



621.402.4
A447



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería Mecánica



“DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCION
DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR
PARA GASES DE AZUFRE”

INFORME TECNICO
Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentado por:
Héctor Eduardo Almeida Del Salto

Guayaquil - Ecuador
1989

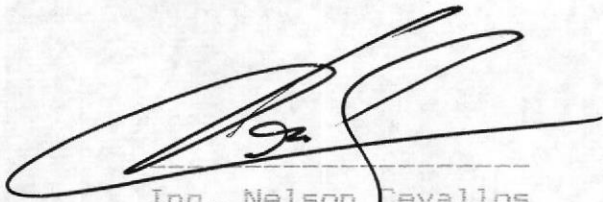
AGRADECIMIENTO

Al ING. ERNESTO MARTINEZ L.
por su valiosa y desintere-
sada ayuda en la elabora-
ción del presente Informe
Técnico.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS



Ing. Nelson Cevallos
DECANO



Ing. Ernesto Martinez L.
DIRECTOR INFORME



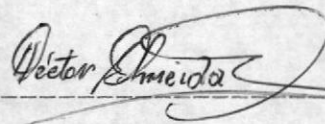
Ing. Jorge Duque
MIEMBRO TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

DECLARO QUE:

" Este Informe Técnico corresponde a la resolución de un problema práctico relacionado con el perfil profesional de la Ingeniería Mecánica".

(Reglamento de Graduación mediante la elaboración de Informes Técnicos).



Hector Eduardo Almeida Del Salto

RESUMEN

La utilización de intercambiadores de calor en los diversos procesos industriales es practica muy común y a veces lo suficientemente específica cuando se trata de elementos químicos especiales que son agentes o materia de transferencia.

En el caso particular de este informe, se trata de un intercambiador de calor construido en la fábrica Jaboneria Nacional S.A. que tiene la función de enfriar gases de azufre, el mismo que fue construido y dimensionado en base a los defectos presentados por el anterior, los cuales repercutian en la productividad y costos de operación de la fábrica.

Se mostrará en la practica la eficiencia alcanzada en el mismo y por ende los beneficios por él adquiridos.

Como Miembro del Departamento Técnico de Jaboneria Nacional, me tocó dimensionar y dirigir la construcción de dicho intercambiador.

INDICE GENERAL

RESUMEN

INDICE GENERAL

ANTECEDENTES

1.- OBTENCION DEL ACIDO SULFONICO

1.1. Descripción del proceso

1.2. Definición del problema

1.3. Alternativas de solución

2.- DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCION DEL INTERCAMBIADOR

2.1.- Parámetros utilizados

2.2.- Cálculo de las dimensiones del intercambiador

2.3.- Selección del aislamiento térmico

2.4.- Juntas de dilatación

2.5.- Selección de instrumentación

2.6.- Materiales y construcción

3.- PRUEBAS Y AJUSTES

3.1.- Sistema de calentamiento

3.2.- Control de temperatura

3.3.- Puesta en marcha

CONCLUSIONES

INDICE DE FIGURAS

- 1 .- Diagrama de Flujo de Proceso
- 2 .- Equipo de Secado de Aire
- 3 .- Equipo de Fundición y Dosificación de Azufre
- 4 .- Horno para Combustión de Azufre
- 5 .- Torre de Catálisis
- 6 .- Equipo de Sulfonación
- 7 .- Equipo Estabilizador
- 8 .- Dimensiones Físicas del Intercambiador
- 9 .- Deflectores
- 10.- Intercambiador de Calor Básico
- 11.- Intercambiador Doble Tubo de 2 Horquillas en serie
- 12.- Detalles del Intercambiador
- 13.- Media Horquilla
- 14.- Elemento Compensador en Tubo Interior
- 15.- Junta de Dilatación en Tubo Exterior
- 16.- Instrumentos de Temperatura con sus Intervalos de Medidas
- 17.- Campo de Aplicación de las Termoresistencias
- 18.- Curva Resistencia Vs. Temperatura
- 19.- Características Físicas y Partes de las Termoresistencias
- 20.- Instrumentos de Presión y Campo de Aplicación
- 21.- Manómetro
- 22.- Intercambiador y su Relación con los Equipos Adyacentes
- 23.a-b.- Partes Principales del Intercambiador



BIBLIOTECA

- 24.- Implantación de las Bases para el Nuevo Intercambiador
- 25.- Detalles de la Base y Estructura del Intercambiador
- 26.- Forma del Acoplado del Aislamiento Térmico
- 27.- Secuencia Propuesta en el Proyecto y Secuencia Real del Trabajo
- 28.- Viscosidades de Gases
- 29.- Calores Específicos de Gases a 1 atmósfera
- 30.- Curva de Transferencia de Calor. Lado de Coraza
- 31.- Curva de Transferencia de Calor. Lado de Tubos

ANTECEDENTES

Entre los productos de limpieza conocidos, el detergente en polvo es uno de los más comunes y necesarios.

En nuestro país "JABONERIA NACIONAL" es el fabricante y el pionero de este producto, además es el líder de ventas en el mercado nacional.

Las instalaciones con que cuenta la empresa, actualmente ubicadas en el Km 25 de la vía a Daule, está distribuida en dos partes completamente definidas para la elaboración del detergente:

- La planta sulfurex, que produce ácido sulfónico subproducto indispensable para el proceso de fabricación del detergente, esta planta se detallará posteriormente, debido a que el intercambiador del presente informe es parte de los equipos de la misma.
- La planta de preparación, que es donde se obtiene el producto terminado.

La planta sulfurex funciona con un proceso totalmente químico y su producción se paralizaba en forma continua, debido a fallas en uno de sus intercambiadores de calor que como consecuencia ocasionaba problemas que se pueden resumir en:

- Escape de gases, como SO_2 (dióxido de azufre) que son muy peligrosos para la salud, por ser muy tóxico por inhalación; fuerte irritante para los ojos y las membranas mucosas; un peligroso contaminante del aire y constituyente de smog. Tolerancia, 5 ppm en el aire.

Esta planta en la época estaba ubicada en las calles Eloy Alfaro y la C, un barrio densamente poblado incluyendo escuelas y colegios por lo que ocasionaba los justos reclamos de los vecinos del lugar de tal manera que en algunas ocasiones hubo agresión física a sus instalaciones.

- La dificultad de no poder tomar acción inmediata en la reparación de fallas de la planta, porque los gases tóxicos que se encuentran en el interior de sus diferentes equipos deben ser extraídos antes de proceder a la inspección de cualquier parte abierta del sistema, esta eliminación de gases toma un tiempo de 40 a 48 horas.
- Las clausuras ordenadas por las autoridades de salud municipales, motivadas por la contaminación ambiental obligaba a la paralización total de la planta.
- La inhabilitación definitiva del intercambiador de calor obligó a la paralización de la planta y como consecuencia se produjo el desabastecimiento de ácido sulfónico.
- Falta de producto terminado en el mercado: por las causas anteriormente expuestas el producto líder puede ser reemplazado por la competencia, lo cual implicaría para su recuperación de mercado, enormes inversiones económicas y sacrificios personales, sin que esto asegure volver al liderazgo en las ventas.

Las consecuencias expuestas ameritaban una solución rápida y efectiva a fin de poder habilitar la planta.

CAPITULO I

OBTENCION DEL ACIDO SULFONICO

1.1. DESCRIPCION DEL PROCESO

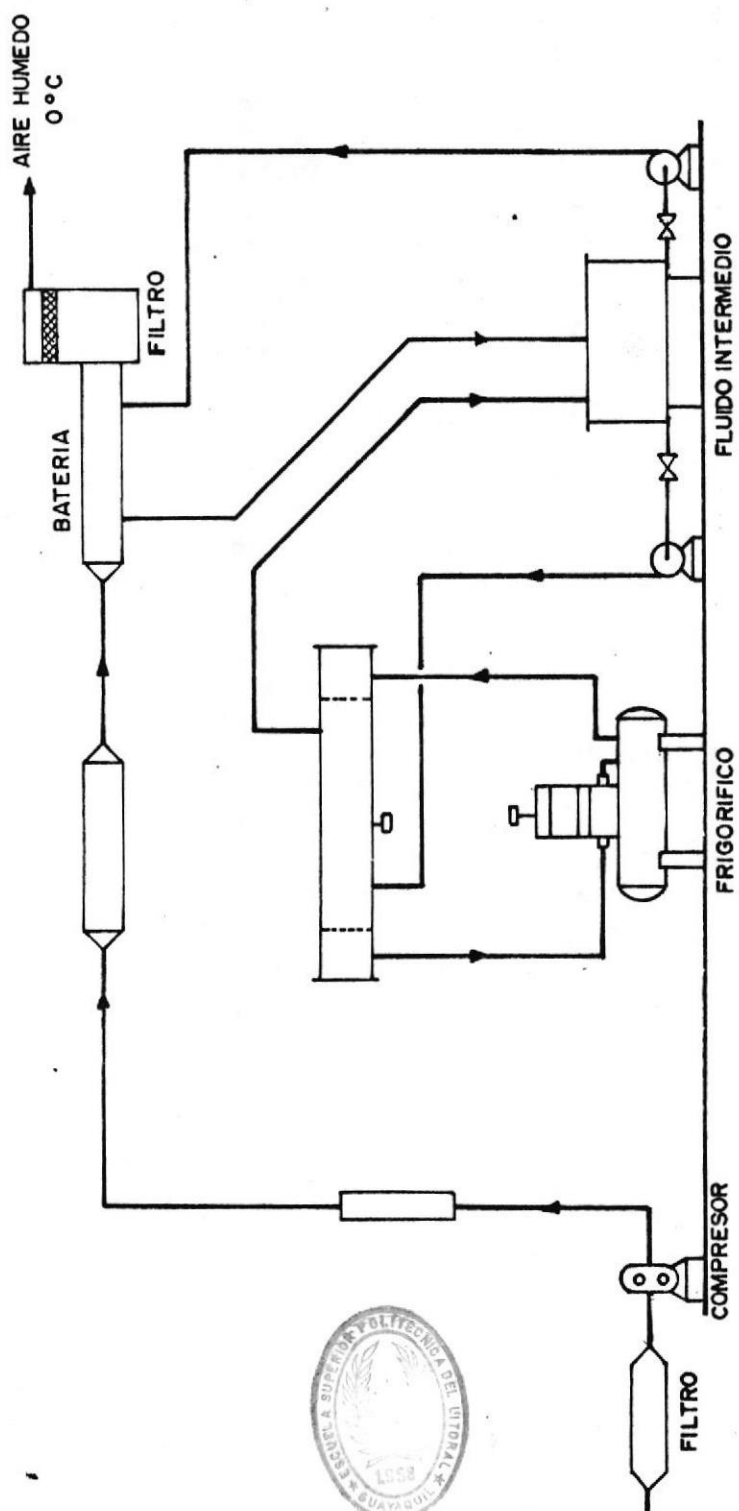
Para una mejor comprensión del lector, en cada uno de los equipos principales se hará referencia a un dibujo y a continuación se describirá su funcionamiento en cada etapa del proceso.

Obtención de aire seco de proceso

En la figura 1, se muestra un diagrama de flujo de proceso y los diferentes equipos de que consta: filtro de entrada de aire, compresor, equipo frigorífico cuyo fluido refrigerante es freón 12, recipiente para fluido intermedio, dos bombas de circulación para fluido intermedio, intercambiador de calor tipo batería. En la figura 2 se muestra el equipo de secado de aire, el mismo que consta de: un recipiente cilíndrico en posición vertical dividido en dos partes completamente independientes, su exterior está protegido con material aislante; en su interior y en cada una de sus partes tiene una carga de silicagel, sustancia que posee la propiedad de absorber la humedad.

