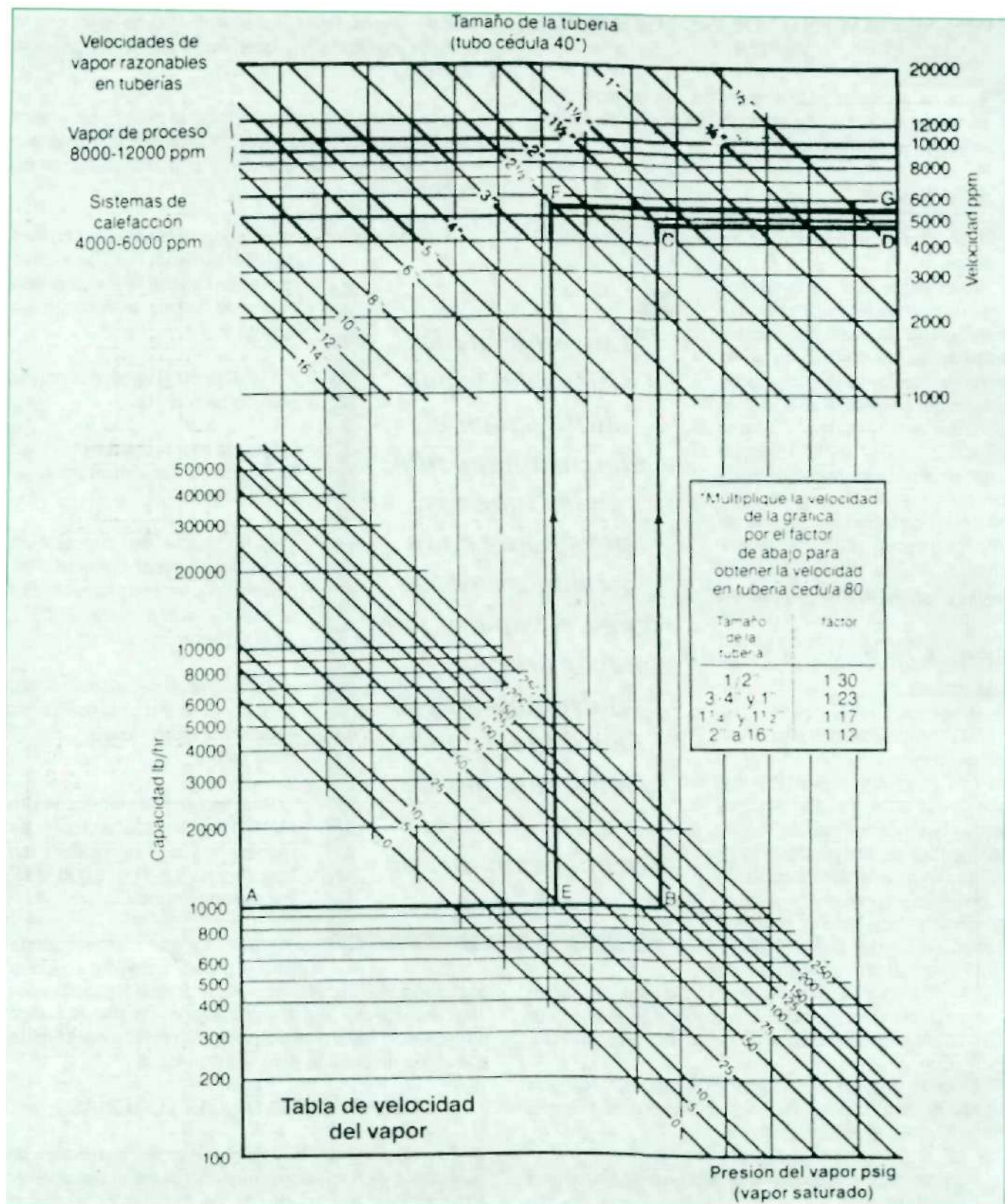


Figura 1. Dimensionamiento de las tuberías de vapor

Figura 2. Cálculo de la caída de presión para tuberías de vapor.

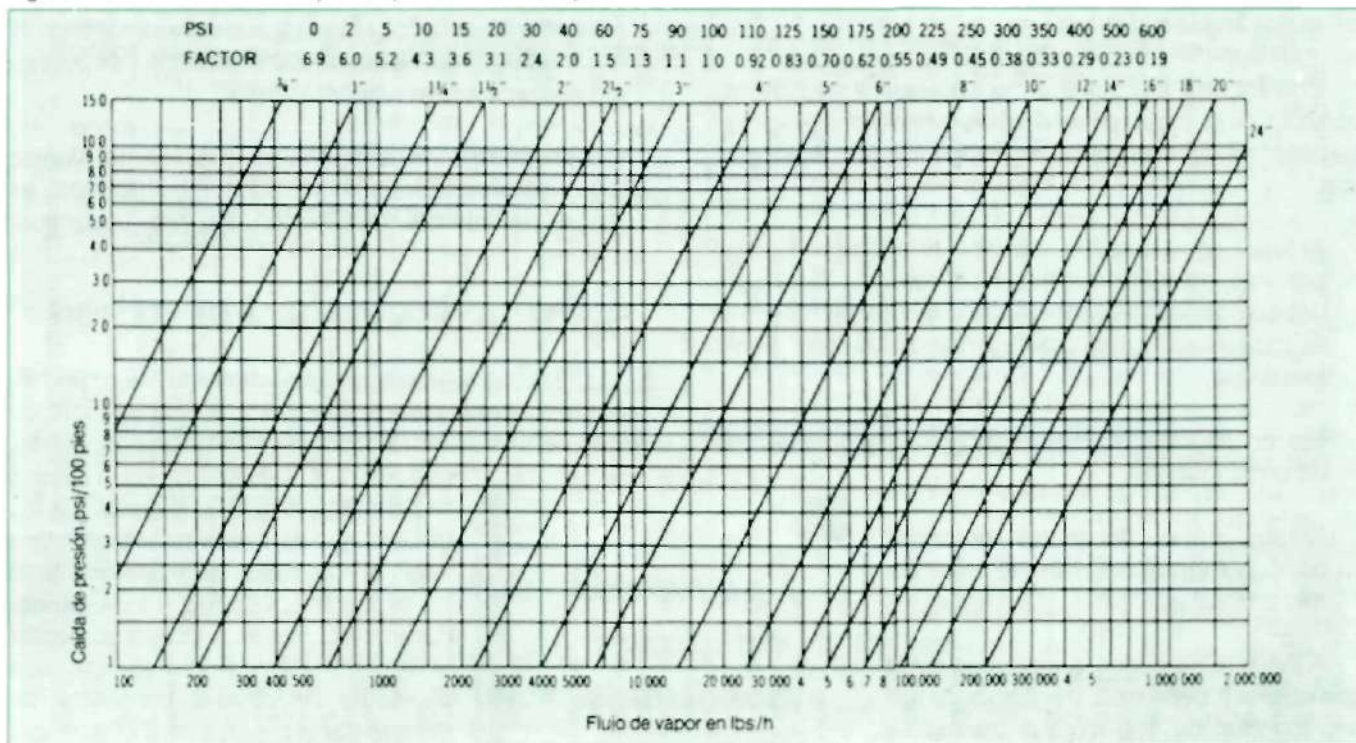


Figura 2. Cálculo de la caída de presión para tuberías de presión

Tabla 1. Cargas de condensación en tuberías

Carga de condensado en libras por hora por cada 100 piés de tubería aislada.

Temperatura ambiente 70°F aislamiento 80% de eficiencia. Carga debida a radiación y convección para vapor saturado.

