

20  
30



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**



**V N A M**

**" APLICACION DE UNA RED DE VENCIMIENTOS  
SUCESIVOS AL MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
Y CORRECTIVO DE LOS CAMBIADORES  
DE CALOR EN LA REFINERIA  
GRAL. LAZARO CARDENAS "**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES-CUAUTITLAN**



**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
**DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

**P R E S E N T A :**

***Marco Antonio Ledezma Taracena***

**ASESOR DE TESIS: ING. AGAPITO RODRIGUEZ NAVA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# INDICE

## CAPITULO I

INTRODUCCION.....	3
I.1. IMPORTANCIA DE LOS CAMBIADORES DE CALOR EN LA OPERACION DE LAS PLANTAS DE PROCESO.....	4
I.2. NOMENCLATURA USADA EN LA DISTRIBUCION DE LOS CAMBIADORES DE CALOR SEGUN LAS PLANTAS DE PROCESO.....	8

## CAPITULO II

### ASPECTOS GENERALES DE LOS CAMBIADORES DE CALOR.

II.1 TRANSFERENCIA DE CALOR.....	11
II.2 TIPOS SEGUN SU CONSTRUCCION.....	13
II.3 TIPOS SEGUN SU FUNCION.....	19

## CAPITULO III

### CONOCIMIENTOS BASICOS DE LOS ELEMENTOS PARA LA REPARACION DE LOS CAMBIADORES DE CALOR.

III.1 COMPONENTES Y DESCRIPCION DE CADA UNA DE SUS PARTES.....	22
III.2 SELECCION DE MATERIALES PARA CADA UNA DE LAS PARTES QUE LO componen:.....	24
III.3 HERRAMIENTAS QUE SE EMPLEAN EN LA REPARACION DE LOS HACES DE TUBERIA EN EL TALLER DE CAMBIADORES DE CALOR.....	34
III.4 MAQUINARIA NECESARIA EN EL TALLER DE CAMBIADORES DE CALOR PARA LA REPARACION DE LOS HACES DE TUBOS. ....	41

## CAPITULO IV

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

IV.1 RETROLAVADOS DE NUCLEOS EN LAS PLANTAS DE PROCESO. ....	52
IV.2 LIMPIEZA INTERIOR EN LAS PLANTAS DE PROCESO. ....	54

## CAPITULO V

### MANTENIMIENTO CORRECTIVO

V.1 SECUENCIA DEL DESARMADO DE UN CAMBIADOR DE CALOR EN LAS PLANTAS DE PROCESO.....	62
V.2 DESARMADO DE UN HAZ DE TUBERIA DE UN CAMBIADOR DE CALOR.....	67
V.3 ARMADO DE EL HAZ DE TUBERIA DE UN CAMBIADOR DE CALOR.....	70
V.4 SECUENCIA DE ARMADO DE UN CAMBIADOR DE CALOR EN LAS PLANTAS DE PROCESO.....	76
V.5 PRUEBAS DE RECEPCION.....	79

## CAPITULO VI

### APLICACION DE LA RED DE VENCIMIENTOS SUCESIVOS

VI.1 DESARROLLO DE LA REPARACION DE LOS CAMBIADORES DE CALOR DE LOS DISTINTOS TIPOS EXISTENTES EN LAS PLANTAS DE PROCESO UTILIZANDO LA RED DE VENCIMIENTOS SUCESIVOS.....	89
VI.2 DESARROLLO DE LA REPARACION DE UN HAZ DE TUBOS UTILIZANDO LA RED DE VENCIMIENTOS SUCESIVOS.....	106
CONCLUSIONES.....	118
BIBLIOGRAFIA.....	120

## CAPITULO 1

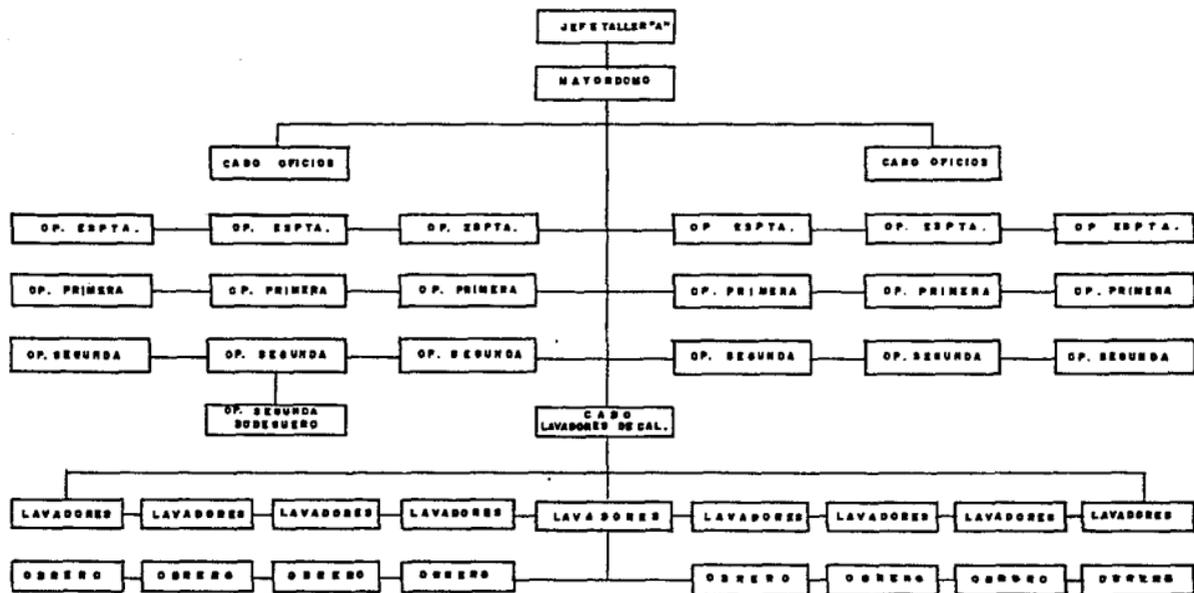
### INTRODUCCION:

El presente trabajo de mantenimiento preventivo y correctivo de los Cambiadores de Calor en la refinería Gral. Lázaro Cárdenas del Río, nos muestra una manera de poder a provechar al máximo los recursos técnicos y mecánicos existentes en el Taller de Cambiadores de Calor.

Los aspectos generales, de las partes que componen a los Cambiadores de Calor, así como la importancia de estos en la operación de las plantas de proceso industrial aplicando la red de vencimientos sucesivos para obtener el control de los tiempos de ejecución y los costos de operación para buscar su optimización.

La creación de plantas de proceso industrial, tanto de Refinación como en la industria Petroquímica, hace necesario el conocimiento del diseño, fabricación y mantenimiento de los equipos que constituyen las plantas antes mencionadas, dentro de ellas se encuentran los intercambiadores de calor de tubo y envolvente, por los que circulan dos fluidos a diferente temperatura, pero a través de conductos diferentes, por lo que la propagación del calor registradas durante su operación se habrá efectuado por el fenómeno de convección.

La figura (No 1) nos muestra el organigrama del departamento de Cambiadores de Calor adscrito a la Superintendencia General de la Refinería Gral. Lázaro Cardenas del Río.



FES - C U.N.A.M.
RED DE VENCIMIENTOS SUCESIVOS
MARCO A. LEDEZMA TARACENA
TESIS PROFESIONAL
FIG - N° 1

### 1.1.- IMPORTANCIA DE LOS CAMBIADORES DE CALOR EN LA OPERACION DE LAS PLANTAS DE PROCESO.

Uno de los principales problemas en las plantas de proceso industrial es la transmisión eficiente de calor.

La Tecnología Industrial aprovecha la propiedad de transmisión de calor, utilizando para ello aparatos diseñados para distintos fines; tales como enfriar, calentar, condensar, evaporar; estos aparatos -- tienen la designación común de cambiadores de Calor.

El nombre de Permutadores o Cambiadores de Calor, se le da al equipo que tiene por objeto transferir o dar calor de un fluido de mayor temperatura a uno de menor temperatura, o sea, pasar calor de un fluido caliente a uno frío, o de mas caliente a otro menos caliente. Esta transferencia de calor puede ser a cualquier temperatura y presión. Los fluidos pueden ser gases o líquidos para los propósitos de transferencia de calor y eliminar la contaminación de los fluidos, estos estarán siempre separados por una pared generalmente metálica.

Con una transmisión eficiente de calor obtenido por medio de los cambiadores de calor se ahorra combustible que sería necesario quemar para calentar -- líquidos y gases por requerimientos del proceso.

Aprovechamiento de las necesidades de proceso en las plantas industriales. Para obtener los productos finales hay necesidad de contar con medios de elevar o bajar temperaturas de los productos intermedios según se requiera a través del proceso.

Lo anterior se logra mediante los cambiadores de calor combinado. Aprovechando las diferentes fases cuando se cuenta con líquidos, gases fríos y calientes.

Tenemos como ejemplos los siguientes casos;

- a).- Calentar fluidos con un gas que se necesita enfriar.
- b).- Calentar fluidos con el vapor de escape que ya ha sido aprovechado en alguna otra fase del proceso.
- c).- En un fluido o producto terminado aprovechar su contenido de calor para calentar otro que si lo requiera.
- d).- Evaporar fluidos aprovechando vapor de escape.
- e).- Condensar un gas caliente con un fluido que requiere sea elevado a cierta temperatura - mediante el aprovechamiento adecuado de las necesidades del proceso se obtiene economías muy importantes.

La Industria petrolera utiliza en sus instalaciones de proceso, tales como refinería ó plantas petroquímicas un gran número de equipos en las que se efectúan una transferencia de calor y en consecuencia el porcentaje que representa en el costo de operación - de las mismas es bastante elevado.

Esta clase de equipo, es responsable del funcionamiento económico y flexible de la planta, como son los casos concretos de las plantas de destilación -- combinadas con petróleo crudo y las reductoras de viscosidad de residuo, pues algunos de los puntos principales de su diseño son:

- A.- Obtener el mayor aprovechamiento de la energía -- térmica en el proceso.
- B.- Evitar el paro y el arranque de la planta en forma frecuente y de gran duración por el mantenimiento excesivo.

Con el objeto de lograr tal funcionamiento adecuado, el ingeniero de proceso al efectuar el diseño de la planta debe tomar en cuenta los criterios de diseño mencionados en los párrafos anteriores, los cuales traducen:

1.- La proposición del arreglo del equipo relacionados con ellos, de tal manera que el aprovechamiento de la energía térmica se lleva a cabo en la forma más eficiente posible.

2.- La selección o el diseño del equipo en la forma más rigurosa o detallada, considerando no solo las variables del diseño específico en cada una de ellas si no que además deberán diseñarse de manera que a pesar de ciertas situaciones de operación de emergencia de la planta, puede seguir teniendo un funcionamiento eficiente.

El diseño del equipo de transferencia deberá tener - que minimizar el mantenimiento de las mismas, con el objeto de evitar hasta donde sea posible los tiempos muertos o la disminución de la capacidad de la planta.

De acuerdo a estas razones la optimización del arreglo y el diseño del equipo de transferencia de calor se encuentra plenamente justificado en la realización de la mayoría de los proyectos de Petróleos Mexicanos.

El ingeniero del diseño deberá conocer y analizar minuciosamente la validez y confiabilidad de las correlaciones disponibles para el dimensionamiento termodinámico del cambiador de calor. Así como los aspectos relacionados con la fabricación y mantenimiento de la unidad con el objeto de que el equipo sea diseñado realmente y cumple satisfactoriamente al servicio deseado.

1.2 NOMENCLATURA USADA EN LOS CAMBIADORES DE CALOR  
SEGUN LAS PLANTAS DE PROCESO.

La Refinería General Lázaro Cárdenas del Río de-  
minstitlán Ver., Cuenta en sus instalaciones con 542  
Cambiadores de Calor, siendo un 20% de Cambiadores --  
tipo horquillas. La Refinería se divide en Sectores -  
Coordinados, estando distribuidos de la siguiente ma-  
nera:

Sector Coordinado No 2

	TCC- E-30 a E-310 A/B
Preparadora de carga	- E-200 a E-224
Fraccionadora	- E-400 a E-410
Ligeros	- E-500 a E-508-B
Polimerización	- E-501 a E-702 y-
	- E-701 a E-704

Sector Coordinado No 5

	FCC-FE-1 a FE-9
	-GE-1 a GE-16
Sistema de Vacío	-CS-1X a CS-3-X
Preparadora de Carga	-EA-1 a EA-9D
No 3	-EC-1 a EC-3B

Sector Coordinado No 6

RENCEND	-E- 3502 a E-3524
Etilbenceno	-E- 3602 a E-3645
Ciclohexano	-E- 3401 a E-3422

Sector Coordinado No 4

	UDEX - E-2300 a E-2322
	BTX - E-2100 a E-2106
Nafta Pesada	- E-2200 a E-2206
Fraccionadora de Solventes	-E -2401 a E-2410

Sector Coordinado No 3

Estabilizadora No 1	-E-901 a E-907
Estabilizadora No 2	-E-1701 a E-1711 6
Desulfuradora de - Gasolina.	-E-1801 a E-1810
Desulfuradora de - Kerosina.	-E-1902 a E-1910
Desulfuradora de - Diesel.	-E-2001 a 2006
Prefraccionadora - de Crudo Estabilizado	-E-921 a E-923

Sector Coordinado No 1

Primaria No. 1	-E-100 a E-105
Primaria No 2	-E-800 a E-805
Primaria No 3	-EA-100 A/B E-1600 a E-1610
Primaria No 4	-E-1001 a E-1008
Alto Vacío.	
Primaria No 5	-EA-101 a EA-172

Sector Coordinado No 11

No tiene intercambiadores de calor nomenclaturados.

Sector Coordinado No 12

Planta Eléctrica de Vapor	-E-900 a E-917
Planta Eléctrica de Gas	-E-1404 a E-1407
Caldera B & W	-E-1402

Sector Coordinado No 8

Central de Bombas	-E-1403
Refrigeración de - Propano	-E-1408 a 1410

Sector Coordinado No 9  
No tiene intercambiadores de calor.

Sector Coordinado No 7  
Reformadora de Nafta -EA-501 a EA-523  
EC-501 a EC-503  
ED-518 a ED-519

Tratadora y Fraccio-  
nadora de Hidrocarbu  
ros. -EA-601 a EA-620  
ED-601

Hidrosulfuradora de-  
Destilados Intermedii  
os. -EA-101 a EA-112

Hidrodeshulfuradora -  
de Nafta. -E- 401 a E- 415

## CAPITULO II

### ASPECTOS GENERALES DE LOS CAMBIADORES DE CALOR

#### 2.1

##### TRANSFERENCIA DE CALOR.

Está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados Fuente y Recividor.

Existen tres mecanismos de transferencia de calor que son los siguientes:

- a) CONDUCCION
- b) CONVECCION
- c) RADIACION

CONDUCCION.- Es la transferencia de calor a través -- de un material fijo.

CONVECCION.- Es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla. Supongase que un recipiente con un líquido se coloca sobre una llama caliente, el líquido que se encuentra en el fondo del recipiente se calienta y se vuelve menos denso que antes, debido a su expansión térmica.

El líquido adyacente al fondo también es menos denso que la porción superior fría y asciende a través de ella, transmitiendo su calor por medio de mezcla conforme asciende. La transferencia de calor del líquido caliente del fondo del recipiente al resto es convección libre.

Si se produce cualquier otra agitación, tal como la provocada por un agitador, el proceso es de convección forzada.

**RADIACION.-** Todo tipo de energía o de partículas emitidas por los cuerpos y lanzadas al espacio.

Esta forma de transferencia de energía radiante -- desde una fuente a un receptor.

Cuando la radiación se emite desde una fuente a -- un receptor y parte es reflejada por él.

## 2.2 TIPOS DE CAMBIADORES DE CALOR SEGUN SU CONSTRUCCION.

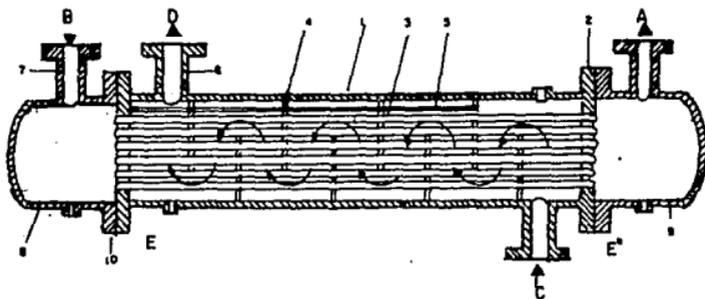
### CAMBIADORES DE HAZ DE TUBOS FIJOS.

Este tipo de cambiadores consiste en un haz de tubos fijos por sus extremos, ya sea rolado o soldado, según la (fig. 2.2-1) a dos placas E y E' dentro de una coraza en las que están colocados los cabezales del cambiador, debido a esta construcción los tubos no pueden expandirse ni concentrarse lo que limita su uso e intercambio de calor entre fluidos con una diferencia de temperatura pequeña.

En el cambiador descrito tanto en el flujo por dentro de los tubos, como en el de afuera de los tubos, se realiza un solo paso en ambos lados, véase que el fluido dentro de los tubos entra por "A" y sale por "A", y el fluido por fuera de los tubos entra por "C" y sale por "D".

Una variante del cambiador de haz de tubos fijos es el mostrado en la variante de la (fig. 2-2-2), en la que el flujo pasa por dentro del cambiador, o sea es de dos pasos por los tubos y un paso por la coraza.

Notese que uno de los cabezales tiene una placa que lo divide en dos secciones para lograr que el fluido de los tubos haga dos recorridos completos a lo largo del cambiador.



- |                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1- ENVOLVENTE              | 6- BOQUILLAS DE ENVOLVENTES |
| 2- ESPEJO FIJOS            | 7- BOQUILLA DE CABEZAL      |
| 3- TUBOS                   | 8- CABEZAL DE ENTRADA       |
| 4- MAMPARAS                | 9 CABEZAL DE SALIDA         |
| 5- TIRANTES Y ESPACIADORES | 10 BRIDA DEL CABEZAL        |

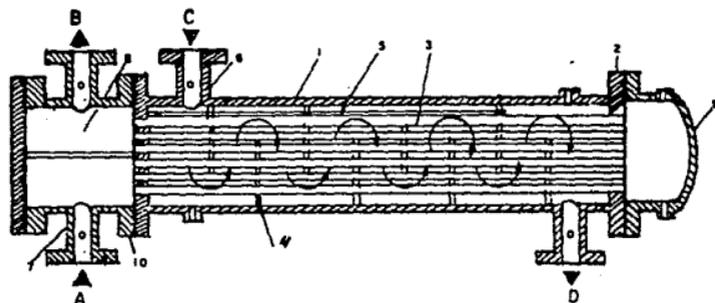
FES-C  
U N A M

CAMBIADOR DE  
HAZ DE TUBOS FIJOS

MARCO A. LEDEZMA TARACENA

TESIS PROFESIONAL

FIG. No. 2-2-1



- 1- ENVOLVENTE
- 2- ESPEJO FIJO
- 3- TUBOS
- 4 MAMPARAS
- 5- TIRANTES Y ESPACADORES

- 6- BOQUILLAS DE ENVOLVENTES
- 7- BOQUILLA DE CABEZAL
- 8- CABEZAL DE ENTRADA
- 9 CABEZAL DE SALIDA
- 10- BRIDA DEL CABEZAL

FES-C  
UNAM

CAMBIADOR DE HAZ  
DE TUBOS FIJOS

MARCO A. LEDEZMA TARACENA

TESIS PROFESIONAL

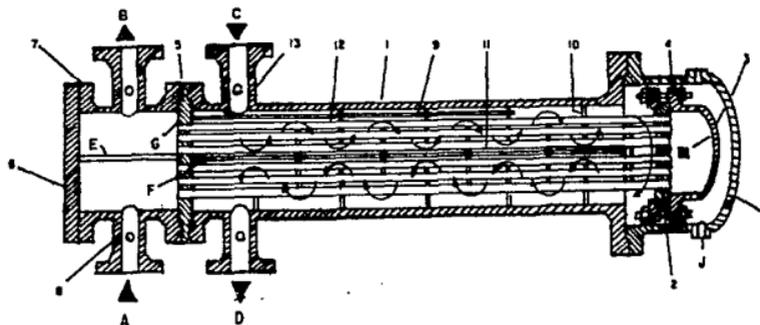
FIG. No. 2-2-2

#### CAMBIADORES DE HAZ DE TUBOS CON CAREZAL FLOTANTE.

En estos cambiadores los tubos que forman el haz se encuentran unidos a una placa fija "G". Descrito -- (Fig. 2-2-3). En uno de sus extremos, el cabezal flotante "H" tiene los tubos unidos a una placa de diámetro inferior al cabezal de manera que los tubos puedan expandirse por la acción de la temperatura.

Este tipo de cambiador puede usarse cuando la diferencia de temperatura entre los dos fluidos sea grande.

Otras características de este tipo de cambiadores es que tienen la placa "E" que divide el cabezal y así obtener dos pasos por los tubos, y la mariposa "F" para obtener dos pasos por la coraza.