La secuencia del proceso para obtener aire seco es como sigue: el aire ambiente es absorbido por el compresor que previamente ha pasado por el filtro el cual retiene las impurezas, una vez limpio, el aire es comprimido obteniéndose aire caliente,

FIGURA Nº 1

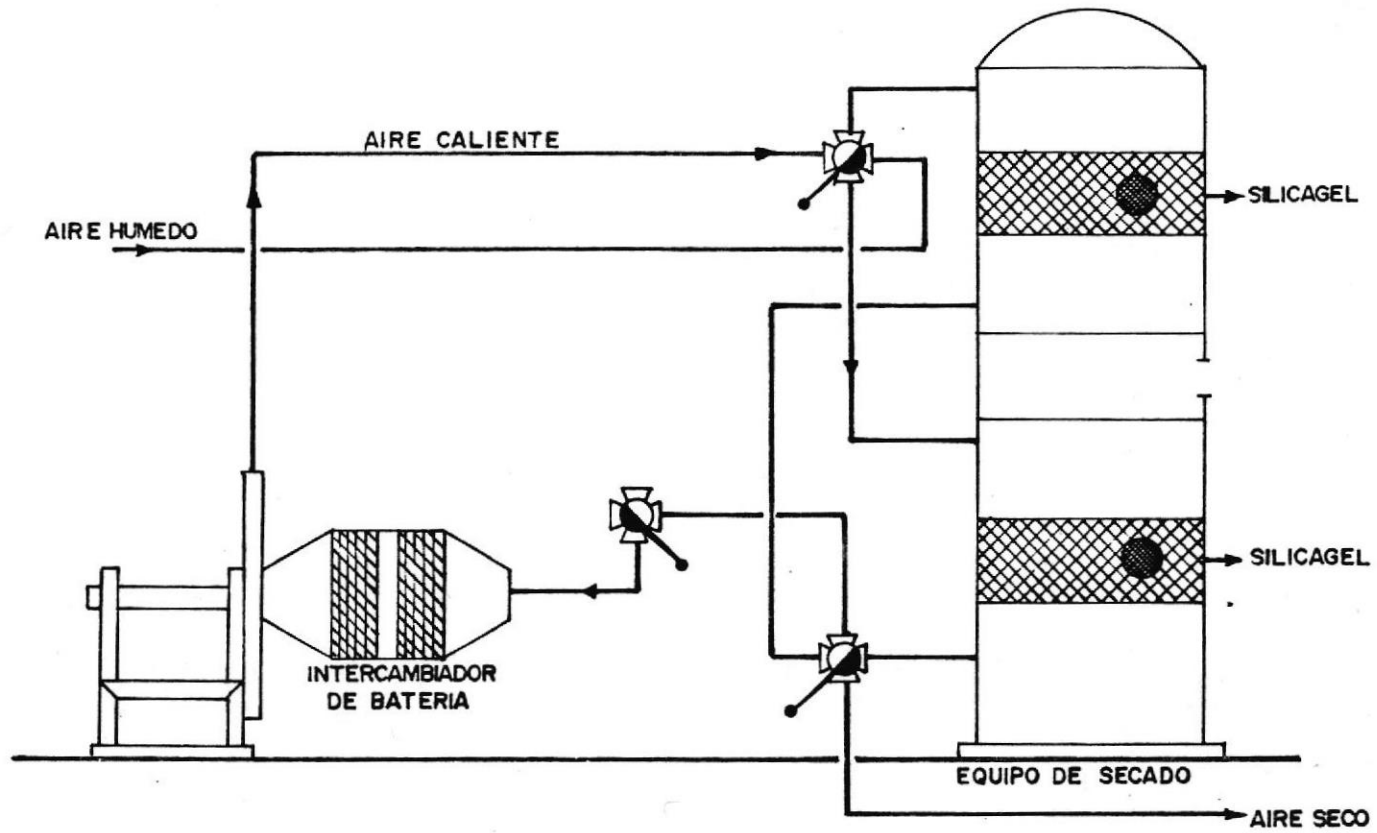


BIBLIOTECA

presurizado y húmedo, a continuación el aire pasa por el intercambiador de calor tipo batería (figura 1) cuya temperatura se encuentra entre -6°C a 0°C , esta temperatura es obtenida por la continua circulación del fluido intermedio del equipo frigorífico, este fluido está constituido por "etelen glicol" 18%, lo cual permite mantener el fluido intermedio líquido a temperaturas bajo cero grados centígrados, el mismo que a su vez permite ser manejado por las bombas, por lo tanto el aire obtenido es frío, cuya temperatura óptima de proceso es 0°C .

Luego se necesita eliminar la humedad del aire para lo cual contamos con el equipo de secado ya descrito en la figura 2; siguiendo el diagrama de flujo del dibujo vemos que el aire entra a una de las etapas de la torre de secado donde la humedad del mismo es atrapada por la silicagel, esta sustancia en horas de trabajo continuo se satura por la humedad, entonces es el momento de cambiar el paso del aire a la otra parte o etapa de la torre de secado con cambio de posición de válvulas dispuestas para tal efecto en el equipo. Mientras tanto en la etapa que quedo saturada se procederá a regenerar la sustancia de trabajo por medio de aire caliente, que proviene de los intercambiadores de tubos. De esta manera se ha obtenido aire seco de proceso.

FIGURA Nº 2



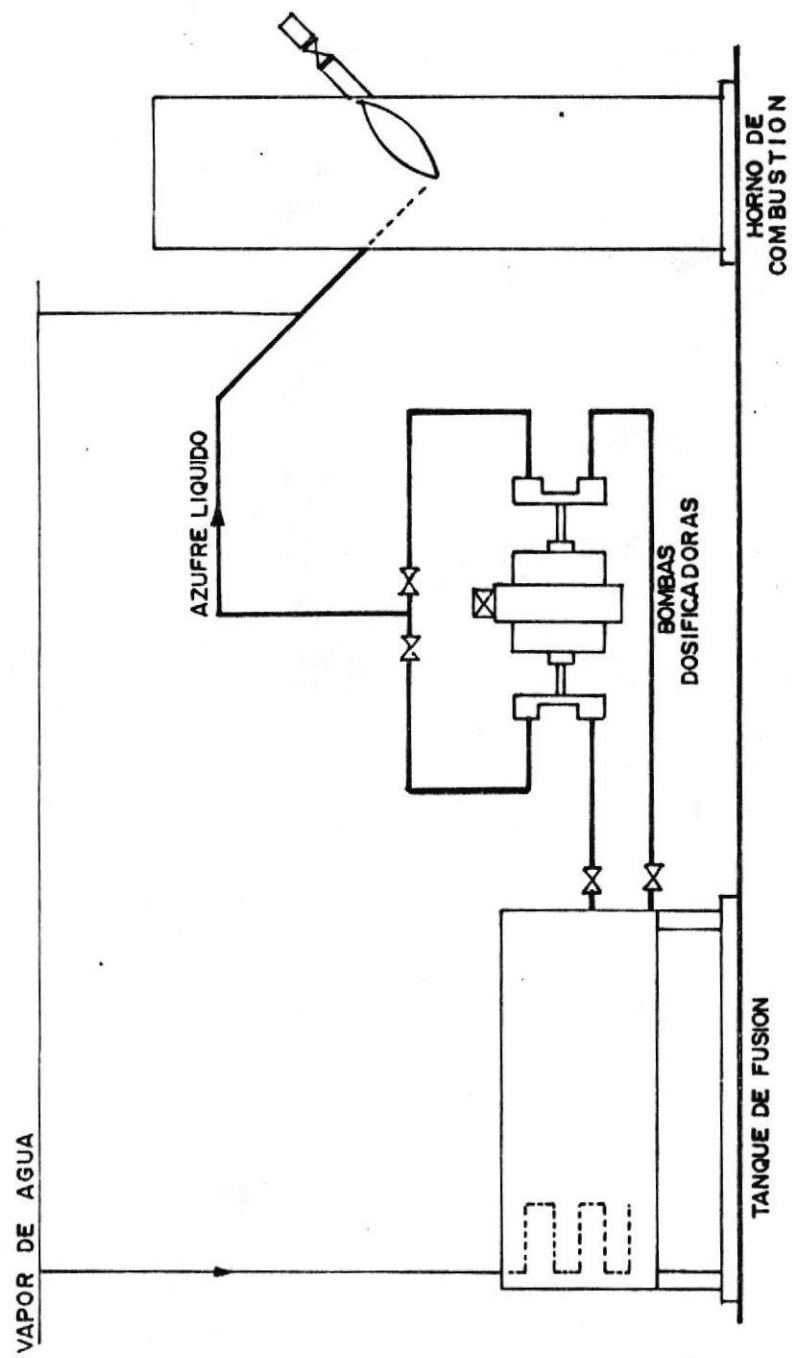
Fundición y dosificación del azufre

Antes de describir el equipo y su funcionamiento es importante mencionar algunas propiedades del azufre: El azufre es un sólido amarillo, poco conductor del calor y la electricidad, de peso atómico 32.066 y de densidad 2.07 unidades, se funde a 112.8°C y hierve a 444.6°C. Propiedades que han servido para emplearlas en múltiples usos y principalmente como materia prima en nuestro caso.

El equipo se muestra en la figura 3, básicamente está constituido de un recipiente metálico de forma rectangular, perfectamente aislado con material térmico, interiormente tiene serpentines por los mismos que circula vapor de agua, en la parte exterior del recipiente se dispone de dos bombas dosificadoras que funcionan en paralelo, además de otros dispositivos tales como: válvulas, filtros, trampas.

En el proceso mismo de fusión el azufre en estado sólido es alimentado y llenado en el recipiente rectangular, la parte exterior de los serpentines se encuentran en contacto con la carga de azufre, el vapor de agua que circula interiormente en los serpentines a una temperatura de 150°C, produce la transferencia de calor y por lo tanto la fundición del azufre. La viscosidad del azufre líquido varia notablemente con la temperatura, como consecuencia

