



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

7617
Control de Medición a base de Termo-
Pares en Equipo de Proceso Químico

Favio Carlos de la Cruz Díaz
ING. QUIMICO

Zenén de la Cruz Díaz
ING. QUIMICO

TESIS PROFESIONAL

1 9 7 3

M. 165551



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Tests

SCHA

Mr. 75


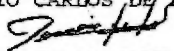
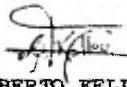
PROG

1973



UNIVERSITY OF WISCONSIN SYSTEM

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA

| | |
|-----------------------|---|
| PRESIDENTE: | PROFR. ROBERTO ENRIQUEZ MENDOZA |
| VOCAL: | PROFR. OCTAVIO FIGUEROA ARECHAVALETA |
| SECRETARIO: | PROFR. ALBERTO KELLER TORRES |
| 1er. SUPLENTE: | PROFR. CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO |
| 2do. SUPLENTE: | PROFRA. LUCIA ARCINIEGA CARRILLO |
| | |
| TEMA DESARROLLADO EN: | PLANTA DESALADORA ROSARITO -Tijuana, B.C. PLANTA PRODUCTORA DE AMINAS -Puebla, Pue. |
| | |
| SUSTENTANTES: |  FAVIO CARLOS DE LA CRUZ DIAZ  ZENEN DE LA CRUZ DIAZ |
| | |
| ASESOR DEL TEMA: |  I.Q. ALBERTO KELLER TORRES |

A NUESTROS PADRES:

SR. ZENEN DE LA CRUZ VELTRALIZ.

Y

SRA. JUVENTINA DIAZ DE LA CRUZ.

CONTROL DE MEDICION A BASE DE TERMOPARES EN
EQUIPO DE PROCESO QUIMICO

=====

" S U M A R I O "
= = = = =

I.- Introducción

II.- Fundamento Eléctrico

III.- Fundamentos para Aplicaciones en Mediciones.

1.- Generalidades

2.- Selección

3.- Localización de defectos en un Circuito
Termoeléctrico

4.- Teoría de Control

IV.- Aplicaciones Directas en dos Procesos:

Proceso "A" : Planta Desaladora

Proceso "B" : Planta Productora de Aminas

V.- Conclusiones Generales.

I.- I N T R O D U C C I O N
= = = = = = = = = = = =

INTRODUCCION.-

Antiguamente se tenía la creencia de que el calor era una substancia y así lo esbozaban los sabios de la Grecia antigua en los cuatro elementos aristotélicos: agua, aire, tierra y fuego; de los cuales consideraban constituidos todos los cuerpos; la dilatación de los cuerpos la explicaban por la adición de esta substancia a la que llamaban "calórico". La interpretación de calor bajo la hipótesis de la teoría del calórico, fué introducida por el alemán Wolf en 1721, y dió lugar a que en dicha época se le considerara ponderable, por el hecho de que los metales al ser calentados para convertirlos en cenizas, éstas resultaban aumentadas de peso, ligando el hecho físico con la teoría del flogisto introducida en la Química en aquellos tiempos. La teoría del calórico se mantuvo durante algunos años, porque suministraba la explicación en forma sencilla de los fenómenos térmicos más comunes; pero no pudo explicar el fenómeno de la obtención del calor por medio del frotamiento, es decir, por el trabajo.

Hacia fines del siglo XVIII, el conde de Rumford (BENJAMIN THOMPSON), basado en hechos experimentales, indicó que no encontraba una explicación en la teoría del calórico pues notó en el arsenal militar de Munich que en el barrenado de los tubos de los cañones se calentaban éstos y las virutas intensamente. Cuando el barrenado se efectuaba dentro del agua, ésta no se enfriaba

sino, al contrario, llegaba pronto a la ebullición, por lo que -- quedó descartado el suministro de calor por el medio que lo rodea. De sus observaciones, Rumford consideró que el calor tenía su origen en el movimiento.

En favor de esta apreciación concurre el experimento del Químico H. Davy, quien por medio de un mecanismo de relojería hizo frotar dos trozos de hielo en el vacío a una temperatura de -2°C ; ambos se fundieron suministrando agua a la temperatura de más de 2°C hecho inexplicable con la teoría del calórico.

De los experimentos anteriores se concluyó que el calor es solamente movimiento. De la controversia entre estas dos teorías surgió lo que en la actualidad se acepta, es decir, se supone que el calor tiene su origen en la energía cinética de las moléculas. El aumento de esta energía se manifiesta con la elevación de la temperatura del cuerpo.

Se entiende por temperatura a aquella variable que representa una propiedad de la materia que nos permite determinar la habilidad del proceso para transmitir energía, o sea que la temperatura es una medida del calor; y una escala de temperatura es un conjunto de números arbitrarios y un método para ligar cada número a un nivel definido de temperatura.

Los niveles reproducibles de temperatura pueden distinguirse rápidamente, tales como los puntos o niveles de fusión y

ebullición de substancias puras, bajo presiones definidas o específicas.

Dentro de las diferentes escalas, las más usadas son:

- ° C .- Centígrada
- ° F .- Fahrenheit
- ° K .- Kelvin
- ° R .- Rankin

En todas las Industrias de Transformación es indispensable mantener, dentro de ciertos límites prefijados, alguna cantidad o condición de los materiales de nuestro proceso, o del medio que lo rodea y que está sujeta a cambiar, a la cual le llamamos variable. Por lo tanto, es necesario seleccionar, medir y controlar la variable que más influya sobre los resultados finales, siendo ésta la variable controlada del proceso.

En una gran cantidad de procesos industriales, una de las variables que influye determinantemente en los resultados finales es la temperatura, razón por la cual la finalidad de este trabajo es la de familiarizar al futuro Ingeniero Químico con el concepto, con los métodos e instrumentos para la medición y control de la temperatura, así como con su aplicación en los procesos industriales.

Dentro de la gama de instrumentos existentes en la industria para medir la temperatura se seleccionó "La Medición a -

Base de Termopares en Equipo de Proceso Químico"

II.-

"FUNDAMENTO ELECTRICO"

=====

Los termopares son los elementos primarios más ampliamente usados para medir la temperatura, comprendidos entre límites moderados en la Industria. Un par termoeléctrico consiste en dos alambres metálicos de distinto material unidos por un extremo, al que se llama: junta caliente. Cuando cambia la temperatura de la junta caliente, mientras los extremos libres, o terminales, se mantienen a una temperatura conocida, se genera un potencial eléctrico en el sistema que se manifiesta en los terminales. Este potencial se mide con un milivoltímetro o con un potenciómetro, graduados en temperatura.

Los pares termoeléctricos se usan para medir temperatura, poniendo los extremos unidos, o sea la junta caliente con el punto de medición, mientras que los extremos libres, conocidos con el nombre de junta fría o de referencia, se conectan por medio de conductores con el elemento medidor que encierra el circuito. Es importante conocer la temperatura de la junta de referencia, ya que la f.e.m. desarrollada depende de la diferencia de temperaturas entre ambas juntas.

En muchas aplicaciones industriales, el par termoeléctrico lleva una protección a la cual se le llama termopozo.

El termopozo.- Es un tubo metálico en la región cuya temperatura se desea medir. Su función es proteger el termopar de sustancias oxidantes, reductoras o erosionantes; también --

sirve para mantener encerrado el proceso de manera que no entre en contacto con la atmósfera pues, en algunos casos, se mide en lugares a muy alta presión, vacío, temperatura, productos inflamables o costosos. Cuando no sea necesario, el termopar puede ir sin el termopozo.

Este termopozo tiene una tapa roscada en la parte exterior y que va sobre un ensanchamiento del mismo llamado cabeza. Aquí van las conexiones del termopar con las líneas de extensión.

Los termopares están hechos por la unión de dos alambres diferentes en tal forma que generan un pequeño voltaje d-c (corriente directa), o emf (fuerza electromotriz), cuando son calentados. La cantidad de emf o milivoltaje desarrollado es proporcional a la diferencia de temperatura entre las dos uniones en el circuito completado; una de éstas se llama: "La Medida", o "Unión Caliente"; y la otra se designa con el nombre de "Referencia" o "Unión Fría".

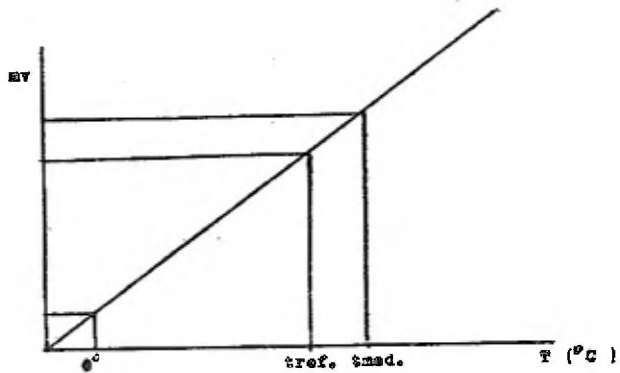
Los métodos usados para la construcción de las juntas de medición son: soldadura de tope y soldadura torzal. La soldadura torzal es la más favorecida por su mayor fuerza mecánica y mayor vida de uso.

"LEYES DE LOS TERMOPARES"

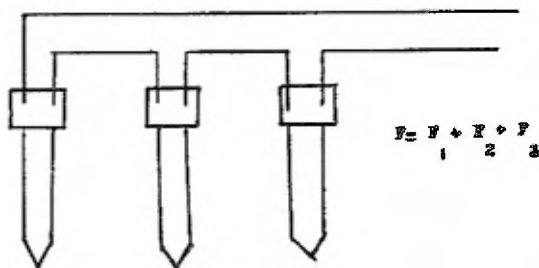
1a. Ley: "La suma de las fuerzas electromotrices generadas por dos termopares, el primero con su junta fría a 0°C y su junta caliente a una temperatura de referencia y por el segundo, con su junta fría a la misma temperatura de referencia y su junta caliente a una temperatura de medición, es igual a la fuerza electromotriz generada por un solo termopar cuya fría esté a 0°C y su junta caliente a la temperatura de medición". (Fig. A)

2a. Ley: "La introducción de un tercer metal no tendrá efecto siempre y cuando la unión de este tercer metal con los otros dos esté a la misma temperatura".

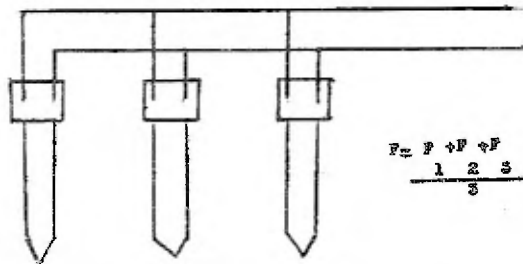
Combinaciones de termopares.- Termopares en serie producen mayor corriente (fem) (Fig. B); termopares en paralelo producen temperaturas promedio (Fig. C).



(fig. A)

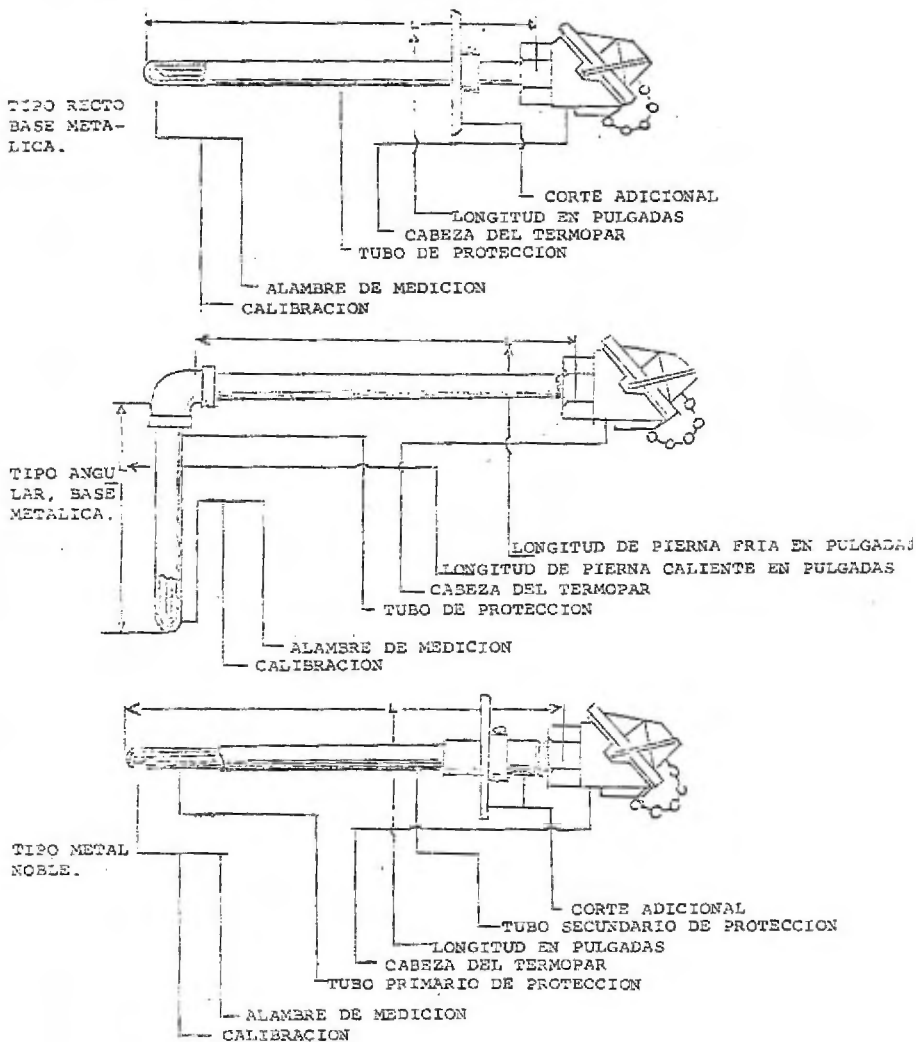


(fig. B)



(fig. C)

DIFERENTES SISTEMAS GENERALES DE ENSAMBLE EN TERMOPARES.



III.- FUNDAMENTOS PARA APLICACIONES
=====

EN MEDICIONES
=====

Algunas de las propiedades requeridas para un termopar de tipo industrial son:

- 1) La habilidad para desarrollar una apreciable emf.
- 2) Precisión en la calibración en caso de permutabilidad.
- 3) Relaciones consistentes de emf a temperatura para reproducibilidades exactas.]

La elección de los elementos sensibles primarios para un alto grado es determinada por el rango de temperatura de trabajo, - así como por otras condiciones entre las cuales se halla la presión atmosférica o el medio al cual están sujetos. La elección también depende de los requerimientos de control, tales como la velocidad - de respuesta y la exactitud y condiciones similares; aunque a la -- par, a veces, estas consideraciones conducen a los elementos de vida más chicos y a costos de mantenimiento más elevados.

Los termopares para instrumentos en servicio serán del -- mismo material o material de calibración equivalente, para el cual el instrumento es calibrado. Usualmente, la escala del instrumento está marcada, por ejemplo, de la siguiente manera: Tipo J (o I/C), Tipo R (o Pt/Pt, 13 % Rh), Tipo K (o C/A), Tipo E (o CR/C), Tipo T (o CU/C).

Se deben tomar medidas adecuadas para proteger los elementos sensibles contra la corrosión, contaminación, abrasión y daño - físico. En general, esta protección podría consistir considerando

longitud y servicio, máximo grado de respuesta y sensibilidad.

"ALAMBRE EXTENSION"

Los alambres extensión de termopares tienen características de temperatura emf. estrechamente parecidas a las del termopar con el cual los alambres están destinados a ser usados. Cuando se conectan adecuadamente al termopar, la unión (junta) de referencia del termopar es, en efecto, extendida a la otra punta de los alambres. Los alambres extensión del termopar pueden ser instalados en cualquier conducto y el conducto quedará bien establecido. Nunca - corren otros alambres eléctricos en el mismo conducto con el alambre extensión. El tipo de aislante adecuado para el alambre del - termopar es importante. Este debe ser seleccionado cuidadosamente, en tal forma que cumpla las condiciones de instalación.

"EMPLEO DE LOS ELEMENTOS SENSIBLES"

- 1) No ponerlos en contacto directo con fuego.
- 2) Colocar la junta caliente del termopar razonablemente pegada a la carga. No siempre es práctico introducir el elemento - sobre o en la carga que será controlada.
- 3) Usar una cantidad mínima de protección cuando los cambios de temperatura son rápidos. Una buena instalación de control puede garantizar frecuentes inspecciones y reemplazamientos.

4) Los tubos de protección pasan a través de aislante entre elementos eléctricos a temperaturas sobre 1400°F.

5) Mediciones posteriores pueden ser reducidas, eligiendo el tubo de protección adecuado, usando un termopar desnudo, soldando el termopar al tubo protector, o por la correcta localización -- del termopar.

6) Termopares protegidos con mucha cerámica, operando a - altas temperaturas, pueden ser colocados verticalmente todo lo po-- sible.

7) Un termopar puede detectar únicamente la temperatura - de la junta caliente del termopar (junta soldada de los dos metales diferentes).

8) Termopares de medidas pequeñas, no necesariamente re-- sultan más precisos en la medida.

S I M B O L O S P A R A T I P O S D E A L A M B R E D E T E R M O P A R
 = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = =

TIPICOS MATERIALES DE TERMOPAR

SIMBOLO DE TERMOPAR

| Combinación | Alambre Positivo | Alambre Negativo | Combinación | Positivo | Negativo |
|--|------------------|------------------|-------------|----------|----------|
| Hierro/Constantano | Hierro | Constantano | J | JP | JN |
| Hierro/Constantano | Hierro | Constantano | Y | YP | YN |
| Cromel/Alumel | Cromel | Alumel | | | |
| Tophel/Nial | Tophel | Nial | K | KP | KN |
| T ₁ / T ₂ | T ₁ | T ₂ | | | |
| Cobre/Constantano | Cobre | Constantano | T | TP | TN |
| Cromel/Constantano | Cromel | Constantano | E | EP | EN |
| Platino/ 10% Rodio-Platino | Pt. 10% Rh | Platino | S | SP | SN |
| Platino/ 13% Rodio-Platino | Pt. 13% Rh | Platino | R | RP | RN |
| Platino-6% Rodio/ Platino-30% Rodio | Pt. 30% Rh | Pt. 6% Rh | B | BP | BN |

D A T O S P A R A S E L E C C I O N A R E L T E R M O P A R
 = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = = =

| TIPO DE TERMOPAR O ALAMBRE. | MEDIDA DE ALAMBRE B&S | LIMITES DE TEMPERATURA RECOMENDADOS (para ter mopar protegido con tu bo cerrado en la termi nación). | CONDICIONES PARA LAS CUALES CADA UNO ES ADECUADO |
|--------------------------------|--------------------------|--|--|
| J | 8 | 0 a 1400 | Util en atmósfera reductora o neutral. Ya que la oxidación del alambre de hierro ocurre rápidamente a temperaturas - sobre 1000°F, se usarán las medidas de alambre más pesadas. |
| | 14 | 0 a 1100 | |
| | 20 | 0 a 900 | |
| | 24 | 0 a 700 | |
| K | 8 | 0 a 2300 | Util en atmósfera oxidante o neutral. Recomendado para rangos de temperatura de 1000°F a 2000°F. |
| | 14 | 0 a 2000 | |
| | 20 | 0 a 1800 | |
| T | 24 | 0 a 1600 | Util para atmósferas ligeramente oxidantes o reductoras. Es resistente a la - corrosión de la humedad. Util para apli caciones de bajas temperaturas. |
| | 14 | -300 a +700 | |
| | 20 | -300 a +500 | |
| E | 24 | -300 a +400 | Recomendado para atmósferas oxidantes. - Presenta alta resistencia a la corrosión a bajas temperaturas. |
| | 8 | -300 a +1600 | |
| | 14 | -300 a +1400 | |
| R Ó S | 20 | -300 a +1200 | Util sólo para aplicaciones de alta temperatura. Deberá ser provisto de protec ción para cualquier atmósfera. |
| | 24 | a 2700 | |
| B | 24 | a 3150 | |

"TERMOPARES PARA ALTA TEMPERATURA"

Varios materiales nuevos para termopares se han desarrollado para aplicaciones de alta temperatura. Algunos de éstos, son usados ampliamente en la investigación y aplicaciones o propósitos industriales. Caracteres, aplicaciones y utilidad de algunos materiales nuevos de termopares, se describirán a continuación.