Presión del vapor psi	Tamaño de la tubería														Factor de corrección para 0°F†
	2"	2½"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"	
10	6	7	9	11	13	16	20	24	29	32	36	39	44	53	1.58
30	8	9	11	14	17	20	26	32	38	42	48	51	57	68	1.50
60	10	12	14	18	24	27	33	41	49	54	62	67	74	89	1.45
100	12	15	18	22	28	33	41	51	61	67	77	83	93	111	1.41
125	13	16	20	24	30	36	45	56	66	73	84	90	101	121	1.39
175	16	19	23	26	33	38	53	66	78	86	98	107	119	142	1.38
250	18	22	27	34	42	50	62	77	92	101	116	126	140	168	1.36
300	20	25	30	37	46	54	68	85	101	111	126	138	154	184	1.35
400	23	28	34	43	53	63	80	99	118	130	148	162	180	216	1.33
500	27	33	39	49	61	73	91	114	135	148	170	185	206	246	1.32
600	30	37	44	55	68	82	103	128	152	167	191	208	232	277	1.31
800	36	44	53	69	85	101	131	164	194	214	244	274	305	365	1.30
1000	43	52	63	82	101	120	156	195	231	254	290	326	363	435	1.27
1200	51	62	75	97	119	142	185	230	274	301	343	386	430	515	1.26
1400	60	73	89	114	141	168	219	273	324	356	407	457	509	610	1.25
1600	70	85	103	132	163	195	253	315	375	412	470	528	588	704	1.22
1750	77	93	113	145	179	213	278	346	411	452	516	580	645	773	1.22
1800	79	96	117	150	185	221	288	358	425	467	534	600	667	800	1.21

† Para temperaturas a la intemperie de 0°F, multiplique el valor del caudal de la tabla por el valor de corrección mostrado.

y problemas mecánicos asociados con la condensación del vapor en las tuberías.

Una tubería sin aislar o mal aislada, fuera de las pérdidas de energía, genera problemas mecánicos por el aumento de condensados. Algunos de estos problemas son:

- Al tener condensados adicionales a los producidos por los intercambiadores, las trampas de vapor deberán desalojarlos teniendo que trabajar más, con el consecuente desgaste y mayor mantenimiento mecánico.
- Mayor desgaste de tuberías generado por el transporte de condensados.
- Riesgo grande de golpes de ariete, principalmente importante en tuberías mal drenadas.

A manera de ejemplo, se puede decir que en una tubería de 2" de diámetro, con una longitud de 100 m, que transporte vapor a una presión de 145 psi, se perderá por condensación, la energía equivalente requerida para generar 180 kg de vapor/h.

Como ayuda rápida, en la Tabla 1 se encuentra una matriz con la cual se pueden calcular las pérdidas de calor estimadas para tuberías que transportan vapor a diferentes presiones y para diferentes diámetros. Es importante anotar que en una tubería sin aislar, aun sin estar en condiciones críticas (expuesta al agua), las pérdidas se pueden aumentar en cinco veces aproximadamente.

Para que la instalación de un aislamiento resulte óptima y se obtengan beneficios reales, se deberán tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Aislar con la tubería, los accesorios adicionales tales como bridas y otros. Una brida sin aislar causa una pérdida equivalente a la de 30 cm de tubería (sólo importante cuando el combustible es costoso).
- Trabajar el aislamiento de tal forma que por ningún motivo éste se humedezca. La presencia de agua en

el aislamiento causa un aumento muy importante de las pérdidas de calor, a la vez que si ésta es continuada y la tubería no tiene un uso continuo, se puede presentar corrosión generalizada.

- No exagerar en el espesor del aislamiento, puesto que al duplicar éste sólo se reducen las pérdidas en aproximadamente un 25% con respecto al espesor original.

VALVULAS REDUCTORAS DE PRESION

Lo primero y esencial es seleccionar el mejor tipo de válvula para cada aplicación. Cuando se trate de cargas pequeñas, en las que no sea vital un control fino, pueden ser suficientes las válvulas reductoras de acción directa. En los otros casos es mejor seleccionar una válvula con piloto, particularmente si se producen períodos sin demanda, durante los cuales no deba aumentar la presión de salida. Igual que sucede con todas las válvulas de control, se debe evitar el sobredimensionamiento de las válvulas reductoras. Una válvula que trabaje habitualmente demasiado cerca de su asiento, puede sufrir erosiones por el paso constante de vapor a alta velocidad. Además, en esta posición, cualquier pequeño movimiento de esta válvula producirá un cambio de caudal relativamente importante. Con un modelo más pequeño, correctamente dimensionado, se obtendría un mejor ajuste y el riesgo de avería sería menor. Cuando es necesario provocar descensos de presión muy importantes, es preferible hacerlo con dos o más válvulas en serie.

Cuando las variaciones de carga son muy importantes, es preferible trabajar con válvulas en paralelo. Si bien el dimensionamiento es importante para el buen funcionamiento de una válvula reductora, también lo es su instalación correcta, y puesto que la mayor parte de los problemas de una válvula reductora son causados por la presencia de humedad o suciedad, se han de instalar, antes de la válvula, un separador y un filtro de malla fina. El filtro debe ser colocado lateralmente para evitar que el cuerpo se llene de agua y para garantizar

*Una tubería
sin aislar o
mal aislada,
fuera de las
pérdidas de
energía,
genera
problemas
mecánicos por
el aumento de
condensados.*

que toda la superficie de filtración sea efectiva. Las tuberías antes y después de la válvula serán del diámetro adecuado para evitar pérdidas de cargas complementarias y excesivas. Las válvulas de cierre deben ser de apertura total o bien del mismo diámetro de las tuberías y no del de la válvula reductora. Si la tubería o la instalación de salida no pueden resistir la presión de entrada, se debe instalar una válvula de seguridad a la salida de la válvula reductora, regulada a la máxima presión que pueda soportar esta parte de la instalación y además con una capacidad de descarga de vapor igual a la que puede pasar a través de la válvula, totalmente abierta, a esta presión máxima.

TRAMPAS DE VAPOR

Una trampa de vapor es un equipo auxiliar en líneas o equipos de calentamiento con vapor, y su función consiste en evacuar los condensados que se van produciendo, sin permitir el paso de vapor. Según el principio físico que se use para seleccionar el paso de condensados, las trampas se clasifican en los siguientes tipos:

- Operación por densidad
 - Balde invertido
 - Flotador y termostática.
- Operación por temperatura
 - Expansión líquida
 - Bimetálica
 - Presión balanceada
- Operación por energía cinética
 - Termodinámica de disco

Las ventajas, limitaciones y usos de estos tipos de trampa son:

Balde invertido

Ventajas:

- Resistencia a los golpes de ariete
- Trabaja en un rango amplio de presiones

Limitaciones:

- Baja eficiencia por pérdida de vapor cuando la carga es variable
- Baja capacidad de venteo de aire

Si la tubería de salida no resiste la presión de entrada, se debe instalar una válvula de seguridad a la salida de la válvula reductora.

Aplicaciones típicas:

- Espirales de calentamiento sumergidos
- Líneas de vapor a alta presión

Flotador y termostática

Ventajas:

- Descarga continua y rápida de condensados
- Alta capacidad de venteo
- Buena eficiencia (con alta y baja demanda)
- Por su descarga continua no causa disturbios en la presión del intercambiador, disturbios éstos que pueden causar problemas en el control de la temperatura en calentadores de aire y otros intercambiadores
- No se afecta con cambios en la presión de entrada

Limitaciones:

- No se puede usar con vapor recalentado si no se le pone un bimetalico especial
- Los golpes de ariete pueden causar daños en el flotador y termostático
- Falla en posición cerrada

Aplicaciones:

- Calentadores de aire y agua caliente
- Intercambiadores de calor

Expansión de líquido

Ventajas:

- Soporta golpes de ariete
- Muy alta eficiencia térmica
- La descarga a baja temperatura elimina el revaporizado alrededor de los sistemas
- Falla en posición abierta

Limitaciones:

- Su uso es casi limitado a tanques de almacenamiento
- Puede sufrir ataque corrosivo por los condensados
- No es autoajustable a cambios de presión

Aplicaciones:

