

22
209



Universidad Nacional Autónoma
de México

Facultad de Estudios Superiores
CUAUTITLAN



Uso Eficiente del Vapor en la Industria de Alimentos

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A
GERMAN } SCHAUB GARCIA

Asesor: ING. FERNANDO BERISTAIN

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

UNAM



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE.

INTRODUCCION.	1
OBJETIVO.	2
I. CALDERAS.	3
1.1 ELEMENTOS DE TERMODINAMICA APLICABLES A LAS CALDERAS.	4
1.2 EVAPORACION DE UNA CALDERA.	8
1.3 LA EFICIENCIA DE LA CALDERA.	11
II. GENERACION DE VAPOR.	16
2.1 PRESION DE VAPOR.	19
2.2 PROPIEDADES DEL VAPOR SATURADO.	21
2.3 CALIDAD DEL VAPOR.	29
III. CONDENSACION.	33
3.1 CONDENSACION EN TUBERIAS.	
3.2 CONDENSACION EN PLANTAS DE PROCESOS.	36
3.3 ELIMINACION DEL CONDENSADO.	37
IV. TRAMPAS PARA VAPOR.	40
4.1 GRUPO TERMOSTATICO.	41
4.2 GRUPO MECANICO.	42
4.3 GRUPO TERMODINAMICO.	50

4.4 OTROS TIPOS	52
V. DRENADO DE TUBERIAS PRINCIPALES DE VAPOR.	55
VI. SELECCION DE TRAMPAS.	62
6.1 CALCULO DE REGIMENES DE CONDENSACION.	84
6.2 MEDICION DEL CONSUMO DE VAPOR.	84
6.3 CALCULO DE LA CARGA DE CONDENSADOS.	88
6.4 GUIA DE SELECCION DE TRAMPAS PARA VAPOR.	92
VII. SELECCION DE EQUIPOS DE CONTROL EN PROCESOS ALIMENTARIOS.	101
7.1 VALVULAS REGULADORAS DE PRESION.	101
7.2 INSTALACION Y REGULACION DE LA VALVULA REDUCTORA.	102
7.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACION.	105
7.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA REDUCTORA.	108
VIII. SITUACION REAL DE EQUIPOS DEL LEM ALIMENTOS	110
8.1 INSTALACION CORRECTA DE LOS EQUIPOS.	113
8.2 RECOMENDACIONES FINALES.	117
IX. CONCLUSIONES	121
X. BIBLIOGRAFIA	123

INTRODUCCION.

La presente tesis, trata de proporcionar al estudiante y profesionales en general, todo lo relacionado al uso del vapor en una forma fácil de comprender y con un enfoque práctico.

El vapor, es uno de los servicios más comunmente empleados en la industria, si bien fué originalmente utilizado como fuente de potencia, actualmente su principal uso es como transportador de energía.

El trabajo incorpora el concepto de energía y, al estar tratando con líquidos o vapores, nos referiremos al término ENTALPIA, que es utilizado para describir la energía total de un líquido o vapor.

Así mismo cuando hablemos de "calor" lo definiremos como una manifestación de la energía, y el termino "transmisión de Calor" como el flujo de energía en tránsito entre dos fuentes a diferente temperatura y en contacto una con otra.

Al existir una creciente necesidad de energía, y siendo el vapor la manera más adecuada y económica de transportar grandes cantidades de energía, se utiliza ampliamente para calefacción, para secar alimentos, para evaporar y concentrar, para procesos de calentamiento y para efectuar un sin número de procesos en todas las ramas de la industria. Su gran utilidad obedece a que el vapor se produce evaporando agua que es relativamente barata y accesible

en gran parte del mundo, su temperatura se puede ajustar con mucha precisión controlando la presión mediante uso de válvulas muy simples, y transporta grandes cantidades de energía, por lo que las unidades calefactoras no deben ser excesivamente grandes.

Aún cuando la búsqueda de nuevas fuentes alternativas de energía continúa, la realidad es que la mayor parte de ella proviene de combustibles fósiles que se queman en las calderas para generar vapor, la necesidad de aprovechar al máximo estos recursos no renovables nos induce a optimizar el consumo de estos, en las plantas de proceso y servicio.

El presente manual va dirigido a todas las personas relacionadas con el diseño, operación, mantenimiento o cuidado en general de un sistema de vapor, fomentar el ahorro energético, y al aplicar todas las recomendaciones y selecciones de los sistemas, el usuario del vapor, podrá hacer un uso eficiente del mismo.

OBJETIVO:

ELABORACION DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL USO EFICIENTE DEL VAPOR EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA, Y SU EJEMPLO DE APLICACION EN LA EVALUACION DE LAS INSTALACIONES DEL L.E.M. DE ALIMENTOS.

I.- CALDERAS.

Generador de vapor. Es la serie de dispositivos que aprovechando el poder calorífico de un combustible producen vapor. Un generador de vapor está compuesto básicamente, por cuatro transmisores de calor que son: La caldera propiamente con su hogar, el precalentador de aire, el economizador y el sobrecalentador.

Superficie de calefacción. Es la superficie de metal que está en contacto al mismo tiempo con los gases de combustión y con el agua o vapor, es decir, es toda superficie de una caldera que está en contacto por un lado con el agua y por el otro está expuesta al fuego o la corriente de los gases de la combustión. Se mide del lado de los gases en m^2 o $pies^2$, en las calderas de tubos de humo y por el lado del agua en las calderas de tubos de agua.

Caballo Caldera. Se dice que una caldera tiene una capacidad de un caballo caldera, cuando es capaz de producir 15.65 Kg/hr. (34.5 lb/hr.) de vapor saturado de $100^{\circ}C$ ($212^{\circ}F$), utilizando agua de alimentación de la misma temperatura.

Cuando ésta cantidad de vapor se produce por cada m^2 de superficie de calefacción (aproximadamente 10 pies^2) se dice que la caldera está trabajando con 100% de carga.

En tamaños pequeños (calderas compactas) la capacidad se expresa en caballos caldera (CC).

El término caballo caldera es una denominación antigua pero se aplica todavía para designar la capacidad de calderas pequeñas (compactas) y tuvo su origen en el hecho de que una caldera al alimentar una máquina de vapor recíprocamente, ésta desarrollaba aproximadamente 1 CC por cada 10 pies² (1 m²) de superficie de calefacción de la caldera.

Comercialmente se acostumbra expresar los términos de capacidad, según el tamaño relativo de las caldera y practicamente encontramos dichas capacidades en los siguientes términos:

- a) Calderas pequeñas Kcal/hr., Btu/hr., de vapor.

- b) Calderas en la pequeña y mediana industria. Caballos Caldera

- c) Calderas grandes Kg/hr., Ton/hr., Lbs/hr., de vapor.

Todas estas capacidades son convertidas entre si tomando en cuenta la definición de caballo caldera de A.S.M.E.

1.1 ELEMENTOS DE TERMODINAMICA APLICABLES A LAS CALDERAS.

El vapor es una "fase" del estado gaseoso en donde la sustancia no se comporta de acuerdo con las leyes de los gases perfectos y gran parte de sus variables se determinan por experimentación en el laboratorio y se consignan en Tablas de Propiedades Termodinámicas. En particular nos interesa el vapor de agua

producido en un recipiente a presión llamado Caldera y en lo sucesivo, nos referimos a él como vapor.

El vapor puede estar "seco" cuando no contenga en su seno partículas de agua y "húmedo" en el caso contrario.

El vapor está "seco" a determinadas condiciones de presión y entonces se dice también que está saturado.

Existe una presión que se manifiesta de por vida en todos nosotros y ésta es la presión atmosférica que, por medirse con un barómetro, también se llama "presión barométrica". Es menor a medida que la altitud sobre el nivel del mar es mayor y es mayor a medida que nos aproximamos al nivel del mar. (1,5,16).

El agua al nivel del mar, hierve (se satura) a 100°C (212°F) en donde la presión barométrica es de 1.033 Kg/cm^2 (14.7 Lb/pulg^2). Si el agua que se evapora la confinamos en un recipiente y seguimos agregando calor, la presión aumenta y el punto de saturación también aumenta. Esta presión la puede registrar un manómetro, pero el manómetro marca cero cuando la presión es la atmosférica, es decir, sólo marca presiones "manométricas" o relativas. Esta medida de presión es satisfactoria para recipientes a presión como las calderas. Sin embargo, para cálculos termodinámicos es indispensable utilizar el concepto de "presión absoluta que es la suma de la presión atmosférica y de la relativa (presión barométrica, más presión manométrica). (1,5,16).

Ejemplo: al nivel del mar puede estar operando una caldera a 10 Kg/cm². de presión marcada por el manómetro. La presión absoluta será:

$$P_a = 10 + 1.033 \text{ Kg/cm}^2 = 11.033 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{si } 1 \text{ Kg/cm}^2 = 14.2 \text{ lbs/pulg}^2$$

$$P_a = 142 + 14.7 = 156.7 \text{ lbs/pulg}^2$$

En la Ciudad de México la presión barométrica es de 0.79 Kg/cm² = 11.2 lbs/pulg². Si la misma caldera produce vapor de 10 Kg/cm² (142 lbs/pulg²). La presión absoluta será:

$$P_a = 10 + 0.79 = 10.79 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_a = 142 + 11.2 = 153.2 \text{ Lbs/pulg}^2$$

De lo anterior se desprende que el comportamiento termodinámico de los vapores en algunas de sus variables depende de la presión absoluta y no de la relativa.

Por conveniencia, todos los conceptos relativos a los vapores de agua se refieren a las condiciones de presión al nivel del mar.

La figura 1 muestra cómo un Kg. de agua (1 lt.) al cual se le va agregando calor, alcanza la temperatura de 100°C y adquiere una energía (cantidad de calor) de 100 Kcal/kg. A partir de ese instante, no subirá mas la temperatura y todo el calor que cedamos al agua se utilizará unicamente en cambiar de estado (líquido a

vapor), hasta que todo el litro de agua (1kg.) se haya evaporado en su totalidad. Entonces el kg. de vapor tendrá almacenada una energía de 640 Kcal.

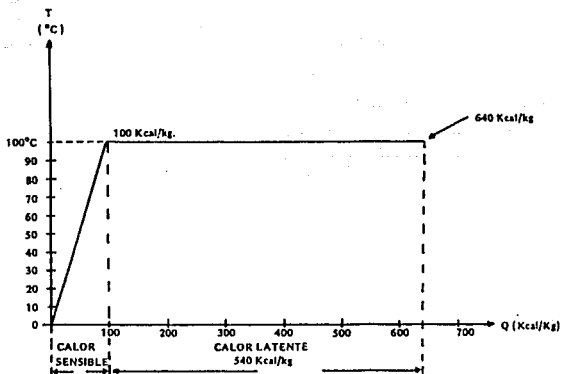


Figura 1. Producción de vapor a presión atmosférica.

El calor sensible es el que "se siente", el que percibe un termómetro ordinario; el calor latente no acusa una elevación de la temperatura del vapor. En una caldera, la temperatura de agua es exactamente la misma que la del vapor, sea éste húmedo o seco.

En el caso específico de las calderas de diseño moderno, el vapor que se obtiene es prácticamente seco y saturado a la presión de operación. Sin embargo, en algunos procesos industriales es necesario producir vapor de una temperatura mayor que la correspondiente a la saturación según la presión a que se trabaje

una caldera. Este vapor se llama "sobrecalentado" y para ello es necesario llevar el vapor que se produce en la caldera a un aparato llamado "sobrecalentador de vapor" que recibe calor de los mismos gases de combustión. Esto prácticamente se logra en calderas del diseño de tubos de agua que son las únicas que permiten espacios necesarios para la colocación del Sobrecalentador.

1.2 EVAPORACION DE UNA CALDERA.

Se llama "evaporación" a la cantidad (Kg o Lb) de vapor que produce una caldera bajo determinadas condiciones de presión absoluta en una hora y con determinada temperatura del agua de alimentación. Por ejemplo, se dice que una caldera cuya evaporación es de 1400 kg/hr. a 8.8 Kg/cm² manométricos, instalada en la Ciudad de México y a la que se le alimenta agua de 60°C. LA EVAPORACION ES LA MEDIDA DE LA CAPACIDAD DE UNA CALDERA. Las dificultades para designar la evaporación en estas condiciones, estriba en los siguientes puntos.

- 1.- Una misma caldera puede operar a diferentes presiones en el término de una hora, dependiendo de la demanda de vapor y, en consecuencia, de la cantidad de combustible que se alimente.
- 2.- La temperatura del agua de alimentación varía constantemente.
- 3.- La misma caldera puede estar instalada en sitios diferentes, a distintas altitudes sobre el nivel del mar.

Es decir, una misma caldera podría designarse en cuanto a capacidad (evaporación) con un número infinito de valores, dentro de determinados límites de presión del vapor, altitud y temperatura del agua de alimentación.

Para uniformizar nuestro criterio y evitar posibles confusiones, utilizaremos el término EVAPORACION EQUIVALENTE (nominal) para referirnos a la evaporación comparativa bajo las condiciones de presión absoluta al nivel del mar (1.033 Kg/cm^2 , $14.696 \text{ Lbs/pulg}^2$), de altitud cero y con agua de alimentación a 100°C (212°F).

Como la temperatura de saturación al nivel del mar es de 100°C (212°F), la evaporación equivalente es expresada como Kg/hr desde y hasta 100°C , o bien, lbs/hr. desde y hasta 212°F . (o sea, a una presión absoluta de 1.033 kg/cm^2 , $14.696 \text{ lbs/pulg}^2$).

Y utilizaremos el término EVAPORACION REAL (de Operación), para referirnos a la evaporación efectiva, bajo condiciones de presión manométricas de acuerdo a la altitud del lugar de operación de la caldera y con agua de alimentación con una temperatura efectiva en el momento de estar en operación.

Para transferir las capacidades reales a la equivalentes, que son las que proporcionan los fabricantes, interviene el concepto FACTOR DE EVAPORACION. Que es la relación que existe entre la evaporación equivalente y la evaporación real, bajo cualquier condición de operación.

Deberá tenerse presente que las capacidades que se menciona son capacidades máximas, es decir, considerando la máxima dotación de combustibles que puede admitir una caldera.

Si llamanos:

Fe = Factor de evaporación.

We = Evaporación equivalente.

Wr = Evaporación real.

Entonces tenemos:

$$Fe = \frac{WE \text{ (kg/hr desde y a } 100^{\circ}\text{C)}}{Wr \text{ (kg/hr reales)}} \quad (1)$$

El factor de evaporación por ser un número abstracto, es igual en cualquier sistema de unidades.

Ejemplo: Una caldera tiene una capacidad de 950 kg/hr, desde y a 100°C . pero en la práctica opera a una presión manométrica de 9.14 kg/cm² manométricos con agua de alimentación de 60° C

El factor de evaporación es de 1.118(de tablas), la evaporación real será:

$$Wr = \frac{WE}{Fe} = \frac{950}{1,118} = 850 \text{ kg/hr.}$$

De acuerdo con lo anterior vemos que el Factor de Evaporación realmente se calcula considerando la relación entre el calor que aprovecha en una caldera la unidad de peso de agua, hasta convertirse en vapor bajo las condiciones reales de operación y la

cantidad de calor que aprovecha la misma unidad de peso de agua, bajo las condiciones de presión y temperatura al nivel del mar.

Si consideramos, bajo condiciones reales:

h_v = Entalpía del vapor producido (Kcal/hr).

h_a = Entalpía del agua de alimentación (Kg/hr).

$h_v - h_a$ = Calor real (Kcal)., Que aprovecha la unidad de peso del fluido desde que entra hasta que sale de la caldera.

Y bajo condiciones equivalentes tenemos que:

$h_v - h'a$ = Calor en Kcal que ganaría la unidad de peso del fluido, desde que entra hasta que sale de la caldera bajo condiciones equivalentes, es decir:

$h'v$ = Entalpía del vapor de 1.033 kg/cm².

$h'a$ = Entalpía del agua de alimentación de 100°C.

$h'v - h'a$ = 640 kcal/kg - 100 kcal/kg.
= 540 kcal/kg.

Finalmente tenemos que:

$$\eta_e = \frac{h_v - h_a}{540} \quad (2)$$

h_v y h_a se determinan en tablas de propiedades termodinámicas del vapor de agua.

1.3 LA EFICIENCIA DE LA CALDERA.

La eficiencia de una caldera es la relación entre el calor

aprovechado por el fluido (agua y vapor), y el calor que suministra el combustible al mismo en una hora.

La eficiencia de la caldera en una planta industrial es determinada por dos factores:

1).- Diseño de la caldera y la limpieza de las superficies de calefacción.

2).- Diseño del quemador y habilidad de éste para ser ajustado y sostener la relación aire-combustible.

1.- Diseño de la caldera.

El diseño de la caldera y la limpieza de las superficies de calefacción, tanto del lado del agua como en el lado de los gases, son los factores que permiten la transferencia del calor al agua.

Buen diseño y superficies limpias representan máxima transferencia de calor y menos pérdidas por la chimenea.

Diseños anticuados u hollín e incrustación en los tubos de la caldera, reducen la transferencia de calor, incrementan la temperatura de los gases en la chimenea y consecuentemente producen una eficiencia reducida.

2.- Diseño del quemador.

Todos los quemadores requieren un exceso de aire adicional a la cantidad de aire químicamente necesario para la combustión. Si se

suministra una cantidad de aire insuficiente para la combustión, la flama humeará y cubrirá los tubos de hollín y carbón.

En caso contrario, si emplea grandes cantidades de exceso de aire, el aire innecesario es calentado y éste aire calentado es expulsado por la chimenea llevando consigo considerables cantidades de calor que es desperdiciado. Consecuentemente es importante en la eficiencia de operación, la relación aire-combustible y deberá ser comprobada con un analizador de gases.

Los diferentes tipos de eficiencia en la caldera son:

- 1.- Eficiencia de combustión.
- 2.- Eficiencia térmica.
- 3.- Eficiencia total de la caldera.

Eficiencia de combustión.

Esta es la efectividad exclusiva del quemador y está relacionada con su habilidad para quemar totalmente el combustible. La caldera propiamente tiene poca relación, sobre la eficiencia de combustión.

Con un 15% a 20% de exceso de aire, un buen quemador deberá tener una eficiencia de combustión de 94% a 97%.

Eficiencia Térmica.

Esta es la efectividad de la transmisión de calor en un cambiador de calor. Esta no toma en cuenta las pérdidas por radiación y convección (como por ejemplo: del cuerpo de una caldera, de columna del agua, de la puerta trasera, etc.) u otras pérdidas varias, tales como: la variación en el poder calorífico, precisión en la medida del combustible, vapor y agua, o peso de los accesorios.

Las pérdidas por radiación, convección y varias pueden ser de 1% a 3% de la capacidad desarrollada por la caldera y su valor depende del tamaño de ésta.

Eficiencia total de la caldera.

Este es un término general y significa la eficiencia térmica total o sea la eficiencia combustible a vapor.