" PLATINO - RODIO "

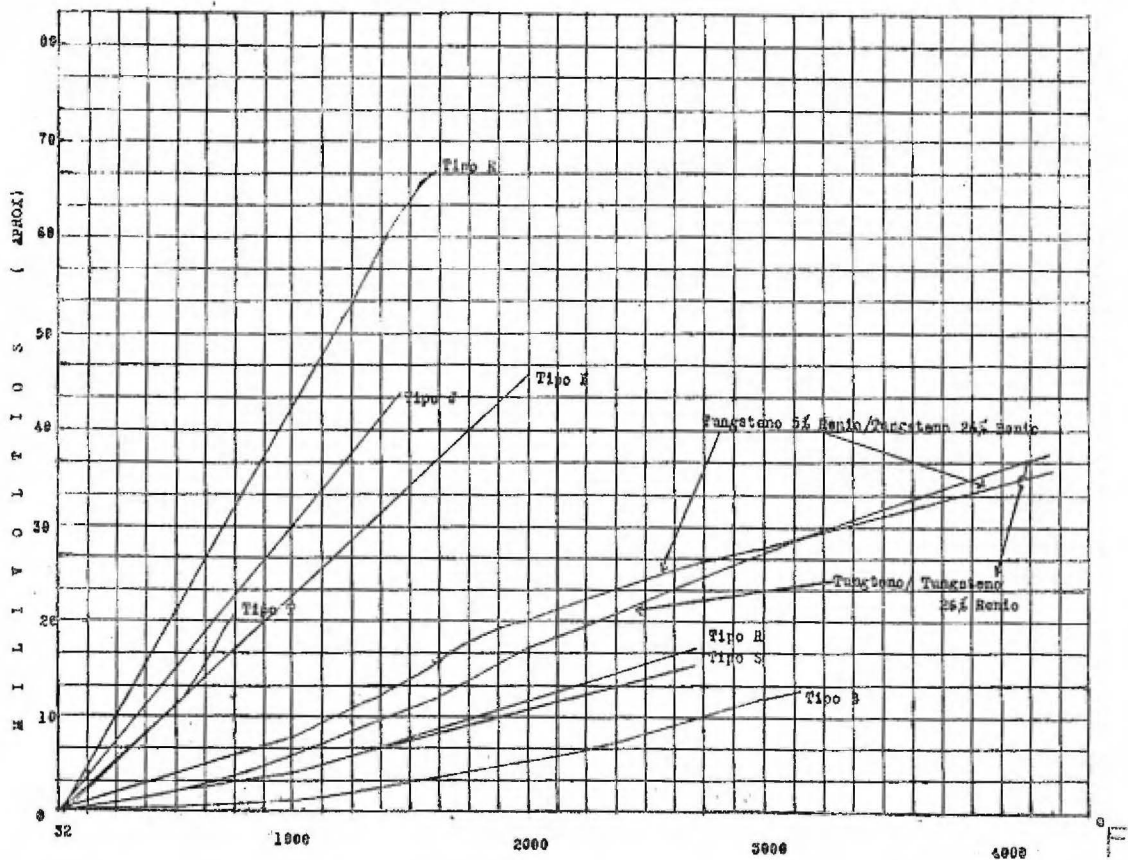
Platino 6% rodio vs. platino 30% rodio, es una nueva combinación de metales usados para termopares. Tiene mejores propiedades mecánicas que el tipo de termopar estándar: R ó S, platino-rodio.

Puede ser usado para altas temperaturas hasta 3100°F continuamente, si se usan aisladores de óxido de aluminio y tubos protectores.

"National Bureau of Standards" ha publicado una curva temperatura-milivoltaje para la combinación platino 6% rodio vs. platino 30% rodio. Este termopar se identifica en la nomenclatura usada aquí como tipo B.

El termopar tipo B requiere del uso de extensión de cobre en las salidas de alambre. No serán usados alambres estañados o plateados porque causarían errores en las juntas.

CURVAS TEMPERATURA MILIVOLTAJE



" TUNGSTENO - RENIO "

Hay tres combinaciones de estos metales, actualmente. El original, tungsteno vs. tungsteno 26% renio, tiene mayor desventaja de fragilidad adherente que el tungsteno puro. El calor de soldadura y el calor de uso inicial, causan serias quebraduras; está entonces sujeto a fracturas por la vibración, choque y cargas físicas: esta combinación no se recomienda. El desarrollo de las combinaciones de tungsteno 5% renio vs. tungsteno 26% renio, y tungsteno 3% renio vs. tungsteno 25% renio, ha eliminado la mayoría de los problemas de quebradura. Ambas combinaciones se han propagado para usos de alta temperatura sobre 4200°F. Para usos prácticos, algunas veces, los aisladores de uso comercial y tubos protectores limitan la temperatura máxima. En general, se usa continuamente a 3300°F, cuando se utilizan aisladores de óxido de aluminio y tubos protectores. Un límite de 4200°F puede ser mantenido si se aplican aisladores de óxido de berilio y tubos protectores. El último es muy costoso, difícil de obtener y arriesgado su manejo si se rompe o corta. Pequeñas partículas, o polvo de berilio, son dañinas a la salud. Los aisladores de alto contenido de berilio y tubos, pueden usarse manejándolos cuidadosamente.

Todos los termopares de tungsteno-renio, podrán ser usados en una atmósfera inerte o vacío. También pueden usarse en una atmósfera de hidrógeno si está contenido en un recipiente cerrado o provisto de un flujo continuo de hidrógeno a través del tubo pro-

ector. El contacto con oxígeno a altas temperaturas causará que el tungsteno se consuma rápidamente.

Se espera que la "National Bureau Standards", publicará eventualmente una curva estándar de calibración. Hasta hoy, existen dos manufactureras y varias curvas nuevas y de vieja calibración, las cuales hacen difícil obtener una exactitud, a menos que la manufacturera y la curva particular sean conocidas. La exactitud establecida para estos termopares es $\pm 8^\circ$ para temperaturas -- hasta 800°F y $\pm 1\%$ sobre 800°F . La combinación recomendada es --- tungsteno 5% renio vs. tungsteno 26% renio.

"LÍMITES DE ERROR PARA EL ALAMBRE DE TERMOPAR Y EL ALAMBRE EXTENSION"

La tabla mostrada a continuación da los límites de error estándar y especiales para termopares y alambre extensión. Los límites de error para cada tipo de termopar se aplican solamente sobre el rango de temperatura para el cual el tamaño de alambre en cuestión está recomendado. Además, estos límites de error son --- aplicables únicamente para tamaños de alambre estándar. Los mismos límites de error podrían no obtenerse en tamaños especiales.

Donde los límites de error están dados en %, en la tabla referida, el % se aplica a la temperatura que ha sido medida. Por ejemplo, el límite estándar de error del tipo J sobre el rango de 530°F a 1400°F , es $\pm 3/4\%$. Si la temperatura que se ha medido es 1000°F , el límite de error es $3/4\%$ de 1000°F ó 7.5°F .

Los alambres extensión de la tabla son del mismo material que el termopar. Los alambres extensión alternos usados con el tipo K (mezcla de acero o cobre-constantano), y también el --- alambre extensión de mezcla cobre cobre, usado con los tipos de - termopar R ó S, están comprendidos en esta tabla.

LIMITES DE ERROR DE ALAMBRE DE TERMOPAR Y DE EXTENSION PARA TAMAÑOS DE ALAMBRE ESTANDARD

=====

| TIPOS | T E R M O P A R E S | | A L A M B R E | | E X T E N S I O N | |
|-------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------|
| | RANGO DE TEMPERATURA EN °F | LIMITES DE ERROR Estándard Especial | RANGO DE TEMPERATURA EN °F | LIMITES DE ERROR Estándard Especial | | |
| E | 32 a 600 | ±3F ±½% | 0 a 400 | | ±3F | |
| | 600 a 1600 | | | | | |
| J | 32 a 530 | ±4F | 0 a 400 | | ±4F | ±2F |
| | 530 a 1400 | ±3/4% | | | | |
| K | 32 a 530 | ±4F | 0 a 400 | | ±4F | ±2F |
| | 530 a 2300 | ±3/4% | | | | |
| R Y S | 32 a 1000 | ±5F | 75 a 400 | | +12F | |
| | 1000 a 2700 | ±½% | | | | |
| T | -300 a -75 | | | | | ±1% |
| | -150 a -75 | ±2% | | | | ±1% |
| | -75 a +200 | ±1-½F | -75 a +200 | | ±1-½F | ±3/4F |
| | 200 a 700 | ±3/4% | | | | ±3/8% |

" REVISANDO TERMOPARES Y PIROMETROS "

Las instrucciones dadas aquí se aplican a todos los tipos de termopares, ya sean usados con indicadores, registradores o controladores. No están diseñados para localizar posibles problemas dentro del mismo instrumento, pero determina la fuente del problema por aislamiento del instrumento el alambre extensión o el termopar.

Haciendo la revisión descrita abajo, un potenciómetro portátil Barber-Colman es indispensable. Este potenciómetro, cuando es usado con termopares, es un instrumento de revisión, teniendo una exactitud y sensibilidad más grande que la mayoría de otros instrumentos de medición de temperatura calibrada. Un potenciómetro portátil será muchas veces pagado por sí mismo en un tiempo relativamente corto, abasteciendo un estándar para instrumentos de prueba, el cual puede ser relevado para dar un servicio continuo.

Cuando probamos un instrumento que está en servicio, primero revisamos todas las conexiones del termopar al alambre extensión y del alambre extensión al instrumento, como se muestra en el diagrama. Se debe estar seguro de que estas conexiones están limpias y fuertemente apretadas y que la terminal (+) en el instrumento esté conectada por el lado positivo de la cabeza conectora del termopar y el (-), al negativo. Enseguida, se revisa el termopar desplazándolo alrededor ligeramente para ver si la lectura del instrumento es estable. Si la lectura no es estable, el termopar pue-

de estar roto. Se moverá o se quitará el termopar para revisar su condición general. (Deberá tenerse especial cuidado con el manejo de los termopares de platino).

{Si los termopares no parecen estar defectuosos (si están defectuosos deberán ser sustituidos o reemplazados) entonces se re-
visarán las lecturas del instrumento en servicio usando el poten-
ciómetro portátil, con un termopar de prueba para la misma locali-
zación como el horno del termopar.}

Si la indicación del medidor se está registrando, es un error compararla a la lectura del potenciómetro portátil; el problema puede localizarse dentro del medidor o en el circuito termopar y alambre extensión revisando el milivoltaje desde el horno del termopar con su alambre extensión (conectado únicamente al potenciómetro portátil), y si el milivoltaje es correcto para la temperatura del horno al momento en que es revisado con el termopar de prueba y el potenciómetro portátil, el problema está dentro del medidor que ha sido revisado (el alambre extensión y la resistencia del circuito eléctrico del horno del termopar será correcta cuando se revise con un milivoltímetro del tipo termómetro termopar). (Si la avería ha sido de este modo, dentro del medidor, el problema puede ser una conexión mala o, también, una alta resistencia en algún lugar de su circuito; si se encuentra que el milivoltaje del termopar está también bajo, la causa puede ser cualquiera de las siguientes:

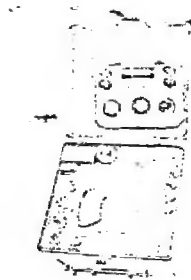
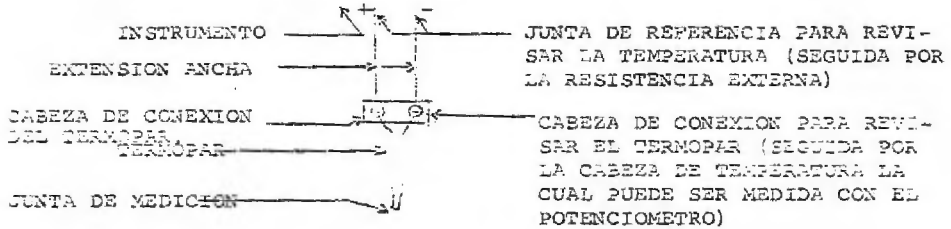
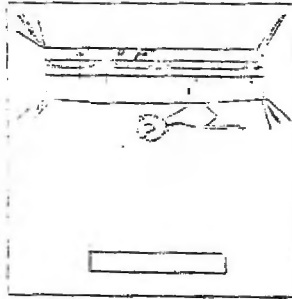
1.- Que exista una mala conexión en el termopar o en el alambre extensión del termopar.

2.- Que el termopar haya sido afectado por gases o vapores que se encuentren a su alrededor.

3.- Que el alambre del termopar o extensión haya sido parcialmente reducido para algún punto fuera de la junta de medición (ver el diagrama).

Midiendo el milivoltaje por la cabeza conectora del termopar, mas bien que a través del alambre extensión, el termopar puede ser revisado todo. (Debe uno asegurarse de recibir la temperatura de la cabeza conectora del termopar. Esta puede ser medida con el potenciómetro). El alambre extensión del termopar -- puede ser desconectado para su revisión.

Si las instrucciones dadas arriba son seguidas cuidadosamente, el defecto es encontrado la mayoría de las veces; comúnmente puede localizarse en las instalaciones del termopar en tal forma que las partes defectuosas pueden ser reemplazadas o reparadas.



" POTENCIOMETRO PORTATIL "

("LOCALIZACION DE DEFECTOS EN UN CIRCUITO TERMoeLECTRICO"

Al localizar defectos en cualquier circuito termoelectrico, se debe proceder a la localización por medio del método de eliminación:

a) T E R M O P A R E S .

1.- Un pirómetro indica la temperatura de la junta caliente del termopar. Los pirómetros son calibrados para tipos definidos de termopares.

2.- Todos los termopares se deterioran, y fallan con el tiempo. Este tiempo depende de las condiciones de operación, como temperaturas altas, oxidación, etc. La f.e.m. desarrollada por el termopar, disminuye al deteriorarse éste.

3.- Si hay dudas acerca de la exactitud de la indicación, se debe comparar el termopar con un termopar estándar. Destruyanse los termopares gastados, para que nadie pueda usarlos.

4.- No deberán usarse termopares con tubos de protección quemados y se reemplazarán los tubos antes de que sean destruidos completamente.

5.- Cuando la terminal superior o la cabeza de termopar es expuesta a cambios de temperatura, es necesario usar cables de extensión y no cables de cobre.

6.- Para poder indicar la temperatura correcta, el termopar tiene que tener la inmersión apropiada.

7.- No se deben calentar los termopares y los tubos de protección a temperaturas mayores que las recomendadas.

8.- La junta caliente del termopar siempre debe ser soldada y no solamente torcida.

9.- Las conexiones en el circuito deben estar limpias y bien apretadas; en caso contrario pueden causar una indicación demasiado baja.

b) C A B L E S D E E X T E N S I O N .

1.- Desconectar el instrumento y usar un magneto para asegurarse que no hay conexión a tierra.

2.- Asegurar que las terminales "más" y "menos" de los cables de extensión sean conectados a los polos correspondientes del termopar.

3.- No se pueden intercambiar los cables de extensión para tipos diferentes de termopares. Se pueden identificar los cables de extensión por su color.

4.- Conexiones torcidas no hacen un contacto bueno; se deben soldar todas las conexiones.

5.- No deben usarse cables con un aislamiento de hule para temperaturas arriba de 200°F, sino cables con un aislamiento de asbesto.

6.- Debe dejarse una distancia entre los cables de extensión y los cables con potencial alto.

c) J U N T A S F R I A S .

1.- Es necesario conocer la temperatura de la junta fría y es conveniente medirla con un termómetro de mercurio, a menos que el pirómetro sea compensado automáticamente con respecto a la temperatura de la junta fría.

2.- Los cables de extensión no compensan la temperatura de la junta fría y tienen el fin exclusivo de alejar la junta fría del horno.

4 . - " TEORIA DE CONTROL "

"FORMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO"

En las formas de control interviene el controlador, que es el que interpreta los cambios de la variable y produce una acción correctiva para mantener el balance deseado en el proceso. La forma en que el controlador produce esa corrección es llamada forma de control.

Las principales formas de control son las siguientes:

- a) Dos posiciones y múltiples.
- b) Flotante de una y varias velocidades.
- c) Flotante de velocidad proporcional.
- d) Proporcional.
- e) Proporcional con reajuste (reset).
- f) Proporcional con reajuste y acción derivativa (rate action).

a) DOS POSICIONES Y MÚLTIPLES.-

Los tres tipos de controladores más comunes son:

- 1.- Dos posiciones.
- 2.- Dos posiciones con diferencial.
- 3.- Tres posiciones.

El control de dos posiciones es aquel en el cual el elemento final de control es movido de una posición extrema a la otra dependiendo de la variable controlada, que se encuentra arriba o - abajo del punto de control.

des dependiendo si la variable controlada está cerca o lejos del punto de control. Este control, reconoce el tiempo y magnitud de la desviación.

c) FLOTANTE DE VELOCIDAD PROPORCIONAL.-

En este tipo de control, el elemento final de control se mueve a una velocidad que depende de la magnitud de la desviación. Si la variable aumenta en una cierta cantidad sobre el punto de control, el elemento final de control empezará a cerrarse a una velocidad constante. Si la desviación se dobla, la válvula se mueve a una velocidad doble. Si la variable está en el punto de control, el elemento final de control no se mueva.

La velocidad flotante se define como el por ciento por minuto de movimiento del elemento final de control causado por una desviación de uno por ciento de la variable controlada.

Considerando una escala lineal para el controlador, se tiene:

$$- \frac{dP}{dt} = f (\theta - c)$$

P = Posición de la válvula en % dividido entre cien.

t = Tiempo en minutos.

f = Velocidad flotante en las siguientes unidades: Movimiento de la válvula por ciento por minuto por ciento de desviación.

θ = Variable en por ciento dividido entre cien.

c = Punto de control en por ciento dividido entre cien.

El control de dos posiciones con diferencial es aquel en el cual el elemento final de control permanece en su última posición alcanzada hasta que la variable controlada se ha movido ligeramente del punto de control.

El control de tres posiciones es aquel en el cual el elemento final de control se sitúa en una de tres posiciones, dependiendo de la variable controlada, si se encuentra arriba, cerca o abajo del punto de control.

b) FLOTANTE DE UNA Y VARIAS VELOCIDADES.-

Los tres tipos de control flotante son:

- 1.- Flotante de una sola velocidad.
- 2.- Flotante de una sola velocidad con zona neutral.
- 3.- Flotante con varias velocidades.

El control flotante de una sola velocidad, no reconoce la velocidad o magnitud de la desviación y reacciona solamente en el tiempo de la desviación. La velocidad es constante.

El control flotante de una velocidad con una zona neutra opera de la misma manera, con excepción de una zona neutra que se emplea para evitar las idas y vueltas demasiado frecuentes del motor.

El control flotante de varias velocidades es aquel en el cual el elemento final de control se mueve a diferentes velocidades.

El signo negativo se usa con el fin de discutir la acción correctiva del control automático.

Integrando la ecuación anterior se obtiene:

P = POSICIÓN DE LA VALVULA EN FUNCION DEL TIEMPO Y MAGNITUD DE LA DESVIACION.

$$-P = \int_0^t (\theta - c) dt + K$$

K = Constante de integración (determinada por la posición inicial de la válvula).

Las aplicaciones de este tipo de control, necesitan la -- más alta velocidad en el elemento final de control y el atraso del controlador debe ser tan pequeño como sea posible a fin de que el - elemento final de control pueda seguir el movimiento determinado -- por la magnitud de la desviación.

d) PROPORCIONAL.-

El control proporcional o modulante es aquel en el cual el elemento final de control se posiciona en proporción a la magnitud de la variable controlada.

Este tipo de control se define, como el % de escala que la variable debe recorrer para mover el elemento final de control de una posición extrema a otra.

Con una banda proporcional angosta, sólo se requiere un pequeño cambio en la variable para operar la válvula en su carre-

ra total. Sucediendo lo contrario cuando la banda es ancha.

El reajuste (reset) manual, tiene como finalidad tener o hacer que el elemento final de control tenga cierta abertura - para tener la variable en el punto de control necesario.

La ecuación del Control Proporcional se puede expresar en dos formas:

- 1.- Que relaciona la posición de la válvula y la variable controlada.
- 2.- Que relaciona la velocidad de movimiento de la válvula con la velocidad de cambio de la variable controlada.

Asumiendo que se tiene un controlador de escala lineal:

$$- P = \frac{1}{S} (\theta - c) + M \dots\dots\dots 1$$

P = Posición de la válvula en % /100

S = Banda proporcional en % /100

M = Constante que depende de la posición del reset.

c = Punto de control % /100

Diferenciando:

$$- \frac{dP}{dt} = \frac{1}{S} \frac{d\theta}{dt} \dots\dots\dots 2$$

La ecuación 2 nos indica que la velocidad de movimiento de la válvula es proporcional a la velocidad de cambio de la variable controlada.

e) PROPORCIONAL CON REAJUSTE (RESET).-

Es la combinación del control proporcional y el control flotante de velocidad proporcional.

Este control corre la banda proporcional de un lado a otro de la escala hasta obtener una abertura del elemento final de control tal que vuelva la variable al punto de control.

El control proporcional con reajuste tiene dos ajustes:

- 1.- De banda proporcional.
- 2.- De velocidad de reset.

La ecuación de este tipo de control es (asumiendo un controlador a escala lineal), se conoce la posición de la válvula.

$$- P = \frac{r}{s} \int_0^t (\theta - c) dt + \frac{1}{s} (\theta - c) + K$$

P = Posición de la válvula (%/100)

r = Velocidad del reajuste (unidades por minuto)

s = Banda proporcional (%/100)

θ = Variable (%/100)

c = Punto de control (%/100)

t = Tiempo en minutos

K = Constante de integración (posición inicial de la válvula)

$(\theta - c)$ = Desviación de la variable (es constante y tiene un valor).

Ahora para saber la velocidad de movimiento de la --
válvula, diferenciando la ecuación anterior:

$$- \frac{dP}{dt} = \frac{r}{s} (\theta - c) + \frac{I}{s} \frac{d\theta}{dt}$$

Esta ecuación nos muestra que la válvula se movería por la sola acción del reset y por la acción de la banda proporcional. Además nos da el movimiento de la válvula en % de la carrera de la válvula/min.

Si la banda proporcional es reducida, la velocidad del reset aumenta, aunque el ajuste del reset no se cambie.

f) CONTROL PROPORCIONAL CON REAJUSTE Y ACCION DERIVATIVA (RATE ACTION).

Cuando al controlador proporcional con o sin reset se le añade rate, recibe también el nombre de respuesta derivativa o componente de velocidad.

Rate es la respuesta del control con la cual la posición de la válvula puede ser proporcional a la velocidad de cambio de la desviación.

La ecuación es la siguiente:

$$-P = \frac{r}{s} \int_0^t (\theta - c) dt + \frac{I}{s} (\theta - c) + q/s \frac{d}{dt} + K \dots\dots\dots 1$$

q = En minutos

Esta ecuación nos ilustra el efecto de la velocidad de cambio de la variable sobre la posición de la válvula.

Diferenciando la ecuación anterior nos da otra definición del rate; donde la velocidad de movimiento de la válvula responde en parte a la velocidad de cambio de la variable.

$$- \frac{dP}{dt} = \frac{r}{s} (\theta - c) + \frac{I}{s} \frac{d\theta}{dt} + \frac{q}{s} \frac{d^2\theta}{dt^2} \dots\dots\dots 2$$

q = En minutos.

El más rápido movimiento de la válvula al principio del cambio y del ciclaje subsecuente de la válvula es causado por la acción de la adición de la acción derivativa.