FIGURA N° 3



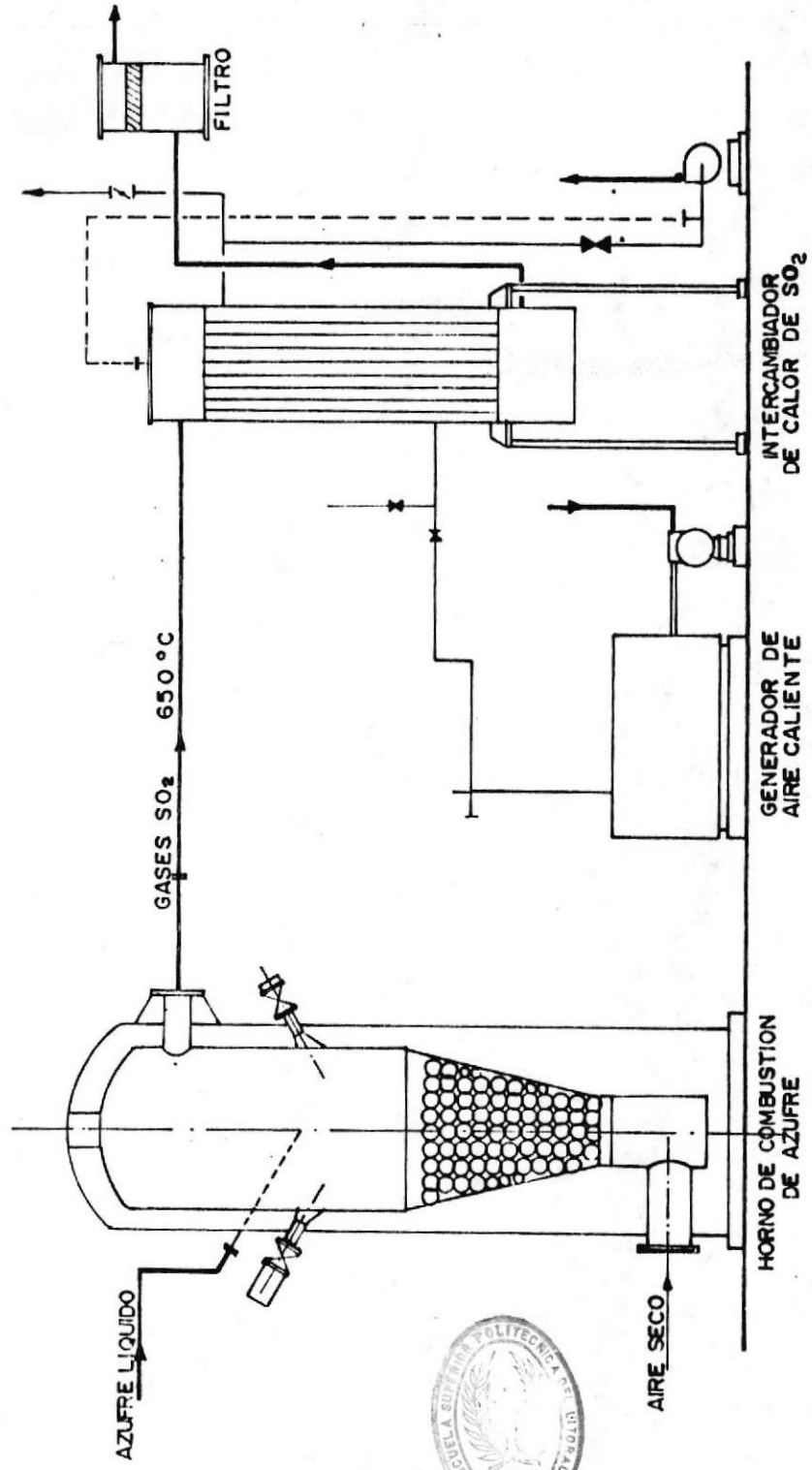
de esto la dosificación del azufre líquido al horno de combustión es irregular, aumentando o disminuyendo el rendimiento; para mantener una dosificación regular y continua de alimentación de azufre líquido al horno, la temperatura del fusor de azufre debe mantenerse entre 148 a 151°C de temperatura. Una vez obtenido estos resultados, el siguiente paso es la alimentación del azufre líquido regulando la bomba dosificadora de acuerdo a las necesidades de producción.

Combustión del azufre

El horno para la combustión del azufre líquido dosificado (figura 4), tiene la forma de botella invertida, su estructura es metálica, la parte exterior se encuentra aislada térmicamente, el interior tiene un revestimiento de ladrillo refractario, en el inferior está dispuesta la entrada de aire seco de proceso o combustión y se encuentran unas esferas refractarias cuyo objetivo es aumentar el área de combustión del azufre, posee un inyector de gas para inicio de llama de combustión, cañería de alimentación de azufre y en la parte superior del horno se encuentra la salida de los gases de SO_2 .

La combustión del azufre se inicia con una pequeña cantidad de éste y la llama inicial producida por el gas y el aire de combustión debe ser convenientemen-

FIGURA N° 4



te regulada; una vez conseguido el encendido se elimina la llama inicial de gas, luego en forma paulatina se va aumentando la dosificación de aire de combustión y azufre hasta llegar a la producción deseada. Los gases de azufre obtenidos de la combustión del azufre, produce una corriente de cerca del 7% en volumen de SO_2 cuya temperatura a la salida del horno se mantiene de 550 hasta 650°C, pudiendo llegar a 700°C, estas temperaturas se producen por la propia combustión del azufre, para la transformación de los gases de SO_2 a SO_3 , se necesita una temperatura de alrededor de 430°C, para lo cual se dispone de un intercambiador de calor, el cual es motivo del presente trabajo.

Intercambiador de calor original

La figura 4 muestra el intercambiador tipo tubo-coraza, los tubos interiores son de acero inoxidable y la coraza de acero A37, su exterior está perfectamente aislado térmicamente, la entrada de los gases de SO_2 se encuentra en la parte superior y la salida de los mismos por la parte inferior de dicho intercambiador, en la parte lateral inferior y superior está dispuesta la entrada y salida del fluido de enfriamiento. La función del intercambiador de calor es enfriar los gases de SO_2 que salen del horno de combustión a 650°C, los mismos que pasan por el interior de los tubos,



BIBLIOTECA

obteniéndose una temperatura de 430°C.

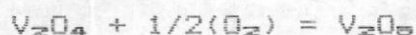
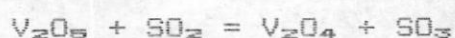
El agente de enfriamiento, en este caso aire suministrado por un ventilador, pasa entre el exterior de los tubos y la coraza del intercambiador en sentido contrario al paso de los gases, como se puede notar el proceso de enfriamiento en el intercambiador es a un solo paso y en contraflujo. Es importante notar que un buen aprovechamiento en la transformación de los gases de SO_2 a SO_3 depende únicamente de la temperatura de entrada de dichos gases a la siguiente etapa del proceso, esta temperatura deberá estar entre 420 a 430°C.

Transformación de SO_2 (anhidrido sulfuroso) a SO_3 (anhidrido sulfurico)

La figura 5 muestra la torre de catálisis, donde se produce la reacción, esta torre consta básicamente de un cilindro vertical dividido en tres zonas, dos intercambiadores de calor tipo tubo coraza dispuestos entre la primera y la segunda zona y la segunda y tercera zona respectivamente. Todo el conjunto está interconectado en serie, la parte exterior se encuentra aislada térmicamente, en la parte interior y en cada zona de la torre de catálisis se encuentra convenientemente distribuido V_2O_5 (penta-óxido de vanadio). En la parte superior de la primera zona se encuentra la entrada de los gases y en la parte inferior de la tercera zona la

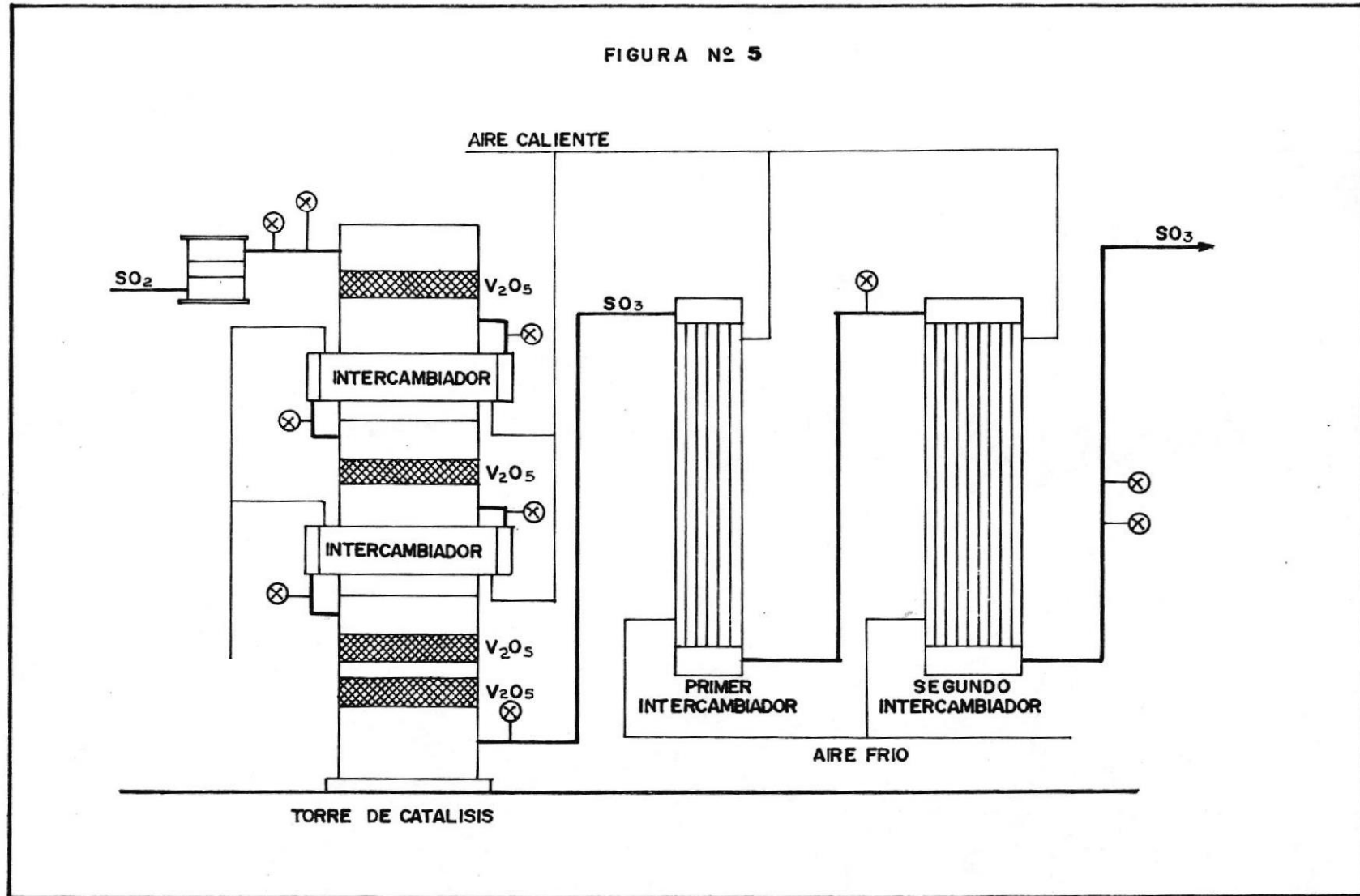
salida de los mismos.

En el proceso mismo en la torre de catálisis, los gases de SO_2 provenientes del intercambiador de calor a $430^\circ C$, entran en la primera zona de la torre de catálisis, donde se lleva a efecto la transformación de los gases de SO_2 a SO_3 en una reacción de oxidación, utilizando el aire que previamente viene en exceso del horno de combustión de azufre, en esta reacción actúa como catalizador el penta-óxido de vanadio de la siguiente forma:



La mayor parte de la transformación se lleva a efecto en la primera zona de la torre, esta reacción es exotérmica, por lo tanto hay un aumento de la temperatura de los gases, para lo cual contamos con el intercambiador de calor dispuesto entre la primera y la segunda zona de la torre de catálisis a fin de obtener la temperatura deseada de $430^\circ C$ a la entrada de la segunda zona para que continúe la transformación de los gases de SO_2 que no reaccionaron en la primera zona. El segundo intercambiador y la tercera zona tienen el mismo objetivo, con lo cual se trata de obtener una total transformación de gases de SO_2 a SO_3 . Los gases obtenidos de la tercera zona alcanzan una temperatura de $450^\circ C$.

FIGURA Nº 5



En la figura 5, se observa dos intercambiadores verticales conectados en serie de características tubo-coraza, que utiliza como fluido de enfriamiento el aire suministrado por un ventilador, el mismo que hace pasar por el exterior de los tubos y la carcasa. Los gases SO_3 provenientes de la torre de catálisis que pasan por el interior de los tubos, obteniéndose una temperatura de salida en el primer intercambiador de $250^{\circ}C$ y a la salida del segundo intercambiador de $60^{\circ}C$, esta temperatura final es la deseada para la siguiente etapa del proceso.

Además estos intercambiadores tienen la finalidad de condensar parte de los gases, este líquido condensado es olium, el cual es eliminado por válvulas dispuestas para tal efecto por ser indeseable en la continuación del proceso. El oleum se forma debido a la humedad que contiene el aire seco de proceso.

