

XERO COPY XERO COPY  
T 621.197  
F112  
c.3

"ESTUDIO DE LA CONVENIENCIA DEL USO DE TUBOS DE ACERO INOXIDABLE EN CONDENSADORES ENFRIADOS POR AGUA SALADA "

\* \* \* \* \*

TESIS DE GRADO  
PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO

PRESENTADA POR  
GUSTAVO FABARA TORRES

Guayaquil, Octubre, 1969

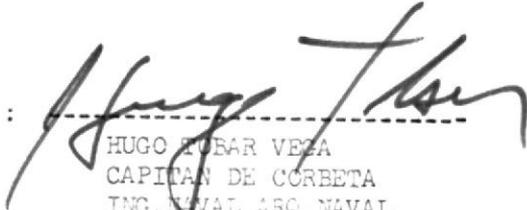
\* \* \* \* \*

"ESTUDIO DE LA CONVENIENCIA DEL USO DE TUBOS DE ACERO  
INOXIDABLE EN CONDENSADORES ENFRIADOS POR AGUA SALADA"

\*\*\*\*\*

AUTOR: -----  
GUSTAVO FABARA TORRES

CERTIFICADA POR: -----  
  
ALFREDO CUVI ORTIZ  
CAPITAN DE CORBETA  
INGENIERO MECANICO

ACEPTADA POR : -----  
  
HUGO TOBAR VEZA  
CAPITAN DE CORBETA  
ING. NAVAL ARQ. NAVAL  
ING. NUCLEAR  
DIRECTOR DEL DEPTO DE ING. MECANICA

\*\*\*\*\*

DEDICATORIA

.....A MIS PADRES Y HERMANOS

DECLARACION EXPRESA

+ La responsabilidad por los hechos, ideas y Doctrinas expuestas en esta Tesis, corresponden exclusivamente a su Autor.

(Art. Sexto del Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la Escuela Superior Politécnica del Litoral)

GUSTAVO FABARA TORRES

\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*  
\* \* \* \* \*

A G R A D E C I M I E N T O

Quiero dejar constancia de mi agradecimiento a todos mis Profesores especialmente al Ing. Hugo Tobar Vega, Jefe del Departamento y al Ing. Alfredo Cuví Ortiz, Director de Tesis, quienes en todo momento supieron orientarme para llegar a la culminación de mi trabajo.

\* \* \* \* \*

I N D I C E

DEDICATORIA

DECLARACION

AGRADECIMIENTO

INTRODUCCION

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO I

CORROSION

- a). Consideraciones generales sobre intercambiadores de calor.
- b). Diferentes tipos de corrosión
- c). Datos experimentales obtenidos del análisis de muestras de tubos de condensadores industriales de esta ciudad
- d). Datos experimentales obtenidos del análisis de muestras de agua del Río Guayas y del Estero Salado.

CAPITULO II

SELECCION DE MATERIALES PARA SU CONSTRUCCION

- a). Estudio comparativo entre los diferentes tipos de materiales usados en la fabricación de tubos de condensador
- b). Conclusiones

CAPITULO III

- a). Tratamiento del agua de enfriamiento
- b). Mantenimiento y limpieza

\* \* \* \* \*

## I N T R O D U C C I O N

La necesidad de una producción continua, eficiente y segura de electricidad y otras formas de energía, ha obligado a la ciencia y a la industria a considerar nuevos materiales para sus diferentes aplicaciones. La performance de estos materiales no experimentados anteriormente ha obrado de una forma tan terminante que los diseñadores y constructores se han visto en el caso de modificar conceptos y técnicas. La pasada década es fiel testigo del tremendo incremento de muchos nuevos metales entre los cuales figura el acero inoxidable como uno cuyo uso más se ha generalizado por la versatilidad de los menesteres en que puede ser empleado.

Justamente el empleo del acero inoxidable para la construcción de tubos de condensador representa un inmenso campo de aplicación que esta llegando a límites extremos en estos últimos diez años.

Las primeras aplicaciones de este material para tubos de condensador fueron hechos aproximadamente treinta años en industrias en donde el alto costo del mantenimiento de condensadores indujo a probar nuevos metales y aleaciones que soportan la acción corrosiva del agua circulante, especialmente en áreas afectadas por fuertes cantidades de desechos industriales y la vecindad del mar.

XERO COPY XERO COPY XERO COPY

Originalmente el acero inoxidable fue considerado unicamente para medios altamente corrosivos o en lugares expuestos a una severa erosión, esto sin duda, debido al alto costo y al desconocimiento de sus propiedades de transferencia del calor. Sin embargo en los últimos años el precio de su fabricación ha bajado notablemente y además se han investigado extensamente sus propiedades permitiendo de esta manera hacer su uso más accesible.

Al mencionar condensadores industriales me refiero a aquellos usados en unidades turbogeneradoras a vapor. Muchas de las experiencias aquí consignadas tales como análisis de - muestras de tubos, datos estadísticos sobre la vida útil de tubos de condensador, su instalación, mantenimiento, etc., me han sido proporcionados por la Empresa Eléctrica del Ecuador, Inc., que cuenta en sus instalaciones con cuatro turbinas a vapor con condensadores enfriados por agua corriente del Río Guayas y actualmente está construyendo una nueva unidad turbo generadora de 33.000 Kw en un brzo del estero salado, unidad que justamente tendrá su condensador enfriado por agua salada.

Los datos correspondientes al análisis de aguas del Río Guayas y del estero salado fueron solicitados al Instituto Nacional de Higiene y los reportes sobre el análisis de muestras de tubos de los condensadores antes mencionados, - fueron solicitados a la Foster Wheeler Corporation.

B I B L I O G R A F I A

- Transactions of the ASME - Vol.87 - 1965
- The use of Stainless Steel tubing in condenser and related power plant equipment (Jack R.Maurer)
- R.B. Niederberger, U.S. Navy Marine Engineering Laboratory, Annapolis, Md.
- Heat, Mass and Momentum Transfer ( W. Ronsenow,H.Choi)
- Passivity and Protection of Metals Against Corrosion ( Nikon D.Tomashov and Galina P. Chernova)
- Operating Experiences with Stainless Steel Condenser Tubes ( Nicholhs A.Long)
- A Study of Scaling and Corrosion in Condenser tubes Exposed to river Water. (R.A. Mc Allster, D.M. East - ham, M.A. Dougharty and M.Hollier )
- Bridgeport, Condenser and Heat Exchanger tube handbook

\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*  
\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*

S I M B O L O S

- Q = Razón de transferencia de calor BTU/hora
- W = Razón de flujo de masa
- C = Calor específico del fluido BTU/lb °F
- T = Temperatura del fluido T = mayor temp.; T = menor temp.
- S = Sección transversal pie cuadrado
- G = Velocidad de masa Lib/hora-pie cuadrado
- U = Coeficiente de transferencia de calor
- A = Area de transferencia
- tm = Valor medio del diferencial de temperatura
- D = Diámetro de los tubos
- Lh = Longitud de exposición
- Rh = Resistencia térmica película lado caliente
- Rw = Resistencia térmica pared
- Rj = Resistencia térmica depósitos
- Rc = Resistencia Térmica película lado frío
- Xw = Espesor de la película depositada
- DAw = Area transversal de transferencia 
$$= \frac{A_2 - A_1}{2.3 \text{Long} \frac{A_2}{A_1}}$$
- Kw = Conductividad térmica pared tubo
- Hh = Coeficiente individual de transferencia de calor
- DAh = Area de calentamiento
- hd =  $\frac{kd}{xd}$  = razón de la conductividad térmica al espesor del depósito
- DAc = Area de enfriamiento

CAPITULO I

## 1.- C O R R O S I O N

La corrosión es un ataque gradual químico y/o electroquímico de un metal por parte del medio que lo rodea de modo que se convierte en su óxido, sal o algún otro compuesto. Cuando el metal es transformado en uno de estos compuestos, pierde su resistencia, ductilidad y demás propiedades físicas y mecánicas. El ataque corrosivo frecuentemente se presenta acompañado por otros mecanismos de falla como son: corrosión-fatiga, corrosión-erosión, corrosión-esfuerzo, etc. La corrosión se lleva a cabo en un sinnúmero de condiciones ambientales como aire, agua, soluciones ácidas, básicas y sales. También puede ocurrir en elevadas temperaturas.

A continuación enunciamos los mecanismos básicos de la corrosión con algunos ejemplos típicos y las reacciones químicas que los representan.

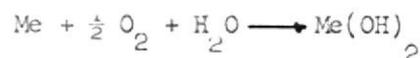
- a). Combinaciones de metales con no-metales en las cuales no interviene el agua; la reacción representativa de este fenómeno es:



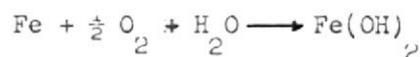
Y un ejemplo específico es la oxidación del hierro o acero a alta temperatura en aire seco.



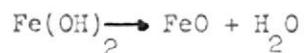
b) Combinaciones de metales con oxígeno en que es necesaria la presencia del agua. Se las representa:



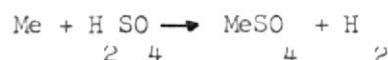
El más importante ejemplo de esta reacción es el enmohecimiento del hierro o acero bajo condiciones atmosféricas ordinarias.



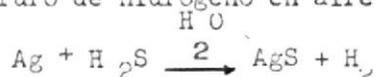
En aire seco a la temperatura de una habitación, el hierro y el acero no experimentan este fenómeno. En aire húmedo el hidróxido que se forma frecuentemente se descompone en el óxido correspondiente y agua.



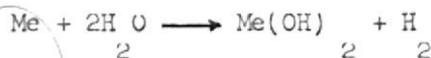
c) Desplazamiento del hidrógeno de ácidos o soluciones ácidas



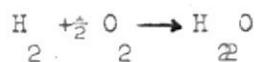
La corrosión del hierro en presencia del ácido sulfúrico es un ejemplo típico de esta reacción así como el enmohecimiento de la plata por el sulfuro de hidrógeno en aire húmedo.



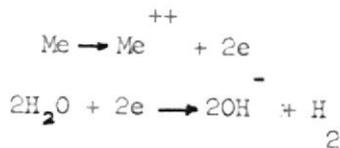
d) Desplazamiento del hidrógeno del agua la cual usualmente contiene pequeñas cantidades de sustancias inorgánicas disueltas.



Frecuentemente el Oxígeno del aire se disuelve en el agua combinándose con el Hidrógeno liberado.

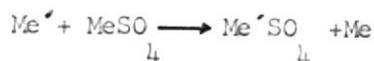


Pudiendo escribirse directamente



Esto es aproximadamente lo que le sucede al hierro cuando está sumergido en agua.

e) Desplazamiento por un metal de los iones de otro metal perteneciente a una sal en solución.



Esto es lo que le sucede al hierro por ejemplo cuando se lo sumerge en una solución de sulfato de cobre.

Estas reacciones químicas desde luego no involucran la totalidad de las causas productoras de la corrosión y así tenemos en el ataque electroquímico el segundo mayor mecanismo causante de este fenómeno.

El ataque electroquímico se caracteriza por la conformación de áreas anódicas y catódicas separadas por cierta distancia definida a través de la cual la corriente eléctrica fluye.

Depende de las circunstancias en que se realice la corrosión para que tengamos el caso de celdas galvánicas o celdas de concentración.

Celdas Galvánicas.- Cuando dos metales diferentes se conectan eléctricamente y sumergen en una solución electrolítica, el de mayor fem se convierte en ánodo que se disuelve en el electrolito y una cantidad proporcional a su equivalente químico se deposita en el otro

metal que es el cátodo, el mismo que queda cubierto por una película de protección. Esto se explica diciendo que el metal del ánodo se ioniza en la solución liberando electrones que fluyen por el circuito eléctrico para llegar al cátodo y neutralizar iones de carga contraria y depositarse como átomos del metal.

Celdas de Concentración.- Cuando dos placas de un mismo metal están sumergidas en dos concentraciones de un mismo electrolito, se produce un ataque en el electrodo de menor concentración que hace las veces de ánodo. El resto del mecanismo es igual que en el caso de las celdas galvánicas.

Pasividad de Metales y Aleaciones.-En algunos casos el medio corrosivo reacciona con el metal o aleación y forma una capa protectora que se adhiere al material la cual inhibe su posterior deterioración. Esta es lo que se conoce con el nombre de pasivación. En otras palabras la pasivación altera la posición del metal en la serie de fem por cambio en la actividad química del mismo.

Un buen ejemplo de este fenómeno nos proporciona el aluminio y algunas de sus aleaciones. Aunque el Aluminio está ubicado en un lugar elevado de la escala de fem y es por consiguiente un metal bastante activo, no se corroe tan rápidamente como el hierro que está por debajo de la mencionada escala y es menor activo. Este comportamiento del aluminio se explica por la formación de una capa densa de óxido de Aluminio, la cual provee de protección a toda la superficie metálica.

El acero inoxidable es otro ejemplo de una aleación que resiste la corrosión entre otras cosas por la formación de una capa pasiva probablemente un óxido.

XERO COPY XERO COPY XERO COPY

A) CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE INTERCAMBIADORES DE CALOR.-

Para seleccionar el mejor tipo de intercambiadores de calor a ser usado en determinada necesidad, es indispensable hacer un análisis de las condiciones de servicio a que va a estar sujeto para luego efectuar un estudio de los factores estructurales y de costo lo cual nos llevará a discutir puntos de vista específicos de la unidad, llámese ésta evaporador, condensador, enfriador, etc.- Tales puntos de vista son: Espesor de la Armadura; Diámetro, Longitud y Espesor de las Paredes de los Tubos; Esfuerzos Térmicos a que estaban sometidos los componentes de la Unidad; Número y Tipo de Placas Espaciadoras; Y lo que es más importante, El Material de que estarán construídas sus partes.

Para tener un conocimiento más cabal del fin que me propongo, veamos los tipos básicos de intercambiadores de calor y en que consiste cada uno de ellos.

Se puede resumir en tres Grupos que los enunciaremos así:

1.- Intercambiadores de calor con espejos (Placas Soporte) Fijos.-

Como en este caso el haz de tubos no es removible, su aplicación es recomendable, sólo en casos en que el fluido que va por fuera de los tubos sea libre de materias extrañas; de no ser así, su limpieza sería difícil y la remoción de algún tubo sólo se la puede hacer destruyéndolo puesto que se halla expandido e soldado en sus extremos.

Una diferencia muy grande de temperatura entre los dos fluidos puede producir severos esfuerzos térmicos en los tubos y armaduras que deben ser contrarrestados, permitiendo una expansión independiente de sus elementos.