Cuando se usa el rate y la variable controlada cicla, el resultado es opuesto a la operación de la respuesta del -- reset.

q = Acción derivativa, que puede ser ajustable en minutos.

r = Reset ajustable, en unidades por minuto.

s = Banda proporcional ajustable, afectando a todos los términos en %/100

El uso del rate requiere que el controlador responda rápidamente ya que un atraso considerable de este último - puede modificar las ventajas obtenidas con el rate. El meca-

nismo controlador debe tener una velocidad de movimiento casi doble de cuando se usan sólo el control proporcional y el reset ya que el rate se emplea para proveer un movimiento grande y repentino de la válvula. Si por el contrario, un atraso muy grande del control haría imposible la respuesta a cambios rápidos de la variable.

" TEORIA DE LOS CONTROLADORES CONTINUOS "

El controlador continuo es aquel que incluye uno o más de los términos de la ecuación abajo anotada, pero cada respuesta debe ser proporcional a la variable controlada o a una de sus derivadas.

$$\frac{dP}{dt} = K_a \int_0^t \theta dt + K_0 \theta + K_1 \theta' + K_2 \theta'' + K_3 \theta''' \dots K_n \theta_n$$

$\frac{dP}{dt}$ = Velocidad de movimiento de la válvula.

θ = Desviación de la variable (las primas indican la segunda, tercera derivadas y así sucesivamente).

K = Ajuste constante para cada respuesta, cada término - indica una respuesta.

$K_0 \theta$ = Respuesta del reset.

$K_1 \theta'$ = Respuesta proporcional.

$K_2 \theta''$ = Respuesta de la acción derivativa.

EJEMPLOS.-

a.- Continuo:

Control flotante de velocidad proporcional (en que la variable controlada estará estable porque cuando la desviación θ es cero la válvula se moverá).

b.- No continuo:

El control de una velocidad (el movimiento de la válvula no puede pararse cuando la variable está en el punto de control, puesto que el movimiento de la válvula no responde a la magnitud de la desviación).

Cualquiera de estos dos modos:

- a) Controlador flotante de una velocidad.
- b) Controlador flotante de una velocidad proporcional.

se emplean como reset usándolo como control proporcional.

Cada derivada adicional en el control requiere un ajuste.

"TEORIA DE CONTROL AUTOMATICO"

- a) Control de dos posiciones.
- b) Control flotante de una velocidad.
- c) Control flotante de velocidad proporcional.
- d) Control proporcional.

- e) Uso del reajuste (reset).
- f) Uso de la Acción Derivativa (rate).

a) CONTROL DE DOS POSICIONES.-

Este tipo de control se puede presentar:

- 1.- Neumático
- 2.- Eléctrico
- 3.- Mecánico

Generalmente en el control de dos posiciones existe una diferencial y su acción es fundamentalmente cíclica.

El período del ciclo tiene las siguientes características:

- 1.- Aumenta con una velocidad de reacción menor.
- 2.- Aumenta con los atrasos en la transmisión.
- 3.- Aumenta con el tiempo muerto.
- 4.- Aumenta con la diferencial del controlador.

La amplitud del ciclo:

- 1.- Aumenta con atrasos en la transmisión.
- 2.- Aumenta con una velocidad de reacción mayor.
- 3.- Aumenta con el tiempo muerto.
- 4.- Aumenta con la diferencial del controlador.

El control de dos posiciones funciona satisfactoriamente bajo ciertas condiciones. A continuación se anotan las más importantes: (cuando)

- 1.- Los atrasos de transmisión y tiempo muerto son despreciables.
- 2.- La velocidad de reacción del proceso es lenta.
- 3.- Los atrasos de medición y control son pequeños.
- 4.- Los cambios de carga no son grandes o frecuentes.

b) CONTROL FLOTANTE DE UNA VELOCIDAD.-

En este tipo de control, por naturaleza es cíclica, sin embargo, bajo ciertas condiciones se puede obtener una operación estable de tal manera que la variable permanezca en la zona neutra.

El caso ideal se presenta cuando:

- a.- No hay atraso en la transmisión.
- b.- No hay tiempo muerto.
- c.- El controlador tiene una zona neutra.

Para evitar el ciclaje y estabilizar la variable, el proceso debe poseer autorregulación; ya que provee la relación entre la magnitud de la variable controlada y el valor del flujo del agente de control manteniendo la variable en la zona neutra.

Si el proceso no tiene autorregulación, sucede todo lo contrario, la variable no se estabiliza al no existir la relación mencionada anteriormente.

La mayor ventaja que se obtiene en este tipo de control, es que los cambios graduales de carga son contrarrestados paulati-

namente por el movimiento de la válvula. Si todos los atrasos son pequeños, la acción correctiva se lleva a cabo con muy poca desviación de la zona neutra. Si el cambio de carga es repentino la desviación no se puede evitar, la válvula sólo tiene una velocidad y es generalmente inadecuada para cambios de carga rápidos. Por otro lado, este control es adaptable a procesos con velocidad de reacción rápida.

c) CONTROL FLOTANTE DE VELOCIDAD PROPORCIONAL.-

Este tipo de control se lleva a cabo por medios neumáticos e hidráulicos.

La relación para el control flotante de velocidad proporcional es la siguiente:

$$\frac{-dF_1}{dt} = f (\Theta - c) \dots\dots\dots I$$

f = Velocidad flotante del controlador.

c = Punto de control.

Combinando esta ecuación con la de un proceso determinado, se obtiene la expresión completa que indica la aplicación del control flotante de velocidad proporcional.

Ilustrando lo anterior, se supone la aplicación de este tipo de control a un proceso de una sola capacidad. Además, se considera lo siguiente:

- a) Una acción lineal para el proceso.
- b) Acción para la válvula sin ningún atraso.

ILUSTRACION "H".

La ecuación de este proceso es:

$$C \frac{d\theta}{dt} = F_1 - F_2 \dots\dots\dots\text{II}$$

C = Capacidad del proceso.

θ = Nivel en el tanque.

F_1 = Flujo de entrada.

F_2 = Flujo de salida.

t = Tiempo.

Con autorregulación en el proceso, el flujo de salida - depende del nivel:

$$F_2 = \frac{\theta}{R} \dots\dots\dots\text{III}$$

R = Resistencia de la válvula de salida. Sustituyendo

III en II y diferenciando:

$$C \frac{d\theta}{dt} + \frac{I}{R} \theta = F_1 \dots\dots\dots\text{IV}$$

$$C \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{I}{R} \frac{d\theta}{dt} = \frac{dF_1}{dt} \dots\dots\dots\text{V}$$

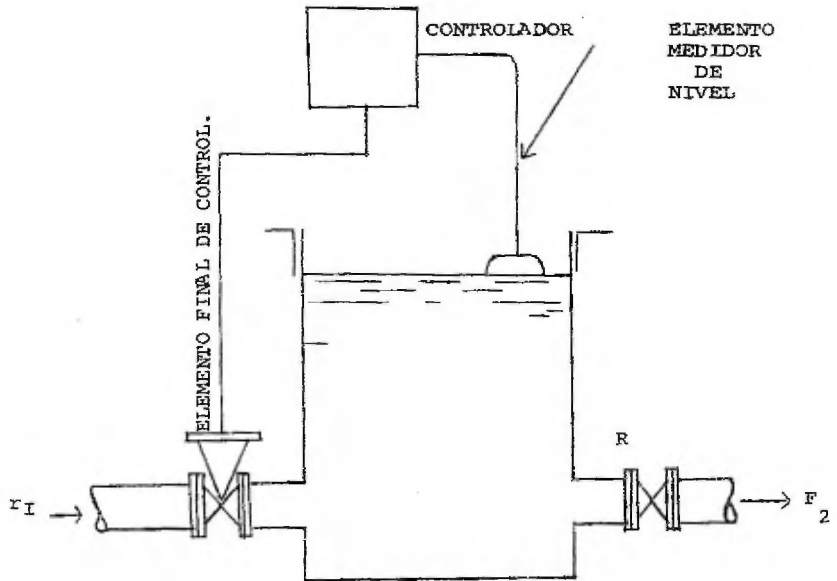
Substituyendo la expresión I en V se obtiene la ecuación que indica la aplicación del control flotante de velocidad proporcional:

PROCESO "A": PLANTA DESALADORA.

=====

FIG. H

PROCESO DE UNA CAPACIDAD CON CONTROL AUTOMATICO



$$(\theta-c)'' + \frac{I}{RC} (\theta-c)' + \frac{I}{C} (\theta-c) = 0$$

Las primas indican la primera y segunda derivadas.

Prácticamente un atraso o un tiempo muerto apreciables producen un aumento del período y una disminución de la velocidad flotante. La velocidad de reacción grande o instantánea tiende a vencer esas dificultades. Por otro lado, la acción del control se puede estabilizar seleccionando la debida velocidad flotante. Demasiada velocidad produce un ciclaje excesivo antes de estabilizarse. Una baja velocidad hace sobrepasarse a la variable o produce una acción del control lento.

El control flotante de velocidad proporcional no corrige inmediatamente los cambios repentinos de la carga, ya que la variable vuelve al punto de control, teniendo una velocidad de proceso grande que permita una velocidad flotante de control suficiente, no excesiva.

d) CONTROL PROPORCIONAL.-

La ecuación del control proporcional se anota a continuación:

$$-P = \frac{I}{S} (\theta-c) + M$$

P = Posición de la válvula.

S = Banda proporcional

θ = Desviación

c = Punto de control

M = Valor del reajuste manual.

Siguiendo el criterio considerado en el Control Flotante de Velocidad Proporcional para obtener la expresión completa que nos indique la aplicación del Control Proporcional, se considera:

- a) Un proceso de una sola capacidad.
- b) Una acción lineal para el proceso.
- c) Acción para la válvula sin ningún atraso.

La ecuación del proceso es la siguiente:

$$C \frac{d\theta}{dt} + \frac{I}{R} \theta = F_1$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores, cuando la posición de la válvula está en relación directa con el flujo de entrada y reorganizando se tiene:

$$(\theta - c)' + \left(\frac{I}{SC} + \frac{I}{RC} \right)$$

$$(\theta - c) = - \frac{C + RM}{RC}$$

Cuando la variable controlada se estabiliza, la velocidad de cambio es cero y se tiene:

$$(\theta \text{ c}) \longrightarrow - \frac{C + RM}{I + R/S}$$

$\frac{I}{RC}$ = Autorregulación; $\frac{I}{SC}$ = Acción del control proporcional.

A menor banda proporcional, hay una acción correctiva más rápida y límites de control más estrictos. Consecuentemente en control proporcional es ventajoso tener procesos con capacidad grande. Ahora bien, es posible aplicar control proporcional a -- procesos con más de una capacidad donde hay un atraso de transmisión apreciable.

La acción del control y su estabilidad dependen del valor de la banda proporcional. La velocidad de reacción del proceso, junto con los atrasos de transmisión y tiempo muerto, determinan el valor de la banda proporcional.

Entre otras características del control proporcional se pueden anotar las siguientes:

- a) Una velocidad lenta de reacción requiere banda proporcional angosta.
- b) Los atrasos de transmisión y tiempo muerto requieren banda proporcional ancha.
- c) Un cambio de carga grande causa una desviación sostenida de la variable.

Como consecuencia, el control proporcional se puede -- aplicar cuando:

- a) No hay cambios de carga rápidos ni grandes.
- b) No hay grandes atrasos de transmisión y tiempo muerto.
- c) La velocidad de reacción del proceso es lenta.

e) USO DEL REAJUSTE.-

El objetivo del reajuste es hacer volver la variable al punto de control y dar fin a la desviación sostenida.

Un cambio en la banda proporcional afecta inversamente proporcional la velocidad del reajuste. Ejemplo: Si la banda se reduce a la mitad, la velocidad del reajuste aumenta al doble.

Cuando la velocidad del reajuste es pequeña, la vuelta de la variable al punto de control es lenta. Si la velocidad del reajuste es mayor, la vuelta de la variable al punto de control es relativamente rápida sin tener un ciclaje excesivo. ($r = 0.20$)

Si la velocidad del reajuste es demasiada, la variable - cicla aumentando en amplitud indefinidamente.

De los tipos de control mencionados anteriormente, el más utilizado con reajuste es el control proporcional, que se aplica en procesos que poseen características aceptables para cualquier modo proporcional o reajuste, separadamente, que tienen:

- a) Gran capacidad.
- b) Atrasos en la transmisión.

c) Tiempo muerto moderado.

El atraso en la transmisión no es una limitación si el medio medidor es sensible a cambios pequeños.

A continuación se anota un cuadro en el que se observan las características del sistema en un controlador proporcional -- con reajuste.

| | <u>Características del proceso</u> | <u>S; banda proporcional</u> | <u>r, velocidad del reajuste</u> |
|---|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| N | Pequeña | Moderada | Lenta |
| D | Grande | | |
| N | Pequeña | Angosta | Rápida |
| D | Pequeña | | |
| N | Grande | Ancha | Lenta |
| D | Grande | | |
| N | Grande | Moderada | Rápida |
| D | Pequeña | | |

N = Velocidad de reacción del proceso.

D = Atraso en la transmisión o tiempo muerto.

f) USO DE LA ACCION DERIVATIVA (RATE).-

La presencia de atrasos en la medición o en el control -- produce atrasos en la transmisión ya que ha aumentado el número de

capacidades en el sistema controlador. En estas condiciones se emplea el rate o acción derivativa para contrarrestar los efectos de los atrasos, sin embargo, es más aplicable para combatir el tiempo muerto ya que es el único medio para hacerlo.

Si se usa la acción derivativa, los ajustes del control -- requieren ciertos cambios: deben ser muy cuidadosos ya que una -- acción derivativa larga causa excesivas oscilaciones, o si se aumenta demasiado el tiempo se causa un ciclaje, etc., etc.

Un tiempo de rate largo se opone a cualquier cambio rápido en la variable ya sea que se aleje o acerque al punto de control. Cuando el tiempo de la acción derivativa es corto, se origina un -- ciclaje pero éste es debido a una banda proporcional angosta y a un reajuste grande que ha sido previamente satisfactorio con una acción derivativa determinada.

Quando se presentan cambios de carga hay una desviación -- excesiva y se requiere mucho tiempo para volver al punto de control, esto se soluciona ajustando el tiempo de la acción derivativa a un máximo de tal manera que la acción correctiva empiece antes de que la desviación se vuelva excesiva.

Los procesos con gran tiempo muerto o atrasos en la transmisión pueden presentar varias dificultades para su control. Este tipo de atrasos elimina todo tipo de control excepto al proporcional con reajuste. La banda proporcional debe ser ancha y el rea--

juste muy lento para evitar un ciclaje continuo.

La adición de la acción derivativa en un control proporcional con reajuste, reduce la desviación máxima. La ventaja mayor se obtiene al reducir la mitad más o menos, al período del ciclo. La variable controlada vuelve al punto de control en la cuarta parte del tiempo requerido sin el rate.

PROCESO "A" : PLANTA DESALADORA.

=====

1.- Generalidades.

2.- Descripción del proceso "Circuito de Agua de Mar y Circuito de Agua de Repuesto"

- a) Mantenimiento de condensadores, sistema de eyectores de la planta desaladora.
- b) Longitud total de tubería de los condensadores.
- c) Cálculo de coeficientes de transferencia de calor en condensadores y calentador de Salmuera.
- d) Materiales de construcción.
- e) Control Químico.
- f) Tratamiento Químico.

3.- Operación e instrumentos de control y pruebas de funcionalidad de termopares hechas en la Planta Desaladora, con sus respectivas observaciones.

4.- Conclusiones.

"PLANTA DESALADORA"

1.- Generalidades:

Consta de dos unidades a las que se denomina módulos. Cada módulo posee nueve evaporadores, su sistema de eyectores, torre - degasificadora y calentador de salmuera.

Para la descripción se tomará como base un módulo.

Situación.- Se encuentra junto a la planta termoeléctrica "Tijuana".

Proceso.- El proceso que se utiliza es el de evaporación - instantánea de multipasos. Habiendo intervenido para la selección de este proceso, consideraciones sobre la experiencia, costos iniciales, operación, control de incrustaciones, número de pasos, costos de instalación y operación y costos totales del agua destilada (producto).

La operación de evaporación instantánea se basa en el principio del equilibrio termodinámico. Explicándonos, ésto es así: para un líquido determinado corresponde una temperatura de ebullición - fija a una presión única, si las condiciones de equilibrio se alteran ocasionando una disminución de presión en un corto tiempo a un líquido saturado, ocurrirá la búsqueda de una nueva condición de equilibrio. Esto es representado por una evaporación instantánea. Respuesta al desajuste de equilibrio por la disminución de presión en las condiciones establecidas.

2.- Descripción del Proceso:

Circuito de agua de mar (fig. 1-B)

La alimentación para el proceso es el agua de mar la cual es conducida a través del canal nuevo, tal como se ilustra en la figura 1-B. El agua antes de la bomba tiene una presión de 0.35 Kg/cm² (presión de succión) y después de la bomba tiene una presión de descarga de 1.35 Kg/cm². El agua llega al EV-9 pasa por los tubos del condensador de la parte de enfrente a la posterior; sale el "agua de mar" (agua de suministro) y cae en la fosa común. Del agua que cae a la fosa común, se tira la tercera parte, las otras dos terceras partes se utilizan como agua de repuesto. Temperatura de entrada 15°C, temperatura de salida 25°C (en el EV-9).

La alcalinidad del agua de mar es de 128 p.p.m. como CaCO₃. El objeto de esta agua de suministro al EV-9 (zona de rechazo de calor) es producir el enfriamiento necesario para condensar el vapor producido por el alto vacío que se tiene en esta zona de rechazo de calor. Se le denomina así al EV-9 porque del flujo total que entra a la E-1 en este EV-9 se tira al drenaje 1/8 parte de salmuera (bastante concentrada) que todavía posee calor (temp.=38°C). Otra octava parte se saca como destilado. Por esto se le llama zona de rechazo de calor, porque se está tirando agua caliente a 38°C.

Circuito Agua de Repuesto (fig. 1-C)

Se le denomina así al agua que va de la fosa común (a través

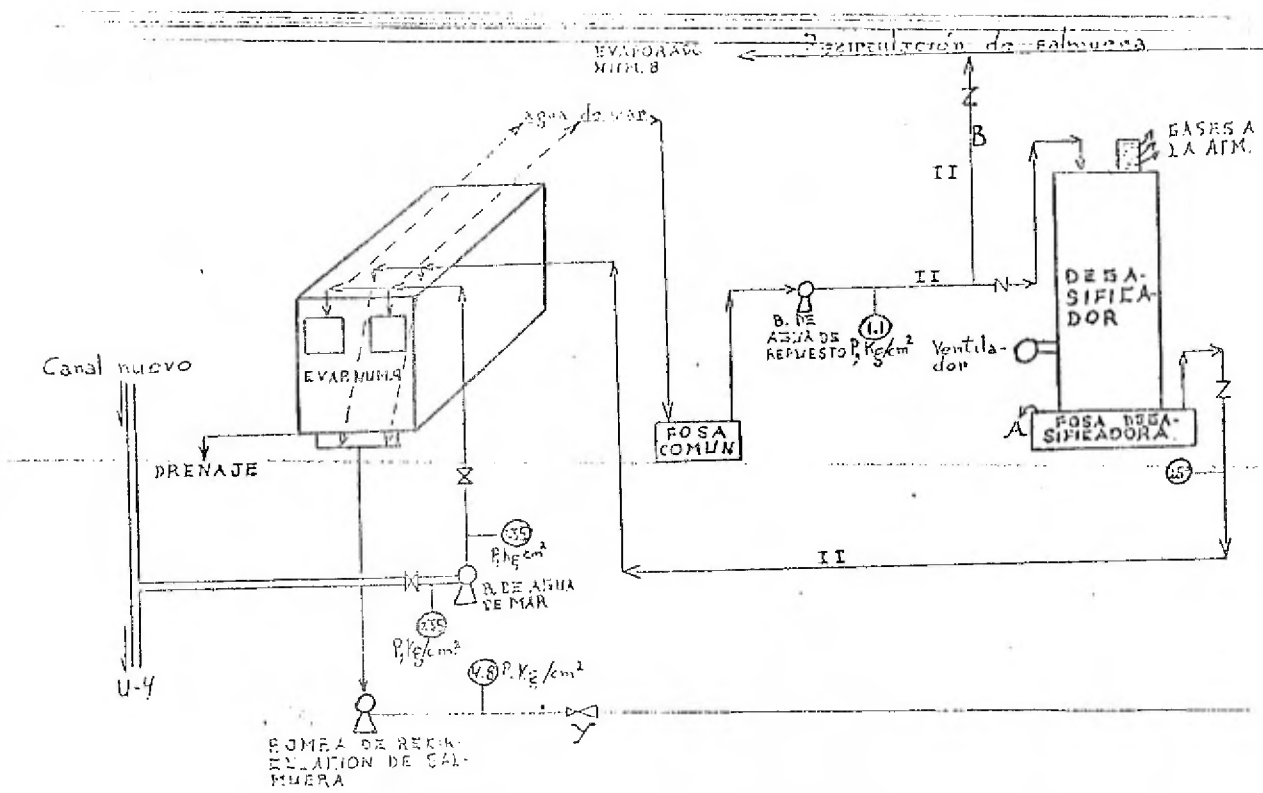


Fig. I-B

Fig. I-C

de una tubería de fibra de vidrio) al degasificador y posteriormente, de la fosa degasificadora al EV-9. El nombre se debe a que es esta agua la encargada de reponer en dicho EV-9 las 2/8 partes del flujo de salmuera caliente que se perdieron (1/8 que se tiró al drenaje y 1/8 que se obtuvo como producto).