La eficiencia total de una caldera es la relación entre el calor aprovechado por el fluido (agua y vapor) y el calor que suministra el combustible al mismo, en una hora.

Algebraicamente la eficiencia de una caldera o generador de vapor se puede expresar así:

$$(A) \quad \eta = \frac{\text{calor aprovechado}}{\text{calor suministrado}} = \frac{W (H_v - H_1)}{P_c * C_c} \quad (3)$$

η = Eficiencia del generador de vapor.
W = Peso del vapor producido por hora.
Hv = Entalpia del vapor a la salida.

H1 = Entalpia del agua a la entrada.

Pc = Poder calorifico del combustible.

Cc = Cantidad de combustible, quemado por hora en peso.

Esta expresi3n tambi3n puede indicarse de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{\text{calor suministrado} - \text{calor perdido}}{\text{calor suministrado}}$$

$$(B) \quad \eta = \frac{Q_s - Q_p}{Q_s} = 1 - \frac{Q_p}{Q_s} \quad (4)$$

Donde:

Qs = Calor suministrado.

Qp = Calor perdido.

Para comprobar la eficiencia de la caldera, se requiere de instrumentos para la medici3n de la cantidad total de Kcal contenidas en la cantidad de combustible utilizado, y el total de Kcal aprovechadas por el vapor o agua caliente producidas.

II. GENERACION DE VAPOR

El vapor es simplemente un medio conveniente y controlable de transportar el calor y la energía de presión. La energía química que está almacenada en el diesel, combustóleo, gasóleo y gas, es transformada en energía de calor al quemar éstos en el horno de una caldera. La energía de calor es transmitida al agua que se encuentra en el interior de la caldera a través de la pared del horno, elevando su temperatura..

La unidad de medida adoptada por el Sistema Internacional para todos los tipos de energía es el kilojoule (kj). Hasta ahora se usaba la caloría, la cual era la energía necesaria para elevar la temperatura de 1 kg de agua en un grado centígrado. la equivalencia entre las dos unidades es $4.186 \text{ kj} = 1 \text{ Cal. (1)}$.

A medida que pasan más kilojoules del horno al agua, la temperatura de ésta se eleva hasta que hierve.

El calor que ha sido agregado al agua para elevar la temperatura hasta el punto de ebullición, se llama "Entalpía del Agua Saturada". (1,2,3,11).

De acuerdo a lo anterior, la Entalpía del Agua Saturada es el calor que, al ser entregado a una sustancia, eleva su temperatura.

Así mismo, si la presión en la superficie del agua es la presión atmosférica, la temperatura máxima a la cual puede ser

elevada es 100°C . El agua hierve siempre a la temperatura de 100°C a la presión atmosférica y nivel del mar.

Si la presión sobre la superficie del agua aumenta, el punto de ebullición también se eleva. Si la presión disminuye debajo de la presión atmosférica, el punto de ebullición baja.

El punto de ebullición del agua sometida a cualquier presión, es siempre el mismo a esa presión. El punto de ebullición del agua a diferentes presiones, está indicado en las llamadas "Tablas de vapor"

Si después de la adición de Entalpía del Agua Saturada al agua, se agrega aún más calor, la temperatura del agua ya no sube, pero ocurre un cambio en el agua misma. Esta se evapora o transforma en vapor. La temperatura del vapor es la misma que la temperatura del agua hirviendo de la cual proviene.

La evaporación es la transformación de un líquido hirviendo en vapor mediante la adición de calor.

El calor agregado al líquido en ebullición que lo obliga a evaporarse, se llama Entalpía de Evaporización. La Entalpía de Evaporización del Agua es el número de kilojoules de calor que deben agregarse a un kilogramo de agua hirviendo para transformarla en vapor a la misma temperatura. (1,2,3).

La Entalpía de Evaporización del Agua varía con la presión y es

una cantidad fija a una presión dada. Mientras mayor es la presión, menor es la proporción de Entalpía de Evaporización y viceversa.

Los valores de la Entalpía de Evaporización del Agua a diferentes presiones, se indican en las "Tablas de Vapor".

"En la práctica del trabajo con vapor es corriente, por conveniencia, considerar que el agua a una temperatura de 0°C no contiene calor".

Entalpía del Agua Saturada, es la cantidad de energía que se necesita para elevar la temperatura del agua desde 0.C, hasta su punto de ebullición 100 C a la presión atmosférica al nivel del mar. y se designa con el símbolo "hf"; también llamado (calor sensible).(1,5).

Entalpía de Evaporización, es la cantidad de calor necesario para evaporar el agua, sin cambio en la temperatura, y se designa con el símbolo "hfg", también llamado (calor latente). (1,2,3,5).

La energía total del vapor es llamada "Entalpía del vapor" y se designa con el símbolo "hg". (calor específico del vapor). (1,5).

Entalpía del Vapor = Entalpía del Agua Saturada + Entalpía de Evaporización.

$$hg = hf + hfg$$

(5)

Al generar vapor en una caldera por adición de Entalpía del Agua y Entalpía de Evaporización, al agua, el vapor en sí mismo comienza a crear una presión sobre la caldera. A medida que la presión aumenta, la temperatura de evaporación también sube, y siempre y cuando el vapor no pueda escapar más rápido de lo que se le puede agregar calor, la presión continuará subiendo hasta alcanzar la presión deseada. Tenemos entonces una reserva de energía de calor y presión. (1,5).

2.1 PRESION DE VAPOR.

Se ha visto que a medida que aumenta la presión del vapor, aumenta también su temperatura. Esto es muy útil en la práctica porque la temperatura a la cual se efectúan ciertos procesos que emplean calor, puede ser controlada mediante la presión del vapor que se les suministra.

Las presiones de vapor en el Sistema Internacional se expresan generalmente en "bar". 1.013 bar es igual a 1.033 kg/cm^2 y también igual a 100 kN/m^2 . (1,5).

La presión puede estar expresada como "absoluta" y "manométrica". La presión manométrica es la presión por sobre la atmosférica y es la presión que indican los manómetros corrientes.

La presión absoluta es aquella que está por sobre el "cero absoluto". El cero absoluto es el estado teórico "sin presión" que existiría si no hubiera aire para causar la presión. En otras

palabras, es la presión que existiría en un vacío completo. (5).

Al nivel del mar, la atmósfera ejerce una presión de 1.13 bar. Esta presión es "cero" manométrica o bien 1.13 bar absoluta. Para transformar la presión manométrica en absoluta hay que agregar 1.13 bar. (5).

Las presiones debajo de cero manométrico se expresan generalmente en milímetros de vacío de mercurio. Una columna de mercurio de 1 cm² de base y 760 mm de altura pesa 1.033 kg. En consecuencia, ejerce una presión (aproximada para los fines prácticos) de 1 kg/cm². Por lo tanto, de aquí se deduce que los milímetros de vacío de mercurio divididos por 760, dan como resultado los Kilogramos por centímetro cuadrado debajo de la atmosférica. (1).

Es importante hacer notar que al considerar presiones debajo de la presión atmosférica, hay que pensar en ellas como presiones por sobre el cero absoluto, en vez de "vacío", esto último da una idea de succión lo cual causa confusiones.

Tan pronto el vapor abandona la caldera, y su fuente de calor, está rodeado de sustancias que están a una temperatura menor que la suya propia. Y tal como lo establece la LEY CERO DE LA TERMODINAMICA, El calor fluirá siempre de las sustancias de mayor temperatura a las de menor temperatura. (2,3,11).

El vapor, por tanto, comienza a perder calor. Tal como en el

suministro de Entalpía de Evaporización al agua hirviendo, forma vapor a la misma temperatura, al retirarle calor el vapor forma agua a la misma temperatura, esto se llama "condensación".

El calor entregado por 1 kg de vapor al condensarse a la temperatura del vapor, se llama "Entalpía de Condensación" y es igual a la Entalpía de Vapor Saturado. (1,5).

Al enfriarse el condensado debajo de la temperatura del vapor, entrega su Entalpía de Agua Saturada y ésta también es igual a la absorbida para llevar al agua hasta su punto de ebullición.

2.2 PROPIEDADES DEL VAPOR SATURADO

Ya hemos visto que hay una relación entre la presión del vapor y la temperatura de saturación: que las entalpías del agua saturada, de evaporación y del vapor saturado varían y se interrelacionan con la presión y que el volumen varía también con estos cambios de presión.

Afortunadamente, existen tablas que relacionan las propiedades del vapor a varias temperaturas. Se llaman Tablas de Vapor y son el resultado de los ensayos efectuados hasta ahora con el mismo.

Puesto que los valores de la entalpía se dan para 1 kg., se trata de la "Entalpía específica del agua saturada", "Entalpía específica de evaporación" y "Entalpía específica del vapor saturado".

TABLAS DE VAPOR

Como ya fué mencionado, las tablas de vapor relacionan las propiedades del vapor a varias temperaturas y presiones.

La información dada en las 7 columnas de la tabla es la siguiente:

Columna 1.

Proporciona la presión del vapor que se leera en un manómetro. Los valores empiezan a la presión atmosférica que es la presión 0 del manómetro.

Columna 2.

Es la presión del vapor en bar absolutos. Significa que su origen estará en 1.013 bar por debajo de la presión atmosférica.

Columna 3.

Es la temperatura del vapor saturado en °C a la presión indicada en las columnas 1 y 2. Y es también la temperatura de ebullición del agua a la misma presión.

Columna 4.

Es la entalpía específica del agua saturada (hf) a la presión indicada, y representa los kJ de entalpía del agua saturada en cada kg. de vapor. Y también el número de kJ en cada kg.de agua saturada, a la temperatura de ebullición a la misma presión.

Columna 5.

Da la entalpía específica de evaporación (hfg) a diversas presiones, los valores son el número de KJ de entalpía de evaporación en cada kg. de vapor.

Columna 6.

Muestra la entalpía específica del vapor saturado (hg) a la presión dada, los valores son el número total de kJ de entalpía de vapor saturado en cada kg. de vapor.

Este valor es la suma de las columnas 4 y 5 (para cada presión) puesto que:

$$hg = hf + hfg \quad (5)$$

Columna 7.

Es el volúmen específico del vapor (Vg) a las diversas presiones.
Es el espacio ocupado por 1 kg. de vapor (en m³). (1,6).

Tablas de vapor

Presión Mano métrica bar	Presión Absoluta bar	Temperatura °C	Entalpia Especifica			Volumen Especifico Vapor (Vg) m³/kg
			Agua (hl) kJ/kg	Evaporación (hfg) kJ/kg	Vapor (hg) kJ/kg	
	0,05	32,88	137,8	2423,7	2561,5	28,192
	0,10	45,81	191,8	2392,8	2584,6	14,674
	0,15	53,97	225,9	2373,1	2599,0	10,022
	0,20	60,06	251,4	2358,3	2609,7	7,549
	0,25	64,97	271,9	2346,3	2618,2	6,204
	0,30	69,10	289,2	2336,1	2625,3	5,229
	0,35	72,70	304,3	2327,2	2631,5	4,530
	0,40	75,87	317,6	2319,2	2636,8	3,993
	0,45	78,70	329,7	2312,0	2641,7	3,580
	0,50	81,33	340,5	2305,4	2645,9	3,240
	0,55	83,72	350,5	2299,3	2649,8	2,964
	0,60	85,94	359,9	2293,6	2653,5	2,732
	0,65	88,01	368,6	2288,3	2656,9	2,535
	0,70	89,95	376,7	2283,3	2660,0	2,365
	0,75	91,78	384,4	2278,6	2663,0	2,217
	0,80	93,50	391,7	2274,1	2665,8	2,087
	0,85	95,14	398,6	2269,8	2668,4	1,972
	0,90	96,71	405,2	2265,7	2670,9	1,869
	0,95	98,20	411,4	2261,8	2673,2	1,777
	1,00	99,63	417,5	2258,0	2675,5	1,694
0	1,013	100,00	419,0	2257,0	2676,0	1,673
0,05	1,053	101,40	424,9	2253,3	2678,2	1,601
0,10	1,113	102,66	430,2	2250,2	2680,4	1,533
0,15	1,163	103,87	435,6	2246,7	2682,3	1,471
0,20	1,213	105,10	440,8	2243,4	2684,2	1,414
0,25	1,263	106,26	445,7	2240,3	2686,0	1,361
0,30	1,313	107,39	450,4	2237,2	2687,6	1,312
0,35	1,363	108,50	455,2	2234,1	2689,3	1,268
0,40	1,413	109,55	459,7	2231,3	2691,0	1,225
0,45	1,463	110,58	464,1	2228,4	2692,5	1,186
0,50	1,513	111,61	468,3	2225,6	2693,9	1,149
0,55	1,563	112,60	472,4	2223,1	2695,5	1,116
0,60	1,613	113,56	476,4	2220,4	2696,8	1,083
0,65	1,663	114,51	480,2	2217,9	2698,1	1,051
0,70	1,713	115,40	484,1	2215,4	2699,5	1,024
0,75	1,763	116,28	487,9	2213,0	2700,9	0,997
0,80	1,813	117,14	491,6	2210,5	2702,1	0,971
0,85	1,863	117,96	495,1	2208,3	2703,4	0,946
0,90	1,913	118,80	498,9	2205,6	2704,5	0,923
0,95	1,963	119,63	502,2	2203,5	2705,7	0,901
1,00	2,013	120,42	505,6	2201,1	2706,7	0,881
1,05	2,063	121,21	508,9	2199,1	2708,0	0,860
1,10	2,113	121,96	512,2	2197,0	2709,2	0,841
1,15	2,163	122,73	515,4	2195,0	2710,4	0,823
1,20	2,213	123,46	518,7	2192,8	2711,5	0,806
1,25	2,263	124,18	521,6	2190,7	2712,3	0,788
1,30	2,313	124,90	524,6	2188,7	2713,3	0,773
1,35	2,363	125,59	527,6	2186,7	2714,3	0,757
1,40	2,413	126,28	530,5	2184,8	2715,3	0,743
1,45	2,463	126,96	533,3	2182,9	2716,2	0,729
1,50	2,513	127,62	536,1	2181,0	2717,1	0,714
1,55	2,563	128,26	538,9	2179,1	2718,0	0,701
1,60	2,613	128,89	541,6	2177,3	2718,9	0,689

Presión Mano- métrica bar	Presión Absoluta bar	Temperatura °C	Entalpía Específica			Volúmen Específico Vapor (Vg) m³/kg
			Agua (hf) kJ/kg	Evaporación (hfg) kJ/kg	Vapor (hg) kJ/kg	
1,65	2,663	129,51	544,4	2175,5	2719,9	0,677
1,70	2,713	130,13	547,1	2173,7	2720,8	0,665
1,75	2,763	130,75	549,7	2171,9	2721,6	0,654
1,80	2,813	131,37	552,3	2170,1	2722,4	0,643
1,85	2,863	131,96	554,8	2168,3	2723,1	0,632
1,90	2,913	132,54	557,3	2166,7	2724,0	0,622
1,95	2,963	133,13	559,8	2165,0	2724,8	0,612
2,00	3,013	133,69	562,2	2163,3	2725,5	0,603
2,05	3,063	134,25	564,6	2161,7	2726,3	0,594
2,10	3,113	134,82	567,0	2160,1	2727,1	0,585
2,15	3,163	135,36	569,4	2158,5	2727,9	0,576
2,20	3,213	135,88	571,7	2156,9	2728,6	0,568
2,25	3,263	136,43	574,0	2155,3	2729,3	0,560
2,30	3,313	136,98	576,3	2153,7	2730,0	0,552
2,35	3,363	137,50	578,5	2152,2	2730,7	0,544
2,40	3,413	138,01	580,7	2150,7	2731,4	0,536
2,45	3,463	138,53	582,8	2149,2	2732,0	0,529
2,50	3,513	139,02	585,0	2147,6	2732,6	0,522
2,55	3,563	139,52	586,9	2146,3	2733,2	0,515
2,60	3,613	140,00	589,2	2144,7	2733,9	0,509
2,65	3,663	140,48	591,3	2143,3	2734,6	0,502
2,70	3,713	140,96	593,3	2141,9	2735,2	0,496
2,75	3,763	141,44	595,3	2140,5	2735,8	0,489
2,80	3,813	141,92	597,4	2139,0	2736,4	0,483
2,85	3,863	142,40	599,4	2137,6	2737,0	0,477
2,90	3,913	142,86	601,4	2136,1	2737,5	0,471
2,95	3,963	143,28	603,3	2134,8	2738,1	0,466
3,00	4,013	143,75	605,3	2133,4	2738,7	0,461
3,10	4,113	144,67	609,1	2130,7	2739,8	0,451
3,20	4,213	145,46	612,9	2128,1	2741,0	0,440
3,30	4,313	146,36	616,4	2125,5	2741,9	0,431
3,40	4,413	147,20	620,0	2122,9	2742,9	0,422
3,50	4,513	148,02	623,6	2120,3	2743,9	0,413
3,60	4,613	148,84	627,1	2117,8	2744,9	0,405
3,70	4,713	149,64	630,6	2115,3	2745,9	0,396
3,80	4,813	150,44	634,0	2112,9	2746,9	0,389
3,90	4,913	151,23	637,3	2110,5	2747,8	0,381
4,00	5,013	151,98	640,7	2108,1	2748,8	0,374
4,10	5,113	152,68	643,9	2105,7	2749,6	0,367
4,20	5,213	153,40	647,1	2103,5	2750,6	0,361
4,30	5,313	154,12	650,2	2101,2	2751,4	0,355
4,40	5,413	154,84	653,3	2098,9	2752,2	0,348
4,50	5,513	155,55	656,3	2096,7	2753,0	0,342
4,60	5,613	156,24	659,3	2094,5	2753,8	0,336
4,70	5,713	156,94	662,3	2092,3	2754,6	0,330
4,80	5,813	157,62	665,2	2090,2	2755,4	0,325
4,90	5,913	158,28	668,1	2088,1	2756,2	0,320
5,00	6,013	158,92	670,9	2086,0	2756,9	0,315
5,10	6,113	159,56	673,7	2083,9	2757,6	0,310
5,20	6,213	160,20	676,5	2081,8	2758,3	0,305
5,30	6,313	160,82	679,2	2079,7	2759,0	0,301
5,40	6,413	161,45	681,9	2077,7	2759,7	0,296
5,50	6,513	162,08	684,6	2075,7	2760,3	0,292

