



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DESAEREACION DE AGUA

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

PRESENTAN:

J. ARTURO GONZALEZ T.
MARIO A. IRIGOYEN R.

MEXICO, D. F.

1980



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

JURADO

Presidente Prof. Roberto Andrade Cruz
Vocal Prof. Antonio Frías Mendoza
Secretario Prof. Caritino Moreno Padilla
1er. Suplente Prof. José Antonio Ortiz Ramírez
2o. Suplente Prof. Jaime Brimann Epelstein

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:
FACULTAD DE QUIMICA DE LA UNAM

Sustentantes:

José Arturo González Trápaga

Mario Antonio Irigoyen Rodríguez

Asesor: M. en C. Antonio Frías Mendoza

INDICE

I.- BASES O GENERALIDADES

Ley de Raoult	2
Ley de Henry	4
Solubilidad de los gases en los líquidos	8
Regla de las fases.	10
Transferencia de calor por contacto directo	13
Difusión	14
Desaereación de agua	14
Eliminación de oxígeno, nitrógeno y bióxido de carbono por ebullición.	20
Balance de materia y energía	26

II.- APLICACIONES

Plantas de generación de potencia	29
Industria alimenticia	31
Desgasificación de agua de mar	33

III.- OTROS METODOS DE DESAEREACION

Sulfito de sodio	34
Hidracina	38
Por medio de gas natural	41
Por fibras esponjosas	41

IV.- TIPOS DE DESAEREADORES Y METODOS DE DESAEREACION.

Clasificación y tipos de desaereadores	44
Desaereadores a presión elevada o atmosférica	44
Desaereador tipo charolas	45
Desaereador tipo rociador	53
Componentes de los desaereadores	71
Desaereadores alvacío	95
Requerimientos de una buena desgasificación	99
Desaereador de agua fría	101
Desaereador de agua sobrecalentada	106
Desaereador tipo mezcla	112
Desaereación de agua de reposición en plantas de calor y poder	129
Desaereador de agua de alimentación para estación de poder y calor	134
Desaereación de agua de alimentación para plantas de calentamiento	138
Desaereación de agua de repuesto en plantas de calentamiento	138
Desaereación en instalaciones para tratamiento químico	142
Instrumentación básica en desaereadores	145

V.- INSTALACION, OPERACION Y PROBLEMAS DE OPERACION

Operación para poner un equipo de charolas a tra- bajar	150
Prueba de campo	153
Problemas de arranque	153
Problemas de operación	155
Operación normal	157
Paro de operación	161
Mantenimiento	162
Problemas de operación en desaeradores conec- tados en paralelo	164

VI.- DISEÑO

Consideraciones de diseño para un desaerador de platos a presión	168
Para un desaerador empacado a vacío	171
Desaeradores conectados en paralelo	174
Diseño de los factores críticos en un desae- rador de charolas a presión	176
a.- Teoría	181
b.- Ejemplo resuelto	197
c.- Conclusiones	209

Balance de materia y energía en un desaereador rociador a presión	215
Diseño de un tanque de almacenamiento en un desaereador rociador	219
Tabla comparativa	221

VII.- CONCLUSIONES

VIII.- BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

La Ingeniería Química es una especialidad dinámica, es por esto que los ingenieros químicos deben dar cambios y aportaciones que logren tener siempre actualizada esta carrera.

Es patente en nuestros días el cambio tecnológico y de hecho los países con mejor tecnología son los que tienen los niveles de vida más altos. Es por estas razones por las que se desarrolló esta tesis ya que los equipos que realizan la desaeración de agua no son hoy por hoy los mejores diseños desde el punto de vista costo-eficiencia.

Con esto no queremos decir que con esta tesis podemos seleccionar o diseñar el mejor desaerador de agua, pero consideramos que es el primer paso para esto ya que proporciona la información para efectuar una selección o diseño preliminar de un desaerador de agua.

En términos generales el contenido de esta tesis se refiere a las leyes o fenómenos que interfieren en este proceso, cuáles son sus aplicaciones, que medios o equipos se usan, y por último como seleccionar o diseñar estos métodos o equipos.

La desaeración de agua desde el punto de vista de

fenómenos de transporte es muy complicada, queda mucho por hacer, tanto desde el punto de vista teórico como práctico; pensamos que la contribución de la tesis a la desaereación de agua tuvo dos aspectos importantes: reunir la mayor cantidad de información sobre que es y como se lleva a cabo ésta y resumir las consideraciones más importantes para seleccionar o diseñar un desaereador.

BASES O GENERALIDADES

LEY DE RAOULT Y LEY DE HENRY

La ley de Raoult nos dice:

En una solución formada por dos líquidos, la presión parcial de cada uno de ellos es menor que su presión de vapor en el equilibrio, a la misma temperatura.

La ley de Raoult solo se sigue para soluciones ideales o con comportamiento similar al ideal.

$$p_a = p_a^o x_a \quad \text{y} \quad p_b = p_b^o x_b \quad \text{_____} \quad (b-1)$$

$$P = p_a^o x_a + p_b^o x_b = p_a^o x_a + p_b^o (1 - x_a) \quad \text{_____} \quad (b-2)$$

En la cual p_a y p_b son las presiones parciales de los componentes A y B sobre la solución a una temperatura dada.

P_a^0 y P_b^0 son la presión de vapor en el equilibrio de los componentes puros a la misma temperatura.

x_a y x_b es la fracción mol en la solución.

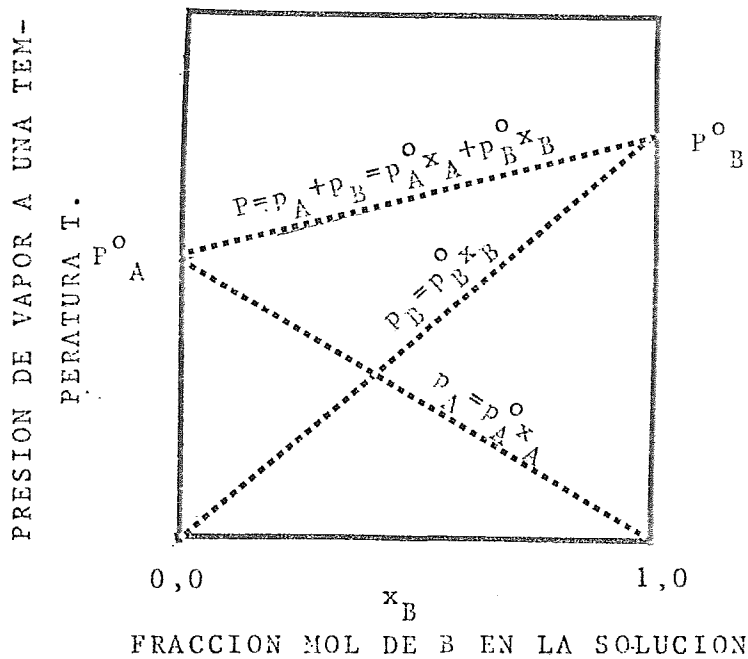


Fig. B-1

La figura B-1 es una representación gráfica de la Ley de Raoult para una solución ideal binaria.

Recordando que:

$$y_a = \frac{p_a}{p_t} \quad \text{Donde } y_a \text{ y } y_b \text{ son fracciones mol del}$$

$$y_b = \frac{p_b}{p_t} \quad \text{componente A y B respectivamente en}$$

$$\quad \quad \quad \text{la fase vapor y } p_t \text{ presión total del}$$

$$\quad \quad \quad \text{sistema.}$$

Podemos decir entonces que:

$$\frac{y_b}{y_a} = \frac{p_b}{p_a} = \frac{p_b^o x_b}{p_a^o x_a} \quad \text{_____ (b-3)}$$

Esta situación nos muestra el hecho de que, la fracción mol del componente B en el componente A, en la fase vapor, no es la misma relación que existe del componente B en A, en la fase líquida. La fase de vapor está rica en el componente más volátil, (en este caso el componente B) más que en la solución de la cual se vaporiza.

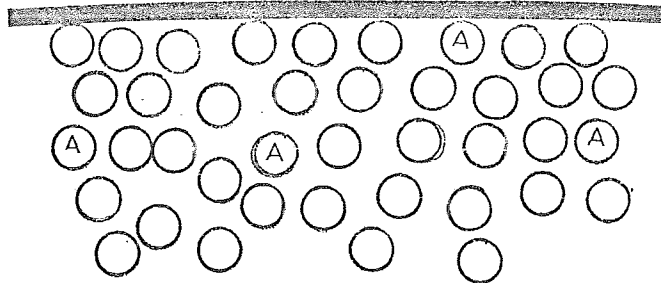
Si asumimos la validez de esta ley, podemos predecir la presión parcial de las soluciones, en todas las combinaciones posibles, conociendo únicamente las presiones de vapor en el equilibrio de todos los componentes.

LEY DE HENRY

Consideremos un sistema de moléculas de A en B teniendo una solución muy diluída de A en B, como se muestra en

la figura B-2.

Superficie del líquido



Representación esquemática de una solución diluida de A en B. círculos en blanco representan moléculas de B.

Fig. B-2

Cada molécula de A es rodeada completamente por moléculas de B. La presión parcial de A será una pequeña parte de la presión de vapor total. Esta presión parcial de A será más grande o más pequeña que el de una solución ideal, dependiendo de las magnitudes de las fuerzas de atracción intermoleculares. Si la concentración de A es doblada, la solución continua estando diluida, ya que ca-

da molécula de A aún continúa rodeada de moléculas de B como doblamos la cantidad de moléculas de A podemos asumir que la presión parcial de A doblara su valor original. Representando por una ecuación esto quedaría así:

$$p_a = \text{constante } x_a \quad \text{----- (b-4)}$$

Si la solución es ideal, la constante de la ecuación (b-4) es p_a^0 , resultado de la ecuación (b-1) que es la Ley de Raoult. En soluciones no ideales la constante toma otro valor el cual designaremos como k_h . Donde nos queda que:

$$p_a = k_h x_a \quad \text{----- (b-5)}$$

La ecuación (b-5) es conocida como Ley de Henry y k_h es la constante de Henry. Si k_h es más grande que p_a^0 la línea de presión de vapor de la sustancia A estará arriba de la línea que sigue el comportamiento ideal y viceversa como se muestra en la Fig. B-3.

Volviendo a la fig. B-2 podemos decir que cada molécula de B, es rodeada prácticamente por otras moléculas de B, solo de vez en cuando este ambiente es alterado por la presencia de una molécula del componente A, de hecho es practicamente el mismo ambiente que obedece a la Ley de Raoult.

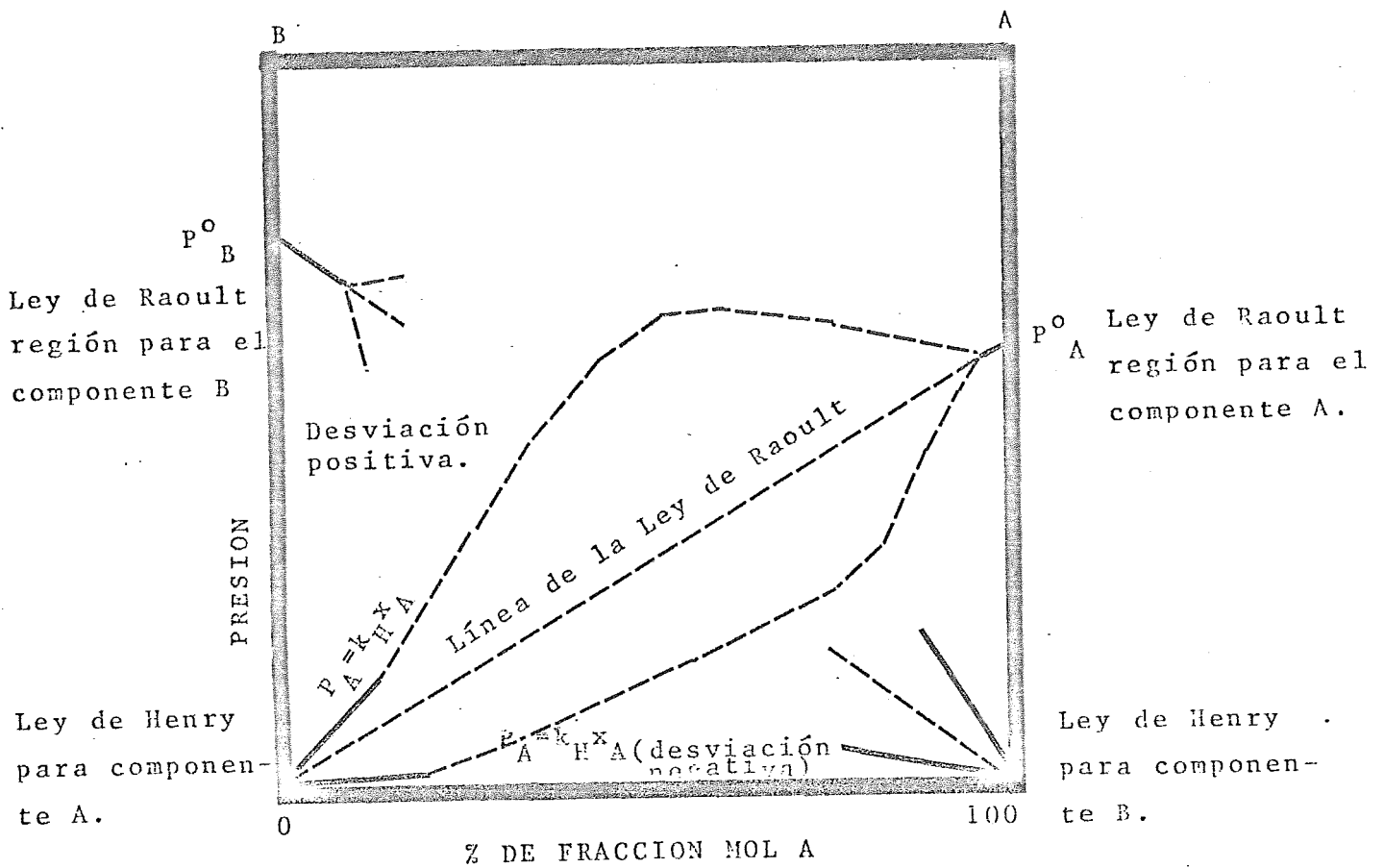


Fig. B-3

Entonces se puede concluir que para cada componente en la solución existe una región a baja concentración donde la Ley de Henry es válida y otra donde la concentración es elevada que sigue un comportamiento según la Ley de Raoult todo suponiendo un comportamiento ideal de la solución.

De distinta manera de p_a^0 , la constante de Henry es diferente para cada solvente usado con la substancia A y debe ser determinada aisladamente para cada sistema por experimentación, afortunadamente la línea de Henry pasa por el origen y un solo punto experimental fija toda la línea.

La Ley de Henry es un medio conveniente para obtener desviaciones de la idealidad en una solución diluída.

SOLUBILIDAD DE LOS GASES EN LOS LIQUIDOS.

La solubilidad de los gases se expresa en diversas formas, una en función del coeficiente de la Ley de Henry; otra, del coeficiente de absorción de Bunsen, que es el volumen de gas, a 0°C . y 1 atm., que a la temperatura del experimento se disuelve en un volumen unitario de disolvente cuando la presión parcial de gas es de 1 atm. Otros coeficientes de absorción expresan la cantidad de disolvente en gramos.

Para su uso en la ingeniería química es más conveniente representar gráficamente los datos sobre la solubilidad de gases en una gráfica de concentración y presión parcial, o de la razón mol de gas disuelto al disolvente en la fase líquida. Si se cumple la Ley de Henry,

esta gráfica es una recta por el origen. En general, la solubilidad de un gas disminuye cuando aumenta la temperatura.

En general, los gases que se disocian o se combinan con el disolvente, por ejemplo, el amoníaco, el anhídrido sulfuroso y el ácido clorhídrico, en agua son más solubles y muestran desviaciones importantes con respecto a la Ley de Henry. Los llamados gases permanentes que existen en la misma forma molecular en solución en agua, por ejemplo, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, metano, obedecen a la Ley de Henry. Esos factores, por supuesto, varían con el disolvente y un gas puede separarse de la ley en un disolvente y comportarse normalmente en otro, y su conformidad con la ley dependerá de la temperatura.

Frolich y sus colaboradores (Ind. Eng.Chem., 23, 548 (1931)); véase también Godman y Krase, Ind Eng. Chem., 23,401 (1931) han llegado a la conclusión, basándose en una investigación experimental, que si un gas no se combina químicamente con el disolvente, puede suponerse que se cumple la Ley de Henry para calcular las solubilidades en un amplio intervalo de presiones para los fines de la ingeniería. En el caso de los gases permanentes (H_2, N_2, CH_4 , etc.) en diversos disolventes co-

mo agua, alcohol etílico, propano, benceno y gasóleo (gas-oil), las solubilidades a presiones elevadas pueden calcularse aproximadamente partiendo de la ley de Henry y de la solubilidad a la presión atmosférica determinada experimentalmente. La aplicación de la ley a los gases del tipo vapor, como el propano, el etileno y el sulfhídrico (sulfuro de hidrógeno) sólo da resultados satisfactorios e intervalos de presión hasta la mitad o los dos tercios del punto de saturación a cualquier temperatura.

REGLA DE LAS FASES

El principio conocido con el nombre de regla de las fases, se aplica por lo general, a equilibrios entre fases y proporciona un método útil para interpretar y clasificar esos equilibrios.

La regla de las fases se expresa por medio de la ecuación:

$$F+L= C + 2 \quad (b-6)$$

En la que F es el número de fases presentes en equilibrio, C el número de componentes del sistema, y L el número de grados de libertad. Es preciso que definamos con exactitud esos términos.

Una fase es cualquier porción homogénea de un siste-

ma, limitada por una superficie y que pueda separarse mecánicamente de las otras porciones (fases) del sistema.

Un gas o una mezcla gaseosa es una fase. Un líquido puro o una solución forman una fase; un revuelto de dos líquidos inmiscibles constituye dos fases. Cada sólido puro es una fase aislada; sin embargo, si se forma entre dos sólidos una solución sólida, ésta constituye una sola fase. El número de fases sólidas que pueden coexistir es ilimitado.

El número mínimo de constituyentes independientes variables necesario para expresar la composición de cada fase de un sistema en equilibrio es el número de componentes del sistema. En la práctica suele determinarse el número de componentes partiendo de la información relativa a los cambios o las reacciones que ocurren en el sistema.

Así en el sistema $\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{CO}_2$, se ve que la composición de una fase cualquiera se determinará especificando las cantidades totales relativas de dos cualquiera de los dos constituyentes pero no de un número menor.

Este sistema tiene, pues, dos componentes. Si el intervalo de temperatura en cuestión es tal que en él no ocurre ninguna descomposición de CaCO_3 , son necesarios tres componentes para definir este sistema. El número de

componentes se determina pues, en parte, por los equilibrios establecidos así como por las sustancias presentes.

Los grados de Libertad se definen por el número de cantidades variables independientes, tales como temperatura, presión y concentración, que puede modificarse a voluntad sin producir ninguna alteración en el número de fases, o bien, por el número de variables que tienen que fijarse arbitrariamente para definir por completo el sistema.

Cuando hay que hacer restricciones adicionales al aplicar la regla de las fases, el efecto de cada una de esas restricciones es reducir en un número de grados de libertad obtenidos por medio de la ecuación b-6.

La regla de las fases especifica solamente el número de fases en equilibrio y no determina su naturaleza, su composición exacta ni su cantidad total. Además sólo es aplicable a un sistema en equilibrio estable y no dice nada en lo que respecta a la rapidez con que se alcanza ese equilibrio.

Si un sistema tiene un solo componente, la regla de las fases muestra que para una fase bivariante, para dos fases univariante, y para tres fases invariante. Las variables independientes son la temperatura y la presión.

TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONTACTO DIRECTO.

Una de las principales razones para emplear tubos en los intercambiadores de calor es prevenir la contaminación de los fluidos. Cuando uno de los fluidos es un gas y el otro es líquido, la superficie impermeable es a menudo innecesaria; puesto que puede no haber problema de contaminación mutua, el gas y el líquido, se separan fácilmente después de mezclarse e intercambiar calor. Las resistencias por obstrucción se eliminan automáticamente con un rendimiento térmico uniforme. La mayor intimidad de contacto directo, generalmente, permite lograr coeficientes de transferencia de calor mayores que en los equipos tubulares usuales.

Una de las aplicaciones más conocidas de los aparatos que operan por contacto directo entre un gas y un líquido son los desaeradores. Tienen la apariencia externa de botes de acero con estructura interna que puede variar según las necesidades del proceso.

Los desaeradores se emplean para quitar oxígeno y CO_2 presentes en el agua de alimentación en sistemas generadores de potencia así como otros usos industriales; la función de su relleno interior es aumentar la superficie de contacto entre el agua y el vapor. Los prospectos

para el uso de equipo de contacto directo en otros servicios que requieren tazas rápidas de transferencia de calor, es posiblemente mayor que para cualquier otro tipo de aparato de transferencia térmica.

DIFUSION

Cuando se promueve un movimiento de material entre dos fases mediante una diferencia de presión de vapor (o concentración), esto es difusión y se caracteriza por el hecho de que el material se transfiere de una fase a la otra o entre dos fases. Esta conducta se llama transferencia de masa o material para diferenciarla de los conceptos ordinarios de transferencia de calor. Mientras que las definiciones de la regla de la fase se aplican a los sistemas en equilibrio, si una fase no es homogénea, puede ocurrir una autodifusión cuando la fase tienda a homogeneizarse.

DESAERACION DE AGUA

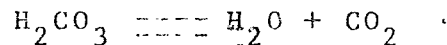
El tipo más común de agua corrosiva es la que tiene disuelto aire. Ya que es el contenido de oxígeno y CO_2 disuelto la causa de la corrosión, ésta se conoce como Corrosión por aire disuelto. En atmósfera seca, el hie-

rro no se oxida. Si un espécimen de hierro se coloca dentro de agua perfectamente desaerada con un pH no demasiado bajo, no se aprecia una corrosión notable. Pero si la muestra se sumerge en agua que contenga oxígeno disuelto, la corrosión se hace rápidamente evidente. La velocidad de la corrosión por el aire disuelto se aumenta bajando el pH del agua y se disminuye elevándolo. Consecuentemente, cuando están presentes aire y gran cantidad de bióxido de carbono libre en aguas de baja alcalinidad, la corrosión toma lugar más rápidamente que en aguas de menor contenido de bióxido de carbono. Si hay suficiente CO_2 libre para bajar el pH, el agua puede ser corrosiva cuando esté libre el oxígeno disuelto. De una manera general, se puede decir que el oxígeno es 10 veces más corrosivo que el CO_2 .

La velocidad de la corrosión por oxígeno disuelto en los calentadores en agua aumenta rápidamente con los aumentos en la temperatura, hasta un máximo de 76.7°C a 1 atm. de presión. Inversamente, bajando la temperatura, la velocidad de corrosión baja prontamente. En general, podemos suponer que esta reacción, de acuerdo con el postulado cinético se dobla la velocidad por cada 10°C de aumento en la temperatura. Generalmente se puede esperar que a altas

temperaturas la corrosión por el oxígeno sea 200 veces mayor que a 0°C. Hay sin embargo, otros factores que trabajan en la dirección opuesta, uno de los cuales es, que la solubilidad de aire en el agua disminuye con la temperatura.

Cuando el bióxido de carbono se disuelve en agua forma hasta cierto punto un ácido débil disociado: Acido carbónico

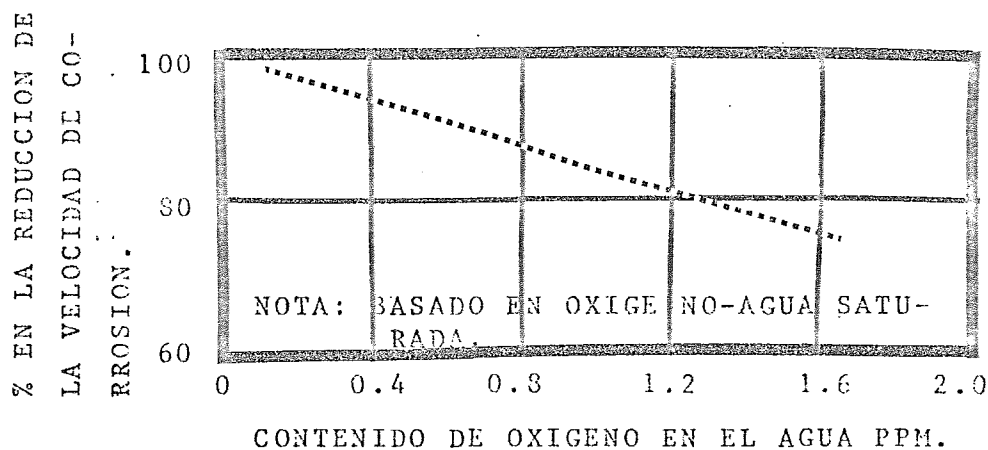


Los suministros de agua natural (los que contienen bióxido de carbono libre, pero no oxígeno disuelto), particularmente cuando pasan a través de tubería con tubérculos, disuelven el hierro como bicarbonato ferroso (Fe_2CO_3). En tales casos el óxido ferroso férrico ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) hidratado de los tubérculos, reaccionan con el hierro de la tubería, siendo reducido primero al estado ferroso uniéndose así con el bióxido de carbono libre para formar bicarbonato ferroso.

De acuerdo con la ley de Henry la solubilidad de un gas, es proporcional, a la presión absoluta. Esto es, si la presión aumenta, la cantidad de aire que puede ser mantenido en solución a una temperatura dada aumenta proporcionalmente, por lo tanto, el agua de un tanque neumático

o una aeradora presión, puede contener mucho más aire disuelto que el agua saturada con aire a la presión atmosférica.

La experiencia práctica (I.I. OLIKER.- Vacuum Deaeration of water - an effective method for preventing corrosion). Ha mostrado que el agua desaerada ayuda a conservar equipos (calderas, turbinas etc.) hasta 3 ó 4 veces más que si utilizaran agua no desaerada.



CONTENIDO DE OXIGENO EN EL AGUA PPM.

EFECTO DEL OXIGENO DISUELTO
EN LA VELOCIDAD DE CORROSION.

Fig. B-4

Al analizar aguas, el nitrógeno prácticamente nunca se determina, puesto que es inerte, relativamente no tiene importancia por lo que se refiere al tratamiento del agua, también es laborioso determinarlo. Las solubilidades de oxígeno y nitrógeno puros en el agua a 0°C y presión atmosférica

rica son de 48.89 ml/l para el oxígeno y 23.48 ml/l para el nitrógeno, por lo tanto la solubilidad del oxígeno es poco más de dos veces la del nitrógeno.

Consecuentemente cuando el aire se disuelve en el agua, las dos principales componentes existen en proporciones diferentes en la solución, que como se encuentran en la atmósfera.

AIRE, OXIGENO Y NITROGENO, SUS PESOS A 0°C Y 760 MM.

Aire

1 litro = 1.2929 gm
1 mililitro = 0.001293 gm

Oxígeno

1 litro = 1.4290 gm
1 mililitro = 0.001429 gm

Nitrógeno

1 litro = 1.2506 gm
1 mililitro = 0.001251 gm

Tabla B-1

FACTORES DE CONVERSION PARA OXIGENO Y NITROGENO

DISUELTOS

Multiplique ppm de O_2 por 0.698 para convertir a ml/l
Multiplique ml/l de O_2 por 1.433 para convertir a ppm

Multiplique ppm de N_2 por 0.8 para convertir a ml/l
Multiplique ml/l de N_2 por 1.25 para convertir a ppm

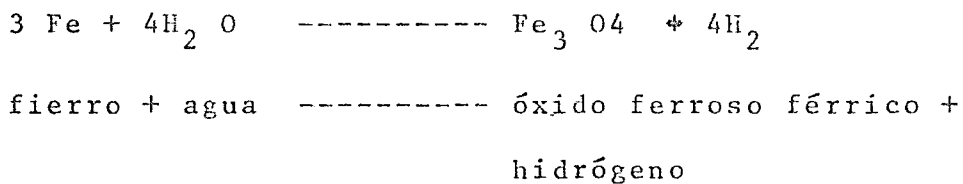
Tabla B-2

Por otra parte el oxígeno es un elemento extremadamente activo que se combina con un sin fin de otros materiales, una solución de oxígeno es muy corrosiva hacia aquellos metales (fierro, acero, fierro galvanizado y latón), que son ampliamente usados para hacer recipientes que conduzcan o almacenen el agua.

Para que sobrevenga la corrosión es necesario que esté presente el agua líquida. El vapor seco que contiene oxígeno no es corrosivo, pero los condensados formados de un sistema de esta naturaleza son muy corrosivos. En las

líneas de condensado, se encuentra también que el mayor ataque se localiza donde hay agua líquida estancada, con una inclinación adecuada de las líneas de condensados se reducen los efectos de la corrosión en este caso.

El oxígeno disuelto ataca las tuberías de fierro y acero en formación de tubérculos bajo cada uno de los cuales se encuentra una cavidad. Si un tubérculo se talla rápidamente en un tubo recién removido pueden verse desprendimientos de color verde de óxido ferroso. El cuerpo principal del tubérculo consiste de un material negro, que representa, ya sea un óxido ferroso-férrico hidratado o una mezcla muy íntima de hidróxidos ferrosos y férricos la parte externa del tubérculo muestra color típico amarillento o café-rojizo propio del óxido férrico hidratado.

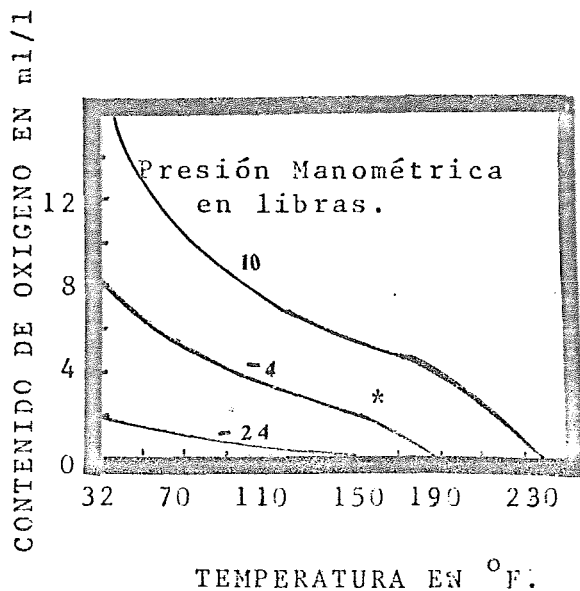


ELIMINACION DE OXIGENO, NITROGENO Y BIOXIDO DE
CARBONO POR EBULLICION

Ya que las solubilidades del oxígeno, nitrógeno y CO₂ son prácticamente cero en el punto de ebullición, el agua puede liberarse de ellos hirviéndola y desfogando los ga-

ses que escapen. Esto puede ser efectuado hirviendo el agua a cualquier presión. El agua fría hervirá en el vacío de manera que la desaereación de agua a temperatura ordinarias puede efectuarse por medio de vacío. Los factores importantes son (1) hervir el agua, (2) desfogue de los gases que se desprenden.

No se puede obtener una desaereación completa aumentando simplemente la temperatura al punto de ebullición, o con agua fría aumentando el vacío hasta que el agua empieza a hervir. Ya que la solubilidad de los gases depende también de la presión parcial a menor presión parcial más eficiente será su eliminación. Por lo que, si el agua se hierve en un espacio cerrado, entre más grande sea el volumen del vapor de agua en comparación con el volumen de los gases expulsados, más completa será su eliminación. Excepto para el desaereador al vacío en el cual no se emplea calentamiento, la desaeración es casi generalmente efectuada usando vapor de escape para calentar el agua y eliminar los gases.



* Vacío en pulgadas de Hg.

SOLUBILIDAD DEL OXIGENO
EN EL AGUA A VARIAS TEM-
PERATURAS Y PRESIONES.

TEMPERATURA		SOLUBILIDAD	SOLUBILIDAD
°C	°F	O ₂ (ppm)	CO ₂ (ppm)
100	212	0.0	0.0
80	176	7.8	140
60	140	12.8	580
50	122	14.9	760
40	104	17.2	970
10	50	31.4	2310
5	41	31.1	2770
0	32	37.8	3350

P= 1 atm.

Fig. B-5

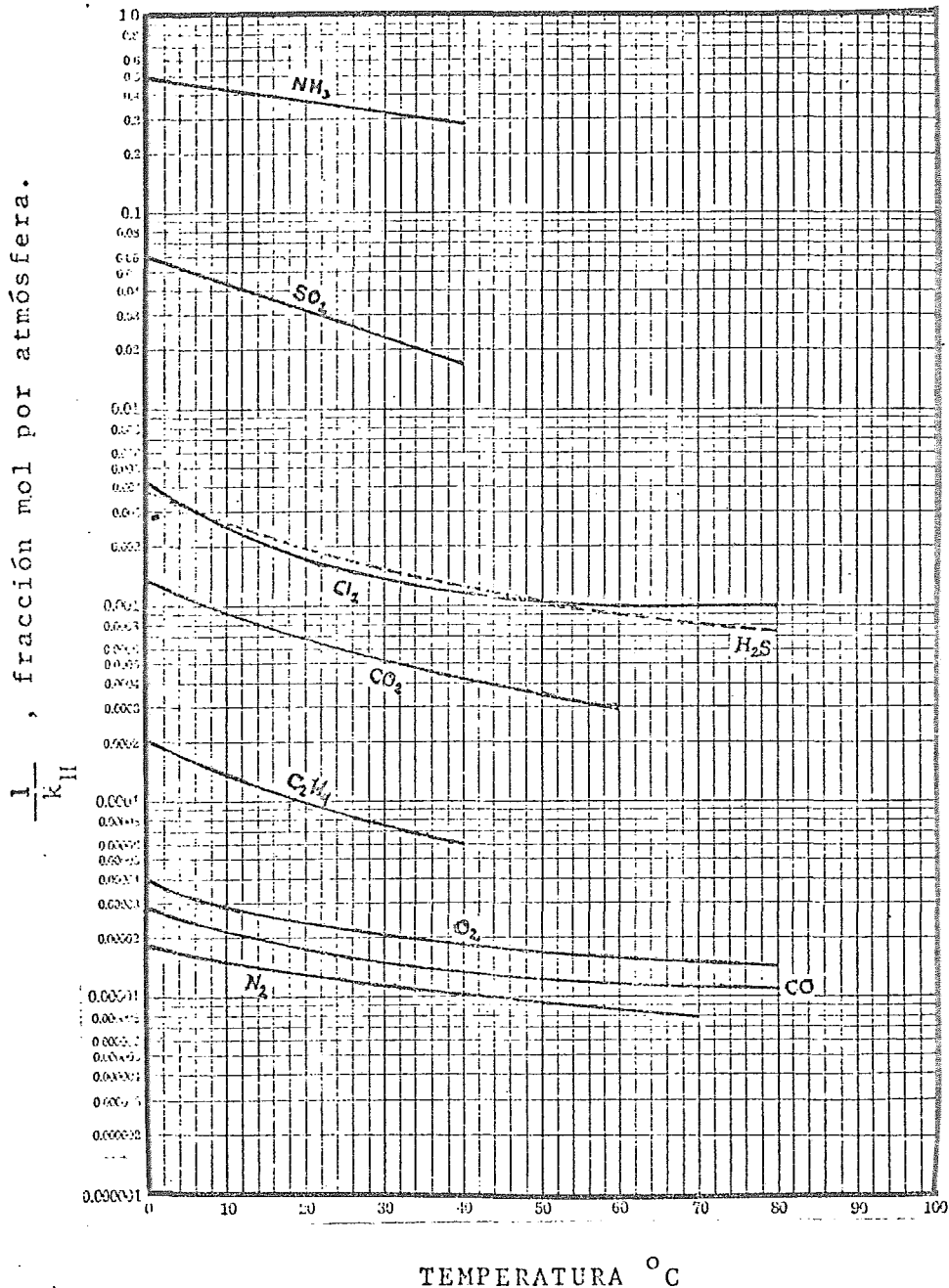
En la siguiente gráfica B-6, se puede apreciar la constante de Henry para distintos casos en que se aplica esta ley; así mismo puede observarse que el oxígeno es uno de los gases que tienen una constante de Henry bastante pequeña, por lo cual indica que en condiciones normales de presión y temperatura, el agua solamente admite una concentración muy pequeña de este gas disuelto en un seno.

La influencia de la presión en la solubilidad de los gases, dada por la ley de Henry es una consecuencia de la teoría cinética, ya que al aumentar la presión del gas, más moléculas chocarán contra el líquido y una mayor cantidad de gas podrá disolverse.

Teóricamente, la solubilidad del oxígeno, dióxido de carbono y nitrógeno, es cero a la temperatura de saturación del agua, por lo tanto, el agua puede ser liberada de estos gases corrosivos disueltos en ella por la ebullición y el venteo de los gases liberados.

La eficiencia de la desaereación depende de la forma en que se efectúe la transmisión de calor y de masa entre el vapor y el agua.

FIG. B-6



Constantes de la Ley de Henry en función de la temperatura para varios sistemas.

GAS---AGUA.

Los factores básicos que favorecen a la desaeración son:

a) El aumento de temperatura desde cualquier punto de vista favorece a la desaeración, ya que al aumentar la temperatura en el líquido, la solubilidad de los gases disueltos disminuye.

b) Conforme se aumente el tiempo de desaeración, se garantiza que la concentración de gases disueltos en el agua tenderá a cero. Aunque al llegar a cero es posible, económicamente no es conveniente, ya que consume una mayor cantidad de vapor la desaeración, elevándose a la vez, el tiempo de residencia. Una concentración de $0.005 \text{ cm}^3/\text{lt}$ de oxígeno en el efluente del desaerador es considerada satisfactoria, pues la corrosión por oxígeno y los costos por operación son mínimos.

c) La eficiencia en la operación de estos equipos depende en gran parte del mecanismo mediante el cual el volumen de vapor es puesto en contacto con el agua. De acuerdo a lo anterior, se ha llegado a determinar que el mecanismo por contacto directo es el óptimo para efectuar esta operación. Así mismo, la masa de vapor requerida estará en función de la forma de distribución seleccionada.

d) Incrementando la superficie del agua en contacto

con el vapor se obtiene una mejor desaereación; para lograr ésto, se recurre a válvulas ó charolas, las cuales dispersan el agua en una fina nube ó delgadas películas de líquido que proporcionan una mayor superficie de contacto.

e) Disminución de presión, ya que al hacerlo, disminuyen las solubilidades del oxígeno y del bióxido de carbono.

BALANCE DE MATERIA Y DE ENERGIA

La forma más general de estos balances se podría representar de la siguiente manera:

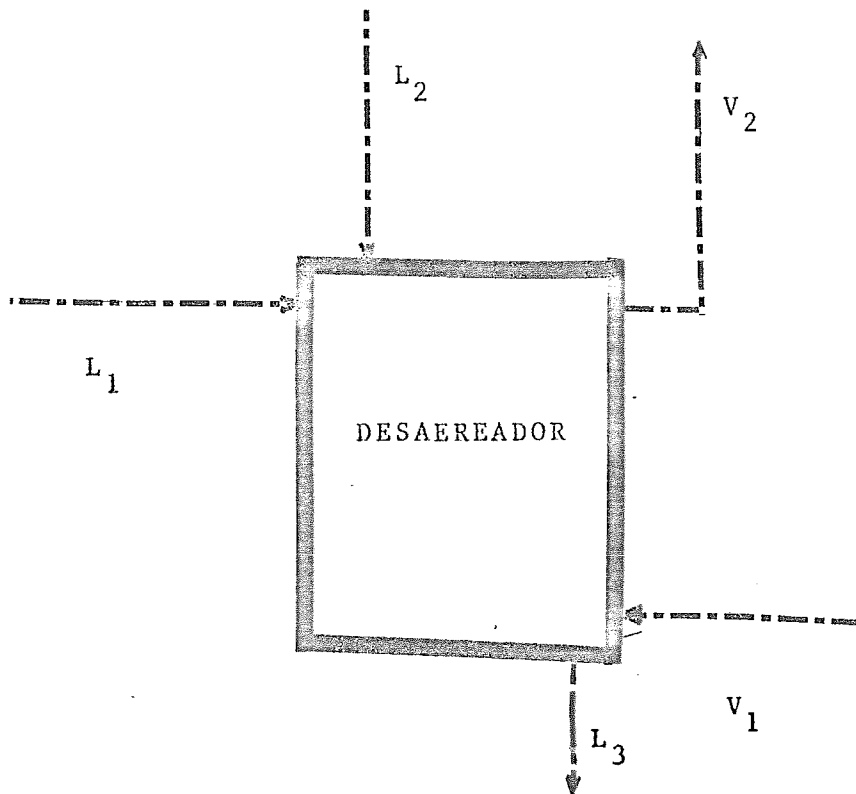


Fig. B-7

CONDENSADO+AGUA DE REPUESTO+VAPOR QUE ENTRA= EFLUENTE+
GASES NO CONDENSADOS.

$$L_1(\text{Kg/hr}) + L_2(\text{Kg/hr}) + V_1(\text{Kg/hr}) = L_3(\text{Kg/hr}) + V_2(\text{Kg/hr})$$

De acuerdo con un criterio práctico (Estudio para la evaluación y selección de desaeradores mediante condensación por contacto directo, tesis profesional José Fernando Ortega López IPN 1977 pag. 49) $V_2 = 0.03 V_1$; entonces la ecuación nos queda:

$$L_1 + L_2 + V_1 = L_3 + 0.03 V_1$$

Que si complementamos con el balance de energía nos quedaría una ecuación como la que sigue:

$$L_1 HL_1 + L_2 HL_2 + V_1 HV_1 = L_3 HL_3 + 0.03 V_1 HV_2$$

Donde:

HL_1 = Entalpía del condensado en calorías por hora.

HL_2 = Entalpía del agua de repuesto en calorías por hora.

HV_1 = Entalpía del vapor de entrada en calorías por hora.

HL_3 = Entalpía del efluente en calorías por hora.

HV_2 = Entalpía de los gases no condensados en calorías por hora.

Para diseño lo que nos interesa conocer es la cantidad de agua de repuesto (L_2) y la cantidad de vapor para llevar a cabo una buena desaeración (V_1), otro término que no conocemos es la Entalpía de los gases no condensables (HV_2), pero podemos hacer la siguiente consideración la entalpía de los gases no condensables es semejante a la entalpía de vapor que entra (HV_1), puesto que es mayor la cantidad de vapor en los incondensables que la de oxígeno y bióxido de carbono y el error en que la incurrimos no es muy significativo puesto que el término $0.03 V_1 HV_1$ no es muy grande comparado con los otros términos de la ecuación entonces nos queda un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas para tener el balance completo.

En caso de que no se quiera hacer esta simplificación el sistema se podría resolver por un método numérico (tesis Fernando Ortega IPN).

APLICACIONES DE LA DESAERACIÓN DE AGUA

La necesidad cada vez mayor de energía ha realizado

la importancia del vapor como un medio de transferencia de esta, así como de su óptima utilización.

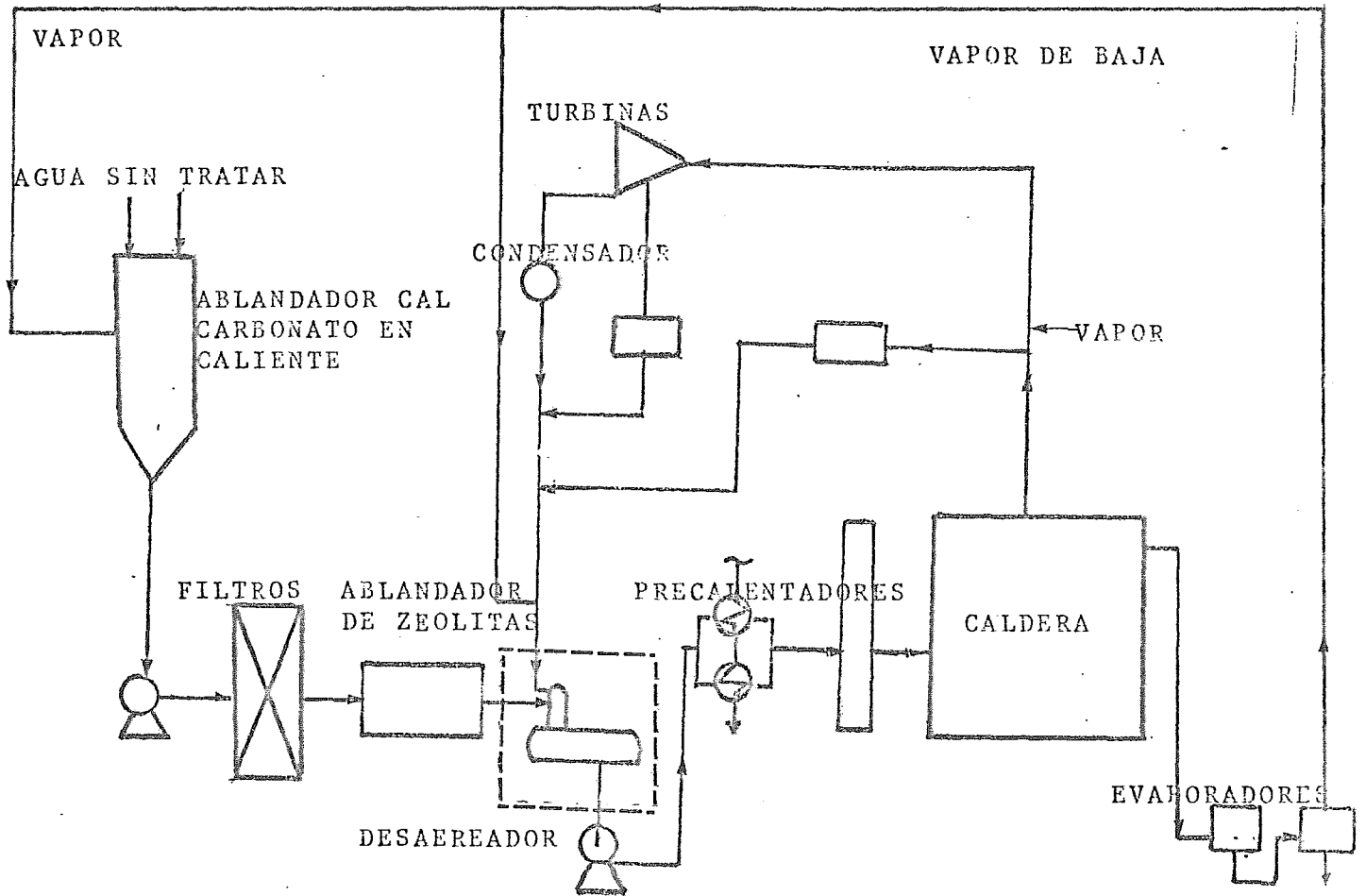
Los recientes incrementos en el precio del petróleo y la escasa disponibilidad de otros medios de generación de potencia ha motivado la optimización de los sistemas generadores de vapor hasta donde más sea posible.