- Serpentes de tanques de almacenamiento
- Calentadores de tanques abiertos

Tabla 2. Tabla de selección de trampas de vapor

A = Primera Alternativa B = Segunda Alternativa

APLICACION	FT (Flotador Termostático)	FT TV SLR (Flotador Termostático con Dispositivo Antibloqueo Por Vapor)	FT SLR (Flotador con Dispositivo Antibloqueo por Vapor)	TD Termodinámica	BPT (Termostática de presión Balanceada)	SM (Bimetálica)	Termotón (Expansión de Líquidos)	IB Bande Invertido
EQUIPO PARA COCINA								
Marmitas de Cocción Fijas	A	B	B ¹	B ¹	B			
Marmitas de Cocción Basculante		A	B		B			
Marmitas de Cocción de Pedestal	B	B	B		A ²			
Hornos de Vapor					A ²			
Planchas	B	B	B		A ²			
CALENTAMIENTO DE COMBUSTIBLE								
Tanques de Almacenamiento de Aceite Comb				A				B ¹
Calentadores de Línea	A							B ¹
Calentadores de Flujo Saliente	A							B ¹
Líneas de Tracing y Tubos Enchafetados				B	A ²	B	B	B ¹
EQUIPOS PARA HOSPITALES								
Autoclaves y Esterilizadores	B	B	B ¹		A			B
SECADORES INDUSTRIALES								
Serpentines Secadores (continuos)	A				B	B		B
Serpentines Secadores (tipo red)					B	A		B ¹
Cilindros Secadores	B	A	B ¹					B
Secadores de Tubería de Varios Niveles					B			B ¹
Máquinas de Apresto de Cilindro Múltiples		A	B ¹					B ¹
EQUIPOS PARA LAVANDERIAS								
Planchadoras de Trajes	B			A				B
Planchas y Calandrias	B	A	B ¹	B ¹	B ¹			B ¹
Unidades Recuperadoras de Solventes	A			B				B
Secadoras Rotativas	A	B	B ¹					B
PRENSAS								
Prensas de Platos Múltiples (conexiones en paralelo)	B			A				B
Prensas de Plato Múltiples (conexiones en serie)				A ²				B ¹
Prensas para neumáticos	B			A	B			B
EQUIPOS PARA PROCESOS								
Marmitas de Cocción Fijas	A	B	B ¹	B ¹	B			B ¹
Marmitas de Cocción Basculante		A	B					B ¹
Ollas Cerveras	A	B	B					B ¹
Digestores	A			B ¹				B ¹
Evaporadores	A	B	B ¹					B
Planchas Calientes				B	A			
Retortas	A							B
Tanques de Almacenamiento				A ¹				B
Vulcanizadores	B			A				B
CALENTAMIENTO AMBIENTAL								
Intercambiadores de Carcasa y Tubos	A	B	B ¹					B ¹
Serpentines de Calentamiento	A	B	B ¹					B ¹
Paneles Radiantes	A	B	B ¹	B ¹				B
CALENTADORES DE CONVECCION Y RADIADORES	B				A	B		
Serpentines Suspendidos	B				A			B ¹
TUBERIAS DE DISTRIBUCION								
Tramos Horizontales	B			A	B ²			B
Separadores	A			B	B ²			B
Extremos de Tuberías	B			A	B ²			B
Drenajes de Tuberías Cerradas (para protección por congelamiento)					B ¹		A	
TANQUES Y RECIPIENTES								
Tanques de Procesos (descarga por arriba)	B			A	B			B
Tinas de Proceso								
Tanques de Proceso (descarga por abajo)	A			B	B			B
Tanques Pequeños Calentados por Serpentines (de calentamiento rápido)	A				B			B
Tanques Pequeños Calentados por Serpentines (de calentamiento lento)							A	

1 Con Eliminador de Aire en Paralelo

2 Al Extremos de Una Pierna de Enfrío con longitud mínima 3 pies (1m)

3 Use Trampas de Tracing especiales que ofrezcan la opción de descarga a una Temperatura Fija

Bimetálica

Ventajas:

- Soporta golpes de ariete
- Alta eficiencia térmica cuando trabaja a bajas temperaturas
- Las descargas a bajas temperaturas eliminan el revaporizado
- Buen desempeño con vapor recalentado

Limitaciones:

- Baja respuesta a cambios de cargas
- Las características del bimetálico pueden cambiar con el uso, requiriendo mantenimiento
- Muchas no son autoajustables a cambios de presión

Aplicaciones:

- Serpentes para tanques de almacenamiento

Presión balanceada

Ventajas:

- Buena capacidad de venteo
- Resistencia a daños con golpes de ariete o vapor recalentado
- Mínimas partes
- Tamaño pequeño para grandes capacidades
- Autoajutable: opera sin ajustes para todas las presiones en su rango
- Opera en sistemas al vacío

Limitaciones:

- Limitada resistencia a los golpes de ariete y a la corrosión
- No aconsejable en aplicaciones en las cuales el condensado deba ser expulsado tan pronto como se forme
- Falla regularmente en posición cerrada

Aplicaciones típicas:

- Radiadores de vapor
- Espirales sumergidos de calentamiento que trabajan a bajas presiones
- Esterilizadores

Termodinámica de disco

Ventajas:

- Compacta y de bajo peso
- Buena resistencia a la corrosión por su construcción en acero inoxidable.

- Alta resistencia al golpe de ariete
- Larga vida útil
- Rango de presiones de 3,5 a 1.740 psi
- Operación eficiente bajo cambios de carga y presión
- Evita el inundamiento de equipos

Limitaciones:

- No puede trabajar al vacío
- El límite permitido para la contrapresión en la descarga es el 50% de la entrada
- No recomendable para aplicaciones de baja presión con válvula de control de temperatura.

Aplicaciones:

- Drenaje de tuberías de alta presión y supercalentadores

En la Tabla 2 se presenta una tabla para la selección de trampas de vapor según la aplicación.

Dimensionamiento de las trampas de vapor

Las trampas de vapor se deberán dimensionar de tal forma que se logren evacuar totalmente los condensados generados, teniendo en cuenta la presión de entrada del vapor y la de descarga de los condensados. Por norma, para cada tipo de trampa se deberán tener en cuenta los siguientes factores de seguridad.

Tipo	Factor
Balde Invertido	2 a 3
Flotador y Termostática	1,5 a 2,5
Expansión de líquido	2 a 4
Bimetálica	2 a 3
Presión Balanceada	2 a 4
Termodinámica	1,2 a 2

Según la presión existente en la línea de retorno de condensados se deberá tener presente la siguiente reducción en su capacidad de descarga

Porcentaje de reducción en capacidad

Presión de descarga como porcentaje de la de salida	Presión de entrada			
	5 PSI	25 PSI	100 PSI	200 PSI
25%	6	3	0	0
50%	20	12	10	5
75%	38	30	28	23

Cuando se desee una aproximación rápida para dimensionar una trampa de vapor se podrán usar como guía las siguientes fórmulas:

Para calentamiento de agua con vapor:

$$\text{lbs condensado/h} = \frac{\text{GPM} \times -T \text{ en } ^\circ\text{F}}{2}$$

Para calentamiento de aceite con vapor:

$$\text{lbs condensado/h} = \frac{\text{GPM} \times -T \text{ en } ^\circ\text{F}}{4}$$

Para el calentamiento de aire:

$$\text{lbs de condensador/h} = \frac{\text{CFM} \times -T \text{ } ^\circ\text{F}}{900}$$

Normas de instalación

Para una óptima utilización del vapor, donde se combinen aprovechamiento en el proceso y ahorro de energía, se deberán tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- En lo posible instalar una trampa por cada intercambiador de calor en operación.
- Nunca instalar una trampa en un nivel superior al del intercambiador en donde se producen los condensados o poner estos durante el recorrido a subir un trayecto. Esta práctica causará que el intercambiador de calor permanezca lleno de condensados la mayor parte del tiempo, ocasionando bajas tasas de transferencia de calor.
- Instalar purgadores de aire para lograr una máxima eficiencia del intercambiador.
- Siempre y cuando las temperaturas del proceso así lo permitan, se deberán diseñar los intercambiadores con vapor a la más baja presión posible, ya que el calor latente del vapor aumenta en la medida que la presión disminuye, a la vez que la temperatura de los condensados es menor, siendo menor la energía que se pierde por este concepto.
- Cuando se trabajen intercambiadores a alta presión es conveniente reutilizar los revaporizados para disminuir pérdidas por alta temperatura en los condensados.

RETORNO DE CONDENSADOS Y USO DEL REVAPORIZADO

El retorno de condensados en una planta de procesamiento es de gran importancia por cuanto redundará en ahorros importantes de energía.