2.- Intercambiadores de calor con junta de expansión en la armadura.-

Justamente para reducir los esfuerzos debidos a un alto diferencial de temperatura llevan una junta de expansión en la envolvente.

3.- Intercambiadores de calor con cabezal flotante.- Cuyo propósito es permitir la expansión de los tubos mediante un haz flotante.

Otra manera de reducir los esfuerzos térmicos es mediante el empleo de tubos en forma de "U", con la desventaja de la dificultad de su limpieza por medios mecánicos. Cuando se requiere de limpieza periódica, el diseño debe favorecer esta necesidad y esto se consigue con haces de tubos removibles.

La limpieza exterior de los tubos se facilita cuando estos se disponen en forma de cuadrados en lugar de forma triangulada que son las maneras más usuales de diseño, como está indicado en la figura No.1. En todo caso para facilitar la limpieza, el espacio entre tubos debe ser por lo menos la cuarta parte del diámetro exterior de los tubos y en ningún caso menor que 1/4 de pulgada.

Si uno de los dos fluidos ensucia la superficie más rápidamente que el otro, debe circular por el interior de los tubos debido a que estos pueden ser limpiados sin necesidad de remover el haz de tubos o la armadura, Si ambos fluidos no contienen impurezas y uno de ellos trabaja a alta presión, éste debe fluir por el interior de los tubos para evitar la presurización de la armadura. En el caso de que uno solo de los fluidos sea corrosivo, igualmente deberá circular por dentro de los tubos para evitar la corrosión conjunta de tubos y armadura. Si uno de los fluidos es mucho más viscoso que el otro, deberá circular por el exterior de los tubos para aumentar el índice de transferencia del calor.

El diseño de unidades horizontales o verticales afecta muy poco en el costo y rendimiento para una capacidad determinada y más bien su empleo está regulado por los requerimientos de la industria y por el espacio disponible.

Medida de los tubos.- Se puede disponer fácilmente de tubos de 4 a 22 pies y aún de mayor longitud pero las medidas más estandarizadas son 8, 12, 16 y 22 pies.

Los tubos de longitudes más cortas se usan cuando la armadura es muy grande y para reducir el costo de plataformas y equipo de remoción de tubos cuando el intercambiador está ubicado en una parte alta o el espacio de que se dispone es muy pequeño.

Tubos largos se usan cuando el intercambiador está cerca del nivel del suelo y consecuentemente no se requiere de plataformas para su mantenimiento y limpieza.

En cuanto al diámetro de los tubos, ordinariamente se usan de  $\frac{5}{8}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1,  $1\frac{1}{4}$  y  $1\frac{1}{2}$  pulgadas; mayores diámetros se emplean solamente cuando el fluido que circulará por el interior de los tubos acarrea muchas impurezas que se depositan en las paredes; en todo caso este problema también se puede obviar aumentando la velocidad del fluido circulante.

Si en una planta deben haber varios intercambiadores de calor, el costo de su mantenimiento y operación es minimizado estandarizando diámetros y longitudes de tubos y demás accesorios como válvulas, indicadores de nivel, etc.

El espesor de las paredes de los tubos debe ser tal que no sólo resista la presión de trabajo y extremas temperaturas sino que también soporte la corrosividad del medio, proporcione un buen coeficiente de transferencia de calor; y, permita una adecuada expansión de los tubos dentro de los espejos.

Placas Espaciadoras o Baffles. - Son planchas fijas colocadas transversalmente al sentido de los tubos, cuyo objeto es aumentar la velocidad del fluido por fuera de los tubos. Estas placas separadoras no están en contacto con los tubos sino a distancias entre  $1/32$  y  $3/64$  de pulgada; y para reducir la vibración, su espesor varía de  $1/8$  a  $1/4$  de pulgada, es decir, por lo menos dos veces el espesor de las paredes de los tubos. Se debe dejar espacio suficiente entre dos placas consecutivas para facilitar la limpieza.

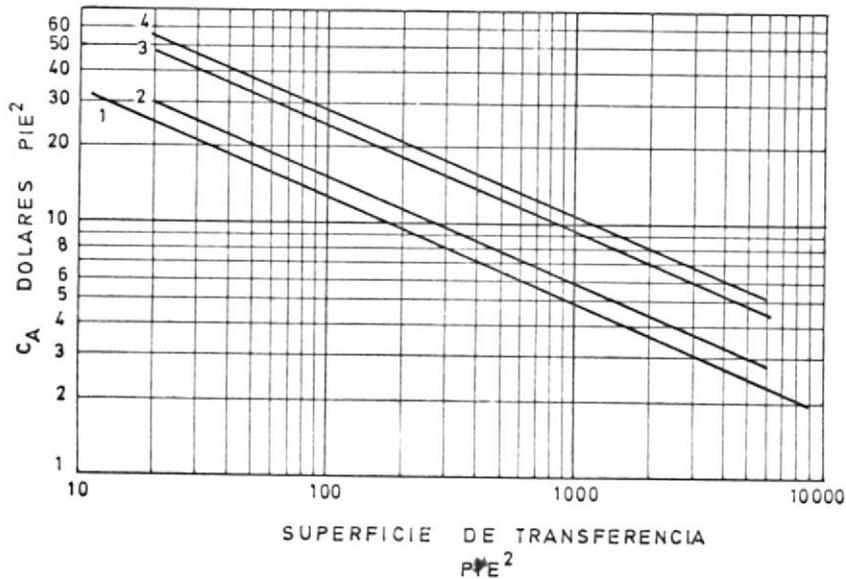
Cuando se usan baffles longitudinales, estos pueden ser removibles o soldados a la armadura. No es muy común su uso y en su lugar se prefiere diseñar dos pases de tubos.

En cuanto al espesor del espejo, este debe ser de por lo menos  $7/8$  de pulgada y en ningún caso menor que el diámetro exterior de los tubos.

Un intercambiador de calor debe estar adecuadamente provisto de drenajes y, cuando hay alta presión, válvulas de seguridad o discos de ruptura. Por razones de baja presión (menor que la atmosférica) suele ser dificultoso el bombeo del condensado y por esta razón un intercambiador de calor debe tener un indicador de nivel generalmente de vidrio que ponga sobre aviso al operador.

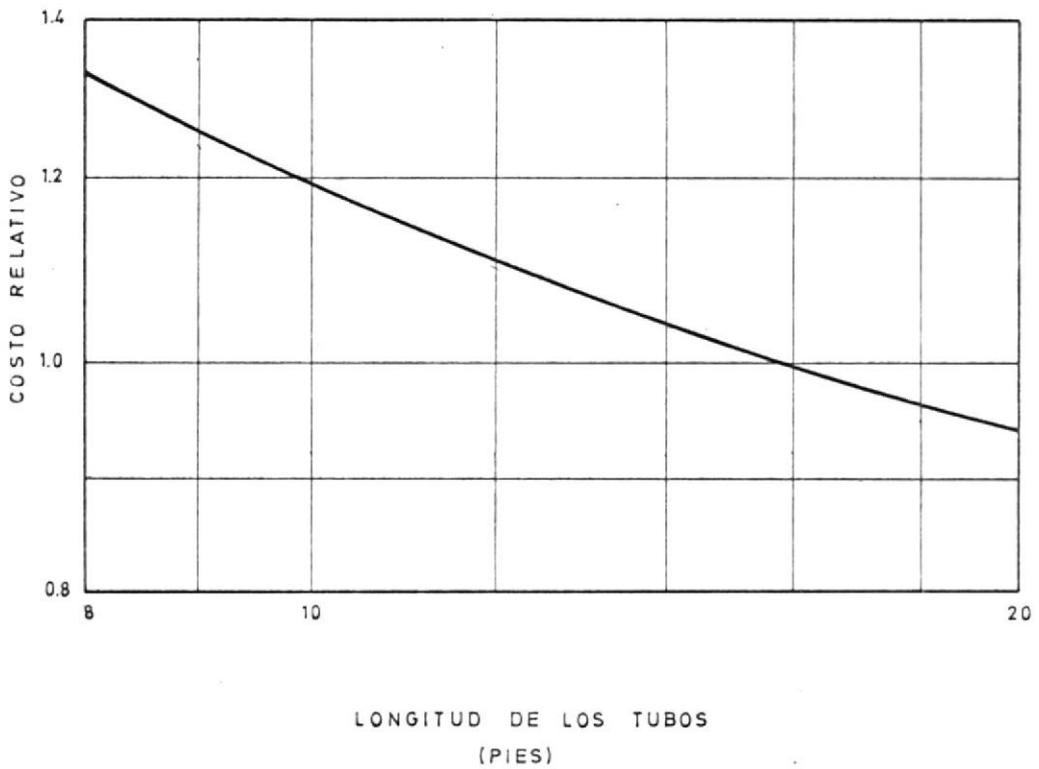
Costos de construcción.- Es practica corriente expresar estas cifras en dolares por pie cuadrado de superficie de transferencia en intercambiadores tubulares. Esta valor es funcion de factores como: area total de transferencia, diametro y longitud de los tubos, el material de construccion de tubos y armadura, la presion de trabajo y el numero de placas separadoras.

En intercambiadores de calor industriales, el costo por pie cuadrado de superficie disminuye a medida que la superficie total aumenta como lo demuestra el gráfico insertado adjunto.

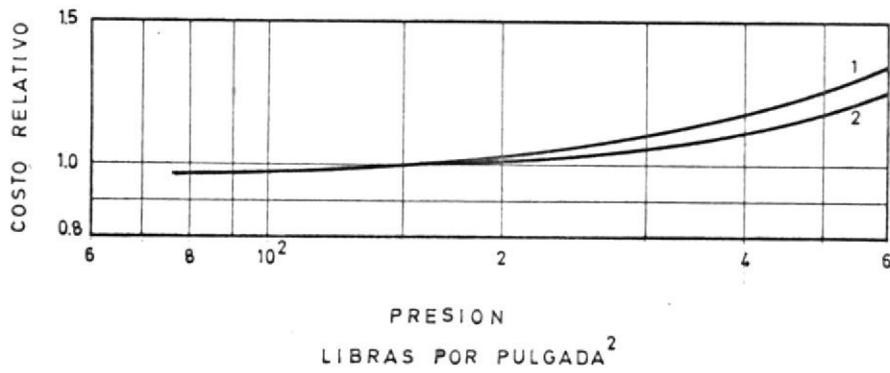


- 1 ACERO
- 2 COBRE O BRONCE
- 3 COBRE-NIQUEL
- 4 ACERO INOXIDABLE

El empleo de dos cabezales flotantes en lugar de uno, aumenta en un 30% el costo; y, cuatro cabezales en lugar de uno en una sola armadura lo incrementan en un 50%. Para una misma área, puede ser reducido en un 24% el costo de un típico intercambiador de calor empleando tubos de 16 pies en lugar de tubos de 8 pies como se indica en el gráfico.



Igualmente con un gráfico se demuestra el efecto de la presión de trabajo sobre el costo de un intercambiador de calor para una superficie determinada.



- 1 TUBOS
- 2 ARMADURA

A medida que decrece el diámetro de los tubos, se incrementa el coeficiente de transferencia de calor disminuyendo por consiguiente la superficie de contacto y consecuentemente su volumen, peso, -

costo, etc.; sin embargo como se aumenta la caída de presión es evidente que existe un diámetro óptimo y otra cosa que hay que tomar en cuenta es que la dificultad para la limpieza de los tubos aumenta a medida que disminuye en diámetro, incidiendo esto en el costo del mantenimiento de la unidad.

Balance Térmico.- El calor  $Q$  transferido a través de la pared del tubo puede ser gastado en aumentar la entalpía del fluido enfriante, incrementar la energía cinética del mismo fluido o efectuar trabajo; algo del calor se pierde por la armadura. El calor es transferido desde una fuente a  $t'$  hasta una corriente más fría  $t''$ . Por lo menos uno de los fluidos es calentado o enfriado sin cambio de fase; consecuentemente el balance térmico es:

$$q = wc(t_2 - t_1) = SGc(t_2 - t_1)$$

El balance térmico es de mucha utilidad puesto que establece la relación entre las temperaturas terminales y la razón de flujo de masa.

La capacidad de absorción de calor

$$Z' = \frac{T1' - T2'}{T2'' - T1''} = \frac{W'' C''}{W' C'}$$

tiene un importante significado en el diferencial total de temperatura ( $t' - t''$ ) en intercambiadores de flujo cruzado con varios pasos porque si no se tomara en cuenta esta relación, se pueden seleccionar cuatro temperaturas terminales ( dos para cada corriente) que satis -

fagan aparentemente el balance térmico y parezcan posibles de ser admitidas puesto que la más baja temperatura del fluido caliente, llamémoslo, es mayor que la más alta del fluido frío; sin embargo el valor de  $Z'$  puede ser tal que el propuesto intercambio de calor no pueda ser realizado al menos en el aparato en cuestión.-

Valuación del calor transferido.- La ecuación tiene la forma conocida:

$$q = UA \Delta t_m = U_i (\pi D_i L_H) F_G \Delta t_i = h_i (\pi D_i L_H) \Delta t_i = h_o (\pi D_o L_H) \Delta t_o$$

Los subíndices  $i$  y  $o$  indican interior y exterior de los tubos respectivamente.

$$\Delta t_z = \frac{(t'_1 - t''_2) - (t'_2 - t''_1)}{\ln \left[ \frac{t'_1 - t''_2}{t'_2 - t''_1} \right]}$$

Los valores de  $F_G$  dependen de dos parámetros adimensionales así como del tipo de intercambiador. En caso de ser una de las temperaturas constante, el valor de  $F_G$  es siempre la unidad para cualquier tipo de intercambiador de calor y se encuentra tabulado asumiendo  $U$  independiente de la temperatura.

El valor de  $U$  es determinado en función de la resistencia total  $R_t$  por unidad de área  $dA$  como:

$$R_t = \frac{1}{U} \text{ y, las resistencias parciales}$$

$$R_h = \frac{dA}{h_i dA_h} ; R_w = X_w \frac{dA}{K_w dA_w} ; R_d = \frac{dA}{h_o dA_c} ; R_c = \frac{dA}{h_c dA_c}$$

Por consiguiente:

$$R_t = R_h + R_w + R_d + R_c$$

$$dq = \frac{\Delta t_o}{1/U dA} = \frac{\Delta t_o}{\frac{1}{h_i dA_h} + \frac{X_w}{K_w dA_w} + \frac{1}{h_o dA_c} + \frac{1}{h_c dA_c}}$$

El coeficiente total de transferencia de calor U, está relacionado con los coeficientes parciales mediante la ecuación:

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} + \frac{x_w}{k_w D_w/D_i} + \frac{1}{h_o D_o/D_i} + \frac{1}{h_o D_o/D_i}$$

Que puede ser expresada como:

$$\frac{1}{U_i} = D_i \Sigma R + \frac{1}{h_i}$$

en donde

$\Sigma R$  es la suma de todas las resistencias excepto  $\frac{1}{h_i}$  que es la resistencia de la película.