Los desaeradores, son muy conocidos y ampliamente usados en la práctica para la eliminación de aire en el agua de alimentación a las plantas generadoras de potencia tanto de las que usan energía nuclear, como las convencionales. Con el incremento de capacidad y los parámetros de trabajo de estas plantas de poder, el problema de la corrosión por aire disuelto en el agua de alimentación es uno de los factores más importantes que se toman en cuenta para el diseño.

SISTEMA DE GENERACION DE POTENCIA

En plantas de gran capacidad la desaeración de agua llega a ser tan crítico que como ya se mencionó antes una buena desaeración puede ahorrar gastos muy fuertes en el costo de mantenimientos de los equipos. La desaeración en estos casos sirve para sus propósitos: 1. Incrementar la temperatura del agua de alimentación a la caldera,

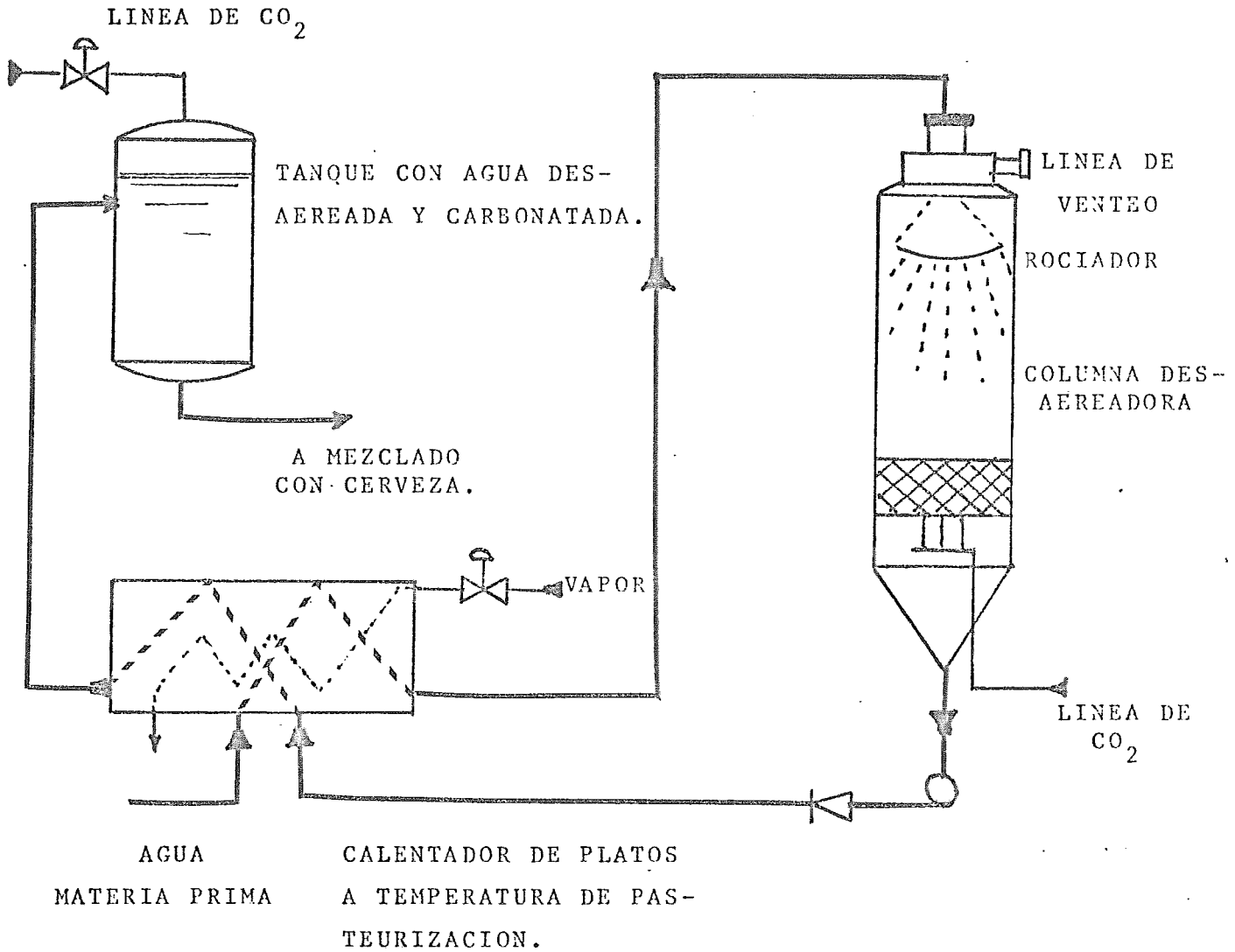
2. Eliminación de aire evitando la corrosión de la caldera.



SISTEMA DE GENERACION DE POTENCIA.

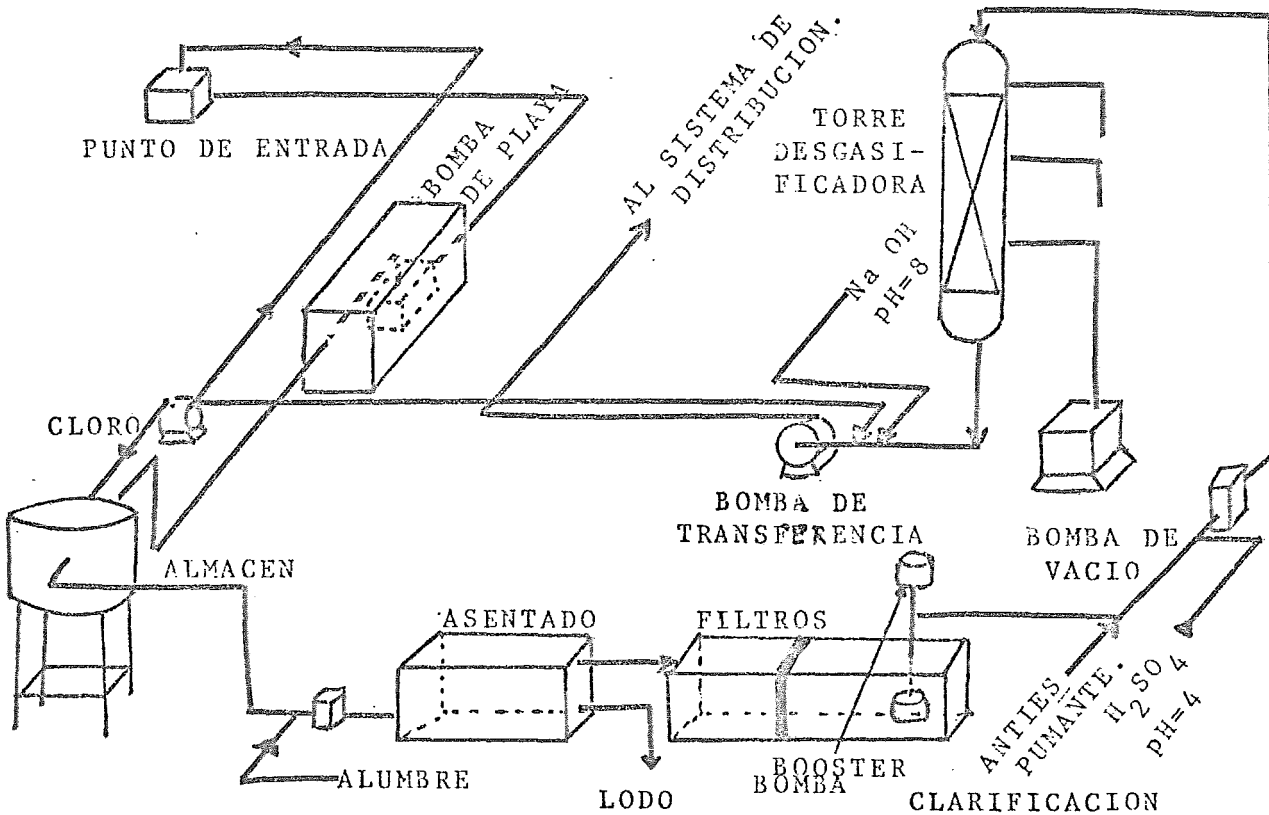
En suma las hace más eficientes. Regularmente los desaeradores usados con estos fines son a presión; en cambio

en aquellas situaciones donde lo único que se quiere es la desgasificación, como por ejemplo en Industria alimenticia (comida y bebida) se utilizan los desaeradores a vacío. En estos casos cabe mencionar la Industria de la cerveza ya que algunas industrias (Brewing Patensts Limited, a British Company 42, Portman Square, London W. 1, England. A & A. Ref. No. 87705). están utilizando columnas empacadas a vacío que utilizan como agente desoxigenante bióxido de carbono en lugar de vapor utilizado en las plantas generadoras de potencia u otro agente más común (gas natural).

ELIMINACION DE O_2 EN EL AGUA DE LA INDUSTRIA DE LA CERVEZA

Otra aplicación de estos equipos está en la desgaseificación de agua de mar que es utilizada en sistemas de inyección en la industria del petróleo, con el fin de evitar corrosión en las tuberías empleadas.

TRATAMIENTO DE AGUA DE MAR



Otra industria donde se utilizan los desaeradores es en la farmacéutica ya que ellos necesitan agua inerte debido a la pureza de sus productos.

OTROS METODOS DE DESAERACION

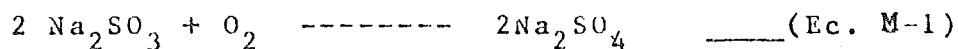
Además de los métodos anteriores de desaeración que se han mencionado existen métodos químicos como tratamientos adicionales para evitar la corrosión, estos tratamientos a veces requieren, de una manera simultánea medios mecánicos, parámetros de control operacionales y una selección adecuada de los materiales de construcción.

La adicción de un agente químico, que se combine con el oxígeno residual es una práctica muy acertada, es una seguridad de reducción de oxígeno en el caso de una falla en un desaerador. Los agentes químicos usados exclusivamente para este fin son: sulfito de sodio e hidracina, los cuales pueden ser catalizados para mejorar su reactividad.

SULFITO DE SODIO

Ha sido ampliamente usado como removedor de oxígeno para tratamiento de aguas de caldera, reacciona prontamente con el oxígeno.

Particularmente a pH y temperatura elevadas para formar sulfato de sodio como muestra en la siguiente reacción:



La estequiometría de esta reacción nos dice que se necesitan 7.88 partes de sulfito de sodio, para una parte de oxígeno disuelto.

Cuando se utiliza sulfito de sodio u otro agotador de oxígeno, es esencial asegurarse de que se lleva a cabo una completa desaereación química antes de que el agua alcanza el hervidor. Esto tiene particular importancia cuando se usa sulfito, porque el oxígeno permanente en el agua de alimentación cuando esta llegue a la caldera tiende a pasar a la fase vapor, mientras que el sulfito permanecerá en la fase líquida.

Es conveniente, alimentar el sulfito de sodio a la sección previa a la evaporación, en plantas donde esto no es posible se debe alimentar lo más lejos de la caldera para permitir una desaereación mejor.

La velocidad de reacción del sulfito de sodio con el oxígeno es función de la concentración de ambos reactivos, la temperatura y pH del agua de alimentación.

Para asegurar un completo agotamiento del O_2 cuando uno de los factores arriba mencionados no sea favorable o cuando no se dispone de suficiente tiempo de reacción, un catalizador es a menudo empleado para incrementar la velocidad de reacción. Sales de Cobalto son, las más empleadas para estos fines.

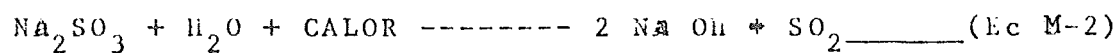
REMOCION DE OXIGENO DEL AGUA POR MEDIO
DE Na_2SO_3 AFECTADA POR LA ADICION DE CA-
TALIZADORES (1).

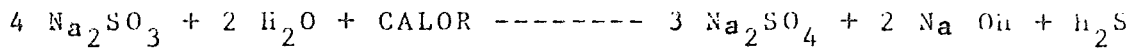
CATALIZADOR		OXIGENO		TIEMPO PARA
		CONCENTRACION, mg/L		QUITAR
TIPO	mg/L	INICIAL	FINAL	O_2 (min)
NINGUNO	-	10	7	10
COBRE	0.1	10	0	8.0
COBRE	1.0	10	0	4.0
COBALTO	0.001	10	0	1.0
COBALTO	0.01	10	0	0.3

(1) Pye, D.J. Journal of the American Water Works Association, Vol. 39.p. 1121 (1947).

TABLA M-1

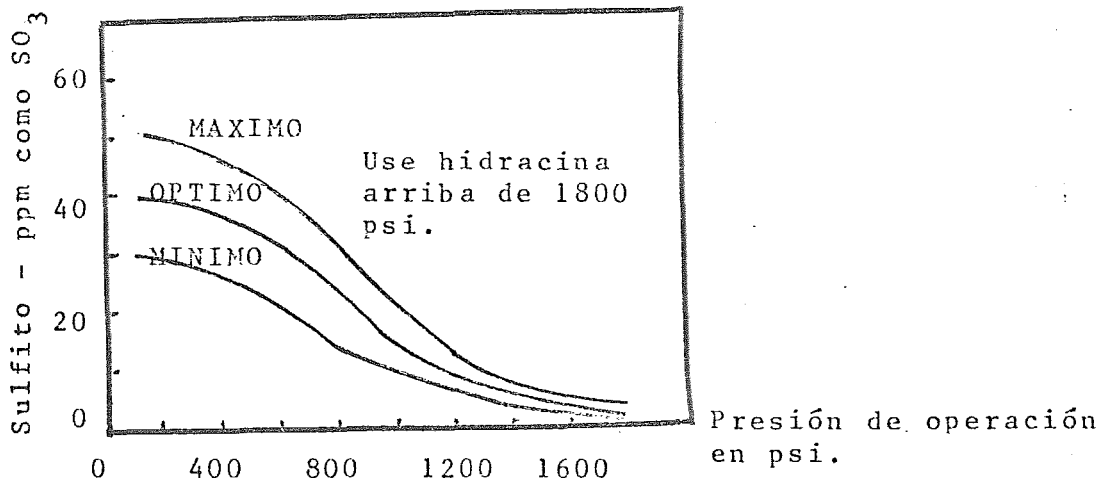
A temperaturas elevadas asociadas con altas presiones el sulfito se descompone en gases ácidos ($\text{SO}_2, \text{H}_2\text{S}$), que pueden ser causa de un incremento en la corrosión, como lo muestran las siguientes reacciones:





(Ec T-3)

Por lo tanto se aconseja que el sulfito no deberá ser usado a presiones mayores de 1800 Psi, ya que esta presión es la máxima permitida, para evitar la descomposición a gases ácidos; así mismo se recomienda una dosificación de sulfito máxima de 4 ppm a 1800 Psi.

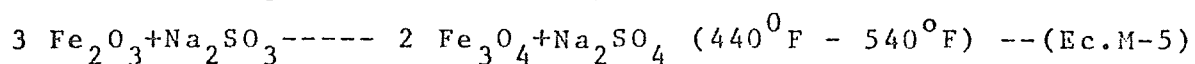
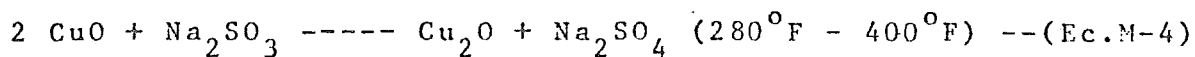


RESIDUO DE SULFITO RECOMENDADO EN AGUA DE ALIMENTACION A LA CALDERA

FIGURA M-1

El sulfito de sodio es un agente reductor efectivo en el agua de calderas, pues además su reacción con el

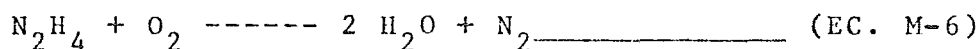
oxígeno reduce los óxidos de hierro y cobre según las siguientes reacciones:



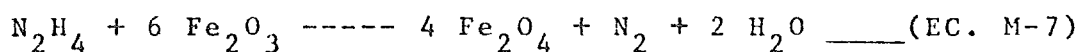
HIDRACINA.

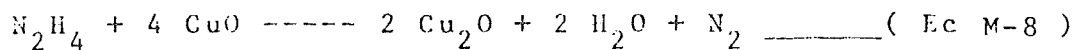
Por numerosas razones el agente químico agotador de oxígeno usado en operaciones de hervidores a presión elevada es la hidracina (N_2H_4). Con el surgimiento de catalizadores orgánicos para las reacciones de la hidracina se hizo posible el uso de esta en operaciones a mediana y baja presión y más extenso el uso en sistemas a alta presión.

La reacción de la hidracina con el oxígeno es:



Es importante notar que los productos de esta reacción son inertes y no adhieren sólidos disueltos en el agua de alimentación al hervidor. La hidracina puede reaccionar también con óxido férrico, y con el óxido cuproso.





La hidracina es alimentada en cantidades suficientes para reaccionar con oxígeno no disuelto, óxido férrico, óxido cúprico más un pequeño exceso.

Teóricamente se requiere 1 ppm de hidracina por 1 ppm de O_2 , 0.048 ppm por 1 parte ppm de Fe^{+3} y 0.125 ppm por 1 ppm de Cu^{+2} .

	N_2H_4 concentración (ppm)	% de reduc- ción en la velo- cidad de corrosión.
AGUA SOLA		0.0
HIDRACINA	50	13.5
	200	54.0
	500	73.0

INFLUENCIA DE LA CONCENTRACION DE N_2H_4

TABLA (M-2)

FIGURA M-2A

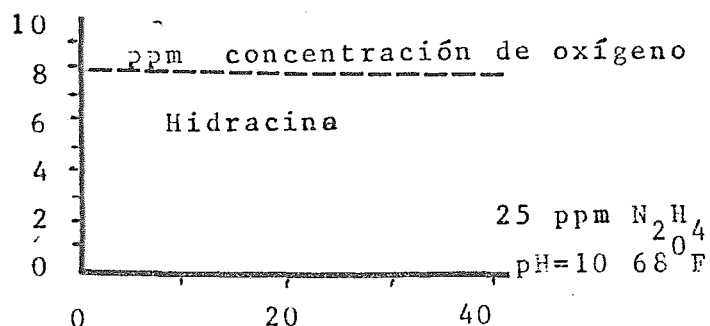
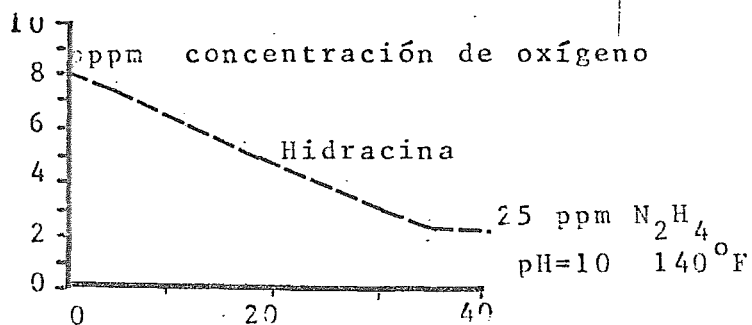


FIGURA M-2B

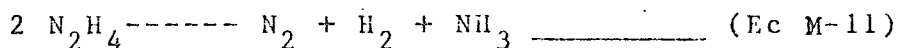
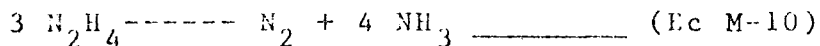


REMOSION DE OXIGENO POR N_2H_4

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

La hidracina es un líquido aceitoso que hierve a $113.5^{\circ}C$ y congela a $2^{\circ}C$, es una sustancia inestable, venenosa y de olor semejante al amoníaco, tiene propiedades básicas y forma sales con los ácidos.

La hidracina es usualmente empleada como una solución acuosa del 15-35% de composición. La hidracina a temperatura de $518^{\circ}F$ se descompone según la reacción.



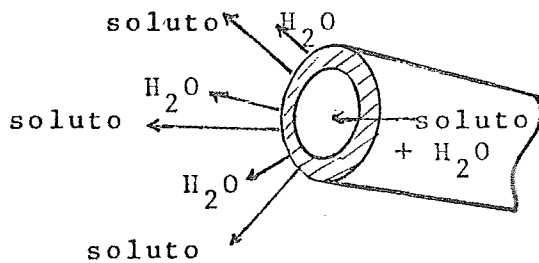
DESAERACION CON GAS NATURAL

Otra manera posible de llevar a cabo la desaeración del agua es por medio de torres empacadas en contacto a contracorriente donde puede usarse gas natural en vez de vapor, siempre y cuando este tenga bajo contenido de oxígeno y sea fácilmente disponible, este método presenta la ventaja de la eliminación de otros equipos de desaeración más caros y cálculos hechos muestran que un gas inerte que contenga menos del 0.1% de oxígeno puede hacer que el agua contenga menos de 0.05 mg/L litro de oxígeno disuelto.

DESAERACION POR MEDIO DE FIBRAS ESPONJOSAS.

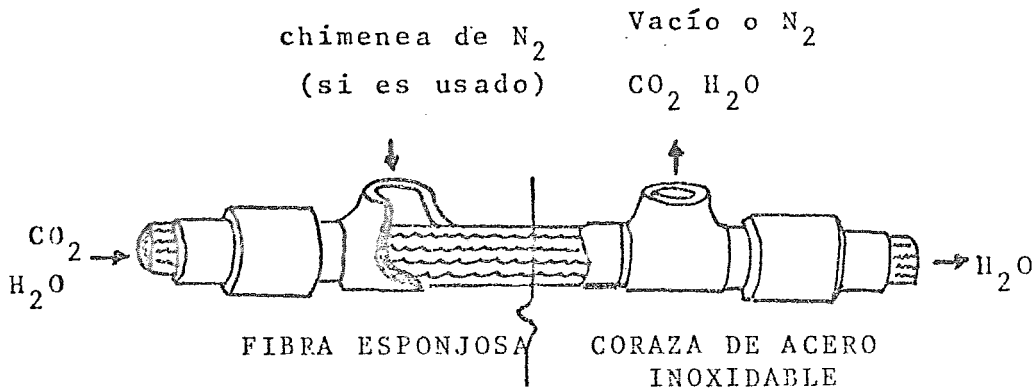
Una separación selectiva en fase gaseosa o líquida por medio de membranas porosas es un concepto nuevo en el tratamiento de agua. Las membranas han sido tradicionalmente usadas para la separación de solventes orgánicos, con el defecto de que este sistema no es económicamente competitivo con los tradicionalmente usados debido a las grandes concentraciones de los componentes a separar, sin embargo la relativamente baja concentración de los contami-

nantes en el agua no tratada han hecho pensar la posibilidad de utilizar esta técnica, se propone (Decarbonation and deaeration of water by use of selective Hollow Fibers. Charles A. Cole and Enil L. Genetelli, environmental scienced tech), que este método pueda suplir la ósmosis reversiva, ya que la gran área específica y la selectividad de estas membranas permiten remover contaminantes específicos que el método de la ósmosis reversiva no puede. Esta operación unitaria separa solutos volátiles orgánicos o inorgánicos de una corriente de agua dejando agua tratada mientras que la ósmosis reversiva separa el agua "pura" de una corriente contaminada con solutos orgánicos o inorgánicos.



REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UNA SEPARACION EN UNA FIBRA ESPONJOSA.

FIG. M-3



FIBRAS ESPONJOSAS: SEPARACION SELECTIVA USADAS
EN DESAERACION Y EN DESCARBONIZACION.

FIG. M-4

Alguno de los materiales de las fibras son: dacrón, nylon, polietileno, polipropileno, un estudio de la economía de este sistema nos dice que hasta ahora no es muy práctico usarlo solo, pero puede ser usado conjuntamente con un sistema desaerador, (Hammond, R. P., Hunter, J. A., Siedes, E. H., "Deaerators for Desalination Plants," U.S. Office Saline Water Res. Develop. Progress Rept. No. 314, U. S. Gov't. Printing Office, 1967).

TIPOS DE DESAEREADORES Y METODOS DE DESAEREACION.

CLASIFICACION Y TIPOS DE DESAEREADORES:

Ya que las solubilidades del oxígeno, nitrógeno y CO_2 son practicamente cero en el punto de ebullición, el agua puede liberarse de estos hirviéndola y desfogando los gases que escapen, esto se puede efectuar llegando al punto de ebullición correspondiente a la presión que se tenga.

Por tanto los desaereadores se pueden clasificar en dos tipos:

- A.- Desaereadores a alta presión y presión atmosférica.
- B.- Desaereadores al vacío.

A.- Los desaereadores a alta presión y presión atmosférica se pueden clasificar como sigue:

DESAEREADORES A PRESION ELEVADA O ATMOSFERICA.

A) TIPO CHAROLAS:

- a) horizontal con condensador de venteo. (FIG. T-1)

- b) vertical con condensador de venteo. (FIG. T-2)
- c) condensador de venteo por contacto directo interno. (FIG. T-3)

B) TIPO ROCIADOR:

- a) horizontal sin precalentador (unidad integral) (FIG. T-4)
- b) vertical sin precalentador (unidad integral) (FIG. T-5 y T-5A)
- c) horizontal con precalentador. (FIG. T-6)
- d) vertical con precalentador. (FIG. T-7)
- e) tipo de atomización horizontal y vertical (FIG. T-8 y T-9)

A.- DESAERADOR TIPO CHAROLAS. (FIG. T-1, T-2, T-3)

Principios de Operación.

Circulación de agua.- El agua fría entra primero a la parte superior de la caja de charolas a través de una tubería rociadora horizontal. Desde este punto se rocía delante de la atmósfera de vapor y cae sobre la hilera

de charolas, entonces fluye como cascada sobre las charolas escalonadas y finalmente llega al compartimiento de almacenamiento. Desde donde es bombeada a las calderas. La mayoría de los gases incondensables se remueve en la parte superior. El agua se calienta casi a la temperatura del vapor por el tiempo en que alcanza la segunda ó tercera hilera de charolas y la desaereación completa se lleva a cabo en las restantes hileras de charolas.

Circulación del Vapor.- El vapor libre de oxígeno entra y rodea completamente el cuerpo de charolas. Excepto por la conexión del venteo, este compartimiento es hermético al vapor en los cuatro lados y en la tapa, pero está completamente abierto en los fondos. El vapor fluye en el fondo de este cuerpo de charolas y viaja ascendentemente a contracorriente con el agua. El vapor que entra libre de oxígeno, primero hace contacto con el agua que está cayendo desde las charolas del fondo hacia el tanque de almacenamiento. En este punto la temperatura del agua alcanza un nivel correspondiente a la temperatura de la saturación del vapor de entrada. Así la presión parcial de los gases incondensables llega a ser despreciable y finalmente, se logra la máxima desaereación.

Operación del Condensador Interno de Venteo.- El condensador interno de venteo por contacto directo, consistente en una cachucha de venteo montada sobre la entrada de la boquilla rociadora de agua y arreglada de tal manera, que el vapor para venteo y los gases incondensables deben pasar a través de las cortinas de agua antes de ser venteadas a la atmósfera. Conforme el vapor va subiendo a través del compartimiento de charolas, los gases liberados son arrastrados hasta este punto de venteo, donde el vapor de exceso se condensa con un mínimo escape del vapor que está siendo venteado a la atmósfera, mientras los gases incondensables son arrastrados fuera del desaereador.

Existen dentro de este tipo de desaereadores, equipos que tienen el condensador de venteo por contacto internamente, el cual funciona de la manera siguiente:

Sobre la entrada de la boquilla rociadora de agua, se monta una cachucha de venteo, arreglada de tal manera que el vapor arrastrado con los gases corrosivos pasen forzosamente a través de la cortina de agua antes de ser venteados a la atmósfera. Conforme el vapor va ascendiendo a través del compartimiento de charolas, los gases liberados son arrastrados hasta el punto de venteo, donde

el vapor en exceso se condensa; solamente un mínimo de vapor sale a la atmósfera arrastrando a los gases liberados fuera del desaereador.

La importancia de una adecuada ventilación o purga de los gases expulsados por el agua a la atmósfera, no podrá nunca puntualizarse suficientemente. Esta purga de gases puede hacerse directamente a la atmósfera, o a través de la purga del condensador a la atmósfera. En el primer caso se gasta mucho vapor y en la práctica se ha demostrado que en tales casos la tendencia del operador a restringir la válvula de escape con el fin de ahorrar vapor, acarrea una desaereación pobre.

De aquí que debe usarse un purgador en el condensador, para ahorrar la mayor parte del calor del vapor usado en el calentamiento y eliminar los gases con un gasto comparativamente pequeño de vapor a través de esta tubería. Algo de vapor se desperdicia al purgar los gases a la atmósfera, pero cuando se tiene una purga adecuada, esta pérdida es muy pequeña.

CARACTERISTICAS DEL DESAEREADOR DE CHAROLAS.

1.- Se garantiza una desaereación efectiva para una es-

pecificación de bajas cantidades de gases, sin hacer caso de variaciones de carga en el calentador o de la cantidad de gases inicialmente presentes en el agua de alimentación.

2.- Flujos controlados de Vapor de Agua, en todos los puntos a lo largo de la sección de charolas, para asegurar el óptimo funcionamiento.

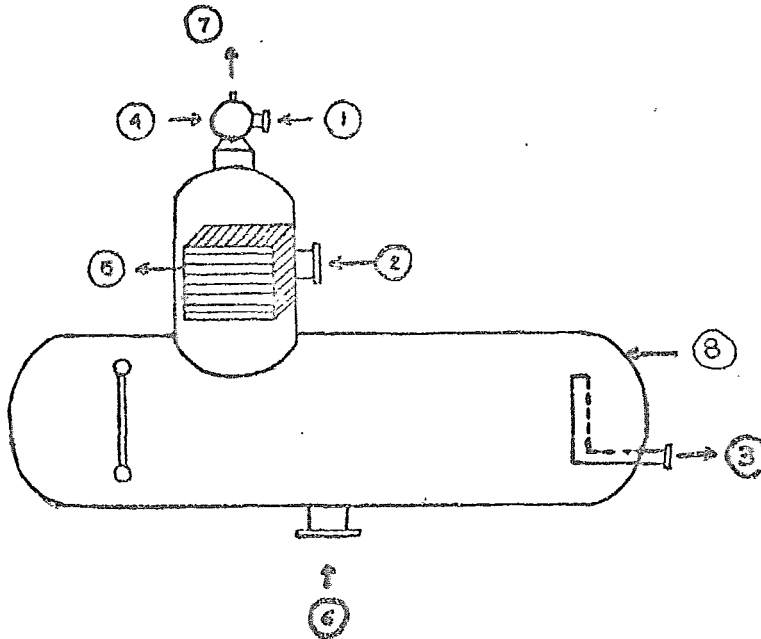
3.- Avanzado diseño de flujo a contracorriente, deberá llevar todas las garantías a cualquier carga de 0 a 100% de capacidad con una elevación de temperatura tan pequeña como 30^oF a cualquier presión de vapor desde 0.5 psia hacia arriba.

4.- Larga vida, peligro de corrosión mínimo, un diseño de partes internas de acero inoxidable previene el no desaereamiento o desaereamiento parcial del agua, así como de la liberación de gases del contacto exterior a la coraza ó de los cabezales en cualquier punto.

5.- Los accesorios de Charola remachados, eliminan las soldaduras y cualquier posible defecto que éstas pudieran presentar al hacerse quebradizas bajo las temperaturas de operación.

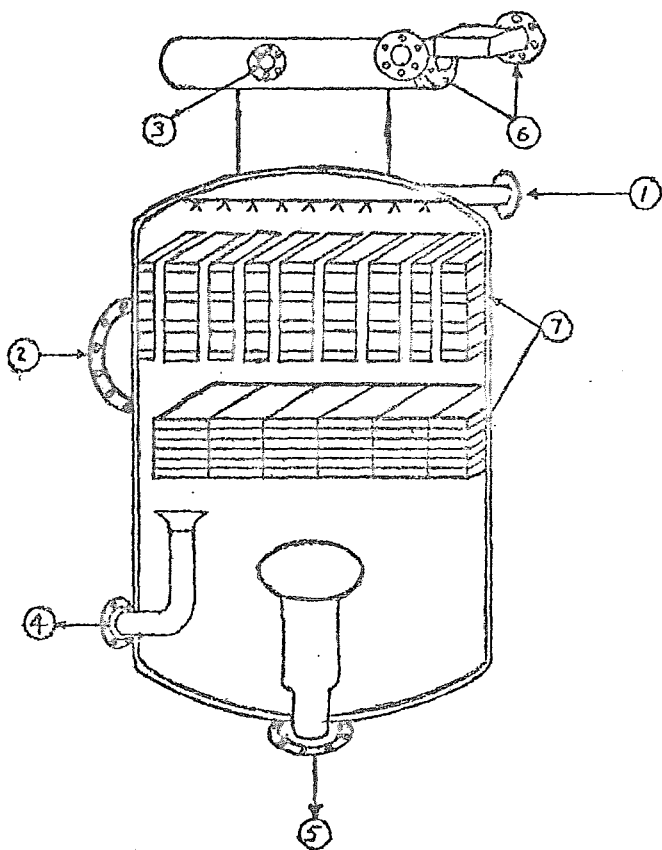
DESCRIPCION

- 1.- AGUA DE ALIMENTACION
- 2.- VAPOR PARA DESAEREACION
- 3.- SOBREFLUJO
- 4.- CONDENSADOR DE VENTEO
- 5.- CHAROLAS
- 6.- AGUA DESAERGADA
- 7.- VENTEO DE GASES NO CONDENSABLES
- 8.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO



DESAERADOR DE CHAROLAS HORIZONTAL
CON CONDENSADOR DE VENTEO

(FIG. T-1)



- 1.- AGUA DE ALIMENTACION
- 2.- VAPOR
- 3.- GASES NO CONDENSABLES
- 4.- SOBREFLUJO
- 5.- AGUA DESAEREADA
- 6.- CONECTORES PARA AGUA
- 7.- CHAROLAS

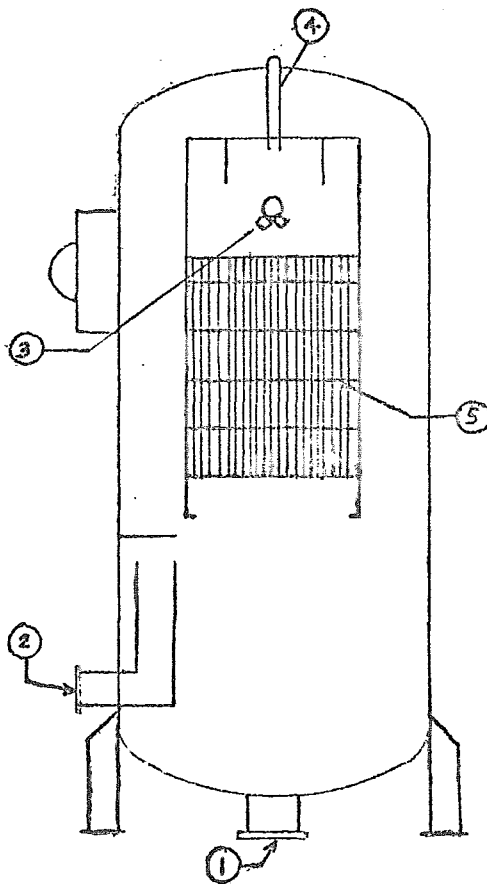
DESAERADOR DE CHAROLAS VERTICAL

(CON COND. DE VENDEO)

(FIG. T-2)

DESCRIPCION

- 1.- SALIDA DE AGUA DESAERADA
- 2.- SOBREFLUJO
- 3.- CONDENSADOR DE VENTEO INTERNO DE CONTACTO DIRECTO
- 4.- VENTEO
- 5.- CHAROLAS



DESAERADOR DE CHAROLAS

FIG. T-3

B.- DESAERADOR TIPO ROCIADOR. (FIG. T-4, T-5, T-5A, T-6, T-7, T-8, T-9)

Principios de Operación.

En estos equipos se desaerea el agua en tres etapas. La primera consta de un condensador de venteo para concentrar los gases no condensables, antes de descargarlos a la atmósfera.

La segunda etapa, es el compartimiento rociador, en el cual se calienta el agua casi a la temperatura de vapor, con lo cual se remueve la mayoría de los gases no condensables. Esta agua parcialmente desaerada pasa a una tercera etapa en la cual se pasa vapor para llegar a una completa desaeración. Normalmente su flujo es a contracorriente.

Circulación del agua.- El agua fría entra primeramente en el compartimiento de las válvulas rociadoras del desaerador, desde donde es esparcido en delgada lluvia por medio de las válvulas rociadoras de acero inoxidable. El cono de rocío pasa a través del compartimiento de recuperación de calor hacia la atmósfera saturada de vapor de la sección de precalentamiento, donde la mayor parte de los gases no condensables son eliminados antes de que

el agua choque contra las paredes laterales del compartimento. En este punto el agua contiene menos de 0.3 ppm. Esta agua caliente y parcialmente desaerada pasa entonces desde la sección de precalentamiento a la sección de desaeración final, o "agotadora". en esta sección, como su nombre lo indica, se lleva a cabo la desaeración completa del agua, por medio del íntimo y violento contacto de la misma con un considerable exceso de vapor libre de oxígeno. El agua ya desaerada se derrama en el compartimiento de almacenaje.

Circulación del vapor.- El vapor es introducido a través de un distribuidor de vapor en el compartimiento de desaeración final o agotador. Allí, el vapor entrante choca a alta velocidad con el agua caliente y parcialmente desaerada que entra al mismo compartimiento desde la sección de precalentamiento. Como resultado, se produce una violenta fricción y mezcla entre ambos, aún con caudales bajos de manera tal que las trazas que pudieran quedar de gases no condensables son completamente removidas mecánicamente del agua. Como consecuencia, el agua desaerada que se descarga de esta sección, y es conducido hasta la sección de precalentamiento de las válvulas

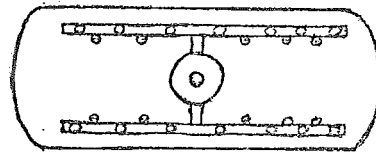
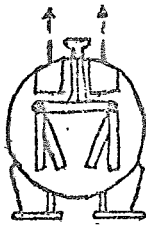
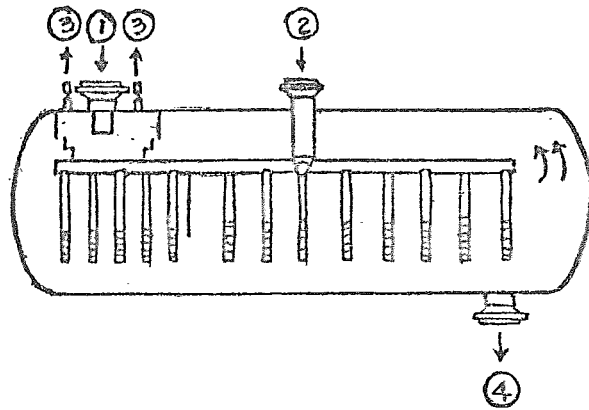
rociadoras. El vapor eliminado es luego condensado en la sección de recuperación de calor, por contacto directo y sólo una cantidad muy pequeña de vapor se deja escapar a la atmósfera, para arrastrar los gases no condensables que han sido removidos del agua.

El volumen de vapor que pasa, comparado con el volumen de agua que se desaeréa, es muy grande de manera que la presión parcial del oxígeno es despreciable. El funcionamiento de estos equipos, está basado en el rociado a presión del agua no desaerada.