Equipo de sulfonación

Este equipo consta de tres unidades de las mismas características (figura 6), conectados en paralelo. La unidad está compuesta esencialmente de un tanque en forma cilíndrica de metal como cuerpo del mismo, en la parte lateral inferior posee una chaqueta para fluido de enfriamiento, en la parte superior está acoplado convenientemente un motoreductor, que genera el movimiento a un agitador en el interior

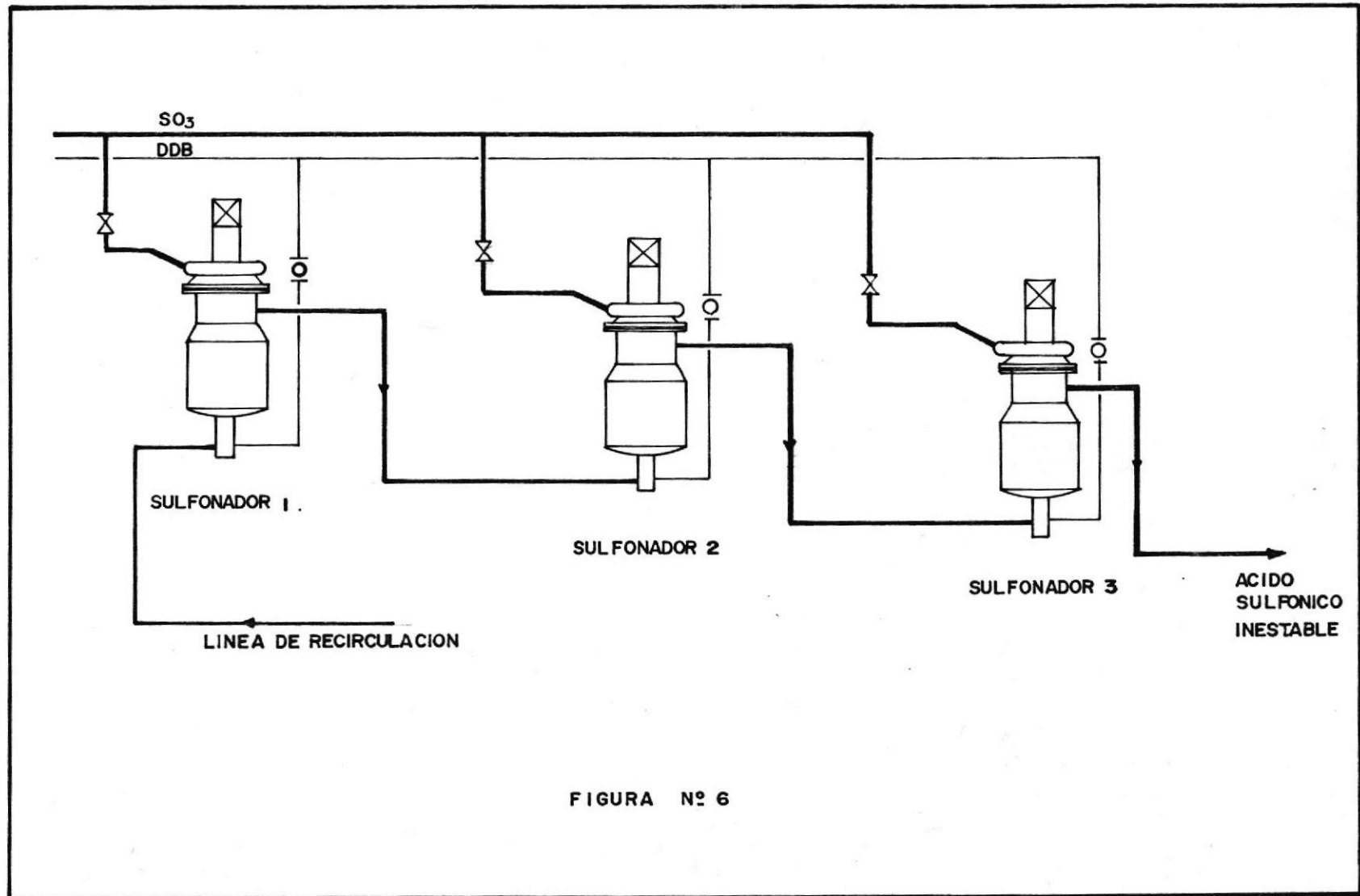


FIGURA Nº 6

del elemento, la entrada de los gases está en la parte superior y en el inferior está dispuesta otra entrada para deodecil benceno (DDB).

El funcionamiento comienza con la alimentación de los gases SO_3 provenientes del último intercambiador vertical, al mismo tiempo por la parte inferior entra materia prima (líquido) dodecil benceno, suministrado por medio de una bomba dosificadora, con la ayuda del agitador reacciona parcialmente en el primer sulfonador, luego y en forma continua pasa al segundo y tercer sulfonador, donde continúa reaccionando hasta obtener un rendimiento del 97% en el último sulfonador. Esta reacción es exotérmica, lo cual implica un control de la temperatura mediante agua de enfriamiento que suministrada por una bomba entra a las chaquetas de los equipos sulfonadores, la temperatura ideal para una buena transformación es de $50^{\circ}C$.

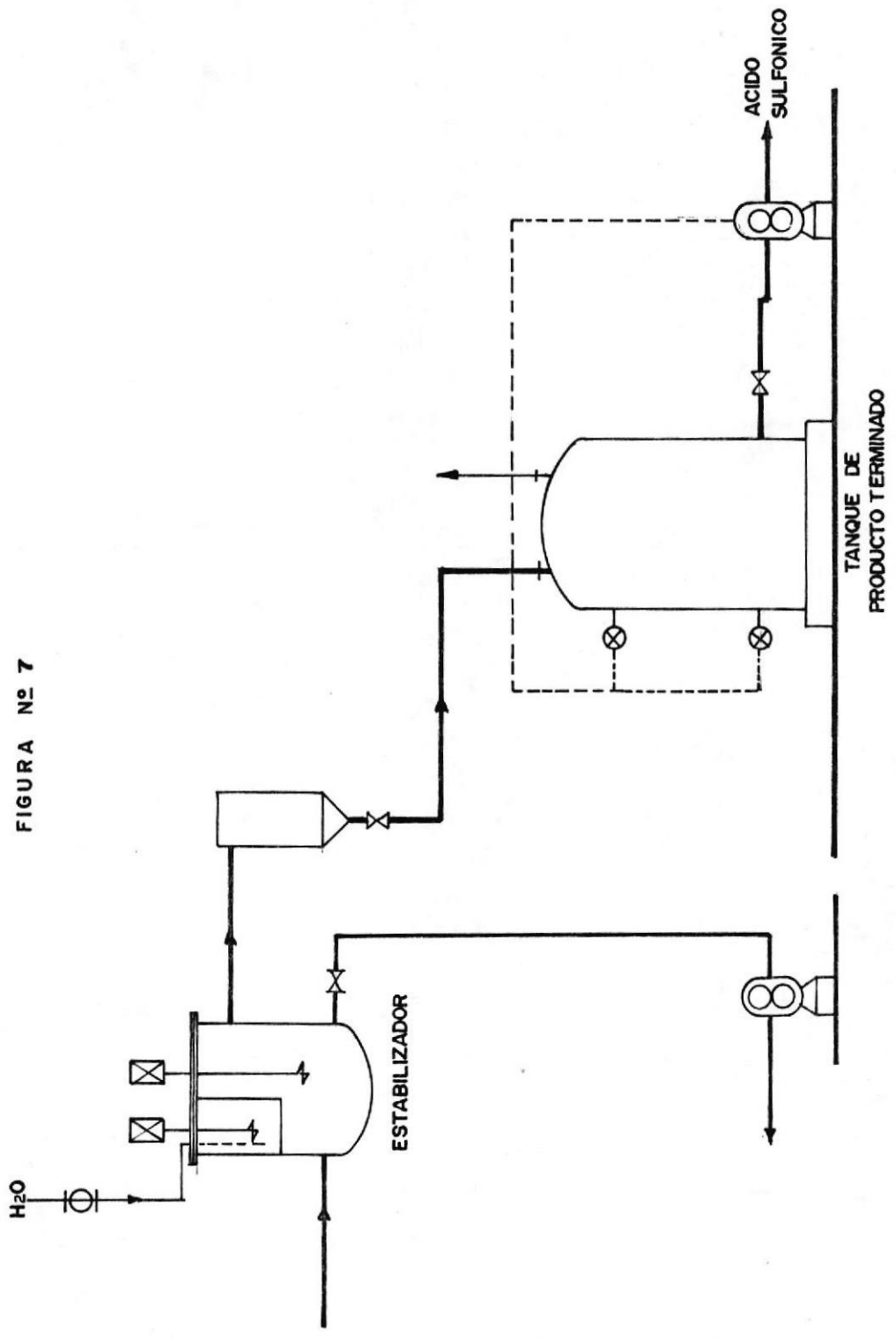
El producto líquido obtenido del último sulfonador toma una coloración oscura, viscosa e inestable.

Estabilizador

La figura 7 detalla el equipo como un recipiente cilíndrico dividido en dos partes con agitador independiente en cada una de ellos y una bomba de piñones de recirculación.

El ácido sulfónico inestable entra por la parte inferior del estabilizador, donde recibe una gran

FIGURA Nº 7



agitación pasando a la segunda parte donde recibe el agente estabilizador H_2O (agua neutra) suministrado por una bomba dosificadora. La bomba de recirculación tiene el objetivo de regresar el ácido sulfónico al primer sulfonador, repitiéndose el proceso hasta obtener un rendimiento en la reacción del 98%, el ácido sulfónico ya estabilizado pasa al tanque pulmón que se muestra en la figura 7, este tanque está provisto de un control de nivel máximo y mínimo el cual controla a la bomba en forma automática.

El sub-producto terminado pasa a tanques de almacenamiento o directamente a la planta de preparación de detergentes.

1.2. DEFINICION DEL PROBLEMA

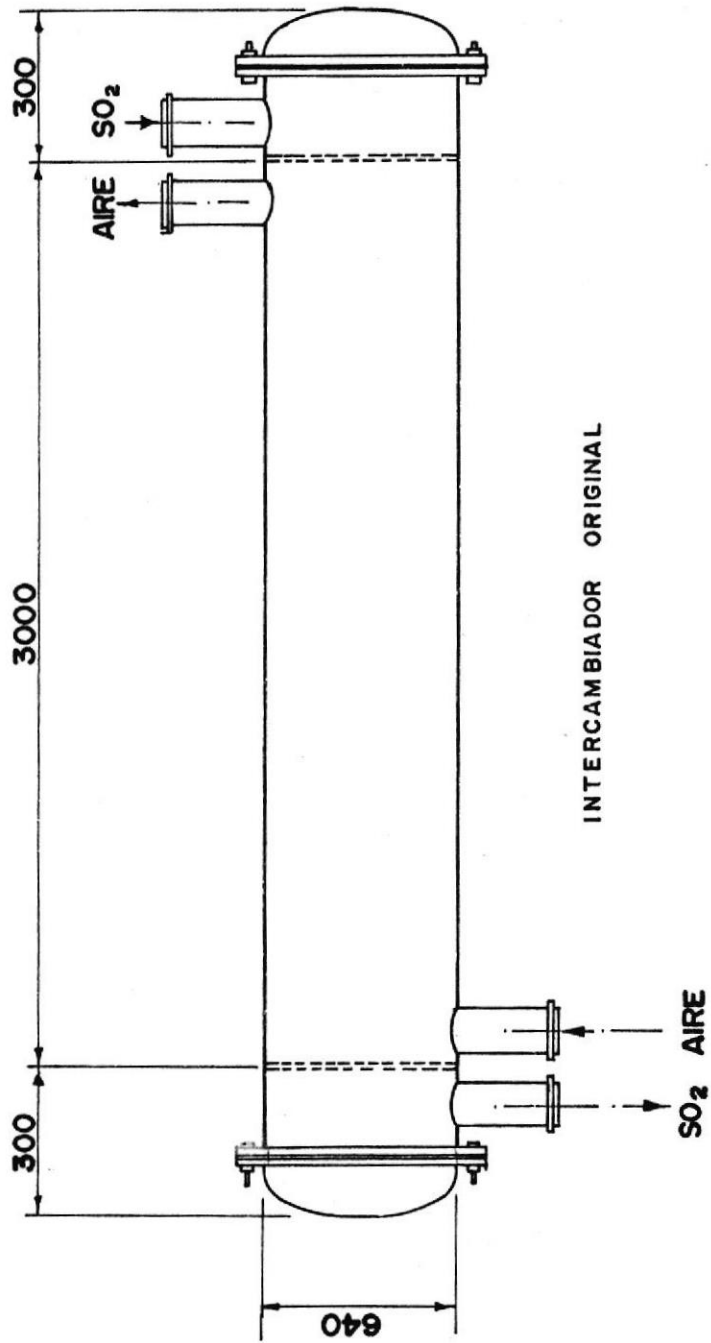
Como antecedente ya se mencionó las diferentes dificultades que originó dicho intercambiador de calor hasta su deterioro final, es necesario por lo tanto determinar las posibles causas, para lo cual se detalla a continuación el intercambiador original.