Presión Manométrica bar	Presión Absoluta bar	Temperatura °C	Entalpía Específica			Volumen Específico Vapor (V _v) m ³ /kg
			Agua (h _f) kJ/kg	Evaporación (h _{fg}) kJ/kg	Vapor (h _g) kJ/kg	
5,60	6,613	162,68	687,2	2073,8	2761,0	0,288
5,70	6,713	163,27	689,8	2071,8	2761,6	0,284
5,80	6,813	163,86	692,4	2069,9	2762,3	0,280
5,90	6,913	164,46	695,0	2067,9	2762,9	0,276
6,00	7,013	165,04	697,5	2066,0	2763,5	0,272
6,10	7,113	165,60	700,0	2064,1	2764,1	0,269
6,20	7,213	166,16	702,5	2062,3	2764,8	0,265
6,30	7,313	166,73	705,0	2060,4	2765,4	0,261
6,40	7,413	167,29	707,4	2058,6	2766,0	0,258
6,50	7,513	167,83	709,7	2056,8	2766,5	0,255
6,60	7,613	168,38	712,1	2055,0	2767,1	0,252
6,70	7,713	168,89	714,5	2053,1	2767,6	0,249
6,80	7,813	169,43	716,8	2051,3	2768,1	0,246
6,90	7,913	169,95	719,1	2049,5	2768,6	0,243
7,00	8,013	170,50	721,4	2047,7	2769,1	0,240
7,10	8,113	171,02	723,6	2046,1	2769,7	0,237
7,20	8,213	171,53	725,9	2044,3	2770,2	0,235
7,30	8,313	172,03	728,1	2042,6	2770,7	0,232
7,40	8,413	172,53	730,4	2040,8	2771,2	0,229
7,50	8,513	173,02	732,5	2039,2	2771,7	0,227
7,60	8,613	173,50	734,7	2037,5	2772,2	0,224
7,70	8,713	174,00	736,8	2035,9	2772,7	0,222
7,80	8,813	174,46	738,9	2034,2	2773,1	0,219
7,90	8,913	174,93	741,0	2032,6	2773,6	0,217
8,00	9,013	175,43	743,1	2030,9	2774,0	0,215
8,10	9,113	175,88	745,2	2029,3	2774,5	0,212
8,20	9,213	176,37	747,2	2027,6	2774,8	0,210
8,30	9,313	176,83	749,3	2026,1	2775,4	0,208
8,40	9,413	177,27	751,3	2024,5	2775,8	0,206
8,50	9,513	177,75	753,3	2022,9	2776,2	0,204
8,60	9,613	178,20	755,3	2021,3	2776,6	0,202
8,70	9,713	178,64	757,2	2019,7	2776,9	0,200
8,80	9,813	179,08	759,2	2018,2	2777,4	0,198
8,90	9,913	179,53	761,1	2016,6	2777,7	0,196
9,00	10,013	179,97	763,0	2015,1	2778,1	0,194
9,10	10,113	180,41	765,0	2013,5	2778,5	0,192
9,20	10,213	180,83	766,9	2012,0	2778,9	0,191
9,30	10,313	181,26	768,7	2010,5	2779,2	0,189
9,40	10,413	181,68	770,6	2009,0	2779,6	0,187
9,50	10,513	182,10	772,5	2007,5	2780,0	0,185
9,60	10,613	182,51	774,4	2006,0	2780,4	0,184
9,70	10,713	182,91	776,2	2004,5	2780,7	0,182
9,80	10,813	183,31	778,0	2003,1	2781,1	0,181
9,90	10,913	183,72	779,8	2001,6	2781,4	0,179
10,00	11,013	184,13	781,6	2000,1	2781,7	0,177
10,20	11,213	184,92	785,1	1997,3	2782,4	0,174
10,40	11,413	185,68	788,6	1994,4	2783,0	0,172
10,60	11,613	186,40	792,1	1991,6	2783,7	0,169
10,80	11,813	187,25	795,5	1988,8	2784,3	0,166
11,00	12,013	188,02	798,8	1986,0	2784,8	0,163
11,20	12,213	188,78	802,3	1983,2	2785,5	0,161
11,40	12,413	189,52	805,5	1980,5	2786,0	0,158
11,60	12,613	190,24	808,8	1977,8	2786,6	0,156

Presión Manométrica bar	Presión Absoluta bar	Temperatura °C	Entalpía Específica			Volumen Específico Vapor (Vg) m³/kg
			Agua (lfl) kJ/kg	Evaporación (lflg) kJ/kg	Vapor (lfg) kJ/kg	
11,80	12,813	190,97	812,0	1975,1	2787,1	0,153
12,00	13,013	191,68	815,1	1972,5	2787,6	0,151
12,20	13,213	192,38	818,3	1969,9	2788,2	0,149
12,40	13,413	193,08	821,4	1967,2	2788,6	0,147
12,60	13,613	193,77	824,5	1964,6	2789,1	0,145
12,80	13,813	194,43	827,5	1962,1	2789,6	0,143
13,00	14,013	195,10	830,4	1959,6	2790,0	0,141
13,20	14,213	195,77	833,4	1957,1	2790,5	0,139
13,40	14,413	196,43	836,4	1954,5	2790,9	0,137
13,60	14,613	197,08	839,3	1952,0	2791,3	0,135
13,80	14,813	197,72	842,2	1949,6	2791,8	0,133
14,00	15,013	198,35	845,1	1947,1	2792,2	0,132
14,20	15,213	198,98	848,0	1944,6	2792,6	0,130
14,40	15,413	199,61	850,7	1942,3	2793,0	0,128
14,60	15,613	200,23	853,5	1939,8	2793,3	0,127
14,80	15,813	200,84	856,3	1937,4	2793,7	0,125
15,00	16,013	201,45	859,0	1935,0	2794,0	0,124
15,20	16,213	202,04	861,7	1932,7	2794,4	0,122
15,40	16,413	202,62	864,4	1930,4	2794,8	0,121
15,60	16,613	203,21	867,1	1928,0	2795,1	0,119
15,80	16,813	203,79	869,7	1925,7	2795,4	0,118
16,00	17,013	204,38	872,3	1923,4	2795,7	0,117
16,20	17,213	204,94	874,9	1921,2	2796,1	0,115
16,40	17,413	205,49	877,5	1918,9	2796,4	0,114
16,60	17,613	206,05	880,0	1916,7	2796,7	0,113
16,80	17,813	206,61	882,5	1914,4	2796,9	0,111
17,00	18,013	207,17	885,0	1912,1	2797,1	0,110
17,20	18,213	207,75	887,5	1909,9	2797,4	0,109
17,40	18,413	208,30	889,9	1907,7	2797,6	0,108
17,60	18,613	208,84	892,4	1905,5	2797,9	0,107
17,80	18,813	209,37	894,8	1903,4	2798,2	0,106
18,00	19,013	209,90	897,2	1901,3	2798,5	0,105
18,20	19,213	210,43	899,6	1899,1	2798,7	0,104
18,40	19,413	210,96	902,0	1896,9	2798,9	0,103
18,60	19,613	211,47	904,3	1894,8	2799,1	0,102
18,80	19,813	211,98	906,7	1892,6	2799,3	0,101
19,00	20,013	212,47	909,0	1890,5	2799,5	0,100
19,20	20,213	212,98	911,3	1888,4	2799,7	0,0986
19,40	20,413	213,49	913,6	1886,3	2799,9	0,0976
19,60	20,613	213,99	915,8	1884,3	2800,1	0,0967
19,80	20,813	214,48	918,1	1882,2	2800,3	0,0958
20,00	21,013	214,96	920,3	1880,2	2800,5	0,0949
20,50	21,513	216,15	925,8	1875,1	2800,9	0,0927
21,00	22,013	217,35	931,3	1870,1	2801,4	0,0906
21,50	22,513	218,53	936,6	1865,1	2801,7	0,0887
22,00	23,013	219,65	941,9	1860,1	2802,0	0,0868
22,50	23,513	220,76	947,1	1855,3	2802,4	0,0849
23,00	24,013	221,85	952,2	1850,4	2802,6	0,0832
23,50	24,513	222,94	957,3	1845,6	2802,9	0,0816
24,00	25,013	224,02	962,2	1840,9	2803,1	0,0797
24,50	25,513	225,08	967,2	1836,1	2803,3	0,0783
25,00	26,013	226,12	972,1	1831,4	2803,5	0,0768
26,00	27,013	228,16	981,6	1822,2	2803,8	0,0740

Presión Manométrica bar	Presión Absoluta bar	Temperatura °C	Entalpía Específica			Volumen Específico Vapor (Vg) m ³ /kg
			Agua (hf) kJ/kg	Evaporación (hfg) kJ/kg	Vapor (hg) kJ/kg	
27,00	28,013	230,14	990,7	1813,3	2804,0	0,0714
28,00	29,013	232,05	999,7	1804,4	2804,1	0,0689
29,00	30,013	233,93	1008,6	1795,6	2804,2	0,0666
30,00	31,013	235,78	1017,0	1787,0	2804,1	0,0645
31,00	32,013	237,55	1025,6	1778,5	2804,1	0,0625
32,00	33,013	239,28	1033,9	1770,0	2803,9	0,0605
33,00	34,013	240,97	1041,9	1761,8	2803,7	0,0587
34,00	35,013	242,63	1049,7	1753,8	2803,5	0,0571
35,00	36,013	244,26	1057,7	1745,5	2803,2	0,0554
36,00	37,013	245,86	1065,7	1737,2	2802,9	0,0539
37,00	38,013	247,42	1072,9	1729,5	2802,4	0,0524
38,00	39,013	248,95	1080,3	1721,6	2801,9	0,0510
39,00	40,013	250,42	1087,4	1714,1	2801,5	0,0498
40,00	41,013	251,94	1094,6	1706,3	2800,9	0,0485
42,00	43,013	254,74	1108,6	1691,2	2799,8	0,0461
44,00	45,013	257,50	1122,1	1676,2	2798,2	0,0441
46,00	47,013	260,13	1135,3	1661,6	2796,9	0,0421
48,00	49,013	262,73	1148,1	1647,1	2795,2	0,0403
50,00	51,013	265,26	1160,8	1632,8	2793,6	0,0386

Tablas de vapor. ref. (5).

2.3 CALIDAD DEL VAPOR

Las tablas de Vapor dan las propiedades del "Vapor Saturado Seco", lo que se considera un estado ideal que rara vez se encuentra en la práctica.

El Vapor Saturado Seco es el vapor a la temperatura del agua hirviendo, pero que no contiene partículas de agua libres. (1,5).

Al generar vapor en una caldera, se forman en el agua, al lado de los tubos del horno, burbujas de vapor que suben a la superficie, donde revientan. La espuma formada por las burbujas al reventar libera pequeñas partículas de agua que son arrastradas por el vapor.

Así mismo al fluir el vapor a lo largo de la tubería de distribución, comienza a perder calor y cierta parte se condensa.

Esta condensación forma también pequeñas partículas de agua que son arrastradas .

Al vapor que arrastra partículas de humedad se llama "Vapor Húmedo". (5).

Un kilogramo de agua, al ser evaporado para formar vapor saturado seco pesa todavía 1 kg. Las cifras dadas en las Tablas de Vapor son válidas solamente para un kilogramo de vapor ideal que está libre de partículas de agua.

Un kilogramo de vapor húmedo contiene menos vapor que 1 kg de vapor saturado, el resto lo constituyen partículas de humedad.

La proporción de vapor saturado seco en 1 kg de vapor húmedo se llama "Calidad del Vapor", Ejemplificando:

Si 1 kg de vapor húmedo contiene 0.9 kg de vapor seco y 0.1 kg de partículas de agua, se dice que tiene una "calidad" de 0.9 ó una "fracción de sequedad" de 0.9. (1,5).

Así mismo, tal como se ha definido la Entalpía del Vapor Saturado Seco, estará dada por la relación:

$$h_g = h_f + h_{fg} \quad (6)$$

En donde:

h_g = Entalpía del Vapor Saturado Seco.

h_f = Entalpía del Agua Saturada.

h_{fg} = Entalpía de Evaporización.

Esta relación significa que toda el agua en el punto de ebullición ha sido completamente evaporada.

Sin embargo, si 1 kg de vapor contiene una proporción de agua, la Entalpía del Vapor Saturado Seco se reducirá entonces por la Entalpía de Evaporización que las partículas de agua no han absorbido. La Entalpía del Vapor Saturado Seco será entonces:

<p>Entalpía del Agua Saturada para elevar 1 kg de agua desde 0°C hasta el punto de ebullición a la presión de trabajo</p>	+	<p>Fracción de sequedad por Entalpía de Evaporización</p>
--	---	--

$$h_g = h_f + (y * h_{fg}) \quad (7)$$

En donde:

h_g = Entalpía del Vapor Saturado Seco.

h_f = Entalpía del Agua Saturada.

y = Fracción de Sequedad.

h_{fg} = Entalpía de Evaporización.

De acuerdo a la ecuación (7), la temperatura del vapor será todavía la misma que la del agua hirviendo a la presión de trabajo, y la misma que la del vapor saturado seco a esa presión, pero contendrá, menos calor de lo estipulado en la Tablas de Vapor.

La calidad del vapor afecta también el volumen por kilogramo del mismo, esto se debe a que las pequeñas partículas de agua en el vapor húmedo tienen peso, pero ocupan un espacio mínimo. En lugar de que 1 kg de vapor húmedo ocupe el mismo volumen de 1 kg de vapor saturado seco, su volumen se reduce por la cantidad de humedad que contiene.

De acuerdo a esto, el volumen por kilogramo de vapor húmedo estará dado por:

$$v_{g_h} = v_g * y$$

(8)

En donde:

v_{g_h} = Volumen del Vapor Humedo.

v_g = Volumen del Vapor Saturado Seco.

y = Fracción de sequedad.

Existen equipos especiales para medir la calidad de vapor, de esto se hablará más adelante.

Como se mencionó anteriormente, el vapor se utiliza como medio de transmisión de calor para calefacción y/o procesos. Las Tablas de Vapor son un medio conveniente para encontrar la cantidad de calor disponible para calefacción y procesos en cada kilogramo de vapor saturado.

Cuando se vió lo referente a "Entalpías de Vapor" se habló de la importancia que tiene en el uso de las tablas de vapor, que la mayor proporción de las entalpías totales del vapor corresponden a las entalpías de evaporización.

De tal manera que si quisiéramos destacar algún punto en particular sobre lo tratado en ese tema, deberíamos mencionar en especial que: "SE RECOMIENDA TRABAJAR A LA MAS BAJA PRESION PERMITIDA POR EL PROCESO, OBTENIENDOSE UNA MAYOR ENTALPIA DE EVAPORACION." (5,12,13).

III. CONDENSACION.

Hemos definido, las propiedades de vapor y cómo se genera para proporcionar una reserva de calor y presión.

Consideraremos ahora el empleo de este vapor para entregar solamente calor. El vapor llega a través de tuberías al punto en el cual se necesita calor, Tan pronto se abre la válvula de la caldera, el vapor fluye a través de esta tubería en su camino hacia el equipo. Pero las tuberías están frías y extraen una cierta cantidad de calor del vapor que pasa a través de ellas.

Las tuberías, a su vez, irradian calor al aire que las rodea, de manera que hay una pérdida continua de calor, el vapor entrega a las tuberías esta continua y pequeña cantidad de calor, condensándose de vapor a agua.

Al principio se forman pequeñas partículas de agua en el flujo de vapor, enseguida esas partículas se unen hasta que son suficientemente grandes como para depositarse en las tuberías.

Al abrir la válvula del equipo que emplea vapor, éste entra en contacto con más superficies frías. Como resultado de esto se extrae aún más calor del vapor, formandose partículas de agua sobre estas superficies frías de manera que se presenta una delgada capa de agua en cada una de ellas. esta capa de agua puede tener sólo un cierto espesor.

A medida que tienda a aumentar el espesor, el agua se escurre por gravedad hacia el fondo del equipo, el agua que escurre al fondo del equipo, contendrá cierta cantidad de entalpía, este calor no puede, en la mayoría de los casos, servir de nada en el lugar donde se encuentra. Por lo tanto, retornamos esta agua a la caldera, donde es recalentada y el ciclo empieza de nuevo.

El agua caliente que, en sí mismo no sirve para ningún propósito útil en el equipo, sirve sin embargo para un propósito muy útil en la caldera, ya que contiene unidades de Entalpía de Agua Saturada que no necesitan ser suministradas de una fuente exterior para recalentar el agua. (5).

3.1. CONDENSACION EN TUBERIAS

El condensado comienza a formarse en la tubería que transporta el vapor en forma de pequeñas partículas que aumentan su tamaño hasta que se separan y se depositan en la pared de la tubería, escurriéndose después hacia el fondo.

Si se deja que el agua fluya a lo largo de la tubería con el vapor, eventualmente ha de volver a la caldera, pero causará dificultades en el camino. Si la ramificación del equipo que utiliza vapor parte de un punto superior o lateral de la tubería principal, el condensado en la tubería principal no puede salir y aumentará gradualmente en cantidad hasta que disminuya en forma notoria el área de la tubería a lo largo de la cual ha de pasar el vapor.

Si la tubería no se ha dimensionado en forma apropiada, esto causará finalmente una gran escasez de vapor en el punto en el cual se le utiliza.

Si las ramificaciones principales del equipo que usa vapor parten de un punto inferior, el agua que se forma en la tubería fluirá, dentro del equipo, problema que será considerado más adelante.

La presencia de este condensado en la tubería principal, además de restringir el flujo del vapor, puede causar otros problemas más serios como el golpe de ariete.

Es evidente que si no se provee ningún medio para retirar el agua de esta tubería de transporte, al cortar el vapor, las tuberías de transporte contendrán agua. Esta se acumulará naturalmente en los puntos inferiores del sistema, Cuando vuelva a dar paso al vapor, la presión de éste empujará el agua frente a él a lo largo de la tubería con una velocidad creciente.

A la primera restricción en la tubería, ya sea ésta un codo o un accesorio de tubería cualquiera, la velocidad del agua se reducirá y se creará una presión instantanea en este punto produciendo grandes daños al accesorio en cuestión. (1,5).

Este es el ejemplo más simple de golpe de ariete, el tema se tratará en forma más amplia en el próximo capítulo.

3.2 CONDENSACION EN PLANTAS DE PROCESOS

Se recordará que el propósito principal al generar vapor y transportarlo a través de tuberías, es proveer una fuente de calor o energía para un propósito específico.

Debemos considerar ahora qué es lo que ocurre dentro de la planta que emplea calor, la cual está alimentada a través de tuberías de la caldera.

Al abrir la válvula de entrada, el vapor comienza de inmediato, a entregar su calor a la superficie, debido a que la planta está diseñada para utilizar el calor que le llega en el vapor.

Puesto que el calor tiene que entregarse a diferentes superficies, el condensado se acumulará sobre éstas.

Ahora, es un hecho bien conocido que los metales transmiten el calor mucho más fácilmente que el agua. Por lo tanto, si el vapor puede ponerse en contacto directo con la superficie metálica, el calor se entregará más rápidamente a la sustancia que queremos calentar que si debiera pasar primero a través de una película de agua.

Es claro, que si bien es inevitable que se forme una película de agua, en la superficie calentada al condensarse el vapor, mientras más delgada sea ésta película, mucho mejor.

El condensado así formado tendrá tendencia a deslizarse desde

la superficie calentada hasta el fondo del equipo.

Si se le permite que permanezca allí, su volumen aumentará gradualmente hasta que el total del espacio de vapor estará lleno de agua.

Por esto se puede también apreciar que al permitir que el agua de la tubería principal de vapor llegue al equipo, la velocidad con la cual se llene el espacio destinado al vapor, será mucho mayor.