- |                                 |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1- ENVOLVENTE                   | 10- MAMPARA O DEFLECTORES   |
| 2- ESPEJO FLOTANTE              | 11- MAMPARA DIVISORA        |
| 3- TAPA DEL CABEZAL FLOTANTE    | 12- TUBOS                   |
| 4- BRIDA DE LA TAPA DEL CABEZAL | 13- BOQUILLAS DE ENVOLVENTE |
| 5- ESPEJO FIJO                  |                             |
| 6- TAPA DE CABEZAL FIJO         |                             |
| 7- CABEZAL FIJO                 |                             |
| 8- BOQUILLA DEL CABEZAL         |                             |
| 9- TIRANTES                     |                             |

**FES-C**  
**UNAM**

**CAMBIADOR DE HAZ  
DE TUBOS FIJOS**

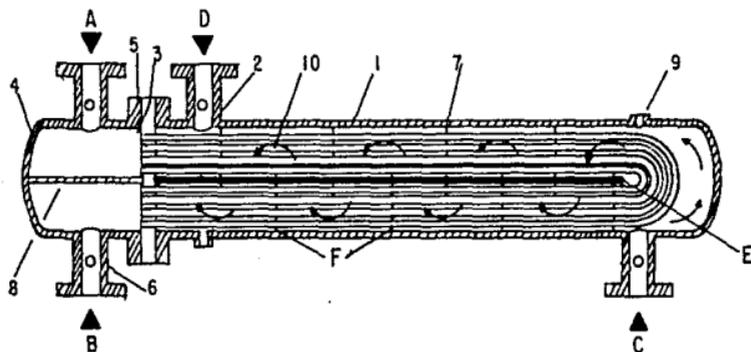
**MARCO A. LEDEZMA TARACENA**

**TESIS PROFESIONAL**

**FIG. No. 2-2-3**

#### CAMBIADORES DE HAZ DE TUBOS EN "U".

Como su nombre lo indica, los tubos tienen la forma de una "U" alargada, que permite la expansión del haz de tubos; cuando la diferencia de temperatura entre los dos fluidos sea grande según (Fig 2-2-4) debido a lo pronunciado de la curva de los tubos, es difícil su limpieza interior, debiéndose usar este tipo de cambiador solo cuando el fluido dentro de los tubos sea limpio.



- 1.- ENVOLVENTE
- 2.- BOQUILLA DE ENVOLVENTE
- 3.- ESPEJO FIJO
- 4.- CABEZAL
- 5.- BRIDA DEL CABEZAL
- 6.- BOQUILLA DEL CABEZAL
- 7.- MAMPARA
- 8.- MAMPARA DIVISORA
- 9.- VENTILAS
- 10.- TUBOS

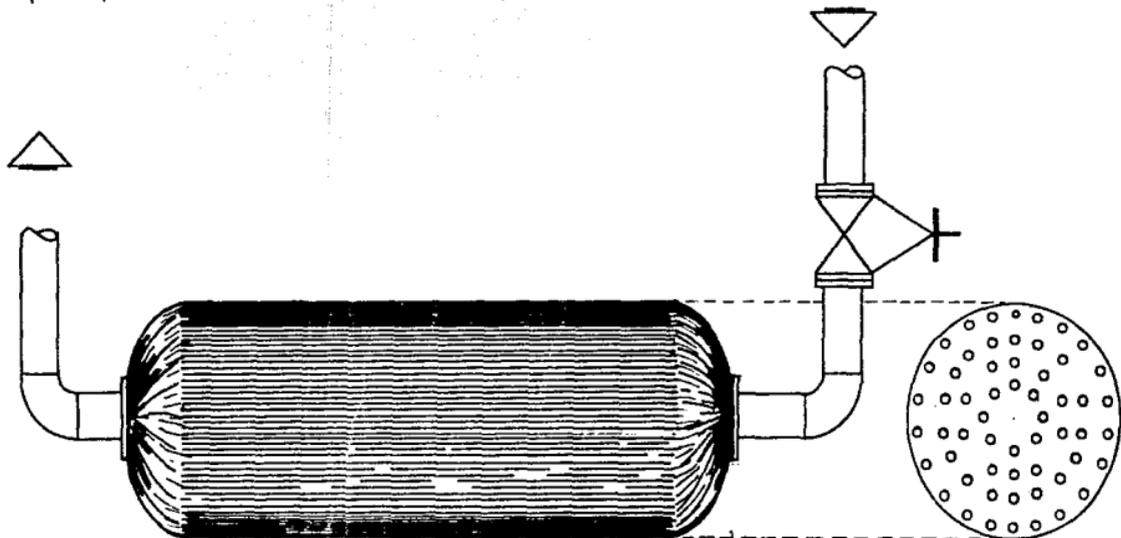
<b>FES - C</b> <b>U N A M</b>
<b>CAMBIADOR DE TUBOS EN "U"</b>
<b>MARCO A. LEDEZMA TARACENA</b>
<b>TESIS PROFESIONAL</b>
<b>FIG. No 2-2-4</b>

## CALENTADORES DE TANQUES.

Generalmente para la elevación de la temperatura del fluido en los tanques, se usan calentadores del tipo de haz de tubos expuestos y se instalan dentro del tanque y en el fondo. También se pueden instalar calentadores consistentes en un serpentín encerrado dentro del tanque. Por una caja de lámina de acero o madera según (Fig. 2-2-5,6,7). Haciendo circular vapor por el serpentín, el fluido pasa por la caja calentándose a lo largo de la misma hacia la salida del tanque donde es succionado.

Cuando los cambiadores de calor de haz de tubos expuestos se usan sumergidos, se le puede colocar vertical u horizontalmente y sin ninguna envoltura. Tanto en las instalaciones verticales como en las horizontales el medio de calefacción entra por la parte mas alta.

Los cambiadores de calor de haz de tubos expuestos pueden ser contruidos con ampliadores de superficie o aletas colocados a lo largo de los tubos y en toda la periferia de los mismos para una mejor transferencia de calor.



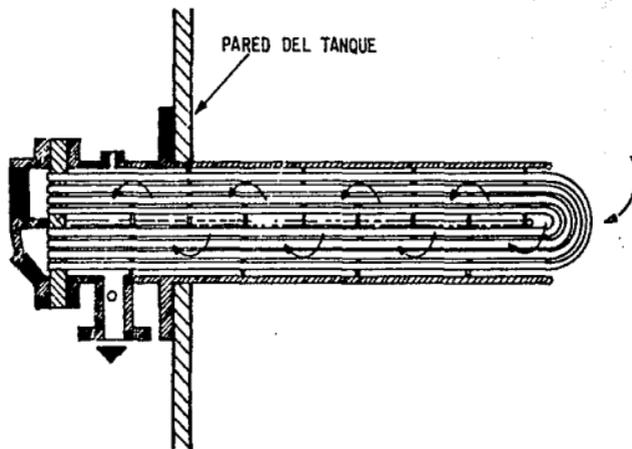
FES-C  
U N A M

CAMBIADOR DE TUBOS EXPUESTOS

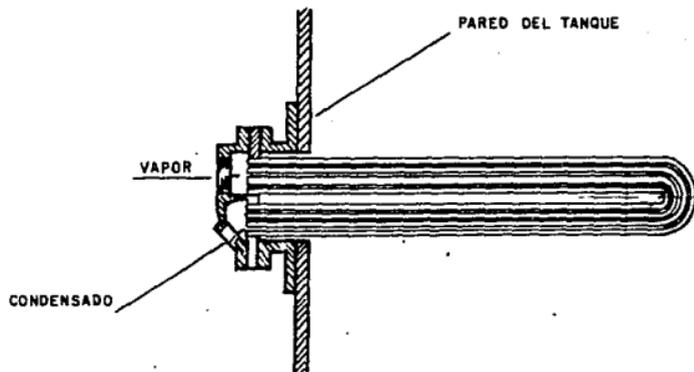
MARCO A. LEDEZMA TARACENA

TESIS PROFESIONAL

FIG. No. 2-2-5



FES-C UNAM
CAMBIADOR DE TUBOS EXPUESTOS
MARCO A. LEDEZMA TARACENA
TESIS PROFESIONAL
FIG. No. 2-2-6



FES-C  
U N A M

CAMBADOR DE TUBOS EXPUESTOS

MARCO A. LEDEZMA TARACENA

TESIS PROFESIONAL

FIG. No. 2-2-7

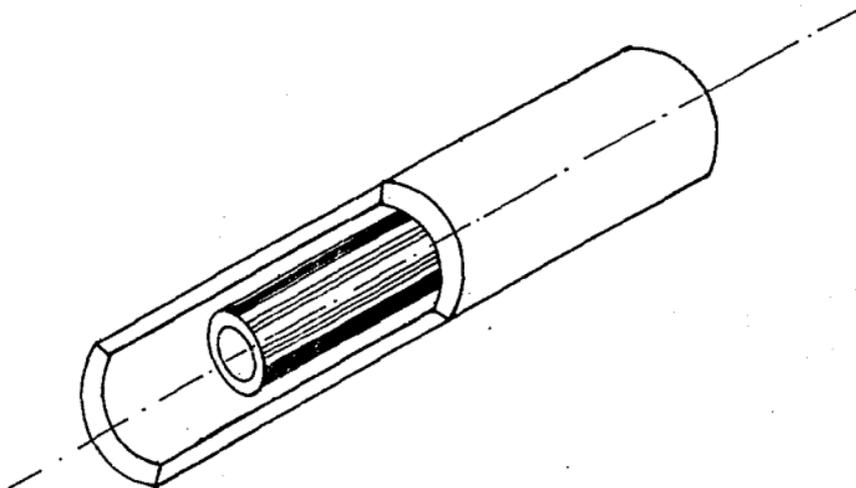
## CAMBIADORES DE TUBOS CONCENTRICOS.

Los Cambiadores de tubos Concéntricos son frecuentemente usados por la sencillez de su construcción y -- por ocupar espacios reducidos. Por su forma cilíndrica y pequeño diámetro requieren poco espesor de pared no-- obstante que se usan para manejar líquidos con altas - presiones.

Consiste en un tubo que envuelve a otro de menor - diámetro dejando espacio suficiente para que pueda circular un fluido según (Fig. 2-2-8).

Este tipo es utilizado generalmente para manejar - hidrocarburos por ambos tubos, ya sea para enfriar o -- precalentar un fluido, según (Fig. 3-2-1 A y B).

Cuando estos cambiadores se usan para tratar aceites llevan raspadores interiores para mantener limpios de parafina sus paredes y aumentar con sus movimientos la mezcla de aceite caliente con el frío, aumentando de esta forma la transmisión de calor.



FES-C  
UNAM

CAMBIADORES  
TUBOS CONCENTRICOS

MARCO A. LEDEZMA TARACENA

TESIS PROFESIONAL

FIG. No. 2-2-8

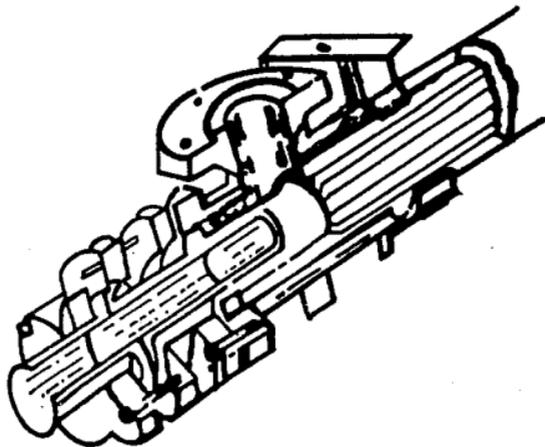
#### CAMBIADORES DE TUBOS CON ALETAS.

En los cambiadores de tubos, ya sea de haz expuestos o de tubos concéntricos, es frecuente el uso de aletas longitudinales en el tubo interior con el objeto de aumentar la eficiencia en la transmisión de calor.

Con la adición de las aletas en los tubos se requiere menor superficie interna de las mismas y por consiguiente será necesario un cambiador de menor tamaño que cuando no se usan aletas.

Se usan generalmente para flujos de hidrocarburos que se desean calentar y estos circulan por el tubo de mayor diámetro y por el tubo inferior aletado circula el vapor.

La (Fig. 2-2-9) muestra una sección de cambiador de calor de tubos concéntricos con aletas.



FES-C  
U N A M

CAMBIADOR DE TUBOS CON ALETAS

MARCO A. LEDEZMA TARACENA

TESIS PROFESIONAL

FIG. No. 2-2-9

### 2.3. TIPOS DE CAMBIADORES DE CALOR SEGUN SU FUNCION. CAMBIADORES DE CALOR.

Nombre bajo el cual se conocen los equipos destinados para recuperar calor de una corriente cediendo - a otro. Estos equipos presentan multiplicidad de diseños pues el uso de mamparas horizontales tanto en el - cabezal, como en la coraza o el cabezal flotante puede proporcionar todos los pasos que sean necesarios en -- determinado proceso, tanto por dentro como por fuera - de los tubos, además pueden construirse para casi cualquier rango de temperatura.

#### CONDENSADORES.

Este tipo de cambiadores, de acuerdo con su función generalmente tienen una forma exterior distinta - aunque cuenta con los mismos elementos principales que son el haz de tubos unidos a placas fijas o flotantes.

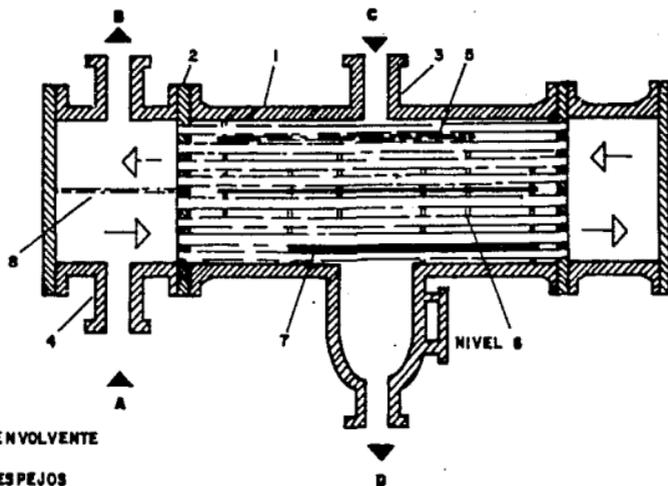
En las grandes plantas de proceso industrial son equipos indispensables, para condensar el vapor procedente de las turbinas bajando además la presión de salida con el consiguiente aumento de energía utilizable

Por otro lado la recuperación del condensado para utilizarlo como agua de alimentación a calderas reporta considerable economía.

El vapor circula por el exterior de los tubos, y el agua de enfriamiento pasa por el interior de los -- tubos.

Generalmente los condensadores llevan una gran -- campana en la parte inferior donde se capta el condensado y se puede controlar el nivel según (Fig. 2-3-10)

Los vapores entran por "C" y salen por "D" el líquido condensado. El agua de enfriamiento entra por -- "A" y sale por "B"



- 1 ENVOLVENTE
- 2 ESPEJOS
- 3 BOQUILLA DE ENVOLVENTE
- 4 BOQUILLA DE CABEZAL
- 5 TUBOS
- 6 DEFLECTORES
- 7 TENSORES
- 8 MAMPARAS DIVISORAS

FES-C  
U N A M

CONDENSADORES

MARCO A. LEDEZMA TARACENA

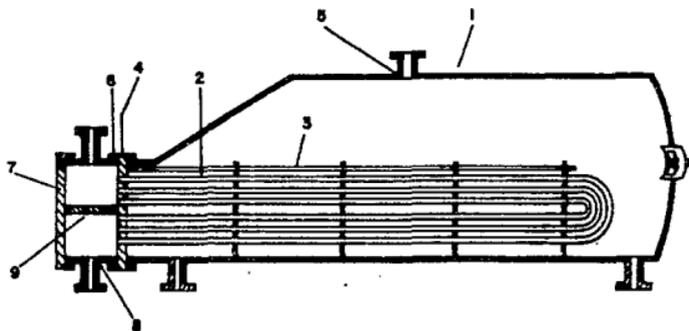
TESIS PROFESIONAL

FIG. No. 2-3-10

## ENFRIADORES.-

Quedan comprendidos en este tipo los cambiadores de calor que usan una corriente líquida de enfriamiento tal como el agua y los que usan líquidos refrigerantes, en cuyos casos se denominan "Chillers", tales como el Amoníaco y propano. En los cuales por dentro de los tubos pasa la corriente que va a enfriar a temperaturas inferiores al ambiente(  $0^{\circ}\text{C}$  ) y estos están sumergidos en el líquido refrigerante contenido en el cuerpo del cambiador a control de nivel, con una cámara de vaporización por el cual el diámetro del haz de tubos es considerablemente menor que el cuerpo y colocado excéntricamente para mantenerlo en la parte inferior. (Fig. 2-3-11).

En este tipo de enfriadores generalmente se suprime el cabezal flotante para evitar la ruptura de los tornillos de sujeción de ésta. Debido a la gran contracción que sufren usándose en su lugar haces de tubo en "U" o serpentines únicos.



- 1.- ENVOLVENTE
- 2.- TUBOS
- 3.- TENSORES
- 4.- ESPEJO FIJO
- 5.- BOQUILLA DE ENVOLVENTE
- 6.- BRIDA DE CABEZAL
- 7.- TAPA DE CABEZAL
- 8.- BOQUILLA DE CABEZAL
- 9.- MAMPARA DIVISORA

FES-C  
UNAM

ENFRIADORES

MARCO A. LEDEZMA TARACENA

TESIS PROFESIONAL

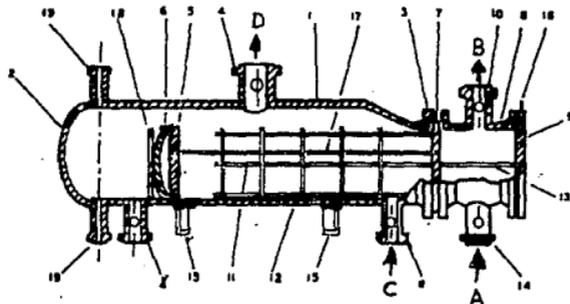
FIG. No. 2-3-II

## REHERVIDORES, RECALENTADORES O EVAPORADORES.

Este tipo de cambiadores se construye en tipos verticales y horizontales con cuerpos de diámetro amplio -- con relación al haz de tubos. Se usan principalmente -- para proveer vapores de calentamiento y arrastre en torres, reactivadores, en generadores de corriente de calentamiento se utiliza vapor recalentado o alguna corriente del proceso que pueda ceder calor necesario para su funcionamiento de evaporación del líquido del proceso para producir vapor en cuyo caso se conocen como calderas.

Un cambiador de haz de tubos con cabezal flotante - y del tipo horizontal se muestra en (Fig. 2-3-12).

El fluido a evaporarse entra por "A" y sale por "B" mientras que el vapor o medio calefactor entra por "C" - y sale por "D", haciendo un doble recorrido por los tubos debido a la mampara horizontal.



- |                              |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1- CORAZA                    | 2- CASQUETE DE LA CORAZA         |
| 3- BUNDA DE LA CORAZA        | 4- ENTRADA DE LA CORAZA          |
| 5- PLACA DE TUBOS FLOTANTES  | 6- CUBIERTA DE LA PLACA FLOTANTE |
| 7- PLACA DE TUBOS FIJOS      | 8- CABEZAL FIJO                  |
| 9- TAPA DEL CABEZAL          | 10- ENTRADA DE LOS TUBOS         |
| 11- VARRILLAS ESPACIADORAS   | 12- DEFLECTORES                  |
| 13- MANPORA HORIZ            | 14- SALIDA DE INSTRUM.           |
| 15- SOPORTES                 | 16- ALZADERAS                    |
| 17- TUBOS                    | 18- MANPARAS                     |
| 19- CONEXION DE NIVEL DE LIA |                                  |

FES-C  
UNAM

EVAPORADORES

MARCO A. LEDEZMA TARACENA

TESIS PROFESIONAL

FIG. No. 2-3-12

## CAPITULO 111

CONOCIMIENTOS BASICOS DE LOS ELEMENTOS PARA LA REPARACION DE LOS CAMBIADORES DE CALOR.

### 3.1 COMPONENTES Y DESCRIPCION DE CADA UNA DE SUS PARTES

Las partes principales de los cambiadores de calor son las que a continuación se nombran.

A) CARCAZA O ENVOLVENTE.

B) HAZ DE TUBERIA O NUCLEO.

C) CAREZAL DE ENTRADA.

D) CAREZAL DE SALIDA.

Ahora se describe a cada una de sus partes y nombres de los elementos que lo componen.

A) CARCAZA O ENVOLVENTE.

En ella se contendrá a los fluidos del proceso y soportarán a sus presiones.

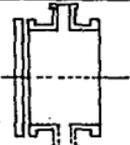
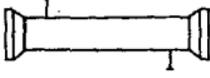
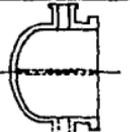
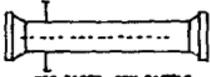
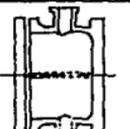
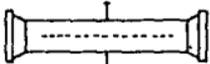
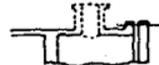
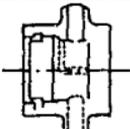
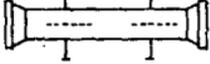
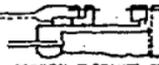
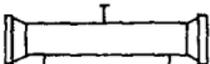
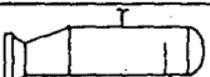
Constan de boquillas de entrada y salida según el tipo, se muestra en (Fig. 3-1).

B) NUCLEO O HAZ DE TUBOS.

Es el corazón del Cambiador de Calor por el circula el fluido para subir o bajar su temperatura según sea su función.

A continuación se mencionan las partes que lo componen:

- 1).- ESPEJO DELANTERO O FRONTAL.
- 2).- ESPEJO POSTERIOR (DE NO SER DE TUBOS EN "U")
- 3).- TUBOS (RECTOS, CURVOS O EN "U")
- 4).- DEFLECTORES.
- 5).- SEPARADORES.
- 6).- PLACAS DE CHOQUE.