Características del intercambiador original

En la figura 8, se ilustra las dimensiones físicas del intercambiador, las correspondientes entradas y salidas de los gases SO_2 y aire de enfriamiento.

El intercambiador es tipo tubos coraza, las placas

FIGURA N° 8



de tubos o espejos se encuentran en el extremo superior e inferior, fijos en los extremos de la carcasa, los tubos interiores están expandidos en los espejos, en los extremos exteriores están acopladas a la carcasa las tapas de inspección, a continuación la tabla 1 ilustra otras características.

Elementos	Material	Ø(mm)	# tubos	Área Trans	# def
Tubos	Acero 316	25	30	9.4×10^6	--
Coraza	Acero A37	640	--	-----	6

TABLA 1.- CARACTERISTICAS DEL INTERCAMBIADOR

El proceso de enfriar gases de SO_2 se realiza con el paso de estos por el intercambiador de los tubos, y el aire que actúa como fluido de enfriamiento pasa por entre la carcasa y el exterior de los tubos en contraflujo, en la carcasa están dispuestos unos deflectores, cuya función es desviar el aire de enfriamiento una y otra vez, como detalla la figura 9.

Diferencia de expansión térmica

Al hacer un examen cuidadoso del intercambiador deteriorado se pudo observar, una mayor cantidad de tubos destruidos en la parte adyacente al espejo superior, así mismo este espejo presentaba una corrosión más profunda comparada con la placa

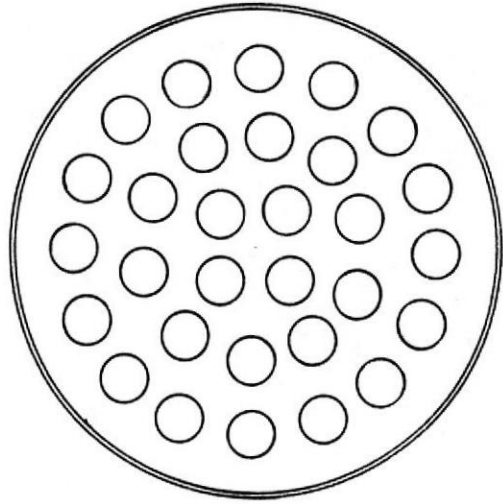
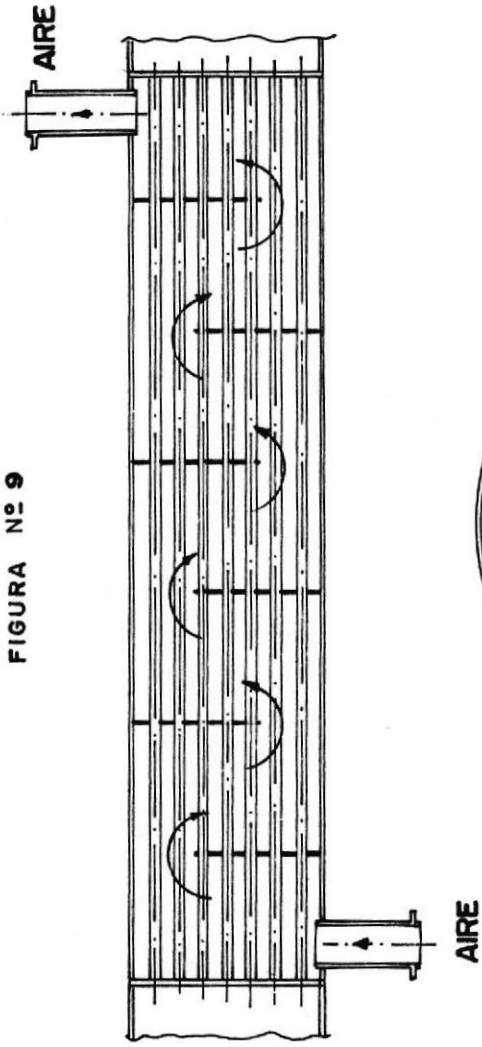
inferior, además sobre las paredes interiores de la coraza había hecho efecto las continuas fugas de los gases, acelerando el desgaste por corrosión.

La alta temperatura de proceso a que está sometido el intercambiador por el interior de los tubos (700°C) y el aire de enfriamiento que entra a 34°C y se encuentra entre la carcasa y los tubos, forma una especie de aislante entre los mismos y determina una diferencia de temperatura entre los tubos y la carcasa, consecuentemente también se produce una diferencia de dilatación entre los mismos, la figura 9 ilustra que debido a las diferencias antes anotadas se demuestra la existencia de esfuerzos térmicos en los tubos interiores y espejos del intercambiador. El azufre conocido como un elemento altamente corrosivo, en este caso es utilizado como materia prima para producción, de ácido sulfónico. Unido este elemento a los esfuerzos térmicos, aceleró la corrosión principalmente en los tubos y en el resto del intercambiador. Se debe recalcar entonces que la causa principal del deterioro del intercambiador fue producto de los esfuerzos térmicos.

1.3. ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Debido a la necesidad urgente de ácido sulfónico que produce esta planta, y por los antecedentes

FIGURA Nº 9



mencionados en su oportunidad, se determinaron las siguientes alternativas factibles de solución:

- Reemplazo del intercambiador deteriorado, por otro similar. Esta solución obviamente es rápida y lógica, pero es imposible mantener un equipo que ha sido diseñado para una vida útil de 15 o 20 años en la bodega de repuestos, además si se hubiera previsto su deterioro y existiera al momento, con el simple reemplazo no se habría resuelto la causa del problema, es decir la dilatación. Se consultó al fabricante del intercambiador la posibilidad de que ellos nos envíen un intercambiador similar, pero con una junta de expansión en la coraza, capaz de absorber la dilatación entre los tubos interiores y la coraza.

La respuesta fue afirmativa y que se podría contar con él en los próximos 60 días a partir de la confirmación de la oferta. Esta alternativa fue descartada, por obvias razones, pero tuvo una ventaja, el fabricante admitía la causa del problema.

- La investigación en el mercado y las industrias de la localidad fue otra de las alternativas que se puso en ejecución, debido a que en la industria es muy usual cualquier intercambiador, que aunque no posea todas las características, pueda cumplir la

función deseada de proceso, esta posibilidad fue desechada debido a los resultados negativos de la investigación.

- Construcción de un intercambiador en la planta. Esta idea surgió como respuesta a los siguientes argumentos:

a. Principio básico de un intercambiador de calor.

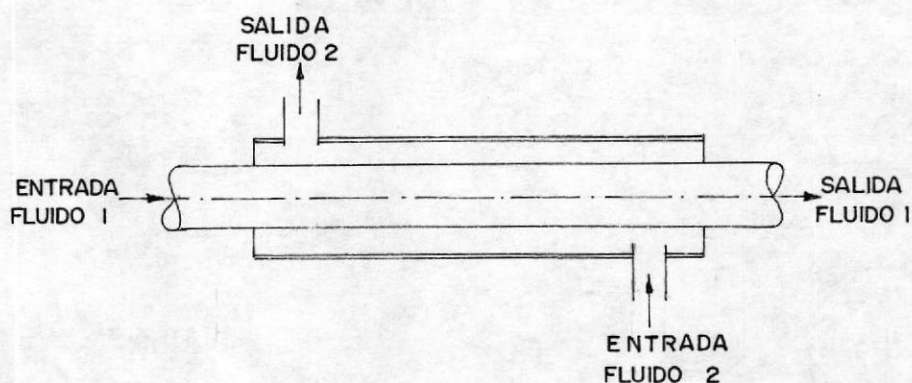


Figura 10.- Intercambiador básico

La figura 10 ilustra un intercambiador básico, consiste de un tubo colocado concéntricamente dentro de otro tubo, uno de los fluidos pasa por el tubo interior, y el otro fluido pasa entre el tubo exterior y el tubo interior.

b. Material disponible.

La composición química de los gases de azufre determina que el material por donde fluirá dicho gas debe cumplir principalmente con el requisito

de ser resistente a la corrosión, además de la temperatura y presión de proceso. El material existente de la interconexión del intercambiador original, tiene las siguientes características:

Acero 316

Diámetro del tubo 8" (20 cm) CD 20.

Este tubo necesariamente se debe emplear como tubo interior, puesto que si se utiliza como tubo exterior del intercambiador, obligadamente el tubo interior tiene que ser de las mismas características de resistencia para el paso de gases de azufre, y en el mercado local es muy limitado en este tipo de materiales (acero 316).

Por lo tanto queda explicado que el tubo existente en la planta actuará como interior, y por el interior del mismo fluirán los gases de azufre.

Queda entonces por estimar la longitud necesaria de este material, para lo cual se cuenta con el área de transferencia de calor del intercambiador original.

Área de transferencia del intercambiador original
9.4 m².

Diámetro del tubo interior del intercambiador propuesto 8" (20 cm).

Longitud aproximada del intercambiador propuesto
15 m.

La longitud obtenida del área de transferencia de

calor original, no es la real para el intercambiador propuesto en el presente trabajo, puesto que los dos intercambiadores poseen diferentes características, y la longitud real del intercambiador se obtendrá posteriormente a su cálculo.

El tubo exterior por donde fluirá aire del ambiente no necesita materiales especiales, por lo tanto es de fácil adquisición en el mercado local.

c. Fácil de construir.

Dada la longitud aproximada obtenida antes, vemos que es una magnitud muy grande para pensar en construir un intercambiador de calor de tubos concéntricos en un solo bloque, debido a que el tubo interior tendería a pegarse al tubo exterior anulando en este sitio la transferencia de calor, además del espacio que ocuparía y la estética de planta en todo su conjunto.