3.3 ELIMINACION DEL CONDENSADO

Ningún ingeniero permitiría que se acumulara condensado en la planta de vapor, hasta que se hubiera detenido el flujo del mismo, y el primer método, o el más obvio de eliminarlo, sería instalar un orificio de drenaje o una válvula.

El orificio o la válvula seguramente eliminaría el condensado. Pero a menos que alguien regulara la válvula al mismo régimen según el cual se va formando el condensado mientras va variando la presión en la planta, el efecto final sería:

- 1) Retención de condensado
- 2) Pérdida de vapor.

Estas alternativas dependen del régimen de condensación, la presión y la abertura de la válvula, en el momento de descarga de ésta.

Siendo esta una manera tan obvia de eliminar el condensado, no es sorprendente que se hayan utilizado válvulas y llaves en forma bastante amplia, y que todavía se encuentren en algunos lugares.

Se han empleado muchos sistemas para disminuir el inundamiento y/o la pérdida de vapor a través de válvulas seccionadas.

Se han empleado llaves, las cuales además del pasaje de capacidad total tienen una perforación de 3 mm taladrada en cruz a través del tapón.

Al iniciarse el proceso, se coloca la llave de tal manera que esté totalmente abierta para descargar la fuerte carga inicial de condensado. Cuando el operador decide que todo el condensado inicial ha sido descargado, se da vuelta a la llave de tal manera que el orificio pequeño controle la descarga.

Se verá que al drenar un equipo a través de una llave o válvula, la descarga debe hacerse a través de un orificio fijo que puede regularse solamente por el operador para satisfacer las condiciones, de trabajo; Sin embargo, aparte de la dificultad de saber exactamente cuándo el orificio fijo está descargando condensado sin retener nada o dejar escapar vapor, es imposible tener al personal regulando constantemente las válvulas que drenan una planta consumidora de vapor, aun si se estuviera en condiciones de encontrar personal que hiciera este trabajo en forma eficiente.

Por lo tanto, lo que se necesita es una válvula que varie automáticamente y que permita que salga el condensado al mismo régimen según el cual se va formando. En resumen, una trampa para vapor., Estas son, o deberían ser, válvulas automáticamente regulables, su objetivo es proporcionar un control automático de la descarga de condensado sin pérdida de vapor vivo., Por lo tanto, deben estar capacitadas para distinguir entre el vapor y el condensado en forma automática.

IV. TRAMPAS PARA VAPOR.

Una trampa para vapor es una válvula automática que permite eliminar el condensado, aire y otros gases no condensables de las tuberías principales de vapor y equipos que trabajen con vapor, impidiendo al mismo tiempo la pérdida de vapor en el sistema de distribución o en el equipo. (5,8).

Las trampas para vapor se emplean en todos los sistemas de vapor para remover el condensado que se forma y eliminar el aire y los gases no condensables.

No existe ningún tipo universal de trampa para vapor, debido a que la amplia gama de aplicaciones para las cuales se emplean, requieren diferentes características de operación.

La trampa adecuada para un radiador de baja presión, por ejemplo, es muy diferente de la que se necesita para purgar una tubería de alta presión. De aquí que haya una gran variedad de tipos de trampas para vapor.

CLASIFICACION DE ACUERDO CON EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

Hay cuatro grupos principales de tipos de trampas para vapor.

1.- GRUPO TERMOSTATICO.

Este grupo distingue entre el vapor y el condensado por diferencias de temperatura, las cuales operan sobre un elemento

termostático que mueve una válvula. El condensado debe enfriarse por debajo de la temperatura del vapor antes de ser eliminado.

2.- GRUPO MECANICO.

Las trampas de este tipo operan mecánicamente por la diferencia de densidad entre el vapor y el condensado. El movimiento de un flotador o de un balde actúa sobre una válvula de salida.

3.- GRUPO TERMODINAMICO.

Este grupo trabaja por la diferencia de velocidad entre el vapor y el condensado.

La válvula consiste en un disco que cierra con la alta velocidad del revaporizado y abre con la baja velocidad del condensado.

4.- OTROS TIPOS.

Este grupo reúne las trampas que no pueden ser situadas en una de las categorías anteriores.

4.1.- GRUPO TERMOSTATICO.

a) Tipo de presión balanceada.

La trampa es accionada por un elemento termostático flexible, lleno con un fluido, el cual, al calentarse o enfriarse, se evapora o condensa (Fig. 2).

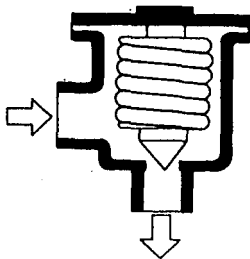


Figura 2.-Tipo de presión balanceada.

Los cambios de presión internos expanden o contraen el elemento y mueven la cabeza de la válvula fijada al elemento.

Al iniciar la operación, el elemento frío está contraído, y la válvula completamente abierta para descargar aire y condensado frío.

Cuando llega el vapor a la trampa, el elemento se expande y cierra la trampa. Cuando el condensado rodea el elemento, se enfría hasta aproximadamente 10° por debajo de la temperatura del vapor, la trampa se abre para descargar el condensado.

VENTAJAS.

1.- Gran capacidad de purga de aire.

2.- A pequeñas dimensiones corresponden grandes capacidades de descarga.

3.- Autorregulables, funcionan sin ajustes en todas las presiones dentro de su gama.

4.- No se congelan si se las deja descargar libremente.

5.- Utilizan las mismas dimensiones de válvula para todas las presiones dentro de su gama de operación.

6.- Se componen de un pequeño número de piezas.

DESVENTAJAS.

1.- No son apropiadas para vapor recalentado.

2.- Resistencia limitada al golpe de ariete.

3.- No son apropiadas para usos en los cuales el condensado debe ser descargado a medida que se va formando.

El condensado debe enfriarse antes que se pueda descargar.

b) Tipo de expansión líquida.

El aire y el condensado se descargan desde el comienzo hasta que el condensado alcanza una temperatura pre-determinada debajo de 100°C (Fig. 3).

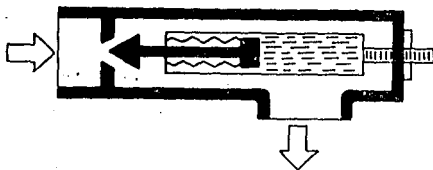


Figura 3. Tipo de expansión líquida.

El elemento termostático, lleno con líquido, cierra la válvula para mantener la temperatura prefijada de descarga del condensado.

VENTAJAS.

- 1.- Soportan golpes de ariete.
- 2.- Eficiencia térmica muy alta. (Utiliza el calor sensible tanto como el calor latente del vapor).
- 3.- La descarga a baja temperatura elimina el vapor instantáneo (vapor flash), en los lugares de trabajo.

4.- No se congela si se les deja descargar libremente.

DESVENTAJAS.

1.- Limitadas a aplicaciones tales como tanques de almacenamiento y algunas líneas donde el condensado puede ser retenido y enfriado antes de ser descargado.

2.- No son autorregulables.

c) Tipo bimetalica.

El aire y el condensado se descargan desde el comienzo hasta que el condensado alcance la temperatura pre-determinada. El elemento termostático bi-metálico cierra entonces la válvula para mantener la temperatura pre-fijada de descarga del condensado (Fig. 4).

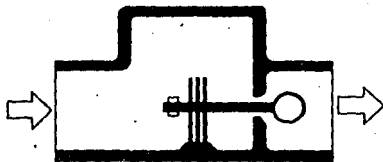


Figura 4. Tipo bi-metálica

El aire y el condensado se descargan desde el comienzo hasta que el condensado alcance la temperatura pre-determinada. El elemento termostático bi-metálico cierra entonces la válvula para mantener la temperatura pre-fijada de descarga del condensado.

VENTAJAS.

- 1.- Resistentes al golpe de ariete.
- 2.- Rendimiento térmico muy alto cuando se regulan para descargar a bajas temperaturas.
- 3.- La baja temperatura de descarga evita el vapor instantáneo en los lugares de trabajo.
- 4.- Algunos tipos no se congelan si se les da descarga libre.

DESVENTAJAS.

- 1.- Limitadas para aplicaciones en las cuales el condensado puede ser retenido y enfriado antes de ser descargado.
- 2.- Las características del bi-metal pueden cambiar con el uso.
- 3.- No son autoregulables.

4.2.- GRUPO MECANICO.

a) Tipo flotador y termostática.

El aire que entra a la trampa se descarga inmediatamente a través de una ventila auxiliar de gran capacidad (Fig. 5).

El condensado obliga al flotador a subir, y coloca la válvula reguladora de descarga en una posición tal que descarga el condensado en forma continua a medida que entra en la trampa.

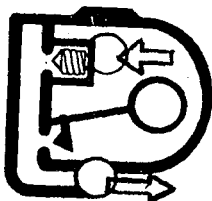


Figura 5. Tipo Flotador y Termostática.

El nivel de condensado en el cuerpo de la trampa se mantiene sobre la válvula de descarga para formar un sello positivo e impedir la pérdida de vapor.

VENTAJAS.

1.- Descarga el condensado en forma continua tan rapidamente como se forma.

2.- Gran capacidad de la ventilación a través de la ventila auxiliar de presión equilibrada, la cual es autoregurable para diferentes presiones de vapor.

3.- Gran eficiencia térmica tanto en cargas pequeñas y grandes de condensado.

4.- La descarga modulada no causa variaciones de presión, las que podrían causar dificultades en el control de temperatura de serpentines calentadores de aire e intercambiadores de calor, etc.

DESVENTAJAS.

1.- No pueden ser utilizadas en equipos en los cuales el vapor recalentado pueda llegar al elemento de la ventila.

2.- En usos en los cuales se puedan congelar, deben ser protegidas con un drenaje térmico.

3.- Los golpes de ariete pueden dañar el flotador.

b) Tipo de cubeta invertida.

Normalmente el cuerpo de la trampa está lleno de condensado para mantener un sello alrededor de la cubeta invertida.

La cual actúa como un flotador para operar la válvula de descarga (Fig. 6).

El vapor que entra en la cubeta la hace flotar cerrando la válvula.

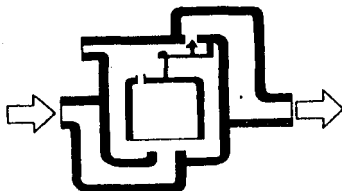


Figura 6. Tipo de cubeta invertida.

Mientras la válvula está cerrada, el condensado se acumula en la tubería por el lado de entrada de la válvula hasta que el vapor que hace flotar a la cubeta, se escapa a través de un pequeño orificio en la parte superior de ésta, y permite que la cubeta baje abriéndose la válvula.

El condensado es descargado, seguido por el vapor, el cual vuelve a accionar el mecanismo de flotador.

El aire puede pasar a través de un pequeño orificio en la parte superior de la cubeta.

VENTAJAS.

- 1.- Son bastante resistentes a golpes de ariete.
- 2.- Pueden construirse para presiones de trabajo muy altas.

DESVENTAJAS.

- 1.- Baja eficiencia térmica la trabajar con cargas y presiones variables.
- 2.- Deben mantener un sello de agua para impedir descarga continua de vapor.
- 3.- Deben ser protegidas contra congelación.
- 4.- No pueden descargar condensado en forma continua tan rápidamente como se forma.
- 5.- El orificio de purga de la cubeta tiene una capacidad de purga de aire muy limitada.

4.3 -GRUPO TERMODINAMICO.

- a) Tipo termodinámico.

El condensado y el aire levantan el disco y fluyen libremente a través de la trampa.

Al llegar vapor a la trampa, aumenta instáneamente la velocidad

del flujo debajo del disco, y la recompresión sobre el disco hace que este cierre de golpe sobre su asiento, sellando el camino del vapor (Fig. 7).



Figura 7. Tipo termodinámico.

Las pérdidas de calor de la pequeña cámara de control que está llena de una mezcla de vapor y condensado, hacen que la presión en la cámara baje hasta un punto en que el disco se abre nuevamente para descargar el condensado.

VENTAJAS.

- 1.- Compacta y liviana.
- 2.- Construida totalmente de acero inoxidable.
- 3.- Gran resistencia a golpes de ariete.
- 4.- Buena resistencia a la corrosión.

5.- Una sola pieza movable.

6.- Una sola trampa para todas las presiones comprendidas entre 10 y 600 psi.

7.- Operan eficientemente con diferentes presiones y cargas.

8.- Responden rápidamente a cargas variables.

9.- Descargan condensado a la temperatura del vapor para impedir anegamiento.

DESVENTAJAS.

1.-No son apropiadas para presiones debajo de 10 psi.

2.-Algunos modelos están limitados a contra presiones de un 50%, otros son apropiados para presiones de retención de 85%.

3.-No se recomiendan para presiones bajas con válvulas de control de temperatura.

4.4.- OTROS TIPOS.

a) Tipo de impulso.

Esta trampa tiene dos orificios en serie para crear un impulso de presión que opera la válvula de descarga.

Al llegar condensado relativamente frío a la trampa, pasa a

través de los dos orificios en serie sin crear suficiente presión en la cámara de control para cerrar la válvula principal (Fig. 8).

El condensado sigue fluyendo hasta alcanzar una temperatura de aproximadamente 30°F por debajo de la temperatura del vapor.

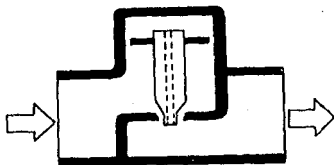


Fig. 8. Tipo de impulso.

Cuando la presión en la cámara de control puede cerrar la trampa., El condensado es retenido y se enfría, la trampa vuelve a abrirse y el ciclo se repite.

Al trabajar con cargas livianas, el vapor puede ser descargado a través del orificio de sangría.

VENTAJAS.

1.-Son pequeñas y livianas.

2.-Se construyen enteramente de acero inoxidable.

3.-Buena resistencia a los golpes de ariete y vapor recalentado.

DESVENTAJAS.

1.-Los orificios de sangría continua pueden desperdiciar vapor al trabajar con cargas livianas.

2.-Las piezas de la válvula, muy ajustadas, se pueden atascar.

3.-El condensado retenido puede causar anegamiento.

4.-El condensado retenido puede contribuir a corrosión y golpes de ariete.

5.-No deben usarse en equipos en los cuales la contrapresión sea superior de un 30% a la presión de entrada del condensado.

V. DRENADO DE TUBERIAS PRINCIPALES DE VAPOR.

No importa el tipo de trampa elegido para el trabajo de drenaje que tengamos que hacer, ésta sólo puede descargar el condensado cuando llega hasta ella.

Hemos visto las consecuencias de permitir al condensado permanecer en las tuberías de vapor, por lo tanto, deberemos tomar precauciones para drenar esta agua en los puntos apropiados.

Ejemplifiquemos y por un momento supongamos que queremos drenar una tubería principal de vapor de 100 o 150 mm de diámetro, que lleva vapor saturado, y que tiene un desnivel en la dirección del flujo de vapor de 1mm en 360 mm.

Esta tubería producirá condensación mientras el vapor esté moviéndose por ella, y el condensado se desplazará a lo largo de la misma por gravedad.

Supongamos que conectamos a la parte inferior de la tubería un tubo de 15mm que llegue hasta una trampa de vapor, se ve fácilmente que la pequeña abertura de este tubo sólo puede capturar una pequeña proporción del agua que se precipita, el resto continuará a lo largo de la tubería principal (fig. 9).

Sin embargo, si se instala una T del mismo tamaño que la tubería principal, como se muestra en la (fig. 10), el condensado llegará a este "bolsillo colector" y todo el condensado que se

encuentre sobre este punto fluirá hacia la trampa.

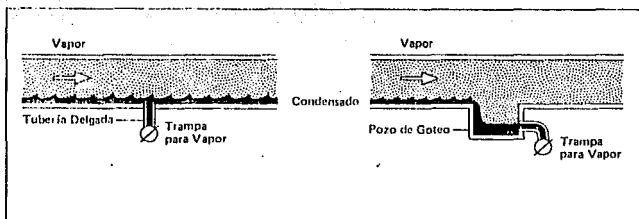


Figura 9

Figura 10

UN BOLSILLO COLECTOR ADECUADO ES UNA PARTE TAN IMPORTANTE EN LA INSTALACION DE TRAMPAS COMO LA TRAMPA PARA VAPOR MISMA. (5).

No importa cuán cara o eficiente sea la trampa si, al instalarla bajo las condiciones indicadas en el ejemplo anterior, posiblemente no pueda mantener la tubería libre de todo el condensado.

Se cree generalmente que, debido a la presión de la caldera, el condensado producido bajo presión se comportará en forma diferente al agua que se acumula cuando no hay presión actuando sobre ella.

Al considerar cualquier problema de drenaje, se puede pensar en lo que ocurriría en el sistema si el agua se estuviera acumulando en él bajo presión atmosférica. Es obvio que el agua se acumulará en cualquier punto bajo o bolsillo natural del sistema.

Exactamente igual se comportara el condensado bajo presión.

De aquí se deduce que un drenaje eficiente implicará la eliminación de condensado en cada uno de los bolsillos, en forma natural.

El condensado que se acumula en el punto de drenaje, puede ser llevado entonces, a la trampa para vapor.

Más adelante se verá que no es siempre necesario colocar la trampa en el punto más bajo del sistema.

Por "eliminación de bolsillos", debemos aclarar que no se entiende conectar los drenajes de varios equipos a un solo punto de drenaje y trampa.

Para ilustrar esto, tomemos un ejemplo obvio.

Supongamos que tenemos un recipiente trabajando a una presión de 0.5 bar manométrica y al lado de él hay una tubería principal que lleva vapor a una presión de 7 bar manométrica.

Es evidente que si los drenajes del recipiente de baja presión y de la tubería principal de alta presión estuvieran conectados a un punto de drenaje común y trampa, la presión de vapor en la tubería principal vencería la presión de vapor en el recipiente, y el condensado de la tubería principal llegaría primero a la trampa.

Una vez descargado el condensado, llegaría el vapor de la tubería principal y obligaría a la trampa a cerrarse.

El condensado sería retenido en el recipiente de baja presión y no podría ser descargado contra la alta presión del vapor de la tubería principal.

La instalación de válvulas de retención no ayudaría en lo más mínimo, ya que la presión del vapor mantendría la válvula de retención herméticamente cerrada sobre la salida del recipiente de baja presión.

Un error menos obvio, pero todavía muy común, es conectar un cierto número de equipos calentados por vapor a una trampa única.

Más adelante hablaremos de estos poco satisfactorios "trampeos en grupo".

Un drenaje deficiente de condensado y un sistema de trampas de vapor inadecuadas afectan a:

- 1.- Control eficiente de temperatura.
- 2.- Eliminación del golpe de ariete.
- 3.- Corrosión en los equipos.