TIPOS DE CABEZALES DE ENTRADA		TIPOS DE CARCAZA		TIPOS DE CABEZALES DE RETORNO	
A	 CUBIERTA Y CANAL DISTRI- BUIDORES REMOVIBLES	E	 UN PASO	L	 ESPEJO FIJO COMO "A" SIN PLACA DIVISORA
B	 BORNETE	F	 DOS PASOS CON BARRILE LONGITUDINAL	M	 ESPEJO FIJO COMO "B" SIN PLACA DIVISORA
C	 CANAL DISTRIBUIDOR CON ESPLEJO INTEGRAL DE CU- BIERTA REMOVIBLE	G	 FLUJO ABIERTO	N	 ESPEJO FIJO COMO "C" SIN PLACA DIVISORA
D	 ESPECIAL PARA ALTA PRESION	H	 FLUJO DOBLE ABIERTO	P	 CABEZAL FLOTANTE CON EMPAQUE EXTERIOR
		J	 FLUJO DIVIDIDO	S	 CABEZAL FLOTANTE CON CONTRA BRIDA
		K	 VAPORIZADOR	T	 CABEZAL FLOTANTE SIN CONTRA BRIDA
				U	 HAZ DE TUBOS EN "U"

FES-C  
UNAM

TABLA TEMA

MARCO A. LEDEZMA TARACENA

TESIS PROFESIONAL

FIG. No. 3 - 1

### C) CABEZAL DE ENTRADA.

Son elementos cilíndricos de menor longitud que una envolvente, cuya función es la de recibir el fluido que circula por el interior de los tubos y distribuirlo a través de los mismos y posteriormente recolectarlo y enviarlo fuera del Cambiador (Esto sucede cuando el número de paso por los tubos es par; en caso contrario la salida será por el cabezal de retorno) para tales efectos se tienen boquillas de entrada y salida, integradas al cuerpo del cabezal que van conectadas a las líneas de tubería al sistema.

Un cabezal de entrada puede tener una tapa plana empernada, mediante una brida o una tapa soldada al cuerpo cilíndrico, por el otro lado puede ser, empacada, sujetado al cuerpo entre las bridas del cabezal y envolvente o integrado al espejo. Los tipos de cabezales de entrada más usuales son clasificados por especificaciones según (Fig. 3-1).

### D) CABEZAL DE SALIDA O RETORNO.

Este es también un elemento cilíndrico, casi de la misma proporción que el cabezal de entrada (Excepto los cabezales de tipo Flotante). La función de este elemento es recibir al fluido que viaja por el interior de los tubos procedente del cabezal de entrada y enviarlo nuevamente, a través de los tubos del siguiente paso, al cabezal de entrada. Para el caso que el número de pasos por los tubos sea impar, este cabezal enviará al fluido fuera del Cambiador o sea que se puede tener una bujía para salida que se interconecta a la línea de tubería del sistema.

Prácticamente el cabezal de retorno es el indicador del tipo del cambiador en cuestión si se habla

de un cabezal de retorno tipo "S" se trata de un cambiador de calor con haz de tubos removibles, un cabezal "N" nos indica un Cambiador con espejo (haz de tubos no removibles independientemente del tipo de cabezal de entrada).

### 3.2 SELECCION DE MATERIALES PARA CADA UNA DE LAS PARTES QUE LO COMPONEN.

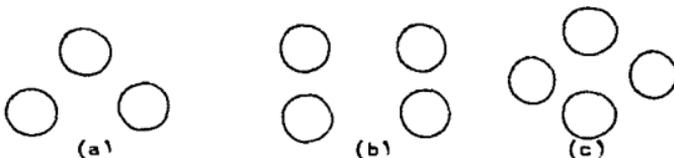
El material más utilizado en la construcción de cambiadores de calor es el acero al carbón y habrá de emplearse siempre que las condiciones corrosivas y de servicio lo permitan ya que este es el material de menor costo, y de mayor disponibilidad en el mercado, se fabrican en todas las formas de suministro y poseen buenas y variadas propiedades mecánicas, por lo que se toma como base para la construcción de estos equipos - pero cuando las condiciones no permiten su uso se seleccionará otro, de menor calidad, que proporcione el factor de seguridad y de servicio requerido.

Los elementos constructivos de los cambiadores de calor en los que se pondrá mayor atención al seleccionar sus materiales, son aquellos sujetos a presión ya que la corrosión puede llegar a destruir el material útil para soportarla y por lo que siempre que sea posible se incluirá un espesor adicional al requerido por la presión, quedando con ello material disponible para los efectos corrosivos sin que el equipo sufra daños de consideración de su vida útil.

ARREGLO DE LOS TUMOS.- El arreglo de los tubos en el espejo puede ser de la siguiente manera.

- a).- Paso en triángulo.
- b).- PASO Cuadrado.
- c).- Paso Rombo

Según la siguiente figura.



Se mide el paso de los tubos por la distancia más corta que existe de centro a centro de tubos adyacentes los pasos y diámetros más comunes en la Refinería -

Diámetro de tubo	Paso	Paso
3/4" (1.905 cm.)	12" (2.54 cm)	15/16" (2.38 cm)
1" (2.54 cm)	1 1/4" (3.175 cm.)	1 1/4" (3.175 cm.)

Los tubos tienen diversas longitudes, cuyas dimensiones son diferentes al tamaño clásico que es de 16' (4.876 M) sin embargo se consideran normales los tamaños de 8' (2.438 M), 10' (3.048 M), 12' (3.657 M) y 20' (6.09 M).

Cualquier longitud puede usarse aunque se prefieren longitudes pares.

En la selección del material de los tubos se debe considerar el ataque corrosivo y las condiciones de servicio de cada fluido ya que ambos están en contacto con ellos, uno por su interior y el otro por su exterior. La selección se efectuará atendiendo al fluido con características más críticas, tales como de servicio y corrosivas. Comercialmente no se cuenta con espesores normalizados para los tubos, que proporcionan material disponible por la corrosión por lo que deberá resultar imperceptible.

En la siguiente tabla se muestran el tipo de operación de Cambiadores de Calor y el tipo de material utilizado en cada una de sus partes según especificación ASME (Fig 3-2-1).

#### ESPEJOS.

El material de construcción de los espejos también debe seleccionarse para satisfacer el ataque corrosivo y las condiciones de servicio de ambos fluidos y en especial para el más crítico ya que el fluido ataca a una de sus caras y el otro a la opuesta.

A estos elementos se les puede adicionar material disponible para la corrosión, por lo que generalmente se fabrican de acero al carbón, pero debido a que los tubos irán insertados a ellos quedando expuesta su unión a la acción de los fluidos, el material de los espejos deberá ser igual al de los tubos u otros de las mismas características electroquímicas para evitar que se desarrolle un ataque bimetalico.

Cuando los tubos son de acero al carbón o de acero inoxidable, no existe problema en fabricar los espejos de los mismos materiales pero cuando los tubos son de cobre o algunas de sus aleaciones, si se tiene problemas para fabricar los espejos de estos mismos materiales debido que tienen bajo esfuerzos permisibles y bajan más aún al elevarse la temperatura, por lo que necesitarán un espejo mayor que el de acero al carbón y como el costo también es mayor sería antieconómico, es entonces cuando dichos espejos se fabrican de acero al carbón con un recubrimiento integral de cobre o algunas de sus aleaciones, aunque en algunas ocasiones se fabrican totalmente de cobre.

FIG. 3-2-1 (A)

CONDICIONES DE OPERACION POR DENTRO DE LOS TUBOS	CONDICIONES DE OPERACION FUERA DE LOS TUBOS	ESPECIFICACIONES DE MATERIALES			
		TUBOS	PLACAS DE TUBOS	CABEZAL FLOTANTE	CARCAZA
RESIDUOS DE ALTO VACIO 50 Lb/Pig. <sup>2</sup> 580°F	VAPOR 155 Lb/Pig. <sup>2</sup> 365°F	A-199 Gr T5 (4-6% Cr)	A-515-Gr 60	A-285 Gr C	A-285 Gr C
AGUA 20 Lb/Pig. <sup>2</sup> 110°F	VAPOR Y H <sub>2</sub> O 10 Lb/Pig. <sup>2</sup> 224°F	A-203 Tp. 30 4 (18% Cr 8% Ni)	A-515 Gr. 60	A-285 Gr C	A-285 Gr C
AGUA 30 Lb/Pig. <sup>2</sup> 98°F	CONDENSADO 30 Pig. Hg.	B-111 TP. B (ALUMINIO - 1eton) ALEACION 687	B-171 ALEACION 464 a' 614	—	A-285 Gr C
CRUDO Y AGUA 305 Lb/Pig. <sup>2</sup> 253°F	ACEITE Y GAS 80 Lb/Pig. <sup>2</sup> 508°F	MONEL	A-515-Gr 60	A-515 Gr 60	A-515 Gr 60
GASOLINA+H <sub>2</sub> S 380 Lb/Pig. <sup>2</sup> 480°F	GASOLINA+H <sub>2</sub> + GAS 2 440 Lb/Pig. 485°F	A-209 Gr T1 (1/2% Mo)	A-204 Gr A (1/2% Mo)	A 204 Gr A (1/2% Mo)	A-204 Gr A (1/2% Mo)
GASOLINA+GAS + H <sub>2</sub> 270 Lb Pig. <sup>2</sup> 550°F	GASOLINA+GAS + H <sub>2</sub> 2 420 Lb/PLG. 605°F	A-213 Gr T1 (1 1/4 Cr 1/2% Mo)	A-387 Gr B (1 1/4 % Cr-1/2 % Mo)	A-387 Gr B	A-387 Gr B
AGUA TRATADA 15 Lb/Pig. <sup>2</sup> 115°F	ACEITE PESA DO 2 140 Lb/Pig. 675°F	B-111 ALEACION 71 (80-20 Cu-Ni)	CLAD A-515 CON B-171-467	A-515	A-515
VAPORES DE HIDROCARBUROS 545 Lb/Pig. <sup>2</sup>	FREON 22 14.4 Pig.Hg 65°F	A-334 Gr 3 (3.5% Ni)	A-350 Gr F3 (3.5% Ni)	A-350 Gr F3 (3.5% Ni)	A-203 Gr D (3.5% Ni)
AGUA 50 Lb/Pig. <sup>2</sup> 120°F	HIDROCARBUROS 1H, B F 3 250°F	B-111 ALEACION 700	B-175 ALEACION 700	—	A-106 Gr B

FIG. 3-2-1(B)

CONDICIONES DE OPERACION POR DENTRO DE LOS TUBOS	CONDICIONES DE OPERACION FUERA DE LOS TUBOS	ESPECIFICACIONES DE MATERIALES			
		TUBOS	PLACAS DE TUBOS	CABEZAL FLOTANTE	CARCAZA
DIESEL 88 Lb/Pig. <sup>2</sup> 150°F	CRUDO 250 Lb/Pig. <sup>2</sup> 308°F	A-179 (AC. AL CBN)	A-515 Gr. 60 (AC. AL CBN.)	A-285 Gr. C (AC. AL CBN)	A-285 Gr C AC. AL CBN.)
CRUDO 225 Lb/Pig. <sup>2</sup> 240°F	HIDROCARBURO 75 Lb/Pig. <sup>2</sup> 150°F	A-179	A-515 Gr 60	A-285 Gr. C	A-285 Gr C
CRUDO 225 Lb/Pig. <sup>2</sup> 240°F	CRUDO REDUCIDO. 62 Lb/Pig. <sup>2</sup>	A-179	A-515 Gr 60	A-285 Gr C	A-285 Gr C
CRUDO 245 Lb/Pig. <sup>2</sup> 470°F	CRUDO REDUCIDO. 92 Lb/Pig. <sup>2</sup> 665°F	A-199 Gr T5 (4.6% C)	A-515 Gr 60	A-285 Gr C	A-285 Gr C
AGUA 20 Lb/Pig. <sup>2</sup> 120°F	HIDROCARBURO 55 Lb/Pig. <sup>2</sup> 335°F	B-111 (ADMIRALTY)	B-171 ALEACION 464 BRONCE NAVAL	B-171 ALEACION 464 BRONCE NAVAL	A-285 Gr C
AGUA 20 Lb/Pig. <sup>2</sup> 120°F	GASOLINA Y VAPOR 516 Lb/Pig. <sup>2</sup> 330°F	B-111 ALEACION 715 70-30 Cu-Ni	B-171 ALEACION 715 70-30 Cu-Ni	B-171 ALEACION 715 484 o' 614	A-285 Gr C
AGUA 20 Lb/Pig. <sup>2</sup> 110°F	KEROSINA 63 Lb/Pig. <sup>2</sup> 404°F	B-111 (ADMIRALTY)	B-171 ALEACION 464 BRONCE NAVAL	B-171 ALEACION 464 BRONCE NAVAL	A-285 Gr C
AGUA 20 Lb/Pig. <sup>2</sup> 110°F	DIESEL 70 Lb/Pig. <sup>2</sup> 70°F	B-111 (ADMIRALTY)	B-171 ALEACION 464 BRONCE NAVAL	B171 ALEACION 464 BRONCE NAVAL	A-285 Gr C
HIDROCARBURO PESADO 95 Lb/Pig. <sup>2</sup>	CRUDO REDUCIDO. 320 Lb/Pig. <sup>2</sup> 547°F	A-199 Gr T 7	A-515 Gr 60	A-285 Gr C	A-285 Gr C

De estos últimos materiales, cuando el diámetro del equipo es menor a 40" (1.016 M) la presión baja y la temperatura moderadamente alta (No mayor a 150°C), o cuando por ambos lados se tiene peligro de corrosión bimetalica. Como generalmente se conoce y utiliza el cobre y sus aleaciones para servicios de agua, el recubrimiento integral estara de lado en que se maneje esta, para protección contra la corrosión, únicamente, ya que el acero al carbón resistirá los esfuerzos.

El diámetro de los agujeros de las placas deberán ser ligeramente mayor al diámetro exterior de los tubos de 0.005" a 0.010".

Las ranuras de los agujeros de acuerdo con las especificaciones TEMA serán 1/8" (0.317 cm) de ancho por 1/64" (0.039cm) de profundidad.

#### VARILLAS TENSORAS O ESPACIADORES

La función de estas varillas es lograr un armazón rígido entre deflectores, placas de amarre y uno de los espejos haciendo posible el manejo del haz de tubos como un solo elemento. El número de varillas requeridas así como su diámetro están en función del diámetro de la envolvente y deberán ser distribuidas así como su diámetro en toda la periferia de la plantilla del barrenado teniendo de los deflectores para evitar problemas de vibración.

Uno de los extremos de estas varillas deberán ir empotradas al espejo empacado, cuando se trata de un haz de tipo removibles a este empotramiento se harán en el espejo próximo a la boquilla alimentadora de la envolvente cuando se trata de un equipo de espejos fijos.

Solamente cuando el equipo sea de cabezal flotante se estará en posibilidad de localizar estas varillas del círculo límite de tubos si fuera necesario -- por condiciones de espacio, cuidando únicamente que no sobresalga del perímetro de los deflectores, los tubos espaciadores que cubren estas varillas, así como las tuercas de sus extremos no empotradas.

DIAMETRO DE ENVOLVENTE	Diam. de VARILLAS	Num. Min. de VARILLAS
8"(20.32 cm)-15"(38.1cm)	3/8"(0.952cm)	4
16"(40.64cm)-27"(68.58cm)	3/8"(0.952cm)	6
28"(71.12cm)-33"(83.82cm)	1/2"(1.27cm)	6
34"(86.36cm)-48"(121.92 cm)	1/2"(1.27cm)	8

49"(124.4cm)-60"(152.4cm)	1/2"(1.27cm)	10
61"(154.9cm)-100"(254cm)	5/8"(1.58)	12

ENVOLVENTES, TAPAS, CANALES Y BOQUILLAS.- Estos elementos contendrán a los fluidos del proceso y soportarán a sus presiones, se fabrican normalmente de acero al -- carbón cuando las temperaturas son ambientales o moderadamente altas (-28° C a 315° C ) ya que se puede agregar material disponible para la corrosión y solo en ocasiones muy especiales se fabrican de materiales de mejor calidad.

La construcción de estos elementos se llevan a cabo a partir de diversas formas de suministro, como el caso de los envolventes y canales que algunas veces se obtiene de tubos cédula por lo que deberá de seleccionarse la forma de suministro.

Especificación de Envolvente de Tubería.

ASME SA-106	Acero al carbón para altas temperaturas.
ASME SA-53	Acero al carbón.
ASME SA-335	Acero de aleación ferrítica para alta temp.
ASME SA-376	Acero Austenítico sin costura para alta --- temperatura.
ASME SA-241	Aleaciones de Aluminio. Hecha de lámina Rolada y Soldada.
ASME SA-204	Acero al Molibdeno.
ASME SA-285	Acero al carbón de baja y mediana resistencia.
ASME SA-305	Acero al carbón de mediana resistencia para mediana y alta temperatura.
ASME SA-203	Acero al Níquel
ASME SA-387	Acero al Cromo- Molibdeno
ASME SA-240	Acero inoxidable al cromo y cromo-níquel
ASME SA-162	Níquel
ASME SB-127	Aleaciones, Níquel-Cobre
ASME SB-96	Aleaciones de Cobre-Silicio
ASME SB-11	Cobre
ASME SB-171	Aleaciones de Cobre
ASME SB-169	Aluminio- Bronce.
ASME SB-209	Aleaciones de Aluminio.
FUNDIDOS.	
ASME SA-216	Acero al carbón para altas temperaturas.
ASME SA-217	Acero de aleación para altas temperaturas.
ASME SA-352	Acero ferrítico para bajas temperaturas.
ASME SA-351	Acero ferrítico y Austenítico para altas temperaturas.
ASME SB-61	Bronce
AME SB-62	Bronce
ASME SB-278	Clase 30 Hierro gris hasta 650°F.

#### CABEZALES DE ENTRADA Y SALIDA O RETORNO.

Los cabezales de entrada y retorno deben de ser siempre del mismo material de la carcaza o envolvente para estar sujeta a las mismas condiciones térmicas.

#### PLACA DE CHOQUE

Es una placa que se coloca frente a la proyección de la boquilla de entrada y cuya función es proteger a los tubos de transferencia del impacto del fluido que pueda dañar los tubos. En ocasiones no es práctico usar la placa de choque debido a las dimensiones de la boquilla de la envolvente y el número de tubos; se utiliza un domo de distribución que hace la función de la placa, cuando las necesidades lo requieren, el domo se puede emplear hasta convertirlo en un cinturón de la envolvente y casi siempre es de acero al carbón de  $1/4"$  (0.125"), o del mismo material de los tubos.

#### DEFLECTORES.

Son placas seccionadas que van colocadas transversalmente dentro de la coraza, con perforaciones para que pasen los tubos.

El objeto del uso de los deflectores es hacer sinuoso el trayecto de los fluidos de la coraza para obtener un mayor tiempo de contacto con la superficie exterior de los tubos.

Hay varios tipos de deflectores transversales, los que se usan con mayor frecuencia son los de media luna, los de disco y los de anillos. Los deflectores de media luna, colocados alternadamente abajo y arriba dentro de la coraza, hacen que el fluido suba y baje en su trayectoria hacia la salida, mientras que los de disco y anillo hacen que el fluido pase primero por los tubos del centro del haz.

Con este tipo de deflectores se tiene poca fricción y por lo tanto la caída de presión es baja.

**MAMPARAS HORIZONTALES.**

Es una placa que se coloca en la coraza o en los cabezales, logrando con ello que los cambiadores se conviertan de pasos múltiples, los cambiadores de paso simple no llevan mamparas horizontales.

### 3.3 HERRAMIENTAS QUE SE EMPLEAN EN LA REPARACION DE LOS HACES DE TUBERIA EN EL TALLER DE CAMBIADORES DE CALOR.

Dentro de la variedad de herramientas que se emplean en la reparación de los haces de tubería las mencionaremos de la siguiente manera:

- a).- LLAVES FIJAS O ESPAÑOLAS (COLA Y GOLPE)
- b).- LLAVES DE ESTRIAS (COLA Y GOLPE)
- c).- LLAVES DE CAJA
- d).- LLAVES PARA TUERCAS AJUSTABLES (PERICO)
- e).- LLAVE AJUSTABLE PARA TUMOS (STILLSON)
- f).- LLAVE DE CADENA ( PARA TUMOS )
- g).- ESCARIADORES
- h).- MACHUELOS Y TARRAJAS PARA ROSCAR TORNILLOS
- i).- CORTA TUMOS
- j).- SACA BOCADO
- k).- BOTADORES DE PUNTAS
- l).- PINZAS DE PRESION
- m).- LLAVES COMBINADAS ( ESPAÑOLAS-ESTRIAS )
- n).- DOBLADORES DE TUBOS
- ñ).- NIVELES Y ESCUADRAS

A continuación describiremos el uso que se les da a estas herramientas en el taller de cambiadores de calor.

a,b,c).- Tanto las llaves fijas o españolas, llaves estrias y llaves de caja se utilizan para aflojar los serruchos que sirven para empernar o ensamblar las tapas flotantes, anillos de prueba, tapas y bridas.

d).- La llave para tuercas ajustables "Perico" sirve para aflojar o apretar algún tornillo o tuerca de medida especial.

- e, f).- La llave ajustable para tubería y la de cadena sirven para poder sujetar y maniobrar la tubería.
- g).- Los escariadores sirven para dar un mejor acabado a los barrenos hechos en los espejos para proceder a darles el acabado deseado.
- h).- Machuelos y tarrajas para roscar tornillos nos -- sirve, para hacer roscas a los espejos y roscar las -- varillas tensoras.
- i).- Los corta tubos son utilizados cuando la medida - deseada de los tubos es sobrada.
- j).- Saca bocados nos sirven para la fabricación de -- las juntas.
- k).- Los botadores de puntas nos sirven para sacar roscas tapadas dentro del espejo.
- l).- Las pinzas de presión son muy útiles en el ensamble y desarmado de los haces de tubería principalmente para quitar las varillas tensoras.
- m).- Las llaves combinadas (españolas-estrías) nos sirve para ajustar máquinas- herramientas y aflojar la tornillería de las varillas tensoras.
- n) Los dobladores de tuberías, su propósito es el de hacer los dobles de los tubos de "U".
- ñ).- Los niveles y escuadras nos sirven para colocar los nucleos dentro de las carcazas.

ENTRE OTRAS HERRAMIENTAS MANUALES MENCIONAREMOS:

- a).- CABLES
- b).- ESTROBOS
- c).- ESLINGAS
- d).- POLEAS
- e).- POLIPASTOS

a).- Los cables se usan para fijar tuberías (línea) o alguna otra ayuda en alguna maniobra.

b).- Los estobos nos sirven para sujetar y levantar o bajar tapas, carretes, tapas flotantes y de prueba.

c).- Las eslingas nos sirven para sostener los haces de tubería y hacer su maniobra. Hay contenido metálico y de lona tramada de acero.

d) Poleas, nos sirve para facilitar en subir o bajar alguna pieza o herramienta ligera.

e) Los polipastos son usados para maniobras en equipos de mayor peso.