La bomba de agua de repuesto es marca Goulds. Su motor - tiene las siguientes características:

| | | | |
|-----------|-------|----------|-----|
| Potencia: | 75 Hp | Ciclos: | 60 |
| R.P.M. | : 885 | Voltaje: | 460 |

La tubería (II) es de fibra de vidrio para protegerse de - la corrosión producida por la adición de ácido sulfúrico a dicha -- agua antes de llegar al degasificador. El brazo de tubería B (fig. 1-B) que va al agua de recirculación de salmuera sólo se utiliza en el arranque inicial del módulo, para el llenado de las cajas del mó- dulo. Ya puesto en servicio el módulo se cierra la válvula check - porque la presión del agua de recirculación es mayor a la del agua de repuesto que fluye por B.

De la figura 1-C; A, es un derrame que existe a la fosa co- mún, el degasificador se utiliza para remover y eliminar el CO₂, N₂ y CO₂ del agua de repuesto.

El agua que fluye del degasificador al EV-9 no necesita - bomba ya que el alto vacío de este evaporador No. 9 es suficiente pa- ra hacer fluir el agua a la E-44.

c) Circuito de Agua de Recirculación de Salmuera.

Como se ve en la figura 1-B, el agua de repuesto se une a la salmuera caliente (38°C) en el EV-9; y ambas, son succionadas por la bomba de recirculación de salmuera (marca Goulds). Cuyo motor tiene las siguientes características:

Marca: "General Dynamicy" Potencia: 1000 H.P.

De la figura 1-A; II, tubería de agua de repuesto; D destilado; tubería roja, salmuera caliente; S agua recirculación de salmuera.

El agua es enviada a la etapa 40, correspondiente al EV-8 (fig. 1-A) donde empieza la zona de recuperación de calor o ciclo de salmuera en compresión (del EV-8 al EV-1). Se le denomina así porque la salmuera que fluye a través de los tubos condensadores se calientan en cada paso utilizando el calor latente del vapor producido por la evaporación instantánea en el propio paso, ocurriendo lo mismo al agua de suministro en la zona de rechazo de calor (EV-9). La salmuera, S (fig. 1-A) que sale por el extremo caliente de la zona de recuperación es finalmente calentada en el calentador de salmuera, por medio del vapor extraído de las turbinas ($p = 1.915 \text{ Kg/cm}^2$) de la termoelectrica e introducida en la E=1 de evaporación instantánea ($T=116^\circ\text{C}$), en el que la presión es menor que la correspondiente a la temperatura de saturación de la salmuera entrando, produciéndose la primera evaporación instantánea (aquí comienza el ciclo de salmuera en expansión).

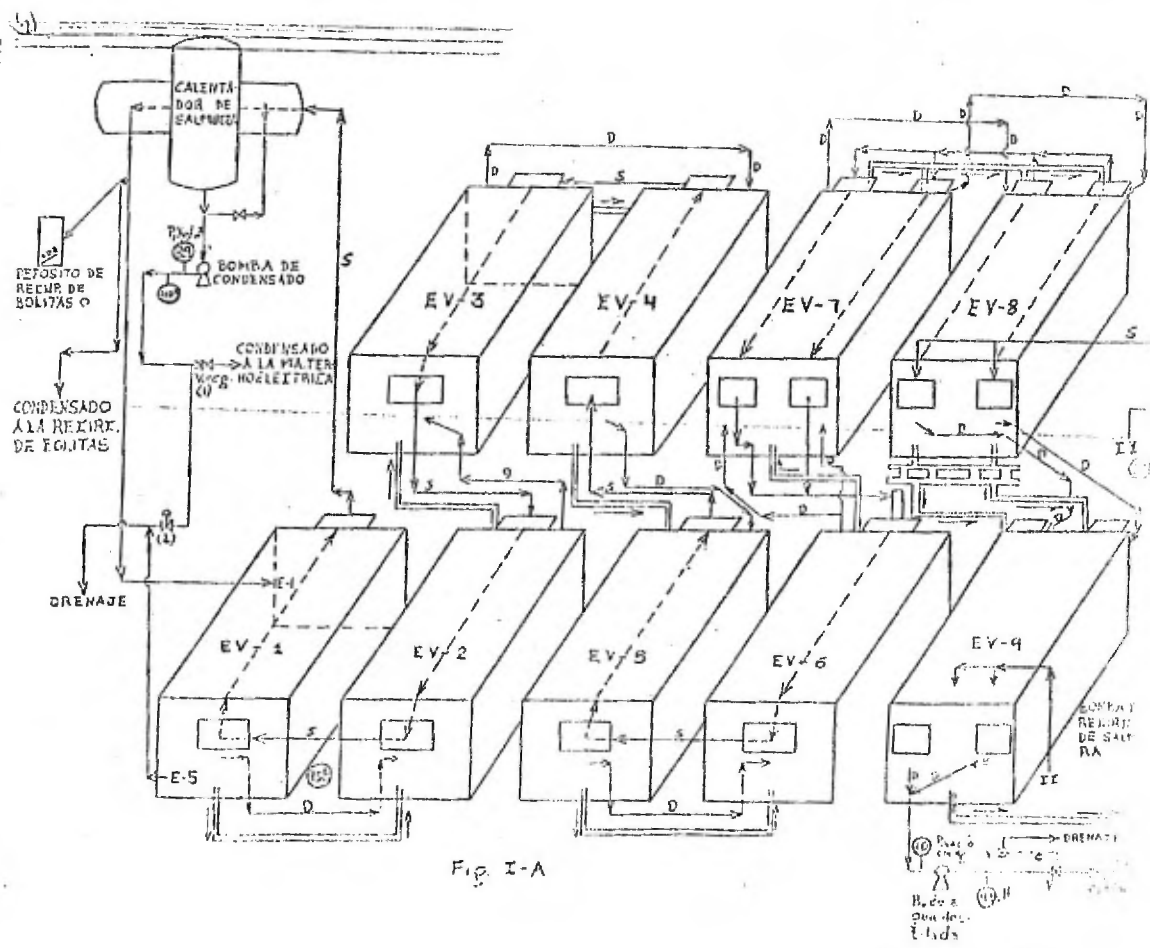


Fig. I-A

El fenómeno descrito se repite en los subsecuentes pasos de los evaporadores. Todos los pasos son mantenidos a una presión inferior a la de saturación correspondiente a la temperatura de la salmuera entrando, ocasionando que el agua salada caliente evapore instantáneamente al entrar, y durante su trayectoria por el paso. El vacío en todo el sistema se conserva a 12-15 cm. de Hg. Este vacío es producido por cuatro eyectores. Las temperaturas de salmuera caliente -- (tubería roja de la fig. 1-A) van de 116°C (E-1) a 38°C (E-44). En la etapa 44 como ya se ha mencionado, una parte de salmuera caliente es separada (enviada al mar) para conservar un nivel constante de sales disueltas en la salmuera circulando y para mantener el equilibrio termodinámico del ciclo.

El vapor producido por la evaporación instantánea es condensado, por la salmuera que fluye a través de los tubos condensadores y colectada en todos los pasos, como agua destilada; que es el producto.

El calentador de salmuera es alimentado por vapor que viene de una de las turbinas de la termoeléctrica con una presión de 1.3 - Kg/cm² y T=116-118°C. El condensado producido en este calentador de salmuera es enviado (fig. 1-A) por medio de una bomba de condensado.

| | | |
|------------------|-------------------|----------------------|
| Características: | Marca: Goulds | Motor: marca Lincoln |
| | Potencia: 40 H.P. | Fases: Una |
| | Ciclos: 60 | R.P.M.: 1748 |

Voltaje: 230/460

Al deareador de la unidad correspondiente de la termoelectrica que le mandó el vapor, o bien, al drenaje. Esto último se lleva a cabo en los arranques iniciales del módulo (cuando la conductividad es mayor de 10 micromhos).

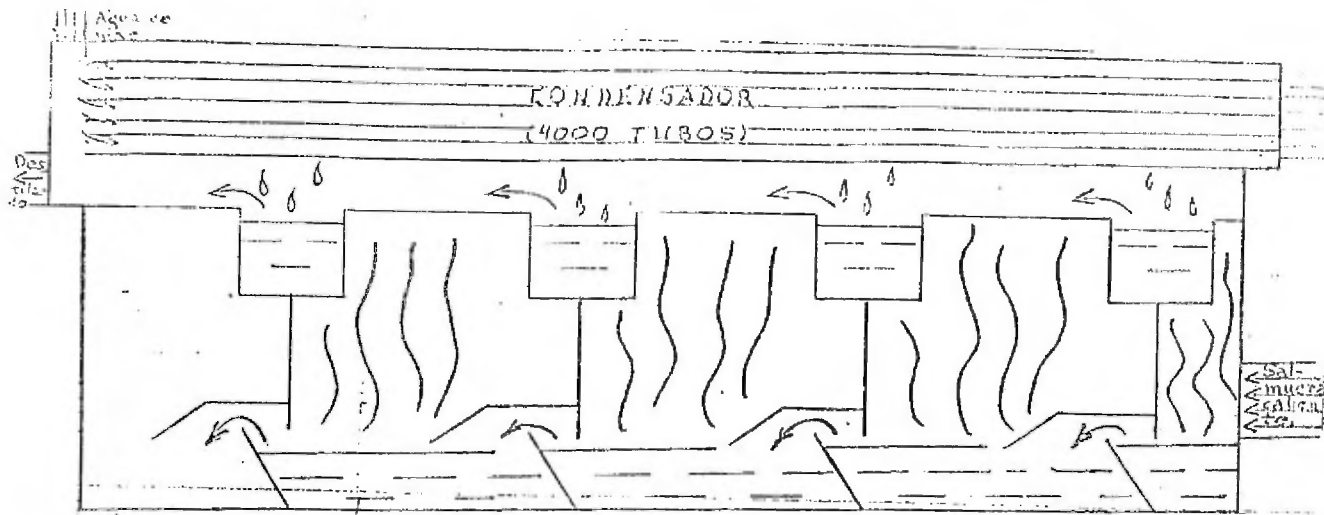
De la tubería roja de salmuera caliente sale una tubería cu ya finalidad es recuperar las bolitas que limpian la tubería de los condensadores y otra que lleva el condensado a la "recirculación de bolitas".

El condensado que va al deareador de la unidad que proporcionó el vapor para el calentador de salmuera está regulado por una celda conductimétrica; la cual, detecta una conductividad mayor de 10 micromhos, hace que la válvula reguladora (1) se cierre, y se abra la válvula automática (2) de la fig. 1-A.

Producto.- El destilado, D (fig. 1-A) se envía a los tanques de almacenamiento por medio de una bomba Goulds. El motor para esta bomba tiene las siguientes características:

| | |
|-------------------------|--------------------|
| Marca: General Electric | Potencia: 200 H.P. |
| R.P.M.: 1775 | Fases: 3 |
| Ciclos: 60 | Voltaje: 440. |

De la figura 1-A; V, válvula reguladora Fisher; C, celda conductimétrica que determina el paso del destilado a los tanques de almacenamiento si la conductividad es menor a 45 (conduct. de diseño), de no ser así, la celda hace que se abra la que regula el paso del



EVAPORADOR

destilado al drenaje. Para que sea aceptable el producto, los sólidos totales disueltos no deben exceder de 25 p.p.m.

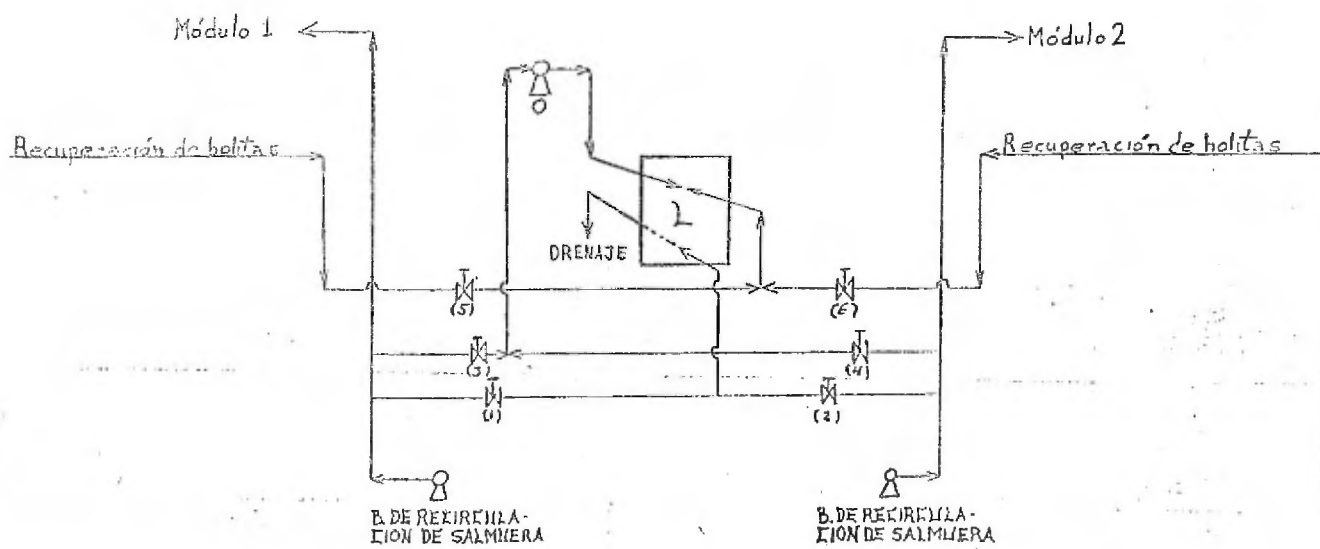
a) "MANTENIMIENTO DE CONDENSADORES"

Los tubos de los condensadores, como ya se dijo anteriormente, son de cobre-níquel 90-10. Con frecuencia, el desgasificador no extrae todo el CO_2 y O_2 y gases incondensables, es por ésto que a través del proceso se producen incrustaciones (a pesar de las inyecciones de sustancias químicas H_2SO_4 y Na_2SO_4) para evitarlas. En una forma esquemática trataré de explicar cómo se lleva a cabo la limpieza de esta tubería.

En un depósito que se encuentra en medio de los dos módulos, se meten aprox. 1000 bolitas de un diámetro externo un poco mayor de 3/4". Son de una especie de hule con asperezas con el objeto de que al pasar a través de los tubos, tallen y por lo tanto, limpien.

Originalmente, deben estar cerradas las válvulas (1)-(6). Cuando se desea someter a limpieza el módulo 1, por ejemplo, se meten las bolitas al depósito, se abre la válvula (3) o la (4) y se llena el depósito L; sacando el aire que contenga por medio de una purga. La bomba (O) que lleva el agua de recirculación de salmuera al depósito es de las siguientes características:

| | |
|------------------------|-------------------|
| Motor: marca Pasemaker | Potencia: 30 H.P. |
| R.P.M.: 3530 | Fases: 3 |
| Ciclos: 60 | Voltaje: 230/460 |



← LIMPIEZA DE TUBOS DE LOS CONDENSADORES DE EYAPS. 1-9 →

Lleno el depósito, se cierran la válvula (3) y/o (4). Enseguida se abre la válvula (1) y en la corriente de agua de recirculación de salmuera se van las bolitas para pasar por toda la tubería de los evaporadores. Recuperándose éstas a la salida del calentador de salmuera (como ya se mencionó anteriormente) y por la otra tubería de "condensado a la recirc. de bolitas" (fig. 1-A) cuya prolongación está en la tubería de "Recuperación de bolitas" ilustrada en el dibujo de limpieza de tubos de los condensadores de evaporadores 1-9.

Sistema de eyectores de la planta desaladora.

(fig. 1-D). El sistema de eyectores está para producir y mantener un vacío constante de 12-15 cm. de Hg en el módulo.

En el arranque inicial del módulo, se pone en servicio el eyector de arranque (E.A.); para lo cual, se cierra la válvula (1) y se abre (2) primeramente (si existe algún vacío) y después (3) para comunicar al banco de eyectores. En estas condiciones se permanece hasta producir un vacío de 60 cm. de Hg. Cuando esto sucede en la sala de control empieza a marcar la aguja del indicador # 6 (pluma azul). En estas condiciones, se empieza a poner en servicio el sistema de eyectores hasta que en el indicador No. 6 se marquen 20 mm. de Hg. (presión absoluta).

El orden para poner en servicio los eyectores es el siguiente: Inter.-cond. núm. 3; inter-cond. núm. 2; pos-cond. núm. 4; pre-cond. 1-B y por último, pre-cond. 1-A. Esto consiste en abrir la -

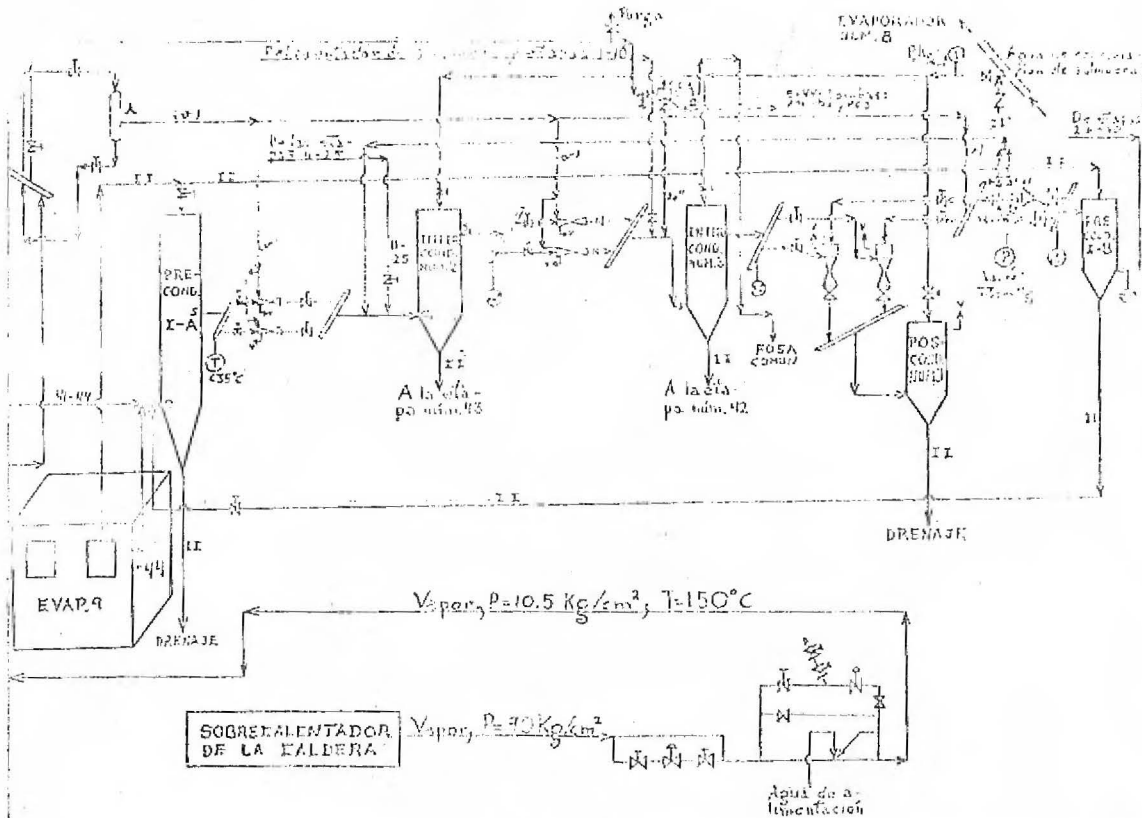


Fig. I-D
 SISTEMA DE EYFETORES DE LA PTA. DESALADORA

válvula de paso de agua a cada condensador y las succiones a los eyectores. El pos-cond. núm. 4 saca todos los gases incondensables.

El paso del fluido a través del sistema de eyectores es el siguiente: El fluido entra por (e) (pre-cond. 1-A) y sale por (s); - mientras que por arriba entra el agua, que es espreada para producir una condensación, lo que sale por (S) llega a un cabezal -donde se mide la temperatura- pasando enseguida, a un par de eyectores (siempre debe tenerse abierto uno). Hasta este punto se ha ejercido un vacío sobre las etapas 41-44 debido a que el vapor (v) al llegar a los eyectores, jalan los gases que se encuentran a su alrededor por aumentar la presión en el estrangulamiento del eyector. Las dimensiones del pre-cond. 1-A son: diámetro, 24"; altura total, 10' 3 1/4".

Los gases incondensables pasan al inter-cond. núm. 2, adhiriéndose los gases de las etapas 11-25. Entrando todos los gases por (e₁) y saliendo por (s₁) produciéndose aquí, el mismo fenómeno de acción del vapor. En los otros dos condensadores y en el pos-cond. sucede lo mismo. En el pos-cond. se extraen los gases incondensables. El vacío correspondiente del calentador de salmuera y las etapas 1-10 es producido por el sistema de eyectores pertenecientes al inter-cond. núm. 3; el de la etapa 44 y las bombas P-01, P-02 y P-03 pertenecientes al agua de recirculación de salmuera, agua de suministro y agua de repuesto, respectivamente, es producido por el eyector de arranque; el de las etapas 26-40 es producido por el par de eyectores per-

teneciente al pre-cond. 1-B. Las dimensiones de éste último son: - diámetro, 10' 3/4"; altura total 5' 1"; del inter-cond. núm. 2: diámetro, 18"; altura total 9' 5"; del inter-cond. núm. 3: diámetro 12"; altura total 5' 1".

Como se podrá apreciar en la figura 1-D: II, significa tubería de fibra de vidrio; V, venteo; A, presión del vapor de la estación reductora.

El vapor que produce el vacío para el sistema proviene de la unidad - de la termoelectrica- que proporciona el vapor.

b) LONGITUD TOTAL DE TUBERIA DE LOS CONDENSADORES.

Longitud total = longitud /tubo X No. de tubos.