Para flujo turbulento sin cambio de fase, los valores de  $h_i$  y  $h_o$  están dados adimensionalmente por las ecuaciones.

$$\left(\frac{h}{cG}\right)_i \left(\frac{c\mu}{K}\right)_i^{2/3} = \frac{Q_2/F_2}{(DG/\mu)^{1-n}} \quad (1) \quad \left(\frac{h}{cG}\right)_o \left(\frac{c\mu}{K}\right)_o^{2/3} = \frac{Q_4/F_4}{(DG/\mu)_o} \quad (2)$$

El factor de seguridad  $F_s$  es diferente para cada unidad - pero por lo general se lo toma como 1.25 para gases y agua.

La ecuación 1 es aplicable para números de prandtl entre 0.7 y 120; números de Reynolds entre 10.000 y 120.000; y, razones longitud/diámetro  $L/D$  mayores que 60. En estos intervalos  $A_3 = 0.023$  y  $N_1 = 0.9$

La ecuación 2 aplicable al flujo normal a los tubos, sin placas separadoras, se la puede emplear entre números de Reynolds de 2.000 a 40.000 y un valor recomendable para  $A_4$  es 0.3, - en caso de tubos colocados en forma escalonada y 0.26 para tubos en línea. El valor de  $N_o$  es normalmente 0.6

La caída de presión  $\Delta p_i$  a través de los tubos se la expresa como:

$$\Delta p_i = \frac{B_i 4 f_i L_H G_i^2}{2 g c_p^2 D_i} \quad \text{En donde} \quad B_i = 1 + \frac{K_i}{4 f_i L / D_i}$$

En donde el factor de fricción  $f_i$  varía de acuerdo al número de Reynolds  $(\frac{DG}{u})_i$  y a la rugosidad del material del tubo, pudiendo expresárselo aproximadamente como:

$$f_i = A_i \left( \frac{u}{DG} \right)^{m_i}$$

En donde el exponente  $m_i$  es 0.2 para flujo turbulento y 1.0 para flujo currentilíneo.  $A_i$  vale 0.046 para tubos lisos y 0.055 para tubos de acero inoxidable, esto, para flujo isotérmico y número de Reynolds entre 5,000 y 200,000.

Para el cálculo de las temperaturas de salida, el usuario del intercambiador de calor establece determinadas condiciones  $t_2'$  y  $t_2''$  que debe satisfacer la unidad con temperaturas de entradas igualmente conocidas así como el flujo y otras propiedades físicas.

Con estos datos se procede de la siguiente manera:

$$t_2' = \frac{t_1'(1-Z) + (a_5-1)t_1''}{a_5-Z} \quad \text{siendo} \quad a_5 = \frac{UAF(1-Z)}{w'c'}$$

Si la razón  $Z = \frac{w'c'}{w''c''}$  es igual a uno, los diferenciales de temperatura terminales son iguales y nos queda

$$t_2' = \frac{t_1' + a_6 t_1''}{1 + a_6} \quad a_6 = \frac{UAF a_5}{w'c'}$$

Cálculo de la velocidad Optima. - Cuando el coeficiente de transferencia de calor superficial a cada lado de las paredes del tubo, varía considerablemente con la velocidad del fluido, es difícil de terminar las características del intercambiador de calor más eficiente y económico puesto que tanto la velocidad como el costo de la energía consumida en bombear el fluido, varían independiente mente.

Si  $C_{ai}$  representa en dólares/hora-pie cuadrado de superficie interior el costo fijo de un intercambiador de calor, el correspondiente costo por BTU está dado por:

$$X_a = \frac{C_{ai} A_i}{q} = \frac{C_{ai}}{U_i \Delta t_m}$$

La potencia teóricamente requerida para bombear el agua a través de los tubos es:

$$\frac{\Delta p_i w_i}{f_2}$$

donde  $\Delta p_i$  es la caída de presión a través de los tubos.

Si  $C_{ei}$  representa el costo de la energía mecánica aplicada al fluido para hacerlo circular, en dólares por libra-pie, el correspondiente costo de la potencia expresado en dólares/BTU transferido es:

$$X_{pi} = \frac{C_{pi} A_i}{q} = C_{ei} \frac{B_i A_i U_i^{mi} G_i^{3-mi}}{2g_c f_i^2 D_i^m U_i \Delta t_m}; \quad X_{pi} = \frac{C_{ei} k_i G_i^{3-mi}}{U_i \Delta t_m}$$

De la misma manera usando la ecuación para la caída de presión a través de los tubos, el costo de la energía mecánica empleada para mover el fluido que circula por el exterior de los tubos, igualmente expresado en dólares/BTU, es:

$$X_{po} = \frac{C_{po} A l}{q} = C_{ao} \frac{2 B_o D_o \mu_o^{m_o} y_o G_o^{3-m_o}}{\pi S_i \rho_o^2 D_o^{m_o} D_i U_i \Delta t_m}$$

$$X_{po} = \frac{C_{ao} \mu_o G_o^{3-m_o}}{U_i \Delta t_m}$$

Puesto que los coeficientes individuales interior y exterior de transferencias de calor  $h_i$  y  $h_o$  dependen de las velocidades de los fluidos respectivos,

$$h_i = \alpha_i G_i^{m_i} \quad \text{y} \quad h_o = \alpha_o G_o^{n_o}$$

La ecuación que relaciona el coeficiente total de transferencia de calor con las resistencias individuales, puede ser escrita de la siguiente forma:

$$\frac{1}{U_i} = D_i R_w d + \frac{D_i/D_o}{h_o} + \frac{1}{h_i} = D_i R_w d + \frac{D_i/D_o}{\alpha_o G_o^{n_o}} + \frac{1}{\alpha_i G_i^{m_i}}$$

El costo total

$$\Sigma X = X_a + X_{pi} + X_{po}$$

puede ser minimizado utilizando una combinación adecuada de las dos velocidades, La óptima relación entre las velocidades y el costo unitario se encuentra por diferenciación parcial de con respecto a  $G_i$  y  $G_o$  con  $D_i$  y  $D_o$  constantes, luego igualando a cero las derivadas parciales. De este proceso se obtienen las dos siguientes ecuaciones de las velocidades parciales:

$$G_o^{3-m_i} = \frac{\Delta t_i \eta_i C_{ai}}{\Delta t_m (3-m_i) (C_{ai} \mu_i)} \frac{1 - \frac{\Delta t_i}{\Delta t_m} \frac{\eta_i}{3-m_i} - \frac{\Delta t_o}{\Delta t_m} \frac{\eta_o}{3-m_o}}$$

$$G_{oo}^{3-m_o} = \frac{\frac{\Delta t_o}{\Delta t_m} \frac{n_o}{3-m_o} \frac{C_{ai}}{C_{ao} M_o}}{1 - \frac{\Delta t_i}{\Delta t_m} \frac{n_i}{(3-m_i)} - \frac{\Delta t_o}{\Delta t_m} \frac{n_o}{(3-m_o)}}$$

en donde

$$K_i = \frac{B_i A_i \mu_i^{m_i}}{2 S_a \rho_i^2 D_i^{m_i}} \quad \text{y} \quad K_o = \frac{2 B_o A_o \gamma_o \mu_o^{m_o}}{\pi S_e \rho_o^3 D_o^{m_o}}$$

La razón entre los costos  $\frac{C_{pi}}{3-m_i}$  se obtiene dividiendo los valores de  $G_{io}$  para  $G_{oo}$  quedando:

$$\frac{C_{pi}}{C_{po}} = \frac{C_{ai} K_i G_{io}^{3-m_i}}{C_{ao} K_o G_{oo}^{3-m_o}} = \frac{\Delta t_i}{\Delta t_o} \frac{n_i (3-m_o)}{(3-m_i) n_o}$$

En muchos casos la resistencia de las paredes de los tu-

bos es una fracción despreciable de la resistencia total y . .

$$\Delta t_m = \Delta t_o + \Delta t_i$$

Para valores de  $\frac{D_i G_i}{\mu_i}$  y  $\frac{D_o G_o}{\mu_o}$  mayores que 10,000 y 1,000 respectivamente, los exponentes N y M tienen los siguientes valores:

$$\begin{aligned} N_i &= 0.8 \\ N_o &= 0.2 \\ M_o &= 0.6 \\ M_o &= 0.15 \end{aligned}$$

Usando estos valores y despreciando la resistencia de las paredes de los tubos, las ecuaciones de las velocidades quedan:

$$G_{io} = \left[ \frac{\frac{C_{ai}}{C_{oi} K_i}}{2.5 + 2.76 \frac{\Delta t_o}{\Delta t_i}} \right]^{0.357}$$

$$G_{oo} = \left[ \frac{\frac{C_{ai}}{C_{eo} K_o}}{3.75 + 3.39 \frac{\Delta t_i}{\Delta t_o}} \right]^{0.351}$$

- que son las ecuaciones más comunmente usadas.

El aumento de la velocidad del agua de enfriamiento trae consigo un aumento de la corrosión por erosión, vairando esta con la clase de aleación usada. En gua de mar, especial<sub>u</sub>mente, es más grande la posibilidad de corrosión debido a la velocidad del agua, por la presencia de burbujas de aire en - trampadas en el fluido (corrosión por picadura). Una veloci- dad razonable para que se produzcan una eficiente transferencia de calor es de alrededor de 3 pies por segundo para agua salada.

A continuación anotamos algunas cifras para velocidad del agua de enfriamiento, recomendadas por algunos autores de acuerdo a la calidad del tubo.

<u>MATERIAL</u>	<u>VELOCIDAD en pie/seg.</u>
Aluminio - Bronce , 5%	7 - 8
Cobre - Níquel , 10%	8 - 10
Cobre - Níquel , 30%	10 - 12
Cobre - Arsénico	3 - 4
Bronce del almirantazgo-inhibido	5 - 6
Aluminio - Laton inhibido	7 - 8
Bronce Rojo , 85%	

De acuerdo a recientes estudios hechos por el MEL (U.S. Navy Marine Engineering Laboratory) se observa que un pequ<sub>e</sub>ño porcentaje de alrededor de 0.75% de aluminio añadido a una a -

aleación 70 - 30 cobre- níquel, que es un material muy difundido en la construcción de tubos para intercambiadores de calor, aumenta su resistencia a la corrosión-erosión. No sucede lo mismo cuando a una aleación 90 - 10 cobre - Níquel se añade un 0.25% de aluminio.

A continuación va insertada una tabla demostrativa de la capacidad de aumento de velocidad de circulación del agua en tubos de aleación cobre-níquel 90 - 10 y 70 - 30 con porcentaje de 1.1 y 1.2 de aluminio incluido.

TIPO DE ALEACION	CONDICIONES DE PRUEBA		INTENSIDAD DE ATAQUE
	Velocidad Pie/Seg.	Duración Meses	
Cobre-Níquel 90-10 Standard	10.0 12.5 15.0 20.0	37 24 24 24	Insignificante Pequeña pérdida de espesor Penetración total de pared Penetración total de pared
Cobre-Níquel 70-30 Standard	10.0 12.5 15.0 20.0	34 24 24 24	Insignificante Insignificante Pequeña pérdida de espesor Pequeña pérdida de espesor
Cobre-Níquel 90-10 modificada	12.5 15.0 20.0	24 24 24	Insignificante Pequeña pérdida de espesor Penetración total de pared
Cobre-Níquel 70-30 modificada	12.5 15.0 20.0	24 24 24	Insignificante Insignificante Insignificante

Una evidente ventaja se obtiene al poder aumentar la velocidad de circulación del agua de enfriamiento de un condensador puesto que al aumentar la velocidad, aumenta la razón de transferencia de calor y al aumentar esta, disminuye el área de transferencia y por consiguiente el volumen del condensador y su peso como fué demostrado matemáticamente.

B) DIFERENTES TIPOS DE CORROSION.-

Existe un cierto número de tipos específicos de corrosión aplicables a los tubos de un condensador y en este estudio haremos una ligera inspección de cada uno de los principales ó más comunes en nuestro medio.

Ataque Uniforme.- Es una forma de corrosión en la que el material del tubo parece haberse consumido o agotado; en un caso muy frecuente cuando el medio enfriante es altamente ácido. La oxidación que sufre un metal a altas temperaturas en una atmósfera seca o de mínima humedad es también un caso de ataque uniforme.

En muchos casos al producirse este tipo de corrosión, da origen a la formación de una película protectora que impide un progresivo ataque y por consiguiente detiene la corrosión.

Cuando el tubo está sujeto a un fuerte ataque químico, el producto de la corrosión suele disolverse en la solución química dando origen a una corrosividad progresiva.

Corrosión por Picadura.- Cuando se rompe la película protectora, es decir la capa producto de la corrosión de que hablamos en el caso de ataque uniforme, sucede el caso de corrosión por picadura que da origen a la formación de minúsculos agujeros que pueden llegar a perforar el material del tubo.

Se ha observado este caso de aleaciones de aluminio, de cobre y aún en aceros inoxidables y aleaciones con alto contenido de níquel que si bien son mucho más resistentes que las anteriores, no pueden sustraerse en un 100% a este tipo de corrosión.

La corrosión por picadura es una forma de ataque electroquímico. El lugar en donde se rompe la película protectora se convierte en ánodo mientras que el resto del material del tubo con su película protectora hace las veces de cátodo, cerrándose de esta manera el circuito eléctrico con las consecuencias anotadas en el capítulo correspondiente.

Esta forma de destrucción del material es de mucha importancia en la vida de maquinarias y equipos en general puesto que concentra su ataque sobre una pequeña área suficiente como para causar problemas. La picadura del material también da origen a concentración de esfuerzos y cuando estas picaduras se suceden una a continuación de otra formando hileras., producen rajaduras con las evidentes consecuencias

Corrosión por alta temperatura. - La corrosión por alta temperatura comprende oxidación o reacciones con productos de combustión.