A continuación mencionaremos "MÁQUINAS - HERRAMIENTAS", les llamamos así por que son herramientas accionadas por una máquina eléctrica o neumática y las situaremos en la parte intermedia de esta dos secciones.

Describiremos su uso dentro del taller.

#### MÁQUINAS-HERRAMIENTAS.

a).- Cortador de tubos

b).- Extractor de tubos

c).- Martillo de impacto

d).- Taladros neumáticos

e).- Turbinas

f).- Pistola de presión

g).- Roladoras ( EXPANDER)

h).- Pistola de impacto

a).- El cortador de tubos en la reparación de nidos de los cambiadores de calor, consiste en cortar los tubos después del espejo, y en el otro extremo se efectúa una extracción con el gato hidráulico.

La máquina cortadora de tubos está equipada con motores eléctricos o bien con motores accionados con aire. Son portátiles y fáciles de operar, ya que el número de revoluciones a que gira el motor varía de 200 a 625rpm. Utilizándose para cortar tubos de acero y tubos no ferrosos. Entre los tipos más comunes de máquinas de corte usadas en la Refinería tenemos; TT-625, TT-350, TT-265, ETC-625, ETC-350. Esto en cuanto a la marca usada en la refinería "Airetool".

A continuación mostramos una tabla usada para seleccionar el motor.

TT-625	5/8"-1"	tubos	no ferrosos	625
TT-350	5/8"-1"	tubos	acero y no	335
TT-265	5/8"-1"	tubos	ferrosos	200&265
ETC-625	5/8"-1"	tubos		560
ETC-350	5/8"-1"	tubos		190

b).- Extractor de tubos.- Para la extracción de tubos en los cambiadores de calor, tubos de condensador etc. se utiliza el gato hidráulico "jenny".

El equipo consta de lo siguiente.

- 1.- Espiga extractora.
- 2.- Adaptador.
- 3.- Gato hidráulico.
- 4.- Herradura de seguridad.
- 5.- Tubo (para hacer palancas).
- 6.- Bomba manual.

El procedimiento es sencillo.

Primero.- Se rosca la espiga extractora en el adaptador.

Segundo.- Se introduce la espiga en la boca de uno de los tubos que se va a extraer y se enrosca en el tubo, se puede usar una pistola de impacto o a mano con un perico, se hace girar la espiga en el interior del tubo a sacar.

Tercero.- Colocando el "gato" a través de la espiga y adaptador hasta sacar el cuadro.

Cuarto.- Coloque la herradura al adaptador.

Quinto.- Aplicando presión con la mano a la Bomba.

Sexto.- Al mismo tiempo, empuje el tubo con el otro extremo con una pistola de impacto.

Séptimo.- Después que la Presión ha sacado el tubo en toda su carrera, regrese el gato utilizandolo como golpeador contra la herradura hasta sacar completamente el tubo.

Octavo.- Ya sacado el tubo, quite la herradura de seguridad, saque el gato, con unas pinzas o perico, desenrosque la espiga y adaptador del tubo, después se procede a sacar los otros tubos.

c).- Martillo de impacto.- Se usan para cortar y borrar la tubería. Los cincelos neumáticos son utilizados cuando el material de la tubería está demasiado corroído y no es posible sacarlos con el método adecuado.

Los botadores tienen la función de desalojar a los tubos cortados de los espejos.

Existen de diversos tamaños, para tubos de diámetro exteriores de:

1/2", 5/8", 3/4", 7/8", 1", 1 1/4" y 1 1/2".

De acuerdo con el diámetro exterior del tubo -- y el calibre se piden los botadores; así se tienen - los botadores de:

3/4"	1"
Calibre	Calibre
12	10
14	12
16	14

d).- Taladro neumático.- Es utilizado para checar los barrenos por donde se meteran los tubos de los deflectores.

e).- Turbinas.- Estos tipos de turbinas resuelven los problemas de limpieza en los cambiadores de calor, condensadores y otros tipos de tubos. Se acoplan en su puntas a diferentes tipos de brocas y brochas.

La velocidad nominal es de 1200 rpm. En las Turbinas. Tipo CC-375-1; ideal para limpiar completamente tubos obstruidos. Utilicese en tubos de aleaciones de aluminios.

Tipo CC-325-1.- Cuando las condiciones requieren bajas velocidades y potencia grande es efectivo éste tipo de turbina. La máxima velocidad es de 800 rpm. pesa 38lbs. Y se utiliza para tubería de 3/8 diám. a 2 1/2" de diám. interior. Se utiliza para tubos de aleación de aluminio y en aceros maquinados.

f).- Pistola de presión.- La pistola de presión para limpiar tubos de condensadores, de cambiadores de calor -- utiliza aire o agua. Se utiliza para remover depósitos -- suaves de lodos, algas y vegetación marina similar.

La presión recomendada debe ser 65 Lb/pulg<sup>2</sup> (5 kg/cm<sup>2</sup>) para tubos de 1/2" diám. a 1" diám.

La pistola de presión para limpiar tubos de los cambiadores de calor, es de construcción sólida provista -- con boquillas removibles y protector de rocío. Su desarmado es fácil para su mantenimiento y limpieza.

Para la limpieza de los cambiadores de calor son insertadas en el tubo, las brochas o cepillos, o unos tapones; después la boquilla es insertada, con un movimiento continuo hacia adelante hace que la pistola funcione disparando por medio de un chorro al tapón o a un cepillo.

Según va avanzando el cepillo ó el tapón, se van arrastrando los depósitos blandos de lodos a través de el tubo hasta salir al otro extremo.

El cepillo está compuesto de fibras gruesas de nylon en forma de espiral y sus extremos son menores que el diámetro del tubo, para que el agua fluya adelante simultáneamente con el cepillo.

g).- Roladoras.- Las máquinas neumáticas para expandir tubos por medio de roles, se tienen en la Refinería varios modelos.

Así se tienen los modelos; 1,000; 1,050 y 850; - existen también los modelos números 900, 400 TR, 806 816, 866, 939, MR-881, MR-939, etc., de la marca "Airetool".

Entre las más comunes, mencionaremos la número - 1000.

La presión de aire recomendada varía de 90 Lb/pulg<sup>2</sup> (6.3 kg/cm<sup>2</sup>) mínimo a 125 Lb/pulg<sup>2</sup> (8.8 kg/cm<sup>2</sup>).

Las fluctuaciones de presión de aire no afectan en el control del par.

Para la lubricación de este modelo se recomienda un aceite SAE núm. 10.

Otro modelo utilizado es el 1050 que opera a una velocidad de 400 rpm. Y es ideal para trabajos de rolados fáciles.

Para rolar tubos desde 1/2 pulg. hasta 1" para tubos no ferrosos, a 1250 rpm y desde 1/2" hasta 1" para tubos de acero a 600 rpm.

Conectandose a una presión de 90 a 100 p.s.i. ---  
(7.08 kg/cm<sup>2</sup>).

Rolador tipo (6-900) para rolar los tubos de los cambiadores de calor y condensadores, expandiendolos con roles rotativos, que son auto alineados y de roliamiento paralelo.

h).- Pistola de impacto.- La pistola es usada con llaves de caja para apretar y/o aflojar tuercas a los esparragos que sirven de remache entre las partes de los cambiadores de calor.

#### III.4 MAQUINARIA NECESARIA EN EL TALLER DE CAMBIADORES DE CALOR PARA LA REPARACION DE LOS HACES DE TUBERIA.

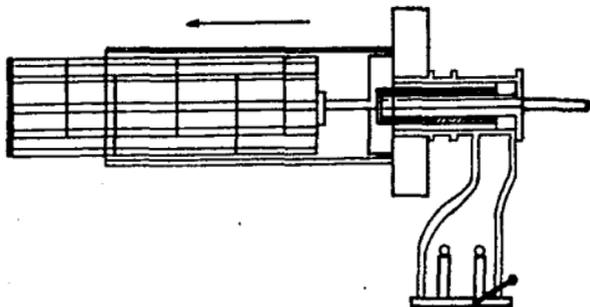
Maquinaria necesaria para la reparación de los haces de tubería:

- |                         |                     |
|-------------------------|---------------------|
| a) Extractor de nucleos | b) Lavador de haces |
| c) Parte "K"            | d) Bomba de prueba  |
| e) Compresor            | f) Grua "viajera"   |

a)EXTRACTOR DE NUCLEOS.- Según (Fig. 3-4-1)

b) LAVADOR DE HACES

Un método completamente respecto al continuo problema de limpieza de los haces de los cambiadores de calor que se enfrentan todas las plantas petroleras, petroquímicas y químicas; los equipos de cambiadores de calor son una inversión considerable y ganancia del proceso de operación, está íntimamente ligado a la operación, eficiente y al tiempo perdido de los cambiadores; se han desarrollado el proceso de turbuladores para obtener un grado máximo de limpieza en un tiempo -- mínimo.



FES-C  
UNAM

EXTRACTOR DE NUCLEOS

MARCO A LEDEZMA TARACENA

TESIS PROFESIONAL

FIG. No. 3-4-1

Es muy importante el obtener un alto grado de limpieza en un tiempo mínimo. El obtener un alto grado de limpieza para remover el residuo y que la superficie de metal no este rayada, lo cual facilitará el que se forme nuevamente la incrustación. El obtener superficies exteriores brillantes, tales como las que produce el chorro de arena o agua de alta presión podrán producirse en pequeñas picaduras o rayaduras, las cuales aún en cantidades muy pequeñas darán pie a que prontamente se vuelva a incrustar el residuo.

En la actualidad los sistemas que se usan para limpieza por medio de varillas, turbinas, recirculación sin desmontar, y por inmersión en tanques, todos estos sistemas dejan bastante que desear respecto al grado de limpieza. El proceso de los turbuladores utiliza los mejores productos químicos en la concentración y temperaturas adecuadas para desintegrar los depósitos de residuo y aumentar esta capacidad por medio de la aplicación de una fuerza hidráulica tremenda.

El proceso de turbulencia tanto el exterior como el interior de los haces ( sean de forma cuadrada o triangular) y cuya longitud sea hasta de 20 pies y con un diámetro de 48 pulgadas, esta limpieza se puede obtener en un período de tres horas o aun menos o con un ahorro en total por cada nido (haz). El proceso Turco requiere un mínimo de fuerza humana para operar, un mínimo de mantenimiento y los resultados de eficiencia de limpieza son casi un 100% de coeficiente de transferencia de calor, de acuerdo con los standards del diseño, No hay remoción de metal o rayadura de la superficie y no se dejan partes sin limpiar. La acción turbuladora del proceso asegura un tiempo mínimo de contacto de la Solución limpiadora, lo cual resulta en una mayor vida de dicha solución y por lo tanto en un costo mínimo del uso del producto.

Habr  ocasiones en que el residuo o incrustación haya tapado por completo algunos tubos, los cuales no será posible destapar por medio de la fuerza hidráulica, en esos casos se tendrán que taladrar abriendo -- una vía para que fluya la solución. Aún en estos casos, habiendo pasado por el proceso de turbulaci n lo más probable es que el 10% de estos tubos requieran ser taladrados.

Los impulsores laterales darán diferentes pasos de flujo a través de un mecanismo de control reversible.

Los impulsores de los extremos trabajan en conjunto empujando y el otro jalando y después también en reversa. El impulsor produce en un flujo promedio de 5,000 galones por minutos a razón de 6 a 6.5 pies por segundo. Por lo tanto, la efectividad de la limpieza se multiplica muchas veces con los 6,500 galones de la solución que est n en movimiento a razón de ----- 40,000 Galones por minuto. Esta combinación produce una tremenda acción limpiadora.

Otra de las características del turbulador es un resumidero. Es muy importante limpiar la superficie de los tubos para obtener esta limpieza. El resumidero especialmente diseñado para recoger todo el residuo o una vez que ha sido removido, sin tener que estar este completamente disuelto a haciendolo recircular. Existen unos desagües para quitar el residuo recolectando cuando se desee.

Es de vital importancia el seleccionar productos químicos de limpieza apropiados para este proceso.

La mayor parte de los residuos pueden removerse en menos de tres horas, usando cualquiera de los siguientes procedimientos:

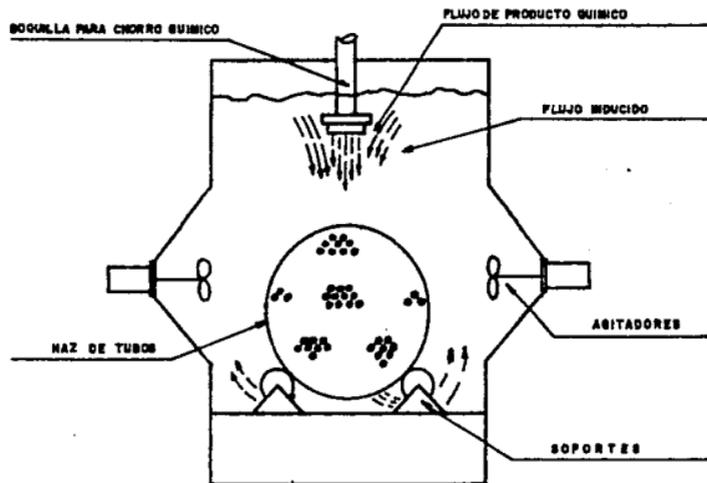
- 1.- Para residuos estrictamente aceitoso y grasoso se forman abajo de rango de coquizado, se recomienda el Turco Super-Ferrex N°-4252-10 (o equivalente) a una concentración de 12 a 16 oz/gal. en agua a -- 200°F-10°.
- 2.- Para residuos asfálticos o residuos formados en la base inferior del cambiador de calor, recomendamos el Turco-Super Ferrex N°-4252-10 (o equivalente) -- en una proporción de 12 a 16 oz/gal. en agua más 5- a 10% por volumen de Turco-Morzin N°-3195-2 o Turco Tar Remover N°-3195-40 (o equivalente) a 170 hasta- 180°F.
- 3.- Para residuos de carbón que contenga óxido de Hierro y Sulfuro de Hierro o para remover incrustaciones de agua, se puede recomendar Turco Change-X N° 4457-72 (o equivalente) a una concentración de 1 -- 1/2 a lbs/gal. de agua a 200°F-10°.

Con el objeto de tener estos productos el que se tuviesen tres tanques de almacenaje cerca del turbulador. Estos tanques pueden concentrarse y conectarse -- con una bomba de transferencia para que cualquier solución que fuese necesario usar estuviese a la mano -- inmediatamente.

Después de la limpieza, los haces de tubos son -- sacados del turbulador para un enjuague a alta presión.

Un esquema de estos turbuladores se muestran en -- la fig. (3-4-2).

c).- PARTE K O HIDRO-JET.



FES - C  
UNAM

TURBULADOR

MARCO A. LEDEZMA TARACENA  
TESIS PROFESIONAL

FIG. No. 3-4-2

Es una bomba para la limpieza de los haces de los Cambiadores de Calor, compuesta por un motor eléctrico (440 volts) que trasmite su potencia por medio de poleas y bandas a la bomba que se encarga de presionar el agua hasta a 10,000 PST-10 GMP de salida en la punta de la tobera.

Nos sirve para la limpieza de los haces de tubería con agua a alta presión.

d).- BOMBAS DE PRUEBA.

Existen dos tipos de bombas de prueba en el taller de cambiadores de calor y son:

1.- De Baja Presión

2.- De Alta Presión

1).- La de baja presión es utilizada hasta para 10kg/cm<sup>2</sup> o 142 lb/plg<sup>2</sup>. y es una bomba simple manual, -- que consta de un solo pistón de cerámica y válvulas-chek en la entrada como en la salida.

2).- La bomba de prueba de Alta presión es accionada por un motor eléctrico a través de poleas y bandas regulables por medio de un retorno (arreglo de tubería en la descarga de la bomba) según su capacidad es el número de pistones levantando hasta 100 kg/cm<sup>2</sup> las de 5 pistones.

e).- COMPRESOR.

El compresor de aire es una de las máquinas indispensables en la reparación de los Cambiadores de Calor, nesesaria para cada una de las actividades, -- desde el principio hasta el término de la reparación de estos equipos, por ello se debe contar con uno útil y el otro disponible dentro del taller.

f).- GRUA VIAJERA.

Es otra maquinaria indispensable para el taller de cambiadores de calor, nos sirve para levantar, bajar y transportar los núcleos como sus componentes.

Está formada en sí por el carro y el polipasto eléctricamente.

Como equipo auxiliar mencionaremos:

1.- REMOLQUE DE NUCLEOS

2.- GRUA SEALLY

1).- REMOLQUE DE NUCLEO:

Este remolque nos sirve para transportar los haces de tubos o cambiadores de calor de las plantas de proceso al taller de Nido o viceversa, son utilizados para los núcleos de mayor peso (de 1/2 Ton. en adelante, ya que transportarlos con el cable de winche sería muy riesgoso y en ocasiones sería imposible.

2).- GRUA SEALLY

Esta grúa es de gran utilidad para transportar núcleos o cambiadores hasta de 4 tons. ya que esta grúa cuenta con una pluma y una pequeña plataforma en su misma estructura esto lo hace maniobrable, por su pequeña figura.

**CAPITULO IV**  
**MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO**

**4.1**

**MANTENIMIENTO.**— Es el conjunto de actividades que es necesario desarrollar para conservar equipos, unidades e instalaciones en condiciones óptimas de servicio, -- prolongar su vida útil y sostener su operación al máximo nivel de eficiencia y el menor costo.

Los objetivos del mantenimiento son: Técnico y -- Económico.

1.— Los criterios para la clasificación de los tipos o sistemas de mantenimiento son variados, no obstante se puede establecer una división sistemática la cual -- consiste en dividir el mantenimiento en tres importantes métodos técnicos:

1.— Los criterios para la clasificación de los tipos o sistemas de mantenimiento, son variados. No obstante se puede establecer una división sistemática la cual -- consiste en dividir el mantenimiento en tres importantes métodos técnicos:

- 1.— MANTENIMIENTO CORRECTIVO
- 2.— MANTENIMIENTO PREVENTIVO
- 3.— MANTENIMIENTO PREDICTIVO

1).—Se tratará ampliamente en el capítulo V

2).—MANTENIMIENTO PREVENTIVO:

Definido como una substitución de partes, se utiliza para prevenir fallas, alargar la vida de operación del equipo por medio de inspecciones programadas y reemplazo periódico de las partes. Este tipo de mantenimiento, algunas veces puede dar margen a problemas, -- originando además gastos extras por cambio prematuro -- y sacrificio de las últimas horas de vida útil de las partes reemplazadas. Por lo tanto, es algo en lo cuál -- fácilmente se cae en la exageración y el abuso.

### 3.- MANTENIMIENTO PREDICTIVO:

La técnica de descubrir el equipo en términos de una curva de vida-falla, es la base de este equipo de mantenimiento. Su principal objetivo es el de localizar donde aumento considerablemente la frecuencia de falla. Agrega técnicas científicas avanzadas para aumentar los tiempos de operación y eliminar los trabajos innecesarios. El equipo se trabaja justo antes de la falla. Se toman medidas preventivas solo en equipos cuya falla puede crecer un riesgo serio o cuya operaciones sean especialmente críticas.

Esta técnica trae consigo un ahorro sustancial, ya que pueden identificarse las corridas de tiempos del equipo y el trabajo de reparación puede llevarse a cabo justamente antes de la falla, con lo que se puede alargar el tiempo entre "paradas" y eliminar el trabajo de

#### BASES PARA ESTABLECER EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

Para establecer el mantenimiento predictivo deben cumplirse los sig. aspectos en los programas de mantenimiento de cambiadores de calor:

- 1.- Establecer las necesidades de mantenimiento para todos los equipos del acercamiento crítico contra el no crítico.
- 2.- Determinar la programación del mantenimiento óptimo
- 3.- Sistematizar la colección y almacenamiento de los datos mediante el establecimiento de historia clínica de cada uno de los equipos.
- 4.- Controlar y evaluar constantemente la eficiencia de mantenimiento.

El mantenimiento predictivo del intercambiador de calor se habrá de establecer de acuerdo con la sig. consideración:

CENSO: Se debe contar con los datos de placa de nombre - del cambiador de calor.

DATOS Y LECTURAS: El tipo de lecturas o datos que deberá tenerse del cambiador de calor como una previsión técnica de falla y donde debe ser formada de acuerdo con los siguientes datos técnicos de diseño.

Se requiere para una inspección o atención adecuada y son:

- a).- General, para cualquier defecto exterior visible.
- b).- De fugas de cone , cuerpo, carretes, tapas, bridas, etc.
- c).- De condiciones de soportes o estructuras.
- d).- De condiciones de aislamiento y protección.
- e).- De condiciones operacionales.
- f).- De calibración de espesores.

Una inspección visual es generalmente aceptable -- para los incisos a, b, c, d.

Para determinar las condiciones de operación se -- requiere :

Tomar lecturas de temperaturas a través de termopozos instalados en la boquillas de entrada y salida -- de fluidos que pasan por el interior y exterior de los tubos.

Tomar lecturas de caídas de presión entre salidas y entradas de los fluidos, tanto por el exterior como -- por el interior de la tubería.

Para la determinación se requiere:

Quando el cambiador se encuentra en operación, calibrar diversos puntos del cuerpo, carretes, tapas y -- boquillas.

Quando el cambiador se encuentra desarmado, calibrar los diferentes componentes del equipo, (cuerpo, -- tubos, mamparos, espejos, placa de choques, deflectores, etc.).

FRECUENCIA: Es necesario establecer con que frecuencia y mediante que medios se tomara las lecturas en el intercambiador.

a).- Las lecturas de temperaturas se tomara cada 15 días por medio de termómetros bimetálicos.

b).- Las lecturas de caída de presión se tomara con la misma frecuencia que las temperaturas mediante manómetros diferentes.

c).- Las lecturas de espesores desde el exterior se tomara cada dos o tres meses con un instrumento adecuado ultrasónico.

d).- Las lecturas de los diferentes componentes del cambiador se tomara cada vez que se desarme previa programación mediante compases, vernier y micrómetros.