La circulación de vapor se efectúa de acuerdo al tipo de desaerador manejado. Básicamente, se emplean dos tipos de desaeradores que son:

- a) Sin precalentador (unidad integral) (FIG. T-4, T-5, T-5A)
- b) Con precalentador (FIG. T-6, T-7)

a) Este tipo de desaerador tiene un distribuidor de vapor ramificado en todo el equipo, en donde por los extremos de cada distribuidor, se alimenta el vapor directamente en el seno del líquido, para efectuar la desaeración por contacto directo, ya que el vapor al ceder su calor latente se condensa y el agua no desaerada alcanza una



DESCRIPCION

- | | |
|-----------------------------|---------------------------|
| 1.- AGUA DE ALIMENTACION | 3.- GASES NO CONDENSABLES |
| 2.- VAPOR PARA DESAEREACION | 4.- AGUA DESAEREADA |

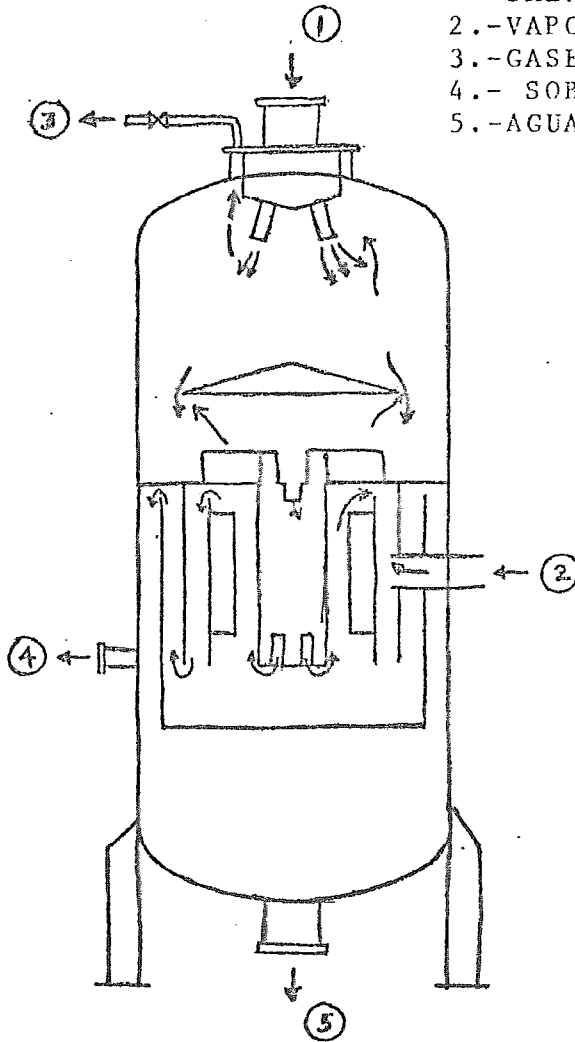
DESAERADOR ROCIADOR SIN PRECALENTADOR

(INTEGRAL)

FIG. T-4

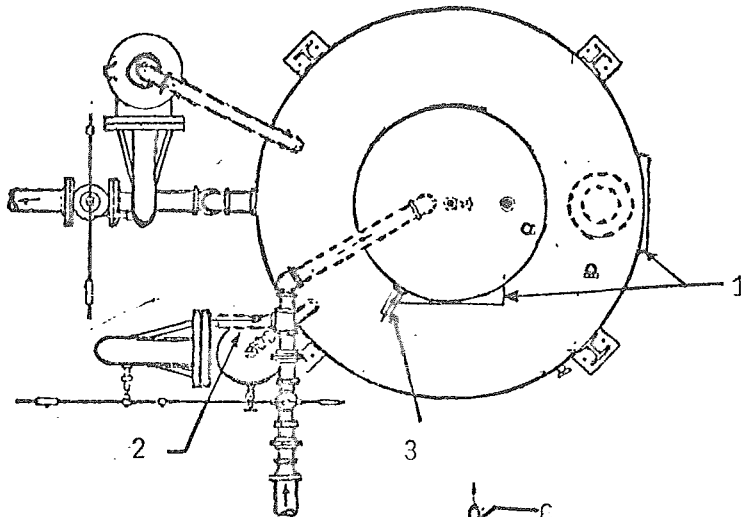
DESCRIPCION

- 1.-AGUA DE ALIMENTACION AL DESAERADOR
- 2.-VAPOR PARA DESAERACION
- 3.-GASES NO CONDENSABLES
- 4.- SOBRE FLUJO
- 5.-AGUA DESAERADA



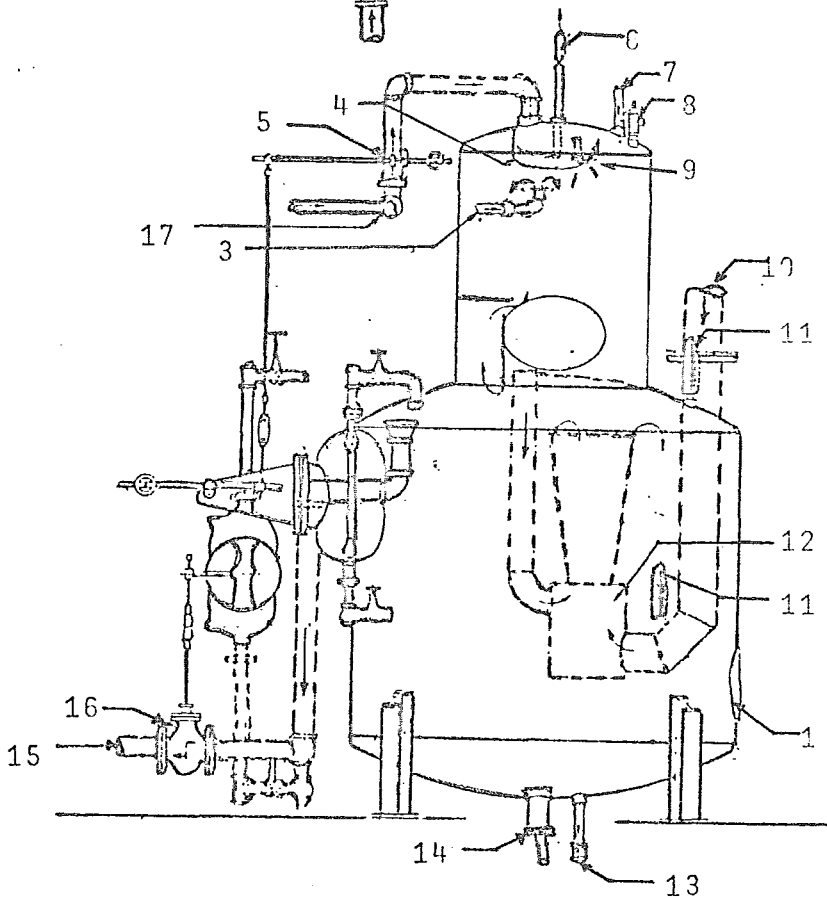
DESAERADOR ROCIADOR VERTICAL SIN PRECALENTADOR

(FIG. T-5)



DESCRIPCION

- 1.- REGISTROS DE HOMBRE
- 2.- RETORNOS DE AGUA FRIA
- 3.- RETORNOS DE AGUA CALIENTE
- 4.- CONDENSADOR DE CONTACTO DIRECTO
- 5.- VALVULA DE CONTROL
- 6.- VENTEO A LA ATMOSFERA
- 7.- RETORNOS DE TRAMPA DE VAPOR
- 8.- VALVULA DE ALIVIO
- 9.- VALVULA ROCIADORA
- 10.- VAPOR DE ESCAPE
- 11.- TERMOMETRO
- 12.- DISTRIBUIDOR DE VAPOR
- 13.- DRENAJE
- 14.- SALIDA A LA BOMBA DE ALIMENTACION A LA CALDERA
- 15.- AL DRENAJE
- 16.- VALVULA DE DERRAME
- 17.- ENTRADA DE AGUA DE REPUESTO



DESAERADOR TIPO ROCIADOR VERTICAL

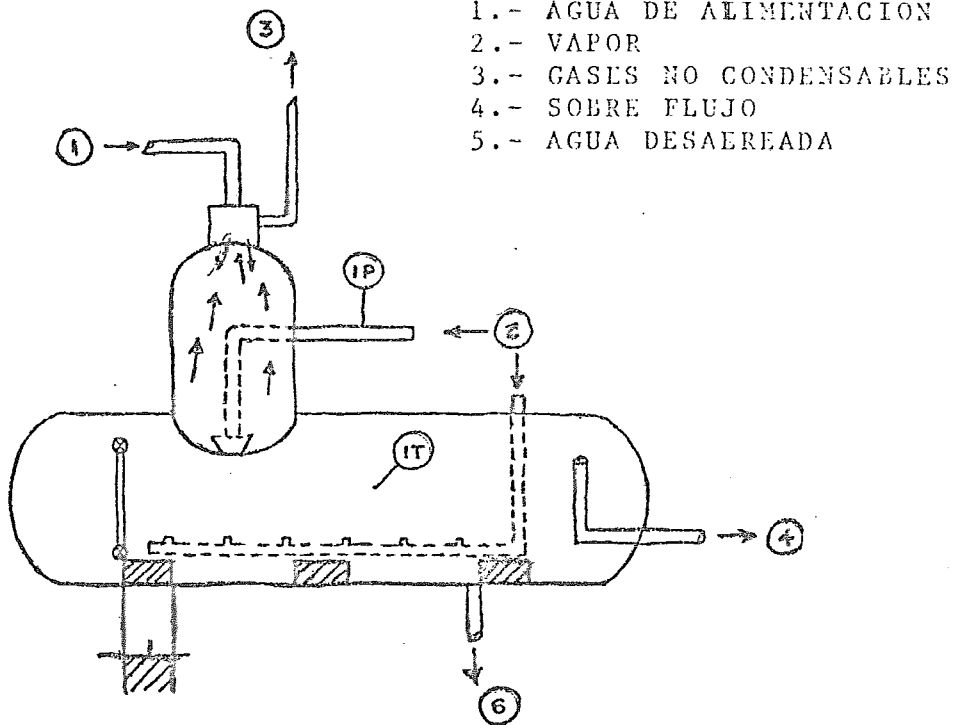
(FIG. T-5A)

temperatura cercana a la del vapor, con lo cual se va efectuando la desaereación.

b) Este tipo de equipo tiene una doble alimentación de vapor, una en la sección de precalentamiento, cuya función consiste en precalentar el agua no desaereada que es rociada a presión en esta sección, desaereándola parcialmente. Y una segunda alimentación de vapor en el seno del líquido para completar la desaereación. El vapor arrastrado con los gases corrosivos es condensado en la sección de recuperación de calor por contacto directo, y solo una cantidad muy pequeña de vapor se deja escapar a la atmósfera para arrastrar los gases no condensables que han sido removidos del agua.

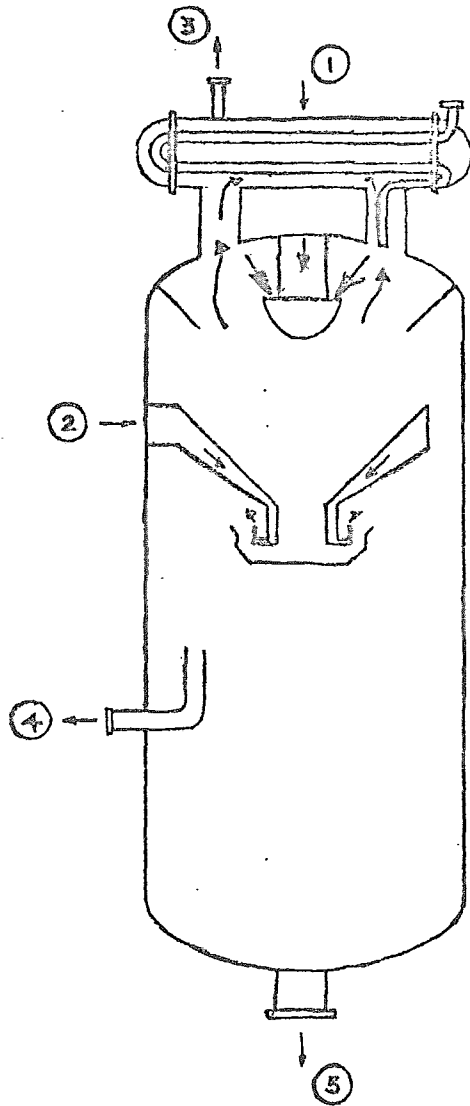
Estos desaeradores tienen un derrame para evitar inundaciones y, para evitar pérdidas de condensados, es necesario calcular el espacio de almacenamiento, siendo este ajuste con una válvula de nivel, de manera que esta opere bajo nivel para admitir los condensados. La salida de estos desaeradores está usualmente en la parte inferior del tanque de almacenamiento, las bombas de la caldera deben montarse de tal manera que tengan una carga positiva para evitar vaporizaciones y cavitaciones.

DESCRIPCION



DESAERADOR ROCIADOR HORIZONTAL CON PRECALENTADOR

(FIG. T-6)



DESCRIPCION

- 1.- AGUA DE ALIMENTACION
- 2.- VAPOR
- 3.- NO CONDENSABLES
- 4.- SOBRE FLUJO
- 5.- AGUA DESAERADA

DESAERADOR ROCIADOR VERTICAL CON PRECALENTADOR

(FIG. T-7)

El grado de desaereación en estos equipos, es prácticamente perfecto, siendo la cantidad remanente nunca mayor de 0.005 ppm. El nitrógeno también se elimina prácticamente, así como el CO_2 . Si el agua contiene una alta cantidad de bicarbonatos, una considerable parte del CO_2 de los bicarbonatos también se elimina, al aumentar el pH sobre 8.8.

Operación del recuperador de calor por contacto directo.

Debajo de las válvulas rociadoras existe un compartimiento para recuperación del calor por contacto directo, por medio de la cual los gases no condensables se separan de la sección de precalentamiento y se concentran antes de ser descargados a la atmósfera. Entre el fondo de cada válvula rociadora y el fondo de compartimiento de recuperación del calor existe una caja cilíndrica con agujeros en su parte superior, a través de la cual el rocío cae dentro de la atmósfera saturada de vapor del compartimiento de precalentamiento. La mezcla de vapor y gases no condensables presente en este compartimiento pasa a través de la superficie de rocío de agua y luego a través de una estrecha abertura anular, entre el borde del cono de rocío

y el fondo de la caja cilíndrica.

Esta mezcla de vapor y gases se encuentra así en contacto con el agua fría, que proviene de la válvula rociadora, de manera tal que la mayor parte del vapor es condensado antes de pasar a través de los orificios, hacia el compartimiento de recuperación de calor. Una pequeña cantidad es descargada a la atmósfera a través de la tubería de ventilación, arrastrando consigo los gases no condensados.

CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO DEL DESAERLADOR ROCIADOR.

1.- Desaereación y calentamiento más completos. La violenta acción mecánica mediante la cual el agua y el vapor entran en íntimo contacto, provee calentamiento y desaereación más completos.

2.- Calentamiento instantáneo del agua en la primera etapa. Las válvulas rociadoras de acero inoxidable proyectan el agua entrante bajo la forma de conos de rocío sumamente delgados, que entran así en contacto con la atmósfera saturada de vapor de la sección de precalentamiento, donde el agua es precalentada hasta que obtiene una tempe-

ratura de uno o dos grados menor que la del vapor.

3.- Facilidad de mantenimiento. Este diseño elimina las bandejas facilitando así el mantenimiento y la limpieza del equipo.

4.- Diseño y eficiencia comprobados. La eficiencia de operación de este diseño ha sido comprobada a través de miles de unidades actualmente en uso. Muchas de estas unidades han estado en operación por períodos de hasta 24 años en las más modernas plantas de generación de vapor públicas y privadas.

5.- Ocupan menor espacio en relación a los del Tipo Charolas.

Desaeradores Tipo Atomización. (FIG. T-8, T-9)

Principios de operación.

En este tipo de equipos el agua usualmente se desaeréa en un proceso de dos pasos. El vapor que se alimenta es atomizado en el agua parcialmente desaerada del primer paso, después de lo cual sirve para calentar dicha agua que en este lugar se atomiza.

El agua entra al precalentador a través de un espreador no ferroso. El agua se esprea dentro de una atmósfera de vapor, donde el agua es calentada prácticamente a la temperatura del vapor en el precalentador. Este espreado y el calentamiento dan como resultado que la mayor parte de los gases disueltos sean separados del agua. Cuando el agua cae a los fondos del cono colector que dirige el agua a la válvula de atomización, los condensables remanentes son removidos y el agua cae al tanque de almacenamiento, desde el cual la bomba de alimentación toma lo necesario.

El vapor entra a través de un orificio en el lado de la coraza y es conducido por un pasaje interno hacia el atomizador por el cual es emitido a gran velocidad. Este entra en contacto con el H_2O precalentada y se rompe en una fina niebla que quita o agota del agua las últimas trazas de no condensable. Cuando el flujo de vapor sube

al precalentador, la mayor parte se condensa al calentar agua desperdiciándose una parte muy pequeña, que se descarga a la atmósfera.

La alimentación de agua es controlada por medio de un nivel siendo este operado a través de un control flotador, también se controla por un piloto que actúa como válvula reguladora o como una doble válvula reguladora del disco.

Los condensados y retorno, que tienen 20^oF de diferencia o menos entre la temperatura correspondiente a la mínima presión de operación del vapor, son introducidos por el mismo distribuidor de spray del agua de alimentación. Cualquier retorno que pudiera flashearse dentro del vapor cuando se introduzca dentro del desaereador es enviado a la conexión de la trampa de vapor a alta presión. El vapor "flasheado" se saca de los retornos y es absorbido por el agua entrante. El agua se deja gotear al tanque de almacenamiento, por un cono colector y una válvula atomizadora.

Se puede instalar también una válvula reductora de presión, para suplir vapor de la conexión de vapor de alta, en la línea de vapor entre el separador de aceite y el desaereador. Algunas veces el vapor agotador no es su-

ficiente para mantener una presión de vapor positiva en el desaereador. Si no se controla esta válvula en la alimentación de vapor bajo, de la válvula reductora, da como resultado que baje más la presión en el desaereador y no sea la requerida, esto sucede especialmente cuando la válvula está localizada a una gran distancia del desaereador.

La válvula reductora se debe abrir, hasta que marque una presión de 4 psig debajo de la presión normal de la desaereación, y cerrar a 2 psig debajo de la presión normal del desaereador, pero en ningún caso la válvula deberá abrir a una presión menor de 2 psig.

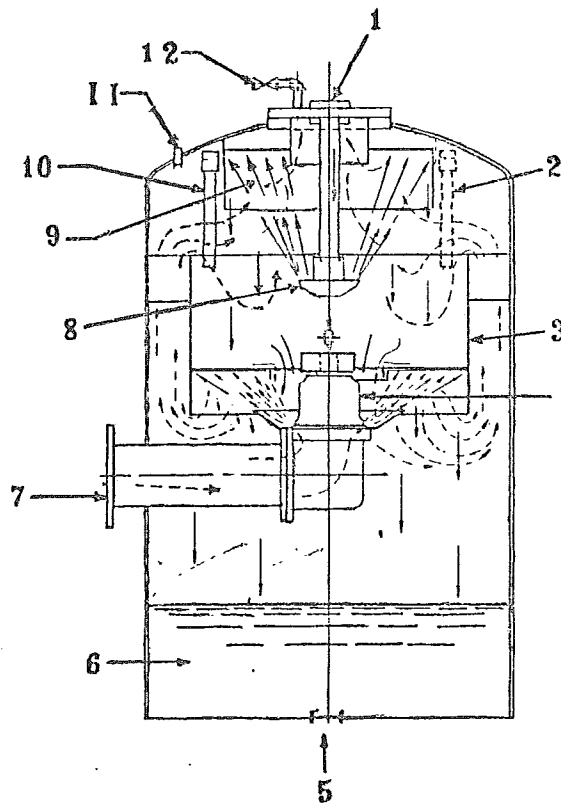
Si la válvula paradora está en la línea de escape de vapor, arriba del separador de aceite o del desaereador, es preferible introducir el vapor vivo arriba de esa válvula, para que se corte el vapor de repuesto, cuando sea necesario inspeccionar el desaereador. Esto también se advierte al instalar una válvula paradora en la línea de vapor vivo del alimentador a la válvula reductora de presión es igualada al espacio de vapor del desaereador y cuando la válvula paradora en la línea de escape de vapor es cerrada y la presión del desaereador decrece, la válvula reductora de presión abrirá, dando vapor vivo a la línea de escape.

El vapor saldrá a la atmósfera a través de la válvula de seguridad, la cual protege el sistema de escape. Para prevenir este desperdicio de vapor, la válvula paradora en la línea de escape de vapor es cerrada para inspección del desaereador.

Si el equipo garantiza reducir el contenido de oxígeno a 0.005 cc por litro ó menos, se designa como Desaereador, pero si sólo reduce el contenido de oxígeno a 0.030 cc por litro se denomina Calentador Desaereador.

La capacidad de almacenamiento total es generalmente diseñada para dos minutos, donde la cantidad de retorno de condensados anticipada, es pequeña ó no existe; y de 10 a 30 minutos, donde una cantidad de retorno de condensados es esperada.

DESCRIPCION

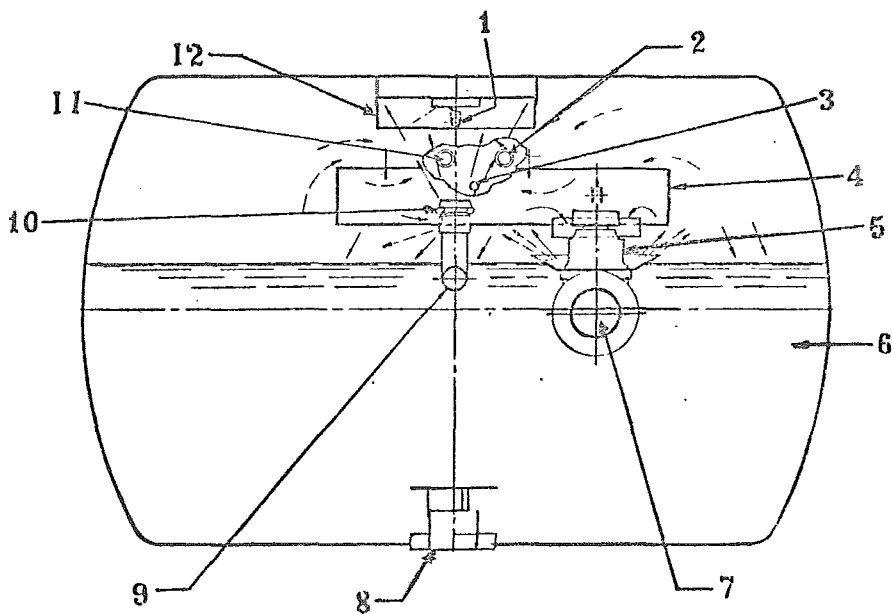


- 1.- ENTRADA DE AGUA
- 2.- CONEXION DE LA VALVULA DE ALIVIO
- 3.- CONO COLECTOR
- 4.- VALVULA DE ATOMIZACION
- 5.- SALIDA DE AGUA
- 6.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- 7.- ENTRADA DE VAPOR
- 8.- ESPREADOR
- 9.- CONDENSADOR DE CONTACTO DIRECTO Y PRE-CALENTADOR
- 10.- TRAMPA DE RETORNOS A ALTA PRESION
- 11.- VALVULA DE REDUCCION DE PRESION
- 12.- VALVULA DE VENTEO

DESAERADOR TIPO ATOMIZADOR VERTICAL

(FIG. T-8)

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1.- VALVULA DE VENTEO | 7.- ENTRADA DE VAPOR |
| 2.- CONEXION DE LA VALVULA DE ALIVIO | 8.- SALIDA DE AGUA |
| 3.- VALVULA REDUCTORA DE PRESION | 9.- ENTRADA DE AGUA |
| 4.- COLECTOR | 10.- ESPREADOR |
| 5.- VALVULA DE ATOMIZACION | 11.- TRAMPA DE RETORNOS A ALTA PRESION |
| 6.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO | 12.- CONDENSADOR DE CONTACTO DIRECTO Y PRE-CALENTADOR |



DESAERADOR TIPO ATOMIZADOR HORIZONTAL

(FIG. T-9)

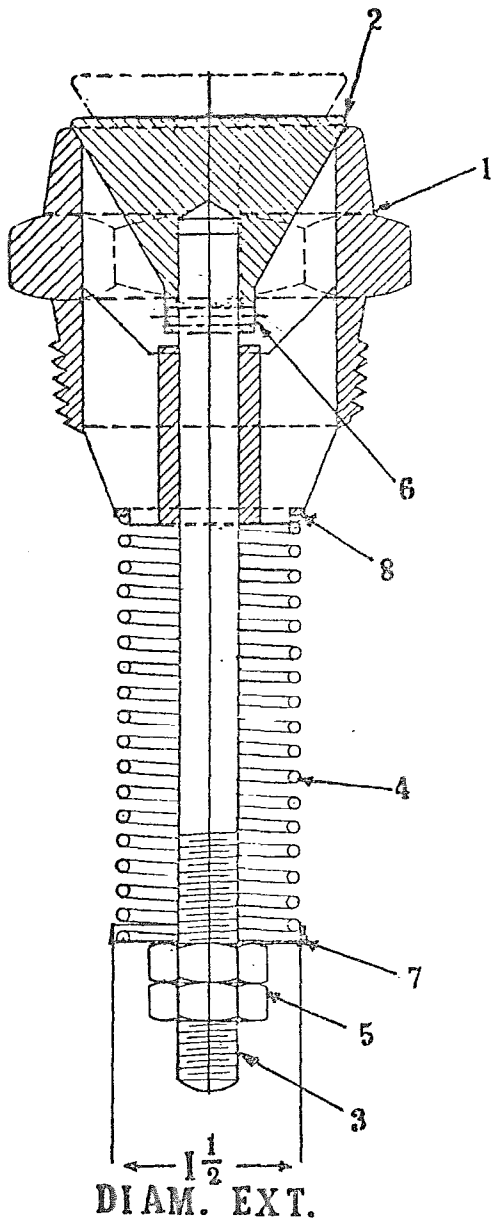
COMPONENTES DE LOS DESAEREADORES (FIG. T-10 a FIG. T-19)

CORAZA.- La coraza del desaereador es una unidad cilíndrica vertical, de construcción de acero y es montada horizontal o verticalmente, unida a un tanque de almacenamiento de acero, o una unidad cilíndrica con almacenamiento integrado.

DISTRIBUIDOR ESPREADOR.- (FIG. T-10, T-11). El precalentador de agua consiste en un tubo de entrada de agua al final del cual se tiene un agujero espreador, para proyectar el agua que entra dentro de la atmósfera de vapor del desaereador.

El precalentador deberá ser inspeccionado periódicamente para asegurar que está libre de sedimentos y depósitos. El agujero espreador debe ser inspeccionado, por cualquier inusual erosión y los fondos se deben mantener limpios, para asegurar una distribución uniforme de agua en el precalentador.

VALVULA DE ATOMIZACION.- (FIG. T-12). La válvula de atomización consiste en un cabezal de vapor y un adaptador especial de 90° , el cual dirige el vapor a la válvula.

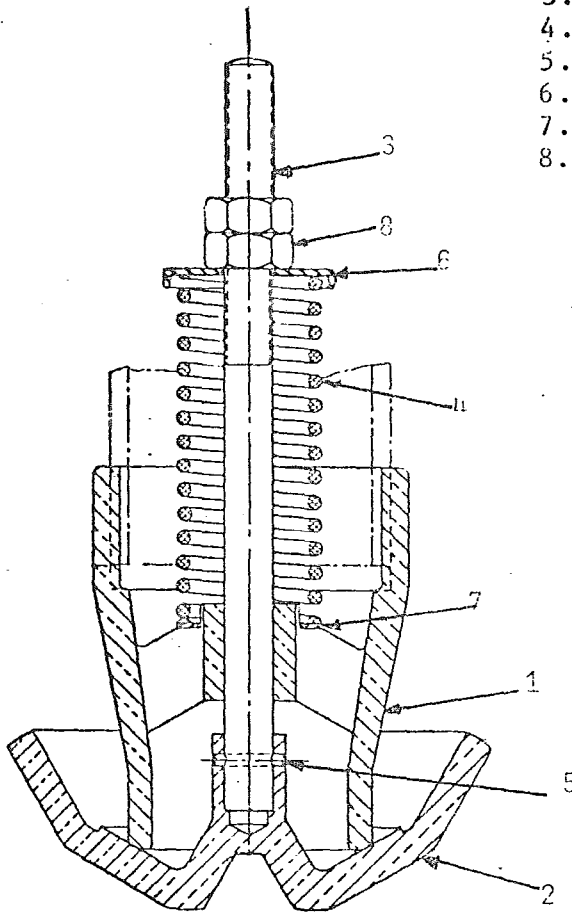


- 1.- CUERPO
- 2.- ESPREADOR
- 3.- VASTAGO
- 4.- SALIDAS
- 5.- TUERCA
- 6.- SEGURO
- 7.- TAPA DE SALIDAS
- 8.- DISCO DE GOMA

DISTRIBUIDOR ESPREADOR

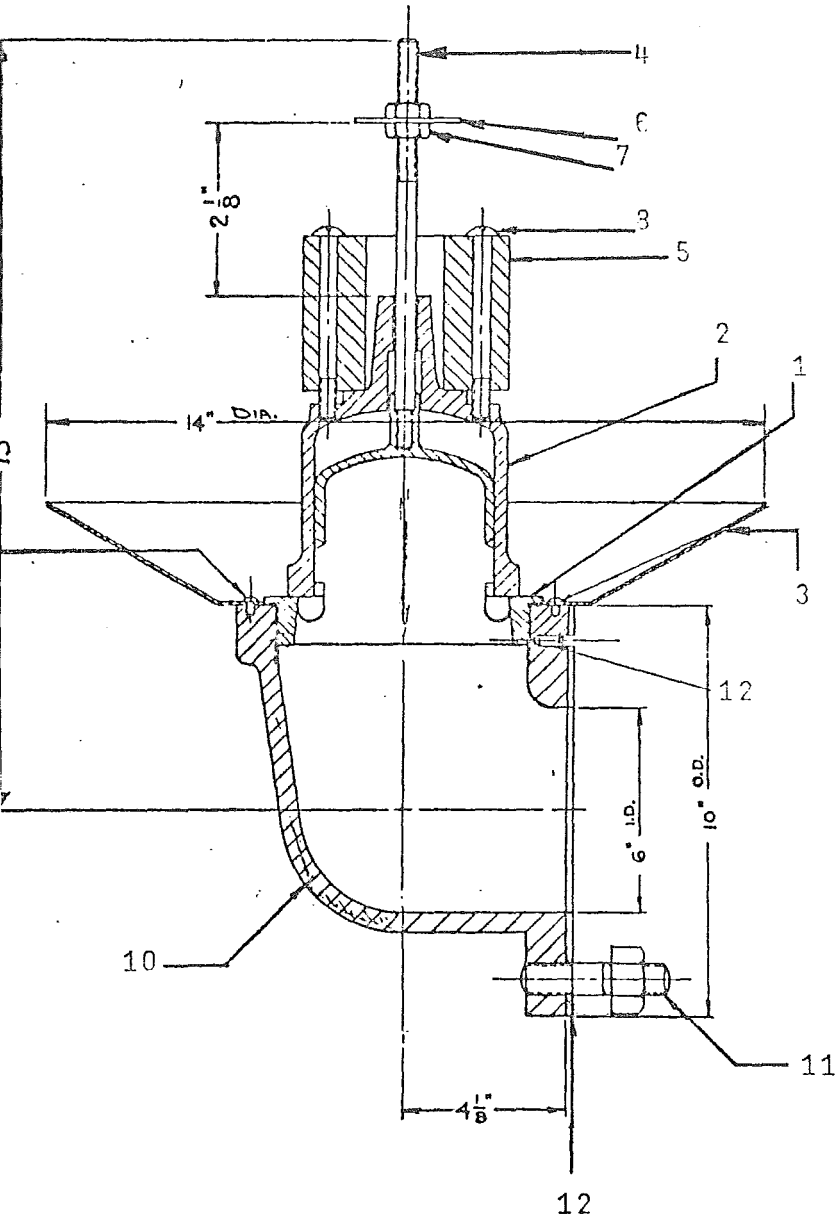
(FIG. T-10)

- 1.- CUERPO
- 2.- ESPREADOR
- 3.- VASTAGO
- 4.- SALIDAS
- 5.- SEGURO
- 6.- TAPA DE SALIDAS
- 7.- DISCO DE GOMA
- 8.- TUERCA



DISTRIBUIDOR ESPREADOR INVERTIDO

(FIG. T-11)



- 1.- PISTON Y ASIENTO
- 2.- VALVULA DE DISCO
- 3.- BAFLE DEFLECTOR
- 4.- VASTAGO
- 5.- CONTRAPESO
- 6.- DISCO DE GOMA
- 7.- TUERCA
- 8.- TORNILLO
- 9.- TORNILLO APRENTADOR
- 10.- CUERPO
- 11.- TUERCA Y TORNILLO DE CONTACTO
- 12.- EMPAQUE

VALVULA DE ATOMIZACION

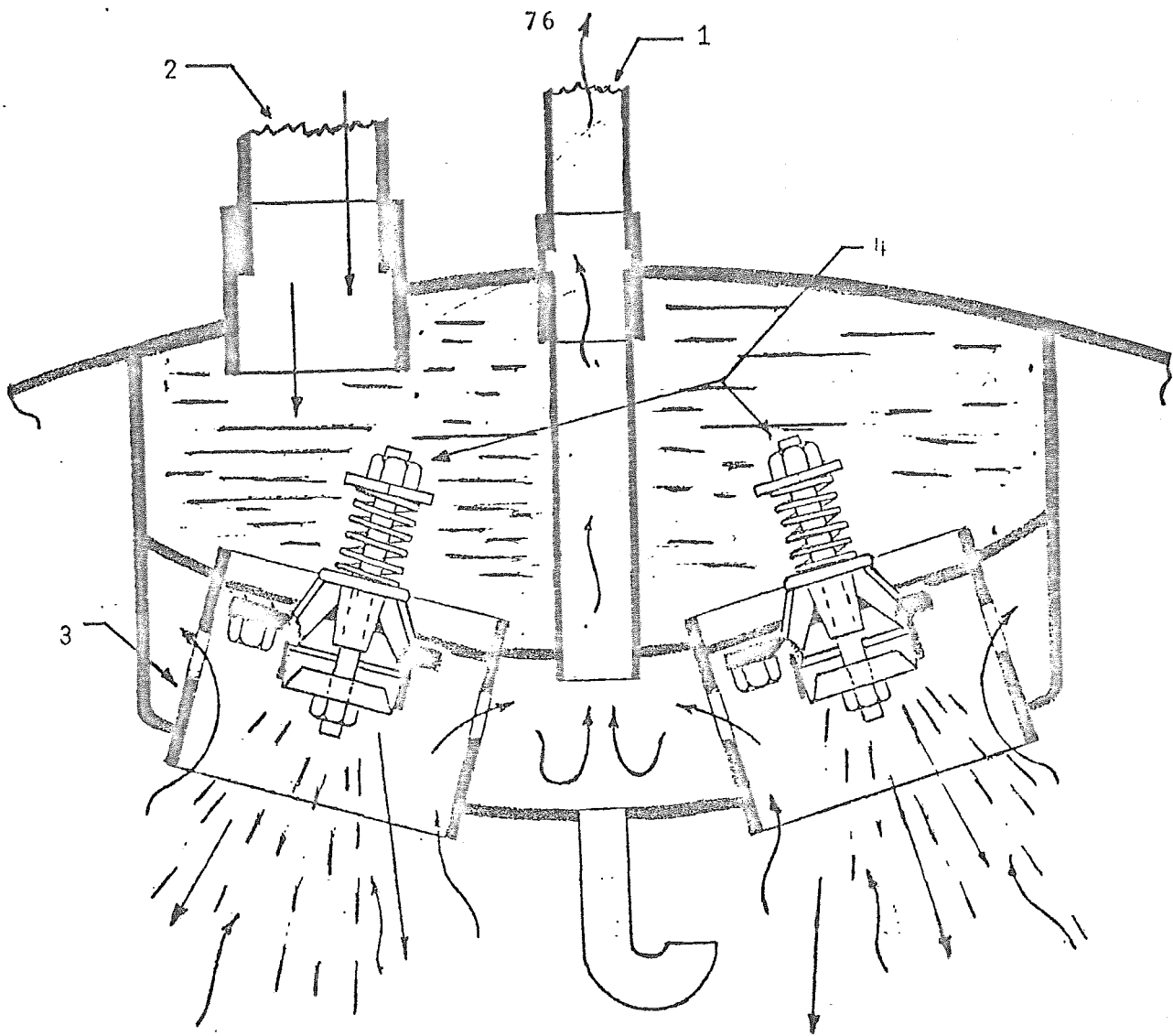
(FIG. T-12)

Montado en el adaptador está asentado el pistón que es estacionario. La válvula de disco y el contra peso son móviles. El vapor abandona la válvula de descarga y el contra peso y es descargado a gran velocidad, atomizando el agua que cae por el cono colector. La caída de presión a través de la válvula de alimentación permanece constante sin tomar en cuenta la caída, por el peso combinado de la válvula de disco y el contra peso, el cual tiende a guardar la válvula de disco en su lugar.

La válvula de vapor evita que la válvula de disco y el contrapeso, sean desalojados por el pistón, en el caso de surgimiento repentino de vapor.

CONDENSADOR DE VENTEO POR CONTACTO DIRECTO Y COMPARTI-
MIENTO CALENTADOR.- (FIG. T-13) . Para asegurar una completa desaereación, para prevenir la acumulación de aire y para que un continuo barrido de vapor se mantenga a través del desaereador y la sección de precalentamiento del condensador de venteo. Es necesario que durante la operación normal de venteo, los vapores venteados y el vapor sean descargados continuamente por la válvula de venteo, en la tapa del desaereador.

El insuficiente venteo da como resultado la acumula-



DESCRIPCION

- 1.- SALIDA DE GASES
- 2.- ENTRADA DE AGUA DE REPUESTO
- 3.- CAJA PARA VALVULA ROCIADORA
- 4.- VALVULAS ROCIADORAS

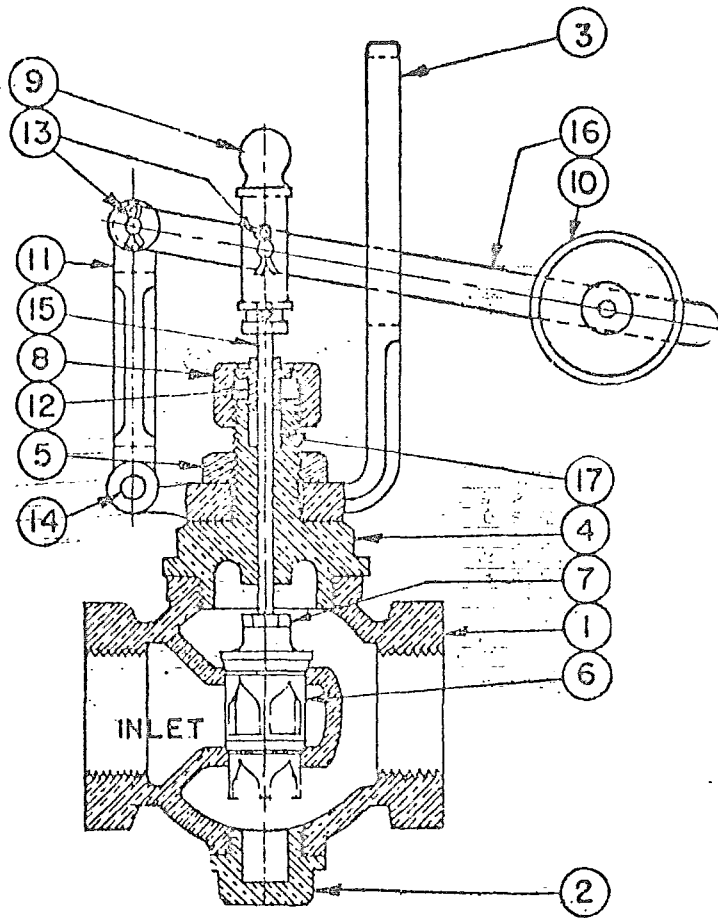
CONDENSADOR DE CONTACTO DI-
DIRECTO PARA CALENTADOR DESAERADOR
(FIG. T-13)

ción de aire que eventualmente produce una desaereación incompleta. Ajustar la válvula de venteo para aumentar la velocidad es el remedio para esta condición.

VALVULAS REGULADORAS.- (FIG. T-14 a T-17). La entrada de agua a las válvulas reguladoras es utilizada para controlar el flujo de agua en el desaereador. Hay tres tipos de válvulas reguladoras, para aquellas instalaciones en las cuales la presión diferencial a través de la válvula al parar es baja, una doble válvula de disco se usa cuando alta presión diferencial a través de esta válvula se encuentra, se usa el piloto exitado ó el aire opera válvulas reguladoras de tipo diafragma.

VALVULAS DE DOBLE DISCO.- (FIG. T-14, T-14A). La válvula se instala en una línea horizontal. Cuando se cierra la válvula, la presión corriente arriba es impuesta en el lado bajo del disco que sube y en la tapa del disco baja, balanceando las partes movibles.

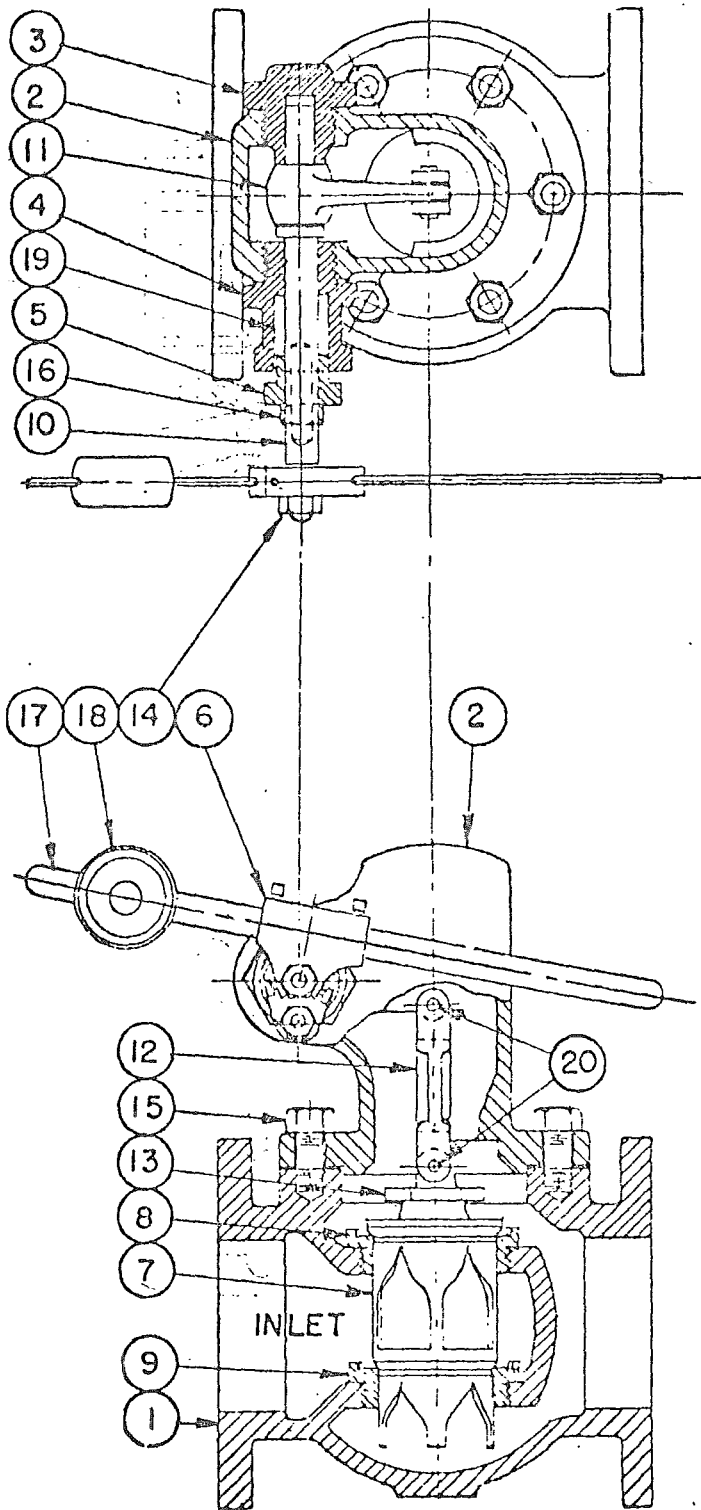
Las válvulas en medidas de 1 "a $2\frac{1}{2}$ " son del tipo ascendente de vapor. La junta llevando el eslabón y la guía para el operador de nivel, es retenido por el gorro con una tuerca que se puede colocar en cualquier posición.



- 1.- CUERPO
- 2.- TAPA DE FONDO
- 3.- GUIA
- 4.- SOMBRERETE
- 5.- TUERCA DE SEGURO
- 6.- DISCO
- 7.- TUERCA DEL DISCO
- 8.- TUERCA
- 9.- ABRAZADERA
- 10.- CONTRAPESO
- 11.- TRANSMISION
- 12.- CUELLO
- 13.- PASADORES
- 14.- PASADOR
- 15.- VASTAGO
- 16.- ELEVADOR
- 17.- EMPAQUE

VALVULA REGULADORA DE DOBLE DISCO DIAMETRO $\frac{1}{2}$ A $2\frac{1}{2}$

(FIG. T-14)



- 1.- CUERPO
- 2.- SOMBRERETE
- 3.- TAPA
- 4.- CAJA
- 5.- CUELLO
- 6.- CONEXION DEL ELEVADOR
- 7.- DISCO
- 8.- ANILLO DE ASIENTO
- 9.- ANILLO DE ASIENTO
- 10.- FLECHA
- 11.- TRANSMISION
- 12.- TRANSMISION
- 13.- TUERCA DEL DISCO
- 14.- TUERCA DE LA FLECHA
- 15.- TUERCA Y TORNILLO DE CONTACTO
- 16.- TUERCA Y TORNILLO DE CONTACTO
- 17.- ELEVADOR
- 18.- PESO
- 19.- EMPAQUE
- 20.- PASADOR

VALVULA REGULADORA DE DOBLE DISCO DIAMETRO DE 3 A 12

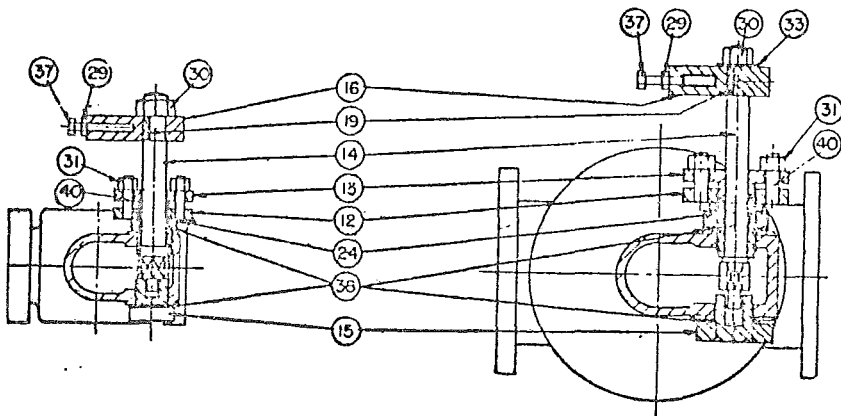
(FIG. T-14A)



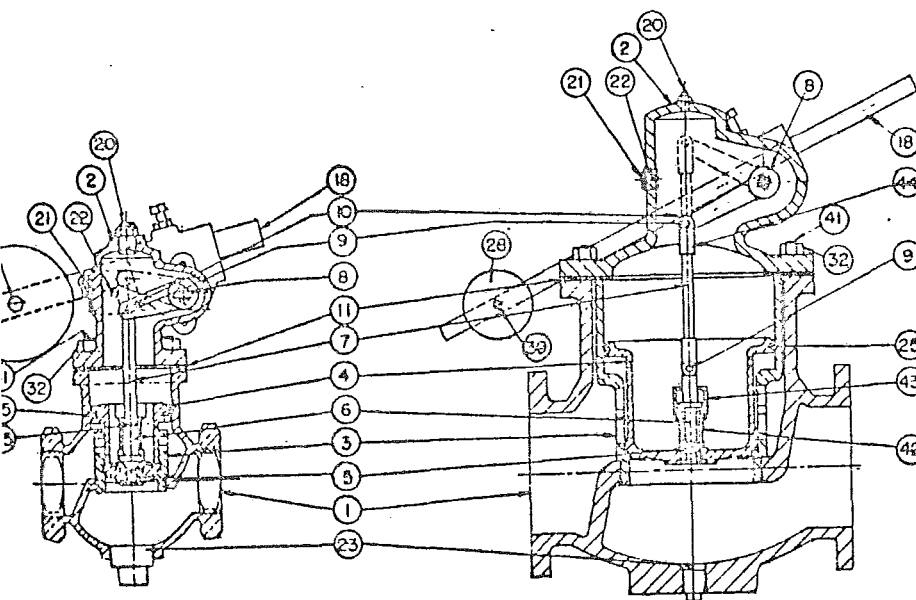
Las válvulas de "B" son de vapor tipo rotatorio. La operación para el encendido puede ser removida por una válvula de gorro. El nivel es mantenido por una tuerca. El nivel de la válvula de doble disco saliente es mantenida por la abrazadera con un seguro. Para el cambio de cualquier disco o de las juntas de asiento, las válvulas deben regresar a la fábrica.

VALVULA TIPO PILOTO EXCITADO.- (FIG. T-15). La válvula se puede instalar en una línea horizontal. Cuando se cierra la válvula, la presión del flujo que sube es aplicada arriba de la válvula de disco principal, poniendo el disco en su lugar. Cuando el operador de nivel es levantado, la válvula piloto se abre y la presión cercana al pistón, es disminuida hasta que la presión del flujo que sube se aplica abajo de un pistón, el cual forma la sección de subida de la válvula de disco, levantando la válvula de disco principal de su lugar. Cesa de subir cuando la válvula piloto se aproxima a su lugar. La presión diferencial a través de la válvula piloto determina la presión de operación del pistón.