Para un eficiente drenado de una tubería de vapor es recomendable el uso de ciertos equipos como son: Válvulas reguladoras de presión, trámpas, controles de temperatura y otras válvulas automáticas de vapor, así también una serie de

consideraciones como son:

- 1.- Método de calentamiento de la tubería.
- 2.- Proporcionar los depósitos adecuados para la recepción de condensados.
- 3.- Selección apropiada del equipo.
- 4.- Tener una buena instalación.

Es importante para el drenado eficiente de tubería de vapor, la utilización de trampas de vapor y la colocación de depósitos adecuados para la retención de condensados (bolsillos colectores).

Las piernas colectoras deberán colocarse en todos los puntos bajos del drenaje y donde quiera que pueda haber acumulación de condensado, en puntos tales como:

- 1.- Al final de tuberías principales.
- 2.- Al fondo de tuberías verticales.
- 3.- Delante de juntas de expansión.
- 4.- Antes de válvulas reguladoras y controles de temperatura.
- 5.- En separadores de humedad.

En instalaciones que tengan tuberías muy largas de vapor, es recomendable colocar trampas de vapor en intervalos de 30 a 60 metros , dependiendo de lo accidentado de la tubería.

La longitud de los bolsillos colectores no deberá ser menor de $1\frac{1}{2}$ veces su diámetro y no menor de 8", y el diámetro de éstas deberá ser el mismo de la tubería de vapor.

En toda tubería de vapor, las cargas de condensado más grandes ocurren durante el período de calentamiento.

La tabla II nos muestra la cantidad de vapor necesaria para el calentamiento de tubería en kgs. de vapor por cada 100 metros de tubería de diferentes diámetros

La tabla III nos muestra las cargas de condensado, debidas a las distribución de vapor en tuberías principales, de diferentes diámetros..

TABLA II

CARGA DE CALENTAMIENTO EN KGS DE VAPOR POR HR. POR CADA 100 METROS DE TUBERIA TEMPERATURA AMBIENTE 21°C

Ambient Temperature 21°C — Insulation 80% Efficient

Steam Pressure bar	Main Size														-18°C Correction Factor †
	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm	350 mm	400 mm	450 mm	500 mm	600 mm	
0.7	9	10	13	16	19	24	30	36	44	48	54	59	66	80	1.580
2.0	11	13	16	20	24	29	37	46	55	60	69	73	82	128	1.500
4.0	15	18	21	28	37	42	51	63	75	83	95	103	114	137	1.480
7.0	18	22	26	32	41	48	60	75	89	98	113	122	136	163	1.410
12.0	24	28	34	39	49	57	79	99	117	129	147	160	178	212	1.370
18.0	29	35	43	54	67	80	99	123	147	162	186	202	224	269	1.355
20.0	31	38	46	57	71	83	105	131	155	170	194	212	237	283	1.340
28.0	34	41	50	63	78	92	117	146	173	191	217	237	264	317	1.320
35.0	41	50	59	74	92	110	137	172	204	223	257	279	311	371	1.310
42.0	45	59	66	83	103	124	155	193	229	252	288	314	350	418	1.300

TABLA III

CARGA DE CONDENSADOS EN KGS POR HR. POR CADA 100 METROS DE TUBERIA AISLADA. Temperatura Ambiente 21°C. Eficiencia Del Aislamiento del 80%.

Steam Pressure bar	Main Size														-18°C Correction Factor †
	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm	350 mm	400 mm	450 mm	500 mm	600 mm	
0	9.2	14.4	19.0	27	37	47	71	101	134	159	208	262	308	309	1.50
0.35	10.0	15.9	20.8	29	40	52	69	112	146	174	227	287	338	470	1.45
0.70	11.3	17.8	23.4	33	45	58	88	125	165	196	255	322	379	529	1.41
1.00	12.2	19.5	25.4	36	50	64	96	135	179	212	277	350	412	575	1.39
2.50	13.4	21.3	27.8	39	53	70	105	148	195	232	303	383	450	627	1.33
4.00	15.8	25.2	33.0	47	63	82	123	175	233	276	360	454	535	745	1.30
5.50	17.8	28.0	37.0	52	71	92	138	196	260	308	402	507	598	832	1.28
7.00	19.3	30.6	40.0	57	77	100	151	214	284	335	438	553	651	906	1.26
8.50	20.1	31.8	42.0	59	80	104	157	223	293	349	455	574	676	942	1.25
10.00	20.8	33.1	43.0	62	83	108	162	230	305	361	472	595	700	997	1.24
12.00	22.6	35.8	47.0	67	90	117	176	250	331	392	513	646	760	1059	1.23
14.00	24.2	38.2	50.0	71	95	125	189	267	353	418	546	689	811	1130	1.22
18.00	28.1	45.0	58.0	83	113	146	219	312	412	489	638	805	947	1320	1.21
20.00	36.0	55.0	74.0	108	150	205	312	463	637	764	981	1228	1503	1700	1.20
25.00	39.0	59.0	80.0	117	162	222	338	502	692	828	1065	1362	1631	2315	1.19
30.00	41.5	64.0	85.0	124	173	237	360	534	735	882	1134	1420	1735	2464	1.18
40.00	44.3	68.0	91.0	132	184	253	385	570	784	940	1210	1514	1852	2627	1.17

† For outdoor temperature of -18°C, multiply load value in table for each main size by correction factor shown.

VI.-SELECCION DE TRAMPAS PARA VAPOR.

La experiencia demuestra que algunos tipos de trampas tienen fallas inherentes a su construcción que, frecuentemente, las hacen problemáticas o costosas, o ambas cosas a la vez.

Hay tipos que son muy satisfactorias bajo ciertas condiciones de presión y carga, pero que causarán dificultades tan pronto como estas condiciones varien.

La mayoría de las trampas para vapor funcionarán siempre que las condiciones de trabajo estén dentro de su rango de presión y capacidad.

Pero en un sistema de drenaje correcto, nosotros nos proponemos no sólo hacer que una trampa para vapor funcione, sino obtener la eficiencia y capacidad máximas del equipo que se está drenando.

Mal seleccionada, una trampa para vapor puede resultar una de las unidades menos económicas de toda la planta.

Un tipo erróneo de trampa para vapor practicamente puede crear un desperdicio de un 12% en el vapor entregado a un equipo.

Seleccionada cuidadosamente, será una de las unidades más eficaces, previniendo el desperdicio de vapor y contribuyendo a la eficiencia total. (7,12).

Para seleccionar el tipo correcto de trampa para vapor que se va a utilizar en un equipo dado, habrá que tener presente una lista de condiciones, y preguntas a saber:

- a). Se descargará el condensado tan pronto como se forma.?
- b). La línea del retorno del condensado está a nivel superior que el equipo que se purga.?
- c). Hay riesgos de golpes de ariete en la línea.?
- d). Hay vibraciones o movimientos excesivos en el equipo.?
- e). Contiene el condensado sustancias corrosivas.?
- f). Está la trampa instalada a la intemperia.?
- g). Se utiliza vapor sobrecalentado.?
- h). Hay cantidades importantes de aire.?
- i). Hay posibilidades de bloqueo por vapor.?
- j). Comprende la instalación diversas unidades calentadas con vapor.?

La respuesta a estas preguntas se pueden establecer de la siguiente manera:

a). INUNDAMIENTO POR CONDENSADO.

En la mayoría de los equipos calentados con vapor es deseable y muchas veces imprescindible, descargar el condensado tan pronto como se forma.

Si bien la entalpía del agua saturada del condensado es utilizable, se obtiene una transferencia de calor más importante si únicamente el vapor está en contacto con la superficie de transferencia.

Las trampas del tipo mecánico son las idóneas para aplicaciones que requieran una rápida eliminación del condensado.

Ejemplificando:

Consideremos la diferencia entre las necesidades de purga de un radiador de vapor y una unidad calefactora.

Mientras el espacio dedicado al vapor en un radiador es grande comparado con la superficie de calefacción, la capacidad de vapor de una unidad calefactora es pequeña comparada con la transferencia de calor requerida. El radiador puede utilizar perfectamente la entalpía del agua saturada del condensado antes de descargarlo, pero en la unidad calefactora no se puede hacer.

Por esta razón, el radiador podría ser equipado con una trampa termostática mientras que la unidad calefactora lo debe ser con

una trampa que elimine el condensado inmediatamente. En este último caso, por pequeño que fuera el inundamiento, reduciría la transferencia de calor y provocaría que el calefactor soprase aire frío.

El condensado retenido en la unidad calefactora es también una fuente de corrosión y por tanto de reducción innecesaria de vida de los tubos del calefactor.

El porcentaje tolerable de inundamiento del espacio de vapor es claramente un factor significativo en la selección de la trampa.

La elección incorrecta del mismo es fuente, en muchos casos, de bajos rendimientos del equipo. (13).

b). ELEVACION DEL CONDENSADO.

La velocidad a la cual la trampa puede descargar el condensado depende del diámetro del orificio de la válvula y de la presión entre la entrada y la salida de la trampa.

Si una trampa descarga a la atmósfera, la presión diferencial a través de la misma es igual a la presión de entrada. Lo mismo sucede si la trampa descarga en una línea de retorno situada a un nivel inferior y que permite al condensado llegar, por gravedad, al tanque de alimentación de caldera (a menos que un retorno esté subdimensionado y produzca contrapresión).

En las instalaciones mas comunes, generalmente el tanque de alimentación de la caldera está a un nivel superior de la trampa, debido a que las líneas de retorno de condensados, estan tendidas por los niveles superiores, para evitar obstrucciones. En estos casos, el condensado debe ser impulsado mediante una bomba o por la propia presión del vapor, hasta su punto final.

Por cada 0.11 bar de presión de vapor en la trampa, el condensado puede ser elevado a una altura de 1 m. Para elevar el condensado, la trampa debe ser de un tipo en el cual todo el cuerpo esté sometido a la presión total del vapor.(1,5).

Por fortuna, todas las trampas mecánicas, y la mayor parte de las que se encuentran en el mercado nacional, son de este tipo.

Hay desventajas al elevar el condensado por este método. En primer lugar, no siempre se dispondrá de la presión de vapor necesaria a la entrada de la trampa.

Ejemplo: La presión normal de operación de un equipo es de 1.65 bar, teóricamente es posible elevar el condensado a 15 m de altura. Sin embargo, en el arranque, la presión de vapor permanecerá durante un cierto tiempo a un valor muy cercano a 0 bar o incluso por debajo. Hasta que esta presión aumenta, el condensado no puede ser eliminado y se acumulará en el espacio destinado al vapor. Este fenómeno, provocará un período de calentamiento más largo. El condensado, además, evitará la salida de aire a través de la trampa con lo cual el problema empeorará

Si el equipo tiene control de temperatura, la acción de este control puede reducir la presión del vapor por debajo del valor al cual la elevación del condensado se efectuaría correctamente hasta la línea de retorno. Una vez más, el espacio destinado al vapor quedará inundado hasta que abra la válvula de control, resultando una deficiente regulación de temperatura y un riesgo de golpes de ariete cuando el vapor llegue súbitamente al espacio inundado.

Las trampas se pueden instalar en la parte baja o en la parte superior de la tubería ascendente, según las necesidades de cada instalación en particular.

Trampas en la parte baja de la tubería.

Siempre es preferible instalar la trampa por debajo del punto de drenaje de la unidad en cuestión. La figura 11, muestra la mejor disposición para elevar condensado directamente de la trampa. La trampa está en la parte inferior de la tubería de elevación y cerca de la unidad a drenar.

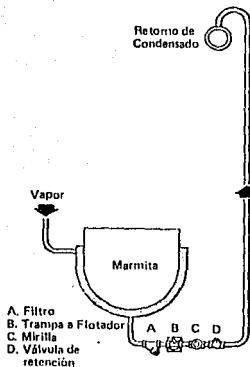


Figura 11. Elevación del condensado

La trampa está precedida de un filtro y seguida de una válvula de retención, esta se instala para evitar que el condensado llene la parte destinada al vapor durante los paros del equipo.

Se recomienda conectar la tubería de elevación a la parte superior de la tubería principal de retorno de condensados.

Trampas en la parte alta de la tubería de elevación.

Hay ocasiones en las que no es posible instalar trampas en la parte inferior debido a la disposición del equipo. La fig.12, muestra un recipiente, equivalente al de una unidad de tratamiento superficial, calentado con un serpentín lleno de vapor. La tubería baja por un lado del recipiente, circula por el fondo del mismo y sale al exterior subiendo por la pared opuesta antes de llegar a

la trampa. El final del serpentín no puede salir por el fondo del recipiente porque introduciría una junta que puede perder líquido corrosivo.

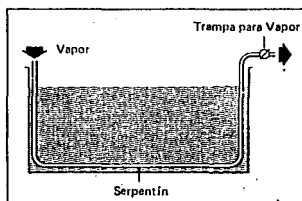


Figura 12. Trampa luego de la elevación "incorrecto"

El vapor condensa al ingresar en el serpentín y este condensado se acumula en la parte baja. Al mismo tiempo, el vapor puede pasar por encima del condensado y llegar a la trampa que cerrará inmediatamente. No abrirá hasta que el vapor que llena la tubería antes de la trampa condense. Sin embargo, el vapor continuará entrando y llegando a la trampa hasta que se haya formado suficiente condensado en la parte baja del serpentín.

Este condensado será empujado por el vapor hasta la trampa y ésta abrirá. Cuando la trampa abre, el nivel del condensado disminuye con lo que el vapor puede llegar nuevamente a la trampa. Se repite el proceso con el resultado de que el serpentín nunca queda libre de condensado por lo que la eficiencia térmica es

baja.

Esta situación se puede mejorar con la disposición que se muestra en la fig.13. En lugar de ser un serpentín plano, este desciende gradualmente en la dirección del flujo de vapor y forma un codo sifón antes de iniciar el camino ascendente.

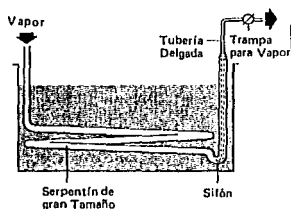


Figura 13. Trampa luego de la elevación "correcto"

Un tubo de pequeño diámetro conectado a la trampa se inserta dentro del tubo del serpentín hasta el punto bajo del codo sifón.

Cuando llega vapor en el arranque, el primer condensado que se forma cae en el codo sifón, sellando la parte final del tubo de pequeño diámetro e impidiendo que el vapor llegue a la trampa. Debido a este pequeño diámetro, tampoco las burbujas de vapor pueden llegar a la trampa, lo que sucedería si se mantuviese el diámetro del serpentín.

La mayor parte de las trampas pueden ser instaladas en el punto superior del tubo de pequeño diámetro siempre que la instalación se efectúe del modo descrito. Sin embargo, si se utiliza una trampa de cubeta invertida, hay que instalar una válvula check, a la entrada, para evitar que el sello de agua que necesita la trampa se pierda a través de la tubería de pequeño diámetro.

c). GOLPE DE ARIETE.

Tan pronto como el vapor sale de la caldera, se inicia la condensación en las tuberías debido a las pérdidas de calor. Esta condensación es particularmente importante en el arranque, cuando el sistema está frío. En la fig. 14 se ve como las gotas de condensado se van depositando en el fondo pudiendo formar, eventualmente, una barrera compacta que es arrastrada a gran velocidad a lo largo de la tubería. Cuando este condensado encuentra un obstáculo, tal como un cambio de dirección de la tubería, será frenado súbitamente.

La energía cinética del condensado a alta velocidad se convierte en energía de presión que es absorbida por la tubería. Si la velocidad es muy alta o el peso del condensado importante, la cantidad de energía liberada puede ser suficiente para romper algún elemento de la instalación. (5,13).

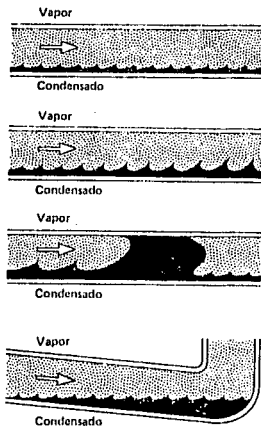


Figura 14. Formación del golpe de ariete.

Incluso con la baja velocidad y poco peso, el ruido creado en el sistema por el impacto puede provocar molestias importantes a los operarios del equipo y fatigas en el material de la instalación.

La incidencia de golpes de ariete será mayor si se forman bolsas de condensado en los puntos bajos del sistema de vapor. Son fuente común de problemas los pandeos en las tuberías o el uso incorrecto de reductores concéntricos, como se ve en la fig.15. Un reductor instalado correctamente como el de la fig. 16. No permite acumulación de condensado.

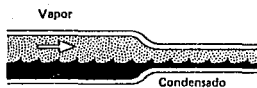


Figura 15. Reducción Concéntrica incorrecta.



Figura 16. Reducción Excéntrica correcta

. Incluso un filtro instalado como en la fig. 17, es una fuente potencial de golpe de ariete.

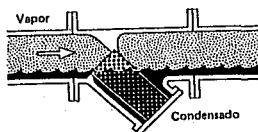


Figura 17. Filtro instalado incorrectamente.

Es mucho mejor instalar los filtros en un plano horizontal para evitar que la bolsa de condensado pueda ser arrastrada por el vapor que circula a gran velocidad. Con el fin de minimizar la posibilidad de golpes de ariete, las líneas de vapor deben instalarse con una pendiente en la dirección del flujo y con puntos de drenaje instalados a intervalos regulares y en los puntos bajos.

Después de las trampas deben instalarse válvulas de retención que impidan el paso de condensado en sentido inverso que inundarían las tuberías cuando se produzca un paro.

Al alimentar de nuevo con vapor en el arranque, las válvulas de alimentación deben ser abiertas poco a poco con el fin de que si hubiese quedado condensado en el sistema éste sea arrastrado lentamente hacia los puntos de drenaje y no a gran velocidad.

d). VIBRACIONES.

La mayor parte de los procesos y equipos de calefacción no están sujetos a vibraciones excesivas con lo que este factor raramente tiene influencia en la selección de la trampa. Sin embargo, esto no es así en algunas aplicaciones tales como bombas, martillos accionados con vapor, equipos instalados en barcos y otros.

Indudablemente la mejor trampa en estas condiciones es la del tipo termodinámico. La única parte móvil es el disco de acero

inoxidable que no se ve afectado ni siquiera por vibraciones severas. (5).

e). CONDENSADO CORROSIVO.

El agua no es suficientemente pura para poderla usar directamente en la alimentación de la caldera, sin algún tipo de tratamiento previo.

No es extraño, por lo tanto que puede contener sólidos disueltos (que pueden precipitar formando incrustaciones en la superficie de intercambio de la caldera) y gases, tales como oxígeno y dióxido de carbono.

Estos gases son arrastrados por el vapor hasta las las zonas de intercambio térmico de la planta, donde permanecen al condensar el vapor. Cuando la concentración de gases aumenta, éstos pueden disolverse con el condensado, convirtiéndolo en corrosivo.

Si la caldera produce arrastres de agua e impurezas sólidas, estas se verán introducidas en la instalación y consecuentemente, una buena parte de ellas irán a parar al condensado.