La corrosión bajo estas condiciones a menudo procede como un ataque químico directo. El cromo, conocido es por todos, aumenta la resistencia de una aleación a la oxidación; mientras más severas sean las condiciones de trabajo en este sentido de la oxidación, mayor deberá ser el porcentaje de cromo contenido de una aleación hasta un límite del 30%; más allá de este límite, es muy poco el beneficio que aporta este metal a la aleación. La protección que el cromo da a una aleación puede deberse posiblemente a la formación de una capa protectora de óxido de cromo.

El vapor de agua,  $CO_2$ , y anhídrido sulfuroso ( $SO_2$ ), que son los más comunes productos de combustión, aumentan la tendencia de acero a corroerse en presencia de aire a alta temperatura. Algunos combustibles de bajo grado obtenidos de la destilación de petróleo, forman al quemarse  $V_2O_5$  que es un compuesto que menora la resistencia de las aleaciones cromo-hierro a la corrosión. Para combatir los efectos del  $V_2O_5$ , se usa níquel en proporciones casi iguales que hierro y menores que el cromo. Esta combinación resiste la oxidación y también el ataque de compuestos sulfurosos productos de combustión.

- El níquel y aleaciones ricas en níquel aunque resisten la oxidación, tienden en cambio a formar redes intergranulares de NiS de poca resistencia especialmente cuando están presentes compuestos sulfurosos a altas temperaturas y sin mucho aire.

Esta última dificultad ha sido superada mediante el uso de una suficiente cantidad de cromo y hierro con el níquel en las aleaciones y operando desde luego en presencia de la mayor cantidad posible de aire. Actualmente se usan silicenos y aluminio conjuntamente con el cromo en las aleaciones lo cual les da mayor resistencia a la oxidación a altas temperaturas.

La corrosividad debido a altas temperaturas es acelerada por el periódico calentamiento y enfriamiento tanto más cuanto más bruscos estos sean y esto se debe a que la película protectora de que hemos hablado se dilata y contrae a una razón diferente a la del metal o aleación del tubo, produciéndose así - llas o escamas que se desprenden dejando cada vez nuevas partes del metal o aleación al descubierto dispuestas a sufrir un nuevo ataque continuándose el proceso en forma de ciclo.

EROSION-CORROSION .- Este fenómeno que se presenta comunmente es una combinación de uno de los mecanismos básicos de la corrosión con erosión mecánica. Frecuentemente metales y aleaciones que soportan bien cualquier tipo de corrosión gracias a la capa protectora, pierden su estabilidad cuando esta capa ha sido erosionada y deja al material expuesto a las otras formas de corrosión.

La erosión es causada principalmente por el flujo turbulento de fluidos, turbulencia que a su vez es producida por la alta velocidad del flujo, por cambios del diámetro de las tuberías, por codos, válvulas y otros accesorios. Muy asociado con el flujo turbulento va el fenómeno de la cavitación.

Cavitación es la formación de cavidades en el metal por efectos del rápido movimiento del fluido sobre la superficie del metal. Se cree que las cavidades son producidas por la formación de burbujas de vapor o aire y la repentina ruptura de las mismas en la superficie metálica. La presión en las burbujas es muy baja y ellas mismas son inestables. La súbita rotura de las burbujas produce un efecto golpeante el cual tiende a desgastar o consumir el metal o la película protectorra.

La cavitación está combinada generalmente con la corrosión: estos fenómenos se complementan de la siguiente manerra: la cavitación remueve la capa protectora dando origen a la corrosión del metal o aleación que está debajo; a su vez esta rugosidad producto de la corrosión promueve más cavitación de modo que nunca hay la oportunidad de que se forme una capa protectora estable.

Esta forma particular de erosión-corrosión es comunmente conocida como cavitación-corrosión. La erosión se produce también por la presencia de sólidos suspendidos en el fluido, tal sería por ejemplo el caso de sales que precipitan

el enfriarse una solución y principalmente arena y limo en las orillas de los ríos y esteros.

CORROSION- REFUERZO .- Este tipo de corrosión en metales y aleaciones tiene la probabilidad de ocurrir cuando una carga estática que produce un esfuerzo fijo actúa sobre la superficie en combinación con un medio corrosivo.

Los esfuerzos también pueden ser esfuerzos residuales resultantes del proceso de fabricación de los tubos o del uso del material, pero en ambos casos tiene que ser de tensión y en la superficie.

Se estima que un tubo de condensador en estas condiciones comienza a corroerse en áreas anódicas de la superficie del metal y lógicamente los esfuerzos superficiales de tensión se intensifican en el fondo de las hendiduras. Estos esfuerzos causan una continua destrucción de la delgada película protectora que podría formarse y a su vez permiten la acción corrosiva del medio, revestida de cualquiera de las formas de que hemos hablado, en la raíz de los cortes.

A medida que las roturas crecen en profundidad, los esfuerzos producidos por cargas aplicadas se intensifican convirtiendo al un fenómeno consecuencia del otro. Con seguridad la presencia de oxígeno tiene mucho que ver en esto.

En los casos de falla de tubos de condensador no se ha encontrado frecuentemente este fenómeno y por consiguiente

en este estudio lo pondremos en un plano secundario.

CORROSION-FATIGA.- Se produce de una manera muy parecida al caso de la combinación de un medio corrosivo con un esfuerzo producido por una carga estable solo que en este caso para que se produzca la fatiga, es esfuerzo que tiene que ser variable.

En este tipo de falla del material, el medio corrosivo actúa sobre la superficie del metal o aleación produciendo un incremento del esfuerzo a que está sometido el material sea por su propio peso o por cargas exteriores repartidas o concentradas, estables o variables; esto da origen a un foco o núcleo de falla por fatiga que se extiende con más rapidez cuando la carga es fluctuante.

Aunque frecuentemente las porciones de fractura producidas por la corrosión son frecuentemente intergranulares, la fractura final es transcristalina.

La corrosión-fatiga ha sido observada con más frecuencia en tubos de intercambiadores de calor de equipos químicos. Aparentemente la limitación de la expansión y contracción térmicas es una fuente de esfuerzos variables en el caso de intercambiadores de calor de que hablamos.

CORROSION-INTERGRANULAR.- Es probablemente causada por acción galvánica resultante de la diferencia de composición existente entre el

límite granular y el centro granular del metal que es atacado.

Se ha observado en algunos aceros inoxidable -  
bles austeníticos que al sufrir enfriamientos bruscos, como -  
después de efectuada una soldadura, pueden precipitarse compues -  
tos de carburo de cromo en el límite granular de las partículas  
constitutivas del material. El mismo fenómeno se presenta en  
algunas aleaciones a base de cobre, como bronce como por ejem -  
plo, en donde al igual que en los aceros inoxidable, el creci -  
miento de la propagación de las fisuras intergranulares es fa -  
vorecido por la concentración de células de oxígeno y pequeñas  
áreas anódicas.

DECINCIFICACION.- Es también una forma de corrosión muy pro -  
pia de las aleaciones ricas en zinc como las cobre-zinc de los  
bronce. Como su nombre lo indica, la decincificación resulta  
de la pérdida del zinc por parte del material dejando una masa  
esponjosa de cobre de poca resistencia mecánica. El hierro fun -  
dido común también se comporta de esta manera perdiéndose el  
hierro y quedando una masa esponjosa de grafito muy poco resis -  
tente.

No hay un acuerdo exacto de como se realiza este  
proceso pero se ha adoptado la idea de la existencia o formación  
de microscópicas celdas galvánicas que podrían ser causadas por  
microdiferencias en la composición y en las variaciones que acom -  
pañan al potencial de la solución o electrólito.

La decincificación ocurre de dos maneras: I) de  
cincificación tipo cuña.- En este caso el fenómeno se realiza

por remoción local de la película que cubre el material. El ataque que se inicia en un punto, una pequeña porción de la superficie y llega hasta el metal.

Ataque Uniforme o Decincificación tipo capa. - Es un ataque con - junto sobre toda la superficie o gran parte de ella comparada con el caso anterior en que la corrosión era de carácter local.

Las celdas galvánicas se originan de las diferencias de composición locales existentes en la superficie de un metal. En metales comercialmente puros la localización de cualquier impureza puede ser causa suficiente para producir corrosión. Una impureza de mayor actividad que el metal puro, o sea más anódico, es más perjudicial que una impureza de menor actividad pues la razón de desgaste de un área anódica es tanto mayor cuanto menor es el área.

Las celdas galvánicas también se forman en la superficie de una pieza de metal de composición uniforme cuando por medios mecánicos se funde la capa protectora teniendo entonces el caso de que ya hemos hablado.

La presencia de lodo o cualquier material extraño adherido a la superficie del metal puede excitar el contacto del oxígeno con la superficie protegiendo de esta manera a la superficie; pero cuando ésta suciedad es removida o se rompe, queda expuesta al medio una porción limpia del metal que es atacada vblen tamente.

Claro está que la presencia de esta materia extraña ad-  
herida a las paredes de los tubos de un intercambiador de calor  
si bien lo protegen de la corrosión, en cambio son perjudiciales  
desde el punto de vista de la transmisión del calor y por consi-  
guiente eficiencia de la unidad.

C) DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DEL ANALISIS DE MUESTRAS  
DE TUBOS DE CONDENSADORES INDUSTRIALES DE ESTA CIUDAD .-

Para tratar este punto me remito a análisis efectuados a muestras de tubos de los condensadores de las unidades turbogeneradoras a vapor de la Empresa Eléctrica, Inc. <sup>DE CONDENSADORES</sup>

Descripción de las muestras.- Las muestras de tubos estaban constituidas por:

- 1.- Pedazos de tubos de un pie de largo tomados de la parte de entrada del agua de enfriamiento, centro del tubo y salida del agua; esto de cuatro tubos escogidos al azar.
- 2.- Pedazos de igual longitud de la entrada y parte central de un quinto tubo; y
- 3.- Un pie de tubo de la salida de un sexto tubo.

Historia y condiciones de servicio.- El condensador de cuyos tubos se obtuvo la muestra mencionada es un condensador de superficie, de dos pasos y una <sup>2</sup>area de transferencia de 7.000 pies. Después de 27 meses de servicio, 89 tubos habían fallado; 10 meses después 616 tubos o sea aproximadamente el 50% del total habían fallado. La mayoría de los tubos rotos estaban localizados en los dos cuadrantes inferiores que en este tipo de condensador comprenden el segundo paso del agua de enfriamiento. El <sup>75</sup>medio enfriamiento es agua salobre del río Guayas que contiene una cantidad considerable de fango, vegetación, pequeños mariscos y peces así como aguas servidas.

La temperatura del agua del río fluctúa entre 85 y 90° F durante todo el año.

Una vez obtenida la muestra se procedió a analizar su composición química y estructura granular con los siguientes resultados.

<u>TUBO</u>	%	%	%	%	%	%
<u>No.</u>	<u>Cobre</u>	<u>Plomo</u>	<u>Hierro</u>	<u>Aluminio</u>	<u>Arsénico</u>	<u>Zinc</u>
1	77,42	0,01	0,01	2,29	0,04	resto
2	77,58	0,01	0,01	2,35	0,04	resto
3	77,55	0,01	0,01	2,46	0,03	resto
4	77,67	0,01	0,01	2,29	0,04	resto
5	77,20	0,01	0,01	2,35	0,03	resto
6	77,74	0,01	0,01	2,42	0,04	resto

#### ESTRUCTURA

#### TEMPLADO

DIAMETRO GRANULAR : 0,010

La composición química y estructura granular de estos tubos si está dentro de las especificaciones de la ASTM.

Discusión del tipo y causa de la corrosión.- No se encontró apreciable corrosión en la superficie exterior de los tubos. El lado de agua de los tubos se encontraba cubierto por una delgada capa café de óxidos hidratados de hierro (ferroso y férrico). La tabla insertada a continuación describe el tipo y extensión de

la corrosión encontrada en el interior de los tubos.

<u>TUBO</u>	<u>LOCALIZACION</u>	<u>TIEMPO SERVICIO</u>	<u>TIPO DE CORROSION</u>	<u>PROFUNDIDAD ATAQUE</u>
No				
1	2do paso cuadrante derecho	26 meses	Picadura Desgaste Gene.	0.019 pulg. 0.011 pulg.
2	2do paso cuadrante izquierdo	31 meses	Picadura Desgaste Gene.	Atravesó la pared 0.015 pulg.
3	1er paso cuadrante izquierdo	31	Desgaste Gene.	0.015 pulg.
4	2do paso cuadrante derecho		Picadura Desgaste Gene.	atravesó la pared 0.020
5	2do paso cuadrante	31	Picadura Desgaste Gene.	atravesó la pared 0.013 pulg.
6	1er paso cuadrante derecho	31	Picadura Desgaste Gene.	atravesó la pared 0.013 pulg.

El desgaste o adelgazamiento casi uniforme observado en la pared interior del tubo se debió evidentemente a la acción abrasiva de la materia finamente dividida suspendida en el agua de circulación.

Este desgaste general de la superficie interior de los tubos, no ha sido un contribuyente directo o factor determinante para la falla de los mismos, si consideramos que esto ha ocurrido a una razón de más o menos 0,006 pulg. por año y en una supuesta ausen

cia de otros tipos de corrosión, un tubo podría fallar por esta causa aproximadamente después de siete años de servicio.

D) DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DEL ANALISIS DE MUES -  
TRAS DE AGUA DEL RIO GUAYAS Y DEL ESTERO SALADO.-

Influencia de la composición del agua en la corrosión de metales y aleaciones.- Antes de analizar las condiciones en que normalmente se encuentran los compuestos y proporciones en que se hallan dichas sustancias en las aguas de enfriamiento comunmente usadas en Cuayaquil con fines industriales, debemos hacer un somero estudio de las aguas de enfriamiento en general para poder hacer comparaciones y establecer alguna ventaja o desventaja que incida directamente sobre las propiedades que deben tener los intercambiadores de calor y más específicamente los tubos de condensador.

El agua tiene gran influencia en el comportamiento de los metales y aleaciones que sus características deben ser tomadas en cuenta como un factor acelerante en la corrosión. Prácticamente todas las sustancias son solubles en cierto grado en el agua, siendo por esta razón llamada a veces el disolvente universal.

Es muy remota la posibilidad de encontrar agua pura en la naturaleza debido a su facilidad para disolver sales y absorber gases; aún el agua lluvia que es la que más se asemeja a agua pura, contiene suficiente cantidad de oxígeno y dióxido de carbono disueltos como para ser corrosiva.