Por no atornillar la caja de relleno al gorro, el operador de encendido puede ser removido al lado opuesto. El



- 1.- CUERPO
- 2.- SOMBRERETE
- 3.- ANILLO DE ASIENTO
- 4.- PISTON
- 5.- ASIENTO DE VALVULA PILOTO
- 6.- VALVULA PILOTO
- 7.- VASTAGO
- 8.- ELEVADOR INTERNO
- 9.- PASADOR
- 10.- SEGURO
- 11.- EMPAQUE
- 12.- CAJA
- 13.- CUELLO
- 14.- FLECHA
- 15.- TAPON
- 16.- EXTENSION DEL ELEVADOR
- 18.- ELEVADOR EXTERNO
- 19.- CHAVETA DE SEGURIDAD



- 20.- VENTEO
- 21.- PLACA
- 22.- TORNILLO
- 23.- TAPON
- 24.- EMPAQUE
- 25.- SELLO DE ANILLO
- 28.- CONTRAPESO
- 29.-32.- TUERCAS
- 33.- DISCO DE GOMA
- 35.- PASADOR
- 37.- TAPA DE PERNO
- 38.- DISCO DE GOMA
- 39.- TORNILLO
- 40.- TORNILLO DE CONTACTO
- 41.- TORNILLO DE CONTACTO
- 42.- GUIA DE VALVULA PILOTO
- 43.- TUERCA DE RETEN
- 44.- ABRAZADERA

DIAM. 1" a $2\frac{1}{2}$ "

DIAM. 3"

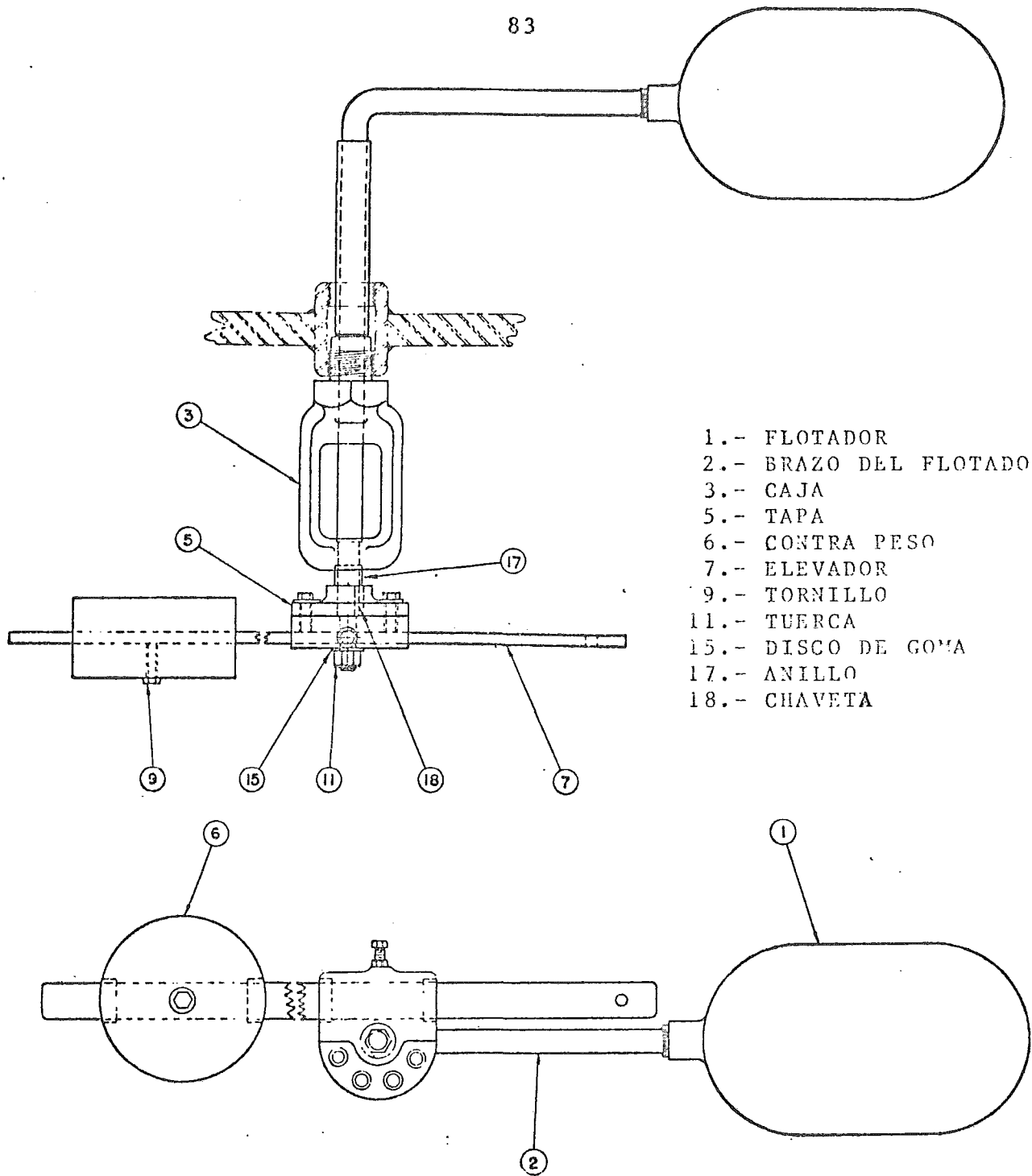
VALVULA TIPO PILOTO EXCITADO
(FIG. T-15)

tope de la válvula de gorro se provée con una salida la cual se abre ocasionalmente para eliminar aire, pero nunca se deja abierta. Si la válvula empieza a agitarse, después de un período de servicio, ésto es prueba de que se ha colectado aire en el gorro, ventilando el gorro se elimina esta condición.

VALVULA CONECTADORA Y REGULADORA DEL CONTROL FLOTADOR.-

(FIG. T-16, T-17). Haciendo subir el nivel en el tanque de almacenamiento a la línea de cerrado y si la caja flotadora es usada abre las válvulas de compuerta, de las líneas igualadoras de vapor, y deja el nivel de agua arriba en la caja flotadora al mismo nivel que en el tanque de almacenamiento. Conectando el flotador de nivel y la válvula de nivel por medio de la varilla alargada. O sea usando el flotador de nivel desde el eje flotador. Mientras el peso del flotador no es afectado por ensamble, trayendo un sistema interno de balance por el movimiento del contrapeso.

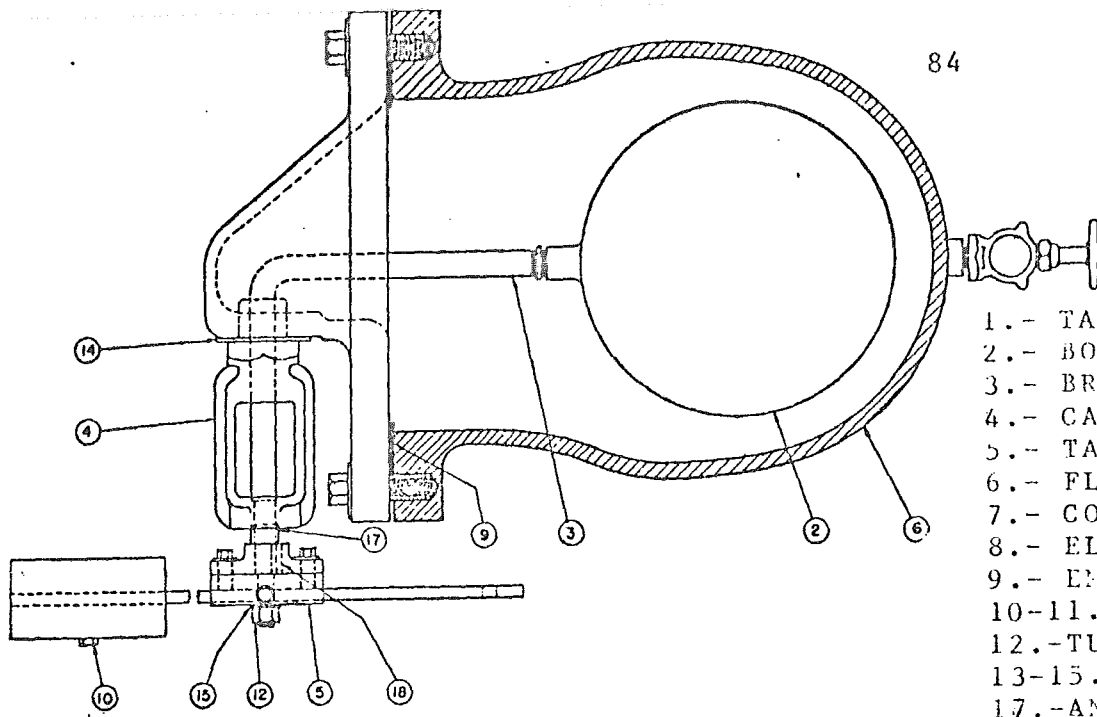
Con agua en el tanque y en la caja flotadora en la línea cerrada, mueve la válvula reguladora a la posición de encendido y asegura el eje flotador de nivel al eje flotador. Ahora con agua todavía en la línea cerrada en el



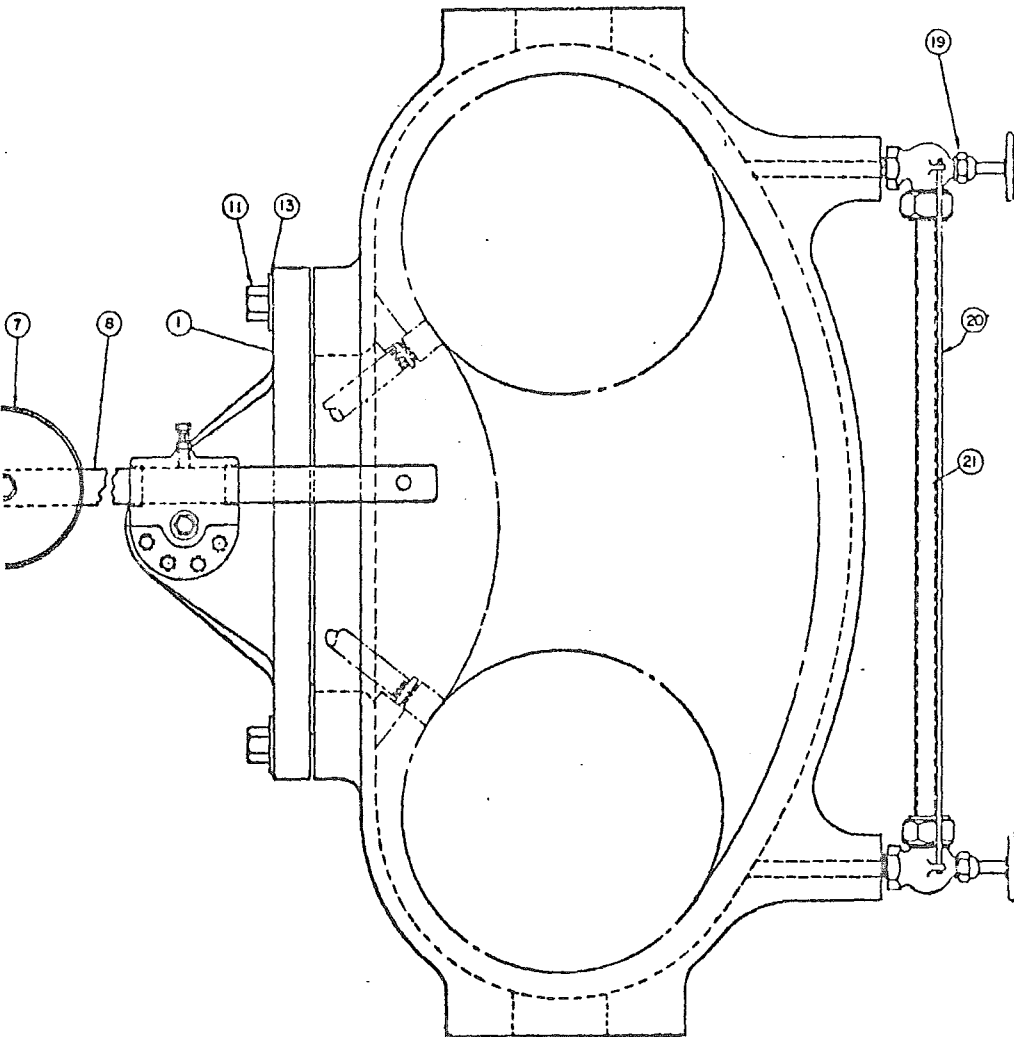
- 1.- FLOTADOR
- 2.- BRAZO DEL FLOTADOR
- 3.- CAJA
- 5.- TAPA
- 6.- CONTRA PESO
- 7.- ELEVADOR
- 9.- TORNILLO
- 11.- TUERCA
- 15.- DISCO DE GOMA
- 17.- ANILLO
- 18.- CHAVETA

CONTROL FLOTADOR INTERNO

(FIG. T-16)



- 1.- TAPA DEL FLOTADOR
- 2.- BOLA DEL FLOTADOR
- 3.- BRAZO DEL FLOTADOR
- 4.- CAJA
- 5.- TAPA
- 6.- FLOTADOR
- 7.- CONTRAPESO
- 8.- ELEVADOR
- 9.- EMPAQUE
- 10-11.- TORNILLO
- 12.- TUERCA
- 13-15.- DISCO DE GOMA
- 17.- ANILLO
- 18.- CHAVETA
- 19.- AJUSTE DEL MEDIDOR
- 20.- BRAZO DEL MEDIDOR
- 21.- MEDIDOR



CAJA DEL FLOTADOR

(FIG. T-17)

tanque almacenador y la caja flotadora coge la válvula reguladora en la posición de cerrado y reacomoda la llave en el perno de nivel y cierra el perno en posición.

VALVULA OPERADORA DE AIRE.- Este tipo de válvula es de obstrucción con un resorte normalmente abierto y es cerrado por la aplicación de presión de aire en la parte superior del diafragma. El control puede estar fuera de la caja flotadora o ser de tipo desplazante y responder a la variación de nivel de agua en el desaerador. En falla de presión de aire esta válvula abre, pero puede ser suplida y cerrarse en falla de presión de aire. El control está localizado junto y en una elevación correspondiente al nivel de trabajo de agua en el desaerador. Las instrucciones para el ajuste de rango en la sensibilidad del control, y el nivel del líquido en el cual el control está operando, están en la cabina de control del equipo. La sensibilidad del control se puede ajustar con respecto a las condiciones de operación y carga en la instalación. Si la sensibilidad del control es también grande, esto es, una acción sonora, la válvula reguladora tenderá a abrir y dar cargas excesivas y constantes, el control será también crítico y oscilando desde abrir to-

talmente, a cerrar o de carga total a no cargar. Esta condición puede evitarse como las fluctuaciones de cargas impuestas en el desaereador por la regulación. La no alimentación demandada resultará en una operación insatisfactoria del equipo y del grado menor de desaereación que el que se obtendrá con una apropiada válvula reguladora de las condiciones instaladas en una condición estable de carga. Si la sensibilidad del control no es suficientemente grande, la válvula reguladora se retardará en la demanda de carga. En el cambio de baja alimentación a una alta, de mucha a toda la capacidad de almacenamiento, se da si el control no es suficientemente sensible. En el cambio desde una demanda pesada hasta la falta de ésta, el control podrá retardar o extender hasta que el sobreflujo sea excedido. La sensibilidad del control se podrá ajustar cuando ninguna carga momentánea surja; pero ninguna carga permanente cambiará anticipadamente, en suficiente tiempo para prevenir un peligroso desagüe de la capacidad de almacenamiento o de una condición de sobreflujo.

VALVULA DE ALIVIO.- En conjunto dará protección del exceso de presión en el desaereador, particularmente cuando el desaereador está fuera de servicio y temiendo re-

tornos de alta presión no estando apagado. El desaereador y los sistemas de vapor en total, serán protegidos de excesos de presión por medio de válvulas de alivio de alta capacidad. La válvula de alivio puede operarse en forma manual ocasionalmente y mientras se enciende el desaereador. Esto servirá como un chequeo para indicar el movimiento y la operación apropiada de la válvula.

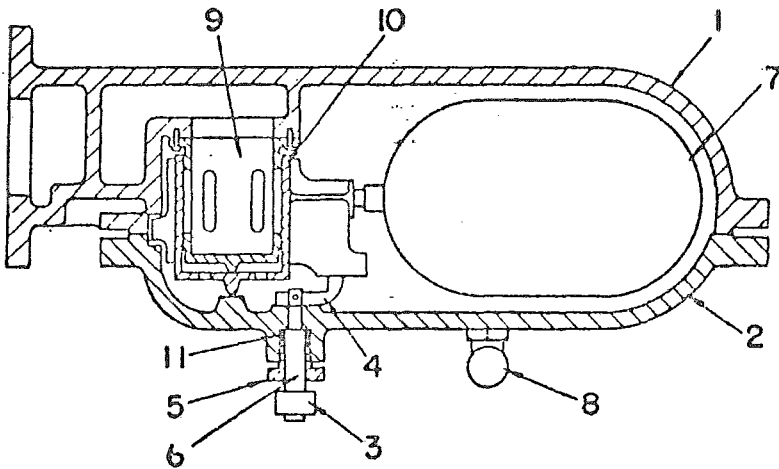
PROTECTOR DE SOBREFLUJO.- El desaereador está provisto con protecciones de sobreflujo como son, un desagüe, una trampa de sobreflujo de disco, un anillo sellador de sobreflujo o una válvula operadora de aire. Este nivel está determinado por la elevación del sello de derrame, o del tubo del sobreflujo dentro del tanque de almacenamiento.

Se debe notar que ya sea que el sobreflujo esté caliente o no, va a dar al desagüe, ninguna válvula deberá estar colocada en la línea de descarga. Una válvula cerrada en la descarga de sobreflujo permitirá que el nivel de agua en el desaereador cimentara un sobreflujo dentro de la línea de entrada de vapor, con el resultado probable de producir un daño en los suplidores auxiliares de vapor.

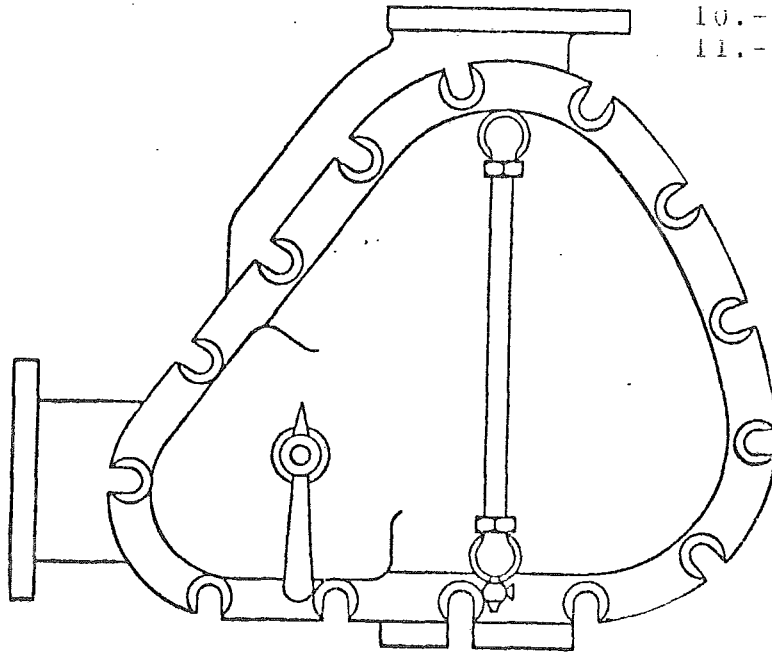
Cuando la sobre carga de sobreflujo va al drenaje se "produce" una gran cantidad de vapor por flasheo, si la descarga es de una conexión abierta al desagüe, existe la posibilidad de que produzca vapor por flasheo. Por esta razón se recomienda la instalación de un tanque para recibir la descarga.

DESAGUE.- (FIG. T-18). El agua en el sobreflujo entra en el desagüe e incrementa la flotación, esto abre la válvula rotatoria. La válvula permanece abierta mientras el agua en el cuerpo del desaerador baja, esto es drenado, con lo que decae el nivel y se cierra la válvula.

Se debe tener cuidado y checar que la línea de sobreflujo este libre de residuos antes de instalar el desagüe. Este se instala con la elevación del tope del desagüe debajo del nivel de sobreflujo. Periódicamente se debe limpiar el desagüe o se debe probar dejando operar al sobreflujo para asegurar que la válvula este libre. Cuando este tipo de control está cerrado, una pequeña cantidad de vapor saldrá, esto es normal.



- 1.- CUERPO
- 2.- CUBIERTA
- 3.- ELEVADOR DE LA VALVULA DE CONTACTO
- 4.- VALVULA DE CONTACTO
- 5.- CUELLO
- 6.- FLECHA DE LA VALVULA DE CONTACTO
- 7.- FLOTADOR
- 8.- MEDIDOR
- 9.- VALVULA ESTACIONARIA
- 10.- ASIENTO DE LA VALVULA
- 11.- ENPAQUE



DESAGUE

(FIG. T-18)

TRAMPA DE SOBREFLUJO DE DOBLE DISCO. (FIG. T-19).

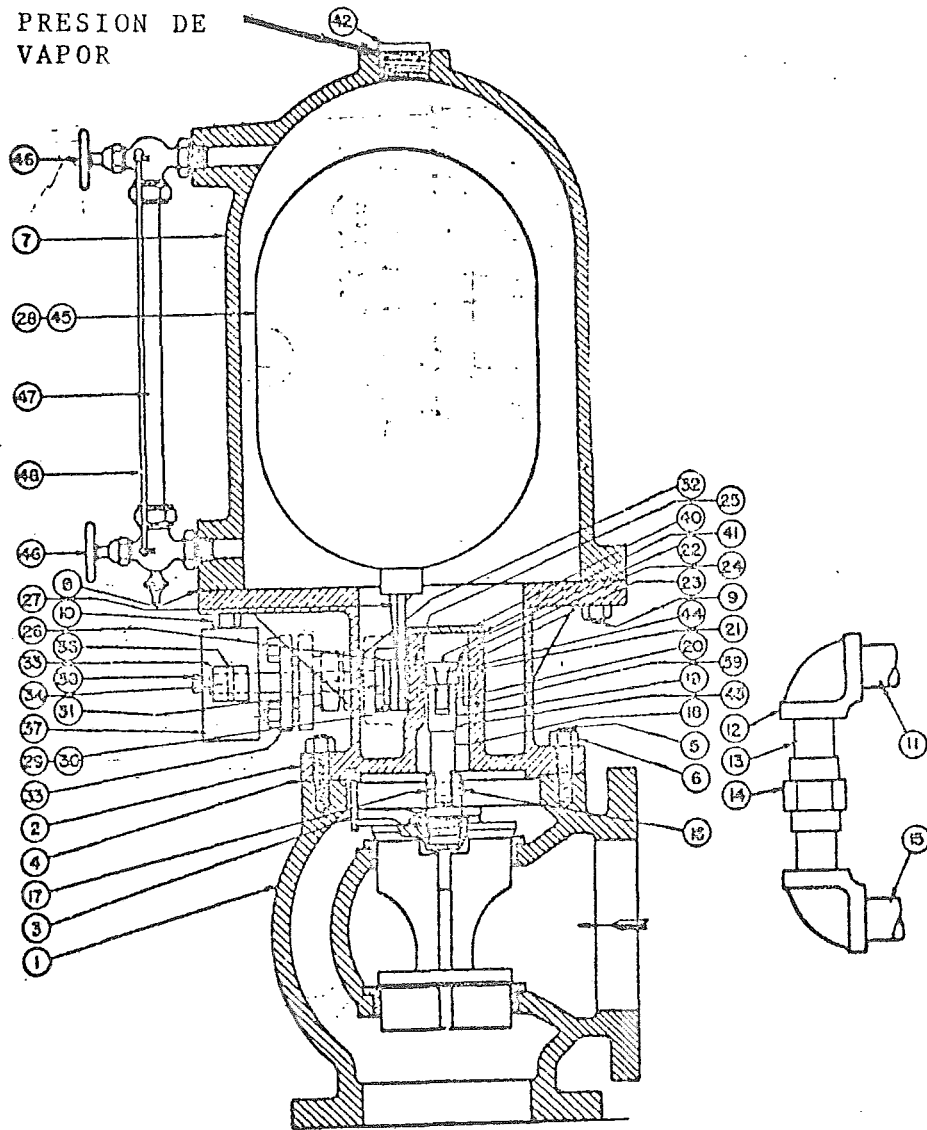
La construcción de esta válvula es similar al tipo correspondiente de válvula reguladora. Se debe tener cuidado de ver que la línea de sobreflujo este libre de objetos antes de instalar la trampa, la cual tendrá una elevación del tope de la cámara de flotación debajo del nivel del sobreflujo. El tope de la cámara flotadora es igual al espacio de vapor de la cámara por la cual se toma el sobreflujo; el fondo de la cámara flotadora es igualado a través de un tubo al lado de alta presión de la válvula.

Periódicamente la trampa será vaciada o se operará el equipo de sobreflujo para asegurar que la válvula esté libre. Cuando este tipo de sobreflujo está cerrado sale una pequeña cantidad de vapor, esto es normal.

ANILLO DE SELLO DE SOBREFLUJO.- Cuando la presión a la cual el desaerador opera es constantemente baja (no más de 5 psi.), es conveniente usar este equipo. El nivel está determinado por la localización del extremo del derrame de sobreflujo del tubo vertical. Este equipo se puede llenar a través de una línea separada de agua fría la cual puede estar permanentemente instalada.

A veces la presión dentro del tanque puede ser exce-

ECUALIZADOR DE
PRESION DE
VAPOR



- 1.- CUERPO
- 2.- SEPARADOR
- 3.- POSTE
- 4.- EMPAQUE
- 5.- TORNILLO DE CONTENSIÓN
- 6.- TUERCA
- 7.- CAMARA DEL FLOTADOR
- 8.- EMPAQUE
- 9.- TORNILLO DE CONTENSIÓN
- 10.- TUERCA
- 11-13-15.- NIPLE
- 12.- CODO
- 14.- UNION
- 16-17.- PASADOR
- 18.- TRANSMISION
- 19.- ABRAZADERA
- 20-21.- PASADOR
- 22.- ELEVADOR INTERNO
- 23.- CASQUILLO
- 24.- ESPACIADOR
- 25.- CASQUILLO
- 26.- ELEVADOR DEL FLOTADOR
- 27.- BRAZO DEL FLOTADOR
- 28.- FLOTADOR
- 29.- DISCO DE GOMA
- 30.- PASADOR
- 31.- ESPACIADOR
- 32.- EMPAQUE
- 33.- CAJA
- 34.- FLECHA
- 35-37.- CONTRAPESO
- 36.- PASADOR
- 38.- TORNILLO
- 39.- ATORNILLADOR
- 40.- SOBREPILATO
- 41.- EMPAQUE
- 42.- CASQUILLO
- 43.- PASADOR
- 44.- TUERCA
- 45.- CASQUILLO FLOTADOR
- 46.- AJUSTE DE MEDIDOR
- 47.- MEDIDOR
- 48.- BRAZO DE MEDIDOR

TRAMPA DE SOBREFLUJO DE DOBLE DISCO

(FIG. T-19)

siva y causar que el sello sea inflado. El equipo es drenado mientras no hay presión en el tanque así como mientras el desaereador es puesto en servicio o cuando el sello sea inflado. El tope de la base del sello de agua debe ventearse a la atmósfera.

VALVULA OPERADORA DE SOBREFLUJO DE AIRE.- Esta válvula operadora de diafragma utiliza un resorte normal para abrir la válvula, la cual es cerrada por la aplicación de aire en el diafragma, en operación de niveles normales en la sección de almacenamiento del desaereador la válvula permanece cerrada. Un incremento en el nivel de agua arriba de la tubería en el tanque de almacenamiento permite que el flujo de agua caiga en la tubería de un conector energizado normal. Ese incremento de nivel en el encendido de la cámara de flotación, incrementa la flotación lo cual cambia la deenergización de la válvula solenoide; y admite el aire por el diafragma abriendo y cerrando la válvula así como encerrando el aire al diafragma.

SEPARADOR DE ACEITE.- Cuando el vapor de repuesto del desaereador esta contaminando con aceite, lo cual es pro-

bable si el vapor es tomado de una línea agotadora de máquinas reciprocantes, es admisible usar un separador de aceite. El aceite puede interferir a la desaereación y es perjudicial ya que contamina el agua de alimentación. Se debe instalar el separador a una distancia mayor de 6 diámetros. El desagüe del separador puede descargar dentro de la línea de sobreflujo, en la parte superior del anillo, en la base donde sube el flujo, o en un desagüe separado.

TERMOMETROS.- Estos son del tipo indicador, en el espacio de desaereación indica la temperatura del vapor y la temperatura del agua en la sección de almacenamiento. El termómetro de agua tiene un bulbo colocado dentro de la sección de almacenamiento de agua. El termómetro de vapor está protegido y su bulbo está solamente en contacto con el vapor. La escala o rango de estos termómetros depende de las características de operación instalada. Los termómetros son de tipo hueco separable, los termómetros son conectados a los sockets por conexiones de unión. Los termómetros sirven para checar la desaereación. El termómetro de agua debe registrar una temperatura que difiere 1 ó 2 grados, del termómetro medidor de temperatura de vapor.

MEDIDORES DE PRESION.- Los medidores de presión son del tipo bordón e indican la presión de vapor en el desareador.

SERVICIOS ESPECIALES.- Se pueden tener alarmas switch para alto y bajo nivel. Estas alarmas son usadas en conjunto y se deben de planear para no exceder el nivel alto o bajo.

B) DESAERADORES AL VACIO.

Los desaeradores al vacío se pueden clasificar como sigue:

I) DESAERADORES DE AGUA FRIA:

- 1.- HORIZONTAL: a) Con Charolas
 b) Sin Charolas (fig. T-20)
- 2.- VERTICAL: (fig. T-21)
- 3.- EMPACADO: (fig. T-22, T-22A)

II) DESAERADORES DE AGUA SOBRE CALENTADA:

- 1.- HORIZONTAL: a) Con Charolas
 b) Sin Charolas (fig. T-23)
- 2.- VERTICAL: (fig. T-24)
- 3.- EMPACADO: (fig. T-22, T22A)

III) DESAERADORES TIPO MEZCLA:

- 1.- HORIZONTAL (fig. T-25)
- 2.- VERTICAL (fig. T-26)

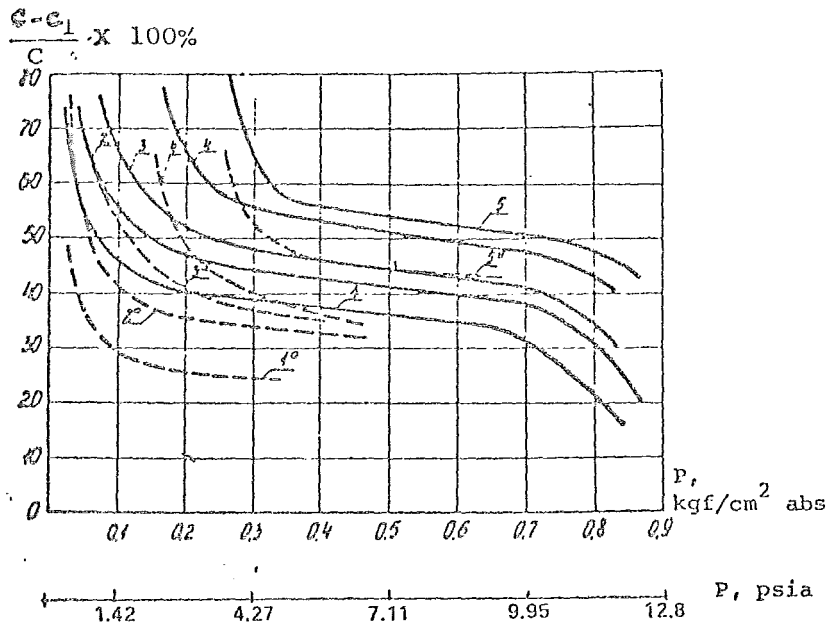
Puesto que la solubilidad del oxígeno, nitrógeno y bióxido de carbono son cero al punto de ebullición del

agua, el agua fría puede desaerarse si se reduce la presión hasta que hierva. Esto se lleva a efecto pasándola a través de un desaerador al vacío. Se desaerea el agua para obtener un contenido mínimo similar al que se obtiene con otros equipos. El contenido de oxígeno residual varía en diferentes aplicaciones.

CONSTRUCCION DE DESAERADORES AL VACIO.

Características del proceso desgasificación de agua en vacío.

En los desaeradores a vacío el equilibrio de la solubilidad entre el agua y la fase vapor se establece durante la formación y el paso de las burbujas de gas y la difusión de este a través de la interfase. Lo primero en este proceso se lleva a cabo con la máxima intensidad, bajo condiciones apropiadas, arriba del 90% de gases disueltos en agua puede ser removido. La formación de burbujas de gas se lleva a cabo en el momento en que la suma de las presiones parciales de todos los gases disueltos y el vapor igualan o exceden la presión dentro del líquido. Esto puede efectuarse al bajar la presión o aumentar la temperatura. Si una gran cantidad de gases están disueltos en el líquido, la formación de las burbujas se lleva a cabo

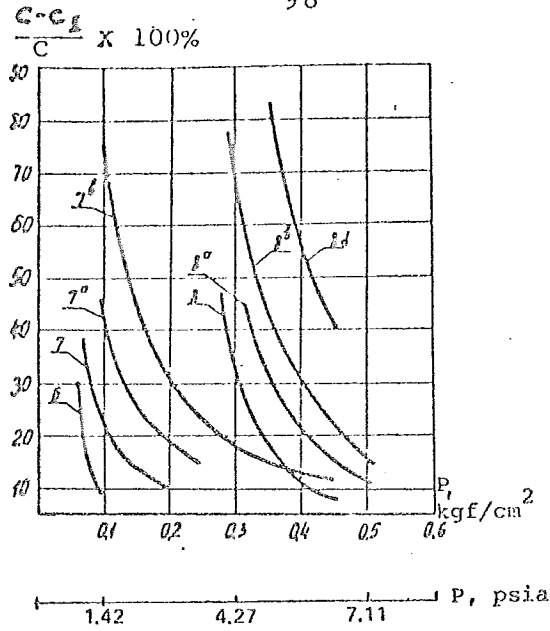


OXIGENO

(a)

(T-1)

$t=15 \text{ C (59F): (1) } C= 7.6-15.4; (1a) C= 1.9-6.0$
 $t=30 \text{ C (86F): (2) } C= 7.5-14.9; (2a) C= 3.5-6.8$
 $t=40 \text{ C (104F): (3) } C= 6.1-11.2; (3a) C= 1.75-5.1$
 $t=60 \text{ C (140F): (4) } C= 3.7-10.6; (4a) C= 1.2-2.9$
 $t=70 \text{ C (158F): (5) } C= 3.7-11.8; (5a) C= 1.3-3.6$



CO₂

(b)

t=30 C (86F): (6) C= 2.5-24.2
 t=40 C (104F): (7) C= 2-26; (7a) C= 33-94; (7b) C= 112-548
 t=70 C (158F): (8) C= 4.6-27; (8a) C= 30-92; (8b) C= 100-204;
 (8d) C= 211-600

TABLA (T-1)

NOTA: C y C₁ ES LA CONCENTRACION DE GASES EN EL AGUA A LA ENTRADA Y EN EL PRIMER PLATO, RESPECTIVAMENTE. CONCENTRACION EN P.P.M.

(T-1) DEPENDENCIA DEL PRIMER EFECTO EN LA PRESION ABSOLUTA (P) Y LA TEMPERATURA (T) DE ENTRADA DE AGUA DURANTE EL REMOVIMIENTO DE (a) OXIGENO; (b) CO₂.

antes de que la ebullición comience.

Cuando el agua entra en el desaereador a vacío, instantáneamente la mayor separación de los gases del agua se lleva a cabo, esto es llamado primer efecto. Si se ven los datos experimentales dados, (tabla T-1) los factores que determinan el primer efecto son: la presión en el desaereador, la temperatura original del agua y la concentración inicial en ella.

Después del primer efecto, una cierta cantidad de burbujas, así como gas disuelto, permanece en el agua. El remover completamente estos residuos produce serias dificultades.

REQUERIMIENTOS DE UNA BUENA DESGASIFICACION.

Para asegurar una buena desgasificación, el desaereador a vacío debe satisfacer los siguientes requerimientos.

1.- El desaereador puede ser de operación continua y por esto, con cada paso debería no haber circulación de corrientes, lo que podría dejar pasar agua sin tratamiento dentro de la línea. No debería haber zonas estancadas dentro del desaereador, con respecto al agua o con respecto al vapor.

2.- Sobre la parte de entrada del desaereador entre vapor y agua, deben estar a completo flujo a contra corriente, lo cual dará una próxima diferencia entre la presión de equilibrio o del gas en el agua y su presión parcial sobre el agua.

3.- Para obtener un estado continuo de desgasificación del agua tratada, el desaereador debe de ser ventilado por la cantidad necesaria de vapor, conteniendo la mínima cantidad de gases.

4.- El agua desaereada, especialmente en los últimos pasos puede tratarse repetidamente con vapor asegurando una máxima superficie de contacto entre las fases.

5.- Se deben proveer las condiciones dentro del desaereador para que las burbujas de gas más pequeñas sean removidas.

6.- La temperatura del agua desaereada debe corresponder totalmente a la presión absoluta en el desaereador.

7.- La desaereación del agua en el último paso debe ser

tan rápida como sea posible, siendo completado a una temperatura más alta que la temperatura de saturación correspondiente a la presión del vapor en el desaerador. Esto debería asegurar futuras desgasificaciones del agua durante el efecto de evaporación.

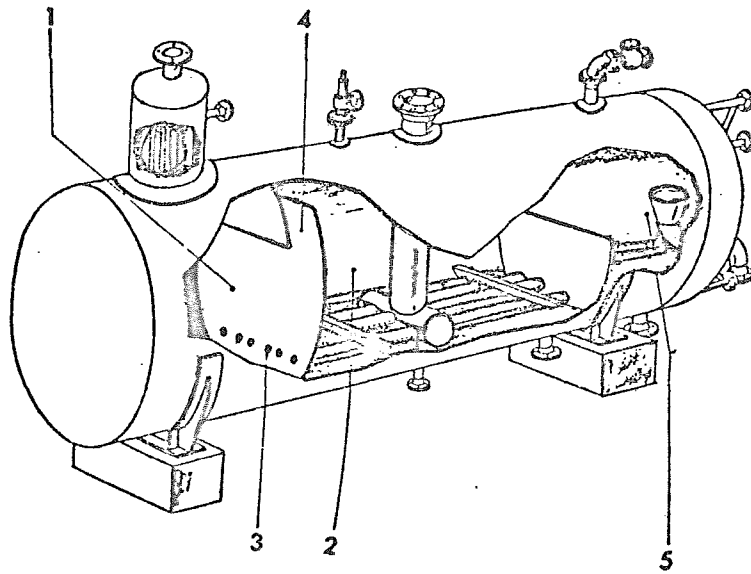
8.- Se deben evitar las posibilidades de recontaminación del agua por oxígeno o CO_2 .

DESAERADOR DE AGUA FRÍA.

La desgasificación en estos aparatos se lleva a cabo en agua en la cual su temperatura es menor que su temperatura de saturación, correspondiente a la presión en el desaerador.

El proceso de desaeración se lleva a cabo principalmente durante el primer efecto, para sacar los gases remanentes en el agua después del primer efecto son usuales las torres de vacío empacadas. La altura del empacado es de 5--→8 m. Los desaeradores deben estar equipados con servicios de expansión de vacío para mantener debajo de 0.02 Kg/cm^2 ó 0.3 psi .

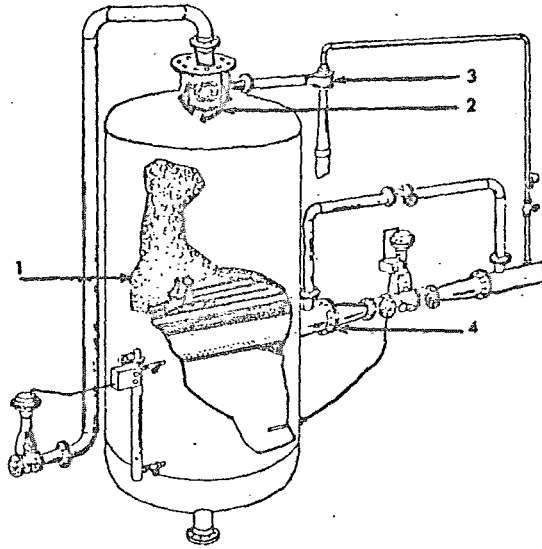
En este tipo de sistema, una buena ventilación del aparato y la turbulencia del agua son necesarias, especial-



- 1.- COMPARTIMIENTO DE CALEFACCION.
- 2.- COMPARTIMIENTO DE EBULLICION.
- 3.- ORIFICIOS CALIBRADOS.
- 4.- PASO EN ZIGZAG.
- 5.- COMPARTIMIENTO DE SALIDA DE AGUA DESGASIFICADA.

DESAERADOR HORIZONTAL SIN CHAROLAS.

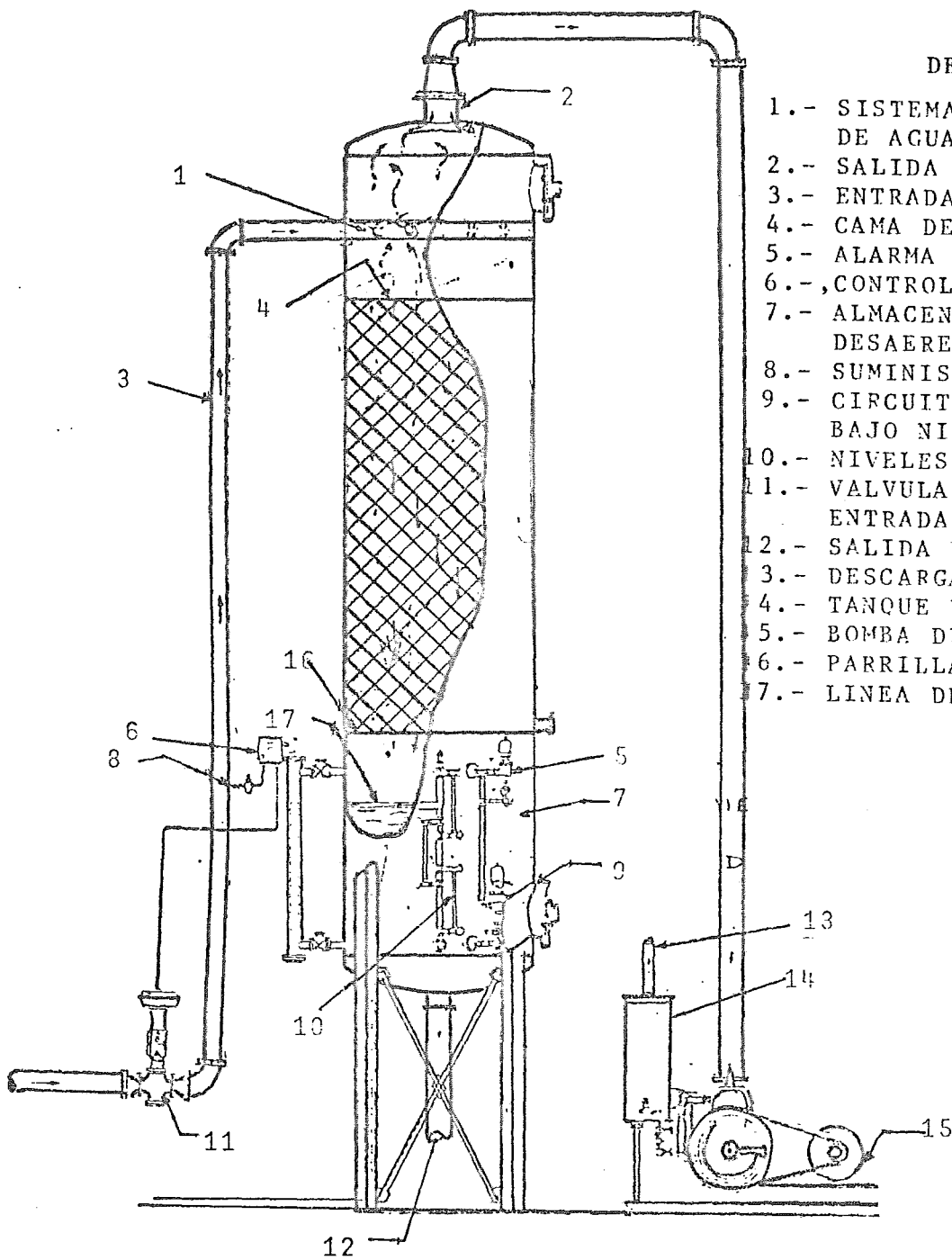
(FIG. T-20)



- 1.- CASCADA DE AGUA
- 2.- ESPREADOR
- 3.- EYECTOR
- 4.- ENTRADA DE VAPOR

DESAERADOR VERTICAL.