Cuando se habla de tratamiento del agua no debemos buscar condiciones satisfactorias unicamente para la caldera, sino que debemos lograr también que no sean atacadas las tuberías de retorno de condensados.

Algunas trampas están fabricadas con materiales que pueden resistir ciertos tipos de corrosión durante períodos de tiempo largos. Sin embargo, raras veces la instalación de estas trampas es la solución correcta al problema, debido al efecto que la corrosión produce en otras partes del sistema. La mejor manera es eliminar la causa de la corrosión en su origen. (15).

Se puede producir una corrosión muy rápida en sistemas de trabajo intermitente y que no se drenen convenientemente. En presencia de aire, el condensado, que se acumula en puntos determinados, puede producir corrosiones severas.

Un ejemplo lo tenemos en los sistemas de calefacción que no se utilizan en los meses de verano. Siempre que sea posible, se deben drenar completamente estos sistemas cuando están fuera de uso.

El oxígeno y el dióxido de carbono son responsables de la mayor parte de las corrosiones en los sistemas de vapor. Aunque no son peligrosos cuando están presentes en forma de gas, sí causan problemas cuando se disuelven en el condensado. La proporción en la que pueden disolverse en un líquido aumenta cuando la temperatura de éste disminuye. Por esta razón los sistemas con eliminación de aire correcta y en los que se drena el condensado a la temperatura del vapor, no sufren daños por corrosión. (15).

No es recomendable descargar los venteos en las tuberías de retorno de condensados porque se facilita la corrosión en los tramos de tubería posteriores a las trampas.

f). HELADAS.

El condensado de las tuberías que están instaladas en el exterior se puede helar en invierno cuando se corta el vapor. Las trampas, en estos casos, pueden sufrir las consecuencias.

No es raro ver trampas dañadas por esta causa. Se puede evitar este problema de distintas maneras. Quizá la mejor solución la constituyen las trampas termodinámicas, puesto que no son dañadas por las heladas.

Como alternativa, hay que tener presente que cualquier trampa que abra por descenso de temperatura tampoco sufrirá daños siempre que deje salir todo el condensado. Como solución de emergencia se podría pensar en aislar las trampas, aunque ello no sea una garantía total si las condiciones son extremas y si se está mucho tiempo sin vapor. En algunos casos, se podría llegar incluso al calentamiento externo de las trampas grandes.

g). SOBRECALENTAMIENTO.

En relación con el efecto del vapor sobrecalentado sobre las trampas hay dos puntos importantes a tener en cuenta:

En primer lugar, que las temperaturas de sobrecalentamiento pueden ser muy altas y en segundo lugar, que estas temperaturas no guardan ninguna relación con la presión del vapor.

Las temperaturas del vapor sobrecalentado, en general, son muy

altas porque este vapor se produce casi siempre para utilizarlo en turbinas o máquinas para generar potencia. (5).

Además, también suelen ir íntimamente relacionados con altas presiones. Rara vez se encuentra vapor sobrecalentado en procesos de calefacción, puesto que para estos es mejor el saturado. Sólo en algunas instalaciones se aumenta ligeramente la temperatura del vapor en relación a la de saturación para que durante la distribución del mismo no se convierta en vapor húmedo, antes de alcanzar el proceso.

Contrariamente a lo que se podría suponer, también se requieren trampas para drenar líneas sobrecalentadas. En el arranque, puesto que el sistema está frío, incluso el vapor sobrecalentado llega a enfriarse lo suficiente para producir condensado. Cuando el sistema ya está caliente, las pérdidas por radiación deben ser compensadas por el vapor, que cede parte o todo su sobrecalentamiento y condensa, a menos que la tasa de sobrecalentamiento o la cantidad de vapor que circula sean importantes.

Las trampas que se usan con vapor sobrecalentado se construyen con materiales que resistan tanto la presión como la temperatura. Las trampas termodinámicas y las bimetalicas son las que se utilizan normalmente. Con las trampas de cubeta invertida, existe el riesgo de que el sello de agua se evapore, con el sobrecalentamiento. Se puede evitar instalando una válvula de retención a la entrada de la trampa. Por esta razón, las trampas

de cubeta invertida para altas presiones y temperaturas a menudo ya llevan incorporada una válvula de retención adecuada.

h). BLOQUEO POR AIRE.

En los períodos de paro, el sistema de vapor se llena de aire. Además, durante el funcionamiento, el vapor arrastra consigo aire e incondensables. Ya se mencionó que la presencia de aire agrava los problemas de corrosión y que, además, puede afectar negativamente el rendimiento del equipo. Otro problema, que puede y debe ser evitado, es la tendencia de algún tipo de trampa a quedar bloqueada por aire.

Quando se arranca una planta, todo el aire que ha llenado el sistema durante el paro debe ser eliminado lo más rápidamente posible. (15).

El vapor empuja al aire hacia las trampas, donde es descargado. Por esta razón, si la trampa no elimina el aire fácilmente, se debe solucionar con alguna instalación especial.

Todas las trampas del tipo termostático están completamente abiertas cuando están frías y permiten que el aire descargue libremente tanto en los arranques como cuando llega aire a la trampa en trabajo normal.

La instalación de un eliminador de aire termostático en el interior de la trampa de flotador garantiza que éstas también se

comporten correctamente en presencia de aire o incondensables.

Las trampas termodinámicas son capaces de descargar el aire en los arranques a menos que la presión aumente muy rápidamente. Si el aire es forzado a salir a través de la trampa a gran velocidad, el efecto dinámico puede causar el asentamiento del disco en su asiento con lo que la trampa quedará bloqueada por aire. En los casos en que este hecho representa un problema, se debe instalar un eliminador de aire termostático en paralelo con la trampa.

1). BLOQUEO POR VAPOR.

El bloqueo de las trampas por vapor es una causa frecuente de la operación ineficaz de un equipo y, sin embargo es un fenómeno bastante ignorado.

El problema básico queda ilustrado en la figura 18. Una unidad calentada con vapor es drenada mediante una trampa termostática correctamente dimensionada e instalada.

La unidad a la que está conectada la trampa trabaja con vapor a una presión de 3 bar y hay unos 5 m de tubería de 25 mm entre la salida A y la trampa B. Cuando se manda vapor al sistema, éste está frío y la trampa está abierta completamente. El aire y el condensado descargan debido a la presión que ejerce el vapor. Cuando éste llega a la trampa, ésta última cierra, dejando el tramo de A a B lleno de vapor. (5).

Ejemplificando: si la tubería está llena de aire, en lugar de vapor, pero con la trampa cerrada. Aunque la presión de trabajo es de 3 bar, la diferencia de presión entre el punto de purga y la trampa es muy pequeña. Esta diferencia es debida a los pocos centímetros de diferencia de nivel, tal como se ve en la fig. 18.

Por está razón, todo el condensado que se forma deberá llegar a la trampa por gravedad, con la dificultad que genera el que toda la tubería esté llena de aire. Lo mismo sucede cuando la tubería está llena de vapor, fenómeno que se conoce como bloqueo por vapor. La solución de este problema, es colocar la trampa lo más cerca posible del punto de purga.

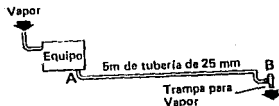


Figura 18. Bloqueo por vapor.

j). TRAMPEO EN GRUPO.

Si dos unidades calentadas con vapor, están situadas una junto a la otra, trabajan a presiones de 0.4 y 7 bar respectivamente. fig 19.

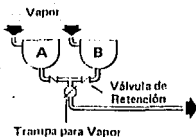


Figura 19. Trampeo en grupo, incorrecto.

El drenaje de cada unidad se comunica con el de la otra y ambas van a un tramo común en el que se instala una trampa. La mayor presión de la unidad B garantiza que el condensado que se forme alcanzará fácilmente la trampa para ser descargado. Cuando lleque vapor a la trampa cerrará. Este vapor llegará antes que el condensado de de la unidad A debido a la diferencia de presión, por lo que esta segunda unidad quedará inundada. Es obvio, que nadie haría una instalación de este tipo. Sin embargo, ya es más común unir a una sola trampa un conjunto de unidades que trabajen a la misma presión. Esta instalación puede tener el mismo efecto que se ha comentado para el caso de presiones distintas.

La pérdida de presión que genera el vapor en movimiento es proporcional a su velocidad. Si el consumo de vapor en las distintas unidades conectadas no es el mismo, la presión real en el punto de purga, será mayor en aquellas en que el consumo de vapor sea menor y por lo tanto la velocidad del mismo y la pérdida de carga, también mas pequeñas.

Incluso cuando las cargas sean idénticas, las tuberías de

conexión desde los puntos de drenaje hasta la trampa tendrán longitudes distintas. La fig. 20, muestra claramente que el condensado procedente de "D" alcanza primero la trampa, también llegará vapor de "D" a la trampa antes de que haya descargado correctamente todo el condensado de "A", "B" y "C".

La comparación del costo actual de un sistema de purgas correcto con las pérdidas que produce un uso del vapor no adecuado lleva siempre a instalaciones como la de la fig. 21.

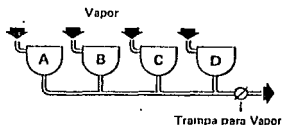


Figura 20. Trampeo en Grupo Incorrecto.

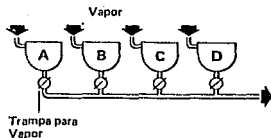


Figura 21. Trampeo Individual Correcto.

6.1 CALCULO DE REGIMENES DE CONDENSACION.

Antes que podamos comenzar a considerar el tipo y tamaño de una trampa para vapor necesaria para un equipo cualquiera, deberemos conocer la cantidad de condensado que debe manejar.

Con la mayoría de los equipos estándar, los fabricantes entregan cifras bastante exactas sobre los regímenes de condensación, pero con otros equipos es necesario encontrar esta cantidad, de condensados, ya sea por pruebas o por cálculos.

El método más exacto para establecer el régimen de condensación de una unidad de vapor es medir el condensado, y el procedimiento para realizar la prueba, se vera con todo detalle, a continuación :

6.2 MEDICION DEL CONSUMO DE VAPOR.

El único modo de llegar a cifras realmente confiables sobre el consumo de vapor de un equipo, es mediante la medida de la cantidad de condensado que se forma.

La figura 22 muestra un método adecuado para efectuar esta medición en una marmita enchaquetada y calentada por toda su superficie exterior.

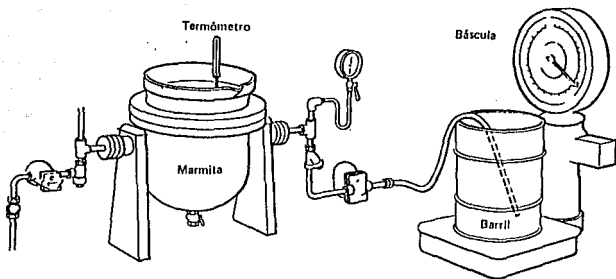


Figura 22. Equipo para medir el consumo de vapor.

Antes de iniciar cualquier ensayo se deben tener en cuenta los puntos siguientes: (14).

1. Nunca se debe dar credibilidad a un solo ensayo. Se deben efectuar un mínimo de tres ensayos y obtener el promedio de estos.

2. Antes del inicio de cada uno de los ensayos se debe verificar que la marmita está llena hasta el mismo nivel y que la temperatura del producto sea siempre la misma.

3. El final del ensayo debe venir fijado por la temperatura del producto.

Todos los ensayos deben terminar a la misma temperatura o al mismo nivel de producto.

4. Puesto que sólo se quiere medir el condensado que se forma durante el ensayo, la marmita debe estar completamente vacía al principio.

Del mismo modo, se debe procurar que la tubería de vapor esté perfectamente drenada hasta la válvula de admisión de vapor a la marmita con el fin de no medir condensado formado en otro lugar.

5. El revaporizado que se pueda formar debe ser condensado de nuevo, con el fin de evitar tener que recurrir a estimaciones teóricas del revaporizado formado, que pueden conducir a error.

Para ello se debe mandar el condensado a un tanque suficientemente lleno de agua fría que debe ser pesado antes y después del ensayo.

Si no se dispone de un tanque de capacidad suficiente se debiera recurrir a varios tanques pequeños, teniendo el cuidado suficiente de no producir pérdidas al pasar de un tanque a otro.

6. Es conveniente ir anotando el peso del tanque receptor cada par de minutos con el fin de tener una idea de cómo va variando el consumo de vapor.

7. Si es posible, se debe mantener la misma temperatura del vapor en todos los ensayos.

Si no se pueden evitar variaciones importantes, se deben tomar lecturas de la presión periódicamente para poder introducir las

correcciones necesarias en los cálculos.

El ensayo se debe conducir del modo siguiente:

A. Llenar la marmita con la cantidad adecuada de substancia y medir la temperatura.

B. Pesar el tanque lleno parcialmente de agua fría.

C. Introducir el tubo de salida de condensado hasta que quede por debajo del nivel de agua fría.

D. Abrir la válvula de drenaje situada en la parte inferior de la marmita.

Abrir también momentáneamente la válvula de entrada de vapor para que arrastre todo el condensado que pudiese quedar en la zona de calefacción y cerrar en este orden, vapor y purga.

E. Abrir la válvula de vapor y anotar la hora.

F. Anotar de un modo regular y periódico la hora, la presión del vapor y el peso del tanque.

G. Cuando la substancia contenida en la marmita alcance la temperatura o el nivel adecuados dar por terminado el ensayo cerrando la válvula de vapor y anotando la hora.

H. Dejar que se escurra todo el condensado en el tanque.

Al final, recoger el que haya quedado en la tubería en un recipiente situado a un nivel más bajo y añadirlo al tanque.J.

Pesar el tanque nuevamente.

La diferencia del peso al final y al principio indica la cantidad de vapor que ha condensado durante el ensayo, con lo que se puede calcular el consumo promedio en el período considerado.

También es posible obtener consumos para intervalos de tiempo determinados, lo cual permite conocer los valores máximos y mínimos. (14).

6.3 CALCULO DE LA CARGA DE CONDENSADOS.

Cuando se desconocen las cargas de condensado, estas se pueden obtener a partir de cálculos basados en las siguientes formulas:

Tuberías de vapor.(velocidad de condensación en la puesta en marcha).

$$Q = \frac{W * (T_2 - T_1) C_p * 60}{L * t} \quad (9)$$

Q = Velocidad de condensación. kg/hr

W = Peso total de la tubería. Kg

T₂ = Temperatura del vapor °C

t₁ = Temperatura ambiente °C

L = Calor latente del vapor kJ/kg

Cp = Calor específico del acero kJ/kg °C

t = Tiempo de calentamiento minutos

Esterilizadores, autoclaves y retortas de calentamiento de sólidos.

$$Q = \frac{W * Cp * (T_2 - T_1)}{L * t} \quad (10)$$

W = Peso del producto. kg

Cp = Calor específico del líquido. kJ/kg °C

T₁ = Temperatura inicial. °C

T₂ = Temperatura final. °C

L = Calor latente del vapor. kJ/kg.

t = Tiempo en horas. hr

Serpentines para un tanque de calentamiento.

$$Q = \frac{U * A * (t_2 - t_1)}{t_m} \quad (11)$$

U = Coeficiente de transferencia de calor. W/m² °C

A = Area de transferencia. m²

t₂ = Temperatura del agua caliente a la salida. °C

t₁ = Temperatura del agua fría de suministro. °C

t_m = Media logarítmica de la diferencia entre la temperatura del medio de calentamiento y la temperatura promedio.

$$t_m = t_s - \frac{t_2 + t_1}{2}$$

t_s = Temperatura del medio de calentamiento °C.

Ejemplo:

Determinar la velocidad de condensación al calentar una tubería de acero de 91.5 m de longitud y de 100 mm de diámetro, con 18 uniones bridadas BST "H" y una válvula de cierre.

La temperatura inicial (ambiente) es de 8 °C y la presión de vapor 14 bar (Calor latente 1947 kJ/kg y la temperatura de 198.5 °C). El tiempo empleado en el calentamiento es de 30 minutos.

Sabemos que:

$$Q = \frac{W * (T_2 - T_1) * C_p}{L * t} \quad (9)$$

Para encontrar W (peso) determinamos los pesos de los distintos elementos de la tubería, de la Tabla 4 :

Tubería de acero de 100 mm de diámetro = 14.9 kg/m.

Bridas BST "H" de 100 mm = 16.1 kg.

Válvula de cierre de 100 mm = 90.7 kg.

Por lo tanto:

$$W = (91.5 * 14.9) + (18 * 16.1) + (1 * 90.7) = 1743.85 \text{ kg.}$$

y entonces:

$$Q = \frac{1743.85 * (198.5 - 8) * 0.49}{1947 * 0.5}$$

$$Q = 167.2 \text{ kg/hr.}$$

Tabla 4. Pesos de tubería de acero (Ref.14).

Diámetro de la cañería	Peso aproximado de caño de acero kg/m	Peso aproximado por par de bridas, incluidos tornillos y tuercas		Peso aproximado de vainas de Cierre de acero con bridas BST "H" kg
		BST "E" kg	BST "H" kg	
½" (15 mm)	1.5	1.25	2.64	4.08
¾" (20 mm)	2.2	1.59	2.95	6.80
1" (25 mm)	3.0	1.93	3.08	9.53
1¼" (32 mm)	4.5	2.49	4.54	12.20
1½" (40 mm)	5.2	2.95	4.99	18.10
2" (50 mm)	6.7	4.08	7.03	27.20
2½" (65 mm)	8.8	5.33	9.30	40.80
3" (80 mm)	11.2	6.35	12.00	54.40
4" (100 mm)	14.8	9.53	16.10	90.70
6" (150 mm)	24.5	16.80	31.3	159.00

6.4 GUIA DE SELECCION DE TRAMPAS PARA VAPOR.

Para dimensionar una trampa, se necesita conocer la cantidad de condensado a descargar en función del tiempo y la presión diferencial.

Los fabricantes de equipos calentados con vapor ofrecen datos confiables del régimen de condensación de los mismos, si no se dispone de esta información se debe recurrir al cálculo teórico, ó a la medida real del condensado producido por el equipo.

La cantidad de condensado que puede descargar una trampa para vapor viene determinada por los tres factores siguientes:

1.- Presión diferencial. La cantidad máxima de condensado que puede descargar una trampa aumenta cuando lo hace la presión diferencial (diferencia entre la presión de entrada y salida de la trampa), las pérdidas de carga en las válvulas de control instaladas en la entrada de los equipos y las del equipo mismo provocan que la presión de vapor en la trampa sea menor que la presión suministrada al equipo.

2.- Diámetro del orificio de descarga. El tamaño del orificio de descarga no sólo determina la capacidad de la trampa, sino que rige la presión diferencial a la que puede trabajar, las trampas que se han mencionada en este manual llevan la válvula por el lado

de alta presión, esta se mantiene apoyada contra su asiento debido a la presión diferencial, según el tipo de trampa en cuestión el elemento actuante (flotador, cubeta, etc.) deberá ejercer fuerza suficiente para separar la válvula de su asiento venciendo el esfuerzo debido a esta presión, este esfuerzo es de una magnitud fija y conocida para cada presión.

$$\text{Fuerza} = \text{Presión diferencial} * \text{Área del orificio.}$$

Si el esfuerzo que puede realizar el elemento actuante es inferior a este producto la trampa no abrirá, por esta razón a cada orificio le corresponde una presión diferencial máxima para que la trampa pueda funcionar.