Entre los compuestos más comúnmente encontrados en aguas de enfriamiento corriente y cuya presencia es importante determinar, tenemos:

- I.- Total de sólidos disueltos
- 2.- Dureza total como carbonato de calcio
- 3.- Calcio como tal
- 4.- Magnesio como tal
- 5.- Alcalinidad total como carbonato de calcio ( al reactivo anaranjado de metilo.
- 6.- Alcalinidad como carbonato de calcio ( al reactivo fenol taleína)
- 7.- Dióxido de carbono libre como CO<sub>2</sub>
- 8.- Sulfatos como SO<sub>4</sub>
- 9.- Cloruros como Cl
- 10.- Sulfuro de hidrógeno ( ácido sulfhídrico) como S
- II.- Compuestos de amonio como NH<sub>3</sub>
- I2.- Cromatos como CrO<sub>4</sub>
- I3.- Fosfatos como PO<sub>4</sub>
- I4.- Ion férrico como Fe
- I5.- Oxígeno disuelto como oxígeno molecular O<sub>2</sub>
- I6.- pH aproximadamente a 23° C

Generalmente estos constituyentes de la calidad del agua son comunes para las tres clases de aguas de enfriamiento: agua dulce corriente, agua salada corriente y agua recirculante tratada; pero no todos son de igual importancia pu -

diendo algunos inclusive no ser tomados en cuenta en determinadas circunstancias. La cantidad en que estos componentes se encuentran en el agua de enfriamiento se mide en partes por millón a excepción del pH que es el logaritmo del inverso de la concentración de hidrogeniones.

Características de cada uno de los componentes antes mencionados:

Total de sólidos disueltos.- Esta cifra que para agua dulce de enfriamiento puede llegar hasta 1,000 ppm y para agua salada hasta 35,000 ppm, nos da la idea de la concentración de sólidos disueltos que no pueden ser removidos por simple filtración. Naturalmente que estas cifras de ppm de sólidos disueltos varían según la localización de la fuente.

Dureza total.- Nos indica la cantidad de sales de calcio y magnesio que pueden estar presentes como bicarbonatos que producen la dureza temporal, ó como sulfatos, cloruros, nitratos o carbonatos que producen la dureza permanente.

Para agua dulce se usa la siguiente clasificación de acuerdo a la dureza:

De:	0	a 50 ppm	-agua suavizada o suave
	50	a 100ppm	-agua moderadamente dura
	100	a ---ppm	- agua dura

El agua salada tiene una dureza de varios miles de partes por millón.

Magnesio.- El contenido de magnesio en un agua de enfriamiento, no es de mayor importancia como para ser considerado en la corrosión, sin embargo su presencia es fácil determinar.

Alcalinidad total.- La alcalinidad total de un agua indica la medida de la cantidad de carbonatos normales, bicarbonatos e hidróxidos presentes; todo esto comunmente medido como alcalinidad al anaranjado de metilo. La alcalinidad del agua dulce, potable por ejemplo, varía de un lugar a otro en varios cientos de ppm, lo contrario de lo que sucede con el agua de mar.

La mayor parte de los elementos causantes de la alcalinidad de un agua, por lo general retardan los efectos de la corrosión pero en cambio al depositarse en los tubos impiden una mejor transferencia del calor.

Alcalinidad al reactivo fenoltaleína.- La fenoltaleína al igual que el reactivo anterior, indica la presencia de carbonatos normales e hidróxidos; la única diferencia entre estos dos reactivos es que la fenoltaleína actúa a un pH igual a 8.4 o mayor.

El agua de mar es menos propensa a producir cualquiera de los tipos de alcalinidad indicados, más bien, ésta se encuentra en aguas de recirculación o sea en aguas que cumplen ciclos cerrados.

Dióxido de carbono libre como CO<sub>2</sub> .- El dióxido de carbono disuelto en agua da a esta un carácter ácido. Practicamente el contenido de CO<sub>2</sub> más la magnitud del pH y la alcalinidad del agua, son la medida de la corrosividad de la misma.

Un alto contenido de dióxido de carbono se encuentra en aguas de manantiales por el camino que estas siguen a través de depósitos de descomposición orgánica que es una buena fuente de CO<sub>2</sub>. El agua de mar y otras aguas superficiales por lo general contienen muy pocas partes por millón de dióxido de carbono.

Sulfatos disueltos.- Varias clases de sulfatos y en diferentes proporciones se encuentran en todos los tipos de agua de enfriamiento. En el agua dulce la concentración de sulfatos puede alcanzar varios cientos de partes por millón. En el agua de mar los sulfatos disueltos son el principal componente de una proporción aproximada de hasta 2.500 ppm como lo demuestran los análisis insertados en la sección correspondiente de este estudio ventajosamente a los metales y aleaciones constitutivos de los tubos de un condensador afectan mucho menos que los cloruros, por razones que ya indicáramos.

Cloruros.- En los cloruros está comprendido el mayor y primer número de sales disueltas en el agua de mar, en una cantidad que fluctúa alrededor de las 19,000 ppm. No hay información

exacta sobre cual es el límite de la concentración de cloruros a partir de la cual el agua dulce adquiere la corrosividad del agua salada, lo cierto es que las aguas dulces usadas para condensación pueden contener varios cientos de ppm de cloruros disueltos y lo que si se sabe es que el agua salobre es mucho más perjudicial que el agua salada desde el punto de vista de la corrosión.

Sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico).- El sulfuro de hidrógeno contenido en el agua de enfriamiento comunmente proviene de la acción de bacterias sobre materias orgánicas existentes, especialmente en las aguas servidas. Pocas partes por millón de este compuesto químico son suficientes para cambiar notablemente la corrosividad de un agua. Lo curioso con el comportamiento de este gas es que si bien disminuye la corrosión por rozamiento o choque del fluido con las paredes de los tubos dentro del condensador, en cambio aumenta enormemente las probabilidades de corrosión por picadura a lo largo de todo el tubo. Al analizar un agua de enfriamiento con el propósito de determinar el contenido de este sulfuro, debe tenerse especial cuidado en que el análisis se efectúe tan pronto como se obtiene la muestra, esto, por la facilidad que tiene este gas para oxidarse pasando de sulfuro a sulfato.

Compuestos de amonio.- Esta clase de compuesto como el sulfuro de amonio, se producen generalmente donde hay descom

posición orgánica, usualmente en las aguas de enfriamiento su presencia es tan pequeña que prácticamente no afecta al índice total de la corrosividad del agua. Según experiencias hechas por varios autores, el amoníaco proveniente de la descomposición orgánica en aguas de enfriamiento nunca ha sido causa de la rotura por corrosión en tubo de condensador.

Cromatos.- Estos compuestos se encuentran solamente en aguas recirculantes que han sido previamente tratadas con cromato de sodio, generalmente, para evitar la corrosión. Estos cromatos en medio neutro o alcalino impiden la corrosión de aleaciones de cobre; en cambio en medio ácido es fuertemente corrosivo para el mencionado metal y sus aleaciones.

Fosfatos.- Estos compuestos al igual que los anteriores sólo se encuentran en cantidades significantes en aguas recirculantes, es decir, cuando previamente ha sido añadido con el propósito de disminuir la corrosividad del agua.

Iones Férricos.- Resultan altamente corrosivos debido a sus cualidades oxidantes. A este ion se lo encuentra en solución en aguas provenientes del drenajes en minas de carbón o en aguas contaminadas de factorías.

Oxígeno.- Al analizarlo, al igual que en el caso del sulfuro de hidrógeno, hay que tener cuidado de que tan pronto sea obtenida la muestra se efectúe el análisis porque su facilidad de realizar oxidaciones a otras sustancias presentes en el agua,

puede dar origen a resultados engañosos.

La mayor parte de las aguas de enfriamiento son saturadas de oxígeno a menos que éste haya reaccionado con alguna sustancia orgánica puesta en el agua con el fin de eliminarlo. Para que se produzca la corrosión de tubos de cobre a sus aleaciones por acción del oxígeno, es necesario que este se encuentre polarizado.

El agua dulce puede contener hasta 12 ppm de oxígeno disuelto, mientras que el agua de mar hasta 8 ppm; si bien el agua libre de oxígeno no es corrosiva en el condensador, cuando esta agua llega a los tubos puede saturarse inmediatamente de oxígeno volviéndose evidentemente corrosiva.

El pH.- Como quedó aclarado anteriormente, el pH no se lo expresa por ppm sino que es un número representativo del logaritmo del recíproco de la concentración de hidrosen-iones. Un pH de 7 indica que el agua es neutra; a medida que disminuye este número aumenta la acidez del agua y sobre 7 se incrementa su alcalinidad.

Datos experimentales demuestran que mientras menor es el pH mayor es la corrosividad del agua. El agua de mar abierto tiene un pH bastante aproximado a 8, siendo este un valor óptimo el mismo que decrece a medida que se acerca a puertos o esteros llegando en estos lugares hasta 7 y justamente este será el medio de nuestro estudio.

El agua dulce de enfriamiento tiene un pH que varía entre 6 y 8 a menos que haya la influencia de aguas servidas o desechos industriales pudiendo en tales casos llegar hasta 3 siendo evidente la necesidad de un tratamiento.

El pH de aguas recirculantes alcanza cifras muy bajas a componentes residuales que coge de la atmósfera, siendo necesario su continuo tratamiento.

Conociendo estos pormenores de las aguas de enfriamiento, es más fácil sacar conclusiones de los resultados de análisis hechos a muestras de agua del Río Cuayas en diferentes épocas del año y con mareas alta y baja, las mismas que servirán para adoptar medidas de protección a condensadores y equipos accesorios.

Los datos que a continuación consigno que me han sido facilitados por el Instituto de Higiene y son:

Muestra No.1

Tomada con la marea alta

Aspecto : Turbidéz acentuada

pH a 23°C: 6.8

Color : ligeramente amarillento

Olor y sabor: características

Alcalinidad total expresada como carbonato de calcio: 54.71ppm

Dureza total expresada como carbonato de calcio: 86.4 ppm

Sólidos en solución: 290 ppm

Cloruros presentes : expresados como cloruro de sodio:

22,736 ppm

- Sulfatos (análisis cualitativos): negativos  
Nitratos (análisis cualitativos): negativos

Muestra No.2

tomada con marea baja

Aspecto: turbidez acentuada

Color : amarillo ligero

sin olor y con sabor característico

pH a 23° C: 7.15

Alcalinidad total como carbonato de calcio: 60.79 ppm

Dureza total como carbonato de calcio: 74.37 ppm

Sólidos en solución: 376 ppm

Cloruros presentes expresados como cloruro de sodio: 23 ppm

Sulfatos (análisis cualitativos) : negativos

Nitratos (análisis cualitativos) : negativos

En lo que respecta al análisis del agua del Estero Salado, igualmente me ha sido proporcionado por el Instituto de Higiene y en la parte que interesa para nuestro estudio es decir excluyendo los datos sobre bacterias y microorganismos en general, adjunto a continuación:

pH - 7.2

Sólidos totales: 405 ppm

Alcalinidad como carbonato de calcio: 127.4 ppm

Cloro como cloruro de sodio: 16.200 ppm

Dureza ( con el reactivo EDTA) : 3.480 ppm

Aspecto: Turbidez acentuada

Color : olor y sabor característicos.

CAPITULO II

## II . SELECCION DE MATERIALES PARA SU CONSTRUCCION

Para seleccionar una aleación para ser usada en tubos de un intercambiador de calor en particular, se deben tomar en cuenta ciertos requerimientos de la unidad como ser: Medio de transferencia del calor, condiciones de operación y diseño del equipo accesorio.

La extensa variedad de clases de tubos que en algunos casos difieren tan solo por el nombre puesto por el fabricante, podemos dividirla en grupos como: tubos de latón, tubos de cobre, tubos de bronce, tubos cobre-niquel, tubos especiales de titanio y circonio, y desde luego los de acero inoxidable.

En cada uno de estos grupos encontramos subgrupos que vienen dados por el cambio de porcentaje de los metales integrantes de la aleación o por el hecho de haberse incluido alguna pequeña proporción de otro componente; en este estudio trataremos de individualizar, cada uno de estos grupos.

Aleaciones de Latón.- Este grupo consiste de aleaciones compuestas en su mayoría por cobre y zinc con la apropiada adición de otros elementos. Como ejemplos de miembros de esta familia general, tenemos:

Bronce del Almirantazgo, Aluminio-Bronce, Metal Muntz y la llamada aleación 94 (Estaño bronce rojo)

Bronce del Almirantazgo.-Inhibido.- Esta aleación está formada por 71% de cobre, 1% de estaño, 0,03% de inhibidor y el resto

de zinc. Variedades de este tipo de aleación son: aleación 30, (Cabra 443) que contiene un porcentaje de antimonio; y, aleación 31 (Cabra 445) que contiene un porcentaje de fósforo, como inhibidores de decincificación. Estas aleaciones tienen buena resistencia a la corrosión de muchos tipos de agua de enfriamiento a velocidades de hasta 6 pies por segundo. A más altas velocidades este tipo de tubos pueden estar sujetos a corrosión por impacto, especialmente por el extremo de la entrada de agua. La resistencia a corrosividad debido a la presencia de micro-organismos es muy buena y no es afectada por la práctica normal de clorinación. Como resultado de la buena resistencia que presenta este material a diversos tipos de agua de circulación tenemos su variada gama de aplicaciones en diversos medios y condiciones como por ejemplo en las refinerías de petróleo por su gran resistencia a la corrosividad producida por petróleos de bajo contenido de compuestos sulfurosos. Los tubos de esta aleación tienen además excelente comportamiento frente a gases usados como refrigerantes a excepción del amoníaco; esta aleación nunca debe ser usada con amoníaco.

Aluminio-Bronce-Inhibidor. Esta aleación está compuesta básicamente por 77,5% de cobre, 2% aluminio, 0,03% de inhibidor y el resto de zinc. Tubos de este material son preferentemente usados en condensadores navales, de superficie y aquellos enfriados por agua afectada por la marea., es decir todos aquellos en donde las relativas altas velocidades de circulación del agua ha hecho fracasar tubos de la aleación anterior.

- Esta aleación además tiene gran resistencia a la corrosión producida por aguas contaminadas de puentes y ríos con desechos industriales.

Al igual de los tubos del grupo anterior, estos tienen buena resistencia a gases que se usan como refrigerantes excepto amoníaco. Igualmente estos tubos tienen alta resistencia a compuestos sulfurosos como los encontrados en el petróleo.