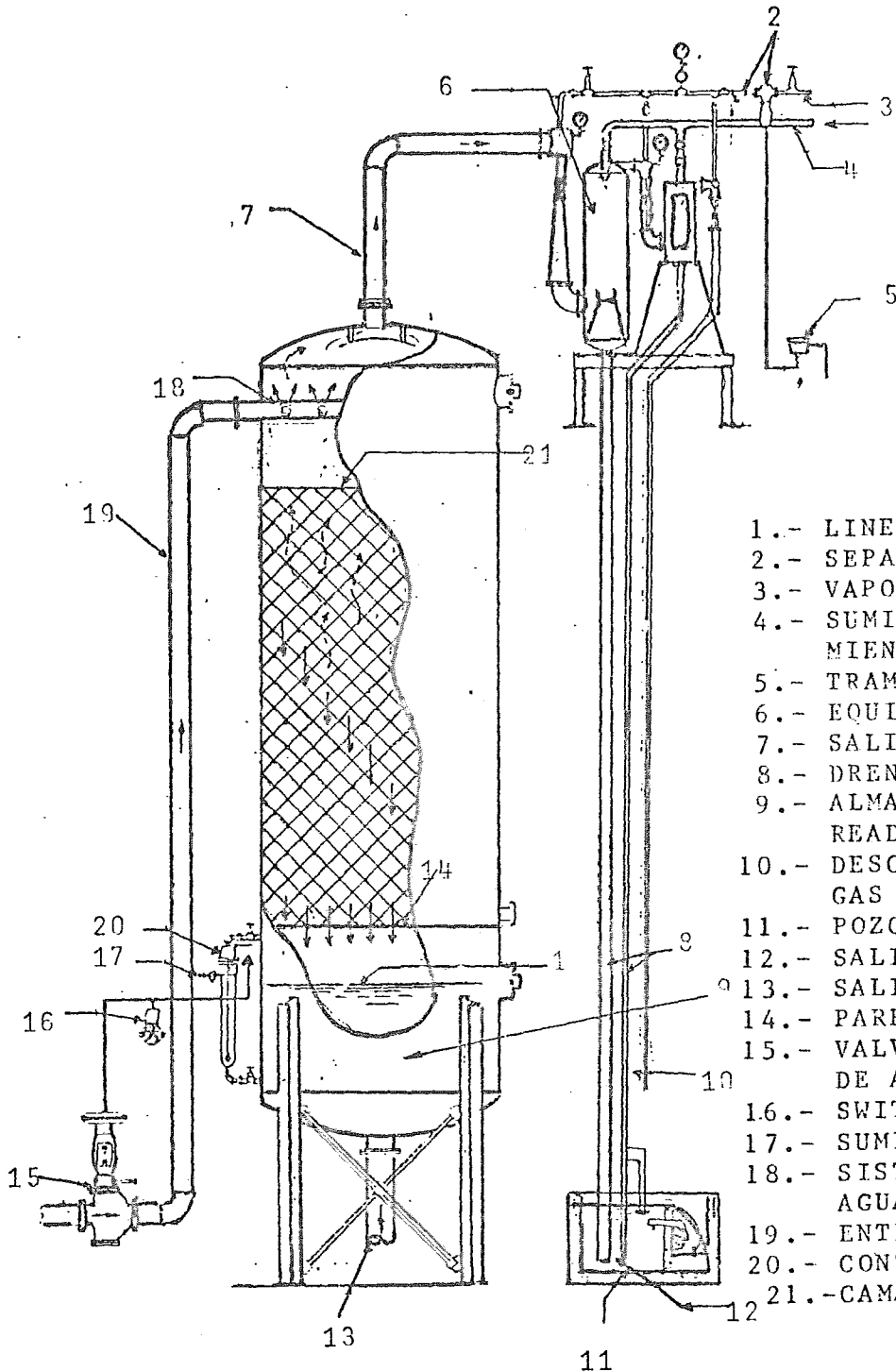
(FIG. T-21)



DESCRIPCION

- 1.- SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA
- 2.- SALIDA DE GAS Y VAPOR
- 3.- ENTRADA DE AGUA
- 4.- CAMA DE ANILLOS RASCHING
- 5.- ALARMA DE ALTO NIVEL
- 6.- CONTROLADOR DE NIVEL
- 7.- ALMACENAMIENTO DE AGUA DESAERADA
- 8.- SUMINISTRO DE AIRE
- 9.- CIRCUITO DE CORTE PARA BAJO NIVEL
- 10.- NIVELES DE CRISTAL
- 11.- VALVULA DE CONTROL DE ENTRADA DE AGUA
- 12.- SALIDA DE AGUA DESAERADA
- 13.- DESCARGA DE LA BOMBA
- 14.- TANQUE DE SEPARACION
- 15.- BOMBA DE VACIO
- 16.- PARRILLA
- 17.- LINEA DE AGUA

DESAERADOR AL VACIO
(CON BOMBA DE VACIO)
(FIG. T-22)



DESCRIPCION

- 1.- LINEA DE AGUA
- 2.- SEPARADOR DE VAPOR Y CALDERA
- 3.- VAPOR DE OPERACION
- 4.- SUMINISTRO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO A PRESION
- 5.- TRAMPA DEL DRENAJE
- 6.- EQUIPO DEL EYECTOR DE VAPOR
- 7.- SALIDA DE GAS Y VAPOR
- 8.- DRENAJES
- 9.- ALMACENAMIENTO DE AGUA DESAERADA
- 10.- DESCARGA A LA ATMOSFERA DE GAS Y VAPOR
- 11.- POZO DE DRENAJE
- 12.- SALIDA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
- 13.- SALIDA DE AGUA DESAERADA
- 14.- PARRILLA
- 15.- VALVULA DE CONTROL DE ENTRADA DE AGUA
- 16.- SWITCH ACTUADO POR PRESION
- 17.- SUMINISTRO DE AIRE
- 18.- SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA
- 19.- ENTRADA DE AGUA
- 20.- CONTROLADOR DE NIVEL
- 21.-CAMA DE ANILLOS RASCHING

DESAERADOR AL VACIO
(CON EYECTOR DE VAPOR)
(FIG. T-22A)

mente en el último paso. La desaereación se lleva a cabo por un cambio molecular y en consecuencia se obtiene un bajo coeficiente de desorción.

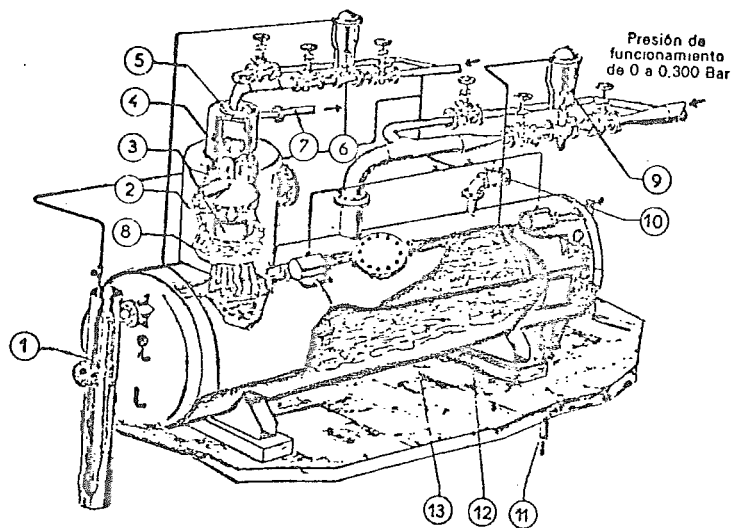
El contacto interfacial en este tipo de aparatos está determinado solamente por la superficie geométrica del empaque. De hecho la concentración residual de oxígeno en el agua para estos desaereadores debe estar entre 0.1 ppm. --->1.0 ppm, dependiendo de la temperatura, el vacío y la altura del empaque.

Ciertos mejoramientos en la calidad del agua desaereada en este tipo de aparatos se pueden hacer para usar varios pasos de vacío, la desaereación es también posible por disorción física por gases inertes o naturales previniendo que no contengan oxígeno y CO_2 .

DESAEREADOR DE AGUA SOBRE CALENTADA.

El agua entra sobrecalentada con respecto a la temperatura de saturación correspondiente a la presión en el desaereador. Una parte considerable de los gases son removidos durante el primer efecto, y los gases que quedan en el desaereador pasa dentro de un condensador tipo venteo localizado antes del vacío proyectado.

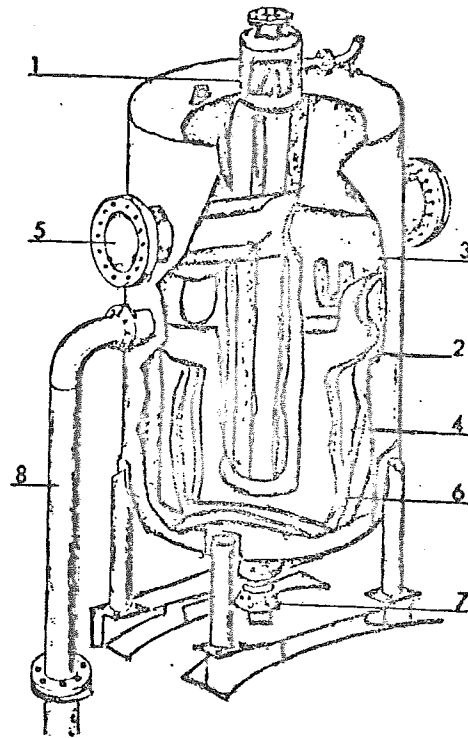
La concentración del oxígeno en el agua después de



- 1.- SELLO DE SOBRE FLUJO
- 2.- DESAERADOR
- 3.- SALIDA CENTRAL
- 4.- ESPREADORES
- 5.- ANILLO
- 6.- VALVULA DE CONTROL DE AGUA
- 7.- SALIDA DE VENTEO
- 8.- PLATO PERFORADO
- 9.- VALVULA DE CONTROL DE VAPOR
- 10.- ROMPEDOR DE VACIO
- 11.- SALIDA DE AGUA DESAERADA
- 12.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- 13.- DISTRIBUIDOR EN EL SENO DEL LIQUIDO

DESAERADOR HORIZONTAL SIN CHAROLAS.

(FIG. T-23)



- 1.- ESPREADORES
- 2.- CAMARA DE EBULLICION
- 3.- PLATO
- 4.- TUBERIA
- 5.- DISTRIBUIDOR DE VAPOR
- 6.- DIFUSOR
- 7.- TUBO DE DESAGUE
- 8.- ECUALIZADOR DE PRESION

DESAREADOR VERTICAL
(FIG. T-24)

abandonar el agua sobrecalentada en el desaereador, depende principalmente la velocidad específica del flujo de vapor y de la presión absoluta en el aparato (tabla T-2).

Como resultado de investigaciones se ha encontrado que las presiones en el desaereador de 0.1 a 0.3 Kg/cm^2 (1.4 a 4.3 psi), el agua que entra en el desaereador debería ser calentada de 6 a 10°C cerca del punto de ebullición.

El uso de los desaereadores de agua sobrecalentada está restringido debido a las siguientes desventajas:

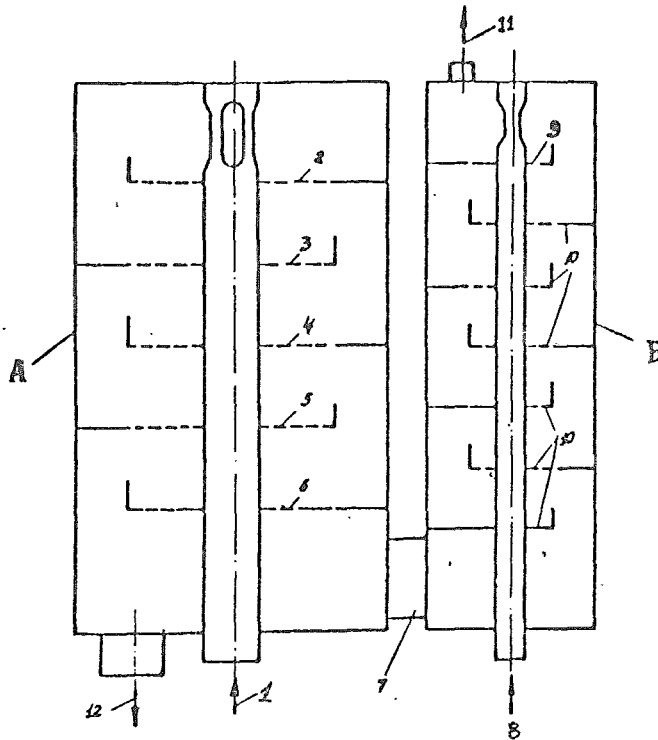
1.- La necesidad de precalentadores de agua no desaereada, los cuales están sujetos a severa corrosión.

2.- La necesidad de una gran superficie en los condensadores de venteo.

3.- La ausencia de buena ventilación en el aparato y el tratamiento posterior del agua después de abandonar el desaereador. Como resultado la intensidad de la desgasificación decrece y un removimiento completo de CO_2 no puede ser mantenido.

Desaereadores en un solo paso de agua sobrecalentada, Está comprendido por dos columnas (fig. T-27), teniendo cierta aceptación durante años recientes.

En estos sistemas el agua de alimentación que abandona



- 1.- ENTRADA DE AGUA CALIENTE
- 2-6,9-10.- PLATOS PERFORADOS
- 7.- TUBERIA DE BYPASS
- 8.- ENTRADA DE AGUA FRIA
- 11.- SALIDA DE GASES DEL EYECTOR
- 12.- SALIDA DE AGUA DESAEREADA

DESAERADOR DE AGUA SOBREALENTADA DE UN PASO.

(FIG. T-27)

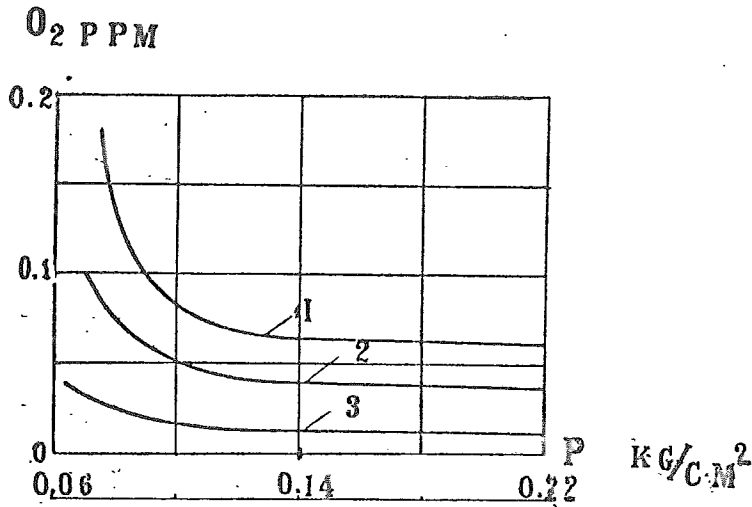


TABLA T-2

DEPENDENCIA DE LA CONCENTRACION DEL OXIGENO EN AGUA (DESPUES DEL DESAERADOR DE AGUA SOBREALENTADA), CON LA PRESION ABSOLUTA Y LA VELOCIDAD DEL VAPOR.

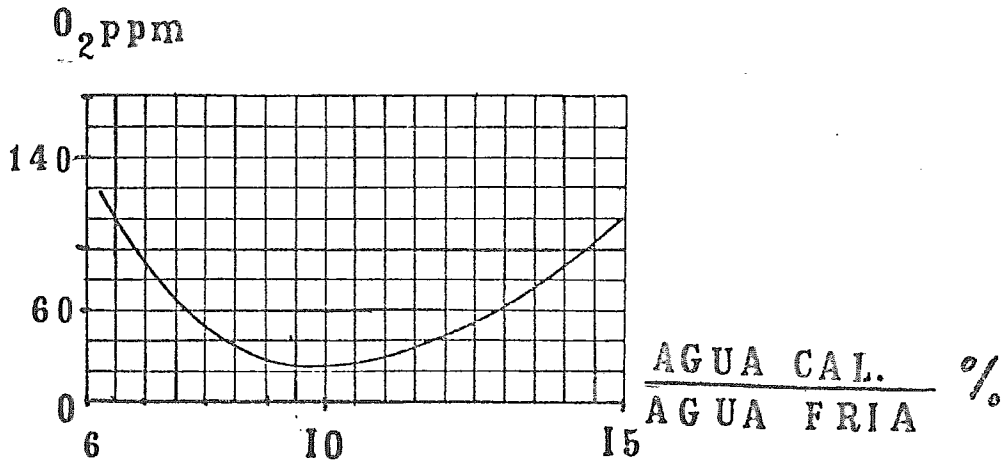


TABLA T-3

DEPENDENCIA DE LA CONCENTRACION RESIDUAL DE OXIGENO EN EL AGUA DESAERADA EN EL RANGO DE FLUJOS CALIENTE Y FRIO EN DESAERADORES DE AGUA SOBREALENTADA, DE UN PASO CON CAPACIDAD DE 80 ton/hr (1.76 X 10⁶ lb/hr).

la planta de ablandamiento, es dividida en dos flujos. Uno de los flujos (90%), es calentado en un precalentador arriba de $75 \rightarrow 80^{\circ}\text{C}$ y es alimentado en la columna caliente (A). El otro flujo (10%) de $20 \rightarrow 25^{\circ}\text{C}$ pasa la columna (B) del desaerador. El vapor para la columna caliente es condensado por contacto con el agua en la columna fría, la concentración residual de oxígeno es de 0.03 ppm. \rightarrow 5 ppm, es mantenida cuando la relación de los flúidos frío y caliente está entre $8 \rightarrow 12\%$ (tabla T-3). Un cambio en esta relación, y también la baja de temperatura en el flujo a 80°C provoca un deterioro en la calidad de agua requerida. El removimiento de CO_2 en el desaerador no puede ser mantenido.

La desventaja de este desaerador es, que el flujo concurrente de agua y vapor en la columna caliente de agua y vapor en la columna caliente baja la intensidad de desgasificación. Debido a esto es necesario incrementar el número de platos y la altura del aparato, el cual puede alcanzar 6 metros. Consecuentemente, la cantidad de metal para el desaerador baja o incrementa el costo.

DESAERADORES TIPO MEZCLA. (FIG. T-25, T-26)

En este aparato el agua es calentada a la temperatura

de saturación correspondiente a la presión de vapor.

La interacción entre el vapor y el líquido en el equipo se ve afectada por dos métodos.

1.- Distribución del líquido en el vapor (película, jet y empacado.

2.- La distribución de vapor en el líquido (burbujeo).

Los aparatos del primer tipo no tienen alta eficiencia de desgasificación, bajo condiciones normales de trabajo. Solamente cuando la turbulencia es elevada (aproximadamente a la condición de ebullición) se puede mantener una substancial transferencia de masa. Sin embargo las condensaciones de cada entrada son inestables y son posibles solamente sin un cercano rango de vapor y líquido.

En aparatos del segundo tipo, la superficie de contacto de las fases aumenta. Si la superficie del aparato, la película y el empacado cambia de $50 \text{ m}^2 \rightarrow 500 \text{ m}^2/\text{m}^3$, en volúmen del aparato, en caso de aparatos de burbujeo los valores de este rango son de $670 \rightarrow 1500 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Cuando una capa turbulenta de espuma móvil se forma en el plato de burbujeo, la desgasificación procede por el camino de difusión turbulenta y por la extracción de burbujas gaseosas por el flujo de vapor.

Al mismo tiempo, repite el sobrecalentamiento y ebu-

llición del agua. Finalmente, los coeficientes de transición de masa y calor son incrementados.

Sin embargo, el uso del método del burbujeo por si solo en desaeradores de tipo mezclado es imposible en la práctica. Esto se debe a que a la temperatura del agua que entra, la ebullición planeada debe ser cercana a la temperatura correspondiente a la presión en el desaerador. De otra manera, la operación hidrodinámica de estado estacionario de la ebullición planeada es perturbada y la efectividad de el proceso de desgasificación decrece. Es necesario usar una construcción de dos pasos en la cual el principal calentamiento y una desgasificación parcial se realiza en el primer paso, mientras el calentamiento final a la temperatura de saturación y una perfecta y estable desgasificación de agua se lleva a cabo en el mantenimiento del burbujeo.

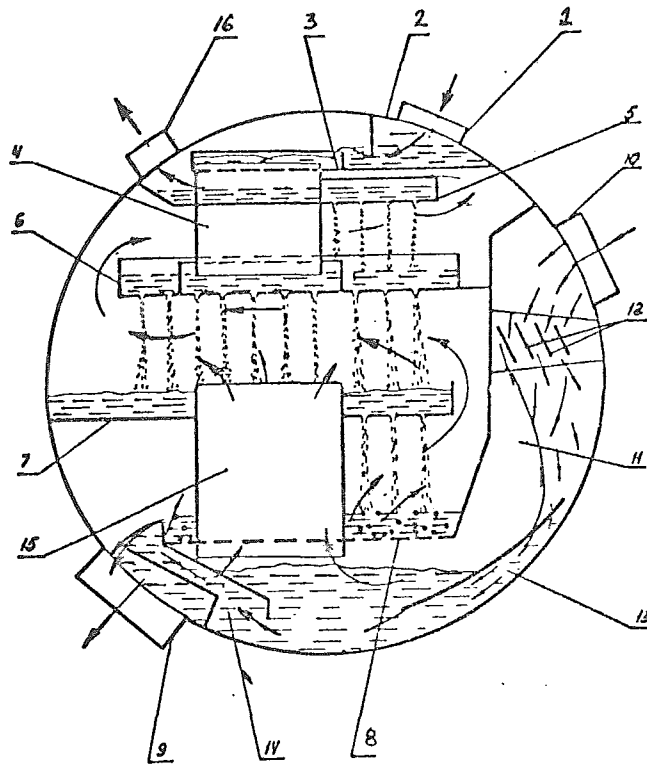
PARAMETROS.

Presión absoluta $0.075 \rightarrow 0.5 \text{Kg/cm}^2$ (1.07 \rightarrow 7.11 psia)
variación del rango carga 30 a 120% de la capacidad nominal; variación en el incremento de temperatura del agua del 5 a 25°C, y la concentración residual de oxígeno en el agua desaerada, no mayor de 0.03 ppm para el agua

de alimentación y no mayor de 0.05 ppm de agua de repuesto. Después de la desaereación está libre el CO_2 , si su concentración inicial no es mayor de 20 ppm, la alcalinidad de los bicarbonatos no menor de 10 ppm. Este desaereador usa el vapor del agua sobrecalentada como medio de calentamiento.

Las divisiones principales usadas en series de desaereadores a vacío con capacidades de 400--→3200t/hr se muestran en la figura (T-25).

El desaereador tiene la forma de un cilindro dos pasos de desgasificación y el condensador de venteo integral. El agua que entra en el desaereador pasa a través del tubo (1) a la distribución del flujo principal (2) y al primer plato perforado (3). Este plato está diseñado para pasar la mínima velocidad de flujo de agua. En velocidades de flujo cercanas al mínimo, el agua desde el primer plato pasa a través de un ducto (4) al tercer plato (6). Teniendo que pasar por los agujeros del primer plato, el agua va al segundo plato (5) el cual también se diseña para pasar la mínima velocidad de flujo de agua. Desde el tercer plato el agua pasa al cuarto plato (7), el cual sirve para distribuir el agua inicial al plato de burbujeo, el agua desaerada deja el desaereador, por el tubo (9).



- | | |
|----------------------------|-------------------------------|
| 1.- ENTRADA DE AGUA | 9.- SALIDA DE AGUA DESAERADA |
| 2.- DISTRIBUIDOR DE FLUJO | 10.- ENTRADA DE VAPOR |
| 3.- PRIMER PLATO PERFORADO | 11.- COMPARTIMIENTO SEPARADOR |
| 4.- DUCTO DE PASO | 12.- PLATOS CHEVRON |
| 5.- SEGUNDO PLATO | 13,14.- CANALES DE PASO |
| 6.- TERCER PLATO | 15.- DUCTO DE PASO |
| 7.- CUARTO PLATO | 16.- SALIDA DE INCONDENSABLES |
| 8.- PLATO DE BURBUJEO | |

DESAERADOR HORIZONTAL A VACIO EN DOS PASOS.

(FIG. T-25)

En el desaerador, hay un compartimiento separado (11), y un tubo (10) que proporciona el medio de calentamiento. En el interior del compartimiento el agua ebulle, y los platos chevron (12), aseguran la separación del agua y el vapor. El vapor separado se distribuye al plato de burbujeo (3), y el agua que queda pasa a través de los canales (13,14) al nivel del plato de burbujeo y abandona el desaerador junto con el agua desaerada. El agua en el plato de burbujeo es calentada por el vapor a la temperatura de saturación y sujeta a un tratamiento intensivo. El exceso de vapor pasa a través del ducto (15) dentro del compartimiento surtiacr. Los gases no condensables son sacados del desaerador por el tubo (16).

Para la desaeración del agua de alimentación a los hervidores se recomienda entregar dentro del compartimiento (11) los condensados recuperables de las plantas industriales, o el vapor cuando el condensado no está disponible.

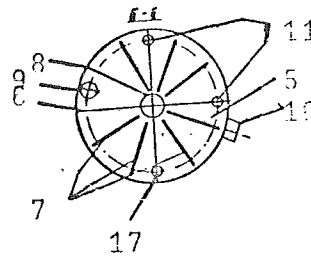
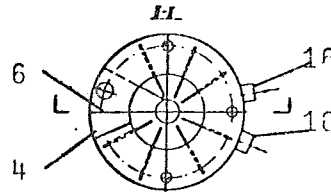
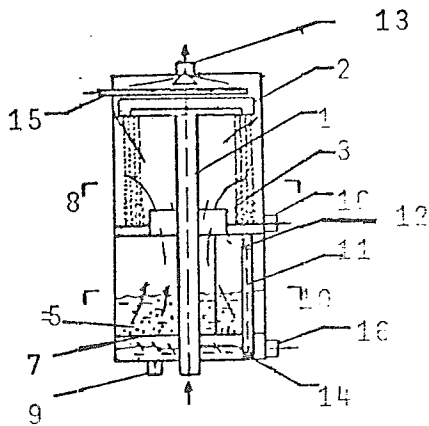
Los desaeradores están diseñados para la producción en forma de módulos de 400 t/hr cada uno.

Los desaeradores generalmente se producen en capacidades de 400, 800, 1200 t/hr. La coraza del desaerea-

dor está hecha de acero al carbón y los platos son hechos de acero al carbón. El peso equivalente de metal en estos diseños va de 13 a 15 kg/ton de salida nominal por hora. Este factor puede disminuir si los platos están hechos de materiales plásticos.

La división principal de una serie de desaerador al vacío con capacidades de 5,15,25,50,75,100,150,200 y 300 t/hr se muestra en la figura (T-26).

El agua que entra al desaerador pasa a través del tubo (1) al plato perforado (2). Después de pasar a través del surtidor, el agua se acumula en el plato de sobreflujo (3) y fluye al plato de burbujeo (5) a través del agujero (4). El agua que pasa encima del plato de burbujeo, es desaerada, y entra a un sector formado por una rampa de derrame (8) y una división (6), y es movida por gravedad a través del tubo (9). Todo el vapor de la columna entrada del vapor se estabiliza debajo del plato, y el vapor pasa a través de una hendidura (7), en burbujas a través del agua. Con el incremento en la carga, el exceso de vapor pasa a través de los agujeros (12,13) en los tubos (11) por un "bypass" al plato de burbujeo. Una gran parte de este vapor se condensa en el compartimiento del surtidor.



- 1.- ENTRADA DE AGUA
- 2.- PLATO PERFORADO
- 3.- PLATO DE SOBREFLUJO
- 4.- AGUJERO
- 5.- PLATO DE BURBUJEO
- 6.- TRAMPA DE ROMPIMIENTO
- 7.- RENDIJAS DE PASO
- 8.- RAMPAS DE DERRAME
- 9.- SALIDA DE AGUA
- 10.- PASO AL PLATO DE BURBUJEO
- 11.- TUBOS DE PASO
- 12,13.- AGUJEROS DE PASO
- 14.- DRENAJE
- 15.- CONO COLECTOR
- 16.- TUBO CONECTOR
- 17.- TUBO DE PASO

DESAERADOR VERTICAL A VACIO EN DOS PASOS.
(FIG. T-26)

La mezcla de vapor y aire es descargada por el tubo (14). La entrega del agua tratada debajo del condensador de venteo se efectúa a través del colector (15) en el plato superior (2). Si el condensado ha sido entregado dentro del desaerador, este pasa a través del tubo conector (16), dentro del plato de sobreflujo.

Cuando el agua sobrecalentada se usa como medio de calentamiento, esta también se entregará debajo del plato de burbujeo a través del tubo (10). El agua que queda después de la ebullición pasa por el tubo (17) al plato de burbujeo.

La columna de entrada está toda unida. Se tiene un espacio de junta por si es necesario abrir la columna. El peso equivalente de metal en estos diseños tiene un promedio de 10 a 15 kg/ton de salida nominal por hora.

DESAERADORES TIPO HORIZONTAL. (FIG. T-25). Pruebas en aparatos con capacidades de 400 a 300 t/hr fueron tomadas en estaciones de poder y calor para tratar el aprovechamiento del calor de agua de alimentación. En una planta típica, el agua que entra es calentada a aproximadamente 25°C pasando a través de un tratamiento químico y de ahí al desaerador donde es calentada de 42 a 45°C por el vapor

generado debido al agua sobrecalentada alimentada a la unidad. Los desaeradores probados estaban en un rango de presiones de 0.08 a 0.5 kg/cm² con producciones de 20-->110% de la carga nominal entrando el agua a temperaturas de 14 a 69°C y el agua sobrecalentada de 84 a 132°C. La concentración de O₂ en el agua de entrada varía entre 4-->11 ppm y el CO₂ entre 5-->25 ppm.

Los resultados muestran, la principal característica que determina la eficiencia de los procesos para remover O₂ en el agua desaerada con un incremento de temperatura dentro del desaerador, se dan en la tabla (T4, T4-A).

En el rango de los parámetros investigados, una concentración residual de O₂ menor de 0.5 ppm y un removimiento completo de CO₂, depende de la velocidad específica del vapor para tratar el agua en el plato de burbujeo (tabla T-5, T-5A). La dependencia de la concentración final de O₂ se puede obtener con los siguientes incrementos en la temperatura del agua en el desaerador ó la velocidad específica del flujo de vapor en la unidad de burbujeo:

1.- A presiones en el desaerador $P = 0.084 \rightarrow 0.12 \text{ kg/cm}^2$
 $At \geq 15^\circ\text{C}$; $Ds/Dw \geq 20 \text{ kg/ton}$ de agua desaerada.

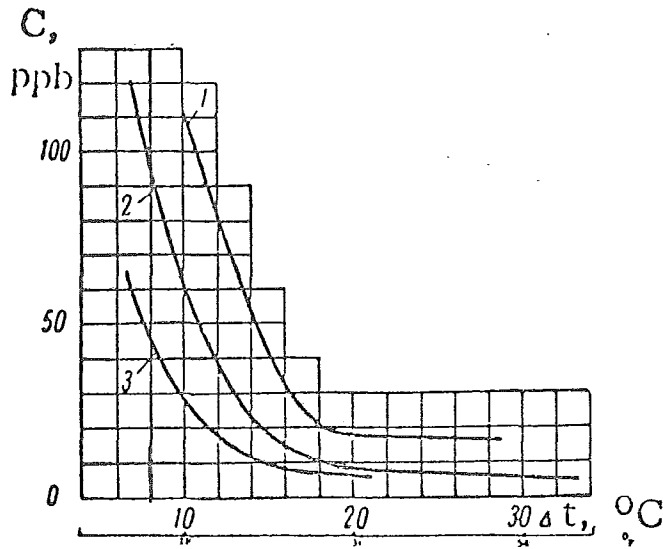


TABLA T-4

DEPENDENCIA DE LA CONCENTRACION RESIDUAL DE OXIGENO EN EL AGUA DESAERADA EN LOS RANGOS DE TEMPERATURA DEL DESAERADOR.

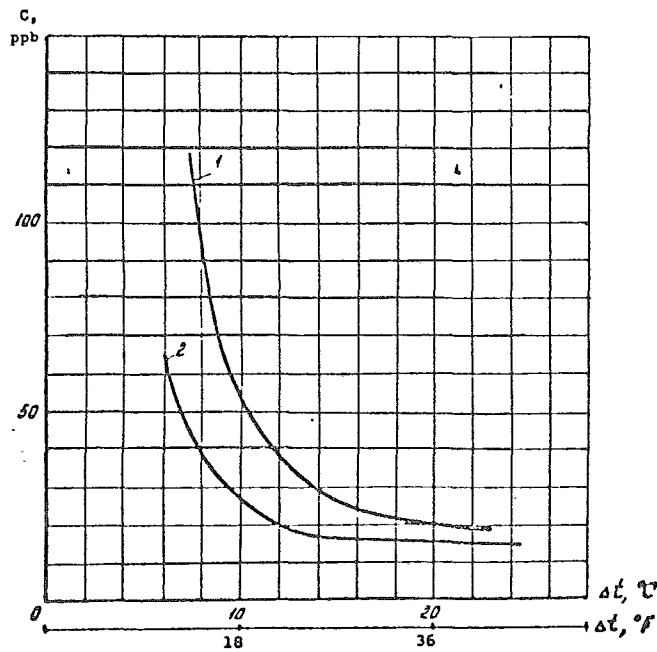


TABLA T-4A

DEPENDENCIA DE LA CONCENTRACION RESIDUAL DEL OXIGENO EN EL AGUA DESAERADA, EN LOS RANGOS DE TEMPERATURA DEL DESAERADOR.

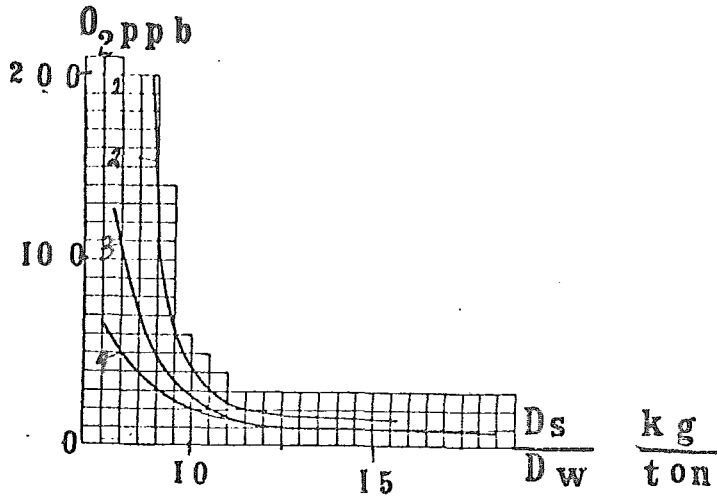


TABLA T-5

DEPENDENCIA DE LA CONCENTRACION RESIDUAL DEL OXIGENO EN EL AGUA DESAERADA, CON EL FLUJO ESPECIFICO DE VAPOR PARA BURBUJEO. DESAERADOR CON CAPACIDAD DE 400 ton/hr (0.88×10^6 lb/hr); (1) $P=1.19 \rightarrow 1.71$ psia (2) $P=1.85 \rightarrow 2.7$ psia; (3) $P= 2.84 \rightarrow 7.11$ psia.

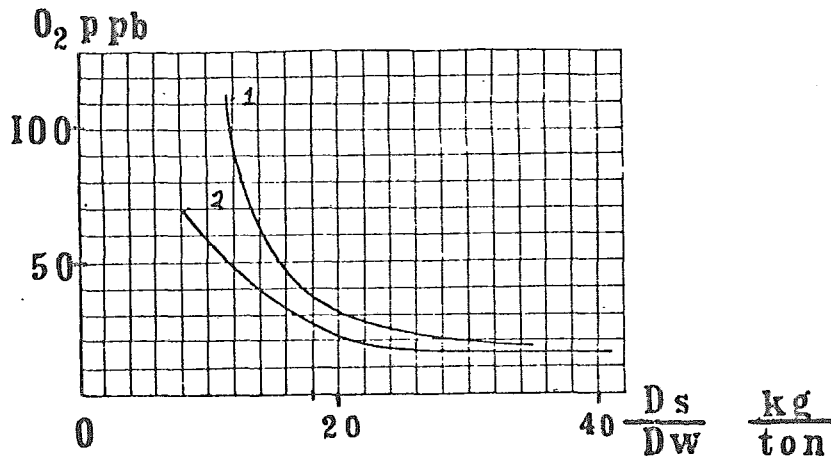


TABLA T-5A

DEPENDENCIA DE LA CONCENTRACION RESIDUAL DE OXIGENO EN EL AGUA DESAERADA, CON EL FLUJO ESPECIFICO DE VAPOR PARA BURBUJEO. DESAERADOR CON CAPACIDAD DE 800 ton/hr (1.76×10^6 lb/hr); (1) $P= 1.28 \rightarrow 2.7$ psia; (2) $P= 2.99 \rightarrow 7.11$ psia.

- 2.- $P=13 \rightarrow 0.19 \text{ kg/cm}^2$, $\Delta t \geq 11^\circ\text{C}$, $Ds/Dw \geq 16 \text{ kg/ta}$.
- 3.- $P=0.2 \rightarrow 0.5 \text{ kg/cm}^2$; $\Delta t \geq 8.^\circ\text{C}$, $Ps/DW \geq 13 \text{ kg/t H}_2\text{O des}$.

El CO_2 es completamente removido del agua, cuando el contenido en la concentración inicial está arriba de 25 ppm y la alcalinidad del bicarbonato es mayor de 0.7 mg-eq/kg.

Otros factores como son la salida en el desaerador, la velocidad de flujo del agua sobrecalentada, su temperatura y la concentración del agua en el rango de parámetros investigados.

Una comparación en una operación a 400 t/hr entre un desaerador de dos pasos y uno de agua sobrecalentada, muestra las siguientes ventajas prácticas: eliminación de los precalentadores de agua no desaerada, reducción de la corrosión en el tanque de alimentación y el circuito de calentamiento y un incremento en la eficiencia térmica de las turbo-instalaciones.

DESAERADORES TIPO VERTICAL. (FIG. T-26). Pruebas en unidades con capacidades de 100 t/hr, con presiones abs de $0.15 \rightarrow 0.36 \text{ kg/cm}^2$ mientras la temperatura era de 53 a 73°C , y la temperatura de entrada del agua de

5--- 15°C. La salida variará de 29---117% de carga nominal. La concentración inicial del O_2 en el agua de entrada fué de 7.9 a 11.4 ppm, y de 0.01 a 0.27 ppm en el agua sobrecalentada. La concentración de CO_2 fué de 43 a 113 ppm y 0---27 ppm respectivamente.

El contenido residual de O_2 y CO_2 en el agua que sale del desaerador está determinada por el flujo específico de vapor. Esto se ve en la tabla (T-6, T-6A) en la que la concentración de O_2 residual es de 0.05 ppm se obtiene con un flujo de vapor de 2 Kg/t de H_2O des; si la velocidad es mayor de 5 Kg/t de H_2O des, la concentración de O_2 no excede 2 ppm. La concentración de O_2 mayor de 0.226 ppm en el agua sobrecalentada no afecta la desgasificación.

En flujos de vapor de más de 3 ó 4 Kg/Ton de H_2O , la concentración residual de CO_2 no excede 3 ppm; si la velocidad de flujo es mayor de 5 kg/ton de H_2O des, el CO_2 es completamente removido.

El estudio de una unidad con capacidad de 200 t/hr, operando en lugar de un descarbonador, se tomaron en un cambiador de H-Na para el agua de alimentación. El vapor fué usado como medio de calentamiento. La presión absoluta en el desaerador fué de 0.07 a 0.11 kg/cm^2 la tempe-

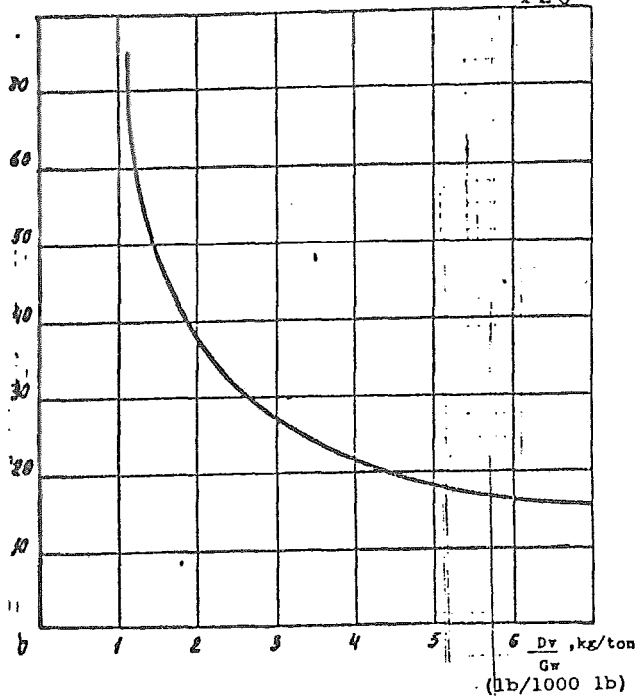


TABLA T-6

DEPENDENCIA DE LA CONCENTRACION RESIDUAL DE O₂ EN EL FLUJO ESPECIFICO DE VAPOR EN UN DESAERADOR DE DOS PASOS CON CAPACIDAD NOMINAL DE 100 ton/hr (0.22×10^6 lb/hr); $P=2.13 \rightarrow 5.12$ psia; $Gw=64 \times 10^3 \rightarrow 258 \times 10^3$ lb/hr.

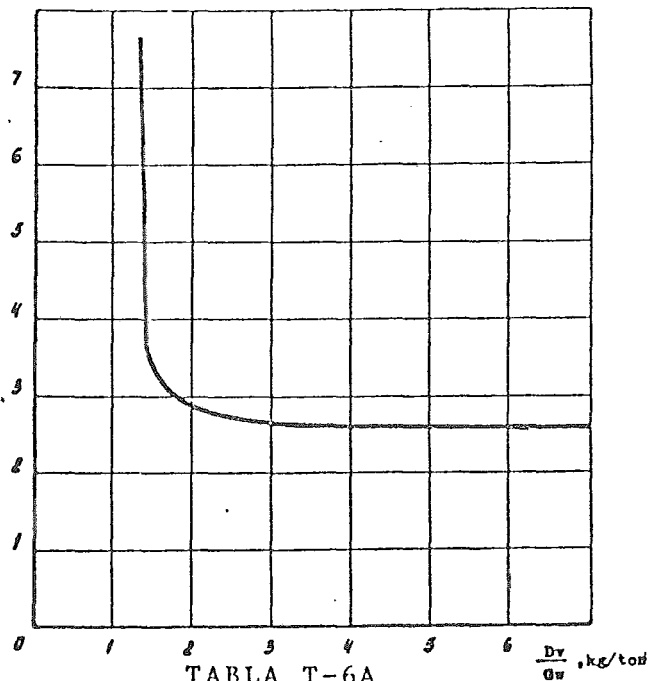


TABLA T-6A

DEPENDENCIA DE LA CONCENTRACION RESIDUAL DE CO₂ EN EL FLUJO ESPECIFICO DE VAPOR, EN UN DESAERADOR DE DOS PASOS CON CAPACIDAD DE 100 ton/hr (0.22×10^6 lb/hr); $P=2.13 \rightarrow 5.12$ psia; $Gw=64 \times 10^3 \rightarrow 258 \times 10^3$ lb/hr.

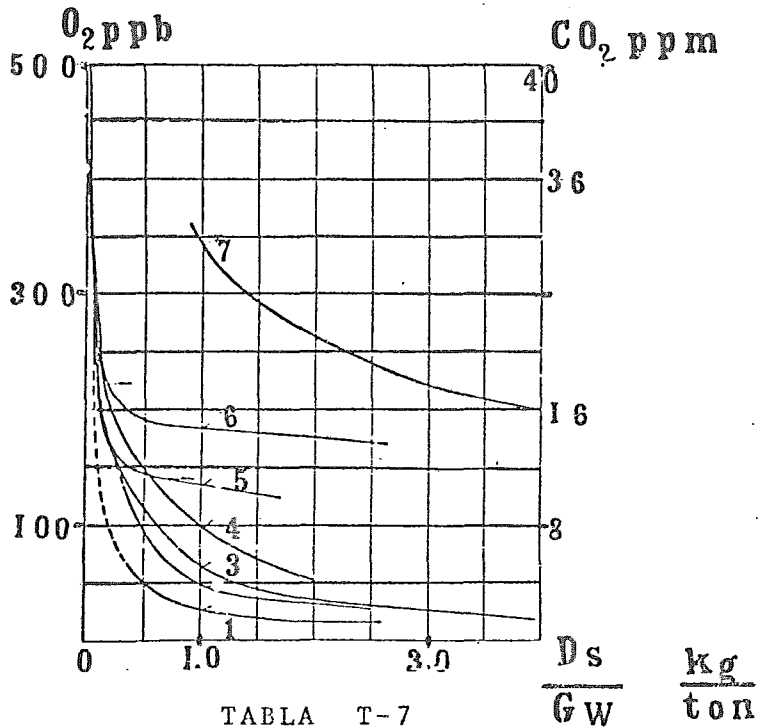
ratura del agua de entrada fué de 12 a 21°C, mientras que la temperatura del H₂O desaerada fué de 39 a 41°C. La concentración de O₂ en la entrada fué de 0.3 a 5.3 ppm, y la de CO₂ de 7 a 234 ppm.

Los resultados de las pruebas fueron similares a los obtenidos con 100 t/hr, esto se muestra en la tabla (T-7), bajo condiciones de operación similares y un flujo de vapor de 2 kg/t de H₂O des, se obtiene una concentración de O₂ menor de 0.5 ppm.