A manera de guía, unos condensados descargados por una trampa de vapor de un intercambiador de calor que trabaja a una presión de 100 psi, tienen una energía aprovechable por kilogramo descargado de 10 kcal (39,68 BTU)

Dentro de los usos más frecuentes que se le pueden dar a los condensados, se encuentra el de precalentamiento, que consiste en coger estos condensados y, a través de un serpentín ubicado en el lado frío del producto a calentar, precalentar éste enfriando los condensados.

Otra aplicación importante, y sobre todo en las plantas extractoras de aceite, es la de precalentar el agua de alimentación de la Caldera, obteniéndose adicional a la energía ya mencionada, un ahorro importante en los costos de tratamiento de estas aguas.

Con un montaje de bombeo adecuado, la temperatura del agua de alimentación de una Caldera se podrá elevar a temperaturas por encima de los 100°C (con desarreadores que trabajen a presión), lográndose llevar las concentraciones de oxígeno disuelto a cero. Adicionalmente, por cada kilogramo de condensado recuperado que se lleve a la Caldera, se evita tratar esa misma cantidad de agua en cuanto a dureza y sólidos.

En la Figura 3 se encuentra una guía rápida para el dimensionamiento de estas tuberías de retorno de condensado para distintas presiones de operación y descarga.

ACUMULADORES Y DISTRIBUIDORES DE VAPOR

Una teoría bastante difundida en el gremio palmicultor es la de utilizar grandes acumuladores de vapor para buscar amortiguar los aumentos súbitos de demanda de vapor generados por el llenado de autoclaves.

Para solucionar o amortiguar este inconveniente asociado al proceso de extracción del aceite de palma, es más importante, como se verá adelante, seleccionar

adecuadamente el tipo de caldera y su capacidad y, optimizar el manejo de las autoclaves.

Sin dejar de reconocer que un acumulador de energía de gran tamaño en alguna forma tiene un efecto positivo sobre el proceso, éste es despreciable si se corrigen los problemas en su origen (generación del vapor) y su destino (consumo).

A manera de ejemplo, si se considera una planta que procesa 10 t RFF/h y que tenga un consumo promedio estimado de 470 kg de vapor/t de fruto procesado, en

esta planta el consumo total será de 4.700 kg/h y supone que se dispone de una caldera de 400 BHP (5.400 kg/h).

Al tomar un acumulador lleno de vapor a 120 psig y con medidas de 1,50 m de diámetro y 3 m de longitud, se podrá acumular la siguiente cantidad de masa.

$$\text{Volumen del tanque} = 5,3 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen específico del vapor a } 134,6 \text{ psig} = 0,207 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{Masa de vapor acumulada} = 5,3\text{m}^3/0,207 \text{ m}^3/\text{kg} = 25.6 \text{ kg}$$

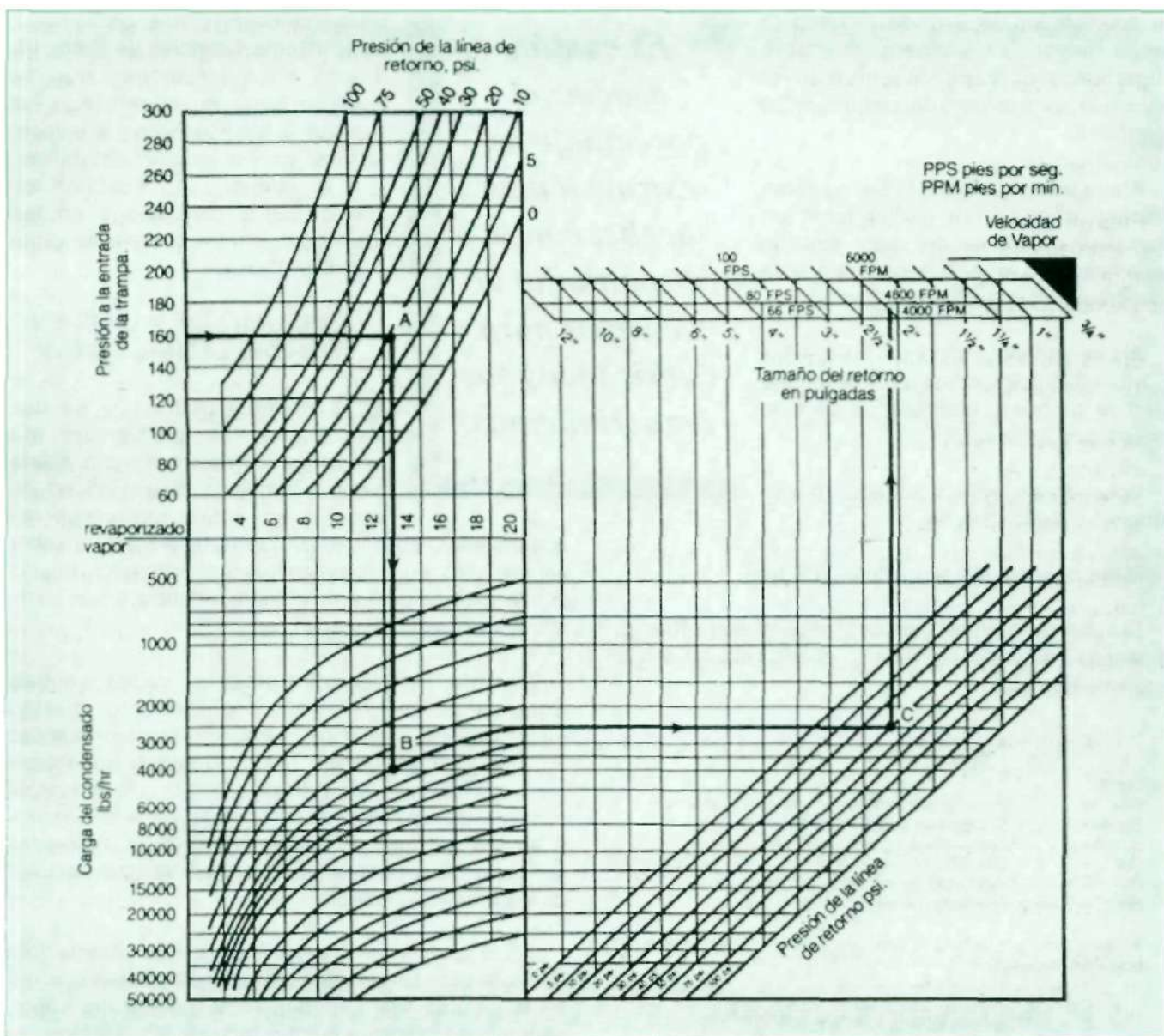


Figura 3. Dimensionamiento de líneas de condensado

Si se libera el vapor contenido, reduciendo la presión hasta equilibrarla con la del esterilizador (40psig), se tendrá que en el tanque habrá quedado:

Como el volumen específico del vapor a 54,6 psig es igual a 0,488 m³/kg, la masa contenida por el recipiente de 5,3 m³ a 40 psig será de 10,84 kg, por lo tanto, la masa liberada de vapor por este acumulador será de tan sólo 14,76 kg, valor este correspondiente al vapor generado por la caldera en un lapso de aproximadamente 10 segundos.

Con estos datos, aun si se considera un acumulador de 9 m de longitud (3 veces mayor en volumen), se habrá aumentado el vapor acumulado al generado por la caldera del ejemplo en 30 segundos.

Ahora bien, si realmente se requieren amortiguar picos, se podría tener un acumulador pero no de vapor sino de agua saturada que se encuentre a la presión y temperaturas de saturación.

Al usar el tanque del ejemplo anterior (5,3 m³ y 120 psig), pero en vez de tenerlo lleno de vapor se tiene lleno de agua, la masa acumulada será:

Volumen específico del agua a esa condición: 0,00112 m³/kg.