INTERPRETACION: Las temperaturas y caídas de presión se toman y registran en el formato número 1 por los operadores que en cada planta designe el ingeniero de operación y deberan ser interpretados por ingenieros de proceso, mantenimiento e inspección. Las lecturas de calibración de espesores seran tomadas y registradas en un formato por personas designadas por el ingeniero de inspección y deberan ser interpretadas por los ingenieros de mantenimiento de inspección.

El mantenimiento que se le pueda proporcionar al cambiador de calor cuando esta en operación, es relativamente pasivo debido a que este equipo no permite reparaciones correctivas cuando los fluidos estan cambiando sus propiedades termodinámicas.

Sin embargo las inspecciones oportunas y el mantener las condiciones de operación en grado óptimo, es el resultado de un buen programa de inspección y reparación de tipo preventivo.

La inspección periódica de las condiciones de operación de estos equipos, es recomendable que se haga bimestralmente por ingenieros especialistas de operación y mantenimiento.

#### 4.1 RETROLAVADOS DE NUCLEOS EN LAS PLANTAS DE PROCESO

Las lecturas de presión y temperaturas, tomadas periódicamente nos dan indicaciones de la eficiencia de nuestro cambiador de calor, cuando la eficiencia es baja y nuestro cambiador utiliza agua como medio enfriador (fuera de los tubos) se pueden seguir dos procedimientos para elevar su nivel de eficiencia.

##### 1.- Retrolavados.

##### 11.- Soplado a contra corriente.

**RETROLAVADO.-** Es un procedimiento que tiene como finalidad desalojar las incrustaciones o impurezas acumuladas en el interior de los tubos. En la siguiente --- (Fig. 4-1-1). El cambiador en operación normal tiene las válvulas "B" y "D" cerradas y abiertas la "A" y "C" para efectuar el retrolavado es necesario mantener cerradas las válvulas "A" y "D" abiertas las "C" y "B" - esta ocasiona que el agua que antes que entraba por -- "A" entra ahora por "C" y sale con toda la suciedad -- por "B" simultaneamente y el cambiador queda operando normalmente.

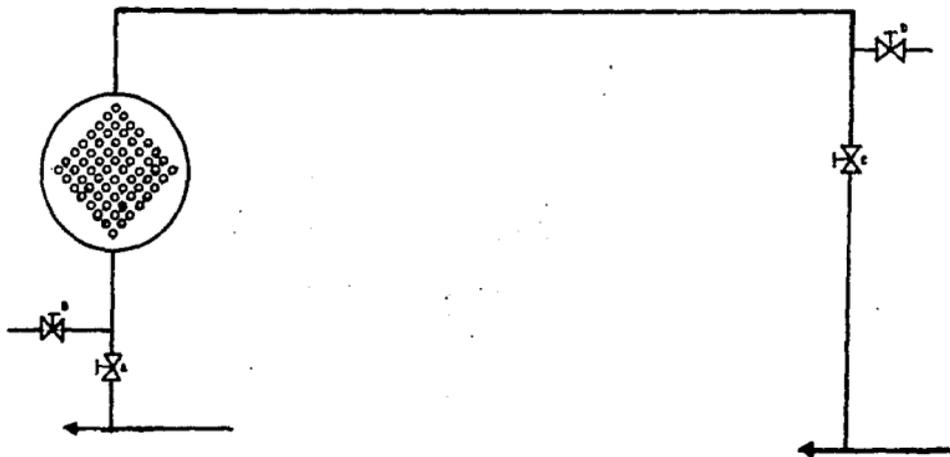
**SOPLADO A CONTRA CORRIENTE.-** Este procedimiento de lavado interior de los tubos es parecido al anterior con variante de que se utiliza dos compresores para meter aire a presión por la válvula "D".

El procedimiento es el siguiente (Fig. 4-1-1).

- 1.-Cerrar "A" y "C" simultaneamente.
- 2.-Abrir "B".
- 3.-Abrir "D".

Despues de 15 min. de tiempo se cierra "D" y "B" y se abre "A" y "C".

Estos dos procedimientos de limpieza se realizan con el cambiador de calor en operación.



RETROLAVADO Y SOPLADO ACONTRACORRIENTE

FES-C
UNAM
RETROLAVADO Y SOPLADO ACONTRACORRIENTE
MARCO A. LEDEZMA TARACENA
TESIS PROFESIONAL
FIG. No. 4-1-1

#### 4.2 LIMPIEZA INTERIOR A LOS HACES DE TUBERIA.

El intercambiador de Calor debe ser puesto fuera de servicio dependiendo de sus características de funcionamiento y bajo los siguientes aspectos:

- a).- Cuando uno o más tubos se han destruido y existe fuerte contaminación entre ambas sustancias.
- b).- Cuando las operaciones de temperatura no satisfacen las condiciones de operación.
- c).- Cuando el número de tubos están fuera de servicio han llegado a un 10 o 15 % máximo del total.
- d).- Cuando el debilitamiento de las paredes de las partes así lo requiera.

Una vez fuera de servicio puede ser inspeccionado y reparado de acuerdo con los programas de limpieza.

Se considera como mantenimiento preventivo la limpieza del interior de la tubería de los Intercambiadores de Calor por permitir en ese lapso la revisión de boquillas, niplería y estado actual del interior de cañerías y tapas.

Para poder proceder a este tipo de mantenimiento se sigue la sig. secuencia:

- a).- Colocación de juntas ciegas en entradas y salidas de productos (Previo vaciado y bloqueo de válvulas).
- b).- Se procede a destapar el Intercambiador de ambos lados.
- c).- Se inspecciona con detenimiento el equipo.
- d).- Se procede a la limpieza mecánica o con chorros de agua a presión.
- e).- Se recibe la limpieza por parte de un especialista de Inspección y Seguridad.
- f).- Se procede a tapar el equipo.
- g).- Se retiran las juntas Ciegas.

La limpieza interior a los haces de tubería se lleva a cabo por el procedimiento de chorro de agua a presión y limpieza mecánica.

#### "LIMPIEZA MECANICA"

Para efectuar la limpieza del interior de los tubos cabezales y tapas, la limpieza mecánica resulta eficiente en muchos casos. El método consiste en disparar agua a alta presión contra las partes metálicas, para desprender las costras adherentes.

Esta acción se complementa escobillando con fibra o cepillo de Nylon, así como rasquetas, varillas, brocas - golpeadores, etc. Que rompan los depósitos incrustantes. Las piezas anteriores pueden ser accionadas por motores impulsados por aire; el motor permanece en la parte exterior del tubo que hace girar la flecha hueca de acero, de suficiente longitud para alcanzar el extremo opuesto del tubo donde van acopladas las brocas.

#### " TURBINADO O VARILLADO "

La turbina para la limpieza mecánica de los Tubos del Intercambiador de Calor, acoplan en su punta a diferentes brocas que se ajustan al diámetro interior de los tubos y poseen algunos agujeros que dejan escapar el agua de enfriamiento que fluye a través de la flecha hueca. Para usarse el motor se cuelga de una polea con transportadores, permitiendo un movimiento horizontal sin cambiar la altura del motor. Estos motores vienen provistos de dos agarraderas, para control del agua y del aire.

La turbina utilizada es de 1800 R.P.M y sirve para limpiar tubos completamente obstruidos. Se utilizan para tubos de acero y de aleación de aluminio de 0.95 cm. --- (3/8") a 4.45 cm. (1 3/4") de diámetro interior.

Las cabezas limpiadoras contienen engranes flotantes o brocas. Estos tipos de limpiadores se utilizan en tubos rectos pues contienen juntas universales en sus extremos.

#### "LIMPIEZA CON AGUA A PRESION"

El agua a grandes presiones actua enérgicamente sobre los depósitos formados en el interior de los tubos, ocasionando su desprendimiento total.

En este sistema se utiliza fundamentalmente una bomba portátil de tipo reciprocante (Hidro-Jet) que funciona a presión de 0 a 400 kg/cm<sup>2</sup> (5,680 lb/in<sup>2</sup>) -- con un gasto de 37 lt/min (10 GPM). Esta unidad puede servir en forma estacionaria o transportarse a las plantas de proceso. Para la proyección de agua se utiliza una pistola con manguera, toberas, lanzas y accesorios para alta presión. Las toberas que rocian por detras, son adecuadas para mangueras.

Antes de iniciar el trabajo con la bomba de limpieza de alta presión, se debe de revisar que todas las conexiones correspondientes se encuentran a su capacidad de funcionamiento. Los trabajos deben realizarse con trajes de protección.

## CAPITULO V.

### "MANTENIMIENTO CORRECTIVO"

#### MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

Es un método antiguo que consiste en permitir - que el equipo opere hasta la falla. Aunque requiere poca planeación, es inaceptable como sistema en las plantas industriales grandes, pues todos los trabajos se llevan a cabo sobre la base de la emergencia que provoca un deficiente empleo de la mano de obra y material inadecuado.

Sin embargo, este tipo de mantenimiento resulta ser más usual en la industria mediana y chica, debido a que no es necesario un sistema moderno de organización, pues su función es la de corregir fallas - en los equipos y efectuar reparaciones parciales o - totales cuando así se requiere, como las fallas se - presentan frecuentemente.

Es un conjunto de actividades que es necesario desarrollar para la reparación o corrección de daños

Seis razones por las que falla un Cambiador de calor son:

- 1.- Suciedad excesiva.
- 2.- Aire o gas dentro del cambiador, resultando de - instalaciones inadecuadas de líneas, o carencia de venteos.
- 3.- Condiciones de operación diferentes a la que se - diseña.
- 4.- Mala distribución de los flujos de la unidad.
- 5.- Excesiva holgura entre las mariposas y los tubos - generalmente debido a la corrosión.
- 6.- Diseño térmico inadecuado.

Usualmente las causas para sacar de operación - un cambiador son las sig:

- 1.- Caída de presión excesiva.
- 2.- Suficientes pérdidas en la eficiencia que afecta la operación de la unidad.
- 3.- Contaminación por fuga.
- 4.- Fuga hacia al exterior excesivo.
- 5.- Fin de su vida útil en records anteriores.

La caída de presión excesiva y la pérdida de Eficiencia, son el resultado de la impureza que puede circular con el fluido, mientras que la contaminación de un fluido con el otro se debe generalmente a la corrosión. Sin embargo la inadecuada operación de un cambiador al arrancar o parar una planta, puede ser también causa de contaminación o fuga al exterior, aunque esta última puede ser también debido a fallas por efectos mecánicos. De lo anterior se deduce que podemos dividir en tres grandes grupos al estudio de las causas -- que motivan la reparación o limpieza de un cambiador de calor.

- a).- Por la Corrosión.
  - b).- Por la acumulación de las sustancias extrañas.
  - c).- Por mala operación.
- a).- La corrosión puede ocurrir en cualquier parte de un cambiador y la intensidad de la misma está directamente relacionada con la concentración de los agentes corrosivos de los fluidos así como con la resistencia a la corrosión de los materiales con que fueron contruidos.

Uno de los principales agentes corrosivos es el Azufre que se encuentra en los hidrocarburos bajo la forma de hidrógeno o mercaptanos en los procesos de refinación del petróleo o petroquímico.

Ataca con facilidad las superficies de aleaciones de cobre adelgazandolas.

El Sulfuro de hidrógeno ataca al acero al carbón - cuando existen temperaturas superiores a  $500^{\circ}\text{F}$  y a baja temperatura si esta presenta la humedad.

Otro importante agente corrosivo es el ácido clorhídrico. Prácticamente todos los aceites crudos contienen agua salada que contiene cloruros de calcio, magnesio y sodio entre otras muchas sales. Cuando esta agua salada es calentada a temperaturas entre  $300$  y  $400^{\circ}\text{F}$ , se forma ácido clorhídrico por un proceso llamado hidrólisis. Primeramente se forma cloruro de hidrógeno que solo es corrosivo en presencia del agua con la que se forma el ácido clorhídrico.

El agua es un agente corrosivo por sí solo cuando lleva sólidos en suspensión causando erosión cuando pasa con fuerza a través de espacios pequeños. Cuando se usa vapor de agua como medio de calefacción en los calentadores y evaporadores de condensado puede depositar incrustaciones dentro de los tubos. El  $\text{CO}_2$  o dióxido de carbono y el oxígeno que contiene el condensado son causas principales de corrosión que se puede controlar, mediante tratamiento de agua.

b).- Acumulación de sustancias extrañas en los cambiadores de calor:

La caída de presión excesiva y la pérdida de eficiencia en los cambiadores de calor pueden dividirse en dos grupos:

1.- Sustancias que circulan con el producto. Estas sustancias son generalmente de dos clases, que son las conducidas por el crudo que llegan a las plantas de proceso y que han existido con los yacimientos petrolíferos o que las han adquirido durante el transporte y aquellas sustancias olvidadas en el interior de las torres y recipiente durante las reparaciones tales como estones, traps, restos de electrodos de soldadura y las sustancias químicas que forman parte del proceso o tratamiento de las gasolinas, como son granos y polvos de catalizadores que son arrastrados por el fluido al pasar de los reactores y recipientes de tratamiento a los cambiadores de calor.

2.- Sustancias que circulan con el aire.- Muchos de los cambiadores de la Refinería de Minatitlán, se emplean como Enfriadores y Condensadores de vapores de reflujo de las torres fraccionadoras, todos estos cambiadores emplean como medio refrigerante el agua procedente de dos fuentes principales.

a).- Río Coatzacoalcos.

b).- Pozos Profundas.

El agua del río conduce toda clase de restos orgánicos e inorgánicos que son succionados en grandes cantidades por las bombas.

Todas estas sustancias se van acumulando poco a poco hasta llegar a tapar los tubos cuando circulan -- por el interior de estos o se detienen entre el haz in

c).- Efectos de la mala operación de los Cambiadores de Calor, calentando o enfriando poco a poco según el caso.

Esto es muy importante particularmente cuando la temperatura de Operación es muy alta. La aplicación -- súbita de las altas temperaturas causa desigual dilatación en los tubos y ellos pueden causar fugas u otro daño.

Los cambios rápidos de temperatura aflojan los es parra<sup>g</sup>os o tornillos y separan las juntas.

#### Medida Preventiva.

En Cambiadores de calor de varios pasos, la temperatura varía entre ellos; de esta manera varía también la dilatación de los tubos en los diferentes pasos.

Los cambiadores estan diseñados de tal forma que los esfuerzos producidos por estas diferencias de expansión están dentro de los límites de seguridad cuando se trabaja a temperatura normal.

Para ello se usa pasta Garlock roja de tipo "A" - y se acostumbra reapretar el equipo una vez que alcance su temperatura de operación.

### 5.1 SECUENCIA DEL DESARMADO DE UN CAMBIADOR DE CALOR EN LAS PLANTAS DE PROCESO.

El mantenimiento de los Cambiadores de Calor en las plantas de operación se realiza de acuerdo a la siguiente secuencia.

Cuando en alguna planta de proceso surge algún problema o necesidad que determine la separación y limpieza de un cambiador. El grupo coordinado del sector de operación elabora una solicitud del trabajo al personal de mantenimiento.

La dirección de la Empresa autorizo un reglamento de ordenes de trabajo, en estos formatos finca con precisión la responsabilidad del personal que interviene en la elaboración, ejecución de obra y en la autorización de las ordenes de trabajo.

En general tiende agilizar el trámite administrativo para la ejecución de las obras y además permitirá a los niveles de organización ejercer un control adecuado.

La aplicación separa en dos grupos su relación de ordenes de trabajo.

- 1.- El grupo de ordenes que se entrega al personal de mantenimiento.
- 2.- El grupo de ordenes entregados al taller para la separación de piezas.

La solicitud ya elaborada se entrega al personal de mantenimiento y bien planea y programa los trabajos de campo determinado el tiempo según los recursos existentes tanto humanos como materiales y es cuando se debe trabajar por medio de la ruta crítica.

Mantenimiento solicita el pedido de personal de campo de acuerdo con la planeación y a través de Asesoría Técnica de Materiales solicita el trabajo de ensamble (Espárragos, Tuercas, Juntas, Soportes, Instrumentos y Conexiones roscadas) y entregar al taller por medio de una orden de taller, la reparación limpieza y prueba del equipo.

Previa colocación adecuadas de andamios se procede a la colocación de las juntas ciegas, estas deberán ser láminas lisas y suficiente espesor que garantice hermeticidad durante la prueba hidrostática, se deberán tomar las reglas de seguridad.

Quitar tapa a carrete, carcasa y espejo posterior.

Todas las tapas deberán contar con orejas de carga y deberán inspeccionarse las soldaduras antes de cualquier maniobra, Deberán dejarse cuando menos 4 espárragos opuestos diametralmente para ser quitado hasta que el estrobo de carga sea cuidadosamente tensado sin ejercer demasiado esfuerzo. Ya tensado el estrobo de carga se aflojan los espárragos finales sin quitar las tuercas, deberán ser despegadas las tapas por medio de sus tornillos, extractores o con gatos para bridas; la costumbre de palanquear con tuercas o barretas en la abertura de unión deberá desecharse ya que un movimiento brusco daña las juntas. Una vez despegada la tapa hay que inspeccionar la junta para ver si se encuentra desprendida de sus dos caras de asiento, puede ser retirada o si se encuentra adherida a una sola cara y no se dañará al quitar totalmente la tapa, si se encuentra adherente a sus dos caras en zonas diferentes debe despegarse con rasqueta en la totalidad de una de sus caras, hecho lo anterior se puede retirar la tapa.

Similar al trabajo para la tapa posterior.

**QUITAR EL CARRETE.-** Quitarse esta pieza con dos estroboos suficientemente largos para librar la tubería que sale de la boquilla superior, para quitar los espárragos y -- cuidar la junta.

Una vez retirada la junta, Carrete- Carcaza se procede a:

**SACAR EL HAZ DE TUBERIA.-** Esta actividad implica una cuidadosa maniobra cuyos pasos se dan a continuación.

a).- Colocar el riel o vigueta de extracción en el espejo frontal fijado fuertemente a este por medio de sus espárragos que se introducen en los barrenos roscados que para tal efecto deben tener todos los cambiadores de Haz Removible. Entre el riel de extracción y el espejo deberá colocarse una tira de lámina de hule semi-duro con -- ancho de 1 1/2 veces de ancho del riel para que no se -- dañen los extremos de los tubos.

b).- En el centro del riel se colocará un grillete de tamaño adecuado al peso del haz para que allí se enlace el extremo del cable del mecate que deberá comunicar al jalón.

Cuando convenga y sobre todo en los cambiadores elevados el jalón del mecate no irá directo si no atravéz de una polea fijada en un poste de tubería rellena de concreto que se insertará verticalmente en los hoyos que se encuentran en el piso frente a cada cambiador. En los Cambiadores más altos montados sobre estructuras metálicas se hará necesario por lo menos dos poleas una frente al piso frente al malacate y la otra al nivel del centro del cambiador frente a este, deberá tenderse un cordón de seguridad que proteja el área de la maniobra para evitar un accidente por algún reventón del cable.

c).- En el jalón del malacate deberá ser lento y constante hasta que el haz sobresalga de la carcaza una distribución de tres veces del ancho del cinturón de carga eslinga que usará para cargarlo. Si el haz no cede al jalón -- deberá emplear un gato hidráulico en la parte posterior - de la carcaza, se empuja el haz por el centro del espejo posterior a través de una placa metálica y lámina de hule semiduro. En este caso una sola persona deberá coordinar el jalón de malacate y el empujón del gato. Si el haz no cede se recomienda un lavado químico por fuera de los tubos antes de volver a intentar la extracción.

d).- Cuando el haz se encuentra afuera tres veces el ancho del cinturón de carga, se colocará este suspendiéndolo de la pluma de una grúa, la cual se situara en posición tal que pueda girar la pluma cargando el haz, mientras se continúe extrayendo de la carcaza.

e).- Cuando con auxilio del malacate y grúa, se tenga el haz fuera de la carcaza una distancia de 0.5, veces la longitud de los tubos más tres veces el ancho del cinturón de carga, se suspenderá la extracción del haz. En este punto se apoyará el espejo frontal en un banco adecuado de soporte que permite liberar de la carga a la grúa.

f).- Ya apoyado el haz en sus espejos el frontal en un soporte y el posterior a un dentro de la carcaza, el cinturón de carga debe llevarse a una posición cuya línea de acción pase por el centro de gravedad del haz. Este deberá estar situado no precisamente a la mitad de la longitud del haz, sino ligeramente cargado hacia el espejo de mayor peso. Cuando se carga un haz con su tapa flotante - colocada, deberá tomarse en cuenta el peso de esta y el peso de los espárragos.

g).- Con el cinturón de carga, en el centro de gravedad del haz, la grúa solo se encargará de extraer totalmente el haz colocandolo sobre el carro especial de transporte, si se va a llevar al taller o sobre soportes (BANCOS o DURMIENTES) que reciben los mamparos del haz. No se debe permitir nunca que los soportes lastimen a los tubos. Los espejos deben quedar libres para cualquier intervención posterior sobre ellos.

h).- En los cambiadores que cuentan con instalación fija de mono riel y diferenciales, se usarán dos cinturones de carga, uno para cada diferencial. En estos casos el sostenimiento del haz durante su extracción es diferente a lo anteriormente ya que los diferenciales, además de repartirse el peso del haz pueden viajar a lo largo del mono riel; solo hay que cuidar el centro de cada cinturón de carga se coloque a una distancia del espejo más cercano de una y media o dos veces al ancho de ellos.

Una vez que es extraído el haz de tubería, ingresa al taller de cambiadores de calor y se procede al sig. paso:

Deberá ser norma, no iniciar la reparación hasta después de la limpieza.