Esto es interesante para comprobar estos datos con los obtenidos con los experimentales hechos en un tipo surtidor con mezcla sin burbujeo. Esto se muestra en la tabla (T-7) que bajo condiciones de operación similares, esta unidad da una concentración de oxígeno residual la cual es 4 ó 5 veces mayor que en el caso de un desaerador surtidor (1 plato) conteniendo burbujeo.

Los resultados experimentales del CO₂ removiendo se muestra en la (tabla T-7), cuando la concentración de CO₂ en el agua de entrada fué de 7 a 35 ppm. este es completamente removido.

Esto es interesante para tomar pruebas de presiones en el aparato. El rango encontrado fué 0.13 a 0.32 kg/cm². Las temperaturas de entrada fueron de 15 a 31°C y del a-



DEPENDENCIA DE LA CONCENTRACION RESIDUAL DE OXIGENO

(1,2,3,4,7) Y CO_2 (5.6) CON EL FLUJO ESPECIFICO DE VAPOR.
 (1-6) DESAERADOR DE DOS PASOS CON CAPACIDAD DE 200 ton/hr
 ($.44 \times 10^6$ lb/hr); $P=1.0 \rightarrow 1.56$ psia; (1) CONCENTRACION DE
 $\text{O}_2 = .8 \rightarrow 1.0$ ppm; (2) $C=1.3 \rightarrow 1.9$; (3) $C=2.1 \rightarrow 2.3$; (4) $C=$
 $2.5 \rightarrow 5.3$; (5) CONCENTRACION DE CO_2 ppm. $C=5.8 \rightarrow 161$; (6)
 $C=166 \rightarrow 234$; (7) DESAERADOR DE UN PASO CONCENTRACION DE
 OXIGENO 5.3 p.p.m.

agua fué 50 a 70°C. La concentración de O₂ en el agua de entrada fué de 0.7 a 5.0 ppm y la de CO₂ fué 6 a 65 ppm.

Con el rango de estos parámetros, se tuvo un flujo de vapor no mayor de 2 kg/t de H₂O des, la concentración de O₂ residual no fué mayor de 1.0 ppm y el CO₂ se elimina completamente.

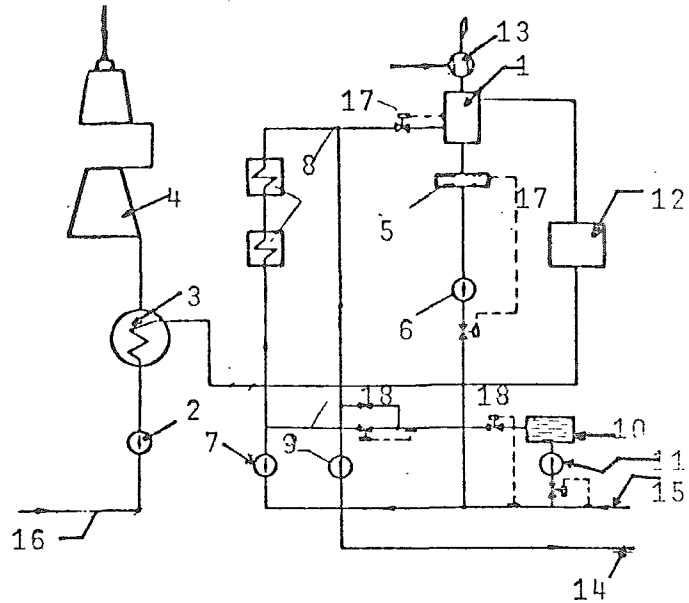
SISTEMA PARA DESAEREADORES H₂O CON DESAEREADORES A VACIO DE DOS PASOS:

El uso de este nuevo sistema de desaereación es desarrollado para agua de alimentación y reposición el plantas de poder, permitiendo un considerable mejoramiento en las características desarrolladas.

DESAEREACION DE AGUA DE REPOSICION EN PLATAS DE CALOR Y PODER: (FIG. T-27).

Los desaereadores a vacío son más efectivos para desaerear el agua de reposición para los sistemas se calentamiento con salida de agua abierta.

Un nuevo sistema fué desarrollado para desaerear agua de reposición con desaereadores de 2 pasos. El agua de la línea (16) se suple por las bombas (2) a la planta de limpieza (12), el agua empieza a ser precalentada por



- 1.- DESAERADOR A VACIO
- 2.- BOMBAS
- 3.- CONDENSADOR
- 4.- TURBINA
- 5.- NIVEL DE ENVASE
- 6.- BOMBAS DE REPOSICION
- 7.- LINEA DE SUCCION
- 8.- CALENTADORES
- 9.- BOMBAS
- 10.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- 11.- BOMBAS
- 12.- PLANTA DE LIMPIEZA
- 13.- SURTIDOR DE VAPOR
- 14.- FLUJO DE AGUA
- 15.- LINEA DE RETORNO
- 16.- LINEA DE REPUESTO
- 17.- CONTROL
- 18.- CONTROL

ESQUEMA DE DESAERACION DE AGUA DE RE-
POSICION EN PLANTAS DE CALOR Y PODER.

(FIG. T-27)

el condensador (3) de la turbina (4). Después del tratamiento químico, el agua alimenta al desaerador de vacío (1), designado para promedios de reposición. El medio de calentamiento es el flujo de agua (14) para la sección de dos bombas (9). Para el desaerador, el agua a 40---45°C es repuesta por las bombas (6) a la línea de retorno (15) y pasando a la línea de succión de la bomba (7). El agua es tratada en los calentadores principales (8) de la planta de turbina y es repuesta por las bombas (9) a la línea de flujo. La parte del agua requerida para desgasificar el agua de repuesto llega al desaerador en el cual se crea el vacío para el eyector surtidor de vapor.

El control (17) mantiene constante la temperatura del agua desaerada por el control del repuesto del agua caliente. Este flujo de agua varía en el curso del año, teniendo un máximo de 33% al final de la estación calurosa. Esto provoca una caída en la temperatura de agua con un incremento en la temperatura de salida del aire, con una velocidad de flujo constante y la temperatura del agua de alimentación en la entrada del desaerador. El agua caliente circula en un circuito cerrado de retorno del desaerador, línea principal de recalentamiento de la planta desaaeradora-->turbina.

El balance entre la salida de las bombas de reposición (6) y la admisión al desaereador, es atendido por el control (18), instalado en el lado de entrega de las bombas, recibiendo señales de acuerdo al nivel de envase (5) desde el cual el agua se repone al desaereador. Este envase es un tubo horizontal de 4" de diámetro, instalado debajo del desaereador. La protección al sobre nivel consiste en un sello de agua, instalado en la línea de succión de las bombas de reposición.

Dos estados de condiciones de operación, se deben distinguir: (1) la velocidad de flujo de agua para el agua caliente de salida es igual o mayor que el promedio, y (2) la velocidad de flujo de agua caliente de salida es menor que el promedio.

Cuando se opera bajo la primera condición, el agua de retorno después de la mezcla con el agua desaereada, pasa a la succión de las bombas (7) a la planta de turbina, es seguidamente calentada en los calentadores (8) y pasa a la línea de succión de las bombas de la red (9) a la red. Cuando es necesario, esta agua es adicionalmente calentada por fuentes de calor. En este caso, reposición es por las bombas (11) para el tanque de almacenamiento (10).

Cuando se opera en la segunda condición, el agua so-

brante pasa al tanque de almacenamiento (10) por el control recibe señales de la presión en la línea de retorno. La temperatura del agua repuesta al tanque de almacenamiento debe estrictamente corresponder a la temperatura del agua cuando sale, en el caso opuesto con fluctuaciones en la velocidad de flujo de agua para la salida, ahí también tendrá fluctuaciones en cubrir la carga para la renovación en la turbina.

Una temperatura en el agua de repuesto y en el tanque de almacenamiento es asegurada por la reposición de agua fría a la red, tomada en la entrada al primer calentador de turbina de la planta.

El nuevo arreglo simplifica el arreglo de calentamiento y el sistema para control automático de la reposición, permitiendo a todos los calentadores operar con agua desaerada aumentando considerablemente la operación confiable a la red de calentamiento, bajando el contenido de acero oxidado y el índice de calor del agua pasa el agua caliente de salida y asegurando ni sabor, ni olor.

El sistema da la posibilidad de un apreciable mejoramiento del agua desaerada y en ciertos casos, esto aumenta la eficiencia.

Cálculos técnicos y económicos han mostrado que en

el uso de desaerador de dos pasos para desaerear de agua de repuesto produce un ahorro, comparados con las unidades de agua sobrecalentada en las plantas de turbinas con tres o más máquinas instaladas en la estación de poder.

DESAERADOR DE AGUA DE ALIMENTACION PARA ESTACION DE PODER Y CALOR: .(FIG. T-18).

La desaereación de la alimentación en plantas de calor industrial ó domésticas comprende un sistema térmico de dos pasos. El primer paso es un desaerador a presión atmosférica en el cual los condensados industriales se desmineralizan en el tratamiento del agua de reposición. El agua abandona este paso del desaerador del sistema de alimentación de calor, en la salida del segundo calentamiento a baja presión.

Este sistema tiene las siguientes desventajas:

- 1.- La corrosión en los tubos de bronce de los calentadores y del circuito anterior al desaerador.
- 2.- Contaminación química del agua desmineralizada por óxidos de acero, debido a la corrosión de los tubos de la planta de lavado al desaerador atmosférico.
- 3.- El uso de un sistema con desaerador atmosféricos no permite la utilización total, esto se debe a los bajos

potenciales renovadores en las turbinas haciendo necesario mantener parámetros constantes de vapor en el renovador del calor de la turbina, de 1.5 a 1.7 kg/cm².

4.- La alta temperatura del agua que abandona el desaereador atmosférico, previniendo el uso de renovadores de vacío no automáticos para calor en el sistema regenerativo de baja presión.

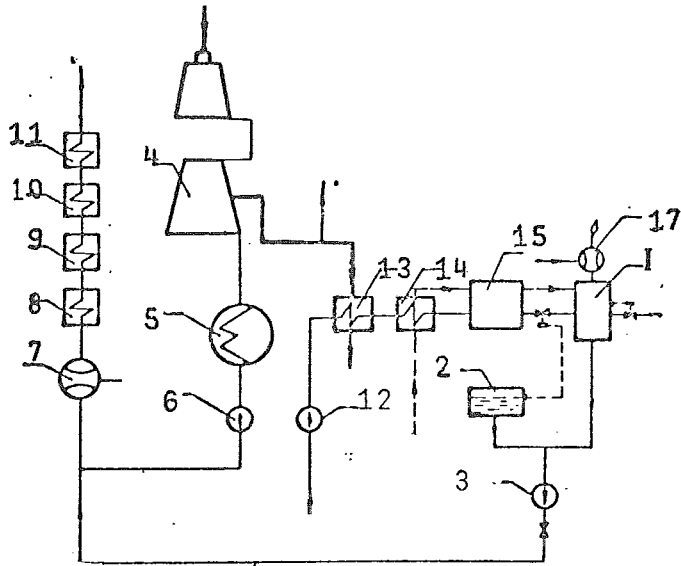
Acerca de estas desventajas, el desaereador atmosférico podrá ser reemplazado por un desaereador de dos pasos, incluido en el agua de alimentación directamente, siguiendo la planta de limpieza y asegura temperatura de agua desaereada de 40 a 45°C.

La figura (T-28) muestra la proposición de la salida de el agua de alimentación de la planta. El agua del tubo (12) está dada por la bomba (13) a la planta de limpieza (16) por el calentador (14) y el enfriador del condensado industrial (15), en el cual es calentada a la temperatura de 25-73 °C, la cual es necesaria para la operación de la planta de limpieza. El agua desmineralizada pasa por el desaereador a vacío el cual está equipado con un eyector (17). El medio de calentamiento es el condensado industrial (18), enfriado a aproximadamente

55°C, teniendo que pasar a través de la planta de limpieza.

El agua que deja el desaereador es mezclada por la bomba (3) con el condensado principal para suplir por la bomba (6) para el condensador (5). El punto de entrada del condensado y del agua desaereada al sistema regenerativo de la turbina (4) depende de su tipo, y puede ser antes del eyector (7) ó entre los calentamientos de baja presión (8,9). el agua pasa a través de los calentadores (9-11) al desaereador de alta presión.

En el curso de la operación, la temperatura y el flujo dentro del desaereador de vacío puede cambiar, lo que produce fluctuaciones en la temperatura del agua desaereada. Con un incremento en la presión del desaereador de cerca de 0.75 kg/cm^2 , la temperatura del agua desaereada 40°C , esto crea baja condición de autotregulación del eyector sin mantener una temperatura constante de agua desaereada. Cuando la presión esté por debajo de 0.075 kg/cm^2 , un flujo de calor adicional es traído para la línea equalizadora de alta presión del desaereador (19) figura (T-28) en este caso la presión en el desaereador se mantiene constante a 0.075 kg/cm^2 . En paralelo con el desaereador a vacío, un tanque humedecedor (2) es



- | | |
|---------------------|-------------------------|
| 1.- DESAEREADOR | 10.- CALENTADORES |
| 2.- ENTRADA DE AGUA | 11.- CALENTADORES |
| 3.- BOMBA | 12.- TURBINA |
| 4.- TURBINA | 13.- CALENTADORES |
| 5.- CONDENSADOR | 14.- CALENTADORES |
| 6.- BOMBA | 15.- CONDENSADOR |
| 7.- EYECTOR | 16.- PLANTA DE LIMPIEZA |
| 8.- CALENTADORES | 17.- EYECTOR |
| 9.- CALENTADORES | 18.- CONDENSADOR |

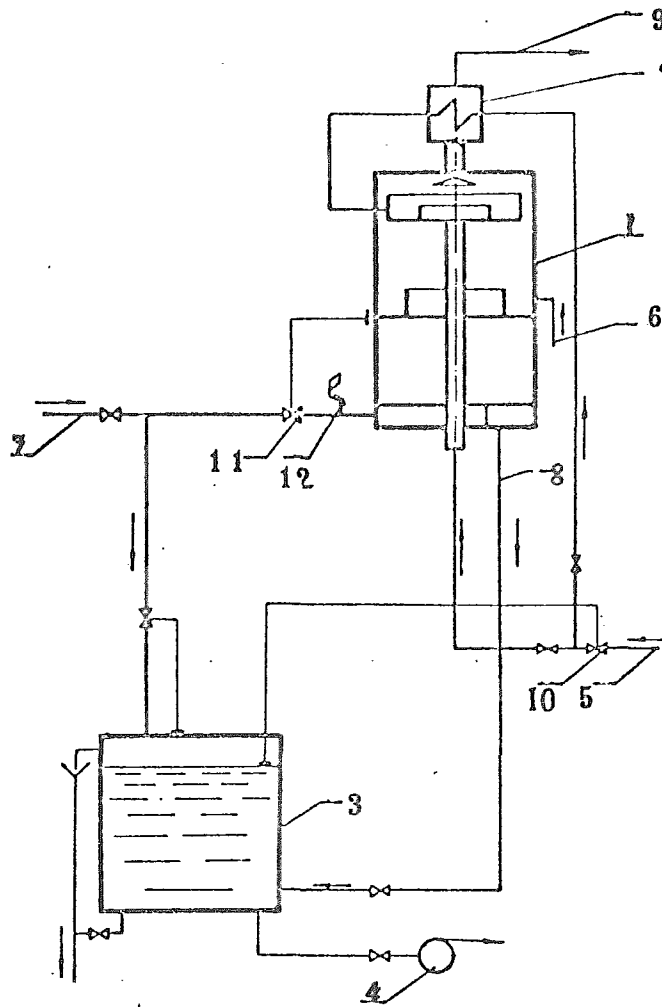
ESQUEMA DE DESAEREACION DE AGUA DE ALI-
MENTACION EN PLANTAS DE CALOR Y PODER.
(FIG. T-28)

instalado, en el cual se mantiene la presión atmosférica. El uso de este tanque asegura la operación de las bombas de transferencia y la protección del desaereador a vacío contra el sobrellenado.

El nuevo arreglo simplifica la salida del tren de alimentación de calor a la estación del equipo y casi elimina la entrada de la parte de la alimentación del circuito de trabajo del agua no desaereada. Esto aumenta la confiabilidad de la operación de las plantas principales y auxiliares, y asegura la desaereación del agua desmineralizada en el desaereador de vacío, como un resultado de suplir el condensado industrial y también mantiene la presión del vapor en el renovador de calor, esto solamente depende de la salida de la temperatura del aire, el cual asegura el uso total para hacer un renovado de vacío no automático de la turbina, el cual aumenta la eficiencia de la estación.

DESAERACION DEL AGUA DE ALIMENTACION PARA PLANTAS DE CALENTAMIENTO: (FIG. T-29).

La alimentación a la unidad de desaereación en plantas de calentamiento de vapor pueden ser a presión atmosférica o alta presión en el desaereador. Los cálculos



- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 1.- DESAERADOR A VACIO | 7.- ENTRADA DE VAPOR |
| 2.- CONDENSADOR DE VENDEO | 8.- SALIDA DE AGUA DESAERADA |
| 3.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO | 9.- ESCAPE DE INCONDENSABLES |
| 4.- BOMBA DE ALIMENTACION | 10.- CONTROL DE NIVEL |
| 5.- ENTRADA DE AGUA | 11.- CONTROL DE PRESION |
| 6.- ENTRADA DE CONDENSADOS | 12.- VALVULA DE SEGURIDAD |

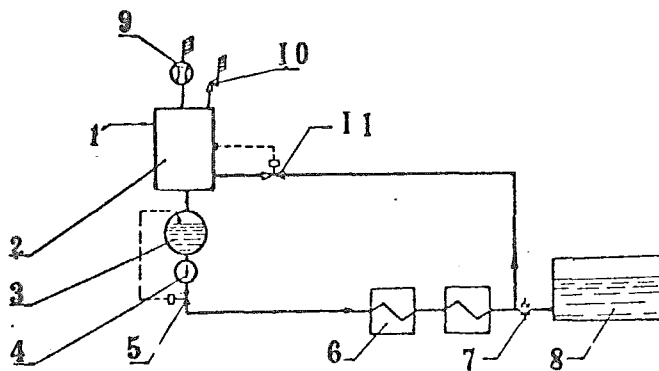
ESQUEMA DE DESAERACION DE AGUA DE ALIMENTACION EN PLANTAS DE CALENTAMIENTO. (FIG. T-29).

muestran que la temperatura de agua de alimentación que entra al desaereador no exceda 70 a 75°C, esta es la ventaja de usar aparatos a vacío. Bajando 10°C la temperatura del agua de alimentación incrementa 0.8% de eficiencia térmica de la instalación.

En este caso, el agua tratada entra (fig. T-29) al plato superior del desaereador. Los flujos de condensado fluyen hacia el siguiente plato. El agua desaerada fluye al tanque de almacenamiento. La velocidad del flujo de vapor que abandona el desaereador, deberá ser suficiente para proveer el calentamiento de agua al punto de ebullición y asegurar el flujo de vapor requerido. El vapor entra al condensador de venteo y el condensado regresa al plato superior del desaereador.

DESAERACION DE AGUA DE REPUESTO EN PLANTAS DE CALENTAMIENTO. (FIG. T-30).

El siguiente sistema (FIG.T-30) para calentador de vapor trata de evitar la pérdida de condensado de alimentación así como asegurar, que no haya olores, ni sabores en el agua de repuesto. El agua tratada se bombea dentro del desaereador, cuando alcanza la temperatura de 40-45°C. El agua es calentada por vapor a 70°C, en la su-



- 1.- ENTRADA DE AGUA
- 2.- DESAERADOR
- 3.- COLECTOR
- 4.- BOMBA
- 5.- CONTROL DE NIVEL
- 6.- CALENTADORES
- 7.- DIAFRAGMA
- 8.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- 9.- SERVICIO DE VACIO
- 10.- VALVULA DE SEGURIDAD
- 11.- CONTROL DE PRESION

ESQUEMA DE DESAERACION DE AGUA DE
REPUESTO EN PLANTAS DE CALENTAMIENTO.

(FIG. T-30)

perficie de intercambio de calor, regresa al desaerador como un medio de calentamiento. Una variación consiste en usar como medio de calentamiento, agua tomada después de los calentamientos superiores, en una temperatura de 110 a 150°C.

El sistema, también es usado para el agua de calentamiento, en calentadores o cambiadores. En este caso, el agua del desaerador es suplida por la cascada del desaerador.

Este sistema elimina precalentamiento de agua no desaerada y también el uso de tubos de acero al carbón en los cambiadores agua abajo de el desaerador.

DESAERACION EN INSTALACION PARA TRATAMIENTO QUIMICO DE AGUA.

Este sistema depende del método de tratamiento de agua. Si durante el proceso el agua no está en contacto con aire, cuando el desaerador a vacío se localice arriba de la instalación de tratamiento. Consecuentemente, la corrosión de este equipo y la tubería hacia abajo se previene. Además el servicio de vida de los cambiadores aniónicos y catiónicos se prolonga y su frecuencia de regeneración se reduce, cuando la absorción de oxígeno y

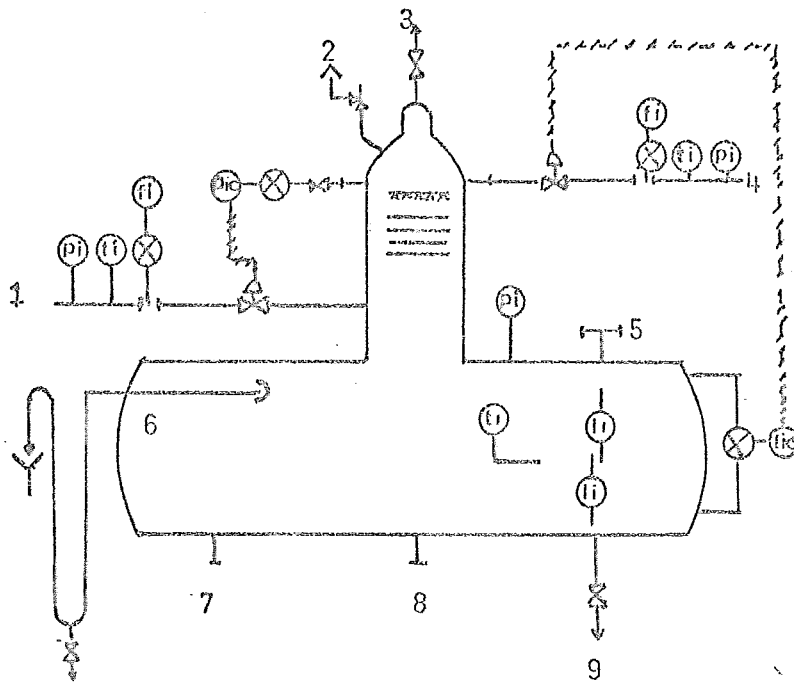
CO₂ por las resinas disminuye. El desaerador completa las funciones de calentar y mezclar. El proceso de espesamiento es facilitado en el desaerador por la buena mezcla de el agua en el coagulante y de el removimiento vigoroso de CO₂ para la reacción por el burbujeo de vapor. La temperatura de el agua desaerada se escoge dentro de la estabilidad térmica de las resinas. En el caso de los sistemas de limpieza, en los que el agua se aerea, el desaerador se podrá localizar después del paso final del tratamiento. Para un removimiento completo de CO₂ con concentración inicial de 120 a 150 ppm el descarbonador y el desaerador a vacío se colocan en serie. En el tratamiento de agua de alimentación se usa el vapor como medio de calentamiento para el desaerador.

DESAERACION EN LA INDUSTRIA.

El agua y otros líquidos en procesos industriales deben ser tratados con desaeradores a vacío. En el caso del agua desaerada debe estar dentro de los requerimientos del proceso, para proteger el equipo y las líneas contra la corrosión. El agua sobrecalentada tiene que ser producida usando, hasta donde sea posible, calor de desecho. Una aplicación particular de un aparato de dos pasos

en la desaereación de agua fría se tiene en procesos de alta temperatura.

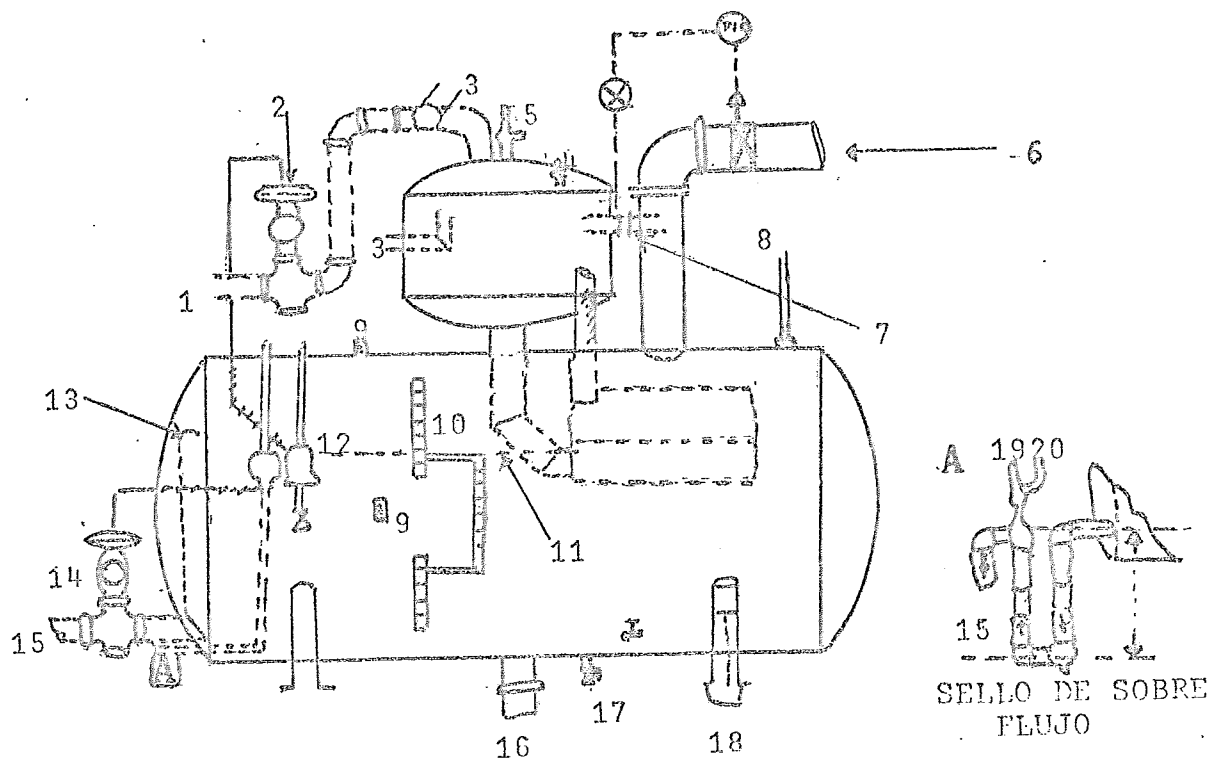
INSTRUMENTACION BASICA EN DESAEREADORES.



DESAEREADOR A PRESION.

DESCRIPCION

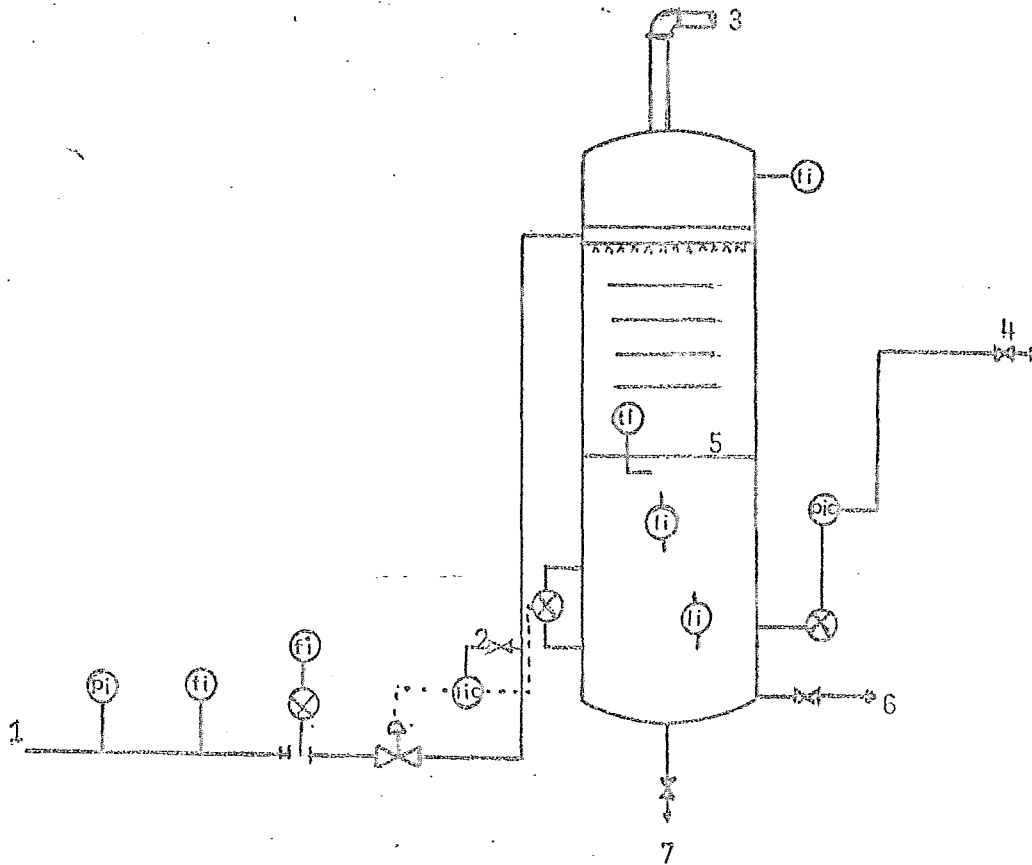
- 1.- ENTRADA DE VAPOR
- 2.- VALVULA DE ALIVIO
- 3.- SALIDA DE INCONDENSADOS
- 4.- ENTRADA DE AGUA DE ALIMENTACION
- 5.- ROMPEDOR DE VACIO
- 6.- SELLO DE ANILLO
- 7.- MUESTREO
- 8.- SALIDA DE AGUA DESAEREADA
- 9.- DRENE



DESAERADOR TIPO ROCIADOR

DESCRIPCION

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 1.- ENTRADA DE AGUA | 11.- NIVEL DE AGUA DE REPUESTO |
| 2.- VALVULA DE CONTROL DE NIVEL | 12.- CONTROL DE NIVEL |
| 3.- RETENSION DE AGUA | 13.- SALIDA DE SOBREFLUJO |
| 4.- VALVULA DE ALIVIO | 14.- VALVULA DE SOBREFLUJO |
| 5.- VALVULA DE VENTEO | 15.- DESAGUE |
| 6.- ENTRADA DE VAPOR | 16.- SALIDA DE AGUA DESAERADA |
| 7.- IGUALADOR DE PRESION | 17.- DRENE |
| 8.- RECIRCULACION DE LA BOMBA | 18.- MUESTREO |
| 9.- TERMOMETRO | 19.- VENTEO |
| 10.- INDICADOR DE NIVEL | 20.- LLENADO |



DESAERADOR A VACIO SIN CALENTAMIENTO.

DESCRIPCION

- 1.- ENTRADA DE AGUA
- 2.- SUMINISTRO DE AIRE
- 3.- SALIDA A EYECTOR O BOMBA DE VACIO
- 4.- VALVULA AL EYECTOR O BOMBA DE VACIO
- 5.- PARRILLA
- 6.- MUESTREO
- 7.- SALIDA DE AGUA DESAERADA

INSTALACION, OPERACION Y PROBLEMAS DE OPERACION.

INSTALACION:

RECIBO DEL EMBARQUE.- El desaereador y el tanque de almacenamiento, tiene que ser probado hidrostáticamente antes de embarcarse. Descargar el desaereador cuidando el nivel de ambos lados, las juntas y bloque deben ser cuidadosamente colocados y manejados. Las válvulas y demás accesorios son embarcados por separado, según sea necesario.

LOCALIZACION.- El desaereador debe estar soportado en una elevación arriba de la válvula alimentadora del calentador, para proporcionar la succión necesaria especificada por el fabricante de la bomba. Cuando se termina la elevación del desaereador se debe tomar en cuenta las pérdidas por fricción así como la succión hidrostática requerida por la bomba. La cabeza está dada y se debe hacer tomando la temperatura, (reduce, la gravedad específica y la densidad) del agua en la sección de almacenamiento.

En la localización del desaereador y del tanque de almacenamiento se debe considerar, el proveer de suficiente espacio al rededor para permitir un fácil acceso para mantenimiento e inspección.

NIVELACION.- La coraza del desaereador debe ser nivelada en dos direcciones para asegurar una destilación eficiente del agua. Desde que el vapor entra al desaereador se debe usar como una muestra de referencia para la nivelación, el desaereador se debe nivelar cuando sea examinado para la cimentación. Es importante que se siga este procedimiento.

TUBERIA.- El desaereador se debe entubar como se muestra en los dibujos de ensamble. Cuidar que no se tengan cuerpos extraños dentro de la coraza del desaereador. La tubería debe estar soportado independientemente y provista con juntas de expansión para prevenir que algún cuerpo en la tubería llegue a la coraza. Se requiere que el comprador reponga las terminaciones perdidas de varillas alargadas las cuales están provistas de una longitud extra para permitir cortes y fijar adecuadamente. Antes de cortar las varillas se debe asegurar que el flotador esté en la posición baja con la válvula reguladora en la posición abierta.

PRUEBA DE CAMPO.

OPERACION PRELIMINAR.- Antes de poner la unidad en servicio por primera vez, se debe checar cuidadosamente lo siguiente:

1.- Todos los desperdicios y materiales extraños deben ser removidos del interior del desaerador, del tanque de almacenamiento, de la tubería y de los accesorios.

2.- Toda la tubería debe estar construída sólidamente, y hecha de acuerdo con los planos del fabricante.

ANTES DE COLOCAR LA UNIDAD EN SERVICIO O CUANDO ESTA HA ESTADO FUERA DE SERVICIO POR UN PERIODO DE TIEMPO LARGO, SE DEBE ASEGURAR QUE:

1.- Todos los tubos y accesorios abiertos para reparación o bajados, deben estar cerrados y asegurados en su lugar.

2.- Las válvulas de alivio deben ser apropiadas a las condiciones de trabajo. La válvula de alivio debe ser quitada de presión manualmente, mientras ésta empieza a subir para checar las condiciones propias de trabajo.

3.- El vapor y el agua deben estar disponibles en las líneas y la bomba que suple la salida debe estar cerrada.

4.- Asegurarse de que todas las válvulas separadoras, los controles, indicadores de servicios, de seguridad y protección estén abiertos y que todas las otras válvulas estén cerradas.

OPERACIONES PARA PONER UN EQUIPO DE CHAROLAS A TRABAJAR: El procedimiento para poner el equipo a trabajar es el siguiente:

- 1.- Abrir la válvula de salida de aire a la atmósfera.
- 2.- Abrir una de las válvulas de entrada de agua y permitir que la sección de almacenamiento del desaereador se llene lentamente.
- 3.- Checar que el nivel en los vasos medidores y poner cada control hasta el nivel para que alcance el punto de control.
- 4.- Dejar la sección de almacenamiento a sobreflujo y ver la acción de los servicios de sobreflujo, asegurándose que el sobreflujo no se lleve a cabo hasta el nivel de agua que actualmente tenga la línea de sobreflujo.
Dejar el nivel de agua de derrame a algunas pulgadas, para asegurar que el sobreflujo planeado cierre.
- 5.- Cerrar la válvula de entrada de agua que se empezó a usar para llevar al tanque.
- 6.- Desagüar el tanque de almacenamiento y cuando se vacíe parar las válvulas de desagüe.
- 7.- Abrir lentamente en la entrada de vapor a una posición un poco menor que la de salida total. Dejando la válvula en esta posición hasta que la unidad sea calentada hasta la temperatura de operación y el vapor enseguida fluye libremente hacia afuera.
- 8.- Abra la válvula de entrada de vapor.

9.- Cuando la unidad esté caliente, se aprietan otra vez los pernos de la puerta de charolas, la puerta de acceso y la cubierta de la entrada de hombre.

10.- Si hay cualquier línea de retorno de condensado ó descarga a las trampas, dentro del desaereador, lentamente se abren las válvulas en estas líneas y permite el llenado hasta el nivel de trabajo.

11.- Se abre la válvula en la línea para suplir la bomba.

12.- Inmediatamente abra la válvula en la línea de reposición y deja que la válvula reguladora tome control.

13.- Si prácticamente, la afluyente inicial del agua del desaereador va al desagüe ó a una fuente de utilización de agua; por lo que no es necesario que esté completamente desaereada hasta que la efluyente alcance una temperatura aproximada a la temperatura de vapor saturado, a la presión de operación dentro del desaereador; y esté completamente desaereada.

14.- Ajuste la válvula de salida de aire como se describe bajo condiciones normales de operación.

PRUEBA DE CAMPO (HIDROSTATICA): El desaereador fué probado antes de embarcarse. Si la prueba de campo se requiere, todas las unidades son probadas como se reciben. Durante la prueba hidrostática, una de las boquillas debe ser removida. Esto asegurará que la unidad está llena de agua y libre de partículas de aire. Si el cerrando del orificio de salida de espreado es descuidado, esto puede causar daños internos a la cámara de distribución de agua. Después de la prueba se quitan todos los materiales para cerrarla, así como los que quedan de desperdicio. Si el orificio fue removido siga las instrucciones indicadas en la sección de mantenimiento para la recolocación en la cámara.

PROBLEMAS DE ARRANQUE:

SINTOMAS: Calentamiento insuficiente (Dif. de 3^oF o más entre la temperatura de saturación correspondiente a la presión de vapor en la unidad y la salida de la temperatura del agua) o contenido excesivo de O₂ en la efluente del desaereador.

CAUSA Y REMEDIO:

1.- Venteo insuficiente: Incremente la velocidad de ven-

teo abriendo manualmente la válvula de venteo de aire.

2.- Presión de vapor reducida válvula inadecuada para la operación. Cheque la válvula para operación libre y asegúrese que la línea de control esté conectada en la conexión indicada en el desaerador y no al tubo de baja de vapor de la válvula.

3.- Cheque la válvula de atomización, de depósitos o sedimentos en el asiento.

4.- Esparado impropio del orificio del esparador. Cheque el orificio de depósitos, en el asiento o puede ser un resorte roto.

5.- Exceso de aire libre en las cajas o bombas del desaerador, las cuales tienen una carga negativa de succión. Repare la caja de llenado, el sello con agua o instale una trampa de aire en la línea de entrada de agua al desaerador.

SINTOMAS: Nivel de agua alto.

CAUSA Y REMEDIO: Operación impropia de la válvula de control interno, ajuste necesario.

SINTOMAS: Nivel de agua bajo.

CAUSA Y REMEDIO: Lo mismo que el anterior.

SINTOMAS: Alta presión.

CAUSA Y REMEDIO:

1.- Cheque la falla de operación de la válvula reductora de presión de vapor.

2.- Cheque las válvulas de alivio en el desaereador y en el sistema principal de entrega de vapor para la operación adecuada.

SINTOMAS: Baja presión.

CAUSA Y REMEDIO: Operación impropia de la válvula reductora de presión de vapor, se debe checar.

PROBLEMAS DE OPERACION:

SINTOMA: Alto contenido de O_2 y CO_2 en el agua desaerada.

CAUSA Y REMEDIO:

1.- Agua de alimentación a baja temperatura.

2.- Desaereador sobrecargado.

3.- Insuficiente alimentación de vapor.

4.- El proceso de condensado se lleva a cabo cerca del punto de ebullición, correspondiente a la presión del desaereador.

5.- Incremento en la alimentación de agua.

6.- Las charolas del desaereador están obstruidas, encorvadas o rotas.

7.- Falla en el control de nivel.

SINTOMA: Variación considerable en la presión de operación.

CAUSA Y REMEDIO:

- 1.- Falla del regulador automático de presión de vapor.
- 2.- Fluctuaciones en la presión de vapor de calentamiento o del regulador de presión.

SINTOMA: Vibraciones en la tubería de vapor y en el desaereador.

CAUSA Y REMEDIO:

- 1.- Líneas de vapor indebidamente calentadas o drenadas.
- 2.- Problemas de alimentación no uniforme al desaereador.

SINTOMA: Sello de agua en la tubería de sobreflujo operando a una presión de vapor cercana a la de operación.

CAUSA Y REMEDIO:

- 1.- Peso insuficiente de la columna de agua al sello.
- 2.- Goteo en el sello de agua.

SINTOMA: Grandes fluctuaciones en el nivel del tanque de almacenamiento.

CAUSA Y REMEDIO:

- 1.- Goteo de agua en el desagüe del tanque.
- 2.- Gran variación en el flujo de alimentación.
- 3.- Flotador de la válvula de control pegado.

4.- Error en el control manual de nivel.

OPERACION NORMAL: Durante la operación normal, la válvula de venteo debe ser cerrada hasta que solamente escape una pequeña cantidad de vapor. El aire de la válvula de salida debe cerrarse, para mantener la velocidad de venteo en el mínimo, para la operación eficiente del desaereador. Si el aire de la válvula de salida se cierra mucho, se acumulan dentro del desaereador aire y no condensables. Esta condición da como resultado que baje el calentamiento y la desaereación, es conocida como "mantenimiento de aire", resultado de una insuficiente velocidad de venteo.

La temperatura del agua desaereada debe estar siempre dentro de un grado de variación, determinado, en el espacio de operación del desaereador. Una amplia variación de esta temperatura se puede deber a una insuficiente velocidad de venteo. Esta velocidad se puede incrementar abriendo manualmente la operación de dicha válvula.

PRESION Y TEMPERATURA DE OPERACION: Debido a consideraciones de solubilidad, la operación a alta temperatura y baja presión es preferible. Sin embargo cuando el agua

y el vapor están en equilibrio la temperatura de operación queda fijada por la presión de operación. Debido a que un desaerador puede trabajar a presión o a vacío, se escoge según el proceso. En un desaerador a vacío, si se presenta una grieta en la coraza del desaerador, es difícil de encontrar mientras el desaerador esté funcionando y causará que el aire de la atmósfera entre en el agua desaerada, aereándola de nuevo.

Hay accesorios que son necesarios, para una operación normal del desaerador, pudiendo ser parte integral de éste o como un auxiliar en los servicios de control; es necesario controlar el nivel de agua dentro del tanque de almacenamiento, por lo que es necesaria una válvula de control de diafragma, usualmente de globo o de mariposa, que operará cuando el agua ahogue el desaerador.

Al incrementarse la demanda de agua desaerada, baja el nivel y las válvulas de agua se abren. Cuando los condensados regresan al desaerador, es deseable que su flujo sea libre, con la válvula de control de agua operando solamente en el agua de alimentación.

Normalmente es necesario proteger, en casos de emergencia la cantidad de agua que deja el desaerador, cuando se excede la capacidad de almacenamiento. Para este pro-

pósito se usa un sello de anillo controlador de sobreflujo.

Cuando los desaeradores están trabajando a una presión máxima de 0.3 bar; el sello de anillo es lo más simple para esta protección. En el caso de los desaeradores que operan a una presión mayor de 0.3 bar; el sello de anillo es reemplazado por una válvula de seguridad que abre al subir el nivel y descarga el exceso de agua al desagüe.

En condiciones de sobreflujo, suena la alarma debido a un switch flotador; cuando el vapor de calentamiento tiene una presión mayor que la inicial, la presión se reducirá y se mantendrá constante debido a la operación de un diafragma, en la válvula de control. Se tienen válvulas de alivio, ajustadas por medio de un resorte para una presión dada y teniendo la capacidad suficiente para descargar la máxima cantidad de vapor, que la válvula de control pasará cuando esté totalmente abierta.

Además, el servicio de seguridad está provisto con una válvula rompedora de vacío, la cual previene la formación de vacío en el desaerador si el vapor se condensa repentinamente.

El vapor de baja presión, está provisto de una válvula de control para regular la presión del desaerador y está

diseñada para cerrar en la falla de los instrumentos de aire. También tiene indicadores de presión y temperatura. Se debe tener cuidado para evitar que el agua se chupe dentro de la tubería de vapor al fallar ésta.

Se tiene un venteo en la parte superior del desaereador para sacar los incondensables a la atmósfera, en una falla del desaereador, si es de vacío el aire se puede filtrar por el venteo, por lo que es preferible tener un venteo pequeño con una válvula de globo.

Los rompedores de vacío, pueden ser válvulas de tipo Check. En caso de que el vacío suba, el aire entrará para proteger el desaereador y el tanque. Es preferible diseñar el desaereador para un vacío completo y que esté provisto de un rompedor de vacío, para una operación conveniente.

Cuando falla el control de nivel, es peligroso que suba el nivel del desaereador, generalmente el tanque de almacenamiento tiene un sobreflujo y un sello de anillo. Cuando se opera a alta presión es impráctico. En algunos casos el sobreflujo con el sello de anillo es reemplazado por una válvula de seguridad en el drere la cual abrirá al subir el nivel.

En caso de que el venteo del desaereador no sea in-

suficiente, o falle la válvula de control de presión de vapor, haciendo que se eleve la presión en el desaerador, éste tiene una válvula de alivio.

PARAMETROS DE UNA BUENA OPERACION:

- 1.- Contenido de O_2 en la salida.
- 2.- Diferencia de temperatura entre el agua desaerada y la temperatura del vapor saturado correspondiente a la presión del vapor en la desaeración completa.
- 3.- Caída de presión entre el vapor que entra a la boquilla y el vapor que sale al agua. Cuando la caída de presión se determina, es un factor importante.
- 4.- Caída de presión entre el agua que entra a la boquilla y la presión de vapor, en la desaeración completa.
- 5.- Calidad del vapor venteado.