3.- Temperatura del condensado. La capacidad de una trampa no se debe basar en la cantidad de agua fría que puede descargar, a una presión diferencial dada, el condensado que llega a la trampa está a una temperatura que en general, supera a la de ebullición a la presión atmosférica, por ello, cuando sale de la trampa y encuentra una presión más baja se genera una cierta cantidad de vapor (revaporizado). Este vapor tiende a ocupar una parte importante del orificio de salida, reduciendo su área efectiva, la fig.23 muestra como la temperatura del condensado afecta la capacidad de descarga de la trampa.

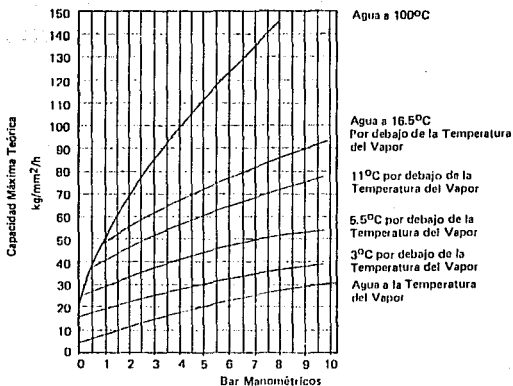


Figura 23. Velocidad de descarga de condensado caliente. (Ref.5)

La relación entre la capacidad máxima de descarga de la trampa para vapor y la carga de condensado esperada se denomina factor de seguridad, que es influenciado por las características de operación de la trampa, la precisión del cálculo de la carga de condensado y las condiciones de presión, de entrada y salida de la trampa.

Si la carga de condensados y las condiciones de presión son determinadas con exactitud, el factor de seguridad que puede estar considerado en un mínimo, de esta forma se evita el sobredimensionamiento que afecta la eficiencia, creando contrapresiones anormales sobre todo en las trampas tipo cubeta invertida, la tabla 5 nos muestra los factores de seguridad

recomendados.

Tabla 5. Factores de seguridad recomendados. (Ref.8).

Tipo de Trampa	Factor de seguridad
Termostática de presión balanceada.	2-4
Termostática termomática.	1.5-2.5
Termostática de expansión líquidos.	2-4
Bimetálica.	2-3
Flotador termostático.	1.5-2.5
Cubeta invertido.	2-3
Termodinámica.	1.2-2

La tabla 6 nos indica cual es la mejor alternativa de selección de trampas para vapor en los diferentes equipos de proceso, dando una segunda alternativa de selección para las diferentes aplicaciones de procesos y equipos en la industria.

Tabla 6. Guía de Selección de Trampas para Vapor. (Ref.8).

A = Primera Alternativa B = Segunda Alternativa

APLICACION	Rango FT (Filtroador/Termostático)	F1/S1/R (Vasador Termostático con Daportivo Anticlogeo Por Vapor)	F1/S1/R (Filtroador con Dispositivo Antibloqueo por Vapor)	Rango TD (Termodinámica)	BPT (Termostática de presión Balanceada)	SM (Bimétrica)	Termoston (Expansión de Líquidos)	Rango IB (Cubeta Invertida)
EQUIPO PARA COMEDORES								
Marmitas de Cocción Fijas	A	B	B*	D*	B			
Marmitas de Cocción Vasculares		A	B		B			
Marmitas de Cocción de Pedestal	B	D	B*		A*			
Hornos de Vapor					A*			
Planchas	D	D	D*		A*			
CALENTAMIENTO DE ACEITE COMBUSTIBLE								
Tanques de Almacenamiento de Aceite Comb.				A				B*
Calentadores de Línea	A							D*
Intercambiadores de Vares de Vapor y tubos Encamados				B	A*	B	U	B*
EQUIPOS PARA HOSPITALES								
Autoclaves y Esterilizadores	B	B	B*		A			B
SECADORES INDUSTRIALES								
Serpentines Secadores (continuos)	A				B	D		B
Serpentines Secadores (lotizado)					B			D
Cilindros Secadores	D	A	B*					B*
Secadores de tubería de Vares Nuevos	A				B			B*
Máquinas de Aprestado de Cilindros Múltiples	D	A	D*					D*
EQUIPOS PARA LABORATORIOS								
Planchadoras de Tapes	B			A				B
Planchas y Calentadas	D	A	B*	D*	B			B*
Unidades Recuperadoras de Solventes	A			B				D
Secadoras Rotativas	A	B	B*					B*
PRENSAS								
Presas de Pisos Múltiples (conexiones en paralelo)	D			A				B
Presas de Pisos Múltiples (conexiones en serie)				A*				B*
Molinos para Frumínicos	B			A	B			B
EQUIPOS PARA PROCESOS								
Marmitas de Cocción Fija	A	B	B*	B*	B			
Marmitas de Cocción Vasculares		A	B					
Disas Convectores	A	B	B*					D*
Digestores	A			B*				B*
Evaporadores	A	B	B*					D*
Planchas Calientes				B	A			
Actores	A							B*
Tanques de Almacenamiento					A*			B*
Vulcanizadores	D			A				B*
CALENTAMIENTO AMBIENTAL								
Intercambiadores de Concha y Tubo	A	B	B*					B*
Serpentines de Calefacción	A	B	B*					B*
Placas Radiantes	A	B	B*	B*				B*
Intercambiadores de Gabinete de Radiación y Convección	B				A	B		
Serpentines Suspendedos	B							B*
TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN								
Tramos Horizontales				A	D*			D
Separadores	A			B	D*			B*
Extremos de Tuberías	D			A*	D*			B*
Derivajes de Cierre (para protección por congelamiento)					B*		A	
TANQUES Y TUBAS								
Tinas de Proceso (descarga por arriba)	B			A	D			D
Tinas de Proceso (descarga por debajo)	A			B	B			D
Tanques Pequeños Calefntados por Serpentina (de calentamiento rápido)	A				B			B
Tanques Pequeños Calefntados por Serpentina (de calentamiento lento)							A	

1. Con Eliminator de Aire en Paralelo 2. Al Extremo de Una Pieza de Enlaminado longitud mínima 3 pies (1m)

3. Use un trazo especial de trampas que ofrezcan la opción de descarga a temperatura establecida

Ejemplo:

Seleccionar y dimensionar, el tipo de trampa requerido para eliminar el condensado de una tubería de distribución de 4 pulg. de diámetro, y con una presión de 7 kg/cm^2 , la trampa está descargando el condensado en una línea de retorno de condensados que está presurizada a 2 kg/cm^2 , y la cantidad de condensado a eliminar es de 167.2 kg/hr .

De acuerdo a la tabla 6, la primera alternativa de selección es la trampa termodinámica.

Consultando el gráfico de capacidades de descarga de las trampas termodinámicas a una presión diferencial de 5 kg/cm^2 (fig. 24).

La presión diferencial es igual a la presión de entrada a la trampa, menos la presión a la salida ($7 \text{ kg/cm}^2 - 2 \text{ kg/cm}^2$) = 5 kg/cm^2 . Y teniendo en cuenta que el factor de seguridad recomendado para las trampas termodinámicas (tabla 5), es de 2 la trampa deberá tener una capacidad de descarga de:

$$167.2 * 2 = 334.4 \text{ kg/hr.}$$

La trampa termodinámica de 3/4" tiene una capacidad de 450 kg/hr . (fig. 24). Y la trampa de 1/2" tiene una capacidad de 310 kg/hr .

De acuerdo a lo anterior concluimos que:

La mejor selección es la trampa termodinámica, y el tamaño de ésta (dimensionamiento) debe ser de $3/4"$, ya que nos da la capacidad requerida.

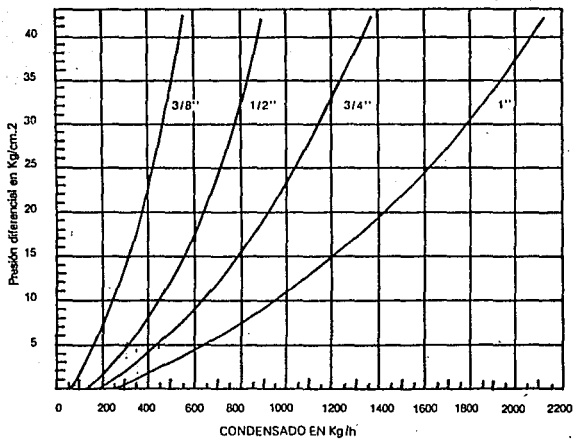


Figura 24. Gráfico de capacidades de descarga kg/hr. (ref.17).

VII. SELECCION DE EQUIPOS DE CONTROL EN PROCESOS ALIMENTARIOS.

7.1 Válvulas reguladoras de presión.

La presión de generación de vapor en las calderas la establecen los fabricantes de éstas, generar vapor a baja presión, produce un mayor arrastre de gotas de agua desde la caldera, de modo que existen más posibilidades de producir vapor humedo, además se requieren diámetros de tubería de distribución mas grandes, y por lo tanto mas costosas. Cuando por alguna de estas razones, la presión de generación es mayor que la necesaria en los equipos de proceso, es conveniente distribuir el vapor a alta presión y reducir ésta en el punto de consumo, estableciendo un control mucho más preciso en el equipo.

El valor de presión reducida la establece el proceso mismo y esta condición propicia otras ventajas, dentro de las más importantes se encuentran el hecho de que la magnitud de la entalpía de evaporación tiene un comportamiento inversamente proporcional con respecto a la presión, por lo tanto el aprovechamiento energético es mayor, la correspondiente reducción de temperatura en el condensado que produce el equipo, genera menos cantidad de revaporizado que en muchos casos se pierde, se reducen las perdidas de energía por radiación del equipo y el costo de construcción del mismo disminuye.

La reducción de presión se realiza a través de una válvula reguladora de presión cuyo obturador principal es accionado por un

diafragma operado por la presión de entrada y regulada por la válvula piloto que registra la presión de salida, o cuando las cargas de vapor son pequeñas se puede utilizar una válvula reductora de acción directa, también controlada por la presión de salida, pero, en este caso, actuando directamente sobre un fuelle para posicionar el obturador principal.

La fenomenología de reducción de presión establece que el calor contenido en el vapor permanece constante en ambos lados de la válvula reductora considerando despreciables las pérdidas por radiación en ésta, consecuentemente, desde un punto de vista teórico, el vapor en la salida de la válvula reductora está ligeramente sobrecalentado, esto es cierto solo si se cumple que el vapor que entra a la válvula reductora está completamente seco, de lo contrario la reducción de presión tiene un ventajoso efecto de secado, debido al excedente de entalpía total de vapor que se proporciona. (5).

7.2 Instalación y regulación de la válvula reductora.

La válvula reguladora se debe instalar siempre en una tubería horizontal. Se recomienda la instalación de un by-pass, el cual es necesario para que el sistema pueda ser operado en forma manual, mientras la válvula reductora esté fuera de servicio.

Las válvulas de cierre (1 y 2) colocadas a ambos lados de la reductora, serán preferiblemente de paso total.

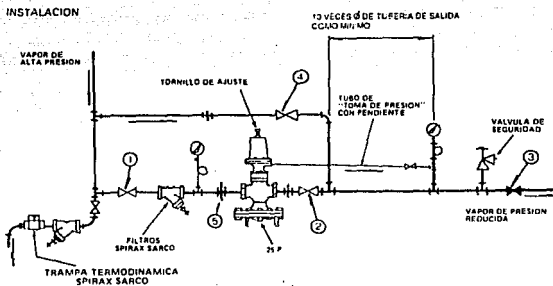


Figura 25. Instalación y regulación de la válvula reductora.

Es conveniente la instalación de una trampa termodinámica, con su correspondiente filtro a la entrada de la válvula reductora. Esta trampa eliminará el condensado existente en la tubería antes de que la reguladora empiece a controlar la presión de vapor.

Las trampas termodinámicas Spirax Sarco son ideales para esta aplicación. Además, es necesario instalar otro filtro en la tubería de entrada a la válvula reductora para evitar que las impurezas y suciedades afecten su buen funcionamiento.

El tubo de toma de presión deberá estar conectado a la tubería de salida a una distancia de por lo menos diez veces el diámetro de dicha tubería. No debe existir ningún cambio de dirección,

válvulas, o variación de diámetro en esa distancia.

El tubo de toma de presión debe tener una pendiente para evitar que el condensado se acumule en el piloto de la válvula.

Si la válvula reductora suministra vapor a una sola máquina o equipo, el tubo de toma de presión puede estar conectado directamente al equipo. En cualquier caso, es indispensable un manómetro para poder regular la presión de salida. Instalando una válvula en el tubo de toma de presión, es posible desmontar la válvula reguladora y al mismo tiempo abastecer el consumo de vapor por medio del by-pass. (4).

Regulación de la válvula.

En la figura 25, se muestran una serie de pasos a seguir, para regular la válvula y a continuación se describen y son:

- a) Las válvulas 1,3 y 4 deben estar cerradas.
- b) Se desenrosca el tornillo de ajuste (hasta que el resorte quede sin comprimir).
- c) Se abre la válvula 1.
- d) Se enrosca lentamente el tornillo de ajuste hasta leer en el manómetro de salida la presión deseada. Fijar esa posición del tornillo con la contratuerca.

Finalmente,

e) Se abre la válvula 3 al consumo.

RECOMENDACION.

Al instalar una válvula nueva, es aconsejable realizar un "purgado" de la tubería. Esto se logra desconectando la entrada a la válvula (punto 5), y permitiendo que el vapor circule por la tubería. Deje que el vapor escape durante un buen rato, hasta estar seguro que todas las suciedades han sido eliminadas.

Después de esto, se vuelve a conectar y se procede con la etapa de regulación antes mencionada.

7.3. Dimensionamiento de la instalación.

La presión de vapor a la salida de una válvula reductora es menor que a la entrada., Esta caída de presión crea una alta velocidad de vapor a través de la válvula. Deben evitarse velocidades excesivamente altas pues producen ruidos molestos y erosión en el obturador y asiento de la válvula reductora.

En los lugares donde el ruido sea un inconveniente, (Hospitales, Hoteles), las velocidades de vapor en las tuberías deben limitarse entre 20 y 30 m/seg.

En instalaciones a la interperie o en fábricas donde el nivel del ruido es alto, se puede llegar hasta 60 m/seg.

El ábaco de la fig. 26 nos muestra los caudales de vapor para distintas condiciones de velocidad y presión.

Ejemplo:

En una instalación de calentamiento con vapor, se tiene una presión de entrada, $P_1 = 7 \text{ kg/cm}^2$ y un caudal de 450 kg/hr., Y una presión de salida $P_2 = 1.75 \text{ kg/cm}^2$. Seleccionar el tamaño de la válvula y el diámetro de entrada y salida de la tubería, para una operación sin ruido.

Dimensionamiento de la tubería de entrada.

Se entra al abaco horizontalmente por el punto A, para 450 kg/hr., Hasta cortar la diagonal correspondiente a 7 kg/cm^2 , punto B. Se traza una vertical hasta el punto C, intersección con la diagonal de diámetro de la tubería dentro de la faja de velocidades de 20 a 30 m/seg. Se obtienen una velocidad real de 24 m/seg., Para una tubería de 1-1/2". Punto D.

Dimensionamiento de la tubería de salida.

Se procede igual, pero ahora hasta $P_2 = 1.75 \text{ kg/cm}^2$. punto E. Se traza una línea vertical, Hasta el punto F, intersección con la

diagonal de diámetro de la tubería de 2-1/2". Punto F dentro de la faja de velocidades de 20 a 30 m/seg., Se obtiene una velocidad real de 28 m/seg. punto G.

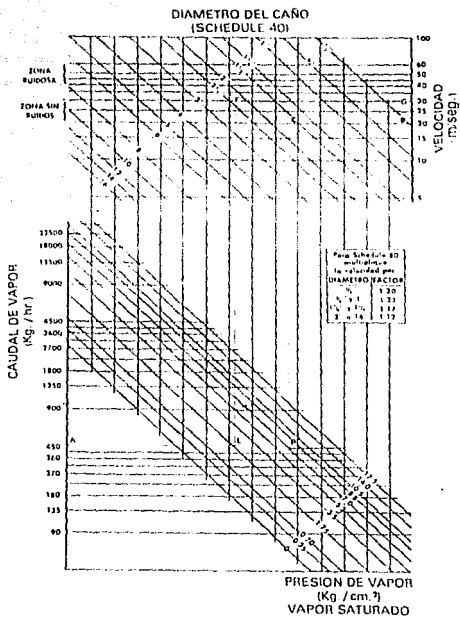


Figura 26. Abaco de caudales de vapor (ref.17).

Dimensionamiento de la reductora.

Para seleccionar el tamaño de la válvula reductora, se consulta la tabla 6 de capacidades de vapor saturado para diferentes tamaños nominales de válvulas para vapor de la serie 25 P, marca Spirax Sarco.

En la tabla 6 de capacidades para vapor, en la columna correspondiente a la presión de entrada, se busca la presión de 7 kg/cm², y en la columna de la presión de salida correspondiente a presiones entre 0 y 3.4 kg/cm², donde se encuentra la presión deseada de 1.75 kg/cm², el tamaño nominal de la válvula que da la capacidad de 450 kg/hr. es la de 3/4", que tiene una capacidad real de 508 kg/hr., satisfaciendo nuestra demanda de vapor con un gasto de 450 kg/hr., Por lo tanto la válvula seleccionada es la de 3/4".

Tabla 6. Capacidades para vapor saturado (kg/hr). Serie 25 P.