Los datos de longitud/tubo y número de tubos de cada evaporador, así como del calentador de salmuera se encontraron en los instructivos de la planta desaladora "Tijuana".

$$\text{Evaporadores 1-6: } 48' \times 4800 = 23 \times 10^4 (6) = 138 \times 10^4$$

$$\text{Evaporadores 7-8: } 48' \times 2650 = 12.43 \times 10^4 (2) = 24.86 \times 10^4$$

$$\text{Evaporador 9: } 37' \times 1675 = 6.22 \times 10^4 (1) = 6.22 \times 10^4$$

$$\text{Calentador de Salm.: } 30' \times 3240 = 9.72 \times 10^4 (1) = 9.72 \times 10^4$$

$$\text{Longitud total: } 178.80 \times 10^4 \text{ft}$$

Longitud Total:

$$178.8 \times 10^4 \text{ ft} \times \frac{30.48 \text{ cm.}}{1 \text{ ft.}} \times \frac{1 \text{ m}}{1 \times 10^2 \text{ cm.}} = 54.6 \times 10^4 \text{ m} =$$

$$= 54.6 \times 10 \text{ Km} = 5.46 \text{ Km/módulo} = 1092 \text{ Km/2 módulo.}$$

R E S U L T A D O S C A L C U L O D E " U "

Base: 1 hora

Módulo No. 1

Día: 6-IV/72

Hora: 9:00 A.M.

Producción: 565 m³.

Consumo vapor:

| SECCION | No. de tubos | M (. 10 ⁵) Kg. | C _p (Kcal/kg. °C) | ΔT (°C) | Q _{mcpΔT} (Kcal) | A _T (m ²) | LMTD (°C) | U _{mcpΔT} /ALMTD | |
|---------------|--------------|-------------------------------|---------------------------------|------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|
| | | | | | | | | Kcal/m ² . °C | BTU/ft ² . °F |
| 1 | 4800 | 43,776 | 0,955 | -4,8 | -201,5X10 ⁵ | 4165 | 8,95 | 541,6 | 110,8 |
| 2 | 4800 | 43,776 | 0,955 | 22,8 | 939,0X10 ⁵ | 4165 | 6,90 | 3250 | 667,5 |
| 3 | 4800 | 43,776 | 0,955 | -9,8 | -411,5X10 ⁵ | 4165 | 6,215 | 1578 | 323,5 |
| 4 | 4800 | 43,776 | 0,955 | 23,7 | 990,0X10 ⁵ | 4165 | | | |
| 5 | 4800 | 43,776 | 0,955 | 2,2 | 92,3X10 ⁵ | 4165 | 2,215 | 1000 | 205,0 |
| 6 | 4800 | 43,776 | 0,955 | 15,0 | 630,0X10 ⁵ | 4165 | 4,78 | 1150 | 645,0 |
| 7 | 2650 | 43,776 | 0,955 | 2,6 | 108,87X10 ⁵ | 2315 | 3,715 | 1272 | 261,0 |
| 8 | 2650 | 43,776 | 0,955 | -3,4 | -142,14X10 ⁵ | 2315 | 3,85 | 1680 | 344,0 |
| 9 | 1675 | 34,816 | 0,955 | 5,5 | 179,54X10 ⁵ | 1140 | 11,45 | 1370 | 282,0 |
| CAL. DE SALM. | 3240 | 43,776 | 0,955 | 8,6 | 359,55X10 ⁵ | 1923 | 18,04 | 1036 | 213,0 |

c) CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR TOTAL U, EN CADA EVAPORADOR Y CALENTADOR DE SALMUERA DE LA PLANTA DESALADORA "TIJUANA".

Base: 1 hora Módulo No. 1 Día 6-IV-72 Hora 9:00

U_{EV-1} :

Partimos de: $Q = mC_p \Delta T$ ----- (1)

donde, m = masa de salmuera en compresión Kg

C_p = Capacidad calorífica de la salmuera, Kcal/ Kg°C

ΔT = T salida - T entrada

m = 43.776 "x CONSEJERIAS DE ENALLES de materiales)

$C_p = 0.955$ Kcal/Kg°C $\Delta T = 96 - 100.8 = -4.8^\circ\text{C}$

Sustituyendo valores en (1):

$Q = 43.776 \times 10^5 (0.955) (-4.8) = -201.5 \times 10^5$ Kcal

Por otra parte tenemos que: $Q = UA LMTD$ ----- (2)

donde, U = coef. de transferencia de calor total, Kcal/m² °C

A = área total de transferencia (m²) = No. de tubos X longitud total X (área/pie lineal) X factor de transformación.

LMTD = logarítmica media de la diferencia de temperaturas - del fluido caliente al fluido frío, °C

De (2): $A = 4800 \times 48' \times 0.1963 \text{ ft}^2 / \text{ft lineal} \times \frac{30.48 \text{ cm}^2}{1 \text{ ft}^2} \times$

$$\frac{1 \text{ m}^2}{1 \times 10^4 \text{ cm}^2} = 4165 \text{ m}^2 \text{ (área cte. para cada evaporador del 11-6)}$$

0.1963 ft²/ ft lineal, dato obtenido de la tabla 10 Pg. 948 de: "procesos de Transferencia de Calor".- Kern, Donald.

| LMTD: | Salm. en expansión | | Salm. en compresión | | |
|-------|--------------------|------------|---------------------|-------|-----------------------------|
| | 110.5 | temp. alta | 100.8 | = 9.7 | = ΔT_1 |
| | 105.0 | temp. baja | 96.0 | = 9.0 | = ΔT_1 |
| | | | | 0.7 | = $\Delta T_2 - \Delta T_1$ |

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{2.3 \log \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} = \frac{0.7}{2.3 \log (9.7/9.0)} = 8.95^\circ\text{C}$$

$$A \text{ LMTD} = 4165 (8.95) = 37200 = 37.2 \times 10^3 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

U_{EV-3} :

De (1) $m = 43.776 \times 10^5 \text{ Kg}$; $\Delta T = 78 - 87.8 = -9.8^\circ\text{C}$

$$C_p = 0.955 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

Sustituyendo valores en (1):

$$Q = 43.776 \times 10^5 (0.955) (-9.8) = -411.5 \times 10^5 \text{ Kcal}$$

De (2) $A = 4165 \text{ m}^2$

| LMTD: | Salm. en expansión | | Salm. en compresión | | |
|-------|--------------------|---|---------------------|-------|-----------------------------|
| | 93.7 | - | 87.8 | = 5.9 | = ΔT_2 |
| | 84.9 | - | 78.0 | = 6.9 | = ΔT_1 |
| | | | | -1.0 | = $\Delta T_2 - \Delta T_1$ |

$$LMTD = \frac{-1.0}{2.3 \log (5.9/6.9)} = 6.215^{\circ}\text{C}$$

$$A \cdot LMTD = 4165 (6.215) = 26 \times 10^3 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Igualando (1) y (2):

$$Q = Q$$

$$m C_p \Delta T = U A LMTD$$

$$411.5 \times 10^5 = 26 \times 10^3 U$$

$$U = \frac{411.5 \times 10^5}{26 \times 10^3} = 15.78 \times 10^2 \text{ Kcal/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$U_{EV-3} = 1578 \text{ Kcal/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C} = 323.5 \text{ BTU/ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$U_{EV-5}$$

$$\text{De (1): } m = 43.776 \times 10^5 \text{ Kg; } \Delta T = 64.1 - 61.9 = 2.2^\circ\text{C}$$

$$C_p = 0.955 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

Sustituyendo valores en (1):

$$Q = 43.776 \times 10^5 (0.955) (2.2) = 92.3 \times 10^5 \text{ Kcal}$$

$$\text{De (2): } A = 4165 \text{ M}^2$$

| LMTD: | <u>Salm. en</u> <u>expansión</u> | - | <u>Salm. en</u> <u>compresión</u> | = | | = | ΔT_1 |
|-------|-------------------------------------|---|--------------------------------------|---|-----|---|---------------------------|
| | 71.5 | - | 66.8 | = | 4.7 | = | ΔT_1 |
| | 62.7 | - | 61.9 | = | 0.8 | = | ΔT_2 |
| | | | | = | 3.9 | = | $\Delta T_1 - \Delta T_2$ |

$$LMTD = \frac{3.9}{2.3 \log (4.7/0.8)} = 2.215^\circ\text{C}$$

$$A \cdot LMTD = 4165 (2.215) = 9230 \text{ M}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Iguualando (1) y (2):

$$Q = Q$$

$$92.3 \times 10^5 = 92.3 \times 10^2 U$$

$$U = \frac{92.3 \times 10^5}{92.3 \times 10^2} = 1.0 \times 10^3 = 1000$$

$$U_{EV-5} = 1000 \text{ Kcal/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} = 205.0 \text{ BTU/ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

U_{EV-6} :

De (1): m = 43.776 x 10⁵ Kg; ΔT = 61.9 - 46.9 = 15°C

Cp = 0.955 Kcal/Kg °C

Sustituyendo valores en (1):

Q = (43.776 x 10⁵) (0.955) (15) = 630 x 10⁵ Kcal

De (2):

A = 4165 m²

| LMTD: | <u>Salm. en expansión</u> | - | <u>Salm. en compresión</u> | = | 1.2 | = ΔT ₂ |
|-------|---------------------------|---|----------------------------|---|------|------------------------|
| | 63.1 | - | 61.9 | = | 7.6 | = ΔT ₁ |
| | 54.5 | - | 46.9 | = | -6.4 | = ΔT ₂ - ΔT |

LMTD = $\frac{-6.4}{2.3 \log (1.2/7.6)}$ = 4.78 °C

Igualando (1) y (2):

Q = Q

m Cp ΔT = U A LMTD

630 x 10⁵ = U (4165) (4.78)

630 x 10⁵ = 19.95 x 10³ U

U = $\frac{630 \times 10^5}{19.95 \times 10^3}$ = 3150 Kcal/ m² °C

U_{EV-6} = 3150 Kcal/m² °C = 645 BTU/ft² °F

$U_{EV-7}:$

De (1): $m = 43.776 \times 10^5 \text{ Kg}; \Delta T = 46.9 - 44.3 = 2.6^\circ\text{C}$

$C_p = 0.955 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$

Sustituyendo valores en (1):

$Q = 43.776 \times 10^5 (0.955) (2.6) = 108.87 \times 10^5 \text{ Kcal}$

De (2):

$A = \text{No. de tubos} \times (\text{longitud/tubo}) (\text{área exterior/ft lineal})$

(factor de conversión) = $2650 \times 48' \times 0.1963 \text{ ft}^2/\text{ft lineal}$
 $\times \frac{(30.48 \text{ cm})^2}{1 \text{ ft}^2} \times \frac{1 \text{ m}^2}{1 \times 10^4 \text{ cm}^2} = 2315 \text{ m}^2$

(0.1963 ft²/ft lineal.- dato de: Tabla 10 Pg. 948 "Proc. de Transf. de Calor".- Kern, Donald.)

| LMTD: | <u>Salm. en expansión</u> | - | <u>Salm. en compresión</u> | = | 5.8 | = ΔT_2 |
|-------|---------------------------|---|----------------------------|---|-----|-----------------------------|
| | 52.7 | - | 46.9 | = | 5.8 | = ΔT_2 |
| | 46.5 | - | 44.3 | = | 2.2 | = ΔT_1 |
| | | | | | 3.6 | = $\Delta T_2 - \Delta T_1$ |

$LMTD = \frac{3.6}{2.3 \log (5.8/2.2)} = 3.715^\circ\text{C}$

$A \cdot LMTD = 2315 (3.715) = 86 \times 10^2 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

Igualando (1) y (2):

$Q = Q$

$m C_p \Delta T = U A LMTD$

$108.87 \times 10^5 = 86 \times 10^2 U$

$U = \frac{108.87 \times 10^5}{86. \times 10^2} = 1272 \text{ Kcal/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

-60-

$$U_{EV-7} = 1272 \text{ Kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} = 261 \text{ BTU/ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$U_{\text{cal D}}$: -61-
salm.

De (1): $m = 43.776 \times 10^5 \text{ Kg}$; $\Delta T = 104.6 - 96 = 8.6^\circ\text{C}$

$C_p = 0.955 \text{ Kcal/ Kg } ^\circ\text{C}$

Sustituyendo valores en (1):

$Q = 43.776 \times 10^5 (0.955) (8.6) = 359.55 \times 10^5 \text{ Kcal}$

De (2):

$A_T = \text{No. de tubos} \times \text{longitud} \times \text{área/ft lineal} = 3240 \times 30' \times$

$0.1963 \text{ ft}^2/\text{ft lineal} \times \frac{(30.48 \text{ cm})^2}{1 \text{ ft}^2} \times \frac{1 \text{ m}^2}{1 \times 10^4 \text{ cm}^2} =$

$= 1923 \text{ m}^2$

(0.1963 ft²/ft lineal.- Dato de: Tabla 10 Pg. 948
"Proc. de Transf. de calor".- Kern, Donald.)

| LMTD: | Vapor | Salm. en compresión | | | |
|-------|-------|------------------------|---|------|-----------------------------|
| | 120 | - 104.6 | = | 15.4 | = ΔT_2 |
| | 117 | - 96.0 | = | 21.0 | = ΔT_1 |
| | | | | -5.6 | = $\Delta T_2 - \Delta T_1$ |

$LMTD = \frac{-5.6}{2.3 \log (15.4/21)} = 18.04^\circ\text{C}$

$A \cdot LMTD = 34.65 \times 10^3 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Igualando (1) y (2):

$Q = Q$

$m C_p \Delta T = U A LMTD$

$U = \frac{m C_p}{A \cdot LMTD} = \frac{359.55 \times 10^5}{34.65 \times 10^3} = 1036 \text{ Kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$U_{\text{cal D}} = 1036 \text{ Kcal/ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} = 213 \text{ BTU/ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$
salm.

d) MATERIALES DE CONSTRUCCION.

Los evaporadores son de acero al carbón de su parte externa.

La charola que conduce el destilado es de acero inoxidable.

Los tubos de los condensadores son de Cu-Ni 90-10, de 3/4", siendo la cubierta de los tubos de acero al carbón. La longitud total de tubería de los condensadores es de 1 092 Km.

Las entradas y salidas de los condensadores están forradas por dentro con lámina de Cu-Ni 90-10 de 1/8".

La E-1 está recubierta de acero inoxidable de 1/8" para protegerla de las corrientes producidas por el oxígeno que entra con la salmuera en expansión.

Las etapas 2 y 5 están recubiertas de una pintura que las protege de las corrosiones.

Todos los evaporadores están cubiertos por fuera (a excepción del No. 9) con asbesto, 4" de espesor.

Las tuberías que van de evaporador a evaporador son de acero al carbón y todas están cubiertas de asbesto (2" de espesor), a excepción de la línea del destilado.

La tubería del agua de suministro es de fierro; la de recirculación de salmuera de fierro y la de repuesto de fibra o de vidrio.

Las bombas de agua de recirculación, suministro y repuesto tienen impulsores de acero inoxidable.

Los condensadores del banco de eyectores son de GRAHAMITE P.

En los eyectores el orificio de entrada de vapor es de acero inoxidable; la cámara de aire, de acero; y el difusor, de bronce.

e) CONTROL QUIMICO.

En cada módulo se lleva un control de las siguientes variables:

pH.- se determina por medio de un medidor de pH modelo PBL marca "Sargent-Welch Scientific, Co." el procedimiento es el siguiente;

En un vaso de precipitados se vierte el agua a la que se le determinará el pH. Enseguida se le introduce el electrodo de prueba. Antes de disparar el botón de "Read" (lectura), debe ponerse el aparato a la temperatura del líquido que se va a probar. Calibrado el aparato a la temperatura del líquido de prueba y teniendo en estado de agitación el citado líquido, se gira el botón de lectura. En la "Escala de Lectura" se observará el pH correspondiente al líquido de prueba.

Las determinaciones de pH se le hacen a las siguientes aguas:

| | Mín. | máx. |
|----------------------|------|------|
| a.- De destilado | 7.9 | 8.9 |
| b.- De recirculación | 7.5 | 7.9 |
| c.- De repuesto | 5.6 | 6.2 |

1.- Alcalinidad. La lectura de pH se multiplicará por 10. Se le hace al agua de repuesto (bomba P-03); al desgasificador a la entrada de salmuera al (EV-8) y al destilado.

2.- Determinación de concentración de CO₂. Se le hace al desgasificador. Los límites son 7-8 p.p.m. Procedimiento.- La lectura de pH se multiplica por 5.

3.- Concentración de cloruros (Cl^-); se determina en el -
desgasificador y a la entrada de salmuera del evaporador No. 8 - -
(EV-8). El procedimiento se lleva a cabo en el siguiente orden:

En un matraz aforado de 100 ml., se vierte 1 ml. de mues-
tra, enseguida se afora a 100 ml. con agua destilada. Hecho lo ante-
rior, se toman 25 ml. de esa solución para determinar Cl, 25 ml. se
tirarán y 50 ml. se utilizarán para determinar $\text{SO}_4^{=}$.

Los 25 ml. correspondientes a la determinación de Cl se -
colocan en un matraz erlenmeyer, se agita la solución mecánicamente.
Enseguida se le agragan unas gotas de indicador hasta coloración --
azul (indicador para Cl^-). Se hace a base de 62.5 mg. de difenilcar-
bozona + 7.5 mg. de Xylencyanole F.F., se mezclan estos dos polvos,
posteriormente se disuelven en 25 ml. de alcohol isopropílico. En-
seguida, se le agrega HNO_3 dil., para que baje el pH (hasta colora-
ción verde esmeralda), hecho lo anterior, se titula con HgNO_3 0.0282 N
a color morado.

p.p.m. = ml. gastados de HgNO_3 X 4000

Se multiplica por 4000 porque se tomó primeramente alícuo-
ta de 1 ml. equivalente a $\frac{1}{1000}$ lt.; después de 100 ml., se tomó la -
cuarta parte (25 ml.) por eso se multiplica por 4000.

4.- Concentración de sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$). Determinación lleva-
da a cabo en el desgasificador y a la entrada de salmuera del evapo-
rador No. 8 (EV-8). Procedimiento.- 50 ml. correspondientes a la de-
terminación de $\text{SO}_4^{=}$ (mencionados en la determinación de Cl^-) + 5 ml. -

de solución de glicerina al 50% (glicerina de agua) se hace ésto pa
ra tener un medio más viscoso.

Después 5 ml. de solución de NaCl - HCl - H₂O (240g NaCl +
20 ml. HCl y se afora a un litro con agua). Enseguida se agrega BaCl₂
para producir:



En el espectrofotómetro:

Hecho lo anterior, en una celda de cuarzo tallado de 1 cm.
se vierte la solución anterior. El blanco para SO₄ es agua destila-
da. La lectura se lleva a cabo utilizando una longitud de onda de
390 milimicras, se observa la escala correspondiente a "absorbancia".
Hecha la lectura, se pasa a una gráfica de: lectura v.s. escala.



Escala
Valor X 100= p.p.m.

Lectura

5.- Concentración de calcio (Ca⁺⁺). Se determina también
en el desgasificador y a la entrada de salmuera del evaporador No. 8
(EV-8) .

Procedimiento.- En un matraz erlenmeyer se vierten 5 ml. -
de muestra más agua (aproximadamente 25 ml.). Enseguida, se le agre-

ga 1 ml. de solución de tioacetamida 1 M. Hecho ésto, se calienta sin hervir. Se deja enfriar. Fría la solución, se agregan 5 ml. de NaOH dil + 5 ml. de NH_4OH (Objeto: subir el pH a más de 11 y - precipitar el magnesio). Se afora a 50 ml. con agua destilada, enseguida se agrega indicador "Calvert II" hasta dar un color rosa. Se titula con EDTA 0.01 M hasta coloración azul.

p.p.m. = ml. de EDTA X 80

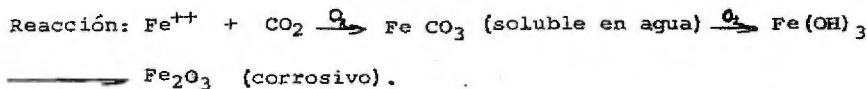
80: factor de miliequivalente X Normalidad de EDTA/cantidad de muestra.

Ca^{++} y $\text{SO}_4^{=}$ son los que producen incrustación.

6.- Concentración de fierro (Fe^{++}). Es un método colorimétrico. Se determina para la entrada de salmuera en el evaporador No. 8 (EV-8) y en el destilado.

Procedimiento.- Se vierten 50 ml. en un vaso de precipitados más 4 gotas de HCl concentrado (hasta tener un pH menor a 3.5 porque, es donde se desarrolla el color) más 1 ml. de hidroxilamina (re_{duce} los iones Fe^{+++} a Fe^{++}) más dos bolitas de vidrio (para facilitar la ebullición). Enseguida, se hierve por espacio de 15 minutos, -- (hasta que se reduce el volumen a menos de la mitad). Después, se agregan 10 ml. de solución buffer + 1 ml. de fenantrolina produciéndose un color rojo-naranja. Se afora a 100 ml. con agua destilada. De blanco, se utiliza la muestra que esté más clara. La lectura a 510 milimicras de longitud de onda se hace de absorbancia, es la concentración en p.p.m. porque la recta de: lectura vs. concentración -

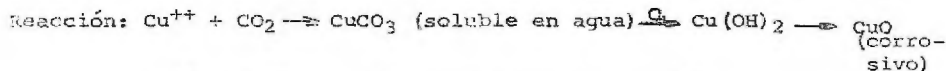
es una recta con pendiente = 1.



7.- Concentración de cobre (Cu^{++}). "Método Colorímetro".

Se determina en la salmuera de entrada al evaporador No. 8 (EV-8) y en el destilado.

Procedimiento.- Se vierten 100 ml. de muestra en un vaso de precipitados, enseguida se ajusta el pH de 4-6 con HNO_3 0.1 Después se le agrega al mismo tiempo, 5 ml. de hidroxilamina más 5 ml. de citrato de sodio. Se agita, se vierten 5 ml. de neocuproine (solución de coloración amarilla). Se agregan 10 ml. de cloroformo y se hace una extracción de un embudo de separación. Para esto, entre la adición de CCl_3 y la extracción deben transcurrir 30 minutos por lo menos. Debe ponerse cuidado en que sólo pase la solución coloreada. La extracción se pone en un matraz aforado de 50 ml. Se afora a 50 ml. con alcohol isopropílico. Se agita, se vierte en una celda de 10 cm. de longitud. Se lee con una longitud de 457 milimicras, en el espectrofotómetro (el blanco para el aparato, en este caso, está formado por 20% de CCl_3 y 80% de alcohol isopropílico. La lectura, en la escala de absorbancia se lleva a una gráfica de Lectura vs. concentración donde se encuentran las p.p.m. de cobre.