PARO DE OPERACION:

- 1.- Cierre todas las entradas de agua, así como los retornos y la válvula reductora de vapor si existe.
- 2.- Cierre la válvula de entrada de vapor.
- 3.- Abra toda la válvula de venteo.
- 4.- Cierre la válvula para la bomba.

5.- Si la unidad está fuera de servicio por largo tiempo, desagüe el tanque de almacenamiento, a través de la conexión de desagüe de la bomba de salida.

MANTENIMIENTO:

Después de que el desaereador ha sido asegurado y desagüado, deje que el desaereador se enfríe a una temperatura que permita el acceso. Entre a la unidad a través de la entrada de hombre en la coraza.

Periódicamente el desaereador debe ser limpiado e inspeccionado. Limpie el interior de la unidad. Inspeccione cuidadosamente todas las partes como son la válvula de atomización, los agujeros para esparcido y la trampa de carga.

En seguida limpie e inspeccione el desaereador, vuelva a colocar la tapa de la entrada de hombre que se abrió para el acceso. Asegurese de que la cubierta ha sido apretada apropiadamente y resistirá la presión de operación sin gotear.

La trompa de cargar del distribuidor de esparcido, debe ser inspeccionado para asegurarse que esté libre de depósitos y sedimentos. La válvula debe ser quitada cuidadosamente y limpiada para asegurarse que disperse al agua efectivamente. En la unidad vertical el distribuidor de esparcido

es removido, quitando las tuercas en la cabeza. La tubería y las boquillas deben ser aflojadas de la cabeza de entrada de agua. En la unidad horizontal, el acceso a la cámara de boquillas se hace por la extensión encima del colector. La boquilla debe ser removida, usando una llave inglesa standar. Después de apretar la boquilla de esreado dentro de la cabeza de entrada de agua, los tornillos deben ser cubiertos con plomo asegurándose contra el goteo.

La válvula de atomización debe de ser inspeccionada para asegurarse que esté libre de depósitos y sedimentos. La válvula debe ser quitada y limpiada para asegurar un flujo de vapor efectivo. La válvula de atomización debe ser quitada, al quitar las tuercas de los refuerzos en el borde del tubo interno de vapor. La válvula debe ser bajada al fondo del tanque de almacenamiento. Se debe inspeccionar este lugar levantando el contra peso y la válvula de disco de su sitio. Si es necesario llevar la válvula a otro lado, cuando se reensamble se debe asegurar que se coloque el retén y las tuercas en su posición original.

Limpiar, inspeccionar, reparar o reemplazar, según se requiere las partes que estén rotas o muestren un

uso excesivo que pueda producir una falla.

Durante la operación, los tubos medidores y los termómetros deben de mantenerse limpios. Los termómetros deben ser chequeados ocasionalmente para que sean exactos.

Se debe hacer un chequeo rápido desconectando los termómetros y no notar ningún cambio o diferencia de temperatura, de la marcada anteriormente. Otra prueba rápida es sumergir los termómetros en agua hirviendo, siendo necesario que la temperatura marcada sea la de ebullición.

Los servicios de protección, el servicio de sobreflujo y la válvula de venteo, deben ser operadas manualmente en algunas ocasiones para checar si trabajan adecuadamente.

PROBLEMAS DE OPERACION EN DESAERADORES CONECTADOS EN PARALELO:

Frecuentemente las plantas industriales tienen dos desaeradores conectados en paralelo para asegurar la calidad del agua en la planta. Esta conexión en los desaeradores, es un sistema similar a uno de vasos comunicantes. Sin embargo, bajo algunas circunstancias, las variaciones en la presión de vapor del desaerador son responsables de crear en el sistema oscilaciones forzadas o inestabilidad.

Los desaeradores con oscilaciones severas no pueden ser operados, si la oscilación es pequeña no descargan la misma cantidad de agua y su capacidad desaeradora puede empeorar.

Un arreglo elemental de este tipo se muestra en la FIG. P-1 en el diagrama, se representan las principales conexiones entre ambos desaeradores y las líneas de balance entre el agua y vapor, así como las de escape.

La estabilidad de la operación y una carga igual a ambos desaeradores, se puede obtener operando las válvulas de control de agua con un sólo control. Sin embargo, cada uno de los desaeradores deben ser controlados individualmente, mientras el otro que va a ser conectado empieza a operar. Durante este tiempo la operación debe ser estable, sino al conectar en paralelo se puede complicar.

Es muy usual que ambos desaeradores sean idénticos, para asegurar que tengan la misma presión de vapor, es deseable que la tubería surtidora de vapor sea simétrica, si esto no se hace, la operación se complica.

Este sistema puede fallar, si las líneas de retorno de condensados no se controlan, debido principalmente, a la ausencia de válvulas de control, a la caída de presión

en la válvula de espreado o a diferentes orificios de espreado, las dos últimas se pueden resolver al aumentar la caída de presión en la tubería.

Otro sistema de arreglo se muestra en la FIG. P-2. Este sistema contiene tuberías para balancear el agua y el vapor, el propósito de esto es reducir la ΔP de la carga de vapor durante las oscilaciones y corregir fallas en la alimentación de agua, causadas por una posición asimétrica de las bombas de alimentación con respecto a los tanques. Esta forma es igual a la anterior, exceptuando las conexiones de balanceo y la interconexión entre los controles de nivel. Teóricamente, ambos sistemas son iguales en la práctica el segundo es más barato que el primero, debido a que la tubería para el balanceo permite líneas surtidoras de vapor más pequeñas.

Para controlar el desaerador se deben restringir los escapes al mínimo, para retener el control de nivel en cada uno de los desaeradores. Es muy práctico usar un control de nivel para ambos desaeradores, lo que ayudará a una operación estable más que si cada uno tuviera su control.

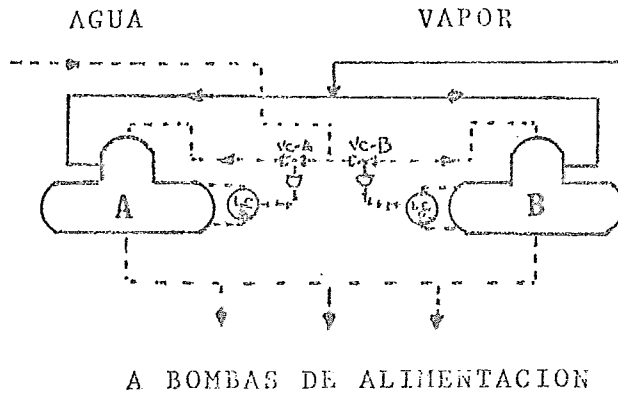
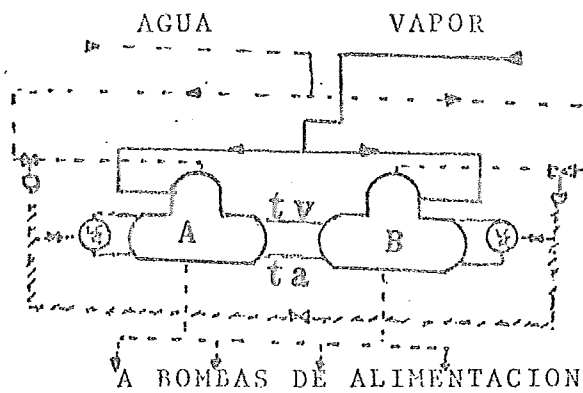


DIAGRAMA ELEMENTAL DE DESAEREADORES
 CONECTADOS EN PARALELO

(FIG. P-1)



t v .- TUBERIA DE BALANCE DE VAPOR.

t a .- TUBERIA DE BALANCE DE AGUA.

ARREGLO DE TUBERIAS COMUN
 A AMBOS DESAEREADORES.

(FIG. P-2)

D I S E Ñ O.CONSIDERACIONES QUE DEBEN SER TOMADAS EN CUENTA PARA EL DISEÑO DE UN DESAEREADOR DE PLATOS A PRESION.

Para lograr una máxima desaereación dentro de las limitaciones físicas del desaereador, las siguientes condiciones deberán ser tomadas en cuenta.

- a) Eficiente agotamiento de los gases disueltos en el agua desmineralizada.
- b) Tendencia al equilibrio entre la fase líquida y la fase vapor.
- c) Vapor agotador libre de oxígeno.
- d) Eficiente remoción de los gases disueltos.
- e) Baja de la tensión superficial del agua.

Para el punto a, se requiere un área de contacto máxima entre el agua y el vapor, para lograr esto, generalmente se usan válvulas rociadoras para convertir el chorro de agua en finas gotas en el domo del desaereador. El oxígeno y los gases disueltos están contenidos en estas gotas, entonces la distancia a recorrer por estos para alcanzar la superficie de la gota y escapar es mínima. Sin embargo como la tensión superficial es inversamente proporcional al radio de curvatura, los gases contenidos

tienen que vencer éste incremento en la tensión superficial, para pasar de las gotas de agua al vapor. De cualquier manera si las gotas de agua son puestas en forma continua a través de un medio de vapor por una cantidad infinita de tiempo, existirá una cantidad de oxígeno residual que no podrá reducirse debido a la tensión superficial la cual impide la difusión del oxígeno de la superficie del agua hacia el vapor; de esto se deduce que las gotas finas hechas en el domo del desaerador no son suficientes para lograr una desaereación eficiente. Con el fin de sobre llevar éstas limitaciones las gotas son colectadas sobre platos perforados donde son otra vez rotas en finas gotas; incrementando el número de éstos platos es posible lograr una mejor remoción de estos gases.

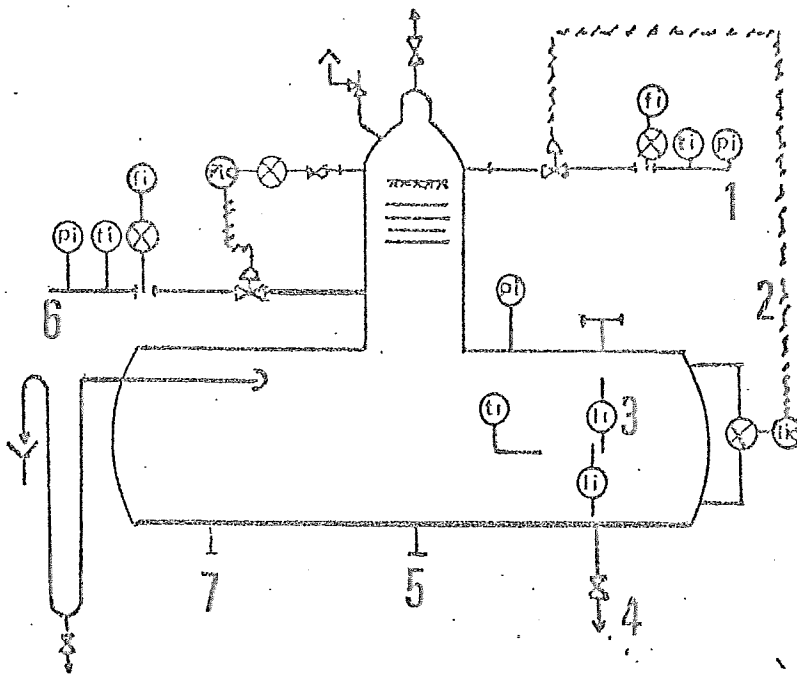
Los platos perforados son colocados en el desaerador de tal manera que el vapor avance en "zig-zag". Para permitir el tiempo de contacto necesario entre el vapor que sube y el agua que baja. Sin embargo, éste tiempo depende de otras cosas también: tamaño de las gotas producidas, presión y temperatura de operación, así como de las condiciones del vapor.

En la aproximación al equilibrio, el agua empieza a hervir en cada plato. Esto hace que la superficie del a-

gua presente condiciones de turbulencia que ayudan a romper la tensión superficial y ayuda a la remoción de los gases.

Para un eficiente agotamiento de los gases disueltos, el vapor debe tener una velocidad adecuada. El vapor es generalmente alimentado en el fondo del desaerador y viaja en contra corriente hacia la entrada del flujo de agua.

ESQUEMA D-1



DESAERADOR

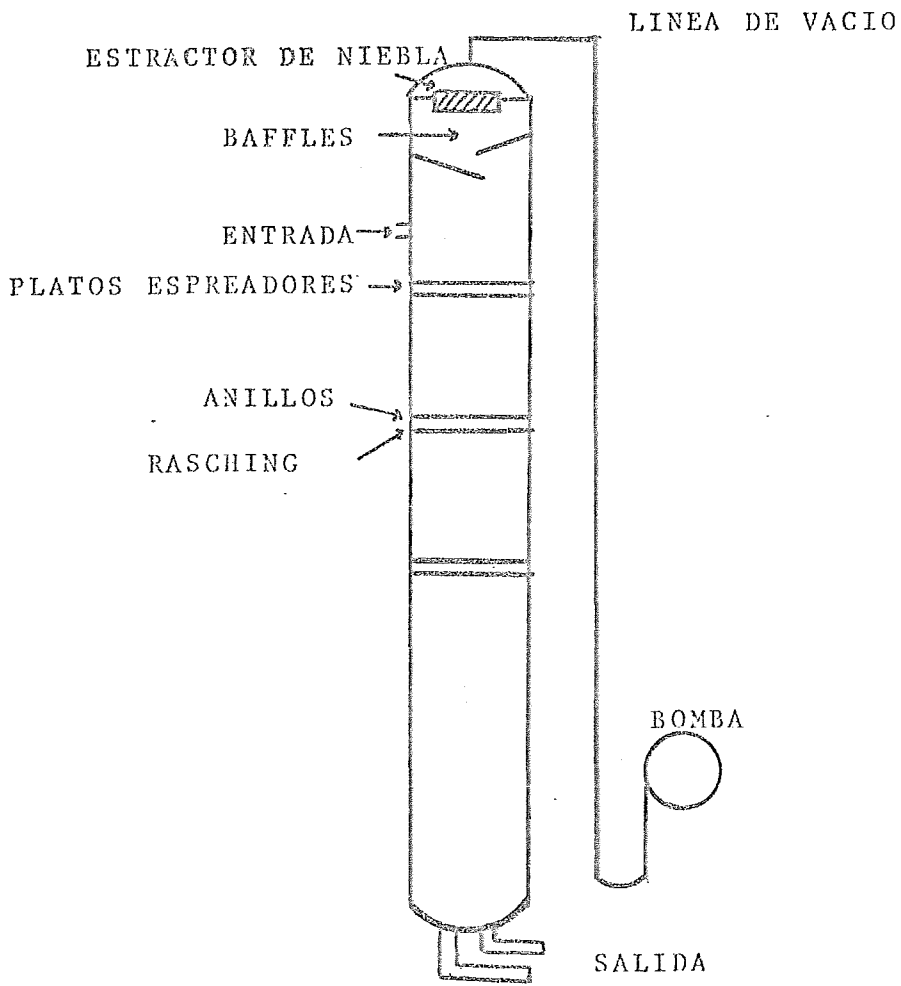
- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1.- AGUA DESMINERALIZADA | 5.- DESCARGA A BOMBA |
| 2.- ROMPEDOR DE VACIO | 6.- VAPOR |
| 3.- INDICADOR DE NIVEL | 7.- MUESTREO |
| 4.- DRENAJE | |

CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA UN DESAERADOR EMPACADO QUE TRABAJA A VACIO.

Para cálculos de diseño de un desaerador, es necesario asumir que los gases disueltos en el agua deberán alcanzar el equilibrio con el vapor contenido en el recipiente, esto no es exactamente cierto, pero la aproximación al equilibrio es lo suficientemente cercana como para no incurrir en un gran error, se asume también que no hay una caída de presión a través del desaerador. La caída de temperatura es tan pequeña que no afecta en los cálculos de equilibrio.

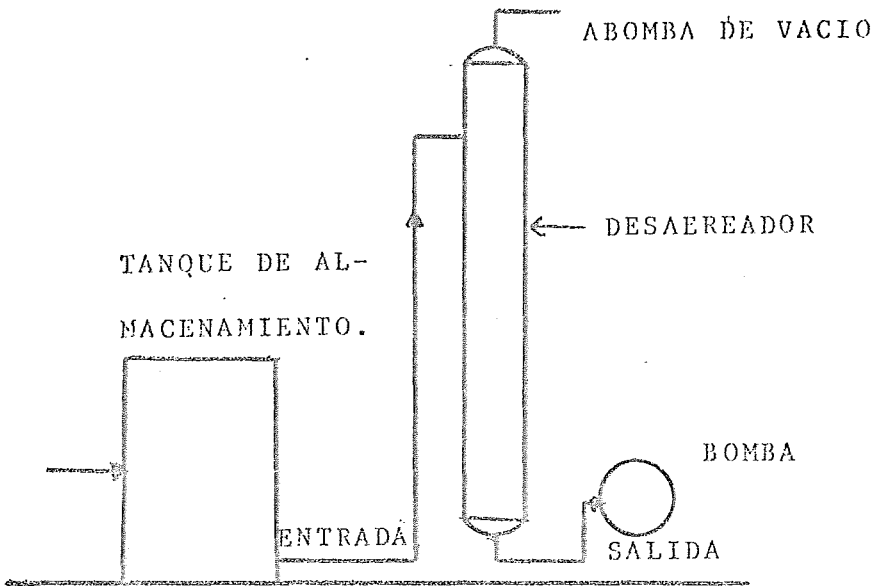
Son importantes las siguientes consideraciones:

- 1.- El flujo de agua debe ser tal que no se llegue a inundar el empaque.
- 2.- El paso a través del empaque debe ser suficiente para permitir las condiciones más cercanas al equilibrio en la unidad.
- 3.- El empaque deberá ser distribuido de tal manera que evite la formación de canales.
- 4.- Las líneas de remoción de vapor deberán ser dimensionadas de tal manera que eviten la caída de presión.



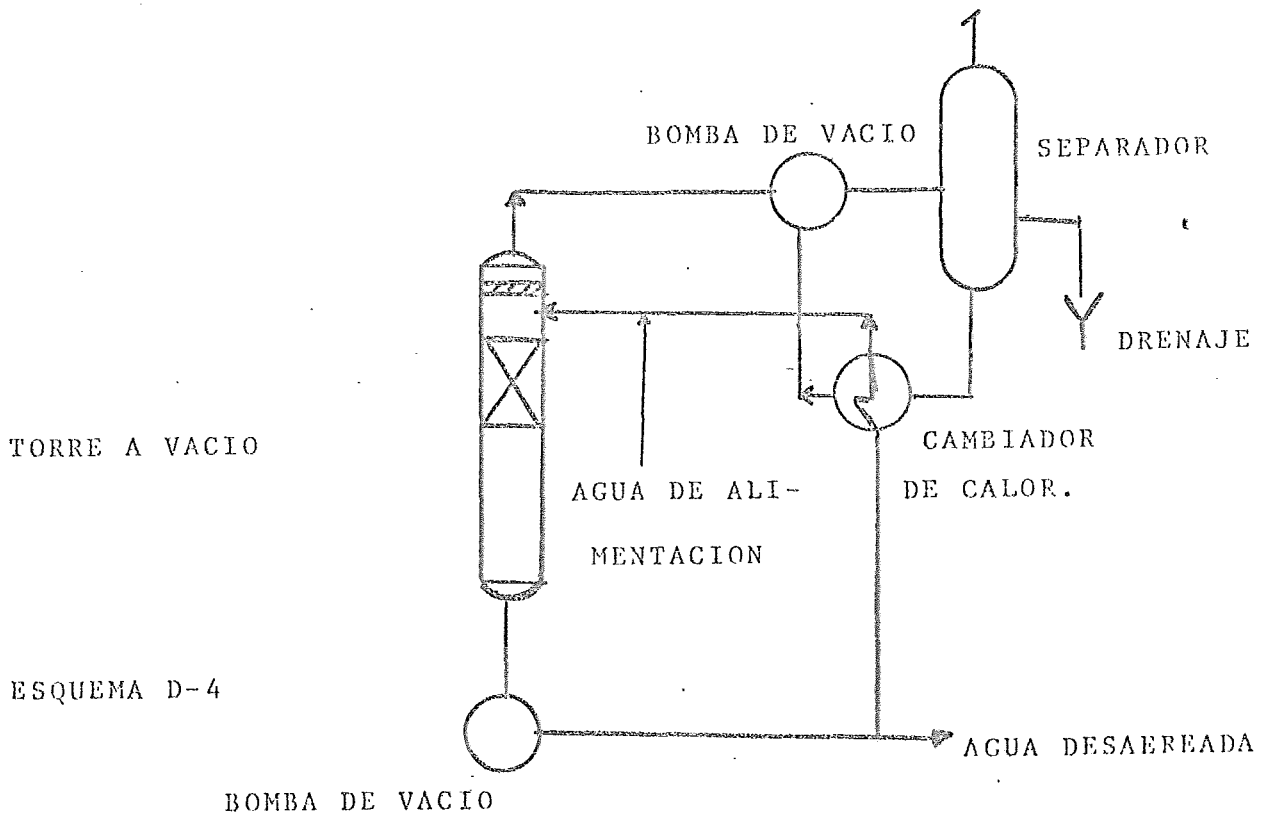
DESAERADOR A VACIO

ESQUEMA D-2



ESQUEMA D-3

ACCESORIOS DE UN DESAERADOR



ESQUEMA D-4

DESAERADOR QUE TRABAJA A DOS PRESIONES.

RECOMENDACIONES DE DISEÑO Y OPERACION DE DESAERADORES
EN PARALELO:

Se debe tener particular atención para preveer la contaminación del agua desaerada por la reabsorción del aire por las uniones. El desaerador debe tener junta de borde y estar colocado por encima del tanque de almacenamiento para que el agua caiga por la gravedad. La elevación del desaerador debe ser suficiente para vencer la cabeza estática, el vacío y las pérdidas en la línea entre la unidad y el tanque de almacenamiento. Los codos, juntas y bombas para el agua desaerada se deben colocar debajo del nivel de agua en el tanque de almacenamiento.

Para evitar el goteo en las cajas empacadas la línea de descarga no debe estar sujeta a vacío. Encima del indicador de nivel todas las juntas mecánicas tienen que estar totalmente unidas. Los controles de vapor en la tubería de reposición deben ser mínimo.

Si los desaeradores se deben operar en paralelo, todos los controles deben ser instalados a nivel excluyendo la entrada de aire, así mismo las tuberías deben de tener las mismas pérdidas hidráulicas y su arreglo debe ser simétrico.

Si el agua desaerada abandona los tanques por gravedad, la tubería usada debe de ser igual. La entrada de flujo de en medio del calentamiento debe ser controlada automáticamente, considerando la presión en el desaerador. Para evitar la contaminación secundaria y a asegurar una desgasificación adicional en el tanque de almacenamiento, cuando el volumen sea de 10.00 m³, se podrá hacer en la parte baja por medio de tubos perforados. De este modo se previene una circulación excesiva en el tanque se debe evitar el contacto del aire con la superficie del agua. Esto es necesario para asegurar la máxima condensación del vapor antes del vacío. El flujo específico de vapor antes del condensador de venteo, debe tomar de 3 a 5 kg/ton. de H₂O.

Durante la condensación de vapor en el condensador de venteo, la temperatura del agua debe ser menor de 12 a 15°C.

Para expeler las burbujas de gas contenidas dentro del condensador de venteo integral se debe instalar una retención especial. El flujo debe ser por encima de 50 a 100 mm. de agua, con lo que se asegura un tiempo de residencia mayor de 20 segundos.

DISEÑO DE LOS FACTORES CRITICOS EN UN DESAEREADOR DE CHAROLAS A PRESION.

Muchos paros en los sistemas de generación de potencia han sido causados por fallas en el desaereador. Estas fallas han ocurrido invariablemente durante reducciones en el flujo del vapor proveniente de la turbina.

Las razones principales de estos paros son:

1.- No tomar en cuenta en el diseño la diferencia de presión máxima en la sección de charolas (El desaereador propiamente dicho).

2.- Mal diseño de los tubos igualadores de presión entre el desaereador y el tanque de almacenamiento.

Lo anterior nos conduce que para fines de diseño es indispensable tomar en cuenta los estados de transición para llegar al estado estacionario.

Cuando se opera un desaereador en estado estacionario, el balance de masa y energía puede hacerse facilmente (ver bases), en cambio cuando el estado no es estacionario las propiedades del vapor y del agua dentro del desaereador cambian debido a los cambios de fase, lo que hace que el balance de materia y energía sea diferente al estado estacionario, por lo tanto el diseño interno de un desaereador no solo debe satisfacer al estado estacionario sino, también al régimen no permanente.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO:

1.- Máxima diferencia de presión entre la sección desaeradora y el tanque de almacenamiento del agua de alimentación a la caldera.

2.- Máxima diferencia de presión en la sección de charolas.

La consideración (1) nos permite el mejor diseño de los igualadores de presión y la (2) el mejor diseño de la estructura interna, del desaerador, o en su defecto, permitirá el diseño de una válvula reelevadora de presión.

El ecualizador de presión y la sección de las charolas son las consideraciones más importantes para el diseño en una operación de transición del desaerador.

Si se reduce el flujo vapor en una turbina o se lleva a cabo un paro, el vapor que llega al desaerador no es su suficiente; en ese instante, la presión en el desaerador es más alta que la presión a la salida de la turbina, esto implica que la válvula a la salida de la turbina cierre; ya que es un factor de seguridad para impedir que la energía del desaerador entre en la turbina. La caída de presión en el desaerador ocurre inmediatamente.

Esta caída de presión es transmitida al tanque de almacenamiento a través de los igualadores de presión; esto

trae como resultado una evaporación repentina (Flashing) del agua en el espacio vacío del tanque de almacenamiento. Este vapor producido pasa por medio de los igualadores de presión a la sección de desaeración.

Bajo condiciones de flujo no estacionario (reducción súbita del flujo de vapor), el tamaño de los igualadores de presión deberá ser tal que la diferencia de presión entre el área de desaeración y el tanque de almacenamiento (En el caso de que la presión del tanque de almacenamiento sea mayor que la presión en la sección de desaeración) sea menor que la carga estática del drenaje.

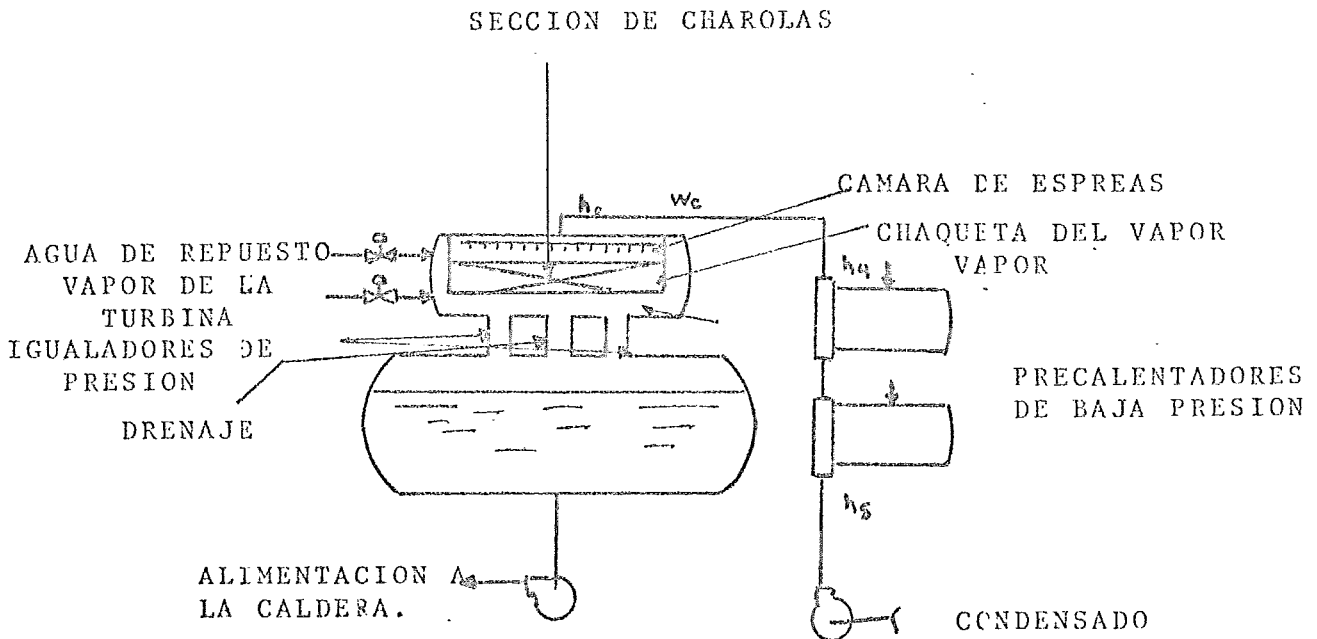


FIG. D-5

De otra manera la sección de desaereación será inundada causando daños en la estructura, sobre todo si el tanque de almacenamiento está en su nivel normal.

La sección de desaereación está normalmente dividida en dos subsecciones: La cámara de espreado y la chaqueta de vapor, por medio de una sección de charolas. El vapor proveniente de la turbina entra en la chaqueta del vapor y fluye a través de las charolas hasta alcanzar la cámara de espreado. El condensado admitido en la parte alta del desaereador es inyectado a través de un orificio en la cámara de espreado, donde es calentado instantaneamente a la temperatura de saturación. Si la cámara de espreado es común con la coraza pero la chaqueta de vapor está separada de la coraza, junto con los igualadores de presión, la carga disponible en el drenaje deberá ser mayor que la suma de la caída de presión en las charolas y la caída de presión en los igualadores de presión.

AP drenaje > AP ch + AP tubos

Por otra parte si la chaqueta de vapor es común a la coraza, pero la cámara de espreado está separada por otra coraza, los igualadores de presión deberán ser dimensionados de tal manera que la caída de presión en estos sea menor que la carga estática disponible en el drenaje.

ΔP drenaje $>$ ΔP tubos

En este estudio nos ocuparemos principalmente de este caso. (ver diagrama D-5).

Bajo régimen no estacionario, el vapor evaporado ("Flasheado") pasa por medio de los tubos igualadores de presión a través de la sección de charolas hasta llegar a la cámara de espreado, donde se mezcla con el condensado que entra por la parte superior para establecer una nueva presión de saturación. La caída de presión del vapor "flasheado" a través de la sección de las charolas puede ser de 10 a 20 veces la caída de presión normal del vapor proveniente de la turbina trabajando a régimen permanente. Por lo tanto es necesario que la sección de charolas sea diseñada para un máximo de caída de presión, o en su defecto, colocar una válvula reelevadora de presión, para evitar daños internos.

ANALISIS MATEMATICO.

Partiendo de las expresiones matemáticas desarrolladas por LIAO (Liao G.S., Leung P., "Analysis of Feedwater Pump Suction Pressure Decay Under Instant Turbine Load Rejection" Journal of Engineering for power Tras. ASME. Vol 94, april 1972. pp. 83-90) para caídas de presión debido a la variación en el flujo de la turbina. Si el flujo de condensado se mantiene constante durante el período de transición.

Las ecuaciones que expresan el comportamiento del desaireador pueden ser:

Si el tiempo transcurrido desde que el vapor es cortado o baja en la carga (en Min), es menor que el tiempo que se requiere para reemplazar el condensado caliente (en Min).

$$t < t_w$$

$$h_f = a (M - Wct) + h_4 - (aM - h_1 + h_4)e^{-\frac{Wct}{M}}$$

- d-1

Donde:

h_f = Entalpía del agua saturada en el desaireador después de t minutos de reducción en la carga. Btu/Lb

a = Gradiente de entalpía de agua caliente Btu/Lb²

$a = (h_4 - h_5 / M_w)$

h_4 = Entalpía de los condensados que entran al desaereador al tiempo en que existe la reducción en la carga
Btu/Lb.

h_5 =Entalpía de los condensados que entran a los precalentadores Btu/Lb.

M_w = Masa de condensado, contenida en los precalentadores y el tubo de interconexión en Lb.

M = Masa de agua en el tanque de almacenamiento del agua desaereada, Lb.

W_c = Flujo de condensado después de que el vapor es cortado en Lb/min.

h_1 = Entalpía del agua saturada.

Cuando $t=t_w$

$$h_3 = a(M - M_w) + h_4 - (aM - h_1 + h_4)e^{-\frac{M_w}{M}}$$

• d-2

h_3 = Entalpía del agua saturada en el desaereador al tiempo en que el condensado caliente ha sido reemplazado y el condensado de los precalentadores entra al desaereador a una P_3 en Btu/Lb.

P_3 = Presión del desaereador en el tiempo en que el condensador caliente ha sido reemplazado y el condensado de entrada a los precalentadores entra en el desaereador en Psia.

ANALISIS DIMENSIONAL DE LA ECUACION
d-2

$$\frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \frac{\text{Btu}}{\text{lb}^2} (\text{lb} - \frac{\text{lb}}{\text{min}} \text{ min}) + \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} - (\frac{\text{Btu}}{\text{lb}^2} \text{ lb} - \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} + \frac{\text{Btu}}{\text{lb}}) e^{\frac{\text{lb min}}{\text{min lb}}}$$

Cuando $t > t_w$

$$h_f = h_5 + (aM (e^{\frac{Mw}{M}} - 1) + (h_1 - h_4)) e^{-\frac{Wc}{M} t}$$

d-3

h_5 = Entalpía del condensado de entrada a los precalentadores Btu/lb.

- El tiempo requerido de máxima caída de presión.

Si: $t_2 > t_w$

t_2 = El tiempo requerido para que se tenga una diferencial de presión de $P_2 - P_1$, mín.

P_1 = Presión en el desaereador al instante de la reducción de carga en psia.

P_2 = Presión final del desaereador psia a t_2 ó que $h_2 < h_3$.

h_2 = Entalpía del agua saturada en el desaereador al final del período transitorio (correspondía P_2) Btu/lb.

h_3 = Entalpía del agua saturada en el desaereador en el instante en que el condensado caliente es reemplazado y el condensado de entrada a los precalentadores comienza a entrar al desaereador a P_3 Btu/lb.

P3= Presión en el desaereador al instante en que el condensado caliente ha sido reemplazado y el condensado de entrada a los precalentadores entra al desaereador en psia.

$$t_2 = \frac{M}{w_c} \text{Ln.} \frac{aM \left(e^{\frac{Mw}{M}} - 1 \right) + (h_1 - h_4)}{(h_2 - h_5)} \quad d-4$$

Durante la reducción de carga de la turbina, la presión en el tanque de almacenamiento baja con un breve retraso comparada con la presión en la sección de desaereación.

Si $w_s \frac{(lb)}{\text{min}}$ pasa de vapor flasheado de la sección de almacenamiento pasa a través de los igualadores de presión a la sección de desaereación, se mezcla con el condensado de entrada a estos, dando como resultado una diferencial de presión ΔP , las siguientes relaciones fueron obtenidas de un balance de masa y energía.

$$W_s h_g + W_c h_o = (W_s + W_c) (h_f + \Delta h_f)$$

h_g = Entalpía del vapor saturado en el desaereador después de t minutos de reducción en la carga. $\frac{\text{Btu}}{\text{lb}}$

W_c = Flujo de condensado después de que el flujo de vapor es cortado lb/min .

h_o = Entalpía del condensado entrando al desaereador $\frac{\text{Btu}}{\text{lb}}$

Δhf = Cambio en la entalpía del agua saturada correspondiente a ΔP Btu/lb.

donde $(hf + \Delta hf)$ es la entalpía del drenaje correspondiente a $P + \Delta P$.

$$W_s hg = W_s (hf + \Delta hf) + W_c (hf + \Delta hf) - W_c h_o$$

$$W_s (hg - hf - \Delta hf) = W_c (hf + \Delta hf - h_o)$$

$$W_s = W_c \frac{hf + \Delta hf - h_o}{hg - hf - \Delta hf} = W_c \frac{hf - h_o + \Delta hf}{hfg - \Delta hf} \quad d-5$$

Si Δhf es despreciado ya que es un valor pequeño en comparación con los demás, se puede llegar a una ecuación más conservadora.

Entonces la cantidad de vapor producido por "flasheo" es:

$$W_s = W_c \frac{hf - h_o}{hfg} = W_c F_1 \quad d-6$$

$$F_1 = \frac{hf - h_o}{hfg} \quad d-7$$

F_1 = Es un factor de vapor y una función de la entalpía del condensado de entrada y de la presión en el desaerador.

P = Presión después de t minutos de la reducción de carga páia.

La máxima producción de vapor flasheado ocurrirá cuando la presión en el desaerador está a su máximo y es igual a la presión inicial. Esto es el instante en que se tie-

ne una reducción de carga en la turbina despreciando el lapso de tiempo entre el condensado de entrada y el decaimiento de presión en el desaereador.

Si el condensado caliente contenido en los calentadores a baja presión y los tubos de interconexión (corriente arriba del desaereador) es considerado en la evaluación, El factor de vapor puede ser expresado como sigue:

Cuando $t < t_w$

$$F_1 = \frac{1}{h_{fg}} \left((h_f - h_5) - (h_4 - h_5) \left(\frac{1-t}{t_w} \right) \right) \quad d-8$$

Sustituyendo $h_o = h_4 - (h_4 - h_5) \frac{W_c}{M_w} t$ en la ecuación d-7.

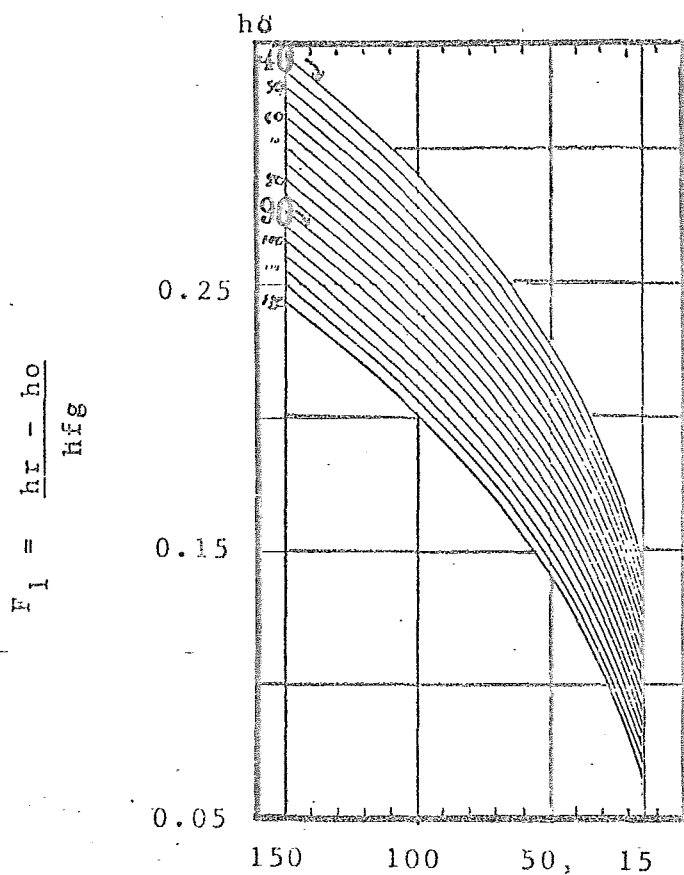
Cuando $t \geq t_w$

$$F_1 = \frac{1}{h_{fg}} (h_f - h_5) \quad d-9$$

La máxima producción de vapor flasheado ocurrirá cuando, el condensado frío alcance el desaereador ($t = t_w$) más que en el instante de la reducción de carga ($t = 0$).

De las ecuaciones d-8, d-9 el efecto del condensado caliente en el factor de vapor puede ser rápidamente notado, el factor de vapor es reducido debido al condensado caliente. en:

$$\frac{1}{h_{fg}} (h_4 - h_5) \left(\frac{1-t}{t_w} \right)$$



PRESION EN EL DESAEREADOR EN PSIA

FIG. D-6

FACTOR DEL VAPOR

VELOCIDAD A TRAVES DE LOS IGUALADORES DE PRESION.

Basada en la ecuación de continuidad la velocidad del vapor a través de los igualadores de presiones:

$$V = \frac{W_3 V_g}{60 A e}$$

V_g = Volúmen específico de vapor saturado a la presión del desaereador P Ft/lb.

A_e = área de los igualadores de presión en Ft².

Sustituyendo la ecuación d-6 en la anterior

$$V = \left(\frac{W_c}{60 A_e} \right) \left(\frac{h_f - h_o}{h_{fg}} \right) V_g \quad d-10$$

$$V = \left(\frac{W_c}{60 A_e} \right) \cdot F_2 \quad d-11$$

Donde:

$$F_2 = \frac{h_f - h_o}{h_{fg}} V_g = F_1 \cdot V_g \quad d-12$$

El factor de velocidad es otra vez función de la entalpía de entrada del condensado h_o y de la presión del desaereador P y puede ser expresada como sigue:

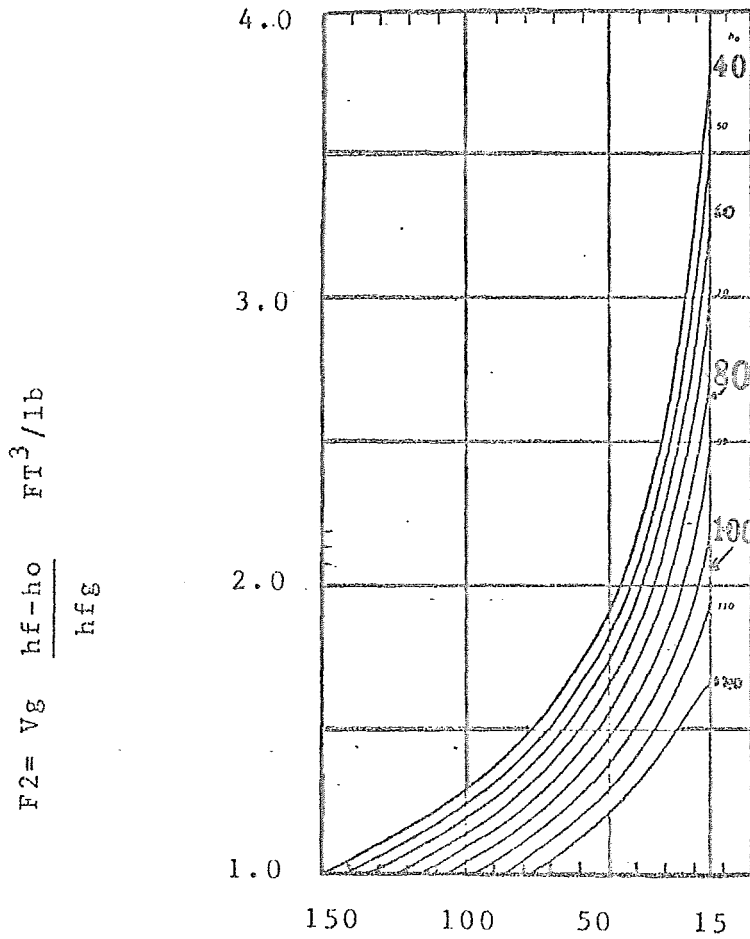
Cuando $t < t_w$

$$F_2 = \left(\frac{V_g}{h_{fg}} \right) \left((h_f - h_5) - (h_4 - h_5) \left(\frac{1-t}{t_w} \right) \right) \quad d-13$$

Cuando $t \geq t_w$

$$F_2 = \left(\frac{V_g}{h_{fg}} \right) (h_f - h_5) \quad d-14$$

La ecuación 11 indica que la velocidad del vapor a través de los igualadores de presión es directamente proporcional a F_2 si el flujo del condensado W_c y el área del ecualizado A_e son constantes.



PRESION EN EL DESAERADOR EN PSIA.
 FACTOR DE VELOCIDAD EN LOS
 IGUALADORES.

FIG.D-7

CAIDA DE PRESION EN LOS IGUALADORES.

Como los igualadores de presión son normalmente tubos cortos localizados entre la sección del desaerador y el tanque de almacenamiento, la siguiente fórmula para caída de presión puede ser aplicable.

$$AP = K_e \frac{V^2}{2g}$$

K_e = Coeficiente de resistencia de los ecualizadores.

V = Velocidad del vapor a través de los igualadores de presión.

Si la caída de presión es expresada en pies de agua saturada (ΔH).

$$\Delta H = K_e \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{V_f}{V_g} = \frac{K_e}{2g} \left(\frac{W_c}{60A_e} \right)^2 (V_f \cdot V_g \frac{(h_f - h_o)^2}{h_{fg}}) \quad \text{d-15}$$

$$\Delta H = \frac{K_e}{2g} \left(\frac{W_c}{60A_e} \right)^2 \cdot F_3 \quad \text{d-17}$$

$$\text{Donde } F_3 = \frac{V_f V_g (h_f - h_o)^2}{h_{fg}} = V_f \cdot V_g \cdot F_1^2 \quad \text{d-17}$$

V_f = Volúmen específico de agua saturada en el desaerador (corresponde a P) Ft^3/lb .

V_g = Volúmen específico.