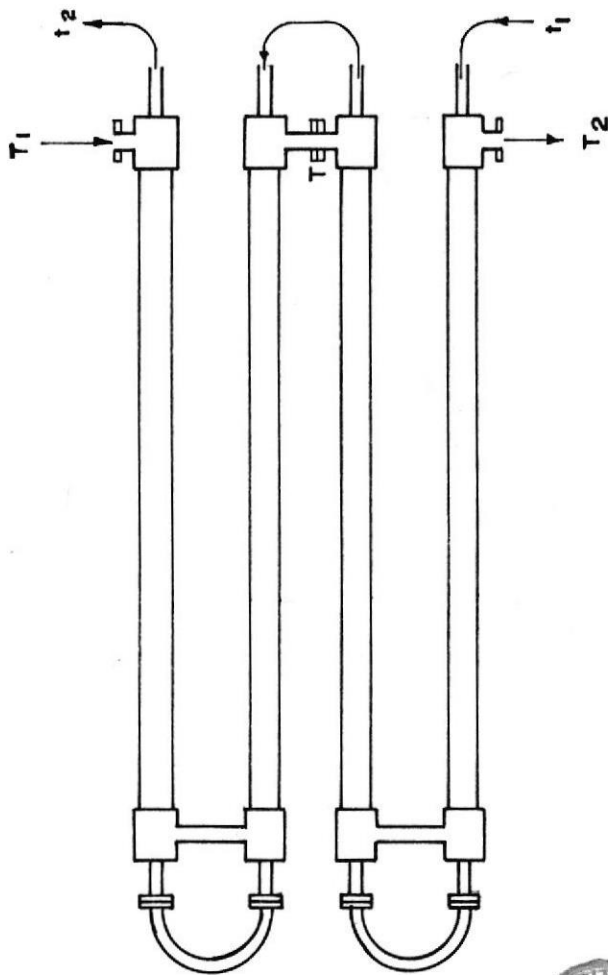
El manual de principios de transferencia, recomienda en casos como este de longitud muy grande (15 m) distribuirlo en forma de horquillas como se muestra en la figura 11, este modelo de intercambiador evitará los inconvenientes anotados anteriormente.

Como puede notarse en la figura 10 este intercambiador propuesto es de fácil construcción, existe el material y cumple con la función de

transferencia de calor. Por lo tanto esta fué la alternativa seleccionada para la solución al problema presentado en la planta.



BIBLIOTECA



INTERCAMBIADOR DE DOBLE TUBO DE DOS HORQUILLAS EN SERIE

FIGURA Nº 11



CAPITULO II

DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCION DEL INTERCAMBIADOR

2.1. PARAMETROS UTILIZADOS

El control de proceso de la planta requiere de un registro de operación, se obtiene de esta manera los diferentes valores reales. En el presente caso específico, los datos registrados a la entrada y salida del intercambiador original, servirán como parámetros de cálculo del intercambiador propuesto, a continuación se detallan los datos:

Para fluido caliente SO_2 (anhidrido sulfuroso)

T1 = 650°C Temperatura de entrada del intercambiador

T2 = 420°C Temperatura de salida del intercambiador

P1 = 200mmHg Presión de entrada del intercambiador

P2 = 180mmHg Presión de salida del intercambiador

W = 1860 Kg/h Peso del flujo del fluido.

Para fluido frío aire

T1 = 35°C Temperatura de entrada del intercambiador

T2 = 150°C Temperatura de salida del intercambiador

P1 = 9.4mmHg Presión de entrada del intercambiador

P2 = 4.7mmHg Presión de salida del intercambiador

Además por las consideraciones hechas en el capítulo anterior el diámetro del tubo interior está seleccionado.

D = 8" diámetro nominal del tubo interior

2.2. CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL INTERCAMBIADOR

Para determinar el área de transferencia de calor es necesario hacer las siguientes suposiciones:

- El flujo en el intercambiador es a contracorriente
- El coeficiente total de transferencia de calor es constante en toda la trayectoria
- Los kilogramos por hora del fluido son constantes
- El calor específico es constante sobre toda la trayectoria
- No hay cambios de fase en el sistema
- Las pérdidas de calor son despreciables

La figura 12 detallada a continuación se toma como referencia para el cálculo del intercambiador.

El desarrollo de los cálculos se presentan en una forma secuencial para una fácil comprensión del método utilizado.

Las fórmulas para la elaboración del cálculo para obtener el área de transferencia de calor y las pérdidas de presión en el intercambiador, se tomaron del Manual "Principios de Transferencia de Calor" por Donal Q. Kern y se encuentran resumidas en las tablas 2 y 3.

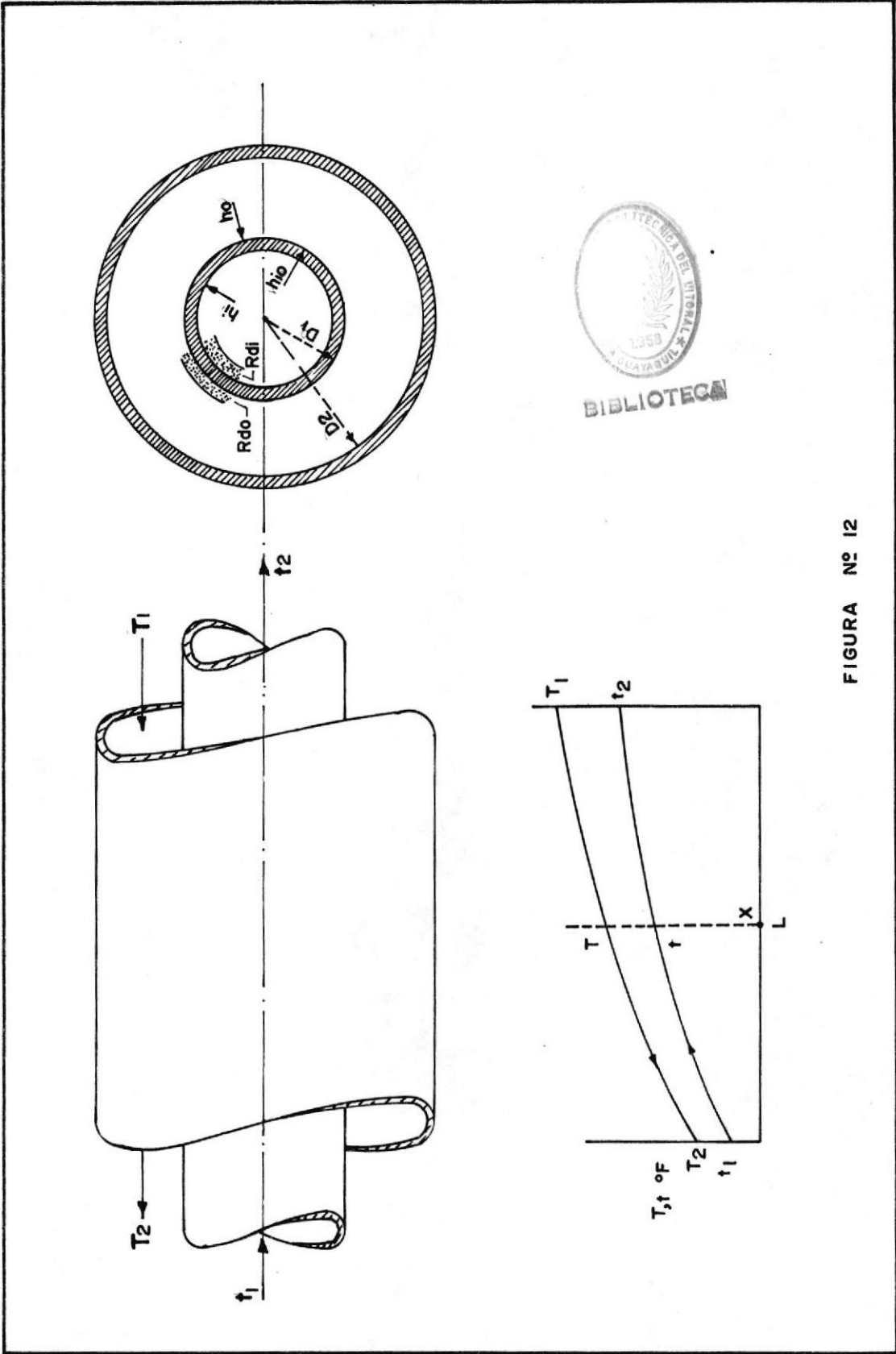


FIGURA N° 12

FORMULAS	TABLA	FIGURA	RESULTADO	RESULTADO S.I.
$T_{pro} = (T1-T2)/2$			995°F	535°C
C		29	0.21 BTU/lb-°F	2.17×10^{-4} Kcal/Kg-°C
M			4101.3 Lb/h	1860 Kg/h
$Q = MC(T1-T2)$			356567 BTU/h	89854.9 Kcal/h
$t_{pro} = (t1-t2)/2$			194°F	90°C
c		29	0.25 BTU/lb-°F	1.54×10^{-3} Kcal/Kg-°C
$m = Q/c(t2-t1)$			6603 Lb/h	2295.1 Kg/h
$t = \frac{(T1-t2)-(T2-t1)}{\ln(T1-t2)/(T2-t1)}$			796.8°F	424.9°C
D			0.68 pie	207 mm
$aS = (\pi D^2)/4$			0.38 pie ²	353.2 cm ²
$G_s = M/aS$			10836.88 lb/pie ² -h	5.29 Kg/cm ² -h
μ_s		28	0.029 cp	1.04×10^{-3} Kg/cm-h
$Res = DG_s/\mu_s$			106820.7	-----

TABLA 2.- FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

FORMULAS	TABLA	FIGURA	RESULTADO	RESULTADO S.I.
JH		31	250	-----
Ks	14		0.016 BTU/h-pie2(*F/pie)	0.023 Kg-cal/h-m2(*C/m)
hi=JH(Cus/Ks)1/3*Ks/D			5.56 BTU/h-pie2-*F	27.13 Kg-cal/h-m2-*C
D1			0.72 pie	219 mm
D2			0.92 pie	281 mm
De = (D2 - D1)/D1			0.46 pie	13.89 cm
hio = hi(D/D1)			5.33 BTU/h-pie2-*F	26.00 Kg-cal/h-m2-*C
aa = pi(D2 -D1)/4			0.26 pie2	0.024 m2
Ga = m/aa			25631.7 lb/h-pie2	1802 Kg/h-cm2
ua		28	0.021 cp	7.59x10-4 Kg/h-cm
Re = DeGa/ua			231187.9	-----
Jh		30	280	-----
Ka	14		0.018 BTU/h-pie2(*F/pie)	0.027 Kg-cal/h-m2(*C/m)
ha=Jh(Cua/Ka)1/3*Ka/De			12.53 BTU/h-pie2-*F	61.15 Kg-cal/h-m2-*C

CONT. TABLA 2.- FORMULAS PARA EL CALCULO DEL AREA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR



BIBLIOTECA

FORMULAS	TABLA	FIGURA	RESULTADO	RESULTADO S.I.
$U_c = (h_{i0} h_o) / (h_{i0} + h_o)$			3.74 BTU/h-pie ² -°F	18.25 Kg-cal/h-m ² -°C
R_{di}	15		0.002 h-pie ² -°F/BTU	4.1x10 ⁻⁴ h-m ² -°C/Kg-cal
R_{do}	15		0.002 h-pie ² -°F/BTU	4.1x10 ⁻⁴ h-m ² -°C/Kg-cal
$R_d = R_{di} + R_{do}$			0.004 h-pie ² -°F/BTU	8.2x10 ⁻⁴ h-m ² -°C/Kg-cal
$1/U_d = 1/U_c + R_d$			7.06x10 ⁻³ h-pie ² -°F/BTU	1.45x10 ⁻³ h-m ² -°C/Kg-cal
U_d			3.68 BTU/h-pie ² -°F	17.96 Kg-cal/h-m ² -°C
$A = Q / (U_d \ t)$			121.46 pie ²	11.29 m ²
$L = A / \pi D$			53.7 pie	16.36 m

CONT. TABLA 2.- FORMULAS PARA EL CALCULO DEL AREA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

FORMULAS	TABLA	FIGURA	RESULTADO	RESULTADO S.I.
$\rho = P_{ab} M / \text{Tab}(1545.3)$	16		0.076 Lb/pie ³	1.22 Kg/m ³
$f_i = .0035 + [0.234 / (D G_s / u_s)]$			0.0053	
$F_s = [4f(G_s) L] / [2g D]$			40.13 pie	12.23 m
$P = (F_p \rho) / 144$			0.021 lb/pulg ²	1.48 Kg/cm ²
$D_{e'} = D_2 - D_1$			0.20 pie	6.96 cm
$Re' = D_{e'} G_a / u_a$			100516.5	-----
$f = .0035 + [0.264 / (D_{e'} G_a / u_a)]$			0.0056	-----
$\rho = P_{ab} M / \text{Tab}(1545.3)$	16		0.069 Lb/pie ³	1.086 Kg/m ³
$F_a = [4f(G_a) L] / [2g D_{e'}]$			0.0024 pie	0.073 cm
$V = G_a / 3600 \rho$			101.7 pie/seg	30.99 m/seg
$F_1 = 2(V^2 / 2g')$			321.2 pie	97.9 m
$P_a = [(F_1 + F_a) \rho] / 144$			0.16 Lb/pulg ²	0.011 Kg/cm ²

TABLA 3.- FORMULAS PARA EL CALCULO DE CAIDA DE PRESION EN LOS TUBOS INTERIOR Y EXTERIOR



BIBLIOTECA

2.3. SELECCION DEL AISLAMIENTO TERMICO

El aislamiento térmico se puede definir mejor por el índice que conduce el calor en comparación con los metales. Por ejemplo, el acero conduce el calor a un índice 600 veces mayor que un material aislador típico.