Masa de agua almacenada: 4.732,1 kg

Si a este tanque se le reduce la presión hasta 40 psig, la cantidad de vapor liberada se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$Cs = \frac{(H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}) \times Gw}{Hs - Hw}$$

donde:

Cs =	Vapor generado por unidad de volumen
H máx=	Entalpia del agua a la máxima presión.
H mín=	Entalpia del agua a la mínima presión.
Gw =	Gravedad específica del agua (lbs/pie ³ a kg/m ³)
Hs =	Promedio de entalpias del vapor
Hw =	Promedio de entalpias del agua

al reemplazar por valores la ecuación anterior se tendrá que (en unidades inglesas):

$$Cs = \frac{(322,5 \text{ Btu/lb} - 255,2 \text{ Btu/lb}) \times 55,5 \text{ lbs/pie}^3}{(1183,45 - 288,85) \text{ BTU/lb}}$$

$$Cs = 4,17 \text{ lbs/pie}^3$$

Como el volumen del tanque es de 5,3 m³ (187,16 pie³) se generarán aproximadamente 354,7 kg (780 lbs) que comparados con los 14,76 kg en el de vapor significan un aumento importante, pero que si se compara esta cifra con la capacidad de generación de la Caldera y con el consumo de vapor en la planta, está sigue siendo un valor pequeño.

Distribuidores de vapor

De los cálculos anteriores se puede deducir que la masa de vapor que se puede almacenar, aun en volumen

relativamente grande, es prácticamente despreciable, por lo tanto, al instalar distribuidores de vapor, las únicas consideraciones que se deberán tener en cuenta son las relativas al tamaño físico y al número de tuberías a conectar al distribuidor, y a la facilidad de evacuar los condensados producidos en las tuberías usando la trampa de vapor correspondiente.

CONSUMO DE VAPOR EN PLANTAS EXTRACTORAS

Es norma común, hoy en día, asociar el porcentaje de extracción de aceite en una planta extractora con la disponibilidad de vapor para cubrir todos sus requerimientos, es por esto, que el determinar o saber estimar el consumo de vapor puntual o promedio de una planta extractora sea de vital importancia y aún más, manejarlo adecuadamente.

En una instalación típica, el vapor se usa principalmente para el calentamiento directo (esterilizadores, digestores) o indirecto (manejo del aceite en sus distintas etapas o almacenamiento) o para procesos de secamiento, de ahí que el cálculo teórico del consumo de vapor sea un proceso relativamente sencillo, si se tiene el flujo de aceite dentro de la planta, las temperaturas a manejar y el porcentaje de agua a extraer de los productos a secar.

Dado que, por norma general, en una planta extractora de aceite sobra el combustible, en muchas ocasiones no se le da una real importancia al manejo del vapor, controlando su consumo sobre todo en los usos donde se requiere vapor vivo. Es verdad que en estos casos un

Es común asociar el porcentaje de extracción de aceite, con la disponibilidad de vapor para cubrir todos sus requerimientos.

ahorro de energía no pareciera importante por sí mismo, pero si se cuantifican los puntos de extracción sacrificados o el fruto dejado de procesar por bajones de presión en el suministro de vapor para la planta, se encontrará que este aspecto es de vital importancia en una planta extractora.

Es por este motivo que en este capítulo se hablará principalmente del cuidado y de las ventajas que se obtienen al controlar las descargas súbitas de vapor que causan este problema.

Como datos promedios en plantas estándar, se encuentra como típicos los siguientes consumos por tonelada de fruto procesado:

Digestores:	35 kg de vapor
Transportador de fibra:	10 kg
Silo Secador de Nueces:	65 kg
Calentamiento de aceite crudo:	22 kg
Calentador de aceite:	22 kg
Clarificadores:	10 kg
Calentamiento de agua:	40 kg
Almacenamiento y Trampas de grasas	21 kg
Precalentamiento agua	
Caldera	25 kg

El consumo total en la planta sin esterilizadores: 250 kg de vapor por tonelada de fruto procesado.

Estos consumos no merecen mayor comentario, distinto al cuidado que se debe tener en las instalaciones, para que todos los procesos de calentamiento se lleven a sus temperaturas correctas y así lograr un rendimiento óptimo en la planta.

Resumiendo lo dicho anteriormente, una caída de presión en el vapor, generada por mal dimensionamiento de Caldera o tuberías de conducción o por un manejo inadecuado de los esterilizadores, conlleva los siguientes problemas en los procesos de calentamiento.

- Menores tasas de transferencia de calor por disminución del diferencial de temperatura entre el vapor y el producto.
- Incapacidad de las tuberías para transportar el vapor requerido por estar éste a una presión menor a la de diseño.
- Menor flujo de vapor a través de placas de orificio,

tuberías o eyectores causada por la disminución del diferencial de presión.

- Incapacidad de las trampas de vapor para evacuar condensados cuando la presión de entrada disminuye. Este fenómeno llega a ser particularmente grave cuando la trampa permite la inundación del intercambiador, llegándose en casos extremos a anular completamente.

Consumo de esterilizadores

Ya que es este el punto donde se centrará la atención, por su importancia dentro de la calidad del proceso y por la posibilidad de generar problemas, se va a trabajar un ejemplo para una planta que procese 20 tRFF/h y se calculará la operación con uno, dos o tres esterilizadores.

Al tomar como consumo promedio estándar 220 kg de vapor/t en la esterilización, se tendrá:

Consumo total promedio de otros usos: 5.000 kg/h

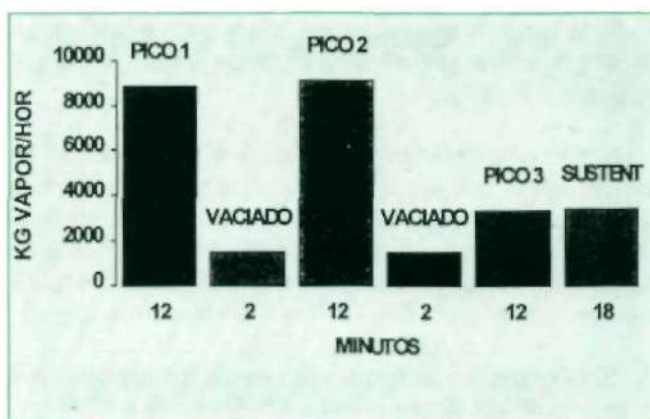
Consumo promedio de esterilizadores 4.400 kg/h

Total consumo promedio de la planta: 9.400 kg/h

Ejemplo con un esterilizador:

Para lograr un flujo continuo (20 t/h) de fruto a las prensas, se deberá contar con un esterilizador que logre manejar 24 tRFF en un tiempo no mayor a 70 minutos (incluidos tiempos muertos).

Al tomar los tiempos de esterilización de un ciclo teórico de 12 minutos por pico, con tres picos, 6 minutos en descargas totales y un mantenimiento de 18 minutos, se tendrá:



Si de la gráfica anterior se toma el consumo más alto y se le suma el consumo del resto de la planta, se obtiene que para sortear el pico sin perjudicar el proceso se debe disponer, al menos durante los picos de llenado, de una cantidad de vapor de 14.134 kg/h de vapor.

Ejemplo con dos esterilizadores:

Si se utilizan los datos del ejemplo anterior y se dividen en dos esterilizadores, cada uno de la mitad de la capacidad, encontrará que el consumo de vapor para cada una de las fases de la esterilización en términos de kg/h de vapor con un ciclo igual será de:

PICO # 1	4.435 kg/h	(12 min)
PICO # 2	4.567 kg/h	(12 min)
PICO # 3	1.637 kg/h	(12 min)
Sostenimiento	1.707 kg/h	(18 min)

Al sumar los consumos de vapor de los dos esterilizadores, después de coordinar los tiempos de tal forma que nunca se crucen dos picos al mismo tiempo, se obtendrá un consumo máximo de esterilizadores de 6.274 kg/h, que sumados a los 5.000 kg/h de la planta dará un consumo máximo pico de 11.274 kg/h, cifra ésta que representa un ahorro del 20% en el consumo sobre el ejemplo anterior.

Ejemplo con tres esterilizadores:

Si en lugar de usar dos esterilizadores se pasa a tres, y se buscan los tiempos y cantidades de fruta con las cuales se organice la operación de tal forma que siempre estén simultáneamente un autoclave en pico y uno en mantenimiento, se tendrán los siguientes resultados:

Para lograr la capacidad de 20 t/h, cada esterilizador deberá procesar una tercera parte de este fruto, lo que equivale a 6.667 kg/h.