Fe^{++} y Cu^{++} son los que producen corrosión.

Las determinaciones colorimétricas en el espectrofotómetro

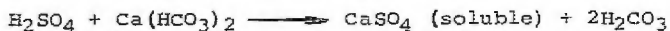
se rigen por la Ley de Lambert-Beer.

f) TRATAMIENTO QUIMICO.

El tratamiento químico en la planta desaladora "Tijuana" consiste en la adición de ácido sulfúrico (H_2SO_4), sosa ($NaOH$), sulfito de sodio (Na_2SO_3) y antiespumante.

1.- Acido sulfúrico. El agua de mar es altamente alcalina (agua de suministro), ésto implicaría, de conservarse intacta, que al entrar a los evaporadores produciría incrustaciones de $Ca(HCO_3)_2$ principalmente, en las tuberías de cobre-níquel de los condensadores, obstruyéndolos posteriormente e inutilizando la operación de la planta.

Con el fin de eliminar este problema, se agrega ácido sulfúrico al 100% al agua de repuesto. La reacción que se produce es la siguiente:



Esta reacción está controlada por el pH, se efectúa a un pH de 6.0 (pH de diseño) o sea que, el agua de repuesto, para los fines de la desaladora, debe mantener un pH promedio de 6.0

La inyección de ácido sulfúrico se ilustra a continuación, donde: F, es filtro; V S, válvula de seguridad de 60 lb/in² ; VS', válvula de seguridad de 125 lb/in² ; R, rotámetro. Los números 1, 2, 3 y 4 indican partes inferiores del desgasificador. Las tuberías

que llegan a estos puntos son de 3/4". Como podrá apreciarse existen tres vías/módulo para inyectar el ácido sulfúrico al agua de re- puesto; además, existen dos conexiones para el otro módulo. Existe un solo depósito para abastecer las dos unidades; la capacidad de este depósito es de 10,000 gal.

Los motores de las bombas son:

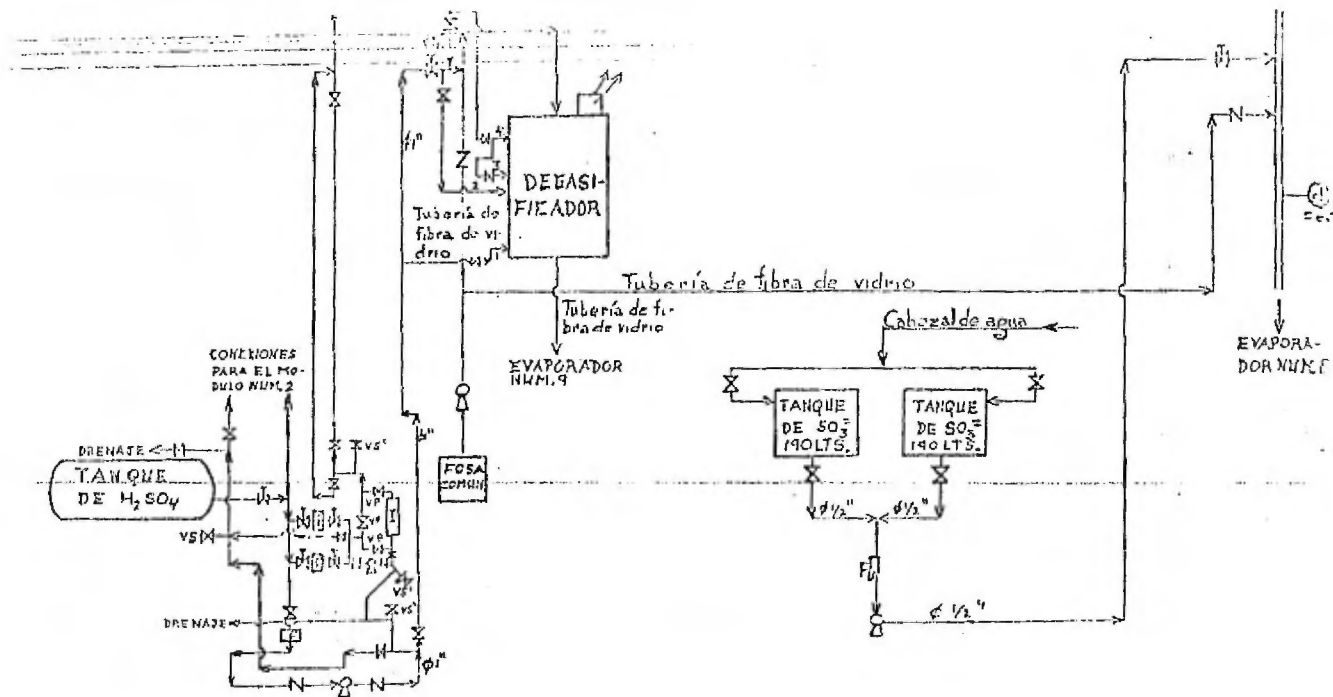
| | |
|-------------------------|--------------------|
| Marca: General Electric | Potencia: 1/3 H.P. |
| Ciclos: 60 | R.P.M.: 1725 |
| Fase: 1 | Voltaje: 115/230 |

Bombas:

| | |
|-----------------|-----------------------|
| Marca: Milroyal | Capacidad: 35 gal/hr. |
|-----------------|-----------------------|

2.- Sosa. El producto (destilado) es de bajo pH teniendo al ácido. Es por ésto que se necesita incrementar el mismo desde la primera etapa. Porque, a un pH menor a 8, las cajas de los evaporadores se corroen (están hechas de fierro) y éste es atacado por un medio que posea un pH menor a 8. Las condiciones de diseño imponen para el producto un pH de 8.3 Los límites de operación en el producto son: 7.9-8.9.

La sosa que se utiliza, viene del mercado al 50%. Con ésta se hace una solución 1:10 en agua. Se inyecta por medio de una bomba Milroyal con capacidad de 122 gal/hr. Las propiedades del motor son:



-INYECCION DE H_2SO_4 -

-INYECCION DE Na_2SO_3 -

Marca: Relance

Fases: 1

Potencia: 1/3 H.P.

Voltaje: 115/230

R.P.M.: 1725

Frecuencia: 60 ciclos.

La sosa se encuentra en dos tanques (tanque/módulo) con una capacidad de 500 lts. cada uno. Va a la etapa No. 1 por medio de una tubería de 1".

3.- Sulfito de sodio. Se ha observado que el oxígeno a altas temperaturas es muy corrosivo. Un ejemplo de esto es que la etapa No. 1 fué recubierta en su parte interior por acero inoxidable de 1/8" porque la corrosión del oxígeno estaba produciendo perforaciones en los lugares donde el flujo de salmuera caliente, al entrar en la etapa No. 1 (E--1), pegaba violentamente.

El objeto de la adición de sulfito es con el fin de disminuir el efecto corrosivo del oxígeno, combinándolo de la siguiente forma:



Esta reacción se rige por un pH de 7.4 (pH de diseño). Los pH de operación son (7.5-7.9).

La prueba de concentración de sulfitos se lleva a cabo después de la bomba de recirculación de salmuera y antes de la etapa 40.

Después de la bomba de recirculación de salmuera deben ser

como mínimo 0.10 p.p.m. de SO_3^{--} y antes de entrar a la etapa 40 los límites son: 0.30 - 0.40 p.p.m.

El sulfito se agrega por medio de unas bombas (1/unidad) marca Milroyal. Las características de su motor son:

| | |
|--------------------|------------------|
| Marca: Relance | Voltaje: 115/230 |
| Potencia: 1/3 H.P. | Ciclos: 60 |
| R.P.M.: 1725 | Fases: 1 |

4.- Antiespumante. La adición de antiespumante se rige por la conservación constante de un nivel dado en cm. de la fosa desgasificadora. A un nivel de 56 cm. por ejemplo, corresponde un nivel de 212 lts. En estas condiciones se tiene la fosa llena. Por lo tanto, si se tiene un nivel de 54 cm. este corresponderá a 209.52 lts. de volumen. Por lo tanto, deberá agregarse:

$212 - 209.52 = 2.48$ lt. de antiespumante para conservar el nivel de 212 cm.

El pH neutro de la planta desaladora es 7.9 o sea que, con este pH, no hay peligro de corrosión ni de incrustación.

3) "OPERACION E INSTRUMENTOS DE CONTROL"

Operación.- Describiré en una forma general, cómo se lleva a cabo un arranque inicial de módulo.

Primeramente, se enérgiza el módulo cerrando el bus de - 4160 y 480 para la bomba P-01 y los demás motores, respectivamente. Además deben estar cerradas las entradas de hombre del módulo. Se - arranca la bomba P-02 (agua de suministro); se procede, enseguida, a arrancar la bomba P-03 (agua de repuesto) para llenar el módulo (tubos de los condensadores) por medio de la tubería de fibra de vi - drio II, brazo B (fig. 1-C). A esta bomba se le hace vacío con el eyector de arranque. Después de llenar el módulo se pone en servicio el eyector de arranque en la forma ya descrita en tal forma que cuan - do se tienen 55 cm. de Hg de vacío, se pone en servicio el sistema - de eyectores y se saca de servicio el eyector de arranque. Cuando se tienen 76 cm. de vacío, se comunica la válvula L₁ - 01V (válvula que permite el paso del agua de repuesto a la etapa 44). Estabili - zados los flujos, o sea que deben estar bien venteadas las cajas de los condensadores y el calentador de salmuera; los niveles de las - diferentes aguas (desgasificado, destilado y condensado) se procede a arrancar la bomba P-01 (agua de recirculación de salmuera). Cuan - do el agua de salmuera tiene 55°C, se empieza a dosificar el ácido - por medio de la bomba P-06 y sulfito por la P-09. Cuando ya hay con - densado en el pozo caliente del calentador de salmuera, se retorna

el condensado al deareador de la unidad termoeléctrica que mandó el vapor.

El primer producto que hay se drena siempre; cuando baja la conductividad se manda el producto a los tanques de almacenamiento por la bomba P-04. A este producto (agua destilada) se le dosifica NaOH a partir de la E-1, para elevar el pH.

Cuando ya hay producto, se empieza a agregar antiespumante para bajar la espuma en la fosa degasificadora.

TABLERO DE LA SALA DE CONTROL.

En la sala de control de la planta desaladora existen dos tableros, uno/módulo. Describiré en forma general los instrumentos que existen en cada uno de ellos.

Primeramente, se encuentran unos registradores de nivel:

- a) a la salida del degasificador.
- b) a la salida del destilado, o sea al nivel de destilado en E-44
- c) a la salida del condensado, indica el nivel de condensado en el pozo caliente del condensador de salmuera.

Enseguida, tres registradores de flujo, dos de temperatura uno de presión y otro de pH. Los siete son de la misma casa comercial, ésta es Honeywell. Los numeraremos del 1 al 7.

1.- La pluma verde indica flujo del agua de suministro; la

azul, agua de recirc. de salmuera, ambas registran m^3/hr . Para éste la lectura debe multiplicarse por 10.

2.- Registra flujo de repuesto. La lectura por 10 = m^3/hr de agua de repuesto.

3.- Registra flujo de condensado (pluma verde) y flujo de destilado. Ambos se leen directamente en m^3/hr .

4.- Registra temperatura de: salmuera a la E-40 (pluma verde); temperatura de salmuera a E-1 (pluma azul) y temperatura de salmuera a E-5.

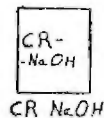
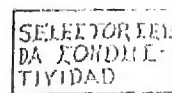
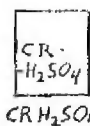
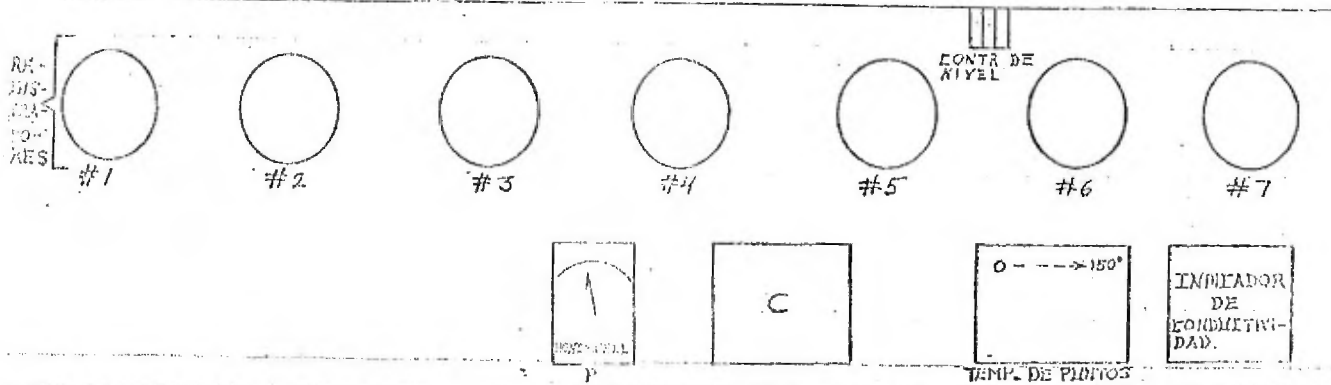
5.- Registra la temperatura del agua de suministro a la entrada y salida.

6.- Registra presiones de:

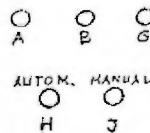
- a) Todas las cámaras o sea el vacío (pluma lila)
- b) Presión en la envolvente del calentador
- c) A la salida de la salmuera del calentador (1.6 - Kg/cm^2 aprox.)

7.- Registra el pH de las aguas de: repuesto, recirculación de salmuera y destilado.

TABLERO DE CONTROL DE UN MÓDULO



ARRANCADORES DE BOMBAS Y VALVULAS



Registro de conductividad del destilado.

10.- El "Selector celda de conductividad" consta de un botón giratorio abarcando una numeración del 1 al 10. Aquí se selecciona el punto al cual se desea determinar su conductividad. Por ejemplo, se selecciona el punto No. 7. Este se multiplica por 5 -- porque en cada evaporador existen 5 etapas, $7 \times 5 = 35$.

20.- Enseguida, se ve en la tabla "Temperatura-puntos registrados-localización de cámara" qué número está más próximo a 35 en la columna de "Localización de la cámara". Se ve, en nuestro ejemplo que es 36.

| <u>°C</u> | | <u>Puntos re-</u> <u>gistrados.</u> | <u>Localización</u> <u>de cámara No.</u> |
|-----------|----|--|---|
| 109.1 | 1 | V-101 | 1 |
| 99.3 | 2 | V-102 | 6 |
| 89.4 | 3 | V-103 | 11 |
| 79.7 | 4 | V-104 | 16 |
| 70.2 | 5 | V-105 | 21 |
| 62.7 | 6 | V-105 | 25 |
| 61.0 | 7 | V-106 | 26 |
| 51.9 | 8 | V-107 | 31 |
| 43.1 | 9 | V-108 | 36 |
| 36.6 | 10 | V-109 | 40 |
| 34.9 | 11 | V-110 | 41 |
| 21.5 | 12 | Conmutador | 44 |

3o.- En la misma dirección del 36 pero bajo la columna de "puntos registrados", se ve que se encuentra el No. 9.

4o.- A este No. 9 corresponde en el aparato que registra los puntos del 1 al 12 (su escala es de 0-150°C; aparato Honeywell, calibrado para termopares tipo T) una temperatura de 45.5°C.

5o.- Enseguida, en el aparato "Indicador de conductividad", se marca con el botón de temperatura (escala de 21-105°C) la temperatura de 45.5°C.

6o.- Hecho lo anterior, se busca la mayor amplitud de - sombra en el ojo mágico por medio de un botón giratorio. Encontrando el objetivo, se ve en la escala (alrededor de la cual gira el - botón mencionado), la cantidad de micromhos de conductividad que - posee el evaporador deseado en este caso el No. 7

Límite de conductividad del destilado a la salida del - evaporador 9: 300 micromhos/cm. Valor límite para que el destilado sea enviado a los tanques de almacenamiento. Un valor mayor de conductividad, hace que el destilado sea enviado al drenaje.

(pluma verde: presión del calentador de salmuera).

CRH₂SO₄ .- (Controlador relación de alimentación de ácido sulfúrico). Regula la carrera de la bomba de H₂SO₄ por medio de presión de aire.

CR NaOH.- (Controlador relación alimentación de NaOH). Regula la carrera de la bomba de NaOH por medio de presión de aire.

Alimentación de NaOH.- Registro del tanto por ciento de carrera de la bomba de NaOH (escala de 0-100%).

N-1.- Abertura de la válvula de destilado. Se puede -- operar manual o automáticamente. Escala de 0-100% de apertura y - de 3-15 Psi de presión dada a la válvula. Cuando está en automá-- tico manda la aguja negra. En manual la roja.

N-2.- Abertura de la válvula de condensado. Se puede - operar manual o automáticamente. Escala de 0-100% de apertura y de 3-15 Psi de presión dada a la válvula. Cuando está en automá-- tico manda la aguja negra. En manual, la roja.

FRC.- Controlador flujo de repuesto. Se rige por el registro No. 2. Es el registro de la presión que soporta la válvula del flujo de repuesto. Escala de 3-15 Psi. Opera manual o automáticamente. Operando automáticamente, primero se fija la presión. En estas condiciones, a mayor presión de la fijada, se cierra la - válvula hasta igualar la presión fijada. A menor presión de la -- fijada, se abre la válvula hasta igualar la presión fijada.

Switch múltiple de temperatura.

El registrador de puntos está graficando constantemente 12 puntos (del 1 al 12).

El "Switch de puntos" tiene marcados 27 posibles registros de temperatura. Para operar, se procede de la siguiente manera:

Se debe esperar a que el registrador grafique el punto No. 12. Logrado ésto, se apaga el aparato -switch en off- y en estas condiciones se pueden hacer las lecturas de cualquiera de los 27 puntos que no grafica el "registrador de temperatura".

C.- Registrador de conductividad. Del destilado (pluma roja). La lectura multiplicada por 10 nos dá los micromhos del destilado. La lectura de la pluma lila da la conductividad del condensado, directamente en micromhos.

P.- Presión del calentador de salmuera. Escala de 3-15 Psi. Es el registro de la presión que está soportando la válvula que se encuentra a la entrada del vapor. Se puede manejar dicha presión manual o automáticamente.

En el caso de manejarse automáticamente, a mayor presión de vapor se cierra la válvula hasta igualar la presión fijada y a menor presión se abre.

El punto seleccionado para este registrador está supeditado a lo que se desea de acuerdo a la gráfica del registrador No. 6

F A A M.- (Controlador de flujo de alim. de agua de mar). Está regido por el registro No. 1 (pluma verde). Es el registro de la presión que soporta la válvula de alimentación de agua de mar. - Escala de 3-15 Psi. Opera manual o automáticamente.

Operando automáticamente, primero se fija la presión. En estas condiciones, a mayor presión de la fijada se abre la válvula hasta igualar la presión fijada; a menor presión de la fijada se cierra la válvula hasta igualar la presión fijada.

F S R.- (Flujo de recirculación de salmuera). Está regido por el registro No. 1 (pluma azul). Registra la presión de la válvula de recirculación de salmuera. Escala de 3-15 Psi. Opera manual o automáticamente.

Operando automáticamente primero se fija la presión. En estas condiciones, a mayor presión de la fijada, se abre la válvula hasta igualar la presión fijada; a menor presión de la fijada, se cierra la válvula hasta igualar la presión fijada.

AMERS.- Amperímetro del motor de la bomba de recirculación de salmuera. Escala de 0-200 amperes AC (lectura: 120 A).

ABAAM.- Amperímetro del motor de la bomba de agua de alimentación de agua de mar. Escala de 0-400A (Lectura: 250 A).

AER.- Amperímetro del motor de la bomba de repuesto. Escala de 0-200 A (lectura: 85 A).

ABD.- Amperímetro del motor de la bomba de destilado.
Escala de 0-400 (lectura: 210 A).

ABC.- Amperímetro del motor de la bomba de condensado.
Escala de 0-100 (lectura: 47 A).

Registadores de flujo (RF):

- 1.- Recirculación.
- 2.- Repuesto.
- 3.- Suministro.
- 4.- Destilado.
- 5.- Condensado.

Arrancadores de bombas.- De alimentación de agua de mar.
(suministro), repuesto, destilado, condensado, ácido sulfúrico, -
sosa, sulfito de sodio y soplador.

Válvulas.- De condensado a deareadores, de condensado al
drenaje, de destilado a los tanques de almacenamiento, de destilado
al drenaje, válvula de recirculación de salmuera, válvula de alimen
tación de agua de mar (suministro).