Para que un material sea aislante, y por ello mal conductor del calor, hace falta que este material esté formado por un gran número de células cerradas conteniendo aire seco en reposo, u otros gases, con coeficiente de conductividad muy bajo. El aire existe naturalmente, en las células de ciertos materiales, como el corcho o bien se encuentra aprisionado en el proceso de fabricación del material.

Estas consideraciones explican porque todos los materiales aislantes son ligeros y también el hecho de que el poder aislante de un material varía en razón inversa a su peso específico. Las características aislantes de un material pueden modificarse o deteriorarse en función de ciertos factores exteriores; así pues, si el material es higroscópico, la absorción del vapor de agua de la atmósfera servirá para aumentar su peso específico y disminuirá su poder aislante, prácticamente es importante que los materiales aislantes no sean higroscópicos.

Los materiales aislantes deben poseer cierto número de cualidades, aunque, el aislante ideal no existe. Este aislante debería en efecto poseer las cualidades enumeradas a continuación:

- Ligero y no higroscópico, a fin de conservar constantes todo el tiempo sus cualidades aislantes.
- Imputrescible
- Inodoro, a fin de que no comunique su olor a los productos almacenados
- Neutro frente a otros materiales (madera, acero, albañilería, materias plásticas).
- Ininflamable e ignífugo
- Plástico para resistir sin romperse las deformaciones de la obra, o para adaptarse a dichas deformaciones.
- Resistente a la presión
- Resistente al apilamiento a fin de evitar fallos de aislamiento en la colocación superpuesta del mismo
- No servir de alimento a los roedores para evitar la formación de galerías, que tendrían por efecto reemplazar el aislante por aire húmedo, alterando las cualidades aislantes.
- Muy poco permeable al vapor de agua con objeto de evitar condensaciones o congelaciones de vapor de agua en el interior del aislante.

Ningún material está en posesión de todas estas

cualidades, por lo que en la selección del material aislante buscaremos aquel que posea mayor cantidad de las mismas, muchos son los materiales que poseen un número suficiente de estas cualidades y son por consiguiente, aptos para su utilización como aislamiento térmico.

Origen de los aislamientos

Los tres reinos naturales, mineral, vegetal y animal suministran materia prima que sirve para elaborar los aislamientos utilizados en la industria.

La tabla 4 permite comparar el origen de los materiales de aislamiento, tanto en lo que se refiere al aislamiento calorífico como al aislamiento frigorífico.

ORIGEN	REINO	AISLANTES
Inorgánico	Mineral	Kieselguhr, magnesio, amianto, fibra de vidrio, lana mineral, vidrio celular.
Orgánico Contemporáneo	Vegetal	Corcho, algodón, Kapok, fibra de madera, goma-espuma, crin vegetal.
	Animal	Fieltro, lana, seda, crin animal.
Orgánico Geológico	Aislantes Sintéticos	Poliestireno expandido, Espuma de poliuretano.

TABLA 4.- CLASIFICACION DE LOS AISLANTES

Es imposible enumerar todos los materiales aislantes utilizados en la industria por ser, de una parte, muy numerosos y por otra parte los materiales varían con el país.

Para el presente caso del aislamiento del intercambiador de calor, la condición más importante es la resistencia a la temperatura, pudiendo llegar hasta 700°C en proceso.

En la industria local se obtuvo un material aislante cuyas características se presentan a continuación:

Material	Lana de Rocca
Conductibilidad térmica	0.033 Kcal/m-h-°C a 20°C.
Rango de espesor	de 30 mm a 100 mm
Resistencia a la temperatura	38°C a 700°C

Las características del material aislante (lana de rocca) cumplen los requerimientos indispensables en el presente caso, por lo tanto, es necesario determinar el espesor de material aislante a utilizarse en el intercambiador de calor, para lo cual se debe tomar en cuenta los siguientes criterios:

a. Protección personal.

Generalmente en labores de limpieza y operación de la planta, accidentalmente la persona puede entrar en contacto con la superficie caliente, cuyas consecuencias son fáciles de colegir. Un buen

MATERIAL	DENSIDAD DE LA LANA DE ROCCA 100 kg/m ³ (1)									
	TEMPERATURA	100	150	200	250	300	350	400	500	600
DIAMETRO	ESPESOR DE AISLAMIENTO EN mm									
TUBO										
< 1"	30	30	40	50	60	60	70	80	90	90
1 1/2"	30	30	40	50	60	60	70	80	90	90
2"	30	30	40	50	60	60	70	80	90	90
2 1/2"	30	60	50	60	80	80	90	80	120	120
3"	30	60	50	60	80	80	90	110	120	120
4"	40	60	70	80	90	100	110	110	130	130
6"	40	60	70	90	100	100	120	120	130	130
8"	40	60	70	90	100	100	120	130	140	140
10"	40	60	70	90	100	100	120	130	140	140
12"	40	60	80	90	100	100	130	130	140	140
14"	40	60	80	90	110	120	130	140	150	150
16"	40	60	80	90	110	120	130	140	150	150
18"	40	60	80	90	110	120	130	140	150	150
20"	40	60	80	90	110	120	130	140	150	150
24"	40	60	80	90	110	120	130	140	150	150
> 24"	50	70	80	100	110	120	140	150	160	160

TABLA 5.- ESPEORES DE AISLAMIENTO TERMICO PARA TUBOS
CONSIDERANDO EL DIAMETRO Y LA TEMPERATURA

DIAMETRO TUBO	ESPESOR DEL MATERIAL AISLANTE EN mm													SUPERF. TUBO
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	
15	0.25	0.32	0.38	0.44	0.51	0.57	0.63	0.7	0.76	0.82	0.88	0.95	1	0.07
20	0.27	0.34	0.4	0.46	0.53	0.59	0.65	0.72	0.78	0.84	0.9	0.97	1.03	0.09
25	0.29	0.36	0.42	0.48	0.55	0.61	0.67	0.74	0.8	0.86	0.92	0.99	1.05	0.1
32	0.32	0.39	0.45	0.51	0.57	0.64	0.7	0.76	0.83	0.89	0.95	1.01	1.08	0.13
40	0.34	0.41	0.47	0.53	0.59	0.66	0.72	0.78	0.85	0.91	0.97	1.03	1.1	0.15
50	0.38	0.44	0.5	0.56	0.63	0.69	0.75	0.82	0.88	0.94	1	1.07	1.13	0.19
65	0.43	0.49	0.55	0.61	0.68	0.74	0.8	0.87	0.93	0.99	1.05	1.12	1.18	0.24
80	0.47	0.53	0.59	0.65	0.72	0.78	0.84	0.91	0.97	1.03	1.09	1.16	1.22	0.28
100	0.55	0.61	0.67	0.73	0.8	0.86	0.92	0.99	1.05	1.11	1.17	1.24	1.3	0.36
125	0.61	0.67	0.73	0.79	0.86	0.92	0.98	1.05	1.11	1.17	1.23	1.3	1.36	0.42
150	0.72	0.78	0.84	0.9	0.97	1.03	1.09	1.16	1.22	1.28	1.34	1.41	1.47	0.53
200	0.88	0.94	1	1.06	1.13	1.19	1.25	1.32	1.38	1.44	1.5	1.57	1.63	0.69
250	1.05	1.11	1.17	1.23	1.3	1.36	1.42	1.49	1.55	1.61	1.67	1.74	1.8	0.86
300	1.21	1.27	1.33	1.39	1.46	1.52	1.58	1.65	1.71	1.77	1.83	1.9	1.96	1.02
350	1.31	1.37	1.43	1.49	1.56	1.62	1.68	1.75	1.81	1.87	1.93	2	2.06	1.12
400	1.47	1.53	1.59	1.65	1.72	1.78	1.84	1.91	1.97	2.03	2.09	2.16	2.22	1.28
450	1.63	1.69	1.75	1.81	1.88	1.94	2	2.07	2.13	2.19	2.25	2.32	2.38	1.44
500	1.79	1.85	1.91	1.97	2.04	2.1	2.16	2.23	2.29	2.35	2.41	2.48	2.54	1.6
600	2.11	2.17	2.23	2.29	2.36	2.42	2.48	2.55	2.61	2.67	2.73	2.8	2.85	1.92

TABLA 6.- SUPERFICIE DE MATERIAL PARA AISLAMIENTO (m² POR m DE TUBO)

aislamiento térmico evitará accidentes personales.

b. Estabilidad del proceso.

Una disminución del calor influye negativamente en el funcionamiento de la unidad.

c. Conservación del calor.

Reduce al mínimo la disminución del calor.

En la tabla 5 suministrada por el fabricante se presenta los diferentes espesores de aislamiento térmico para tubos, considerando el diámetro y la temperatura.

En la tabla 6 se ilustra la superficie del material aislante, dependiendo del diámetro y la superficie del tubo.

2.4. JUNTAS DE DILATACION

Debido a las características del intercambiador proyectado, de tubos concéntricos (figura 11), los extremos del tubo exterior se encuentran fijos al tubo interior en cada parte de la horquilla.

Los diferentes tipos de materiales que se utilizarán en los tubos para la construcción del intercambiador de calor y las altas temperaturas de proceso en el mismo, hacen prever una diferente expansión térmica entre los tubos concéntricos.

La figura 13, detalla una parte de la horquilla, las temperaturas promedio de proceso del fluido caliente y del fluido frío y los esfuerzos térmicos que se

producirían por la diferencia de dilatación térmica entre el tubo interior y el tubo exterior.

En la tabla 7, se muestra la expansión térmica de los tubos para diferentes materiales y a diferentes temperaturas.

Con los datos tomados de la tabla 7 y figura 13, se determina cuantitativamente la diferencia de expansión térmica para una longitud de los tubos de 5 metros.

	Tipo de material	Longitud del tubo	Expansión térmica
Tubo interior	Acero 18Cr 8 Ni	5m	51.81 mm
Tubo exterior	Acero al carbón	5m	6.46 mm

Comparando los datos obtenidos de expansión térmica, existe una diferencia de longitud total en el tubo interior de 45.35 mm, por lo tanto se hace necesario la implementación de un dispositivo que absorba la diferencia de longitud por dilatación entre los tubos concéntricos de la horquilla, evitándose de esta manera los esfuerzos térmicos que se producirían en cada parte de la horquilla del intercambiador proyectado (figura 11).

Cabe recalcar que el principal problema por el que terminó deteriorándose el intercambiador original de gases SO₂ fue justamente la diferencia de longitud

de los tubos internos con respecto a la carcasa, producida por la dilatación térmica.