Si se combina el inicio de cada esterilizador de tal forma que se cumpla la condición de mantener uno en pico y uno en período de bajo consumo, se encuentra que el tiempo transcurrido entre cada ciclo completo de un esterilizador deberá ser de 86 minutos (se asumen los mismos tiempos del ciclo de los ejemplos anteriores).

Si la duración de cada ciclo es de 86 minutos y el consumo de la planta por esterilizador es de 6.667 kg/h,

se tendrá que en cada ciclo se deberán cocinar 9.559 kg de fruta.

Para un esterilizador con 9.550 kg de fruta en los tiempos señalados, los consumos, en términos de kg/h serán:

PICO # 1	3.538 kg/h
PICO # 2	3.633 kg/h
PICO # 3	1.312 kg/h
Sostenimiento	1.344 kg/h

Al cumplir la condición propuesta de tener únicamente un pico y un período de bajo consumo superpuestos, se tendrá un consumo máximo pico en esterilización de 4.977 kg/h que sumado al consumo de planta da como resultado un consumo máximo pico de 9.977 kg/h para el total de los usos.

Conclusión

Al observar los tres ejemplos anteriores, uno se da cuenta de que en el primero, el consumo pico equivale al 150% del consumo promedio estimado para el total de la planta; para el segundo, este valor se reduce al 120%, siendo para el tercer caso tan sólo del 106%.

En cualquiera de los ejemplos, la caldera de la planta deberá ser seleccionada para cubrir la demanda pico, bien sea asumiendo el manejo con caídas de presión bruscas (manejo inadecuado) o con la capacidad suficiente.

SELECCION DE CALDERAS

Para seleccionar la caldera adecuada que se requiere para una planta nueva o para una ampliación, se deberá, como se vió anteriormente, tener muy en cuenta el consumo promedio y el pico de la planta, la longitud de las tuberías entre la Caldera y los centros de consumo importantes y las necesidades térmicas del proceso.

Los datos que se deberán conocer con plena exactitud antes de tomar la decisión de compra de una Caldera que va a operar en una planta extractora de aceite de palma son:

- Masa de vapor requerida por el total del proceso, relacionando la capacidad promedio con los consumos

... la caldera de la planta deberá ser seleccionada para cubrir la demanda pico

picos, la duración de éstos y su influencia en el proceso.

- Presión requerida por el proceso para garantizar las condiciones de transporte del vapor, temperatura en los productos a calentar y funcionamiento adecuado de las trampas de vapor.
- Cantidad de combustible, tipo y su humedad

Cantidad de vapor requerida

Al hacer el análisis del vapor requerido se deberá tener en cuenta la relación que existe entre un caballo de Caldera (BHP = Boster Horse Power), la temperatura del agua de alimentación y la cantidad de vapor producida por la Caldera.

Por definición, un caballo de Caldera es una unidad de energía que equivale a 33.475 B.T.U./h, loque significa que una Caldera transforma en una hora esta cantidad de energía (del combustible al agua), convirtiendo agua a presión en vapor saturado a la misma presión. Para esta transformación del agua en vapor se requieren básicamente dos pasos: Primero, calentar el agua desde la temperatura de evaporación a la presión de operación de la Caldera, y como segundo paso suministrarle el calor latente de vaporización al agua calentada para convertirla en vapor saturado.

A manera de ejemplo, si se tiene agua a 20°C y una presión en la Caldera de 100 psia (85,3 psig), la energía requerida por el agua para convertirse en vapor será:

A. Calentamiento.

La temperatura a la cual evapora el agua cuando se encuentra a 100 psia, es de 327,82°F (164,34°C). Para una libra de agua que se calienta desde 20°C (68°F) hasta 164,34°C (327,82°F) la energía requerida es :

$$Q = m \text{ cp } \Delta T = 1 \text{ lb} \times \frac{1 \text{ B.T.U.}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \times (327,82 - 68)^\circ\text{F}$$

$$Q = 259,82 \text{ B.T.U.}$$

B. Evaporación

Teniendo el agua caliente, se le deberá suministrar la energía requerida para evaporarla completamente. De las tablas de vapor, la energía requerida para evaporar una libra de agua a 100 psia es de 888,6 B.T.U.

sumando: A(calentamiento) + B (evaporación) el resultado es: 1.148,42 B.T.U./lb.

Como por cada caballo de Caldera (BHP) se dispone de 33.475 B.T.U./h, se tendrá que en una hora se podrá evaporar la siguiente masa de agua:

$$m = \frac{33.475 \text{ B.T.U./h}}{1.148,42 \text{ B.T.U./lbm}} = 29,15 \text{ lb/h}$$

Si se revisa con atención el ejemplo, se verá que a medida que se caliente más el agua de alimentación, la energía necesaria para el calentamiento previo a la evaporación será menor y por lo tanto la Caldera evaporará más masa de agua por caballo.

En la siguiente tabla se encuentra una guía rápida para obtener el dato de las lbs o kg hora de vapor producidos por BHP a distintas temperaturas.

TEMP °C	lbs/BHP	kg/BHP
20	29,00	13,18
30	29,47	13,40
40	29,94	13,61
50	30,43	13,83
60	30,90	14,05
70	31,46	14,30
80	32,00	14,55
90	32,57	14,80
100	33,15	15,07

Observaciones:

- Dentro de un amplio rango de presiones, a medida que ésta aumenta, el agua requiere más energía de calentamiento pero menos energía de evaporación, siendo finalmente la suma casi constante para cualquier presión.
- Como definición teórica (NO PRACTICA) se dice que un caballo de Caldera equivale a 34,5 libras, siendo esto cierto únicamente cuando se tiene evaporación a 0 psig y temperatura de agua de alimentación de 100°C(212°F).

Presión

Como se sabe, la temperatura del vapor tiene una relación única e inequívoca con la presión, por lo tanto si se requieren unas condiciones de proceso determinadas, se deberá seleccionar la presión adecuada del vapor que cumpla con las necesidades planteadas en el proceso. A

esta presión seleccionada, se le deberán sumar las pérdidas calculadas en tubería y se hallará la presión mínima de operación de la Caldera.

Combustible

El combustible de las plantas extractoras es, como se sabe, un subproducto del proceso que se consume directamente y que no es posible dosificarlo ni guardarlo. Su producción depende únicamente del fruto que pasa por las prensas, que en la mayoría de los casos está en equilibrio con toda la operación de la planta pero que no siempre es así. Aún en los mejores casos, cuando lo que se esteriliza se prensa, el combustible pasa en cantidades algo caprichosas que nunca se pueden balancear para suministrarle a la Caldera únicamente (ni más ni menos) lo requerido. Es esta la razón por la cual al seleccionar la Caldera se deberá buscar un equipo con una alta capacidad, de tal forma que absorba energía en los picos de mayor suministro de combustible, para luego salir de ella cuando hay poco combustible.

Como se vió anteriormente, la mejor forma de almacenar energía es en agua que se encuentre a la presión y temperatura de evaporación requeridas, y esto se consigue en Calderas que tengan un gran volumen de agua.

Una Caldera con poca agua almacenada tendrá fluctuaciones constantes de presión, debidas al suministro irregular de combustible; y una caldera con exceso de agua tendrá unos tiempos de encendido demasiado lentos, y por lo tanto deberá buscar un equilibrio con unidades que tengan tiempos de encendido de aproximadamente una hora trabajando al 50 - 60% de su capacidad nominal.

Hasta ahora se ha mencionado sin mucha relación entre sí: masa de vapor, presión y combustible, y sin relacionar estas magnitudes con plantas extractoras. El objetivo de esta introducción teórica es la de darle a la persona que busca una Caldera, argumentos técnicos suficientes para lograr seleccionar adecuadamente su Caldera teniendo en cuenta las siguientes consideraciones técnico-económicas.

Como se vió en el ejemplo de esterilizadores, el consumo de vapor en una planta extractora, según sea diseñada puede ser estable, con ligeros picos o con grandes picos.

Si el consumo es muy estable, se deberá seleccionar una Caldera cuya capacidad nominal sea cuando menos un 120% de la capacidad de demanda de la planta y deberá operara la presión calculada con el procedimiento ya descrito.