## 5.2 DESARMADO DE EL HAZ DE TUBERIA DE UN CAMBIADOR DE CALOR:

### 5.2.1 INTERCAMBIADORES CON TAPA FLOTANTE Y TUBOS EN "U".

En caso de determinar el cambio total de la tubería previa inspección, se procede al desarmado del haz de tubería siguiendo la siguiente secuencia:

#### a).- Corte de Tubería.

El corte de la tubería se realiza con cincel neumático en caso de ser de acero al carbón, la forma más rápida y económica para quitarlos es cortándolos con soplete desde el exterior, protegiendo desde la flama los tubos buenos mediante hojas de lámina, (en caso de que sea parcial el cambio de tubería).

Se pueden hacer varios cortes en cada tubo y sacarlos en secciones, después los extremos expansionados se eliminan con botadores del tamaño adecuado al tubo, accionados por martillos de neumáticos tratándose de tubos de acero de aleación, acero inoxidable, admiralty y cupro-níquel, el corte con flama deja de ser efectivo por lo que deberá usar entonces un cortador neumático de cuchilla centrifuga por el interior de los tubos, en el caso que necesite remover tubos aislados o tubos en zonas interiores deberá de usarse por un extremo, un equipo hidráulico con espiga extractora del tamaño adecuado a las dimensiones del tubo y por el otro extremo un botador con martillo neumático.

#### b).- Antes de proceder a colocar los tubos nuevos se deberá hacer los sig. pasos:

1.- Eliminar todas las rebabas metálicas que estan atrapadas entre los tubos en buen estado y en los castillos del espejo.

- 2.- Limpiar con algún solvente la superficie del castillo.
  - 3.- Rectificar el castillo con ranurador, se hace necesario.
  - 4.- Medir el diámetro de cada castillo con el objeto de ajustar el rolado posterior.
  - 5.- Lijar los tubos nuevos, lijando sus extremos.
  - 6.- Limpiar los barrenos de los deflectores.
- 5.2.2 TIPO "CEN" O INTEGRAL.

En caso de ser un Intercambiador de Calor de tipo Integral o de haz de tubos fijos generalmente se procede a reparar en la planta de proceso.

La reparación se lleva a cabo en la planta por -- que es muy difícil sacar la carcasa del circuito de la planta o de la descarga de alguna máquina ya que los ejes frontales y posterior van integrados a la carcasa del Intercambiador.

El uso más común de este tipo de Intercambiadores en la Refinería Lázaro Cárdenas, es como Condensadores.

La secuencia del desarmado de un Cambiador de calor de este tipo es la de abrir las tapas del condensador (ya que la mayoría por su gran tamaño y ubicación -- tiene bisagras); que generalmente son de dos hojas y se procede a llenar el recipiente con condensado, lado envolvente para determinar el daño a la tubería. En caso de cambio de tubería se procede a flojar el rol y se introduce una espiga que a su vez se acciona con la bomba de extracción "Jeny" una vez afuera la tubería se procede a rectificar los palacios y previa limpieza de la -- tubería interior y exterior de los extremos se procede a entubar el Intercambiador.

Mediante la selección adecuada del expansor procede a rolar la tubería, generalmente no se re-rola ya -- que esta tubería es generalmente de calibre 14 BWG, y -- por su espesor no lo requiere ya que su temperatura y -- presión de trabajo son muy bajas.

Una vez determinada esta actividad se procede a efectuar una segunda prueba hidrostática. Conjuntamente se efectúa limpieza de espajos y cuerpo del distribuidor y se les coloca sus ánodos de sacrificio, ya que el agua que circula es altamente corrosiva.

### 5.2.3 TIPO HORQUILLAS.

Este tipo de Intercambiador de Calor como mencionamos anteriormente consiste en un tubo que envuelve a otro de menor diámetro, dejando espacio suficiente para que circule un fluido según (Fig. 2-2-8 y 9).

Es de los equipos más sencillos de reparar ya que basta colocar Juntas Ciegas para poder destapar y sacar la tubería, que consiste en un retorno por cada sección y la junta la hace un candado mecánico.

Generalmente se saca y manda al taller, donde se prueba y se repara; su reparación consiste en corregir alguna fuga por un poro o fisura.

### 5.3 ARMADO DE EL HAZ DE TUBERIA DE UN CAMBIADOR DE CALOR.

Para colocar los tubos nuevos se introducen éstos, - por un extremo del haz a travez de los barrenos de los -- mamparos transversales y del espejo opuesto.

Esta actividad debe ser ejecutada por tres bomberos con las manos limpias; dos de ellos empujarán el tubo evi tando que se doble e irán guiando a travez de los barre-- nos, la posición correcta del tubo es cuando los extremos sobresalen una misma distancia en estos espejos. Si el -- deslizamiento del tubo se dificulta por el rozamiento - es recomendable introducirlo con golpes suaves en un ex-- tremo, comunicados con un mazo de madera o hule duro.

El siguiente paso es el rolado de los extremos, para lo cual se debe seleccionar el expansor adecuado de acuer-- do con el diámetro y calibre del tubo, así como el espe-- sor del espejo, la expansión más recomendable para cada - tubo es aquella que reduce el espesor de este en un cinco por ciento y está dada por la sig. fórmula:

$$D_i = DI + \frac{C + t}{10}$$

Donde:

$D_i$  = Diámetro interior del tubo después de expansionado.

$DI$  = Diámetro interior del tubo antes de ser expansionado.

$C$  = Claro o tolerancia (Diferencia entre el diámetro ex-- terior del tubo y el diámetro de castillos).

$t$  = Espesor de la pared del tubo.

A continuación haremos mención de un ejemplo:

Colocamos en el ejemplo, un tubo de 3/4" de diámetro exterior, calibre 14 BWG, debe de tener un diámetro en el agujero de placa de 0.750".

El claro entre el tubo y el agujero es de:  
 $0.750 - 0.007 =$

El diámetro interior del tubo es de  $0.584"$  ; agreguese el claro de  $0.007"$  más el 10% del espesor del tubo ( $0.083"$ ).

El diámetro final del tubo que nos da una reducción de 5% en la pared es:

$$0.584" + 0.007" + 0.008" = 0.599"$$

Diámetro interior del tubo expandido:

$$Di = 0.599"$$

El rolado es el proceso de expandir en frío los extremos de los tubos, hasta ponerlos en contacto con la superficie interior de los agujeros o palacio de los espejos. El proceso de rolado interno produce juntas de gran resistencia y buena estabilidad.

Esto se lleva a cabo cuando se inserta en el interior cónico que a la vez provoca que los rodillos del expansor se aparten, girando a las mismas revoluciones y sometan a trabajo en frío al metal del tubo. El tubo se alarga y hace que exista contacto entre él y la superficie interior del agujero o palacio. Como todo el material desplazado del tubo no puede fluir radialmente se escapara desde el centro hacia cada extremo de la unión rolada. El re-rolado de tubos.

Recomendable en algunos casos por las condiciones de operación a la que está sometido. Debe procurarse -- que el re-rolado deba hacerse manual y con un expansor que tenga rodillos de menor tamaño que el que se usa, -- cuando se rola por primera vez.

En la fig. (5-3-1) se da una secuencia del rolado de tubos en los Cambiadores de Calor.

Si los tubos que van a colocar se construyeron bajo un control de calidad estricto y por lo tanto tiene el mismo espesor; y los castillos tienen el mismo diámetro, el control de la expansión de los tubos se reduce a un solo cálculo; se expansionara un tubo ajustando a por pasos el control del par de máquinas expansoras y-- en el punto donde se obtenga el diámetro interior calculando ( que se irá midiendo también a pasos con un micrómetro ). Se mantiene el ajuste en la máquina y con ese par se expansionan todos los tubos.

Reparación de Mamparos y Espejos.

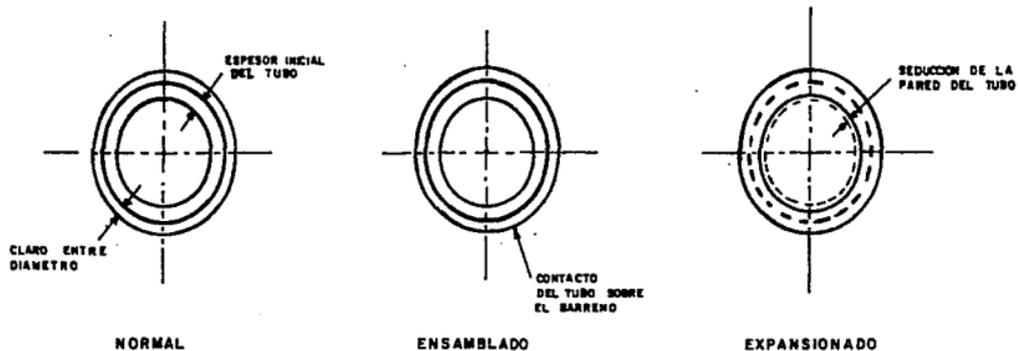
La calibración de espesores de estos elementos debe ser motivo de primordialidad, interes en aquellos -- Cambiadores que manejan fluidos corrosivos pues por lo general no se interviene en ellos hasta que esten en su límite de retiro, ello implica prácticamente des--char el haz. Si la corrosión de los espejos y mamparos es muy rápida cabe pensar en cambiar la especificación del material.

Reparación de tirantes y Separadores de Mamparos.--

Estos elementos de función primordialmente mecánica deben mantenerse en buen estado para conservar la -- rigidez estructural del haz de tubos. Deberán reemplazarse se todos los tirantes y separadores que se encuentran doblados.

Simultaneamente se harán las reparaciones ( si son necesarias ) de los siguientes elementos de el Cambiador de Calor.

## PASOS DE LA EXPANSION



FES-C  
UNAM

EXPANSION DE TUBOS

MARCO A. LEDEZMA TARACENA

TESIS PROFESIONAL

FIG. No. 5-3-1

#### 1.- REPARAR LA TAPA FLOTANTE.-

El principal problema en la reparación de estas tapas cuando son de acero al carbón y van unidas a un espejo de aleación de bronce es similar al problema de los carretes distribuidores, solo así es más crítico por trabajar a mayor temperatura. La corrosión galvánica se presenta en todo el asiento, la reconstrucción del asiento circunferencial y no mayores de 5 cm de largo en cada aplicación para evitar la distorsión de la pieza. Por la misma razón se debe evitar el excesivo calentamiento, con el mismo fin e intervalos regulares se debe comprobar el diámetro de la tapa. El material depositado debe estar suficientemente abultado para que el maquinado posterior en el torno permita dejar caras sin defectos, para poder ser montadas la tapa en las mordazas del torno debe previamente soldarse en la superficie cóncava, a una misma distancia del centro sobre ejes perpendiculares.

Cuatro piezas de ángulo estructural de lados iguales de tamaño adecuado al peso de la tapa, con la línea del vértice hacia afuera y perpendicular al eje que corresponde, las mordazas descansaran sobre la superficie exterior de cada pieza angular en el lado perpendicular a la brida de la tapa. Estas piezas angulares deberán quitarse después de maquinada la tapa para que no sea obstáculo en la dilatación del lineal de haz, ni interfieran en el montaje de la tapa posterior de la carceza (si estas piezas angulares se colocan del tamaño y en forma adecuada, pueden permanecer para reparaciones posteriores). Es recomendable sustituir las tapas flotantes de condensadores y enfriadores que sean de acero al carbón por unas de material compactible al de espejo en el que van montadas.

En caso de que el haz de tubería solo se haya mandado al taller para limpieza interior y exterior de los tubos se procedera a la limpieza, por el proceso de los turbuladores.- Es un método nuevo completamente respecto al continuo problema de limpieza en los haces del -- cambiador de calor, que se encuentran todas las plantas petroleras, petroquímicas y químicas, los equipos de -- cambiadores de calor son una inversión considerable y - la ganancia del proceso de operación está íntimamente ligada a la operación eficiente y al tiempo perdido de -- de los cambiadores.

Se ha desarrollado el proceso de turbuladores, para obtener un grado máximo en un tiempo máximo, es muy importante tener un alto grado de limpieza para remover todo el residuo y que la superficie del metal no este rayado, lo cual facilitará en que se formase nuevamente la incrustación. El obtener superficies exteriores brillante, tales como las que produce el chorro de arena o agua a alta presión podrán traducirse en pequeñas porosidades y darán a que prontamente se vuelva a incrustar el residuo.

El proceso de los turbuladores utiliza los mejores productos químicos en la concentración y temperaturas adecuadas para desintegrar los depósitos de residuos y aumentar esta capacidad por medio de la aplicación de - una fuerza hidráulica tremenda.

El proceso de turbulencia tanto en el exterior como en el interior de los haces y cuya longitud sea hasta de 20' (609.6 cm) con un diámetro de 48" (121.92 cm). Esta limpieza se puede obtener en un periodo de 3 horas o aún menos y con un chorro en total por cada haz.

A continuación mencionaremos una serie de actividades que se deben desarrollar simultáneamente al trabajo del taller con el haz de tubo previa inspección y en caso de ser necesario en el sector del cual se haya traído el haz o en el taller correspondiente:

a).- Reparar el carrete distribuidor.-

Es común encontrar en los condensadores y enfriadores que los mamparos del carrete distribuidor están corroídos y erosionados principalmente en las orillas que apresionan las juntas contra el espejo frontal. La práctica que se debe seguir en estos casos es cambiar los mamparos divisorios y no parcharlos.

La colocación de ánodos y la protección con pintura son efectivos solamente en periodos cortos, sin embargo deberán seguirse usando siempre que se coloque un mamparo nuevo, debe ser previamente cepillado y en cuadrado en el taller mecánico. Si el caso lo amerita debe tomarse el asiento circunferencial; debe estudiarse la posibilidad de galvanizar los carretes distribuidores.

b).- Reparar la Carcaza.-

Siempre que el tiempo lo permita, las zonas desgastadas de una carcaza, deben ser reemplazadas, evitándose los parches sobre puestos, las soldaduras interiores deberán esmerilarse a paño. Es muy importante el registro de espesores de una carcaza ya que cuando el desgaste es parejo o abarca grandes zonas es preferible reemplazarlas.

c).- Reparar tapa posterior.-

Deberán seguirse los mismos lineamientos para la carcaza.

d).- Reparar tapa del carrete.-

Quando se trata de enfriadores y condensadores es frecuente encontrar corrosión generalizada en la tapa del carrete, deben rectificarse los asientos en cepillo y torno, se deberán proteger con pintura y ánodos.

e).- Limpieza de Espárragos.-

En caso de estar en buen estado se procede a limpiarlos con un cepillo de cerdas de alambre y posteriormente a acertarlos para tenerlos preparados para cuando retorne el haz de tubería.

f).- Acondicionar juntas.-

Se revisarán las juntas metálicas previa limpieza y se determinará si podrán ser útiles nuevamente para entrar en servicio o si es necesario el cambio.

En caso de ser juntas de cartón Garlock de 1/8" - de espesor se cambiarán sin excusa ya que son útiles para un solo apriete de caras de juntas.

Una vez que se ha cumplido el programa de mantenimiento del haz de tubo y los demás elementos del cambiador de calor, se procede al transporte de el haz de el taller, hacia la planta donde presta su servicio en el transporte especial y con las debidas medidas de seguridad.

5.4. SECUENCIA DEL ARMADO DE UN CAMBIADOR DE CALOR, EN LAS PLANTAS DE PROCESO.

Colocar el haz en su Carcaza.-

Antes de introducir el haz en su carcaza, es necesario colocar la junta núcleo-carcaza manteniendola en posición mediante algún compuesto sellante.

a).- El primer paso para colocar el haz en su carcaza es cargarlo con una grúa mediante un cinturón de carga en su centro de gravedad.

Y previa prueba hidrostática hecha por personal del taller.

b).- La grúa deberá estar en posición total que pueda girar su pluma para introducir el haz en su carcasa - hasta que el cinturón de carga esté a punto de tocar la tubería superior que conecta con el carrete o con la brida frontal de la carcasa según sea el caso.

c).- Se colocará un soporte que reciba el espejo ---- frontal y que permita a la grúa transportarla, el --- cinturón de carga a una nueva posición lo más cercano posible al espejo frontal.

d).- Con grúa nuevamente cargando con el cinturón de carga en su nueva posición, el haz deberá ser empujado con la defensa posterior de un camión grúa por intermedio de un madero debidamente seleccionado con anterioridad, hasta que el espejo tope con la carcasa - apretando la junta.

Durante esta maniobra deberá cuidarse que la junta no se desprenda de su posición, una sola persona deberá dirigir esta maniobra.

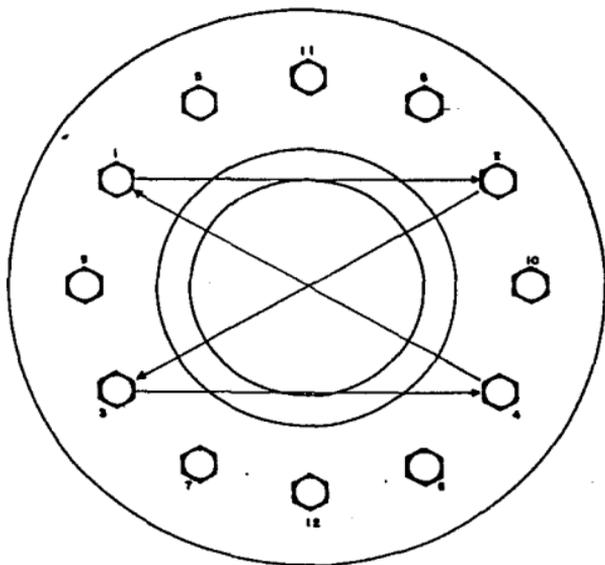
e).- Si el espejo frontal no queda nivelado, hay que proceder a girar el haz dentro de su carcasa, lo cual se logra colocando en el espejo el riel de extracción que deberá llevar grilletes en los extremos para que sean usados como brazos de palanca, la grúa tira a través de un estrobo del extremo necesario según la dirección de giro. En este paso deberá comprobarse la nivelación del espejo con un nivel de gota aplicado a alguna ranura de dicho espejo.

f).- En los cambiadores elevados, la introducción del haz requerido se usa un sistema de poleas para jalar la parte posterior del cambiador, también puede usarse un gato hidráulico.

Una vez colocado el núcleo se procede a adherir - la junta carrete-núcleo lado carrete distribuidor y se procede a la colocación del carrete mediante unos es-- trobos suficientemente largos para poder librar la tu- bería que sale de la boquilla superior.

Colocación de la tapa posterior.- Esta actividad se lleva a cabo mediante una grúa y generalmente dos- personas que son las que se encargan de la colocación de la junta y el amarre de bridas llevando un es-- prie uniforme para todas las uniones, se aprecia en la --- (Fig. 5-4-1).

Una vez concluido se procede a hacer la prueba - hidrostática lado carcasa para que el inspector deter- mine la recepción del equipo.



FES-C  
UNAM

FORMA DIAMETRAL  
DE APRETAR LOS ESPARRAGOS

MARCO A. LEDEZMA TARACENA

TESIS PROFESIONAL

FIG. No. 5-4-1

## 5.5 PRUEBAS DE RECEPCION.

### PRUEBA HIDROSTATICA.

Los componentes de un Intercambiador de Calor se unen para formar éste, mediante:

- 1.- Soldadura.
- 2.- Bridas con sus empaques y pernos correspondientes.
- 3.- Rolado de los tubos.

Por tal motivo, una vez fabricado el equipo, es preciso probar estas uniones con el objeto de verificar que no existan orificios, poros o grietas por donde los fluidos que se manejan puedan presentar fugas.

El código ASME VIII, Div. 1, en su parrafo UG-99 establece que todo recipiente cuya fabricación ha sido finalizada, deberá ser sometido a una prueba Hidrostática, con excepción de los siguientes casos, donde se hace necesaria una prueba neumática.

2).- Los recipientes que desde su diseño hayan sido destinados a prueba neumática.

b).- Aquellas donde sus apoyos se presentan seguridad para resistirlos llenos de agua.

c).- Los equipos que ofrezcan problemas para eliminar la humedad que pueda ser nociva para las condiciones de servicio; sin embargo, las partes que los constituyen deben ser previamente probados, dentro de lo posible a la presión requerida.

Presión mínima de prueba (PMP).-

La prueba hidrostática se llevará a cabo a una presión de prueba mínima igual a 1.5 veces la presión máxima permisible de trabajo PMPY señalada en el equipo multiplicada por el cociente del vapor del esfuerzo permisible a la temperatura de prueba entre aquel que corresponde a la temperatura de diseño.

La presión máxima permisible de trabajo (PMPT) es - la presión manométrica máxima permisible en la parte crítica de un recipiente terminado, en posición de operar.

Esta presión se determina de la forma sig:

Calcular la más alta presión permisible de cada elemento del equipo, a partir de sus espesores nominales -- sin incluir a la corrosión y haciendo uso de los esfuerzos permisible a la temperatura de prueba, proporcionados por la subsección "C" del código.

Tomar el valor calculado más pequeño. A este se le llama también "base para la presión de prueba calculada" ( $P_B$ ).

$$PMPT = P_B .$$

Cuando no se calcule la PMPT esta puede considerarse igual que la presión de diseño.

Presión de Prueba Calculada ( $P_p$ ).

Si el fabricante y el comprador del equipo están -- de acuerdo, puede llevarse a cabo la prueba Hidrostática mediante la presión de prueba calculada ( $P_p$ ), la cual se determina multiplicando la presión máxima permisible de trabajo por 1.5 y reduciendo este valor en una cantidad igual a la presión de la columna del fluido que actúa sobre el elemento considerado para la PMPT.

$$P_p = 1.5 PMPT - H\gamma$$

donde:

H= altura de la columna líquida.

$\gamma$ = peso específico del fluido.

#### PRESION MAXIMA DE PRUEBA.-

Cualquier presión de prueba mayor a la mínima puede ser empleada, pero debe tenerse mucho cuidado, ya que la sección V111 DIVISION 1, párrafo UG-99 del código no especifica un límite superior; sin embargo recurriendo al uso de una válvula de alivio que funcione a 1 1/3 veces la presión mínima de prueba.