#### Bronce Rojo-Aleación 85 (Cabra 230)

Este material está formado por un 85% de cobre y 15% de zinc. Estas aleaciones son precisamente usadas en las refineries. Tiene buena resistencia a la corrosión producida por agua de mar no contaminada y a una velocidad de hasta 4 Pie/Seg. Para agua dulce, su resistencia es buena en condiciones normales de velocidades. A más altas velocidades, esta aleación está sujeta a ataques por impacto especialmente en agua salada. Bajo condiciones normales de operación, esta aleación no está sujeta a decincificación ni es susceptible a corrosión-rotura por esfuerzos o cambios bruscos de temperatura ambiente como otros tubos de bajo porcentaje de contenido de cobre.

Este tipo de tubos de condensador ha sido usado principalmente con aguas frescas en donde las propiedades físicas y químicas los hacen aplicables a un sinnúmero de intercambiadores de calor. Debido a su buena resistencia a la corrosión-esfuerzo, esta aleación puede ser considerada para aplicaciones en donde el contenido de amoníaco de las aguas enfriantes hace poco recomendable el uso de las anteriores aleaciones. La desventaja que presenta esta aleación es que no debe ser usada en medios con alto contenido de ácido sulfúrico y compuestos sulfurosos en general.

Estaño-Bronce Rojo (Aleación 94, Cibra 425)..- Esta aleación formada por 88% de cobre, 10% de zinc, y 2% de estaño se la reconoce normalmente con la denominación de 88-10-2 y es la más resistente que la aleación anterior con respecto a la corrosión. Tubos de este material están exentos de decalcificación y por consiguiente no requieren de uso de inhibidores.

Al Igual que el Bronce Rojo la aleación 94 tiene buena resistencia al esfuerzo-corrosión y a los cambios bruscos de temperatura ambiental. La adición del 2% de estaño a esta aleación ha mejorado su resistencia a la corrosividad producida por aguas dulces con altos contenidos de desechos industriales especialmente residuos acídicos y ricos en sulfatos.

Metal Mintz. - Esta aleación constituida por 62% cobre, 33% zinc y 0.1% arsénico, llamada también aleación MM.- 141 o Cabra 280, ha dado magníficos resultados en plantas de poder terrestres con condensadores enfriados por agua dulce. La adición del pequeño porcentaje de arsénico ha mejorado sustancialmente su resistencia a la dencinci - ficación igualmente que en el caso anterior sin el uso de inhibidores, lo cual ha hecho que su uso se generalice tanto como el del bronce del almirantazgo.

Debido al alto contenido de zinc, esta aleación tiene buena resistencia al sulfuro de hidrógeno y a otros compuestos sulfurosos activos pero en cambio está sujeta a corrosión por impacto cuando es expuesta a un flujo de agua de mar de 6 pies por segundo de velocidad o más alto.

Aleaciones de Bronce. - Esta familia general de aleaciones que tiene como base el cobre originalmente tenía como metal complementario al estaño más ciertos aditivos que mejoraban determinadas propiedades del bronce. Las aleaciones conoci das como aluminio-bronce y silicio-bronce a pesar de no ser exactamente bronce han tenido variada aplicación por su buen comportamiento en diversas circunstancias.

Los bronce fosfóricos y silícico han sido am pliamente usados como materiales resistentes a la corrosión y a esfuerzos en general para industrias de proceso. Aún

cuando la mayor parte de sus aplicaciones no ha sido precisamente para la construcción de tubos de condensador, las excelentes condiciones de este material garantizan su uso en este campo de la industria.

Las aleaciones de bronce fosfórico más de 3 ó 4% de estaño muestran un incremento de la resistencia a la corrosión sobre la aleación 94 (Cabra 425) especialmente cuando el medio de trabajo es agua freática.

Pruebas de Laboratorio han demostrado que incrementando el porcentaje de estaño a estas aplicaciones, se obtienen una mayor resistencia a la acción de ácidos disueltos como el sulfúrico por ejemplo: este material también aguanta la acción del  $SH_2$  y más compuestos sulfurados.

La resistencia a la corrosión del bronce con alto contenido de silicio, llamado Cabra 655 o aleación 606, así como su resistencia a muchos compuestos orgánicos e inorgánicos como ácidos y gases, se la cataloga de buena a excelente.

El inconveniente de estas aleaciones al igual que todas aquellas que tienen como base al cobre es que no deben ser usadas como amoníaco, sales amoniacales, mercurio y sales de mercurio. La resistencia de esta aleación a aguas dulces y marinas es muy buena lo cual se evidencia por su uso generalizado en la construcción de tanques de almacenamiento de agua y para tubos de intercambiadores de calor.

Aluminio Bronce con Inhibidor.-Aleación 53 (Cabra 608).- Esta aleación está compuesta por 95% de cobre y 5% de aluminio más arsénico en pequeñas proporciones como inhibidor. Tiene buena resistencia a la corrosión del agua marina y agua dulce con desperdicios industriales y basura. Los tubos aluminio bronce tienen especial empleo en condensadores cuya agua de enfriamiento contiene residuos en las factorías de papel y productos afines. En general los tubos de esta aleación presentan mejores propiedades que las demás de base de cobre. El lado inconveniente que tienen estos materiales es su relativamente baja resistencia a la corrosión producida por micro-organismos especialmente del agua de mar a temperatura tropical. Para evitar esto hay que mantener una velocidad de circulación del agua de por lo menos 6 pies por segundo con lo que se consigue el desprendimiento de los micro-organismos de las paredes de los tubos. Y como medida complementaria se puede proveer al agua de una elevada clorización con lo que se elimina por completo este peligro.

La limitación de este material está en lo que se refiere a altos contenidos de amoníaco o sulfuros del agua circulante. Tubos de este material no deben ser usados en estas condiciones porque quedarían expuestos a rotura por corrosión y esfuerzo.

Aleaciones de Cobre.- Este grupo comprende aleaciones consistentes básicamente de cobre más pequeñas adiciones de fósforo o arsénico. Este grupo también incluye aleaciones cobre-fósforo deoxidizadas y cobre-arsénico deoxidizadas.

Entre las ventajas que han hecho popular el uso de tubos de este material tenemos: fáciles de fabricar, buena resistencia a la corrosión en muchos medios, excelente conductividad térmica y eléctrica combinada con excelentes propiedades a bajas temperaturas.

La resistencia del cobre es suficientemente grande como para satisfacer los requerimientos estructurales de la construcción de muchos equipos. Sin embargo cuando se requiere alta resistencia, el cobre es usado a menudo como revestimiento de estructuras metálicas más resistente tal es el caso de los tubos duplex del mismo que nos ocuparemos posteriormente.

COBRE DEOXIDIZADO.- Aleación I10 (Cabra I22).- Este material está constituido casi exclusivamente por cobre con un infimo 0.03% de fósforo como agente deoxidizante. Este es el tipo de cobre más comunmente usado puesto que puede ser soldado con oxi-acetileno, recubierto de metales costosos para mejorar su apariencia y en general manejado con herramientas y medios comunes. Tubos de cobre deoxidizado hay disponibles en diversos diámetros y espesores lo cual permite su empleo en varios modelos de intercambiadores de calor. Algunos de sus usos incluyen sistemas de lubricación, líneas de presión hidráulica, líneas de aire, aceite, gases, etc, así como también cañerías para líquidos de industrias de proceso como fábricas de papel, ingenios azucareros, fábricas de alimentos, evaporadores, refrigeración, destilerías, etc.

COBRE-ARSENICO-DEOXIDIZADO .- Denominados también aleación H3 .

(Cabra I42) es una aleación formada básicamente por cobre puro más un porcentaje de 0.15 al 0.5% de arsénico y es a veces preferida al cobre ordinario deoxidizado.- Esta aleación ha sido usada con buenos resultados en condensadores y calentadores de agua de alimentación cuando el medioenfriamiento es agua dulce corriente, debido a la adición del arsénico este cobre presenta un más alto punto de ablandamiento por temperatura por lo que puede ser usado a temperaturas más altas que las que resiste el cobre ordinario. Al igual que los tubos del grupo anterior, son usados mucho en industrias como refinerías de azúcar, proceso de alimentos, etc.

El inconveniente general que presentan estos tubos de aleación en la que predomina el cobre, es que el agua a velocidades de 3 Pie/Seg en caso de agua salada y 4 Pie/Seg en el agua dulce los corroe fácilmente por impacto.

Tubos Cobre-Níquel.- Este grupo de aleaciones consiste primordialmente de cobre y níquel variando de la proporción de cada uno de ellos. Suele añadirse pequeños porcentajes de hierro para mejorar sus resistencia al impacto del agua.

A continuación veremos brevemente las características de los tipos de tubos que forman este grupo de aleaciones.

Como denominador común de estas aleaciones podemos anotar que mientras más alto es su contenido de níquel mejores condiciones de resistencia a la corrosión presenta el material.

Cobre-Níquel 5%. - Llamada también aleación 506 (Cabra 704) es una aleación formada por 93% cobre, 5% de níquel y 1.5% de hierro. Esta aleación es usada principalmente en refrigeración cuando la sustancia de trabajo es el bromuro de litio. Tiene una buena resistencia a la corrosión en diversos tipos de aguas dulces a velocidad moderada. Es recomendable su uso para trabajos de plomería. Debido a su alto contenido de cobre, esta aleación no debe ser usada en medios con alto contenido de sulfuros.

Cobre-Níquel 10%. - Llamadas también aleaciones 511 y 512 (Cabra 706) consisten básicamente de un 90% de cobre, y 10% níquel. Entre las dos difieren únicamente en que la 511 tiene un 1.25% de hierro y la 512 un 1.75%. Estas aleaciones satisfacen las condiciones de contenido de hierro estipuladas por la ASTM, B-III para el cobre-níquel 10%.

Experimentalmente se ha comprobado que al añadir un 1.5% de hierro a una aleación de este tipo, esta aumenta considerablemente su resistencia a altas velocidades de circulación de agua de mar. No es raro encontrar plantas turbo-generadoras a vapor enfriadas por agua salina a velocidades de hasta 8 Pié/Seg que es una cifra alta. En buques mercantes y de guerra se usa además este material para tuberías de sistemas auxiliares que trabajan en contacto de agua de mar.

La resistencia a la corrosión de estos tubos a velocidades aún más altas pero con agua dulce, es excelente con

la desventaja de que las aguas servidas y de deshechos industriales la afectan notablemente lo que no sucede con los tubos de aluminio-bronce especialmente en aguas sulfurosas; otro uso común de estos tubos es en evaporadores empleados para desalinización de agua de mar.

Cobre-Níquel 20%,- Llamada también aleación 520 (Cabra 710) es una aleación formada por 78% de cobre, 20% de níquel, 0.75% de hierro y 0.75% de manganeso, el principal uso de este material es en calentadores de agua de alimentación de calderos y en general su resistencia a la corrosión es similar a la del cobre-níquel 30%, que veremos a continuación.

Cobre-Níquel-30%.- Llamada también aleación 531 (Cabra 715), es una aleación formada por 67% de cobre, 31% de níquel, 0.5% de hierro y 0.75% de manganeso. Este material es el más versátil y resistente de todos. Los cobre-níquel; presenta excelentes propiedades en condensadores enfriados por agua dulce y salada a gran velocidad de circulación así como en calentadores de alta presión (calentadores que usan vapor de la primera extracción de las turbinas).

La resistencia de esta aleación a materias cáusticas y otros compuestos químicos han hecho que se los use con frecuencia en plantas químicas y refinerías. Con frecuencia estos tubos sustituyen ventaja a otros de base cobre-níquel y bronce del almirantazgo.

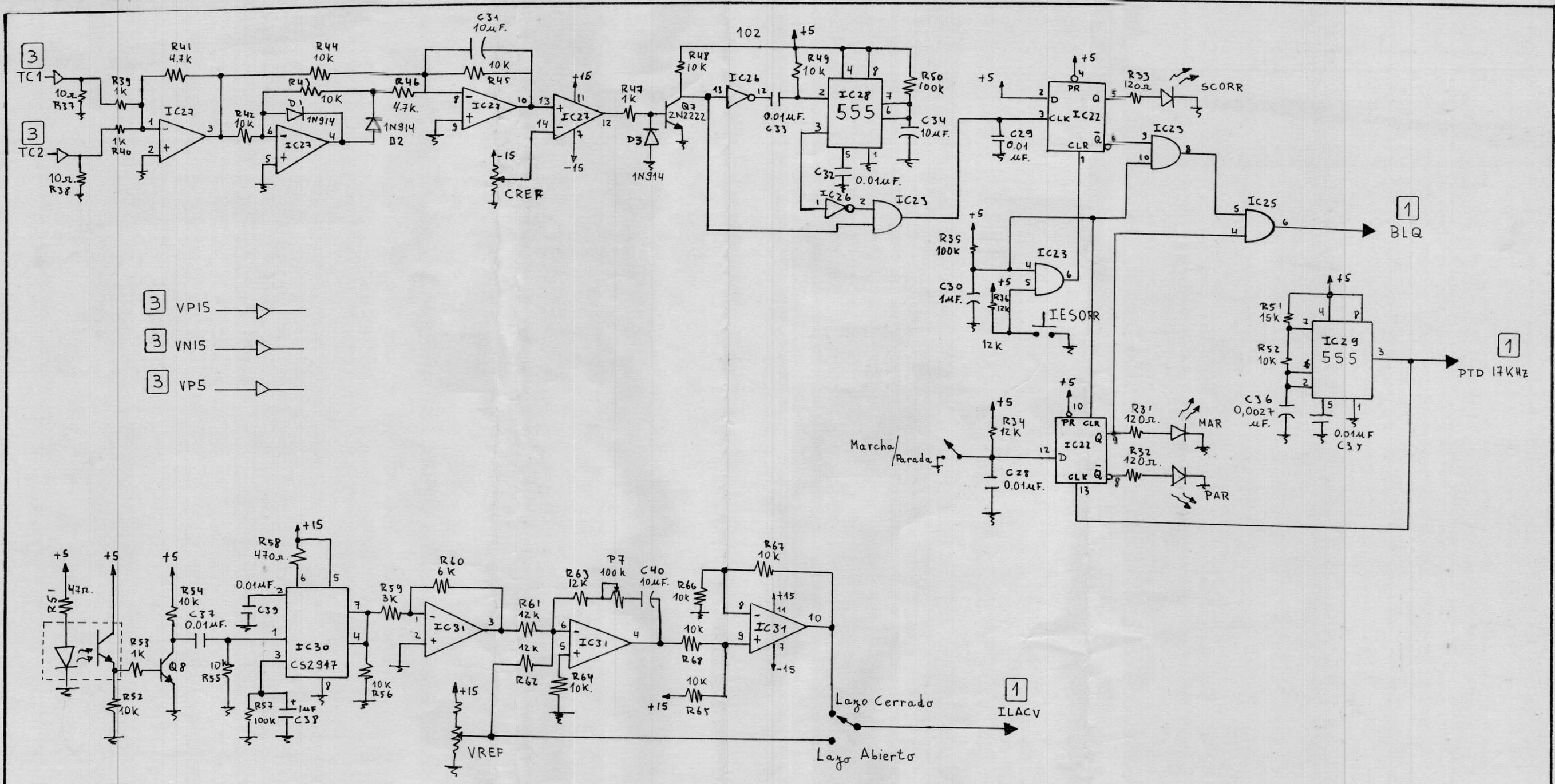
Aleaciones Níquel- Cobre. - Conocidas con el nombre de aleación 598 están formadas por 66,2/3% de níquel, 33,1/3% de cobre, estas aleaciones tienen excelente resistencia a la corosión así como a esfuerzos en general comparable casi con algunos aceros de baja calidad. Tubos de este material han sido usados por años en calentadores de agua de alimentación a alta presión: Por su resistencia a la corrosión producida por productos químicos, es empleado frecuentemente en medios en donde otros materiales no dan buen resultado como ser: Sales acidas, Acidos Minerales u Orgánicos. Es más resistente que el níquel en condiciones reductoras y que el cobre en medio oxidante; En general se puede decir que resiste la corrosión mejor que cada uno de sus componentes aislados.