Si la planta trabaja con picos, hay dos formas de trabajarlos. Una es la de seleccionar la capacidad de la Caldera con el tope del pico, y la otra es seleccionar una capacidad menor pero con una presión mayor a la requerida para absorber los picos vía caídas de presión.

Si se opta por la segunda alternativa, se deberá tener en cuenta la frecuencia de los picos y el espaciamiento entre ellos, previendo que la caldera se deberá recuperar entre uno y otro para no provocar una caída continuada de presión que llegue a perjudicar la operación de la planta. El operar una caldera forzando su capacidad para recuperar caídas de presión en picos genera problemas de contaminación, partículas en chimenea y deterioro de la máquina.

Medición de la eficiencia y la capacidad de la caldera

Para finalizar el tema de Calderas, en esta sección se darán unas breves indicaciones de cómo determinar la producción de vapor de una Caldera y su eficiencia aproximada. Con la combinación de estos dos datos se podrá determinar, en caso de tener problemas, si estos se encuentran en la capacidad de la Caldera o en su operación.

Medición de Caudal

La forma ideal de medir la producción de vapor de una Caldera es usar un tubo pitot con un transductor de presión y medir directamente el flujo o la diferencia de presión y calcular el flujo con la siguiente fórmula:

$$\text{Caudal (lb/h)} = 359,1 \times K \times D^2_i \times v \text{ (densidad} \times A \text{ P)}$$

*la mejor forma
de almacenar
energía es en
agua que se
encuentre a la
presión y
temperatura de
evaporación
requeridas.*

Donde K es una constante suministrada por el fabricante del tubo pitot.

Este equipo completo tiene un costo de \$6'500.000,00 y garantiza una lectura exacta a cualquier condición del vapor, cuando tiene corrector de presión.

Si no se dispone de equipos para medir el flujo de vapor, se puede medir el consumo de agua de la Caldera teniendo el cuidado de medir la consumida por la bomba mientras está prendida y tomar los tiempos de bomba prendida y bomba apagada. De esta forma se sabrá el consumo de agua en el tiempo, obteniendo los datos instantáneos y promedio. Con esta medida se deberá tener el cuidado de medir la cantidad de agua presente en el vapor (recolectar el agua evacuada por la trampa en el distribuidor de la Caldera) para obtener el vapor neto producido útil a la planta.

Medición de la eficiencia

Dada la dificultad que existe para medir la cantidad de combustible y poder relacionar éste con el vapor producido, una forma de establecer la eficiencia de la operación de la Caldera se consigue midiendo y relacionando el aire de combustión con la temperatura de gases en chimenea.

En la tabla siguiente se encuentran relaciones tabuladas para Calderas operando con fibra de palma como combustible.

Eficiencia en calderas

Poder calorífico de fibra

Inferior	2.891 kcal/kg	5.204 B.T.U./lb
Superior	3.326 kcal/kg	5.986 B.T.U./lb

Masa de combustible

167 lb/1 E 6 B.T.U.S Input (superior)

Aire teórico 751 lb/1 E 6 B.T.U.S Input

Relación aire/ Combustible 4,50

Humedad 35%

Inquemados 3%

Pérdidas por radiación y convección en la caldera 3%

$$\text{Eficiencia} = \frac{Q(\text{caldera})}{Q(\text{input})} = \frac{Q(\text{input}) - \text{PERDIDAS}}{Q(\text{input})}$$

$$\text{Pérdidas} = Q(\text{gases de combustión}) + \text{Pérdidas por radiación y convección caldera} + \text{Pérdidas por inquemados}$$

Eficiencia calderas en porcentaje

Exceso de aire (%)	Temperatura chimenea(°C)							
	200	240	260	280	300	350	400	450
0	80	78	77	77	76	73	71	69
10	80	78	77	76	75	72	70	67
20	79	77	76	75	74	71	68	66
40	78	75	74	73	72	69	66	63
50	77	74	73	72	71	68	64	61
60	76	74	72	71	70	66	63	60
80	75	72	71	69	68	64	60	57
100	74	71	69	67	66	62	58	53
150	71	67	65	63	61	56	51	46
200	67	63	60	58	56	50	44	38

*** Valor solo teórico, se necesita mínimo un 40% de exceso de aire para combustión completa.

El combustible sobrante al pasar de 66% a 78% de eficiencia es 15%.

COGENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

Definición - Se entiende como cogeneración en una instalación industrial, cuando parte de la energía de presión del vapor generado por una caldera es usada en una primera estación para generar energía eléctrica o mecánica en una turbina lograda mediante la expansión del vapor y luego, en una segunda estación en el proceso, la restante se usa para producir energía térmica (calentamiento).

Energía disponible por tonelada de fruta procesada

Por cada tonelada de fruta procesada se obtienen tres subproductos susceptibles de ser utilizados como fuentes de energía, haciéndolos entrar en combustión. Estos subproductos son: Fibra, Cascarilla o cuesco y Raquis.

Los poderes caloríficos netos entregados por cada uno de estos combustibles son:

Fibra: 2.800 kcal/kg con humedad del 35%
 Cuesco: 4.500 kcal/kg
 Raquis: 1.400 kcal/kg

Si se tiene que en promedio, por cada tonelada de fruto procesado quedan 140 kg de fibra y 85 kg de cuesco, esto da como resultado que la energía disponible total es de 774.500 kcal, que utilizados adecuadamente en una caldera, generarán netos aproximadamente 978 kg de vapor. Para procesar esta tonelada de fruto se requieren apenas (en promedio) netos, según los consumos estándar, 470 kg de vapor y 25 kW-h de energía eléctrica.

Si se asume, como dato aproximado, que se requieren unos 30 kg de vapor por kW-h (turbina de eficiencia moderada), se tendrá que para generar la energía requerida para procesar esa tonelada de fruto se necesitan 750 kg de vapor, que son perfectamente generables por la instalación. Es importante anotar que en estos cálculos preliminares globales no se ha contado con la energía disponible en el raquis.

Desde el punto de vista puramente térmico y de generación eléctrica, una planta extractora es capaz de generar su propia energía.

Cálculo teórico de la máxima cantidad de energía producida por una instalación

Con base en la teoría general de turbinas, y como guía para determinar la máxima capacidad a generar en una instalación cualquiera, se tiene:

Información Requerida:

Máxima presión a la cual se puede generar el vapor, y si es saturado o recalentado.

Mínima presión a la cual se puede usar el vapor del tubo de escape de la turbina en el proceso.

Cantidad de vapor generado.

En un diagrama de Mollier (ver ejemplo), se ubica el punto en el cual se encuentra el vapor generado y se reseña la entalpía en esa condición (usar el dato de la presión absoluta).

Como segundo paso, y asumiendo que el vapor se expande en la turbina en forma isoentrópica, se busca el punto del vapor a la descarga y se lee el dato de su entalpía (usar el dato de la presión absoluta).

Con los datos de las entalpías obtenidas, se realiza el siguiente cálculo:

$$kW = \frac{m(h_1 - h_2) \times 0.50}{3.414,4}$$

en donde:

m = Vapor generado en lb/h
h1 = Entalpía del vapor a la entrada en B.T.U./lb
h2 = Entalpía del vapor a la salida en B.T.U./lb

Al realizar estos cálculos se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos colaterales que pueden afectar el proceso:

- Cómo se afecta el proceso trabajando con vapor a una presión.
- Examinar la humedad del vapor obtenido luego de la expansión en la turbina. El vapor húmedo tiene menor energía que el vapor saturado, y en la medida que la humedad aumenta, la energía disponible disminuye.