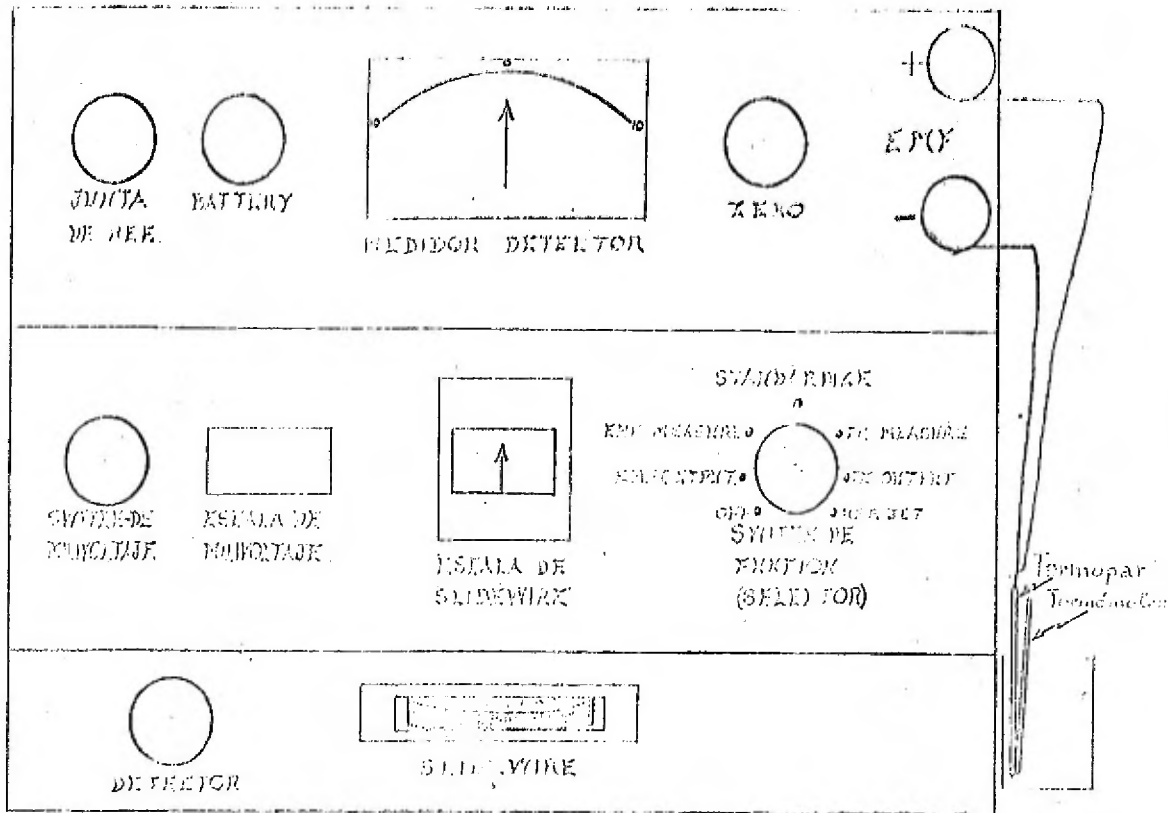
G.- Prueba de la alarma.

A.- Botón para quitar la alarma.

B.- Botón para ver realmente qué está fallando.

H.- Botón para operar manual o automáticamente el destila-
do.

J.- Válvula de reposición.



8690-2 Milivolt Potentiometer

PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD DE TERMOPARES HECHAS
EN LA PLANTA DE DOBLE PROPOSITO "TIJUANA".

Se hicieron utilizando un aparato denominado "8690-2 Millivolt Potentiometer".

Haré una breve descripción de él y enseguida, cómo se procede para probar un termopar.

Este aparato es un potenciómetro portátil de baterías-operación simple-doble rango diseñado para mediciones de temperatura, por medio de termopares, dentro del rango de -11.0 a + 101.0 milivolts. También puede usarse para revisar pirómetros de termopares en el laboratorio y planta y como una fuente de voltaje calibrado.

Básicamente, el potenciómetro consta de un switch de millivoltaje, brazo (del puente de Wheatstone) de contacto corredizo (SLIDEWIRE) y un switch de función. Un tornillo eléctrico detector y una celda estándar, y circuito de baterías para el potenciómetro y detector están incluidos en el potenciómetro.

Medición exterior con termopar.

a) Sin compensar.

1o.- Se coloca el switch de función o selector en "STANDARDIZE".

2o.- Se pone la aguja de "MEDIDOR DETECTOR" en cero por medio del botón "ZERO".

3o.- Se oprime el botón "DETECTOR" y se ajusta el cero en el "MEDIDOR DETECTOR" por medio del botón "BATTERY".

4o.- Se suelta el botón "DETECTOR", logrado lo anterior,

5o.- Se marca con el selector, la posición "EMF MEASURE"

6o.- Se oprime el botón "DETECTOR" y enseguida (sin dejar de oprimir éste), con el "SLIDEWIRE" y el switch de mv, se busca que la aguja del "MEDIDOR DETECTOR" marque cero.

7o.- Logrado ésto, se lee en la "ESCALA DE SLIDEWIRE" y "ESCALA DE MV", el mv.

8o.- Enseguida, se ve en el termómetro del medio ambiente, qué temperatura marca.

9o.- Con la temperatura mencionada, se va a las tablas correspondientes al termopar que se usó; buscando el mv a esta temperatura.

10o.- El mv encontrado en las tablas se suma al mv leído en la "ESCALA DE SLIDEWIRE" y en la "ESCALA DE MV". Siendo el resultado de dicha suma, el milivoltaje total.

11o.- Con este mv total, se va de nuevo a las mismas tablas antes mencionadas y, con este valor de mv, se busca la temperatura correspondiente.

12o.- Esta temperatura encontrada, debe ser igual a la temperatura del termómetro que se encuentra en el líquido, unido al termopar.

b) COMPENSANDO:

Son iguales los pasos 1o. - 4o.

5o.- Se marca con el botón selector la posición "REF JCT".

6o.- Se ve en el termómetro del medio ambiente, la temperatura que impera.

7o.- Con esa temperatura se va a las tablas correspondientes al termopar que se está usando y se encuentra su mv.

8o.- Este mv es marcado con el "SLIDEWIRE" y el "SWITCH DE MV" en la "ESCALA DE SLIDEWIRE" y "ESCALA DE MV".

9o.- Se oprime el botón "DETECTOR" (en esta posición se deja hasta lograr lo siguiente). Se busca que la aguja del "Medidor Detector" marque cero girando el botón de "Junta de referencia".

10o.- Logrado lo anterior, se marca la posición "TC MEASURE"; y se oprime el botón "DETECTOR".

11o.- Sin dejar de oprimir el botón "DETECTOR", se busca que la aguja del "MEDIDOR DETECTOR" marque cero girando los botones de "SWITCH DE MV" y "SLIDEWIRE".

12o.- Alcanzado el objetivo, se lee en las escalas de mv y de Slidewire, el mv total (= suma de los dos voltajes).

13o.- Con este mv total, se va a las tablas ya mencionadas y se lee la temperatura correspondiente a este mv total.

14o.- Esta temperatura debe coincidir con la marcada en el termómetro que se encuentra junto al termoparen en el recipiente.

I.- Cómo convertí milivoltaje a temperatura equivalente usando las tablas de conversión de la casa "HONEYWELL".

1o.- Se apunta la lectura del pirómetro (en milivolts) y el tipo de termopar utilizado.

2o.- La temperatura de la junta de referencia tomada por un termómetro, en °F.

3o.- En la tabla para termopares tipo X, se busca el milivoltaje correspondiente (basado sobre una junta de referencia de - 32°F), a la temperatura de la junta de referencia determinada en - el paso segundo.

4o.- Sumar algebraicamente el valor obtenido en el paso No. 3, a la lectura del paso No. 1.

5o.- Con el milivoltaje obtenido, se va a las tablas para el tipo de termopar usado y se busca la temperatura correspondiente a ese milivoltaje.

II.- Cómo convertí temperatura a su milivoltaje equivalente utilizando las tablas de conversión "HONEYWELL".

1o.- Se determina la temperatura en °F, a la cual se desea calibrar el instrumento y el tipo de termopar utilizado.

2o.- Se determina la temperatura de las terminales interiores del aparato en °F.

3o.- Se lee en las tablas correspondientes al termopar - tipo utilizado, el milivoltaje de las determinaciones de los pasos

primero y segundo de temperatura (basados en una junta de referencia de 32°F)

40.- Se le resta, algebraicamente, al milivoltaje correspondiente a la temperatura del primer paso el perteneciente a la temperatura del segundo paso. Este será el milivoltaje buscado.

CONCLUSIONES

=====

PROCESO

=====

"A"

===

Al pasar un cuerpo del estado líquido al estado de vapor puede hacerlo de tres maneras:

a) Por evaporación, que se hace a cualquier temperatura y en presencia de otro gas.

b) Por la vaporización, como sucede en el vacío, o sea - evaporándose instantáneamente.

c) Por ebullición, que es la evaporación en el seno del mismo líquido.

Tanto la evaporación como la vaporización, tienen sus - leyes respectivas. A continuación se anotan cada una de ellas:

Leyes de la Evaporación "En presencia de un gas".

a) La velocidad de evaporación de un líquido aumenta -- cuando la temperatura se eleva.

b) Aumenta cuando se renueva la atmósfera que cubre a la superficie líquida.

c) Es directamente proporcional a la diferencia $P_m - P_a$, - en donde P_m es la presión máxima del vapor y P_a la presión que obra sobre el vapor. En realidad esta Ley comprende a las otras dos, - pues si se eleva la temperatura (primera ley) aumenta P_m y si se - renueva la atmósfera (segunda ley) disminuye P_a porque el ambiente saturado se sustituye por otro seco.

d) La velocidad de evaporación de un líquido es directamente proporcional a la superficie libre.

LEYES DE LA VAPORIZACION (EN EL VACIO).

a) Todo líquido tiende a emitir vapores instantáneamente hasta que su atmósfera está saturada.

b) La presión máxima de los vapores de un líquido es independiente del volumen que ocupa, pues si se les comprime se condensan en parte y si se aumenta el volumen de manera que ya no queda líquido, no ejercen la presión máxima.

c) La presión máxima aumenta cuando aumenta la temperatura.

NOTA: Cuando se introduce un líquido en el vacío, se evapora inmediatamente, ya que no tiene que vencer la presión que -- ejerce el aire sobre la superficie del líquido.

De acuerdo al estudio realizado en la Planta Desaladora, se llegó a las siguientes conclusiones:

a) El proceso cumple parcialmente las leyes de la Evaporación (en presencia de un gas).

b) Su fundamento radica en las leyes de la Vaporización (en el vacío).

c) Es de vital importancia el control de temperatura a base de termopares, sobre la salmuera, en las fases E-40, E-1 y E-5. Así como también en el agua de suministro a la entrada y salida, sobre todo en el evaporador No. 9.

Esto es importante por las razones expuestas en la descripción del proceso.

d) El registro y control de temperatura (específicamente en termopar tipo T) influye indirectamente en la determinación de la conductividad. Siendo la conductividad, una de las variables fundamentales para conocer con exactitud el % de rendimiento del proceso.

P R O C E S O " B "
= = = = = < = =

PROCESO "B" : PLANTA PRODUCTORA DE AMINAS.
=====

1.- Generalidades.

2.- Química del Proceso:

- a) Reacciones de Obtención.
- b) Mecanismos de Reacción.
- c) Propiedades Físicas "Constantes".
- d) Usos.

3.- Proceso Químico. Generalidades:

- a) Reacción.
- b) Evaporación.
- c) Secado.
- d) Destilación.
- e) Refinación.

4.- Descripción del proceso de acuerdo al Diagrama de Flujo.

5.- Diagrama de Flujo.

6.- Conclusiones:

- a) Datos de los puntos críticos del proceso en donde se controlan las diferentes temperaturas y tipos de termopares usados.
- b) Consecuencias de la falta de control de temperatura en el proceso "Análisis por Equipo".

I.- GENERALIDADES.

Se llaman amidas, o amidocompuestos los derivados de - carácter orgánico que contienen el grupo " NH_2 ", unido a un radical ácido. Aminas son los compuestos derivados del amoníaco por substitución de uno o varios átomos de hidrógeno por éstos, alquílicos o arílicos.

Las aminas se dividen en tres clases:

- a) Primarias b) Secundarias c) Terciarias.

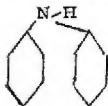
Diferenciamos unas de otras por el número de átomos de hidrógeno que han sido substituidos en el amoníaco por radicales orgánicos. Ejemplo:

Amina Primaria



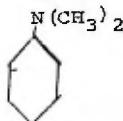
Anilina

Amina Secundaria



Difenil Amina

Amina Terciaria.



Dimetil-Anilina.

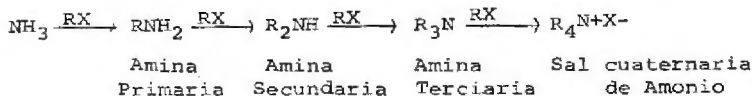
Existen métodos muy diversos para preparar las aminas. - En la práctica industrial se han de elegir los más convenientes, - dentro de los patentes de que se disponga, teniendo en cuenta los factores económicos propios de cada uno.

2.- QUIMICA DEL PROCESO.

a) Reacciones de Obtención:

=====

El método empleado para la preparación de aminas en la planta es el de Amonólisis. Este, consiste en tratar con amoníaco compuestos que contienen grupos nitrohábiles, grupos sulfónicos, - grupos hidroxilo, grupos carbonilo o átomos de halógeno. A continuación se anotan los pasos generales a seguir en una Amonólisis:

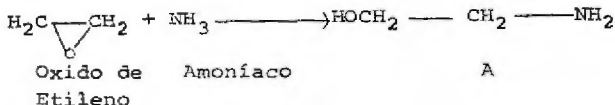


RX .- Puede ser un grupo Alquilo o Arilo.

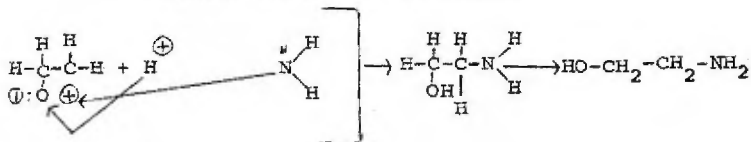
Ahora bién, las reacciones básicas de obtención en el proceso son:

- A.- Monoetanolamina
- B.- Dietanolamina
- C.- Trietanolamina.

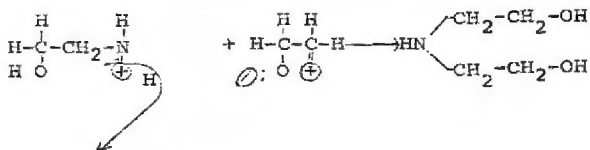
A.- MONOETANOLAMINA:



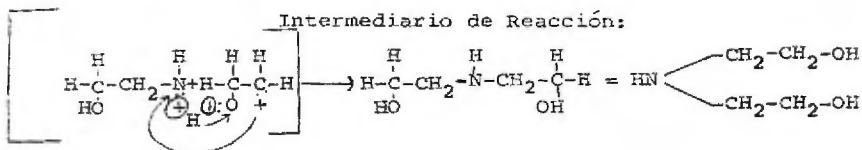
Intermediario de Reacción:



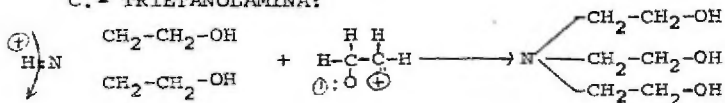
B. - DIETANOLAMINA:



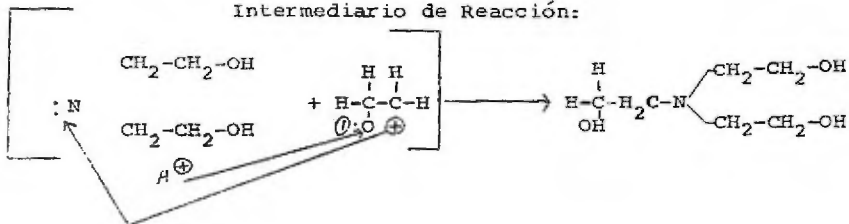
Intermediario de Reacción:



C. - TRIETANOLAMINA:



Intermediario de Reacción:



c) Propiedades Físicas (constantes)

Es importante aclarar que las aminas de cadena recta -
hieren a temperaturas ligeramente superiores a las que son ca-
racterísticas para los líquidos no asociados de peso molecular -
aproximadamente igual; mientras que la ramificación de las cade-
nas hace disminuir el punto de ebullición.

A continuación se anota un pequeño cuadro que incluye -
las constantes físicas más importantes para el proceso de obten-
ción en la planta de aminas:

A. - MONOETANOLAMINA B. - DIETANOLAMINA C. - TRIETANOLAMINA.

| AMINAS | PUNTO DE FUSION. | PUNTO DE EBULLICION (°C). | PESO MO-LECULAR. | PESO ESPE-CIFICO. |
|---|------------------|-----------------------------|------------------|-------------------|
| MONOETANOLAMINA $\text{NH}_2 - \text{C}_2\text{H}_4 - \text{OH}$ | 10.5 °C | 171°/757 mm | 61.08 | 1.022 |
| DIETANOLAMINA $\text{NH} - (\text{C}_2\text{H}_4 - \text{OH})_2$ | 28 °C | 270°/748 mm | 105.14 | 1.097 |
| TRIEFANOLAMINA $\text{N} - (\text{C}_2\text{H}_4 - \text{OH})_3$ | 21 °C | 279°/150 mm | 149.19 | 1.126 |

d) Usos de las Aminas.
=====

Con la posible excepción del alcohol industrial, son pocas las sustancias químicas orgánicas que tienen tan diversas aplicaciones como las etanolaminas. Su valor técnico es reconocido en todas las ramas de las industrias de fabricación y transformación.

Se usa comúnmente el término "etanolaminas" para designar las series de monoetanolamina, dietanolaminas y trietanolaminas. A continuación se indican los usos más generales de este grupo de Aminas.

La Trietanolamina es un excelente inhibidor de la corrosión; una de sus primeras aplicaciones fué en baños ácidos para desoxidar metales. Evita la corrosión por soluciones anticongelantes de alcohol en los metales de sistemas de enfriamiento de motores de automóviles y aeroplanos; y las sales de trietanolamina como el fosfato, evitan la corrosión por soluciones anticongelantes de glicoletilénico. Durante la segunda Guerra Mundial, aproximadamente 10% de toda la trietanolamina producida se consumió en refrigerantes de motores de aeroplanos. La trietanolamina en una base de aceite de manteca de cerdo o de aceite vegetal, ha sido recomendada para engrasar motores de aeroplanos con el fin de evitar la oxidación. Se incorpora asimismo en líquidos de frenos hidráulicos para inhibir la corrosión. Se usa

una mezcla de 50 : 50 de trietanolamina y dietanolamina en la formación de un compuesto para descarbonizar émbolos de motores de aeroplanos.

Las etanolaminas reaccionan fácilmente a la temperatura ordinaria con gases ácidos, como el sulfuro de hidrógeno y el dióxido de carbono. La monoetanolamina y la dietanolamina sirven para separar y recoger estos gases del gas natural, del gas de tubos de humo y de los gases de transformaciones. Por ejemplo: la monoetanolamina se usa para concentrar el dióxido de carbono en la fabricación de hielo seco.

Las etanolaminas combinadas con ácidos grasos, forman jabones que son muy usados en la industria como emulsivos y detergentes. Son casi neutros (pH aproximadamente de 8) y tienen la ventaja de ser solubles en agua y en hidrocarburos. Con estos jabones se preparan emulsiones oleoacuosas muy estables de muchos aceites, grasas y ceras, cuyas emulsiones se caracterizan por su pequeño tamaño de partícula, su falta de corrosividad y la facilidad de su preparación. Dos de los jabones de trietanolamina más usuales son el oleato y el estearato. Para la emulsificación se emplean 2 a 4% de trietanolamina y 5 a 15% de ácido oleico o esteárico, cantidades referidas al peso de material que se va a emulsionar. El oleato de trietanolamina, que tiene la consistencia del petrolato, es soluble en agua en todas proporciones, pero no lo es en gasolina en concentración de menos de -

2%. Las soluciones de este jabón en agua o en hidrocarburos tienen notable propiedad detergente. El estearato de trietanolamina es una substancia cerosa dura.

Son muy usuales los jabones de etanolamina como detergentes con hidrocarburos y como agentes detergentes y humectantes de textiles con disolventes clorados. Los jabones de monoetanolamina hacen más espuma que los de trietanolamina, sobre todo en agua dura; por consiguiente, son particularmente apropiados para la preparación de productos deterativos.

En combinación con aceites de ricino, linaza, oliva, pino, etc.; los jabones de etanolamina se emplean en pinturas y para lubricar madera y emblandecer cuero. Con jabones de etanolaminas y diversos aceites y disolventes se preparan aceites solubles que se emplean como lubricantes y refrigerantes en operaciones ejecutadas con herramientas cortantes, en la fabricación de grasas, para lubricar las fibras durante operaciones con textiles y para preparar aspersiones para huertas. También tienen base de derivados de etanolaminas los betunes para el calzado, las mezclas para revestimiento y para pulimentos de muebles, automóviles y pisos. También llevan incorporados jabones de etanolaminas las cremas evanescentes y detergentes, el cerato blanco (cold cream), las lociones para las manos, las cremas para rasurarse sin brocha y los jabones líquidos para el cabello (shampúes). Usado en preparados cosméticos, el estearato de trietanolamina no irrita la piel ni daña las telas.

Se usa una mezcla de trietanolamina y sales cálcicas de ácidos lignisulfónicos para dispersar partículas de cemento en -- operaciones de molienda fina. Esto permite la fabricación de cementos muy fuertes sin necesidad de la cochura doble ni de otras operaciones más costosas.

Cuando se trata con ácido sulfúrico la monoetanolamina produce sulfato ácido de aminoetileno, que sirve para producir - etilenimina. Si se trata con sulfuro de carbono en álcali produce 2-mercaptotiazolina, que se usa como acelerador de la vulcanización del caucho.

Las etanolaminas se usan en operaciones de cobrizado y en reveladores fotográficos mejoran el grano de la fotografía. - Las sales inorgánicas de monoetanolamina se usan como fundentes - de soldaduras. Se han empleado soluciones de monoetanolamina con iones de cobre y nitrato para absorber etileno.

Los derivados de etanolaminas tienen aplicaciones en ca si todas las ramas de la industria farmacéutica. La metildietanolamina sirve como substancia inicial en la fabricación del analgésico clorhidrato de meperidina (demerol). La dimetiletanolamina se usa en la síntesis de antihistamínicos y la dietiletanolamina en la síntesis de antipalúdicos, antiespasmódicos y anestésicos - locales, varias etanolaminas se utilizan en la preparación de sales hidrosolubles de compuestos orgánicos ácidos insolubles. Por ejemplo: la sal monoetanolamínica de vitamina C se puede adminis-

trar por vía intramuscular, Las soluciones acuosas de sulfadiazina en trietanolamina son eficaces para tratar quemaduras.