El factor de caída de presión de los igualadores de presión puede ser expresada como sigue:

Cuando $t < t_w$

$$F_3 = \frac{V_f \cdot V_g}{h_{fg}^2} \left((h_f - h_5) - (h_4 - h_5) \left(\frac{K - t}{t_w} \right) \right)^2 \quad \text{d-18}$$

Cuando $t \geq t_w$

$$F_3 = \frac{V_f \cdot V_g}{h_{fg}^2} (h_f - h_5)^2 \quad \text{d-19}$$

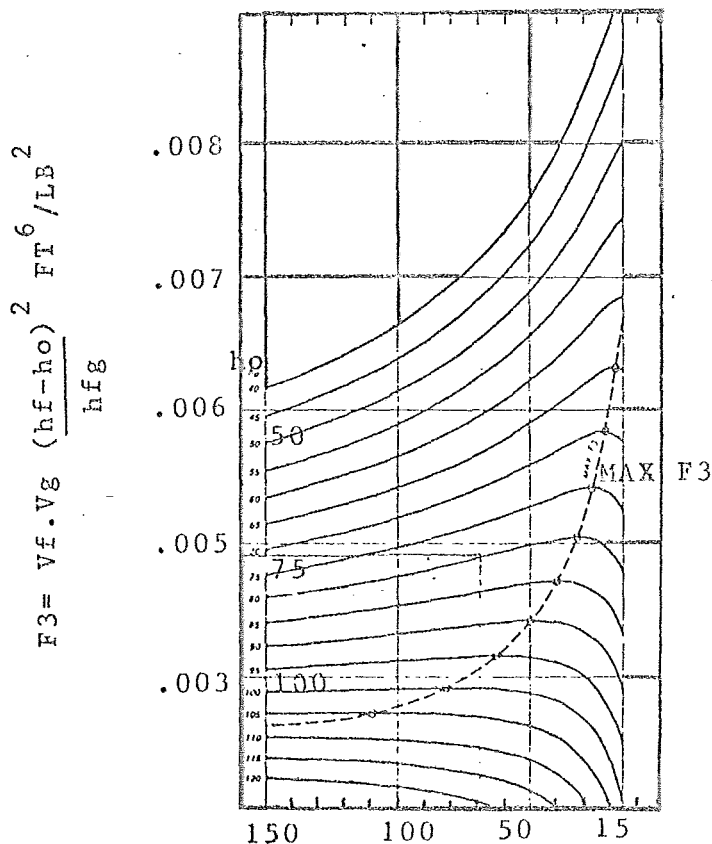
Si la caída de presión permitida, que puede ser la

carga estática del drenado de los tubos es conocida, el área del ecualizador puede ser determinado por:

$$A_e = \frac{W_c}{60} \sqrt{\frac{1}{2g} \frac{K_e}{AH}} \cdot F_3 \quad d-20$$

Debe hacerse notar que la ecuación d-20 es correcta solo para los casos en que la coraza de la sección del desaereador es usada como cámara de vapor también.

Con un flujo constante de condensado W_c y con una K_e pre-determinada y una A_e determinada la ecuación d-16 indica que la caída de presión a través de los igualadores de presión es directamente proporcional al factor de caída de presión F_3 .



PRESION EN EL DESAERADOR EN
PSIA.
FACTOR DE CAIDA DE PRESION EN
LOS IGUALADORES DE
PRESION
FIG. D-8

DIFERENCIA DE PRESION A TRAVES DE UNA COLUMNA DE PLATOS.

De una manera general la caída de presión a través de la columna de platos puede ser expresado como:

$$APt = Re \left(\frac{W}{60} \right)^2 V$$

V= Volúmen específico del vapor en Ft³/lb

W= Flujo de vapor en lb/min.

Rt= Factor de resistencia de la columna de platos.

Rt es una función del flujo de vapor, el flujo de agua, y de la configuración de la columna de platos.

A fin de poder simplificar el análisis transitorio,

Rt puede ser tomado como una constante para motivos de diseño.

Si la caída de presión a través de la columna de platos en las condiciones de diseño, las cuales normalmente corresponden a máxima carga de la turbina ha sido establecida. El factor de resistencia Rt puede ser determinado como sigue:

$$Rt = \frac{(D Pt)_m}{\left(\frac{(W_s)_m}{60} \right)^2 (V)_m} \quad d-21$$

Donde: (APt)_m = Caída de presión a través de los platos cuando se trabaja a máxima carga, psi.

$(W_s)_m$ = Cantidad de vapor que pasa a través de los platos cuando la turbina opera a máxima capacidad.

$(V)_m$ = Volúmen específico promedio del vapor cuando la turbina opera a máxima capacidad en Ft^3/lb .

Entonces la caída de presión a través de la columna de platos bajo régimen transicional es:

$$AP_t = R_t \left(\frac{W_s}{60} \right)^2 V_g$$

$$AP_t = R_t \left(\frac{W_c}{60} \right)^2 \frac{(h_f - h_o)^2}{h_{fg}} V_g \quad d-22$$

$$AP_t = R_t \left(\frac{W_c}{60} \right)^2 \cdot F_4 \quad d-23$$

Donde:

$$F_4 = V_g \frac{(h_f - h_o)^2}{h_{fg}} = \frac{1}{V_f} F_3 \quad d-24$$

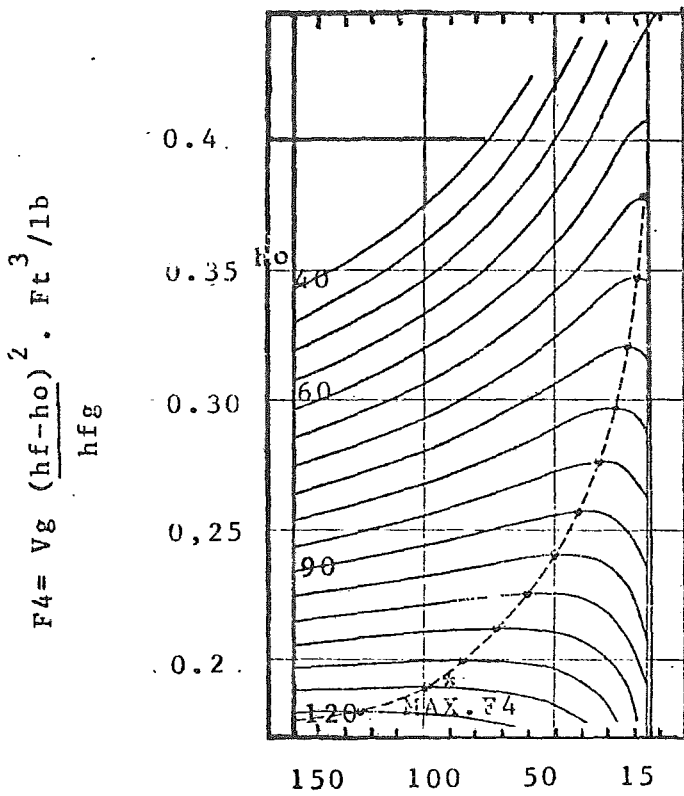
El factor de caída de presión de la columna de platos F_4 es esencialmente el mismo que el factor de caída de presión de los igualadores excepto que F_4 corresponde a la caída de presión en lb/Ft^2 mientras que F_3 corresponde a la caída de presión en Ft de líquido saturado.

Si válvulas reelevadoras de presión son usados para prevenir a la columna de platos de una excesiva caída de presión bajo régimen transicional, el factor de resistencia de la columna de platos y de la válvula reelevado-

ra de presión puede ser expresada como sigue:

$$R_C = \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{1}{R_t}} + \sqrt{\frac{1}{R_d}} \right)^2}$$

d-25



PRESION EN EL DESAERADOR EN PSIA.
FACTORES DE CAIDA DE PRESION EN
LA COLUMNA DE PLATOS.

Donde R_d es el factor de resistencia de abertura de la válvula reelevadora de presión y puede ser escrito como sigue:

$$R_d = \frac{1}{2g} \frac{K_d}{A_d^2} \frac{1}{144} \quad \text{----- d-26}$$

Donde K_d = Coeficiente de resistencia a la abertura.

A_d = Area de abertura, Sq Ft

Si la máxima diferencia de presión a través de la columna de platos es $(A_{Pt})_a$ es determinada por el diseño de la coraza, el área mínima de la válvula reelevadora de presión será:

$$A_d = \frac{1}{12} \sqrt{\frac{K_d}{2g}} \left(\frac{W_c}{60} \sqrt{\frac{F_4}{(A_{Pt})_a}} - \sqrt{\frac{1}{R_t}} \right) \quad \text{----d-27}$$

Ejemplo resuelto.

BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA EN UN DESAERADOR UTILIZADO EN PLANTAS DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA.

Datos:

T_2 = Temperatura de agua de repuesto: 33°F

L_1 = Volúmen de retorno de los condensados = $13\,300 \frac{\text{lb}}{\text{min}}$

T_1 = Temperatura de retorno de los condensados = 374°F

P_{V1} = Presión de vapor de escape aprovechable = 152 psia

$T = 700^\circ\text{F}$

$$L3 = \text{Volúmen requerido de agua de alimentación a la caldera} = 90\,000 \frac{\text{lb}}{\text{min}}$$

Se requiere determinar:

$$\text{Volúmen requerido de agua de repuesto} = L2$$

$$\text{Volúmen de vapor de escape requerido} = V1$$

Datos indirectos:

$$HL2 = \text{Entalpía del agua de repuesto} = 272.7 \text{ BTU/lb}$$

$$HL1 = \text{Entalpía de los condensados} = 343.88 \text{ BTU/lb}$$

$$HV1 = \text{Entalpía del vapor de entrada} = 1355.47 \text{ BTU/lb}$$

$$HL3 = \text{Entalpía del efluente} = 330.3 \text{ BTU/lb}$$

$$13\,300 \frac{\text{lb}}{\text{min}} + L2 + V1 = 90\,000 \frac{\text{lb}}{\text{min}} + .03 V1$$

$$L2 = 76\,700 \frac{\text{lb}}{\text{min}} - V1 \cdot 0.97 \quad \text{----- (1)}$$

$$13\,300 \frac{\text{lb}}{\text{min}} \times 343.88 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} + L2 \frac{\text{lb}}{\text{min}} \times 272.7 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} + V1 \frac{\text{lb}}{\text{min}}$$

$$1355.47 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} = 90\,000 \times 330.3 + 0.03 \times V1 \frac{\text{lb}}{\text{min}} \times 1355.47 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$4573604 \frac{\text{BTU}}{\text{min}} + L2 \times 272.7 + V1 \times 1355.47 =$$

$$29727000 + 40.66 \times V1$$

$$L2 = \frac{25153396 - V1 (1355.47 - 40.66)}{272.7}$$

$$L2 = 92238.34 - V1 \times 4.82 \text{ ----- (2)}$$

Igualando (1) y (2)

$$92238.34 - V1 \times 4.82 = 76700 - V1 \times 0.97$$

$$V1 = \frac{92238.34 - 76700}{(4.82 - 0.97)} = 4060 \text{ lb/min}$$

De la ecuación (1)

$$L2 = 72830 \text{ lb/min}$$

EJEMPLO DEL DISEÑO DE LOS IGUALADORES DE PRESIÓN Y DEL AREA DE UNA VALVULA RELEVADORA DE PRESIÓN DE UN DESAEREA-
DOR UTILIZADO EN PLANTAS DE GENERACIÓN DE ENERGIA ELECTRICA.

Datos Directos:

Presión en el desaereador al instante de reducir la carga

$$P1 = 152 \text{ psia} \quad h1 = 331.8 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \quad (\text{Tablas de Vapor})$$

Presión final del desaereador o Presión a la cual el de-
saereador es presurizado.

$$P2 = 22.4 \text{ psia} \quad h2 = 202.42 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \quad (\text{Tablas de Vapor})$$

Flujo de condensado después de que el vapor es cortado.

$$Wc = 72830 \text{ lb/min}$$

(DATO DEL BALANCE DE MASA Y ENERGIA DEL DESAEREADOR EN
REGIMEN ESTACIONARIO).

h_4 = Entalpía de los condensados que salen de los pre-calentadores.

h_4 = 272.42 BTU/lb

h_5 = Entalpía del agua antes de entrar a los pre-calentadores

h_5 = 81.89 BTU/lb

Estas dos entalpías pueden ser obtenidas por medio de balance de materia y energía.

Masa de agua desaerada en el tanque de almacenamiento.

M = 469,020 lbs

Esto es de acuerdo a las necesidades de agua de la caldera, (balance total del desaerador) el tiempo de residencia que se le da al tanque (regularmente 5-10 min).

Masa de condensado caliente contenida en los pre-calentadores y en los tubos de interconexión.

M_w = 133,980 lb.

Coefficiente de resistencia de los igualadores de presión.

K_e = 2.8

recomendación práctica del diseño.

Coefficiente de resistencia de la válvula reelevadora

de presión.

$$K_d = 3.0$$

Depende de la válvula usada, un criterio de diseño es ese.

Caída de presión a través de la columna de platos a máxima capacidad de la turbina.

$$(A Pt)_m = 1.2 \text{ psi}$$

Carga estática de los tubos de drenaje = 1.33 Ft

Vapor "agotador" y entalpía a condiciones máximas de diseño = 4060 lb/min y 1355.47 BTU/lb

(de balance de materia y energía)

Flujo de condensado proveniente de los calentadores de alta presión a condiciones máximas de diseño.

$$13\ 300 \text{ lb/min} \quad \text{y} \quad 343.88 \text{ BTU/lb}$$

Máxima diferencia de presión permisible a través de la columna de platos = 4 psi.

(por diseño mecánico)

La columna de platos está enchaquetada junto con la cámara de esparido (ver diagrama D-5)

1.- Caída de presión en el desaerador:

$$a = \frac{h_4 - h_5}{M_w} = \frac{272.42 - 81.89}{133.980} = 0.00142 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^2}$$

$$t_w = \frac{M_w}{W_c} = \frac{133.980}{72830} = 1.84 \text{ min}$$

Sustituyendo los datos conocidos en las ecuaciones (d-1), (d-2), (d-3), y (d-4).

$$h_f = 0.00142 (469020 - 72830 t) + 272.42 - (0.00142(469,020) - 331.8 + 272.42)e^{\frac{-72830}{469020} t} \quad t \ll t_w$$

$$h_3 = 0.0042 (469020 - 133.980) + 272.42 - (0.00142(469020) - 331.8 + 272.42)e^{\frac{-133980}{469020} t}$$

$h_3 = 292.28$ de tablas de vapor $P_3 = 92.1$ psia

$$h_f = 81.89 + (0.00142 (469020) (e^{\frac{133980}{469020} t} - 1) + (331.8 - 272.42))e^{\frac{-72830}{469020} t} - .155 t$$

$$h_f = 81.89 + 279.59 e^{\frac{-72830}{469020} t} \quad t \approx t_w$$

Ya que $h_2 \ll h_3$ el cálculo para t_2 (tiempo en que cae la presión) puede hacerse por medio de la ecuación d-4.

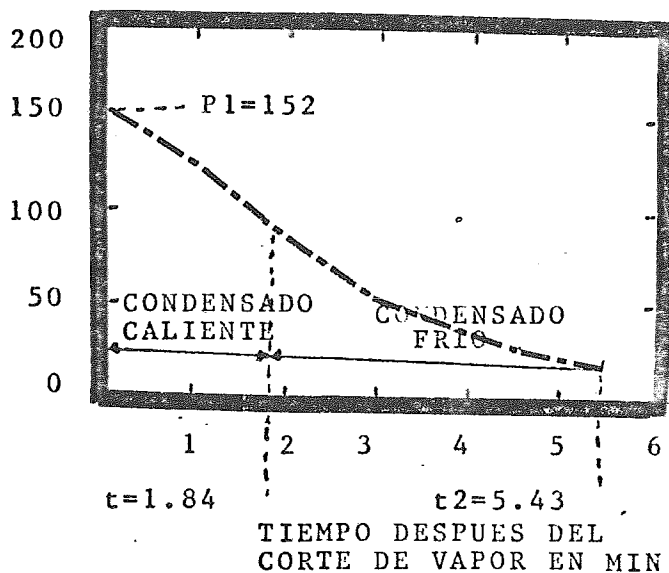
$$t_2 = \frac{469.020}{72830} \cdot \text{Ln} \left(0.00142 (469020) (e^{\frac{133980}{469020} t} - 1) + \frac{331.8 - 272.42}{202.42 - 81.89} \right) = 5.43 \text{ min}$$

En la figura si D-10 se muestra graficada la caída de presión contra el tiempo.

Vapor producido por cambio en presión "Flashing Steam".

La máxima cantidad de vapor producido ocurre cuando el condensador frío entra al desaerador. $t = t_w$

PRESION EN EL DESAERADOR
EN PSIAS.



CAIDA DE PRESION EN EL DESAERADOR. D-10

De la figura D-2 podemos obtener F_1 para P_3 que es igual a 92.1 psia.

$$h_o = 81.89 \text{ BTU/lb}$$

$$F_1 = 0.2345, \text{ o de otra manera}$$

$$F_1 = \frac{h_f - h_o}{h_{fg}} = \frac{291.78 - 81.89}{894} = 0.2345$$

De ahí que $W_s = 72830 \text{ lb/min} \times 0.2345 = 17080 \text{ lb min}$

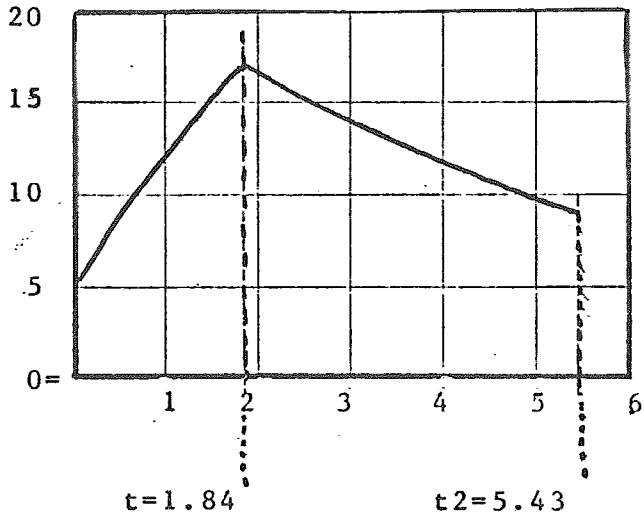
$$\text{Si } t = t_w \quad \underline{-0.155(1.84)}$$

$$h_f = 81.89 + 279.16 \text{ e}$$

$$h_f = 291.78$$

$$h_{fg} \text{ 92.1 psia} = 894 \text{ BTU/lb}$$

VAPOR FLASHHEADO 10^3 lb/min



TIEMPO DESPUES DEL
CORTE DE VAPOR EN MIN.

"FLASHEO" DE VAPOR CONTRA TIEMPO.

DIMENSIONAMIENTO DE LOS IGUALADORES DE PRESION.

Si el condensado frío alcanza a entrar en el desae-
reador, el condensado caliente no tiene influencia en el
dimensionamiento de los igualadores de presión.

$$F3 = V_f V_g \frac{(h_f - h_o)^2}{h_{fg}} =$$

$$F3 = .01760 \times 4.8 (.2345)^2 = 0.0049$$

De la figura 4

$$(P_{\max})_e = 34.5 \text{ psia}$$

Como $(P_{\max})_e > P_2$ el F3 obtenido antes debe ser el
usado para dimensionamiento de los igualadores de presión.

Tomando la carga estática de los tubos de drenaje
como la máxima caída de presión permisible, el área de los
igualadores de presión puede ser determinada como sigue:

De la ecuación d-20

$$A_e = \frac{72830}{.60} \sqrt{\frac{1}{2 \times 32.8} \times \frac{2.8}{1.33} \times .00492} = 15.4 \text{ Ft}^2$$

$$F1^2 = \frac{\text{lb}}{\text{min}} \times \frac{\text{seg}}{\text{min}} \sqrt{\frac{1}{\frac{2 \text{ Ft}}{\text{seg}^2}} \times \frac{2.8}{1.33 \text{ Ft}} \times \frac{\text{Ft}^2}{\text{lb}^2}}$$

Entonces 2 igualadores de presión de 42 pulg. con
un área total de 18.3 Ft^2 es requerida

CAIDA DE PRESION Y VELOCIDAD DEL VAPOR
A TRAVES DE LOS IGUALADORES DE PRESION

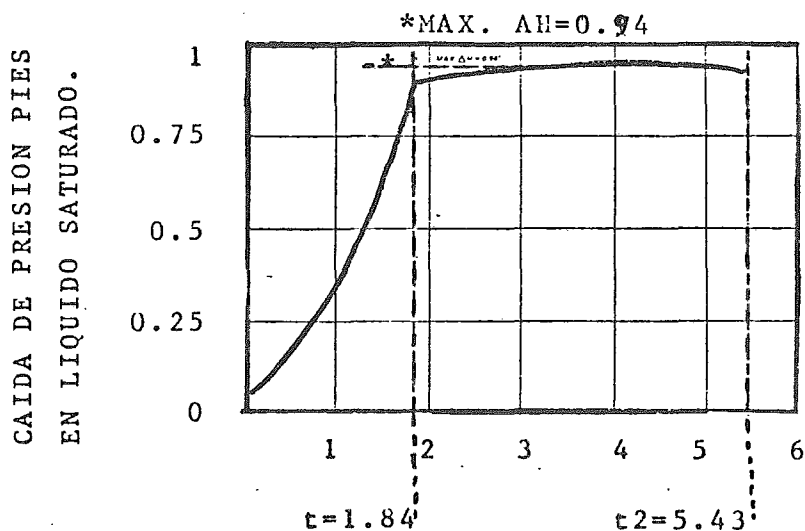
Basados en los igualadores de presión de 42 pulg,
La máxima caída de presión puede ser determinada como
sigue:

De la ecuación d-16

$$\Delta H = \frac{2.8}{2 \times 32.2 (18.3 \times 60)} \frac{(72830)^2}{X} \times 0.00492 = 0.94 \text{ Ft}$$

Que como se ve cumple con la condición de que debe
ser menor que la carga estática de los tubos de drenaje.

La caída de presión en el período de transición
mostrada en la figura D-12.



TIEMPO DESPUES DEL
CORTE DE VAPOR EN MIN.

CAIDA DE PRESION EN LOS IGUALADORES CONTRA TIEMPO.

Como es mostrado en la figura D-8,

La velocidad del vapor a través de los igualadores de presión es máxima al final del período de transición.

$$P_2 = 22.4 \text{ psia}$$

De la figura D-3

$$F_2 = 2.278 \qquad h_o = 81.89 \text{ BTU/lb}$$

$$P_2 = 22.4 \text{ psia.}$$

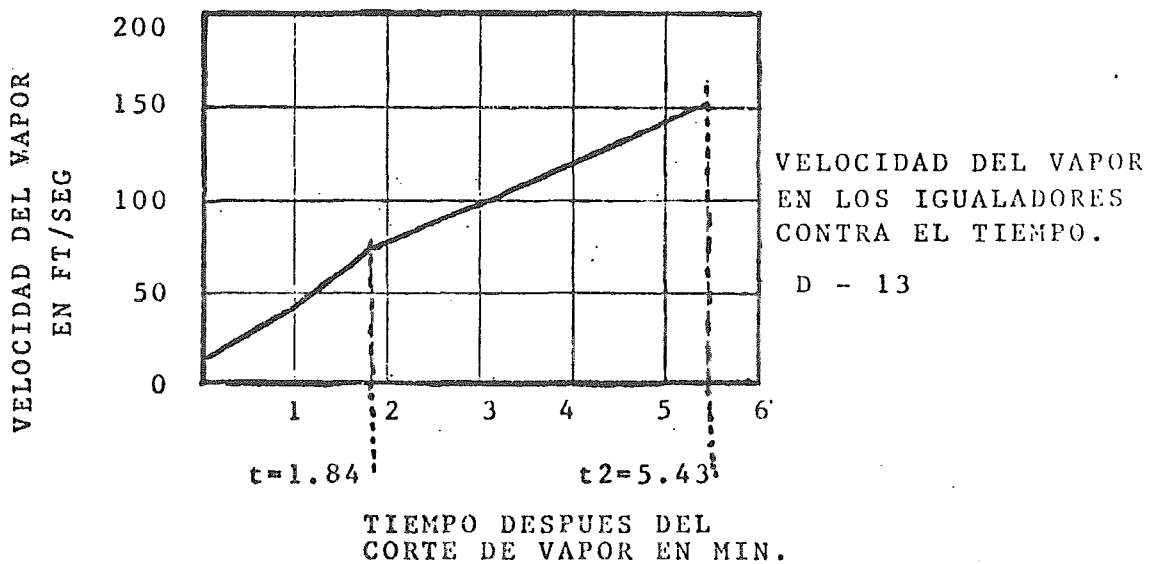
De la ecuación d-11

$$V = \frac{(72\ 830)}{60 \times 18.3} \times 2.278 = 151 \text{ Ft/seg}$$

$$\frac{\text{Ft}}{\text{min}} = \frac{\text{lb}}{\text{min} \times \frac{\text{seg}}{\text{min}} \text{ Ft}^2} \times \frac{\text{Ft}^3}{\text{lb}}$$

Debe hacerse notar que la velocidad máxima del vapor no estará afectada por el condensado caliente, en el caso de que el condensado frío alcance a entrar al desaerador.

Velocidad del vapor contra el tiempo es graficada en la figura D-13.



CAIDA DE PRESION A TRAVES DE LA COLUMNA DE PLATOS.

Bajo máximas condiciones de diseño, la presión en el desaereador es 152 psia y por lo tanto $h_f = 331.8$
 $h_g = 1194.3$, $h_{fg} = 862.5$

De la ecuación D-6

Vapor producido por "flashing" proveniente del condensado de los intercambiadores de alta presión.

$$186 \frac{\text{lb}}{\text{min}} = 13\,300 * \frac{343.88 - 331.8}{862.5}$$

Total de vapor que pasa a través de la columna de platos a máxima carga en la turbina.

$$(W_s)_m = 4060 + 186 = 4246 \frac{\text{lb}}{\text{min}}$$

Entalpía promedio.

$$h_{\text{prom.}} = \frac{4060 \times 1355.47 + 186 \times 1194.3}{4246} = 1348.4 \text{ BTU/lb}$$

De la misma manera el volumen específico promedio.

$$(V)_m = \frac{4060 \times 4.242 + 186 \times 2.976}{4246} = 4.2 \text{ Ft}^3/\text{lb}$$

De la ecuación d-21 el factor de resistencia de la columna de platos R_t será determinado como:

$$R_t = \frac{1.2 \text{ psi}}{\frac{(4246)^2}{60} \times 4.2} = 56.92 \times 10^{-6}$$

La figura D-14 indica el factor máximo de caída de presión de la columna de platos a $h_o = 81.89$ es:

$F_4 = 0.289$ a una presión $(P_{max})_t$ que causa una caída de presión máxima en la columna de platos.

La máxima caída de presión a través de la columna de platos será, a partir de las ecuaciones d-23

$$AP_t = 56.92 \times 10^{-6} \times \frac{(72830)}{60} \times 0.289 = 24.24 \text{ psi}$$

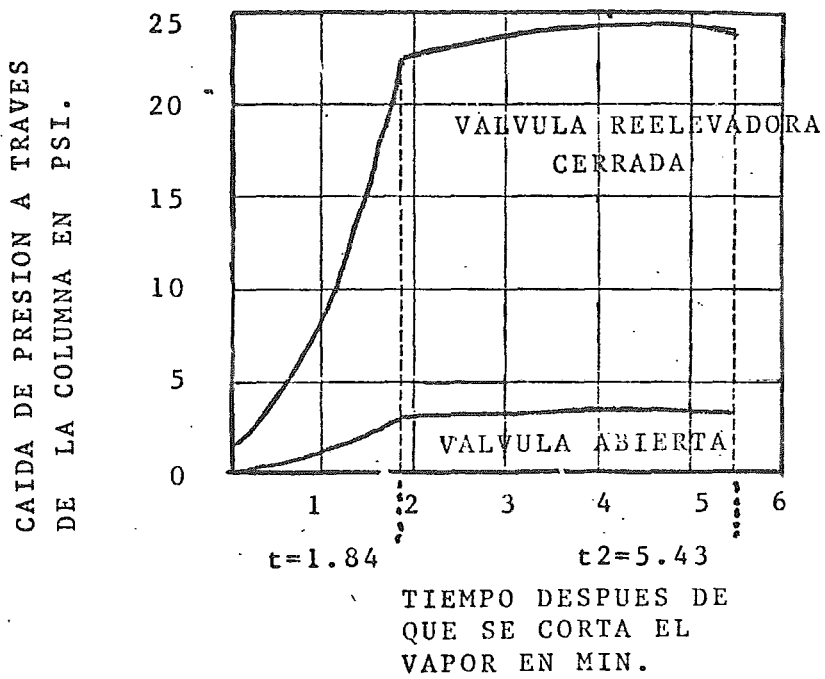
Este cálculo nos demuestra que la caída de presión a través de la columna de platos excede la caída de presión máxima permisible de 4 psi, se requiere entonces de una válvula reelevadora de presión para pasar directamente el vapor "flasheado" a la cámara de esparado.

El área requerida de abertura puede ser determinada de la ecuación d-27.

$$A_d = \frac{1}{12} \sqrt{\frac{3}{2 \times 322}} \left(\frac{72830}{60} \right) \sqrt{\frac{.289}{4}} \sqrt{\frac{1}{56.92 \times 10^{-6}}}$$

$$= A_d 3.49 \text{ Ft}^2$$

Con el área total de 4 Ft^2 la caída de presión contra el tiempo es mostrado en la gráfica D-14.



CAIDA DE PRESION A TRAVES DE LA COLUMNA CONTRA EL TIEMPO.

FIG. D-14

CONCLUSIONES DE DISEÑO.

I.- CAIDA DE PRESION PERMITIDA PARA LOS IGUALADORES DE PRESION.

Además de los igualadores de presión, el desaereador es normalmente provisto de unos colectores para drenar el agua desaerada por gravedad al tanque de almacenamiento. La sección de desaereación puede inundarse si la diferencia de presión entre el tanque de almacenamiento y la sección de desaereación es mayor que la carga estática de los colectores. Los igualadores de presión pueden ser dimensionados como sigue:

1.- Si la coraza de la sección de desaereación constituye la cámara de esparado, pero los igualadores de presión son conectados directamente a la cámara de vapor, la caída de presión disponible a través de los igualadores, es la carga estática del drenaje menos la caída de presión a través de la columna de platos.

De la ecuación d-6 se puede deducir que la máxima producción de vapor "flasheado", ocurre cuando se tiene menor presión en el desaereador; el flujo de vapor y no su velocidad es el parámetro a usarse en el dimensionamiento de los igualadores de presión.

II.- FLUJO DE CONDENSADO.

Como se deduce de las ecuaciones d-6, d-11, d-16 y d-23, el flujo de condensado, W_c afecta la cantidad de vapor "flasheado", la velocidad del vapor y la caída de presión en la columna de platos y en los igualadores de presión.

Como la caída de presión es proporcional al cuadrado del flujo de condensado, si este, es calculado mal, ocasionará un gasto excesivo de vapor. Se recomienda entonces que: el flujo de condensado a máxima carga de la turbina sea usado para cubrir cualquier condición en el estado estacionario (pulsaciones de flujo, mal funcionamiento de los niveles de control, paros, etc.).

III.- PRESION EN EL DESAERADOR (P) Y ENTALPIA DEL CONDENSADO h_o .

Después de que el flujo de condensado w_c y la presión final en el desaerador P_2 son determinados es necesario investigar si el condensado que entra a los precalentadores alcanza a entrar al desaerador durante el régimen no estacionario.

La entalpía del agua en el desaerador en el tiempo cuando el condensado frío entra al desaerador puede ser determinado por medio de la ecuación d-2. A partir de e-

se dato P_3 puede ser determinada de las tablas de vapor. P_3 deberá ser comparada con la presión final del desaerador P_2 , para determinar el máximo valor de los factores F_3 y F_4 , esto se hace de la siguiente manera:

1.- Si $P_2 > P_3$ o que el condensado frío no puede alcanzar entrar al desaerador. La máxima caída de presión ocurrirá a P_2 como denota en las figuras D-4 y D-5, los factores de caída de presión F_3 y F_4 , no varían apreciablemente con la presión en el desaerador para un valor constante de h_0 , pero se incrementa rápidamente si h_0 es reducido. Desde que el desaerador recibe la mínima temperatura del condensado al final del régimen transitorio la máxima caída de presión ocurrirá en ese tiempo.

2.- Si $P_2 \leq P_3$ o el condensado frío alcanza a entrar al desaerador que cause la máxima caída de presión a través de los igualadores de presión para una h_0 dada (P_{max})e en psia, y además para encontrar (P_{max})t en psia, que es la presión en el desaerador a la cual existe la máxima caída de presión a través de la columna de platos para una h_0 dada, estos valores corresponden a los valores máximos de F_3 y F_4 .

Del análisis anterior debe notarse que:

Los efectos del condensado caliente en la caída de pre

sión son despreciables si el condensado frío alcanza a entrar en el desaerador.

COEFICIENTE DE RESISTENCIA DE LOS IGUALADORES DE PRESION.

Esta es una función estricta del diseño y configuración de los igualadores de presión, forma de entrada y salida, como está distribuido el vapor, etc. El rango recomendado por G.S. Liao (analysis of power plant deaerator under transient turbine loads- Journal of engineering for power- julio 1973. ASME, es de 2 a 3.

COEFICIENTE DE RESISTENCIA DE LA COLUMNA DE PLATOS.

Por simplicidad este coeficiente puede ser tomado como una constante, aunque es en realidad, una función del flujo del vapor, flujo de agua, y de la configuración de los platos.

CONCLUSIONES PARA EL DISEÑO DE LOS IGUALADORES DE PRESION Y DEL DISEÑO DE UNA VALVULA RELEVADORA DE PRESION EN UN DESAERADOR.

1.- La caída de presión máxima, entre el tanque de agua desaerada y la sección de desaeración no debe exceder la carga estática disponible para los colectores.

2.- Es la cantidad de vapor y no la velocidad de este la que se debe usar como parámetro de dimensionamiento.

3.- La caída de presión a través de la columna de platos en el régimen transicional es mucho más grande que en el régimen estacionario.

4.- El valor de la caída de presión a través de los igualadores de presión es proporcional al cuadrado del flujo de condensado y directamente proporcional al factor de caída de presión, el cual es una función de la presión, en el desaerador y de la entalpía de entrada del condensado.

SECUENCIA DEL DISEÑO DE LOS
IGUALADORES DE PRESION Y DE
LA VALVULA RELEVADORA DE
PRESION EN UN DESAEREADOR

CAIDA DE PRESION EN
EL DESAEREADOR

VAPOR PRODUCIDO POR LA
CAIDA DE PRESION

DIMENSIONAMIENTO DE LOS
IGUALADORES DE PRESION

CAIDA DE PRESION Y VELOCIDAD
DEL VAPOR A TRAVES DE LOS
IGUALADORES DE PRESION

CAIDA DE PRESION A TRAVES
DE LA SECCION DE CHAROLAS .

DIMENSIONAMIENTO
DE LA VALVULA

CAPACIDADES DE LOS DESAÉREADORES-CALENTADORES DEL TIPO DE ROCIADO:

La capacidad de un desaerador- calentador del tipo de rociado es generalmente especificada como el flujo de agua calentada y desaerada en el efluente en libras por hora (lbs/hr.). Este volúmen total de efluente de agua caliente está constituido: Agua fría de repuesto, retornos de condensados (si existen), y vapor condensado. En cualquier problema de un desaerador calentador este flujo de salida es generalmente conocido. Esto está basado en el flujo de agua desaerada requerida para alimentar la caldera. La temperatura de esta agua es igual a la temperatura de ebullición del agua a la presión de operación del desaerador- calentador. Es también conocido, el volúmen y temperatura de cualquier retorno de agua caliente (condensados), así como la presión de vapor de escape aprovechable, y la temperatura de agua fría de repuesto. Conociendo estos factores, el volúmen de agua fría de repuesto y el volúmen de vapor requerido, se pueden calcular por medio de un "balanceo" de calor", haciendo a un lado las pequeñas cantidades (por cientos) de gases los cuales son removidos. Un tí-

pico "balance de calor" puede ser desarrollado de los siguientes datos teóricos:

Datos conocidos:

temperatura de agua de repuesto	=80°F
volúmen de retorno de condensados	=20,000 lbs/hr.
temperatura de retorno condensados	=142°F
presión del vapor de escape aprovechable	=5 psig
volúmen requerido de agua de alimentación a la caldera	=100,000 lbs/hr.

factores determinados de los datos de arriba:

capacidad del desaerador-calentador	=100,000 lbs/hr.
presión de operación del desaerador-calentador	=5 psig.
temperatura de agua en el afluente del desaerador.	=228°F.

factores desconocidos:

volúmen requerido de agua de repuesto

volúmen de vapor de escape requerido

Nosotros podemos desarrollar nuestro "balance de calor" determinando primero el contenido de calor de cada uno de

los factores participantes en la ecuación.

1) CALOR EN EL INTERIOR:

Contenido de calor en el agua de repuesto = 48 BTU/lb.

Contenido de calor en los condensados = 109 BTU/lb.

Contenido de calor en el vapor = 1156 BTU/lb.

2) CALOR QUE ENTRA:

Contenido de calor en el agua desaerada = 196 BTU/lb.

3) CALOR QUE ENTRA = CALOR QUE SALE:

4) (a) Como X = volúmen de vapor requerido en lbs/hr.

volúmen de agua de repuesto requerido en lbs/hr.

$$= 100,000 - 20,000 - X \text{ ó } 80,000 - X.$$

5) CALOR QUE ENTRA (80,000 - X) 48BTU/lb. + (20,000 lbs.) 109 BTU/lb. + (X) 1156 BTU/lb.

CALOR QUE SALE = (100,000 lbs.) 196 BTU/lb.

6) Desarrollando ambas ecuaciones e igualandolas, nosotros encontramos:

$$X = \underline{12,200 \text{ lbs/hr, (vapor)}}$$

$$80,000 - X = \underline{67,800 \text{ lbs./hr. (agua de repuesto)}}$$

Algunas dimensiones típicas de desaeradores-calen-

tadores del tipo de rociado, utilizando una capacidad de almacenamiento de 10 minutos son las siguientes:

capacidad en sección del calentador (arriba) sección de almacenamiento (fondo)

el efluente (lbs./hr.)	diámetro	parte recta	diámetro	parte recta
9,000	1'-6"	3'-6"	3'-0"	3'-9"
50,000	3'-0"	4'-0"	6'-0"	4'-9"
100,000	4'-0"	4'-5"	7'-6"	5'-5"
150,000	5'-0"	4'-9"	9'-0"	6'-0"
300,000	7'-0"	4'-10"	11'-0"	8'-3"

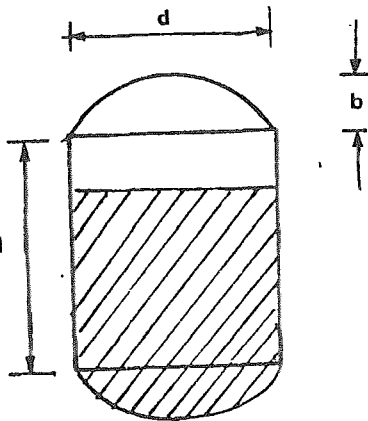
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE
UN DESAERADOR ROCIADOR

Del ejemplo anterior sabemos que el tiempo de residencia es 10 minutos y que la capacidad del tanque de almacenamiento será de:

$$100\ 000 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \times \frac{1\text{hr}}{60\ \text{min}} = 1666.67 \frac{\text{lb}}{\text{min}} \times 10\ \text{min} = 16666.7\ \text{lb} =$$

7599 kg \approx 7599 litros, si suponemos que este volumen por motivos de diseño es el 90% del volumen. Tendremos entonces que la capacidad del tanque de almacenamiento será: 8 400 lts.

Necesitamos dimensionar el tanque de acuerdo al siguiente esquema.



NOTA: Se utilizan tapas elipsoidales.

Volúmen Total= Volúmen en las tapas + Volúmen en el cilinario.

$$V_t = \frac{1}{6} \pi \times K D^3 + \frac{1}{4} \pi D^2 L$$

Donde $K = 2b/D$

Utilizando la recomendación del ejemplo anterior

$$L = 5' - 5''$$

$$D = 7' - 6''$$

$$\text{Volúmen total} = 8\,400 \text{ lts} = 8\,400 \frac{\text{dm}^3}{(3.048)^3} \times \frac{1 \text{ Ft}^3}{(3.048)^3 \text{ dm}^3}$$

$$\text{Volúmen Total} = 296.6 \text{ Ft}^3$$

$$D = 7.5 \text{ Ft}$$

$$L = 5.41 \text{ Ft}$$

$$296.6 \text{ Ft}^3 = \frac{1}{6} \pi \times K \times (7.5)^3 \text{ Ft}^3 + \frac{1}{4} \pi \times (7.5)^2 \times 5.41 \text{ Ft}^3$$

$$K = 0.26$$

$$b = 0.98 \text{ Ft}$$

NOTA: Para el diseño mecánico de estos equipos se recomienda, ver la tesis de Fernando Ortega, "Estudio para la evaluación y selección de desaeradores mediante condensación por contacto directo" Instituto Politécnico Nacional 1977. pag -51-

DESAE- READOR	TIPO	PRINCIPAL USO	DISEÑO	INSTALACION	OPERACION	COSTO
P R E S I O N	V E R T I C A L	PROCESOS EN LOS QUE SE NECESITE EL AGUA DESAEREA DA CA- LIENTE.	UN DI- SEÑO MAS FACIL.	MENOR ESPA- CIO	MAS FACIL OPERACION MAYOR VER- SATILIDAD	DE 0.3 A 0.9 KG. DE ACERO AL CAR- BON, POR TON. DE AGUA DESAEREA (POR UNA HORA) NOMINAL DE SALIDA. CAPACIDADES DE 100 A 200 TON/HORA
	H O R I Z O N T A L			FACILIDAD DE INSTALACION Y MANTENI- MIENTO.	MAYOR SEGU- RIDAD	
V A C I O	V E R T I C A L	PROCESOS EN QUE SOLO SE REQUIERE LA DESGA- SIFICACION.	DISEÑO COMPLI- CADO USO DE EMPAQUE	MENOR ESPA- CIO	PROBLEMAS EN MANTE- NIMIENTO DE VACIO	DE 13 A 15 KG. DE ACERO AL CAR- BON, POR TON. DE AGUA DESAEREA (POR UNA HORA) NOMINAL DE SALIDA.
	H O R I Z O N T A L	CUANDO LA TEMP. SEA BAJA EN EL MEDIO AMBIENTE.	DISEÑO MAS COM- PLICADO MAS E- QUIPO ACCESO- RIO.	FACILIDAD DE INSTA- LACION Y MANTENI- MIENTO.	PELIGRO DE DAÑOS EN PARTES INTERNAS AL PERDER- SE EL VA- CIO.	CAPACIDADES DE 400 A 1200 TON/HORA

Rb

Ra

TABLA COMPARATIVA.

CONCLUSIONES

Actualmente en México no se hace diseño, sino que se seleccionan los desaeradores.

Existen equipos que operan en cierto rango, por lo general están "sobrados".

En el diseño, actualmente el problema principal es de resistencia (mecánico) y no de transferencia de masa o calor.

Hablando de diseño, es difícil hacer una estimación económica comparativa entre los distintos tipos de desaeradores.

Hasta ahora un modelo confiable que permita establecer el número de unidades de transferencia, y la altura de estas, no ha sido aún desarrollado prácticamente, todo es empírico.

La desaeración de agua es vital para la conservación de equipo muy caro (calderas, tanques, tuberías, etc.)

Consideramos que se justifica ahondar más en el estudio de este tema, puesto que un buen diseño de un desaerador repercute en un ahorro para cualquier planta, aunque para seguir este estudio sería indispensable la experimentación y comprobación de las teorías.

BIBLIOGRAFIA

- Drew.- "Principles of industrial Water treatment" Chapter
10 Steam Generation.
- Nordell.- Tratamiento de agua para la industria y otros
usos" capítulo 11 Desaeración.
- ASME power test codes.-"Deaerators". 1958
- Schmidt and List.- "Mass and Energy balances"
Prentice Hall 1962.
- Babcock and Wilcox.- "Cochrane uni-pac - deaerator", owner's
manual
- Hudgins, Ch., Hanson, R .- "How conoco floods with seawater".
The oil and gas journal, febrero
15 de 1971, pag -71-.
- Cole, Ch.- "Decarbonation and deaeration of water by use of
selective Hollow fibers". Environmental Science
& Technology, vol 4 num.6, junio de 1970, pag -500-.
- Efird, K.D.- "A sea Water Deaeration Procedure for conducting
Electrochemical Experiments". Corrosion-Nace,
vol 34, num,7, julio de 1978. pag -250-.
- Hugh, W. R.- "Production of deoxygenated water for use in
brewing" número de patente 29397/76, Gran Bre-
taña, 14 de julio de 1976

- Briggs, G.R.- "Deaeration of boiler Feedwater", Water services, octubre de 1975, pag -428-.
- Spraying Systems Co. "Catalog".
- Liao, G.S.- "Analysis of power plant Deaerator Under Transient turbine Loads", Journal of Engineering for Power, transactions of the ASME, julio 1973, pag -171-.
- Pfaudler permutit.- "Catálogo".
- Boyd, D.V.- "Gear-driven boiler-feed booster pump improves deaerator placement and operation", Power 1973, Steam generation, pag -41-.
- Purohit, G.R.- "Deaerator: its design and operating troubles", Chemical age of India, vol 24, num.6, junio 1973, pag -349-.
- Oliker, I.I.- "Vacuum deaeration of water-an effective method for preventing Corrosion", Corrosion-Nace, vol 33, núm.3, marzo de 1977.
- Ra**
- Oliker, I.I.- "New system for deaerating water at heat and power stations with the tskti two-stage vacuum deaerators", Traducción de Teploenergética. 1972 19 (4) 44-47.

Mcgill, J.- "How to vacuum deaerate injection Water", The
oil and gas journal, octubre 1 de 1973, pag
-81-.

Ortega López, J.F.- "Estudio para la evaluación y selección
Rb de desaeradores mediante condensación
por contacto directo", Tesis profesio-
nal IPN. 1977

Kern.-""Procesos de transferencia de Calor"