#### Prueba Hidrostática en Equipos de Construcción Especial:

En los equipos que constan de dos o más compartimientos y están sometidos a diferentes presiones, como son los Intercambiadores de Calor, la prueba Hidrostática... se hará por uno de los métodos sig:

a).- Los equipos cuyos comportamientos han sido diseñados para operar independientemente se probarán como recipientes distintos; es decir no se verán afectados por la presión del comportamiento adyacente.

b).- Los equipos diseñados para vacío total o parcial serán sujetos a una prueba hidrostática interna o cuando no sea posible, a una prueba neumática. La prueba se llevará a cabo con una presión mayor o igual que 1.5 veces la diferencia entre la presión atmosférica normal y la mínima presión absoluta interna de diseño.

#### INSPECCION.-

Después de aplicar la presión hidrostática tiene lugar una inspección de todas las juntas y conexiones. Esta inspección podrá iniciarse cuando se almacena 2/3 de la presión de prueba y su realización será de acuerdo a lo establecido en el Artículo 9 de la sección V del código ASME.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

La inspección visual de juntas y conexiones, para detectar fugas puede suprimirse cuando se presentan las condiciones sig.

1).- Que todas las costuras ocultas tengan un examen visual mediante algún método anterior al ensamble.

2).- Que el equipo no vaya a contener sustancias mortíferas.

#### LIQUIDOS EMPLEADOS.-

Para llevar a cabo la prueba hidrostática, generalmente se utiliza el agua potable pero puede ser empleado cualquier otro líquido no peligroso a cualquier temperatura, siempre y cuando esta sea inferior a su punto de ebullición. Los líquidos combustibles que tengan un punto de ignición inferior a 110° F tal como los destilados del petróleo, pueden usarse tan solo en pruebas a una temperatura cercana a la atmosférica. Cuando se tienen equipos contruidos de acero cuya resistencia al agrietamiento por bajas temperaturas no ha sido mejorada, se recomienda que la temperatura del líquido de prueba sea mayor al 60°f.

#### RECOMENDACIONES.-

a).- La presión de prueba no debe aplicarse hasta que el contenido esté aproximadamente a la misma temperatura.

b).- En todos los puntos altos del equipo, respecto a la posición de prueba, debe colocarse una conexión de venteo con el fin de eliminar posibles bolsas de aire formadas cuando el equipo se llena.

c).- Antes de aplicar la presión, el equipo de prueba será examinado para ver que esté ajustado y que las líneas de baja presión hayan sido desconectadas al igual que otros accesorios que no estarán sujetos a la presión de prueba.

#### PRUEBA NEUMÁTICA.-

La prueba neumática puede ser usada en lugar de la prueba hidrostática, cuando se presentan los sig. pasos:

- a).- Para Cambiadores en donde sus apoyos no presentan seguridad para resistirlos llenos de agua.
- b).- Para equipos que ofrescan problemas para eliminar humedad que puede ser nociva para las condiciones de servicio; sin embargo las partes constituyentes deben de haber sido previamente probadas dentro de lo posible a lo requerido.

La presión de prueba neumática debe de ser al menos igual a 1.25 veces la presión de trabajo máxima permisible del recipiente, multiplicado por la relación más baja (para los materiales de construcción del equipo), del esfuerzo a la temperatura de prueba del recipiente a el esfuerzo a la temperatura del diseño.

La presión en el recipiente deberá ser incrementada gradualmente, pero no más que la mitad que la presión de prueba. De ahí en adelante, la presión de prueba será incrementada de etapas de aproximadamente un décimo de la presión de prueba, hasta que la presión de prueba ha sido alcanzada. Entonces la presión será reducida a un valor de  $4/5$  de la presión de prueba y sostenerla un tiempo suficiente para permitir la inspección.

La inspección visual del recipiente a  $4/5$  de la presión de prueba requerida puede ser desechada a condición de que:

- 1).- Una prueba de fuga de gas adecuada será aplicada.
- 2).- Sustitución de la prueba de fuga de gas, de acuerdo entre el fabricante y el inspector.
- 3).- Todas las costuras ocultas por el ensamble deberán ser examinadas visualmente por el trabajador antes de ensamblar
- 4).- El recipiente no debe contener sustancias letales.

## APLICACION DE LA PRUEBA HIDROSTATICA A LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.

La prueba de intercambiadores cae dentro de los servicios de construcción especial; ya que la carcaza y el canal han sido diseñados bajo su presión correspondiente por lo tanto, se hace una prueba por el lado canal y otra para la carcaza. La forma de realizar la prueba depende del tipo de Intercambiador sobre todo si es con espejos fijo o de haz removible.

La presión debe ser aplicada gradualmente hasta la mitad de la presión de prueba; de ahí en adelante se aplicarán incrementos de aproximadamente la décima parte de la presión de prueba; dichos incrementos de presión serán dados en intervalos de tiempo suficiente para que la nueva presión aplicada se haga uniforme sobre todas las paredes del equipo. Cuando se alcanza la presión de prueba esta se mantiene un tiempo suficiente (30 min. como mínimo), para llevar a cabo la inspección de las juntas y conexiones.

La forma de realizar la prueba en los intercambiadores, depende de su tipo.

Puede considerarse dos tipos de Cambiadores:

- a).- De haz removible, la cual corresponden los cabezales de retorno tipo "S", "T", "P" o "W".
- b).- De espejos fijos, donde el cabezal de retorno puede ser de los tipos "L", "M" o "N".

Los Cambiadores de tipo en "U" pueden ser de haz removible (cuando el cabezal de entrada es del tipo "A" o "B") y de espejo fijo (cabezal entrada tipo "C").

## CAPITULO VI

### METODO DEL CAMINO CRITICO

#### DEFINICION.

El método del camino crítico es un proceso administrativo de planeación, programación, ejecución y -- control de todas y cada una de las actividades componentes de un proyecto que debe desarrollarse dentro de un tiempo crítico y al costo óptimo.

#### ANTECEDENTES:

Dos son los orígenes del Método del camino crítico:

El método PERT (Programa Evaluation and Review Technique) desarrollado por la Armada de los Estados Unidos de América, en 1957, para controlar los tiempos de ejecución de las diversas actividades integrantes de los proyectos espaciales, por la necesidad de terminar cada una de ellas dentro de los intervalos de tiempo disponible. Fue utilizado originalmente por el control de tiempos del proyecto Polaris y actualmente se utiliza en todo el programa espacial.

El método CPM (Critical Path Method), el segundo origen del método actual, fue desarrollado también en 1957 en los Estados Unidos de América, por el centro de investigación de operaciones para las firmas Dupont y Remington Rand, buscando el control y la optimización de los costos de operación mediante la planeación adecuada de las actividades componentes del proyecto.

Ambos métodos aportaron elementos administrativos necesarios para formar el Método Crítico actual, utilizando el control de los tiempos de ejecución y los costos de operación, para buscar que el proyecto total sea ejecutado en el menor tiempo y al menor costo posible.

## USOS:

La aplicación del Método del Camino Crítico abarca desde los estudios iniciales para un proyecto determinado hasta la planeación y operación de sus instalaciones.

A esto se puede añadir una lista interminable de posibles aplicaciones de tipo específico. Así podemos afirmar que el método del camino crítico es aplicable y útil en cualquier situación en la que tenga que llevar a cabo una serie de actividades o tareas relacionadas entre sí para alcanzar un objetivo determinado.

Las actividades pueden ser del más variado tipo; Toma de Decisiones, Trabajos Físicos, Compras, Evaluaciones, Estudios Técnicos.

Los beneficios derivados de la Aplicación del Método del Camino Crítico se presentarán en relación directa a la habilidad con que se haya aplicado la técnica. Se deberá advertir sin embargo que el camino Crítico no es una panacea que resuelve que resuelve todos los problemas de planeación, programación y control de el proyecto.

Cualquier aplicación incorrecta producirá resultados adversos, del mismo modo que manejar, inapropiadamente una máquina afectará la producción. No obstante si el Método del Camino Crítico es utilizado correctamente determinará un proyecto más ordenado y mejor balanceado que podrá ser ejecutado de manera más eficiente y normalmente en menos tiempo.

Un beneficio primordial que nos brinda el método del camino crítico que es un solo documento que nos da imagen general de todo el proyecto, lo cual nos ayuda a evitar omisiones, identificar rápidamente contradicciones en la planeación de las actividades facilitando abastecimiento ordenado y oportuno.

El método del Camino Crítico consta de dos ciclos:

- 1).- PLANEACION Y PROGRAMACION
- 2).- EJECUCION Y CONTROL

El primer ciclo se compone de los siguientes etapas:

- a).- Definición del Proyecto.
- b).- Lista de Actividades.
- c).- Matriz de secuencia.
- d).- Matriz de Tiempos.
- e).- Red de Actividades.
- f).- Costos y Pendientes.
- g).- Comprensión de la Red.
- h).- Limitaciones de Tiempo, de Recursos Económicos.
- i).- Matriz de Elasticidad.
- j).- Probabilidad de Retrazo.

El segundo ciclo contiene los sig. etapas:

- a).- Aprobación del Proyecto.
- b).- Ordenes de Trabajo.
- c).- Reportes y Analisis de los Avances.
- d).- Graficas de Control.
- e).- Toma de Decisiones y Ajustes.

El primer ciclo termina hasta que todas las personas directoras o responsables de los diversos procesos que intervienen en el proyecto están plenamente de acuerdo con el desarrollo, tiempos, costos, elementos utilizados, coordinación etc., tomando como base la red -- del Camino Crítico diseñada al efecto.

Al terminar la primera red generalmente hay cambios en las diferentes actividades componentes, en las secuencias, en los tiempos y algunas veces en los costos; por lo que hay necesidad de diseñar nuevas redes hasta que exista una completa conformidad de las personas que integran el grupo de ejecución.

El segundo ciclo termina al tiempo de hacer la última actividad del proyecto y entre tanto existen ajustes constantes debido a las diferencias que se presentan en el trabajo programado y el trabajo realizado. Será necesario graficar en los esquemas de control todas las decisiones tomadas para ajustar a la realidad el plan original.

6-1 DESARROLLO DE LA REPARACION DE LOS CAMBIADORES DE CALOR DE LOS DISTINTOS TIPOS EXISTENTES EN LAS PLANTAS DE PROCESO UTILIZANDO UNA RED DE VENCIMIENTOS SUCESIVOS.

Utilizaremos una Red de Vencimientos Sucesivos para desarrollar la reparación de los Cambiadores de calor en los distintos tipos existentes; Siguiendo del primer ciclo de la Ruta crítica, las Etapas que comprenden del inciso (a) que es la definición del programa, hasta el inciso (e) que comprende la Red de Actividades. Los incisos (f) que comprenden costos y pendientes en adelante no se puedan llevar a cabo por no tener acceso al costo del material, puesto que estos se manejan en la gerencia de materiales la cual está localizada en la ciudad de México D.F por lo tanto el segundo ciclo no se podrá terminar por no poderse terminar el primero.

Solo se sacará un promedio del costo de la mano de obra, según horas trabajadas de acuerdo a su salario base más prestaciones por día.

En las sig. páginas se dan ejemplos de redes de vencimientos sucesivos seguidas en áreas de trabajo en la Refinería.

5.1.1

DEFINICION DEL PROGRAMA DE MANTO:

REPARACION DE UN CAMBIADOR DE CALOR DE TIPO HORQUILLA  
EN LA PLANTA DE PROCESO.

LISTA DE ACTIVIDADES:

- 1.- Construcción de andamio adecuado.
- 2.- Quitar aislamiento a la carcaza.
- 3.- Limpieza del Area de trabajo.
- 4.- Colocar juntas ciegas.
- 5.- Retirar Tapa posterior.
- 6.- Retirar junta de tapa posterior
- 7.- Prueba Hidrostática I.
- 8.- Reparar tapa posterior.
- 9.- Retirar Retornos.
- 10.- Sacar Horquillas.
- 11.- Limpiar Carcaza.
- 12.- Limpiar Horquillas.
- 13.- Limpiar retornos.
- 14.- Reparar Carcaza.
- 15.- Repara Horquillas.
- 16.- Prueba Hidrostática II
- 17.- Meter Horquillas
- 18.- Reparar Retornos
- 19.- Colocar retornos.
- 20.- Prueba Hidrostática III
- 21.- Colocar Junta de la tapa post.
- 22.- Colocar tapa posterior.
- 23.- Retirar Juntas Ciegas.
- 24.- Pintura.
- 25.- Colocar Aislamiento.
- 26.- Quitar Andamio.

RECURSOS NECESARIOS:

- Op. Carpinteros  
Op. Albañiles  
Obreros Grales.  
Op. Tuberos.  
Grúa o Montacarga.  
  
Bomba de Prueba.  
Op. Soldador.  
  
Tirford.  
Obreros Grales.  
Hidro-Jet.  
Limpiador de interiores.  
Op. soldador y Paí-  
lero.  
  
Bomba de prueba.  
Tirford.  
Op. Soldador.  
  
Bomba prueba.  
Pasta selladora.  
Grúas o Montacargas.  
Op. Tuberos.  
Op. Pintores.  
Op. Albañiles.  
Op. Carpinteros.

MATRIZ DE SECUENCIA

---

ACTIVIDAD	SECUENCIAS	NOTACIONES
0	1	
1	2	
2	3 , 4	
3	4	
4	5	
5	6 , 8	
6	7	
7	9 , 10	
8	21	
9	13	
10	11, 12	
11	14	
12	15	
13	18	
14	17	
15	16	
16	17	
17	19	
18	19	
19	20	
20	21	
21	22	
22	23	
23	24	
24	25	
25	26	
26	—	

MATRIZ DE TIEMPOS (HORAS)

ACTIVIDAD	O	M	P	t
0	-	-	-	-
1	2	3	4	3
2	1	2	3	2
3	1	2	3	2
4	2	3	4	3
5	1	2	3	2
6	0	1	2	1
7	2	3	4	3
8	16	24	32	24
9	3	4	5	4
10	2	3	4	3
11	3	4	5	4
12	4	5	6	5
13	2	3	4	3
14	2	3	4	3
15	16	24	32	24
16	8	16	24	16
17	3	4	5	4
18	16	24	32	24
19	4	5	6	5
20	2	3	4	3
21	1	2	3	2
22	2	3	4	3
23	2	3	4	3
24	4	5	6	5
25	6	8	10	8
26	2	3	4	3

$$t = \frac{O + 4M + P}{6}$$

t=Dado en Horas.

MATRIZ DE INFORMACION

ACTIVIDAD	SECUENCIAS	t
0	1	0
1	2	3
2	3	2
3	4	2
4	5	3
5	5, 8	2
6	7	1
7	9, 10	3
8	21	24
9	13	4
10	11, 12	3
11	14	4
12	15	5
13	18	3
14	17	3
15	16	24
16	17	16
17	19	4
18	19	24
19	20	5
20	21	3
21	22	2
22	23	3
23	24	3
24	25	5
25	26	0
26	—	3



5.1.1

PROMEDIO DE LOS GASTOS DE LA MANO DE OBRA CALIFICADA EN LA REPARACION DE UN CAMBIADOR DE CALOR TIPO HORQUILLAS.

Tiempo empleado-100 horas

Menos 2 descansos de 8 horas c/uno=100-16=84

Tomando 8 horas reglamentarias + 4 horas de tiempo extra en los días hábiles suman 12 horas diarias.

Por lo tanto:

$$84 \div 12 = 7$$

7 días + 2 días (descansos) = 9 días

9 días.

Salario del operario de primera encargado de -- la operación del Cambiador de Calor que marca la ruta crítica.

Salario Tabulado Diario

Operario de Primera --- \$16,173

Ayudante de Operario --- \$10,809

Costo de Mano de Obra

$$9 [(16,173 + 2(10,809))] + 2 [(16,173 + 2(10,809))] + 7 \left[ \frac{(16,173 + 2(10,809))}{2} \right] = \$ 540,266$$

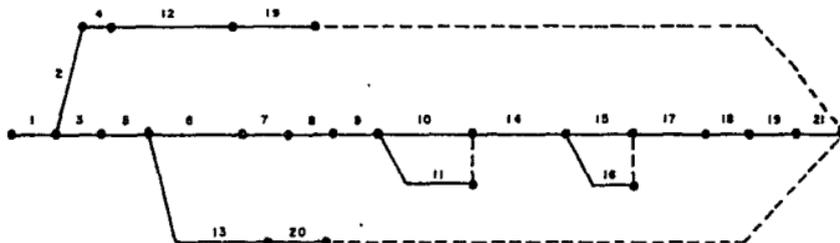
C.M.O = \$ 540,266

**5.1.2.****DEFINICION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO:****REPARACION DE UN CAMBIADOR DE CALOR DE TIPO INTEGRAL EN LA PLANTA DE PROCESO.****LISTA DE ACTIVIDADES:****RECURSOS NECESARIOS:**

1.- Construir andamios.	Op. Carpinteros.
2.- Abrir tapa frontal	
3.- Abrir tapa posterior.	
4.- Limpieza con chorro de agua, lado frontal.	Hidrojet.
5.- Limpieza con chorro de agua, lado posterior.	Hidrojet.
6.- Limpieza mecánica (interior de la tubería).	Turbina.
7.- Prueba Hidrostática. I	Bomba de prueba.
8.- Vaciar Intercambiador.	
9.- Sacar Tubería.	Extractor de tubos.
10.- Rectificar palacios lado frontal	Rectificador.
11.- Rectificar palacios lado post.	Rectificador.
12.- Reparar tapa frontal.	Op. Soldador.
13.- Reparar tapa posterior.	Op. Soldador.
14.- Entubar Cambiador	
15.- Rolar tubería lado frontal.	Máquina roladora.
16.- Rolar tubería lado post.	Máquina roladora.
17.- Calibrar rolado.	I. y S.
18.- Colocar anodos de sacrificio.	
19.- Cerrar tapa frontal.	
20.- Cerrar tapa post.	
21.- Retirar andamios	Op. Carpinteros

MATRIZ DE INFORMACION

ACTIVIDAD	SECUENCIA	t
0	1	-
1	2,3	3
2	4	2
3	5	2
4	12	3
5	6,13	3
6	7	16
7	8	3
8	9	2
9	10,11	12
10	14	24
11	14	24
12	19	16
13	20	16
14	15,16	24
15	17	20
16	17	20
17	18	10
18	19,20	3
19	21	4
20	21	4
21	-	2



FES - C
UNAM
RED DE VENCIMIENTOS SUCESIVOS
MARCO A. LEDEZMA TARACENA
TESIS PROFESIONAL
FIG. No. 5-1-2

5.1.2

PROMEDIO DE LOS GASTOS DE LA MANO DE OBRA CALIFICADA, EMPLEADA EN LA REPARACION DE UN CAMBIADOR DE CALOR TIPO INTEGRAL DE TUROS FIJOS.

Tiempo empleado - 128 horas

Menos 2 descansos de 8 horas c/uno =  $128 - 16 = 112$

Tomando 8 horas reglamentarias + 4 horas de tiempo -- extra en los días hábiles suman 12 horas diarias.

Por lo tanto:

$$112 \div 12 = 9.3$$

9 días + 3 horas + 2 días (descansos) = 11.3 días  $\approx$  11 días.

Salario del operario de primera encargado de -- la reparación del Cambiador de Calor que marca la -- ruta crítica

Salario Tabulado Diario

Operario de primera -- \$16,173

(2) Ayudantes de Operario -- \$10,809 x 2 = 21,618

Costo de Mano de Obra

$$11 \left[ \frac{(16,173 + 2(21,618))}{2} \right] + 2 \left[ \frac{(16,173 + 2(21,618))}{2} \right] + 9 \left[ \frac{(16,173 + 2(21,618))}{2} \right] = \$ 1,038,953$$

C.M.O = \$ 1,038,953

5.1.3.

DEFINICION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO:

REPARACION DE UN CAMBIADOR DE CALOR DE CAPEZAL FLOTANTE EN LA PLANTA DE PROCESO.

LISTA DE ACTIVIDADES:

- 1.- Construir andamios.
- 2.- Quitar aislamiento a cabezal de retorno.
- 3.- Quitar aislamiento a carrrete distribuidor.
- 4.- Quitar aislamiento a carcasa.
- 5.- Limpieza al área de trabajo
- 6.- Colocar juntas ciegas.
- 7.- Retirar tapa frontal.
- 8.- Prueba Hidrostática I
- 9.- Quitar cabezal de retorno.
- 10.- Quitar carrrete distribuidor
- 11.- Sacar haz de tubos.
- 12.- Limpiar carrrete distribuidor.
- 13.- Limpiar cabezal de retorno.
- 14.- Limpiar tapa.
- 15.- Reparar carrrete dist.
- 16.- Reparar cabezal de retorno
- 17.- Reparar Tapa.
- 18.- Reparar haz de tubos.
- 19.- Meter haz de tubos.
- 20.- Colocar carrrete distribuidor.
- 21.- Prueba hidrostática II
- 22.- Quitar tapa frontal.
- 23.- Colocar cabezal de retorno.

RECURSOS NECESARIOS:

- Op. Carpinteros.
- Op. Albañiles.
- Op. Albañiles.
- Op. Albañiles.
- Obreros.
- Op. Tubereros.
- Bomba de Prueba.
- Grúa ó montacarga.
- Grúa ó montacarga.
- Grúa o Eslinga.
- Hidrojet.
- Hidro-jet.
- Hidro-jet.
- Op. Soldador.
- Op. Soldador.
- Op. Soldador.
- Taller.
- Grúa o Eslinga.
- Grúa o montacarga.
- Bomba de prueba.
- Grúa o montacarga.
- Grúa o montacarga.

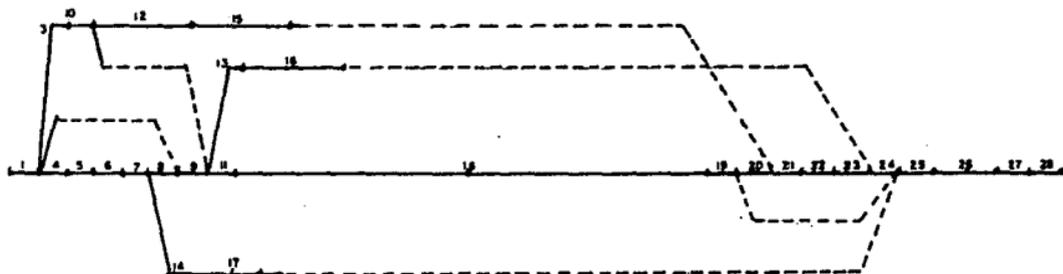
- 24.- Prueba Hidrostática III.
- 25.- Colocar tapa frontal.
- 26.- Colocar aislamiento.
- 27.- Retirar juntas ciegas.
- 28.- Retirar andamio.