Los nuevos miembros del grupo etanol-amínico tienen -- otras aplicaciones interesantes. La feniletanolamina se usa principalmente como componente de compuestos antiherrumbosos.

La fenildietanolamina, la feniletiletanolamina, la o-toliletanolamina y la m-tolildietanolamina son importantes intermedios en la preparación de colorantes para rayón de acetato. La N-acetiletanolamina sirve como plastificante del alcohol polivinílico de substancias celulósicas y proteínoides, como la celulosa hidroxietílica, la cola animal y la caseína.

3.- PROCESO QUIMICO

GENERALIDADES:

Las operaciones básicas del proceso son:

- a) Reacción.
- b) Evaporación.
- c) Secado.
- d) Destilación.
- e) Refinación.

a) REACCION

La reacción es el paso en el que se mezclan los com--
puestos, materia prima, con la finalidad de obtener el producto
deseado.

Existen reacciones que solo pueden efectuarse aplicando
un catalizador.

La finalidad del catalizador es; acelerar la reacción,
retardar la reacción o simplemente como una mezcla de reacción.

La reacción efectuada en la planta es: irreversible --
"exotérmica" sin catalizador; es decir, los productos no reaccio-
nan entre sí para producir la materia prima original, además des-
prende calor y no necesita catalizador para poder efectuarse.

El equipo usado para tal efecto es: DOS REACTORES tubu-
lares, un reactor adiabático, un precalentador, bombas, tanques -
de almacenamiento e instrumentos.

b) EVAPORACION
=====

Es aquella operación que tiene por objeto concentrar una solución evaporando parte del líquido en recipientes calentados - con vapor de agua.

Los evaporadores operan a expensas de una transmisión calorífica totalmente. También se toma en cuenta la influencia del - soluto en el equilibrio vapor-líquido, sobre todo, cuando se emplea un múltiple efecto. En el caso de disoluciones saturadas con respecto a uno o más componentes disueltos, se suelen producir separaciones salinas y formaciones de costras o incrustaciones.

Se llaman incrustaciones, a la capa de sólidos que se - deposita sobre la superficie de calefacción al aumentar la temperatura de la disolución junto a la pared caliente, depositándose los sólidos en mayor cantidad a medida que progresa la operación.

La separación de sales más conocida, consiste en una acu mulación súbita en la superficie de calefacción de sustancias - normalmente solubles. Para separar las sales se añade un exceso de disolvente, con lo que la solución deja de estar saturada.

Otro problema de importancia es la separación de produc to orgánicos sensibles a la temperatura y que al descomponerse - f en hollín sobre la superficie calefactora.

Los evaporadores usados en la planta son: Evaporadores

de platos perforados y acero al carbón, es el material usado en su fabricación.

La evaporación empleada en la planta es de triple efecto.

c) SECADO
=====

Contrariamente a lo que ocurre en otras operaciones, en la desecación mediante aire o gases calientes, las cantidades de agua que se extraen son relativamente pequeñas comparadas con la cantidad de sólido a la que acompañan. La separación de agua de un producto húmedo se asemeja a la evaporación que tiene lugar en los humidificadores y en las torres de enfriamiento, y supone la transferencia de calor y de materia a través del medio secante y el transporte de agua a través del sólido.

En la planta de aminas se usa vapor de agua para el secado. El equipo usado en esta operación comprende bombas, cambiadores de calor y una columna de secado.

d) DESTILACION
=====

La diferencia de composición de equilibrio entre las fases vapor y líquido puede utilizarse para separar a determinados componentes o mezclas de éstos, de un modo muy parecido a como se aplica la diferencia de composición entre dos fases líquidas en la extracción líquido-líquido. Análogamente, el equipo industrial

utilizado en las operaciones de transferencia vapor-líquido se proyecta de modo que sea posible el íntimo contacto entre ambas fases, así como su manipulación y separación posteriores.

La destilación se define específicamente como la operación de evaporar, separar los vapores desprendidos por los líquidos.

Comprende por tanto, la evaporación y la condensación. Las operaciones de transferencia vapor-líquido que dependen de la destilación, cual la producción del vapor y del líquido del producto en tratamiento se denominan también destilaciones.

Adsorción.- Es la operación en la que la transferencia de materia tiene lugar de la fase vapor a la fase líquida. Generalmente, aunque no siempre, designa una operación en la cual el líquido se suministra como corriente separada e independiente del vapor a tratar.

Desorción.- Es el término aplicado a una operación en la cual el transporte de materia se realiza del líquido a la fase vapor.

Todo esto se realiza en el mismo aparato y con frecuencia, de modo simultáneo; estando gobernadas por las mismas relaciones fundamentales.

El equipo usado en la planta para tal efecto consta de:

bombas, cambiadores de calor, dos columnas de destilación (una de empaques y otra de platos), e instrumentos.

e) REFINACION
=====

No se lleva a cabo ya que el producto llena todas las especificaciones deseadas.

4.- DESCRIPCION DEL PROCESO,
DE ACUERDO AL DIAGRAMA DE FLUJO.

De acuerdo al diagrama de flujo anexo, se observa que se puede considerar el inicio de reacción a la entrada de los reactores y en el lugar en que se mezclan corrientes de: Amoníaco-Agua, Oxido de Etileno, Monoetanolamina y Dietanolamina. Este punto de mezcla se realiza en un dispositivo que tiene la función propia de un eyector.

Una vez mezcladas las corrientes a reaccionar y controlándose por medio de recirculaciones según el producto que se vaya a obtener, se hacen pasar por dos reactores tubulares isotérmicos en los cuales aproximadamente se efectúa un 90% de la reacción. El diez por ciento restante se lleva a cabo en un reactor que es adiabético.

La solución obtenida y cuya composición es: Monoetanolamina, Dietanolamina, Trietanolamina, Agua-Amoníaco, es enviada a una serie de precalentadores que tienen como finalidad elevar la temperatura de esta mezcla. A continuación la corriente es dirigida a una torre agotadora de Amoníaco con lo que podemos considerar que empieza la evaporación en el sistema.

Es de vital importancia en esta torre, instalar un punto de control por medio del cual se sabrá realmente qué cantidad de Amoníaco presente será sacado por el domo.

Este punto de control se instala en el plato No. 9, -- por medio de un elemento de control. La temperatura señalada y registrada en el tablero nos afirma si el control llevado es el correcto.

Por el fondo de la torre agotadora de Amoníaco, se obtiene una mezcla con la siguiente composición: Monoetanolamina, Dietanolamina, Trietanolamina y Agua.

Esta mezcla es bombeada a las torres de evaporación con el propósito de eliminar el Agua y obtener un 50% de Agua en la mezcla.

Esta mezcla de composición mencionada, se pasa a un -- enfriador utilizando agua templada, con la finalidad de evitar -- problemas de taponamiento provocados por solidificación de la -- Dietanolamina (P.F. 28° C), y después a una torre de secado.

En esta torre, se elimina la mayor parte de agua, antes de ser enviada la mezcla de composición: Monoetanolamina, Dietanolamina y Trietanolamina, a las torres de destilación; en donde será separada esta mezcla para obtener cada una de las tres aminas con un 97-98.5 % de pureza.

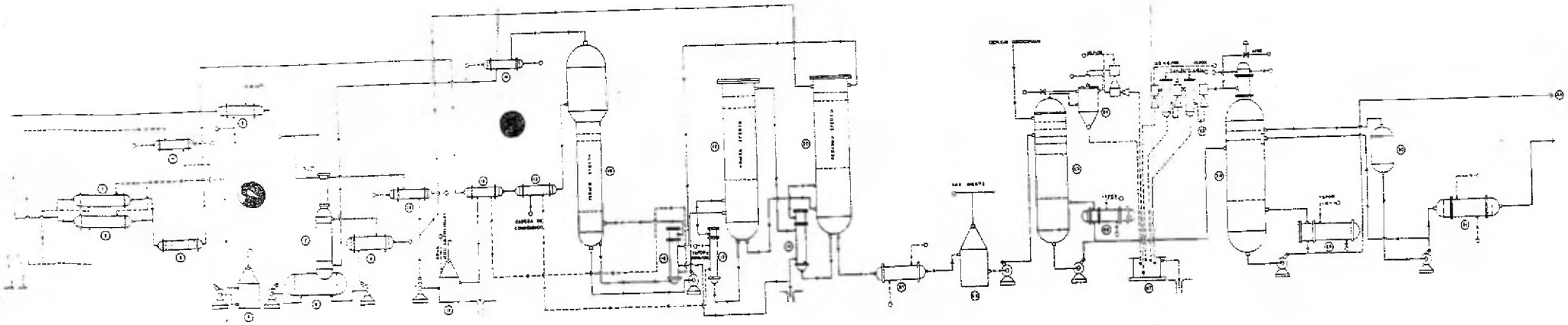
En la primera de estas torres, se obtiene Monoetanolamina por el domo y por el fondo la corriente de Dietanolamina y Trietanolamina. La Monoetanolamina obtenida es enviada al almacén, si -- cumple las especificaciones que el cliente necesita.

EQUIPO DE LA PLANTA DE AMINAS

- 1 REACTORES TUBULARES DE AMINAS
- 2 REACTORES TUBULARES DE AMINAS
- 3 REACTOR ADIABATICO
- 4 ENFRIADOR
- 5 ENFRIADOR
- 6 TANQUE DE AGUA TEMPLADA
- 7 COLUMNA ABSORBEDORA DE AMONIACO
- 8 TANQUE CON SOLUCION DE AGUA Y AMONIACO
- 9 ENFRIADOR
- 10 ENFRIADOR
- 11 TANQUE CON AGUA YA TRATADA PARA PROCESO
- 12 CALENTADOR
- 13 CALENTADOR
- 14 ENFRIADOR
- 15 COLUMNA AGOTADORA DE AMONIACO
- 16 RECALENTADOR
- 17 RECALENTADOR
- 18 RECALENTADOR
- 19 COLUMNA DE EVAPORACION
- 20 COLUMNA DE EVAPORACION
- 21 ENFRIADOR
- 22 TANQUE DE AMINAS CRUDAS 50% Y AGUA 50%
- 23 COLUMNA DE SECADO
- 24 CONDENSADOR
- 25 CONDENSADOR
- 26 RECALENTADOR
- 27 TANQUE DE SELLO PARA MANTENER EL VACIO
- 28 COLUMNA DE DESTILACION
- 29 RECALENTADOR
- 30 TANQUE INTERMEDIO DE MONO ETANOL AMINA (DESTILADO QUE VA A ALMACEN)
- 31 ENFRIADOR DE MONO ETANOL AMINA
- 32 A COLUMNA DE DESTILACION EN DONDE SE OBTIENE POR EL DOMO DIETANOLAMINA Y POR EL FONDO TRIETANOLAMINA

 LINEAS PUNTEADAS (AGUA DE CALENTADOR Y ENFRIADOR)

 LINEAS CONTINUAS (FLUJO DE PROCESO)



6.- CONCLUSIONES .
=====

- a) Datos de los puntos críticos del proceso en donde se controlan las diferentes temperaturas y tipos de Termopares usados.

A continuación se incluye un cuadro donde se anotan - los equipos, tipos de termopares usados y rangos de temperatura en donde están instalados.

REACCION:

| Nombre del Equipo | Rango de Temperatura Empleado. | Tipo de Termopar Instalado. |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Reactor-Isotérmico | 86°F=30°C a 104°F=40°C | J |
| Reactor | 34 - 42 °C | J |
| Reactor | 34 - 42 °C | J |
| Reactor | 34 - 42 °C | J |
| Reactor | 34 - 42 °C | J |
| Reactor | 34 - 45 °C | J |

EVAPORACION:

| Nombre del Equipo | Rango de Temperatura Empleado. | Tipo de Termopar Instalado. |
|---|---|-----------------------------|
| Columna absorbadora de Amoniaco. | 32 - 38 °C | J |
| Tanque de Agua Templada con NH ₃ | 36 - 40 °C | J |
| Torre agotadora de Amoniaco (3er. efecto) | 115 - 122 °C | J |
| Torre de Evaporación (primer efecto) | Domo: 170°C a 168°C Fondo: 174°C = 345°F a 6-8 Kg/cm ² de presión. | J |
| Torre de Evaporación (segundo efecto) | Domo: 148°C a 140°C Fondo: 155°C = 311.0°F a 3-4.33 Kg/cm ² de presión. | J |

SECADO:

| Nombre del Equipo | Rango de Temperatura Empleado. | Tipo de Termopar Instalado. |
|--------------------|--|-----------------------------|
| Columna de Secado: | | J |
| Domo: | 40°C a 60°C y 55 mm a 48 de Mercurio de Presión. | J |
| Fondo: | 127°C - 130°C y 120 a 116 mm de Mercurio de Presión. | J |

DESTILACION:

| Nombre del Equipo | Rango de temperatura Empleado. | Tipo de Termopar Instalado. |
|-----------------------------|---|-----------------------------|
| Columna a base de platos: | 173°C a 169°C | J |
| Domo: | 72°C = 161.6°F a 90°C - 194.0°F y 7 a 6.6 mm de Mercurio de Presión | J |
| Fondo: | 170°C a 176°C y 27 a 24 mm de Mercurio de presión. | J |
| Columna a base de Empaques: | 189°C a 192°C | J |
| Domo: | 130°C - 135°C y 5 a 4.0 mm de Mercurio de Presión | J |
| Fondo: | 175°C - 180°C y 8 a 6.9 mm de Mercurio de Presión. | J |

NOTA.- Todos los termopares funcionan entre una escala de 0°C a 250°C menos en los reactores Isotérmicos y Adiabático, - en donde la escala es de 0°C a 100°C.

La calibración de estos termopares "J" (de Hierro Constantano), se realiza de acuerdo a la descripción anotada en el Proceso "A".

b) CONSECUENCIAS DE LA FALTA DE CONTROL DE TEMPERATURA
EN EL PROCESO.

"ANALISIS POR EQUIPO"

=====

REACTORES ISOTERMICOS Y ADIABATICO:

La medición de la temperatura en el agua para la reacción "Procedente de la Torre Absorbedora de Amoníaco y de los Tanques de Almacenamiento de Agua", nos ayuda a controlarla; ya que ésta es exotérmica. Si el agua se usara demasiado caliente se aceleraría la reacción y no se completaría el 90% de rendimiento necesario en los reactores isotérmicos, como consecuencia, el 10% restante que correspondería al reactor adiabático no llegaría a su fin; llevando a la salida de éste último reactor, trazas de Oxido de Etileno.

COLUMNA AGOTADORA DE AMONIACO (tercer efecto):

Es de vital importancia el control en el plato 9 a 115-122°C. Si sucediera lo contrario, se formarían polímeros; llegando a descender por el fondo de dicha columna. Estos polímeros se presentan en forma de gomas oscuras.

Por otro lado, a falta precisa del control de temperatura en este punto, habría una volatilización compuesta de Monoetanolaminas y Trietanolamina por un aumento excesivo de energía calorífica.

TORRES EVAPORADORAS DEL PRIMERO Y SEGUNDO EFECTOS:

El indebido control de temperatura en estas torres, tanto en los fondos como en los domos, nos ocasionaría una mezcla del

más del 50% de Agua en la correspondiente a Monoetanolamina-Dietanolamina-Trietanolamina-Agua, que después se hace pasar por la Torre de Secado; cuya finalidad de ésta última, es la de eliminar el 50% de Agua y dejar por su fondo únicamente la mezcla de: Monoetanolamina-Dietanolamina-Trietanolamina, que más tarde se separa en las columnas de destilación.

COLUMNA DE SECADO:

Si aumenta la temperatura en el domo de 70-80°C se corre el riesgo de arrastrar mezcla de Monoetanolamina-Dietanolamina-Trietanolamina.

Si la temperatura es muy baja en el fondo, 98-90°C y menor que 100-110°C, se corre el riesgo de llevar agua en el proceso; lo cual nos demostraría que la Columna de Secado no estaría cumpliendo su objetivo.

COLUMNA DE DESTILACION A BASE DE PLATOS:

En este punto, influyen los rangos de ebullición de las Aminas. La temperatura crítica es de 150°C en el plato 8.

A.- DOMO. Si la temperatura aumenta demasiado en el domo, digamos mayor de 110-140°C se correría el riesgo de llevar trazas de mezcla: Dietanolamina-Trietanolamina.

Si disminuye demasiado, no se tendría Monoetanolamina.

B.- FONDO. Si la temperatura aumenta demasiado, se podrían separar la Dietanolamina y Trietanolamina yéndose la Dietanolamina con trazas de Trietanolamina al domo de la columna.

Si la temperatura disminuye demasiado, no se tendría la mezcla Dietanolamina-Trietanolamina.

COLUMNA DE DESTILACION A BASE DE EMPAQUES:

Esta columna tiene por objeto separar la mezcla de Dietanolamina-Trietanolamina procedente del fondo de la columna de Destilación a base de platos. Su temperatura en el domo es de 135°C a 130°C y presión de 5 a 4.0 mm sw Hg; y en el fondo es de 180°C a 178°C y presión de 8 a 7 mm de Hg. La temperatura máxima crítica es de 140°C

por el domo se obtiene Dietanolamina con 98% de pureza y por el fondo se obtiene Trietanolamina con 98 - 98.5% de pureza.

A.- DOMO. Si la temperatura asciende a 150°C se corre el riesgo de llevar rastras de Trietanolamina que equivaldrían al 30 - 40%.

Si la temperatura disminuye mucho, no tendríamos la Dietanolamina; lo cual nos demostraría que la columna no estaría cumpliendo su objetivo.

B.- FONDO. Si la temperatura disminuye mucho tendríamos rastras de Dietanolamina en un 30 - 40%.

Si la temperatura aumenta demasiado, la Trietanolamina se quemaría si no se saca, o bien, se estaría destilando Dieta--nolamina con rastras de Trietanolamina.

CONTROL DE TEMPERATURA.

El control de temperatura en las torres de Destilación se controla por:

- a) Alimentación de vapor o condensado.
- b) Aumento en la carga.
- c) Por recirculación del producto.

Si la temperatura baja considerablemente, será necesario aumentar la alimentación de vapor o condensado; en caso de que la temperatura aumente, es recomendable una recirculación de producto para evitar que parte del mismo en formación se volatilice y -consecuentemente se pierda; una ventaja de esto, es un enriquecimiento mayor del producto terminado.

El control por medio de instrumentos de todas las variables de proceso; en este estudio, la temperatura es llevada en el tablero de control.

OBSERVACIONES

Dentro de los servicios auxiliares a la planta en general, que nos parecen requieren mención, se anotan los siguientes:

- a) El trazado de vapor.
- b) Válvulas de acción directa.
- c) Falta de uso de bombas entre las dos torres de Evaporación.

a) El trazado de vapor:

Este es un servicio que se proporciona a las líneas que conducen Aminas y que dado su bajo punto de fusión, bajo ciertas condiciones atmosféricas es requerido dicho servicio de trazado de vapor, que según fuimos informados, es un vapor de baja presión.

b) Válvulas de Acción directa:

Estas se emplean para casos en los cuales existen fallas tanto en el suministro de energía eléctrica, como en el caso de defectos en el suministro de aire de instrumentos.

En los casos enunciados anteriormente, la acción de las válvulas para cualquiera de ambas fallas, será cerrar de inmediato para evitar condiciones que podrían causar trastornos en el equipo. Un ejemplo de esto, lo tendríamos en cualquier punto de control de flujo de vapor o el control de Oxido de Etileno, que como sabemos, en presencia de aire puede provocar masas gaseosas explosivas. (Ya que el punto de ebullición del Oxido de Etileno es 3.8-4 °C).

c) Falta de uso de bombas entre las Torres de Evaporación:

La necesidad de enviar la mezcla de la torre agotadora de Amoniaco, a la primera torre de Evaporación, es la diferencia de presión existente en ambas; la presión de la torre agotadora de Amoniaco es menor a la presión de la primera torre de Evaporación.

En esta primera torre de Evaporación, la presión es mayor a la presente en la segunda torre de Evaporación.

" CONCLUSIONES GENERALES "

Los recursos naturales de que dispone el hombre son múltiples y muy variados. De él depende el mal o buen uso que de ellos haga.

En el transcurso de su historia, se ha visto en la necesidad de realizar estudios minuciosos y profundos para lograr un mejor aprovechamiento de lo que la naturaleza le ha brindado.

Estos estudios lo han orillado a delimitar sus actividades y subdividir la ciencia de tal manera, que ha dado origen a la especialización; dentro de las que se pueden citar: la Medicina, Ingeniería, Psicología, Antropología, etc., etc.

Dentro de estas especialidades, a su vez, existen divisiones y subdivisiones; así tenemos: Médicos, Ginecólogos, Ingenieros Químicos Instrumentistas, Ingenieros Civiles especializados en Urbanización, etc., etc.

Nuestro interés, en la Tesis anteriormente expuesta, se orientó al campo de acción de un Ingeniero Químico Instrumentista. Esta especialización tiene un campo de acción bastante amplio. Dentro de sus aplicaciones se pueden citar diferentes tipos de industrias: de aire acondicionado, de automóviles, de alimentos, de productos químicos, de papel y celulosa, de productos textiles y otros más.

En las industrias de productos químicos, se catalogan las plantas; Desaladora de Rosarito y la Productora de Aminas.

En ambos procesos, se observó que el control automático de las variables (especialmente de la Temperatura) es de gran -- utilidad, por las siguientes razones:

- a) La eliminación de algunas maniobras manuales.
- b) El aprovechamiento de los operadores en la supervisión del proceso.
- c) Aumento del % de pureza en el producto.
- d) Incremento del posible rango de producción.
- e) Un control adecuado de las incrustaciones.
- f) Como consecuencia del punto anterior, se evitan costos de instalación y se ahorran costos de -- operación (mano de obra, uso innecesario de pro fesionales y varios).