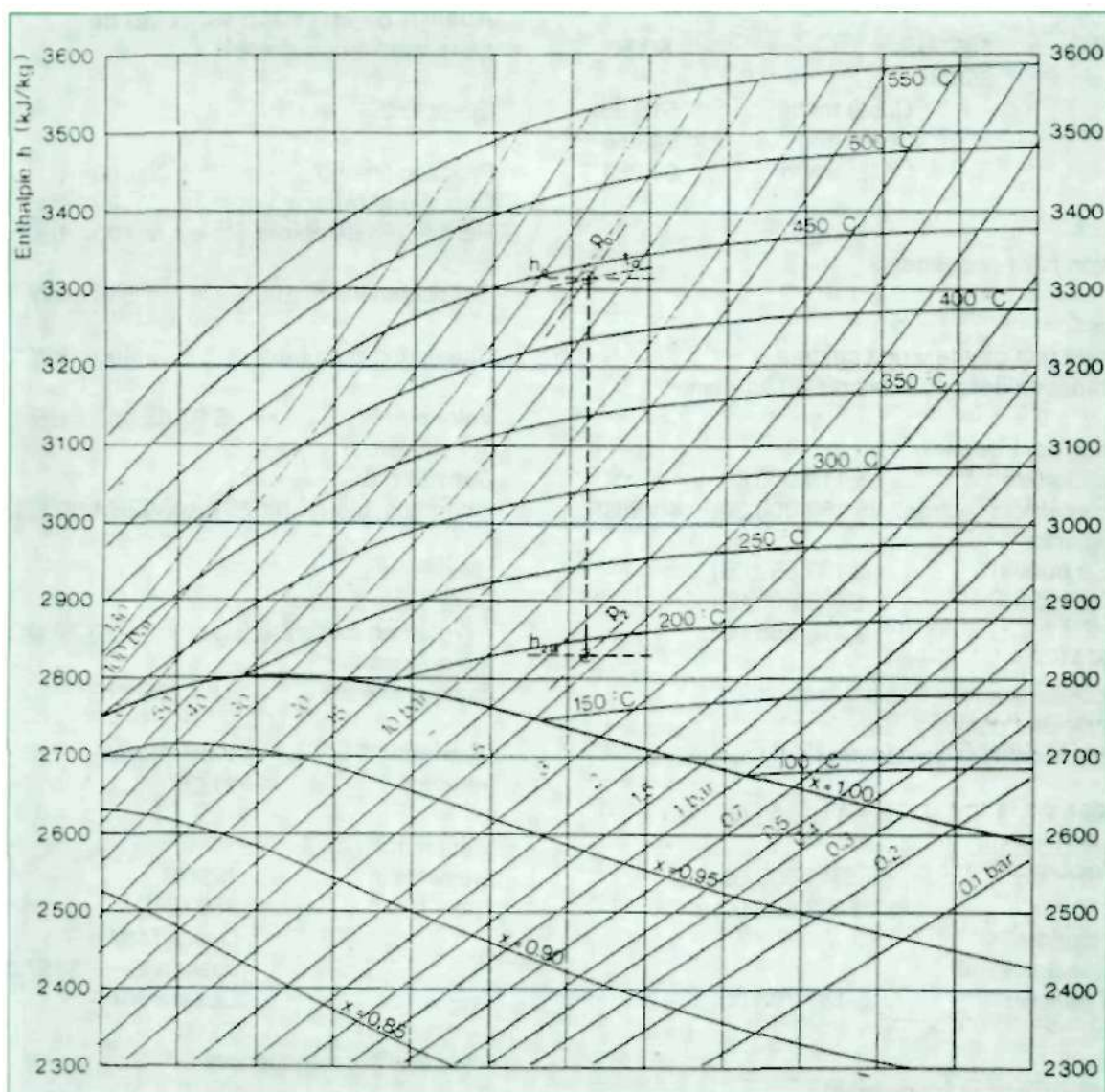
A continuación y a manera de guía rápida se presenta una tabla en la cual se puede leer la capacidad teórica de cogeneración eléctrica para distintos tamaños de plantas extractores de aceite de palma.

Tamaño aprox de planta (t/h)	Vapor prod. kg/h	Presión psi	Temp. vapor	Kw-h Generados
10	5.450	260	Saturado	106
	5.450	260	Saturado	180
	5.450	260	500°F	204
15	8.180	150	Saturado	160
	8.180	260	Saturado	270
	8.180	260	500°F	306
20	8.180	300	580°F	376
	10.900	150	Saturado	213
	10.900	260	Saturado	360
30	10.900	260	500°F	408
	10.900	300	580°F	501
	16.360	150	Saturado	320
	16.360	260	Saturado	540
	16.360	260	500°F	612
	16.360	300	580°F	752

NOTA: Los valores anteriores deben tomarse únicamente como guía. Las producciones reales dependen de la eficiencia específica de la turbina y del generador elegidos.

ANALISIS ECONOMICO PARA UN PROYECTO DE CONGENERACION

Para este análisis se ha trabajado sobre ejemplos para plantas con capacidades de 10 y 20 t/hr y en cada ejemplo se han supuesto tres eventos distintos



dependiendo de la necesidad o no de cambiar o comprar Caldera nueva o planta diesel nueva.

Análisis de inversión vs. costo de generación con diesel

Ejemplo 1

Producción anual	45.000	t
Capacidad fábrica	10	t/h
Horas- año de planta	5.175	h
Capacidad instalada	275	kW
Capacidad promedio	217	kW

Valor planta		SUS	47.784,00	
				Costo/h
Consumo de combustible	0,075	gls/kw-h	\$1,00US/gl	\$16,30
Lubricantes				
Cambio de aceite				
(volumen carter)	10	gls	\$6.00 US/gl	\$0,24
Intervalo de cambio aceite	250	h		
Overhaul	30%	Valor planta		\$1,30
Intervalo	11.000	h		

Mantenimiento preventivo	125 US 250 h	\$0,50
	Costo total/h.	\$18,35
	Costo año	\$94.948,56
	Costo kW-h	\$0,084

Inversión para coogenerar

Evento 1

Se vende una planta y una caldera .
Se compra caldera de alta presión y turbina

Inversión para generar

Compra turbina	\$ 110.000,00	
Compra caldera y otros	\$ 152.000,00	400BHP
Venta planta (65% de nueva)	\$ (23.892,00)	
Venta caldera	\$ (22.800,00)	
	\$ 215.308,00	

Evento 2

Se necesita comprar una caldera
Se vende una planta
Se compra caldera de alta presión y turbina

Compra turbina	\$ 110.000,00
Adicional caldera alta Presión	\$ 45.600,00
Venta planta	\$ (23.892,00)
Venta caldera	\$
Inversión adicional para generar	\$ 131.708,00

Evento 3

Se necesita comprar una planta
Se vende una caldera
Se compra caldera de alta presión y turbina

Compra turbina	\$ 110.000,00
Caldera alta presión	\$ 152.000,00
Costo planta	\$ (47.784,00)
Venta caldera	\$ (22.800,00)
Inversión adicional para generar	\$ 191.416,00

Análisis de inversión vs. costo de generación con diesel

Ejemplo 2

Producción anual	80.000 t
Capacidad fábrica	20 t/h
Horas- año de planta	4.600 h
Capacidad instalada	545 kW
Capacidad promedio	400 kW
Valor planta	\$ 97.927,00 US
Costo/h	
Consumo de combustible	0,075 gls/kW-h \$1,00 US/gl \$30,00
Lubricantes	
Cambio de aceite (volumen carter)	30,9 gls \$6,00 US/gl \$0,74
Intervalo de cambio aceite	250 h
Overhaul 30% Intervalo	Valor planta \$2,67 11.000 h
Mantenimiento preventivo	125US \$0,50 250 HRS
	Costo Total/h \$34,21
	costo año \$157.3760,75
	Costo kW-h \$0,086

Inversión para coogenerar

Evento 1

Se vende una planta y una caldera.
Se compra caldera de alta presión y turbina

Inversión para generar

Compra turbina	\$ 190.750,00
Compra caldera y otros	\$ 300.000,00 800BHP
Venta planta (65% de nueva)	\$ (48.963,50)
Venta caldera	\$ (45.000,00)
	\$ 396.786,50

Evento 2

Se necesita comprar una caldera

Se vende una planta

Se compra caldera de alta presión y turbina

Compra turbina	\$ 190.750,00
Adicional caldera alta presión	\$ 90.000,00
Venta planta	\$ (48.963,50)
Venta caldera	\$ -
Inversión adicional para generar	\$ 231.786,50

Evento 3

Se necesita comprar una planta

Se vende una caldera

Se compra caldera de alta presión y turbina

Compra turbina	\$ 190.750,00
Caldera alta presión	\$ 300.000,00
Costo planta	\$ (97.927,00)
Venta caldera	\$ (45.000,00)
Inversión adicional para generar	\$ 347.823,00