PRESION ENTRADA Kg/cm ²	PRESION SALIDA Kg/cm ²	MEDIDA NOMINAL									
		1/2" S	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
1,1	0,7	28	68	79	130	173	245	431	680	907	1406
	0,35	40	98	114	184	243	354	619	991	1311	2030
	0,21	46	111	131	211	281	400	703	1120	1470	2300
1,4	0,8	36	88	101	168	223	319	565	888	1175	1830
	0,6	46	112	132	214	284	406	709	1130	1500	2340
	0,35	53	129	152	246	328	469	819	1320	1720	2700
1,8	1,1	43	105	125	198	263	379	667	1050	1393	2170
	0,7	57	137	164	261	352	499	887	1411	1861	2895
	0,5	62	150	177	282	374	535	947	1499	1978	3080
2,1	1,4	46	112	132	214	284	406	714	1143	1510	2350
	1,1	65	159	188	303	404	578	1009	1640	2130	3110
	0,8	68	165	184	313	419	597	1043	1670	2210	3440
2,8	2,1	52	127	150	243	323	461	806	1290	1700	2650
	1,6	73	179	211	355	458	651	1143	1828	2418	3760
	0,9	81	202	238	395	513	711	1281	2080	2710	4270
3,5	2,8	56	137	161	261	349	499	873	1397	1846	2870
	2,1	75	181	216	441	572	829	1445	2311	3055	4750
	0,9	100	249	295	476	635	937	1588	2540	3357	5270
4,2	3,7	83	201	239	396	515	735	1286	2050	2695	4230
	2,5	105	257	304	480	653	914	1635	2617	3456	5370
	0,9	114	278	328	531	708	1010	1769	2840	3740	5850
5,3	4,7	71	177	238	480	615	875	1586	2340	3110	4700
	3,5	122	298	357	567	758	1080	1891	3023	3992	6200
	0,9	138	336	400	645	858	1225	2145	3400	4531	7040
6,0	4,9	85	207	245	395	526	753	1318	2109	2785	4330
	3,5	144	352	415	671	896	1279	2238	3581	4733	7360
	0,9	151	368	435	704	937	1339	2343	3750	4990	7710
7,0	5,6	102	265	313	506	674	962	1683	2692	3558	5530
	5,2	169	414	492	789	1055	1506	2635	4216	5572	8660
	0,9	177	411	508	826	1093	1565	2740	4370	5807	8900
8,8	7,0	130	317	374	606	807	1152	2016	3225	4261	6520
	5,6	201	490	581	917	1247	1778	3112	4978	6580	10200
	0,9	216	527	620	998	1333	1905	3338	5374	7049	10950
10,6	9,8	141	349	413	667	889	1270	2223	3556	4679	7300
	7,0	234	570	672	1089	1451	2068	3620	5800	7600	11900
	0,9	251	617	726	1179	1569	2245	3928	6273	8292	12880
12,3	10,6	144	352	415	671	896	1279	2238	3581	4733	7360
	8,8	256	626	739	1195	1594	2277	3985	6375	8523	13100
	0,9	289	706	815	1347	1796	2567	4491	7189	9503	14760
14,1	10,6	247	604	726	1166	1563	2195	3842	6146	8119	12620
	8,8	417	769	908	1470	1964	2790	4899	7800	10300	16000
	0,7	331	806	948	1538	2053	2926	5126	8160	10800	16800
15,8	12,3	259	634	746	1211	1615	2394	4032	6452	8528	13250
	10,6	447	835	985	1597	2130	3039	5307	8500	11200	17500
	0,8	364	899	1061	1661	2206	3066	5715	9144	12000	18780
17,6	14,0	271	663	785	1266	1687	2413	4218	6759	8927	13890
	10,6	395	962	1134	1837	2449	3493	6124	9750	12900	20100
	0,9	408	994	1175	1896	2531	3611	6328	10200	13400	20750

TESTES CON
FALLA DE ORDEN

VIII. SITUACION REAL DE EQUIPOS DEL LEM ALIMENTOS.

De acuerdo al recorrido por las instalaciones de L.E.M., Tenemos a bien hacer las siguientes observaciones, para el uso eficiente del vapor en el L.E.M. Alimentos.

1.- Se recomienda la instalacion de un eliminador de aire en el cabezal de distribución de vapor, el aire y los gases no condensables causan problemas en las instalaciones de vapor. Por un lado, la presencia de estos fluidos aumenta la duración de la puesta en marcha de la instalación. Por otro lado si el aire se mezcla con el vapor, disminuye su temperatura y retarda el proceso.

El bolsillo colector de los condensados, debe ser del mismo diámetro del cabezal de distribución y debe tener una pequeña pendiente en dirección al bolsillo colector de condensados, la longitud recomendada es de 2 a 3 veces el diámetro del mismo.

2.- Se recomienda la instalación de bolsillos colectores de condensado, en puntos claves, tales como cambios de dirección de tuberías, elevaciones, juntas de expansión, omegas, y en tramos horizontales de tuberías que no excedan de 30 a 40 metros de longitud, entre un bolsillo y otro, en nuestro caso se recomienda la instalación del bolsillo colector, antes de la manguera flexible que se encuentra al pasar de la nave de Ing. Química a la nave de Ing. en Alimentos, ver (fig. 27)

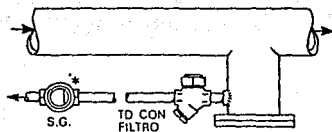


Figura 27. Bolsillo colector de condensados (ref.12).

3.- La línea de distribución de vapor, debe de tener una pendiente en dirección al flujo, para ayudar a que los condensados lleguen por gravedad a los bolsillos colectores, se recomienda una pendiente del 1 a 2%, por cada 100 metros de tubería.

4.- Todas las tomas de vapor de la línea principal, deben hacerse por la parte superior, para evitar que lleguen los condensados a los equipos, ya que si se toma vapor por la parte inferior, se tendrá un vapor muy humedo, ya que los condensados viajan por la parte inferior de la tubería. En nuestro recorrido, se encontro que todas las tomas de vapor se hacen por la parte inferior de la tubería con excepción de la toma de vapor al Evaporador de bola y al Evaporador Centrifugo.

Se recomienda colocar un separador de humedad antes del equipo de proceso.(fig. 28).

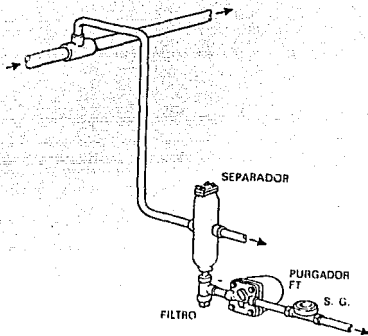


Figura 28. Toma de vapor por la parte superior, con separador de humedad. (ref.18).

Esta figura muestra una instalación de un separador de humedad, drenado con trampa tipo flotador y termostática, puede utilizarse también trampa tipo termodinámica en el separador de humedad.

Los equipos de procesos, tales como Evaporadores, Secadores, Autoclaves, deben de llevar trampas tipo flotador y termostática, ya que estas trampas descargan el condensado tan pronto como se forma, permitiendo que el espacio que está destinado para el vapor, esté libre de condensados haciendo muy eficiente a los equipos, ya que están aprovechando el calor latente del vapor, y si utilizáramos trampas tipo termodinámicas o de cubeta invertida, estas son de descarga intermitente, lo que ocasiona que el espacio destinado para el vapor, este parcialmente ocupado con condensado mientras la trampa no lo descargue, lo que provoca que solamente se este aprovechando el calor sensible, que tiene mucho menos poder calórico que el calor latente.

En el L.E.M. de Alimentos el único equipo de proceso que cuenta con trampa a flotador es el Evaporador Centrifugo, los demas equipos de proceso tienen trampas de cubeta invertida modelo B1X de la marca Spirax-Sarco, y termodinámicas..

8.1 Instalación correcta de los equipos.

La Estación reductora debe de cumplir con todas las características de la que se muestra en la fig. 25, para asegurar el buen funcionamiento de los equipos y que se suministre vapor de buena calidad.

La suciedad y humedad del vapor, así como la deficiente instalación son las causas de la mayoría de los problemas en las válvulas reductoras. La fig. 25 ilustra el mejor sistema de instalación de una válvula reductora de presión para conseguir un buen funcionamiento y control. Es aplicable a todo tipo de reductoras, tanto piloteadas como de acción directa.

Las válvulas de interrupción y by-pass permiten realizar el mantenimiento de la reductora sin necesidad de interrumpir el suministro de vapor.

El separador de humedad elimina las partículas de agua, mejorando la calidad del vapor y el control. (fig.28)., También nos disminuirá el desgaste de la válvula por erosión.

El filtro protege la válvula de la suciedad.

El manómetro aguas abajo es necesario para ajustar la reductora. El otro manómetro es útil pero no esencial.

La tubería de toma de presión a controlar (baja presión) debe tener pendiente en el sentido de circulación del vapor y conectarse a la tubería principal después de 1 m sin obstrucciones a ambos lados.

La válvula de seguridad normalmente se exige por parte de organismos oficiales como medida de seguridad.

La tubería, antes y después de la reductora, debe estar correctamente dimensionada.

Autoclaves con inyección directa de vapor. (AUTOCLAVE POLINOX).

La trampa de mejor selección es la de flotador y termostática, con eliminador de aire para eliminar grandes caudales de condensado a baja presión. En el autoclave, la entrada de vapor es por la parte inferior, por lo tanto debemos colocar eliminadores termostáticos de aire en la parte superior, (fig. 29.). Ahora bien, si la entrada de vapor esta ubicada en la parte superior, los eliminadores de aire deberán situarse en la parte inferior del equipo.

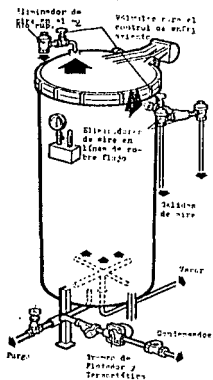


Figura 29. Instalación correcta del Autoclave Polinox.

Evaporador Polinox.

Los evaporadores varían mucho en diseño y características según sea el proceso al que se aplican, pero esencialmente incluyen siempre algún tipo de intercambiador de calor, en nuestro caso tenemos una chaqueta de vapor, por lo que es importante que durante la puesta en marcha del equipo cuando el caudal de condensados es mayor que en régimen, debemos poner una trampa que se adapte a amplias variaciones de caudal, así como eliminar rápidamente el aire. Usaremos por lo tanto trampas de flotador y termostáticas con eliminador de aire incorporado, instalado lo mas cerca del punto de drenaje. (fig. 30).

En algunos evaporadores es conveniente instalar algún

eliminador de aire adicional para mejorar el rendimiento.

En cuanto al regulador Hersol, que tiene instalado, debe cumplir con todos los puntos de la instalación de reguladores antes mencionado.

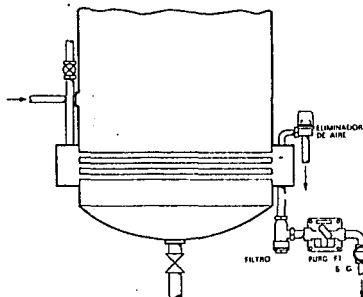


Figura 30. Instalación correcta del Evaporador Polinox.

Evaporador centrífugo. Alfa-Laval.

Este equipo, debe cumplir con las condiciones de instalación de la reguladora, donde se da con detalle el diagrama de instalación de la reguladora de vapor. (cap.7.2).

En cuanto a la trampa para vapor se encontró que tiene una de flotador y termostática, siendo esta la selección mas adecuada.

Secador de charolas (Polinox).

Se encontró que este equipo tiene el mismo problema que el

anterior en cuanto a la instalacion de la válvula reguladora.

En cuanto a la trampa para vapor, tiene una trampa de cubeta invertida, siendo esta una mala selección para el equipo en cuestión. La trampa recomendada en este equipo es la de flotador y termostática, ya que la eficiencia del secado depende de que se consiga una elevada temperatura superficial. Debemos por tanto eliminar rápidamente el condensado. (fig. 31).

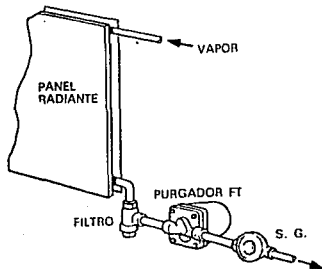


Figura 31. Instalación correcta del Secador de Charolas.

8.2 Recomendaciones finales.

De acuerdo a la situación real de las instalaciones del L.E.M. Alimentos, se tiene a bien hacer las siguientes recomendaciones para el uso eficiente del vapor en el laboratorio, y en general en

cualquier instalación de equipo que utilice vapor.

Una de las causas más frecuentes de bajos rendimientos en instalaciones de vapor son:

VAPOR DE MALA CALIDAD. El vapor debe ser seco, sin aire y a la presión adecuada. El vapor húmedo puede ser ocasionado por una excesiva carga de la caldera, tuberías mal aisladas, mal tendidas o mal purgadas.

Usar separadores de humedad y correctos puntos de purga en las líneas.

Eliminar el aire al final de las líneas.

TIPO DE TRAMPA INADECUADO. Debe seleccionarse la trampa más adecuada para cada instalación, teniendo en cuenta la tabla de selección y un buen dimensionamiento de la misma, para que el equipo trabaje eficientemente.

TRAMPAS MAL INSTALADAS. Hay que asegurarse que la trampa esté correctamente instalada, de acuerdo con las indicaciones del fabricante y la placa de datos de ésta.

En el caso de trampas mecánicas esto es importantísimo, ya que estas trampas siempre se instalan en posición horizontal.

Las trampas para vapor, deben instalarse lo más cerca al punto de purga y por debajo de éste, en caso contrario utilizar un sifón

y tubería de elevación. (fig. 13).

Se debe purgar individualmente cada equipo, esto es que no se deben colocar a una sola trampa, dos equipos de proceso. (fig. 21).

SUCIEDAD Y GOLPE DE ARIETE. Cualquiera de estas circunstancias averiarán la trampas para vapor. Instalar siempre filtro antes de las trampas, si no lo llevan incorporado.

Si es posible, evitar que se produzcan los golpes de ariete, en caso contrario, utilizar trampas robustas que lo soporten, (termodinámicas).

AIRE EN LOS ESPACIOS PARA VAPOR. Esta es una de las principales causas del mal rendimiento. Si las trampas para vapor descargan bien el aire, a veces es suficiente, pero en muchas ocasiones, dependiendo del diseño del espacio-vapor es necesario colocar eliminadores de aire adicionales.

EXCESIVA CONTRAPRESION. La presión a la entrada de la trampa debe ser siempre superior a la presión de descarga o contrapresión, de lo contrario se inundará el espacio-vapor. La contrapresión reduce la capacidad de las trampas y dificulta la eliminación del aire. Un buen sistema para elevar el condensado y lograr que llegue al tanque de los condensados, es la bomba para condensados Sarco.

El excesivo revaporizado puede presurizar la línea de retorno de condensados, el revaporizado debe recuperarse utilizando los tanques flash.

Los condensados, por ninguna causa deben de ser arrojados a la coladera, ya que estos cuestan dinero, y estan listos para volverse a utilizar en la caldera, estos estan suavizados y contienen temperatura, lo que ocasionara grandes ahorros de combustible y agua de reposición a la caldera.

IX. CONCLUSIONES.

De acuerdo a la situación real de las instalaciones del L.E.M. Alimentos, Cpo.4. Referente a las líneas de distribución de vapor, trampas para vapor y retorno de condensados, concluimos lo siguiente:

1.- En la casa de máquinas, en los generadores de vapor, no hay eliminadores de aire, ni tampoco en el cabezal de distribución.

2.- El bolsillo colector de los condensados, del cabezal de distribución, no es del tamaño adecuado.(ver recomendación 1 cap.8).

3.- El Sistema de tratamiento de aguas no funciona, no se ha regenerado la resina, con lo que se ocasionan incrustaciones graves en los generadores de vapor, líneas de distribución y equipos de proceso.

4.- No existe bolsillo colector de condensados en las líneas de distribución. (ver recomendación 2 cap.8).

5.- La línea de distribución de vapor, no tiene pendiente.(recomendación 3 cap.8).

6.- Todas las tomas de vapor, estan por la parte inferior, lo cual están mal hechas, las tomas deben hacerse por la parte superior. (recomendación 4 cap.8).

7.- El vapor utilizado en el L.E.M. Alimentos es de mala calidad, es un vapor muy humedo, se deben instalar separadores de humedad. (recomendación 4 cap.8).

8.- Todas las válvulas reguladoras están mal instaladas, se debe de cumplir con los requisitos de instalacion de la pág. 103.

9.- La selección de las trampas en todos los equipos están mal, excepto la trampa del evaporador centrífugo Alfa-Laval, que tiene la trampa adecuada, hay que ver la tabla de selección. (pág. 97) y recomendaciones cap. 8..

10.- Todos los condensados de los equipos de proceso se estan tirando al drenaje, con lo que se tiene que utilizar agua de reposición a la caldera, lo que ocasiona que se desperdicie bastante combustible. (ver recomendaciones cap. 8).

X. BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Spirax Sarco.S.A.;(1985); "Curso avanzado de vapor".
Buenos Aires, Argentina.

- 2.- Castellan, G.W.;(1974); "Fisicoquímica".,2a. Ed., Fondo
Educativo Interamericano. S.A.,México., pp: 95-106.

- 3.- Moore, W.J.;(1986); "Fisicoquímica Básica".
1a. Ed., Prentice-Hall Hispanoamericana., México.,
pp: 99,100-104.

- 4.- Spirax Sarco,Inc.;(1987); "Design of fluid systems
hook-ups"., 8th. Ed. Allenton P.A. U.S.A., pp: 7-11,17-28.

- 5.- Spirax Sarco Mexicana, S.A. de C.V.;(1989); "Cursos
de vapor"., N.L. México.

6. Kennan, J. H.,Keyes, F.G.,Hill,P.H.,Moore, J.G.;(1969);
Steam tables "Thermodynamic properties of water,
Including, Vapor, Liquid and solid Phases"., 1th. Ed.
Wiley J. & Sons Inc. U.S.A., pp: 14-30.

- 7.- Yates, W.;(1975); "Better steam trapping cuts energy waste";
Hydrocarbon Processing: 54 (11): 267-269.

- 8.- Spirax Sarco (catálogo condensado);(1990);
Spirax Sarco Inc. U.S.A.
- 9.- Manrique, J. A. ;(1981); "Transferencia de calor"., 1a. Ed.
Harla, S.A. de C.V., pp: 133-145.
- 10.-Kern, D.Q. ;(1981); "Procesos de transferencia de calor".
15a. Ed., Continental, México., pp: 132-195..
- 11.-Atkins, P.W. ;(1991); "Fisicoquímica".,3a. Ed.
Addison Wesley Iberoamericana. U.S.A., pp: 46-48,56,57,60,
66-73.
- 12.-Spirax Sarco Ltd. ;(1991); "Steam in the oil and chemical
industries"., U.K., pp: 4-14,37-42.
- 13.-Spirax Sarco Ltd. ;(1972); "Steam for process".
England., pp: 2-23.
- 14.-Sarco S.A. ;(1985); "Velocidades de condensación"
Buenos Aires, Argentina., pp: 2-19..
- 15.-Spirax Sarco Ltd. ;(1978); "Air venting of large steam
spaces"., 1th. Ed., U.K., pp: 3-12.
- 16.- "Manual Selmec de Calderas".;(1992); 4a. Ed. Selmec Equipos
Industriales,S.A. de C.V.,México., pp: 65-94.

- 17.- "Catalogo General de Productos".;(1993); Spirax Sarco Mexicana. S.A. de C.V.,México.
- 18.- "Manual de Datos Técnicos".;(1990); 14a. Ed. Selmec,S.A. de C.V.,México., pp: 64-72.
- 19.- "Manual Sarco, Selección e Instalación de Purgadores". (1989); Spirax Sarco S.A., Buenos Aires, Argentina., pp: 1-12,18,20,21,41-43,63,64.
- 20.-"Guia de Trampas para vapor".;(1980); Spirax Sarco S.A. de C.V., México., pp: 3-15.