Bomba de Prueba.  
Grúa o montacarga.  
Op. Albañiles.  
Op. Tuberos.  
Op. Carpinteros.

MATRIZ DE INFORMACION

ACTIVIDAD	SECUENCIA	t
0	1	—
1	2,3 4	3
2	9	2
3	10	2
4	5	3
5	6	2
6	7	4
7	14, 8	1
8	9	3
9	11, 13	3
10	11, 12	3
11	18	4
12	15	2
13	16	2
14	17	2
15	21	24
16	23	24
17	25	24
18	19	173
19	20, 25	5
20	21	3
21	22	3
22	23	1
23	24	3
24	25	3
25	26	1
26	27	10
27	28	4
28	—	1

0 3 6 8 12 15 16 18 22 29 44 194 200 203 206 207 210 213 214 224 228 229



FES-C
UNAM
RED DE VENCIMIENTOS SUCESIVOS
MARCO A. LEDEZMA TARACENA
TESIS PROFESIONAL
FIG. No. 5-1-3

5.1.3

PROMEDIO DE LOS GASTOS DE LA MANO DE OBRERA CALIFICADA, EMPLEADA EN LA REPARACION DE UN CAMBIADOR DE CALOR DE TAPA FLOTANTE.

Tiempo empleado -229 horas

Menos 4 descansos de 8 horas c/unq=229-32=197

Tomando 8 horas reglamentarias + 4 horas de tiempo -- extra en los días hábiles.

Por lo tanto:

$$197 \div 12 = 16.4$$

16 días + 4 horas + 4 días (descansos) = 20.4 días

≈ 20 días.

Salario del operario de primera (dos) encargos-- de sacar y meter el núcleo y armar el Cambiador de Calor que marca la ruta crítica.

Salario Tabulado Diario

(2) Operario de Primera --\$16,173 x 2=\$32,346

(2) Ayudante de Operario--\$10,809 x 2=\$21,618

$$20 \left[ \frac{(32,346 + 2(21,618))}{2} \right] + 4 \left[ \frac{(32,346 + 2(21,618))}{2} \right] + 16 \left[ \frac{(32,346 + 2(21,618))}{2} \right] = \$ 2191878$$

C.M.O = \$ 2191878

5.1.4.

DEFINICION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.

REPARACION DE UN CAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS EN "U" EN LAS PLANTAS DE PROCESO.

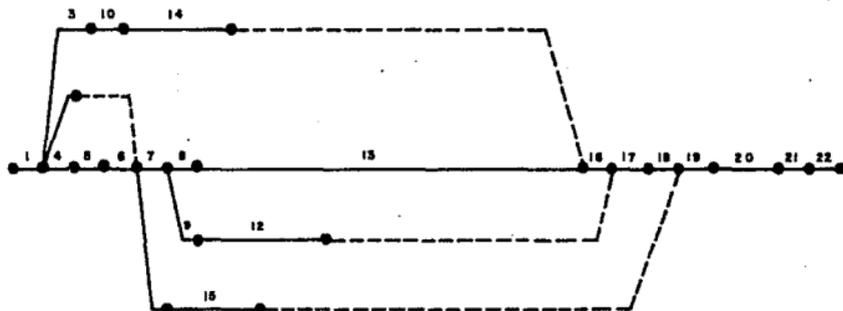
LISTA DE ACTIVIDADES:

RECURSOS NECESARIOS

1.- Construir andamios adecuados.	Op. Carpinteros.
2.- Quitar aislamientos a carcaza.	Op. Albañiles.
3.- Quitar aislamiento carrete dist.	Op. Albañiles.
4.- Colocar juntas ciegas.	Op. tuberos.
5.- Retirar tapa frontal.	Grúa o montacarga
6.- Prueba Hidrostática I.	Bomba de prueba.
7.- Quitar carrete dist.	grúa o montacarga.
8.- Sacar haz de Tubería.	Grúa o Eslinga.
9.- Limpiar carrete dist.	Hidro-Jet
10.- Limpiar carcaza.	Hidro-Jet.
11.- Limpiar tapa frontal.	Hidro-Jet.
12.- Reparar carrete dist.	Op. Soldador.
13.- Reparar haz de tubería.	"
14.- Reparar Carcaza.	Op. Soldador.
15.- Reparar tapa frontal.	Op. Soldador
16.- Meter haz de tubería.	Grúa o eslinga.
17.- Colocar carrete dist.	Grúa o montacarga.
18.- Prueba hidrostática II	Bomba de prueba.
19.- Colocar tapa frontal.	Grúa o montacarga.
20.- Colocar aislamiento	Op. Albañiles.
21.- Retirar juntas ciegas.	Op. Tuberos.
22.- Retirar andamios.	Op. Carpinteros.

MATRIZ DE INFORMACION

ACTIVIDAD	SECUENCIA	#
0	1	0
1	2,3,4	3
2	7	3
3	10	4
4	5	4
5	6,11	2
6	7	3
7	8,9	4
8	13	5
9	12	3
10	14	5
11	15	2
12	17	24
13	16	144
14	16	31
15	19	16
16	17	5
17	18	4
18	19	3
19	20	2
20	21	10
21	22	4
22	-	3



FES - C UNAM
RED DE VENCIMIENTOS SUCESIVOS
MARCO A. LEDEZMA TARACENA
TESIS PROFESIONAL
FIG. No. 5 - 1 - 4

5.1.4

PROMEDIO DE LOS GASTOS DE LA MANO DE OBRA CALIFICADA, EMPLEADA EN LA REPARACION DE UN CAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS EN "U".

Tiempo empleado--194 horas

Menos 4 descansos de 8 horas c/uno=194-32=162 horas

Tomando 8 horas reglamentarias + 4 horas de tiempo -- extra en los días hábiles suman 12 horas diarias.

Por lo tanto:

$$162 \div 12 = 13.5$$

13 días + 5 horas + 4(descansos) = 17.5 días  $\approx$  18 días

Salario del Operario de primera(dos) encargados de sacar y meter el núcleo y armar el Cambiador de Calor que marca la ruta crítica.

Salario Tabulado Diario

(2) Operario de Primera---\$16,173 x 2=\$32,346

(2) Ayudante de Operario--\$10,809 x 2=\$21,618

Costo de Mano de Obra

$$18 \left[ (32,346 + 2(21,618)) \right] + 4 \left[ (32,346 + 2(21,618)) \right] + 13 \left[ \frac{(32,346 + 2(21,618))}{2} \right] = \$ 2,154,087$$

C.M.O = \$ 2,154,087

**VI.2. DESARROLLO DE LA REPARACION DE UN HAZ DE TUBOS  
UTILIZANDO LA RED DE VENCIMIENTOS SUCESIVOS.**

5.2.1.

DEFINICION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

REPARACION DE UN HAZ DE TUBERIA DE TUBOS EN "U" EN EL TALLER DE CAMBIADORES DE CALOR.

LISTA DE ACTIVIDADES:

RECURSOS NECESARIOS:

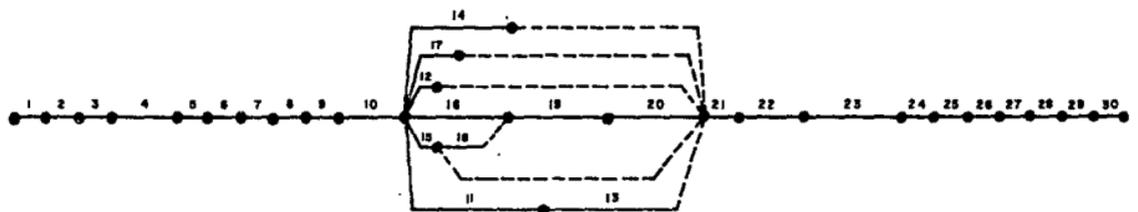
- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1.- Transportar Haz de tubería hacia el turbulador.              | Grúa viajera.            |
| 2.- Limpieza del Haz de tubería.                                 | Turbulador.              |
| 3.- Transportar Haz de tub. a rodillo de limpieza.               | Grúa viajera.            |
| 4.- Limpieza mecánica del haz de tubo.                           | Espadas.                 |
| 5.- Colocar tapa de prueba.                                      | Grúa viajera.            |
| 6.- Prueba Hidrostática I  | Bomba de prueba.         |
| 7.- Purgar haz de tubería.                                       |                          |
| 8.- Quitar tapa de prueba.                                       | Grúa viajera.            |
| 9.- Transportar Haz a bancos de trabajo.                         | Grúa viajera.            |
| 10.- Cortar tubería.   | Cinzel Neumático.        |
| 11.- Rotar Casquillos del Espejo.                                | Rotador Neumático.       |
| 12.- Limpiar area de trabajo.                                    | Obreros.                 |
| 13.- Rectificar palacios del espejo.                             | Rectificador.            |
| 14.- Reparar Deflectores.  | Op. Paileros y Soldador. |
| 15.- Reparar Varillas Tensoras.                                  | Tarrajás.                |
| 16.- Reparar Separadores.  |                          |
| 17.- Rectificar Roscas de los barrenos de las varillas-tensoras. | Machuelos.               |
| 18.- Armar varillas tensoras.                                    |                          |
| 19.- Colocar separadores.  |                          |
| 20.- Colocar Deflectores.  |                          |

- |  |                   |
|--|-------------------|
| 21.- Sujetar varillas tensoras.                            |                   |
| 22.- Entubar Haz de tubería.                               |                   |
| 23.- Rolar tubería.  | Máquina roladora. |
| 24.- Calibrar el Rolado.                                   | I. y S.           |
| 25.- Rerolar tubería                                       | Máquina roladora. |
| 26.- Colocar tapa de prueba.                               | Grúa viajera.     |
| 27.- Prueba Hidrostática II.                               | Bomba de prueba.  |
| 28.- Purgar Haz de tubería.                                |                   |
| 29.- Retirar anillo de prueba.                             | Grúa viajera.     |
| 30.- Transportar Haz de tubería<br>a la planta de proceso. | Remolque.         |

MATRIZ DE INFORMACION

ACTIVIDAD	SECUENCIA	t
0	1	-
1	2	1
2	3	5
3	4	1
4	5	10
5	6	3
6	7	2
7	8	1
8	9	1
9	10	1
10	11,12,14,15,16	10
11	13,17	31
12	22	1
13	22	31
14	20	16
15	21,18	5
16	19	16
17	21	5
18	19	5
19	20	5
20	21	16
21	22	5
22	23	10
23	24	24
24	25	3
25	26	5

ACTIVIDAD	SECUENCIA	t
26.	27	3
27	28	3
28	29	1
29	30	1
30	-	1



FES-C UNAM
RED DE VENCIMIENTOS SUCESIVOS
MARCO A. LEDEZMA TARACENA
TESIS PROFESIONAL
FIG. No. 5-2-1

5.2.1

PROMEDIO DE LOS GASTOS DE LA MANO DE OBRA CALIFICADA, EMPLEADA EN LA REPARACION DE UN HAZ DE TUBERIA DE TIPO TURBS EN "U".

Tiempo empleado --114 horas

Menos 2 descansos de 6 horas c/uno =  $144 - 16 = 128$  horas

Tomando 8 horas reglamentarias + 4 horas de tiempo extra en los días hábiles suman 12 horas diarias por lo tanto:

$$128 \div 12 = 10.6 \text{ días}$$

10 días + 6 horas + 2 días (descansos) = 12 días + 6 horas  $\approx$  13 días.

Salario del Operario Especialista encargado de desmantelar y armar el haz de tubería que marca la ruta crítica.

Salario Tabulado Diario

Operario Especialista--\$18,215

(3) Ayudantes de Op. Especialista--\$11,312

Costo de Mano de Obra

$$13 [(18,215 + 3(11,312))] + 2 [(18,215 + 3(11,312))] + 10 \left[ \frac{(18,215 + 3(11,312))}{2} \right] = \$ 1,043,015$$

C.M.O = \$ 1,043,015

5.2.2.

DEFINICION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO:

REPARACION DE UN CAMBIADOR DE CALOR DE CARREZAL FLOTANTE EN LA PLANTA DE PROCESO.

LISTA DE ACTIVIDADES:

- 1.- Transportar haz de tubería a rodillos de limpieza.
- 2.- Quitar tapa flotante.
- 3.- Transportar Haz al turbulador.
- 4.- Limpiar tapa flotante.
- 5.- Transportar Haz de tubería a rodillo de limpieza.
- 6.- Limpieza mecánica al Haz de tubos.
- 7.- Reparar tapa flotante.
- 8.- Colocar tapa flotante.
- 9.- Colocar tapa de prueba.
- 10.- Prueba Hidrostática I.
- 11.- Purgar Haz de tubería.
- 12.- Quitar tapa de prueba.
- 13.- Quitar tapa flotante.
- 14.- Cortar tubería.
- 15.- Descasquillar Espejo frontal
- 16.- Descasquillar Espejo flotante.
- 17.- Limpieza al area de trabajo.
- 18.- Rectificar palacios espejo frontal.
- 19.- Rectificar palacios espejo flotante.
- 20.- Reparar Deflectores.
- 21.- Reparar Separedores.

RECURSOS NECESARIOS:

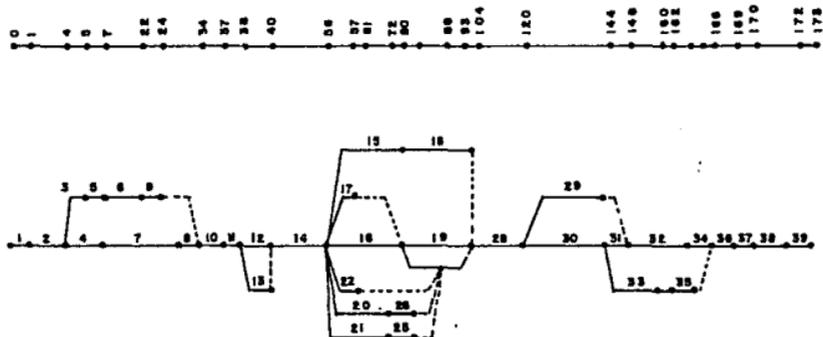
- Grúa Viajera.  
Llave de Impacto.
- Grúa Viajera.  
Hidro-Jet.
- Grúa Viajera.
- Espadas y Rasquetas.  
Op. Soldador.
- Llave de Impacto.
- Grúa viajera.
- Bomba de prueba.
- Llave de Impacto.
- Llave de Impacto.
- Cinzel Neumático.
- Botadores.
- Botadores.
- Obreros.
- Rectificador.
- Rectificador.
- Op. Soldadores y Op. Paileros.
- Op. Soldadores y Op. Paileros.

22.-Reparar varillas tensores.	Tarrajás.
23.-Rectificar rosca de barrenos para varillas tensores.	Machuelos.
24.-Colocar varillas tensores.	
25.-Colocar separadores.	
26.-Colocar deflectores.	
27.-Sujetar varillas tensores.	
28.-Entubar Haz de tubería.	
29.-Rolar tubería espejo frontal.	Máquina rola- dora.
30.-Rolar tubería espejo flotante.	Máquina rola- dora.
31.-Calibrar el rolado.	I. y S.
32.-Rolar tubería espejo frontal.	Máquina rola- dora.
33.-Rerolar tubería espejo flotante.	Máquina rola- dora.
34.-Colocar tapa de prueba.	Llave de Impacto.
35.-Colocar tapa flotante.	Llave de Impacto.
36.-Prueba Hidrostática II.	Bomba de prueba.
37.-Purgar Haz de tubería.	
38.-Retirar tapa de prueba.	Llave de Impacto.
39.-Transportar Haz de tubería a la planta de proceso.	Remolque.

MATRIZ DE INFORMACION

ACTIVIDAD	SECUENCIA	t
0	1	-
1	2	1
2	3,4	3
3	5	1
4	7	3
5	6	1
6	8,9	16
7	8	24
8	10	3
9	10	2
10	11	3
11	12,13	1
12	14	2
13	14	2
14	15,16,17,20,21,22	16
15	18,23	24
16	19	24
17	18,19	1
18	28	24
19	28	24
20	26	16
21	25	16
22	24	5
23	24	5
24	27	3
25	27	3
26	27	3
27	28	5
28	29,30	16
29	32	24
30	31,33	24

ACTIVIDAD	SECUENCIA	t
31	32	4
32	34	16
33	35	16
34	36	2
35	36	2
36	37	3
37	38	1
38	39	2
39	-	1



FES-C  
UNAM

RED DE VENCIMIENTO SUCESIVOS

MARCO A. LEDEZMA TARACENA

TESIS PROFESIONAL

FIG. No. 5-2-2

### 5.2.2

PROMEDIO DE LOS GASTOS DE LA MANO DE OBRRA CALIFICADA, EMPLEADA EN LA REPARACION DE UN HAZ DE TUBERIA DE TIPO TAPA-FLOTANTE.

Tiempo empleado --173 horas

Menos 4 descansos de 8 horas c/uno=173-32=141 horas

Tomando 8 horas reglamentarias+ 4 horas de tiempo extra en los días hábiles suman 12 horas diarias.

Por lo tanto:

$$141 \div 12 = 11.7 \text{ días}$$

$$11 \text{ días} + 7 \text{ horas (descansos)} = 15.7 \text{ días} \approx 16 \text{ días}$$

16 días

Salario del Operario especialista encargado de desmantolar y armar el haz de tubería que marca la ruta crítica.

Salario Tabulado Diario

Operario Especialista---\$18,215

(3) Ayudantes de Op. Especialista--\$11,312

Costo de Mano de Obra

$$16 \left[ \frac{(18,215 + 3(11,312))}{2} \right] + 4 \left[ \frac{(18,215 + 3(11,312))}{2} \right] + 11 \left[ \frac{(18,215 + 3(11,312))}{2} \right] = \$1,329,845$$

C.M.O= \$ 1,329,845

## \* CONCLUSIONES \*

El análisis de este trabajo, relacionado con la aplicación de una red de vencimientos sucesivos para la reparación de los Cambiadores de Calor tanto en la planta de proceso como en el taller de Cambiadores de Calor de la Ref. Gral. Lázaro Cardenas, nos ofrece un beneficio primordial que nos brinda en un solo documento la imagen general de todo el proyecto, lo cual nos ayuda a evitar omisiones.

Identificar rápidamente contradicciones en la planeación de las actividades facilitando reparaciones ordenadas y oportunas, en general logrando que el programa sea llevado a cabo con un mínimo de tropiezos. La aplicación de una red de vencimientos sucesivos en la reparación de los Cambiadores de Calor nos ofrece otros beneficios específicos tales como:

1.- Remite la planeación del programa, puede planear y programar racionalmente los recursos necesarios para realizar el proyecto:

- a).-Mano de Obra.
- b).-Materiales.
- c).-Maquinaria y -
- d).-Herramientas.

2.- Equipo.

Es un medio efectivo para reducir al mínimo los nocivos efectos de contingencias y circunstancias adversas para la realización de los proyectos.

Normalmente mediante la realización de un proyecto se presentan contingencias de las más diversas naturalezas tales como (fenómenos meteorológicos, insuficiencia de materiales ó mano de obra ). Que alteran la programación o el costo del programa o ambos. Sin embargo el Método del Camino Crítico permite el estudio de tales contingencias y ayuda a seguir un procedimiento racional para la óptima solución de los problemas que pueden presentarse para el trazo de la red de Vencimientos Sucesivos.

En el trabajo desarrollado se trabaja con el tiempo estandar, para sacar el tiempo necesario requerido para la ejecución del trabajo, y el tiempo pésimo es el que se usa normalmente en las reparaciones que se llevan a cabo en la Ref. Gral. Lázaro Cárdenas ya que no se ejecutan con base en una red de vencimientos sucesivos y esto hace que existan pérdidas de tiempo y económicas por consiguiente.

A continuación se hace una comparación del ejemplo.

5.1.1 Empleando el tiempo pésimo (135 hrs) al estandar (100 hrs) donde el Costo de mano de Obra fue de \$540,266

Costo de Mano de Obra

Tiempo empleado menos 2 descansos = 119 horas.

Tomando 12 horas diarias.

$119 \div 12 \approx 10$  días hábiles + 2 descansos = 12 días

$$12 \left[ \frac{(16,173 + 2(10,809))}{2} \right] + 2 \left[ \frac{(16,173 + 2(10,809))}{2} \right] + 10 \left[ \frac{(16,173 + 2(10,809))}{2} \right] = 718,024$$

Donde la diferencia en costo es : 177,758 en 12 días.

Los costos van en función del tiempo empleado y el tiempo va en función del tamaño del Cambiador de Calor por lo tanto las redes de vencimientos sucesivos mostrada serán ajustadas al mantenimiento de Cambiador de Calor.

\* BIBLIOGRAFIA \*

- 1.- Método del Camino Crítico.  
por:  
Catalitic Construction Company.  
Editorial Diana.
- 2.- Determinación de la Ruta Crítica.  
por:  
Dr. R. L. Martino.  
Editorial Técnica S. A.
- 3.- El Método del Camino Crítico.  
por:  
Agustín Montaña.  
Editorial Trillas.
- 4.- Transferencia de Calor.  
Donald Q. Kern.  
Editorial UTHEA.
- 5.- Cambiadores de Calor.  
Manual del Instituto Mexicano del Petróleo.
- 6.- Técnicas de Reparación en Cambiadores de Calor.  
Manual del Instituto Mexicano del Petróleo.
- 7.- Energía Mediante Vapor, Aire o Gas.  
por:  
W.M. Severns. H.E. Degler. J.C. Miles.  
Editorial Reverté S. A.