Aleaciones de Aluminio. - Una breve descripción de las principales aleaciones de este metal sería:

ALUMINIO 3003-H14.- Compuesto por 1.2% manganeso y el resto aluminio. Es recomendable en uso para intercambiadores de calor enfriados por aire y tuberías de aceite. Esta aleación tiene gran resistencia a la corrosión producida por ácidos como el sulfhídrico y CO<sub>2</sub>, así como también el amoníaco e hidrocarburos. Por su resistencia contra la acción de microorganismos este material ha reemplazado con frecuencia a aleaciones con base sobre: soporta velocidades de agua de enfriamiento de hasta 8 PPS y vapor seco a velocidades subsónicas.

ALUMINIO 6061: T6.- Esta aleación está formada por 0.25% cobre, 0.65% silicio, 10% magnesio, 0.25% cromo y el resto de aluminio. Tubos de este material hay en dos variedades de temple correspondientes al I4 y I6. Su resistencia a la corrosión es similar a la del aluminio 3003 y al igual que esta puede ser usada en intercambiadores de calor y condensadores de superficie. Hay que tener cuidado eso si de que cualquiera de estos materiales que vaya a ser usado, sea compatible con el tipo de agua enfriante, tubos de estas aleaciones se usan en laboratorios e industrias para cañerías de agua de alta pureza. y a temperaturas moderadas.

Una vez que hemos visto los principales tipos de aleaciones y sus subgrupos se puede confeccionar un cuadro explicativo de las propiedades físicas y mecánicas de los tubos hechos de estos materiales.



## TUBOS DE ACERO INOXIDABLE. -

A propósito he dejado capítulo aparte lo referente a este material porque justamente su estudio y comentarios como elemento de construcción de tubos para condensador es el objeto de esta tesis.

Una de las primeras consideraciones que se debe hacer al diseñar tubos de este material es sobre cual tipo de los existentes es el más adecuado, sobre este punto podemos decir que el Instituto Americano del hierro y acero reconoce alrededor de 30 diferentes grados todos ellos en mayor o menor escala aptos para ser usados en la construcción de tubos de condensador y difieren entre sí por su composición química, propiedades físicas y resistencia a la corrosión. Mientras cada uno de estos tipos de acero inoxidable ofrece ciertas ventajas específicas, experiencias de laboratorio y de la industria han reducido la gama de aceros inoxidables a dos tipos llamados el 304 y el 316.

Estos dos elementos pertenecen a la familia austenítica de los aceros inoxidables. El tipo 304 es una aleación que contiene 18% de cromo y un 8% de níquel. El tipo 316 es similar en el contenido de cromo y níquel con la diferencia que tiene un 2 ó 3% de molibdeno.

En mucho la elección de tubos de cualquiera de estos dos materiales depende del medio enfriante a que estará expuesto. El tipo 304 tiene excelente comportamiento especialmente cuando es agua fresca el líquido enfriante; también demuestra alto grado de resistencia a la corrosión de aguas contaminadas como de las fábricas. El tipo 316 es usado frecuentemente en medios en donde

predomina la corrosión por picadura tal es el caso de agua de mar y aguas servidas.

Hay sinembargo algunas aplicaciones en donde el escoger uno de estos dos tipos es un tanto difícil. En base a experiencias, el acero inoxidable tipo 304 es normalmente aceptable en medios que contienen hasta 1,000 ppm de cloruros. Arriba de este nivel de cloro, es recomendable el tipo 316. Este nivel de cloro no debe ser considerado como un criterio final para la selección de un material porque además se deben considerar otros factores.

Es igualmente importante en la selección de tubos para condensador el acabado del tubo. Hay un sinnúmero de maneras de construir objetos tubulares en general pero el uso que va a tener cada uno limita el número y así tenemos que para nuestro caso practicamente se reducen a dos estos métodos de producción: sin costura y soldados ( con costura longitudinal).

La primera variedad es evidentemente de acabado más de perfecto excelentes por consiguiente para ser usados en condensador pero como el aspecto económico desempeña un papel vital en estos casos ha hecho que sea práctica corriente el usar el otro tipo de acabado que sin ser tan bueno como el anterior cuesta 3 ó 4 veces menos.

La especificación más frecuentemente usada para seleccionar material para tubos de condensador es la ASTM-A249.

Si bien esta especificación es un buen punto de partida, deja notar que hay vacios como vemos a continuación.

a).- La presente especificación menciona un mínimo espesor de pared

Esto se basa en consideraciones hechas sobre tubos de sin costura en los que los métodos de producción determinan que hayan paredes delgadas y gruesas. En tubos con costura - esto no es necesario porque el espesor es constante y una vez terminado el producto no presenta mayor variación en su circunferencia, en el primer caso mantener un espesor mínimo encarece notablemente el precio del tubo.

b).- La mencionada especificación requiere que los tubos sean estirados en frío en lugar de soldados para asegurar un óptimo en sus propiedades.

Cuando se producen los tubos de acero inoxidable, el proceso de soldadura hace que aparezca en la zona de la costura una estructura de metal fundido la misma que no tiene igual resistencia a la corrosión que un material forjado, templado o estirado en frío, esta zona es por consiguiente el punto de falla del tubo, esto puede ser corregido recristalizando la estructura en la zona de la costura.

c).- Esta especificación permite una variación del diámetro exterior de  $\pm 0.010$  pulgadas. La mayor parte de las placas soporte de tubos en los intercambiadores de calor se ajustan a las especificaciones ASTM B-III para tubos de bronce, la misma que permite una variación  $\pm 0.003$ ". Si los tubos

son producidos de acuerdo a ASTM A 249 y su rango de tolerancia es por consiguiente mayor que el de los espejos, resulta evidente que es muy difícil instalar tubos de acero inoxidable en los condensadores actualmente existente.

Al igual que para los materiales anteriores haremos para el acero inoxidable un cuadro demostrativo de sus propiedades físicas y mecánicas.

## ANALISIS PORCENTUAL

TIPO 304

TIPO 316

Cromo	18.0 - 20.0	16.0 - 18.0
Níquel	8.0 - 12.0	10.0 - 14.0
Carbon	0.08 max	0.10 max
Manganeso	2.0 max	2.0 max
Silicio	1.0 max	1.0 max
Molibdeno	-----	2.0 - 3.0

## PROPIEDADES FISICAS

Densidad -Lbs/pulg <sup>3</sup>	0.29	0.29
Calor específico-BTU/F/Lb	0.12	0.12
Conductividad térmica		
BTU/HR/Pie <sup>2</sup> /° F/Pie	0.4	9.4
Coefficiente de expansión		
térmica Pulg/Pulg/° F x 10 <sup>-6</sup>	9.2	9.2

## PROPIEDADES MECANICAS

Límite elástico aparente	30.000	30.000
-LB/Pulg <sup>2</sup>		
Resistencia max. Lb/Pulg <sup>2</sup>	80.000	75.000
Elongación % en 2 pulg.	50.0	40.0
Reducción de area	60.0	50.0
Módulo de elasticidad		
Lb/pulg <sup>2</sup> x 10 <sup>4</sup>	29.0	29.0
Dureza Rockwell	B 90 max	B95 max

A) ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS DIFERENTES MATERIALES  
USADOS EN LA FABRICACION DE TUBOS PARA CONDENSADOR.-

El costo de materiales uno de los factores más im-  
portantes en la selección de tubos para un intercambiador  
de calor si tomamos en cuenta que a más del gasto inicial  
en su construcción se debe considerar la reposición de los  
mismos por fallas después de un indeterminado tiempo de  
servicio.

Hace apenas unos 8 ó 10 años el acero inoxidable  
no podía competir con los materiales convencionales por su  
costo: esta situación ha cambiado en los últimos años lle-  
gando a convertirse el acero inoxidable en uno de los mate-  
riales más económicos para muchos campos de la industria.  
En lo que respecta al uso de este material para la cons-  
trucción de tubos de condensador, la ventaja económica está  
dada no sólo por el precio sino porque su resistencia a la  
corrosión, coeficiente de transferencia de calor y factor de  
limpieza son más convenientes para este uso específico.

Con propósitos de comparación únicamente menciono  
a continuación precios de tubos de una de las aleaciones más  
comunmente usadas, por consiguiente más baratas y, de uno de  
los igualmente más comunes tipos de acero inoxidable.

Caso a) Fabricante: Yorkshire Imperial Metals Ltd.

Material: aleación aluminio-bronce, tipo B

Características: Diámetro exterior 7/8"; espesor de pared

0.049" ( # 18 Bwg); peso 0.48 Lib/ pie; sin costura y re  
cocidos.

Costo: \$ 0.4 por pié

Caso b) Fabricante: Allegheny Ludlum Steel Corporation

Material: Acero inoxidable Tipo 316 ( Cromo-Níquel-Molib-de  
no).

Características: Diámetro exterior 7/8"; espesor de pared  
0.028" (estirados en frío y con costura(soldados))

Costo: \$ 0.475 por pié.

En las modernas unidades turbogeneradoras a vapor,  
la pureza del agua tiene especial importancia y justamente el  
acero inoxidable es un material que ofrece estas garantías por  
la excelencia de sus propiedades comparadas con las de los -  
demás como se puede apreciar en la sección respectiva.

B) CONCLUSIONES

Haciendo una comparación entre tubos de los diferentes materiales estudiados vemos que las propiedades de los de acero inoxidable brindan mejores garantías en las condiciones y e - quipos van a ser usados.

Así por ejemplo:

Resistencia a la tensión: de entre todas las aleaciones de cobre, bronce, níquel, aluminio, etc., la de más resistencia a la - tensión es el metal Mutz ( 74.000 Lib/ Pulg<sup>2</sup>), mientras que el acero inoxidable 304 tiene 80,000 Lib/ Pulg<sup>2</sup>).

Coefficiente de expansión térmica: El acero inoxidable tiene un coeficiente de 9.2 mientras que el menor coeficiente de las restantes aleaciones es 9.8 pertenecientes al cobre deoxidizado. Con esto se consigue un mínimo de dilatación y contracción con los cambios de temperatura.

Velocidades de circulación de 10 a 12 pies por segundo son normales en tubos de acero inoxidable mientras que 8 pies por segundo es una velocidad alta para los tubos de aluminio 3003- H14 que son los más resistentes a este fenómeno. Sobre este punto debemos recordar que en condensadores enfriados por agua de estero, hay que mantener altas velocidades de circulación para evitar que se adhiera la suciedad y especialmente el entrampamiento de burbujas de aire que como vimos es la causa para la corrosión por picadura.

En cuanto al factor de limpieza, cuyos detalles veremos en la sección correspondiente a limpieza y mantenimiento, se conserva un 10% más alto en los tubos de acero inoxidable que en cualquier otro material lo cual compensa ampliamente la ligera deficiencia en conductividad térmica de este material comparada por ejemplo con la aleación 113 cobre-níquel que es la más alta .

En la sección correspondiente al estudio comparativo entre los diferentes materiales usados en la fabricación de tubos de condensador, veremos el aspecto económico que servirá para corroborar nuestra decisión de usar tubos de acero inoxidable en condensadores industriales enfriados por agua salada.

CAPITULO III

### III PROGRAMA DE PROTECCION CONTRA LA CORROSION

La mayoría de los metales estructurales son termo dinámicos inestables en condiciones de servicio, sin embargo el régimen del proceso de corrosión es tan significante que pueden desde cierto punto de vista ser considerados estables y pueden permanecer por mucho tiempo en uso sin causar perjuicio.

El propósito de las medidas de protección es cam biar las condiciones del sistema en un sentido tal que dismi nuya la inestabilidad termodinámica o inhibir la cinética del proceso de corrosión.

Tres distintas formas de inhibición pueden determi nar el estabilizamiento de la razón de corrosión:

- a). Inhibición del sobrevoltaje en el ánodo.
- b). Inhibición de la difusión del mismo, y
- c). Inhibición por resistencia ohmica.

Actualmente el régimen establecido de corrosión - electroquímica depende del grado de inestabilidad termodinám ica del metal en las condiciones dadas y de factores cinéticos. Lo dicho se puede apreciar en la ecuación matemática represen tativa del proceso de la corrosión:

$$S = K \frac{E_c - E_a}{P_c + P_a + R}$$

en donde S es la razón de corrosión; K es factor de conver - sión y  $E_c - E_a$  es la diferencia de potencial entre el ánodo y el

catódo.  $E_c - E_a$  puede ser considerado como la medida de la inestabilidad termodinámica. El denominador de la ecuación representa la total inhibición de los factores cinéticos del proceso; se lo representa por tres cantidades cuyas dimensiones son ohms.  $P_c$  significa la polarización catódica y  $P_a$  polarización anódica, en tanto que  $R$  es la resistencia total del sistema.

Es evidente que para un determinado metal en ciertas condiciones catódicas,  $E_c - E_a$  es una constante y por consiguiente la razón de corrosión está dada por los factores cinéticos.

De acuerdo a la ecuación básica de corrosión electroquímica, los métodos de protección de metales contra la corrosión pueden ser clasificados de la siguiente manera;

- a). Métodos que se basan en la reducción del grado de inestabilidad termodinámica.
- b). Métodos que se basan en la inhibición de la cinética de los procesos catódico y anódico, y
- c) En menor grado, aquellos que se basan en el incremento de la resistencia ohmica del sistema.

De la variedad de métodos de protección que existen, los más importantes son aquellos que retardan los procesos anódicos, ó sea, promueven la estabilización del estado pasivo.

Estos métodos incluyen aleaciones resistentes a la corrosión, inhibidores anódicos y pasivadores en la forma de aditivos al medio corrosivo y recubrimientos polimerizados.

### -PROTECCION CATODICA.-

La principal ventaja que ofrece es su simplicidad y eficiencia. El mecanismo de operación no es más complicado que el de la pila galvánica mencionada anteriormente, con un ánodo auxiliar que actúa como sustituto de la superficie metálica que queremos proteger.

Los ánodos auxiliares pueden ser electrolíticos (energizados por una fuente exterior) ó galvánicos (hechos de un metal de mayor potencial en la escala de FEM). En cualquier caso la energía eléctrica suplida por los ánodos auxiliares forma una cerca que evita el flujo de corriente desde la superficie protegida. Detenido el flujo de corriente, los iones metálicos del ánodo permanecen en su lugar sin ser arrastrados hacia el cátodo; sin embargo el proceso corrosivo es transferido a los ánodos auxiliares los cuales eventualmente se consumen en beneficio de la estructura que se quiere proteger, con la ventaja de que los ánodos auxiliares pueden ser repuestos por ser simples barras o placas de un metal de las características anotadas.

Para mantener o alimentar el circuito eléctrico, es necesario tener una densidad de corriente que dependa de varios factores que varían considerablemente como son: concentración del oxígeno disuelto, condición química del electrolito, conductancia del mismo, temperatura y pH.

Una densidad de corriente de 2 a 4 miliamperios por pie cuadrado es suficiente en condiciones normales

para agua ligeramente dura. El agua suavizada debido a la ausencia de sales disueltas tiende a ser eléctricamente más resistente y por consiguiente se requiere de mayores voltajes y más ánodos. Si el agua es demasiado dura en cambio, el voltaje podría resultar muy alto y consumiría los ánodos muy rápidamente.

Conociendo el mecanismo de la corrosión y la manera como esta actúa y los daños que ocasiona en los tubos de condensador, es muy importante establecer un sistema de protección que se lo podría aplicar de la manera siguiente.

En primer lugar se debe hacer una inspección minuciosa de la unidad con el propósito de determinar el tipo de corrosión y la causa que lo produce, seguido esto de un inmediato cambio en las condiciones de operación de la unidad para corregir el defecto, Con este objeto es recomendable efectuar el siguiente procedimiento:

- 1.- Revisar el sistema de agua de circulación detenidamente - para detectar entradas de aire. Ya hemos visto que la corrosión por picadura, por ejemplo, es producida principalmente por las burbujas de aire atrapadas en el agua de enfriamiento.
- 2.- Determinar, en caso de haber, la causa que produce alguna turbulencia del agua de circulación con el resultado de baja presión en ciertas áreas. La excesiva turbulencia del agua puede ser producida por obstrucciones en las líneas de corriente del flujo particularmente en el interior de los tubos y en la caja de agua.

3.- Proveer de una adecuada filtración al agua de enfriamiento antes de que esta entre al condensador. El objeto de esto es impedir que materias extrañas sean arrastradas con la corriente, dando origen a la formación de obstáculos que como se vió son la causa de la turbulencia; además pueden llegar a taponar la entrada de agua en los tubos impidiendo de esta manera una buena transferencia de calor. Especial cuidado se debe tener en tratar de limitar el arrastre de arena por la fuerte acción abrasiva de ésta. Luego de que se han dado estos pasos para mejorar las condiciones de trabajo de los tubos, se puede proporcionar protección extra como:

Recubrimiento Orgánico.- Con este nombre se entienden ciertas capas delgadas y películas como pinturas, esmaltes, resinas, lacas, barnices, goma-laca, etc. El objetivo general de estos recubrimientos es: 1.- proteger el material contra la corrosión, exposición a altas temperaturas y desgaste; 2.- mejoramiento de la visibilidad mediante la luminiscencia y reflectividad; 3.- proveer de aislamiento eléctrico y 4.- mejoramiento de la apariencia.

Con seguridad que la mayor cantidad de recubrimientos orgánicos son usados para protección del material y mejoramiento de su apariencia exterior, pasando a ocupar una segunda importancia a las otras dos propiedades. Las pinturas y esmaltes son por lo general pigmentadas; las lacas a veces vienen coloreadas y a veces no; los barnices y goma-lacas casi siempre son incoloros.

A continuación veremos brevemente las funciones de cada uno de los ingredientes que componen estas sustancias y las características que los diferencian.

La principal diferencia entre las pinturas reside en el ligador usado en el vehículo. Su naturaleza determina la velocidad de secado así como la resistencia y durabilidad de la capa. Los ligamentos más comunes son aceites vegetales como linaza y aceite de aleurita que son ácidos grasos no saturados.

Pigmentos.- Desempeñan importantes funciones como las de dar apariencia y color además de ser responsables del incremento de la resistencia de la capa. Algunos pigmentos como cromato de zinc y óxido de plomo son muy usados porque a más de dar color, aumentan la pasividad de ciertas superficies metálicas. La viscosidad o fluidéz de la pintura es afectada directamente por la cantidad y características físicas del pigmento.

Los pigmentos son de dos clases: blancos y coloreados; orgánicos e inorgánicos. Los inorgánicos incluyen sustancias como óxido de zinc, óxido de plomo, negro de carbón, verde al cromo y amarillo al cromo. Las sustancias orgánicas de importancia son complejos químicos sintéticos.

Secadores.- Son sustancias que se añaden a algunos recubrimientos orgánicos para acelerar el endurecimiento de la película por oxidación y/o polimerización. Por lo regular son

sustancias jabonosas hechas por reemplazo de hidrógeno de ciertos ácidos orgánicos con metales como Plomo, Manganeso, Cobalto, Zinc y Cadmio.

Protección Temporal.- Cuando el condensador ha sido puesto fuera de servicio por un período relativamente largo o sus partes han sido almacenadas para ser transportadas o cuando simplemente constituyen piezas de repuesto, los tubos y demás partes metálicas de un condensador pueden recibir protección temporal.

Las características generales de la protección que se dé en estas circunstancias son: fácil de aplicar y fácil de remover. Mientras actúa sobre el metal, lo debe proteger contra la humedad, emanaciones gaseosas y desgaste. Estos recubrimientos también preservan la apariencia original del metal y evitan melladuras y raspaduras.

Entre estos preventivos tenemos diferentes tipos cada uno de ellos son sus ventajas y limitaciones: ellos son:

- 1.- Tipo grasosos; 2.- Tipo aceitoso; 3.- Tipo solventes; y,
- 4.- Tipo cinta o tiras plásticas.

Pertenecen al primer tipo de recubrimientos compuestos densos no licuables a temperaturas ambientales como son ungüentos petrolados hasta compuestos cerosos duros. Los primeros se usan para temperaturas ambientales moderadas y los segundos para altas temperaturas del medio.

En el tercer grupo podemos hacer subdivisiones de acuerdo al solvente y al material disuelto en el.

- a). Película seca.- Dentro de este tipo tenemos resinas asfálticas y ceras. Los recubrimientos proporcionados por estos compuestos son delgados, regularmente duros de apariencia de barniz y surten un efecto parecido al de las grasas pesadas del primer grupo; resisten la abrasión y el manipuleo.
- b). Sustancias desplazadoras del agua.- Estos compuestos por lo general contienen sustancias semejantes al jabón y tienen la propiedad de repeler pequeñas gotas de agua de la superficie metálica, gracias a la atracción preservativa que tienen estos materiales, mayor que la del agua. Hay una buena razón para que se haya generalizado su uso: ahorran tiempo y mano de obra porque permiten una fácil preservación de las partes metálicas sujetas a humedad.
- c). Removedores de huellas dactilares.-Estos compuestos contienen agua, un disolvente orgánico y aditivos preservadores. Después de que los residuos dactilares como son: ácidos orgánicos, sales, materias, etc. Han sido disueltas, los aditivos forman una capa protectora que para período de almacenamiento muy largo, deben ser reemplazadas por otras.
- d). Combinación de solventes preservativos.-En estos compuestos, el solvente está combinado con aceite, grasas o preservativos tipo cera. Si el contenido de solvente es bajo y el compuesto se lo aplica por atomización o con brocha, la película resultante es relativamente delicada comparable con la de las sustancias grasosas

e) Compuestos solubles en el agua. - Estas sustancias son de bajo costo y de las cuales una vez que han sido aplicadas se evapora el agua dejando adherida una capa aceitosa.

En el último grupo o sea cintas y tiras plásticas, tenemos combinaciones especiales de aceites, inhibidores, resinas sintéticas y plásticas. Los recubrimientos que proporcionan son delgados del orden de 0.100 pulgadas y todos persiguen un mismo fin: detener la corrosión y proveer protección mecánica. Evidentemente son fáciles de aplicar y de remover.

El paso esencial que se debe dar antes de aplicar cualquiera de estos recubrimientos es limpiar la superficie metálica para lo cual las maneras más comunes son:

- I.- Limpieza mecánica .- mediante ráfagas de arena "Sand Blast" pulimento por fricción, manual con cepillos, etc.
- II.- Limpieza Química .- Uso de solvente alcalis, emulsiones y electro-limpieza

A) TRATAMIENTO DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO.

Como se ha podido observar a lo largo de todo este estudio, es el agua de enfriamiento la causante de la corrosión en los procesos de intercambio de calor, sean estos en condensadores, motores, compresores, etc., y a su vez en el agua de enfriamiento influyen un sinnúmero de factores que también los vimos de entre los cuales destacan por su importancia la composición del agua, oxígeno disuelto, pH,  $CO_2$ , disuelto y sólidos en solución. La temperatura, velocidad y contacto entre metales disímiles siguen en importancia. El tratamiento del agua se concreta pues a inhibir los efectos de estas causas.

En sistemas recirculantes es conveniente el tratamiento químico pues en el ciclo se pierden poca agua y su compensación resulta económica. En sistemas recirculantes abiertos el inconveniente es que los inhibidores son generalmente compuestos químicos tóxicos con el consiguiente peligro para la salud humana.

Los inhibidores de la corrosión más comúnmente usados en sistemas de agua de enfriamiento industriales son: cromatos, polifosfatos, silicatos, nitritos y combinaciones dianódicas de fosfato y cromatos, (combinaciones de dos inhibidores anódicos tales que producen mejor resultado que un solo de ellos)

En sistemas no recirculante resulta completamente antieconómico el uso de tratamiento químico. Solamente cuando hay limo en tal cantidad que tiende a pegarse a las paredes de los tubos es recomendable la cloronización del

del agua. Esta operación no es perjudicial a la capa pasiva de la superficie cuando se la usa mesuradamente y en forma intermitente. Una sobrecloración es de graves consecuencias pues acelerar el proceso de corrosión.

s

III-II

B) MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA. -

El problema de la limpieza de tubos de condensador varía considerablemente de una planta a otra; debido a factores que influyen como son:

Diferencias del agua circulante, organismos arrastrados, minerales y desechos presentes. Practicamente no se puede hablar de condensadores que no necesiten limpieza aunque sea con poca frecuencia porque siempre se adhieren a las paredes de los tubos capas muy delgadas de las materias arrastradas, imperceptibles a veces, que disminuyen el coeficiente de transferencia de calor del material y por consiguiente la eficiencia del condensador.

El factor de limpieza de un condensador que es el porcentaje de comparación con uno nuevo y con tubos completamente limpios, varía entre 80 y 85% en condiciones aceptables, bajando con facilidad a 75,70 y hasta 60% con las consecuencias ya anotadas.

La presión y la temperatura son afectadas como se puede apreciar en el diagrama

Como ejemplo asumamos una turbina diseñada para o -  
perar a una presión absoluta en el condensador de -  
1.35 pulgadas de mercurio con un 85% de factor de lim -  
pieza. Si este factor decrece aun 70%, la presión ab -  
soluta ée incrementa a 1.58 " de Hg. Inmediatamente  
después de una limpieza manual, el factor de limpieza  
sube a 1.24" de Hg.

La limpieza de los tubos de un condensador  
puede ser realizada manualmente o por medios automáti -  
cos y medios químicos.

Sin entrar en detalle, el primer método se  
lo lleva a cabo con escobillas de caucho y nylon dispa -  
radas por aire comprimido y agua a presión. En el se -  
gundo método hay sistemas como los patentados por AMER -  
TAP y M.A.N.

Entre las ventajas que ofrece este método  
comparado con el anterior tenemos:

- 1.- El condensador puede ser lavado en cualquier momen -  
to y con la unidad en servicio.
- 2.- Lega a lugares inaccesibles como en el caso de tubos  
que han perdido su sección circular, lo cual no suce -  
de con el método anterior.
- 3.- El método manual demanda mucho tiempo y costo por  
mano de obra.

XERO COPY XERO COPY XERO COPY

En cuanto a la limpieza química podemos decir que se recurre a ella solamente cuando los otros métodos no han dado resultado. Un procedimiento adecuado sería en primer lugar obtener una muestra de las incrustaciones principalmente de los tubos del condensador con el propósito de analizarla para determinar su composición química y solubilidad en diversos disolventes. Este paso ayudaría enormemente a decidir sobre el tratamiento a seguir y la duración del mismo.

Puesto que la mayor parte de los depósitos formados normalmente contienen carbonato de calcio proveniente de la dureza del agua y herrumbre, el disolvente más común es una solución de ácido clorhídrico del 0.5 al 25%.

Una vez que se ha decidido sobre el solvente a usar, se llena la caja de agua del condensador con la solución y mediante un sistema de bombeo lento se la hace circular por el interior de los tubos durante 2 ó 4 horas dependiendo esto del espesor de la capa depositada.

Los depósitos de carbonato de calcio de las partes centrales de los tubos son difíciles de remover debido al  $\text{CO}_2$  que se forma al reaccionar la solución con el carbonato, gas que se adhiere a los depósitos evitando su contacto con la sustancia limpiadora. Cuando esto ocurre es necesario seguir bombeando la solución después de que los extremos de los tubos ya están limpios. Después de terminada la operación hay que tener cuidado de neutrali-

zar la solución ácida y pasar vapor por los tubos para  
luego drenar.

\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*  
\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*.\*