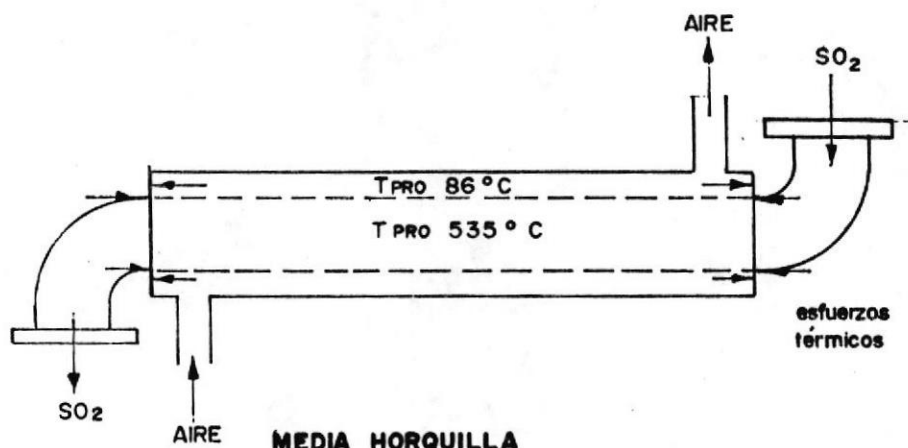
El trabajo propuesto en el presente informe está destinado a la construcción de un intercambiador de calor que cumpla con las condiciones de proceso, y además, aprovecharse de las causas de la falla del intercambiador original, a fin de evitar la repetición de la falla por la misma causa y darle una solución satisfactoria.

Para la solución del problema presentado por esfuerzos térmicos existen muchas alternativas, en el presente trabajo se expone dos de ellas, por disponer en la planta de los elementos a los que se hace referencia a continuación:

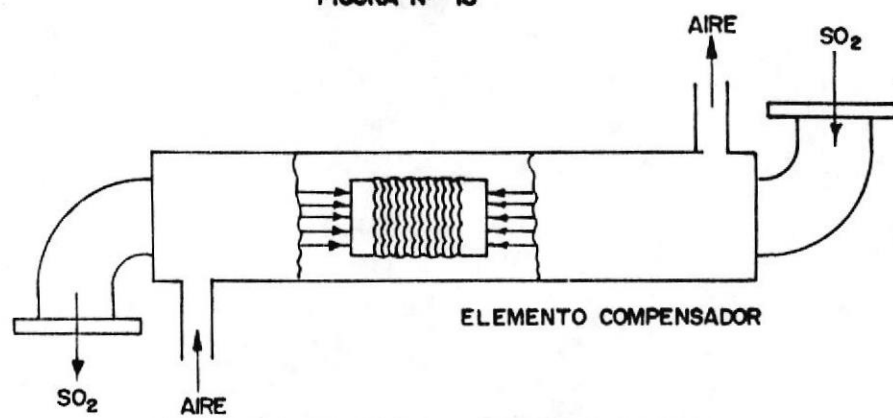
- Junta de compensación para el tubo interior
- Junta de dilatación para el tubo exterior

En el primer caso además de cumplir la función de compensador por dilatación, debe ser resistente a la corrosión, temperatura y presión de trabajo, debido a que por el tubo interior del presente proyecto pasa el fluido caliente (gases de SO_2). La figura 14 muestra como está dispuesto el elemento compensador en una parte de la horquilla, evitando de esta forma los esfuerzos térmicos en la misma.

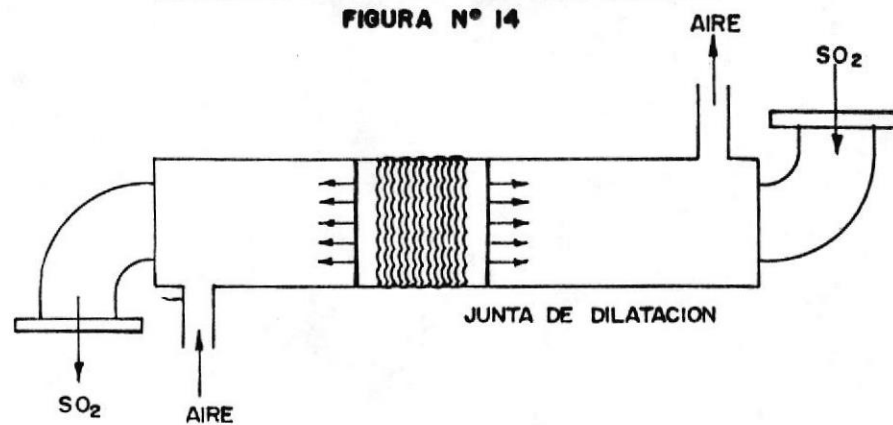
La segunda alternativa plantea una junta de dilatación o expansión, cuyo acoplamiento será en el tubo exterior como se muestra en la figura 15, las



**MEDIA HORQUILLA
FIGURA N° 13**



**ELEMENTO COMPENSADOR EN TUBO INTERIOR
FIGURA N° 14**



**JUNTA DE DILATACION EN TUBO EXTERIOR
FIGURA N° 15**



condiciones adicionales además de su función de expandirse, no son muy exigentes en comparación con la primera alternativa, puesto que el tubo exterior va a estar en contacto con el fluido frío (aire), pero debe tomarse en cuenta, presión y temperatura de proceso.

La posición del elemento compensador en el tubo interior (figura 14) presenta varias desventajas comparado con la junta de dilatación en el tubo exterior:

- a. Imposibilidad de reparación del elemento compensador en caso de falla.
- b. El riesgo de falla en el elemento compensador es mayor considerando que el gas SO_2 es altamente corrosivo.
- c. La temperatura de proceso en el tubo interior es mayor.
- d. La fuga de gas al ambiente en caso de falla por rotura del elemento compensador.

Las desventajas arriba descritas determinaron la utilización de las juntas de expansión en el tubo exterior, figura 15.

Una industria local de fabricación de aceites comestibles posee en sus instalaciones unos elementos flexibles de acero inoxidable, que sin ser específicamente juntas de expansión, dadas las características técnicas generales suministradas por

Saturated Steam Vacuum in Hg Below 212 F. Pressure psi Gauge Above 212 F.	Temper- ature, Degrees Fahren- heit	Carbon and Carbon Molyb- denum Steel		Wrought Iron	4.5% Cr Alloy Steel	12% Cr Stain- less Steel	18 Cr- 8 Ni Stain- less Steel	Copper	Brass	Alum- inum 6061 Alloy	Monel Alloy 400
		Cast Iron	Steel								
	320					-1.770	3.110	-2.975		-3.96	-2.60
	300					-1.670	2.930	-2.805		-3.71	-2.44
	280					-1.570	2.750	-2.635		-3.46	-2.28
	260					-1.470	2.570	-2.465		-3.21	-2.12
	240					-1.370	2.390	-2.295		-2.96	-1.96
	220					-1.270	2.210	-2.125		-2.71	-1.80
	200	-1.058	-1.282	-1.289	1.250	-1.170	2.030	-1.955	2.065	-2.46	-1.64
	180	-0.982	-1.176	-1.183	1.150	-1.070	1.850	-1.782	1.890	-2.22	-1.48
	160	-0.891	-1.066	-1.073	1.030	-0.970	1.670	-1.612	1.705	-1.97	-1.32
	140	-0.797	-0.948	-0.955	0.970	-0.870	1.480	-1.428	1.508	-1.73	-1.15
	120	-0.697	0.826	-0.833	0.800	-0.750	1.300	-1.235	1.308	-1.47	-0.98
	100	-0.593	0.698	-0.705	0.700	-0.630	1.090	-1.040	1.098	-1.22	-0.82
	80	-0.481	0.563	-0.570	0.550	-0.520	0.880	-0.835	0.888	-0.98	-0.66
	60	-0.368	0.428	-0.435	0.430	-0.400	0.670	-0.630	0.673	-0.74	-0.49
	40	-0.248	0.288	-0.295	0.290	-0.270	0.450	-0.421	0.452	-0.49	-0.32
	20	-0.127	0.145	-0.152	0.145	-0.130	0.225	-0.210	0.227	-0.25	-0.17
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	32	0.128	0.148	0.154	0.140	0.140	0.223	0.238	0.233	0.34	0.197
	20	0.209	0.230	0.249	0.234	0.234	0.356	0.366	0.373	0.54	0.315
	40	0.263	0.285	0.313	0.280	0.280	0.446	0.451	0.466	0.68	0.394
	60	0.391	0.448	0.468	0.430	0.430	0.669	0.684	0.690	1.01	0.591
	80	0.522	0.580	0.628	0.600	0.600	0.892	0.896	0.920	1.35	0.790
	100	0.660	0.753	0.787	0.750	0.750	1.115	1.134	1.150	1.69	0.985
	120	0.799	0.910	0.958	0.900	0.900	1.338	1.366	1.390	2.02	1.18
	140	0.924	1.064	1.113	1.050	1.050	1.545	1.590	1.625	2.36	1.38
	160	1.073	1.223	1.275	1.220	1.220	1.784	1.804	1.865	2.68	1.58
	180	1.218	1.383	1.445	1.370	1.370	2.000	2.051	2.080	3.03	1.77
	200	1.368	1.546	1.626	1.520	1.520	2.230	2.296	2.340	3.38	1.97
	212	1.451	1.643	1.721	1.600	1.600	2.361	2.428	2.467	3.59	2.09
	220	1.507	1.707	1.784	1.675	1.675	2.460	2.516	2.580	3.72	2.17
	240	1.653	1.875	1.958	1.825	1.825	2.680	2.756	2.830	4.05	2.36
	260	1.804	2.038	2.127	2.000	2.000	2.920	2.985	3.070	4.39	2.56
	280	1.958	2.205	2.313	2.150	2.150	3.130	3.218	3.315	4.72	2.76
	300	2.106	2.374	2.478	2.320	2.320	3.375	3.461	3.565	5.07	2.95
	320	2.268	2.545	2.648	2.470	2.470	3.615	3.696	3.820	5.41	3.15
	340	2.416	2.717	2.836	2.625	2.625	3.840	3.941	4.065	5.74	3.35
	360	2.573	2.884	3.023	2.820	2.820	4.075	4.176	4.320	6.08	3.55
	380	2.732	3.066	3.198	2.980	2.980	4.346	4.424	4.620	6.42	3.74
	400	2.881	3.230	3.369	3.140	3.130	4.560	4.666	4.825	6.77	3.94
	420	3.055	3.421	3.568	3.300	3.300	4.800	4.914	5.080	7.10	4.14
	440	3.218	3.595	3.748	3.470	3.470	5.045	5.154	5.340	7.44	4.34
	460	3.384	3.784	3.944	3.650	3.650	5.335	5.408	5.600	7.77	4.53
	480	3.556	3.955	4.128	3.800	3.800	5.540	5.651	5.925	8.11	4.73
	500	3.720	4.151	4.325	4.000	4.000	5.800	5.906	6.120	8.44	4.92
	520	3.893	4.342	4.525	4.150	4.150	6.050	6.148	6.380	8.78	5.12
	540	4.063	4.525	4.714	4.350	4.340	6.320	6.410	6.650	9.13	5.32
	560	4.238	4.715	4.905	4.540	4.500	6.572	6.640	6.920	9.46	5.52
	580	4.414	4.906	5.116	4.740	4.640	6.835	6.919	7.170	9.80	5.71
	600	4.598	5.102	5.303	4.920	4.850	7.100	7.184	7.440	10.14	5.91
	620	4.769	5.292	5.508	5.110	5.020	7.370	7.432	7.715	10.49	6.11
	640	4.955	5.482	5.698	5.280	5.180	7.630	7.698	7.980	10.82	6.30
	660	5.133	5.686	5.915	5.470	5.350	7.900	7.949	8.240		6.50
	680	5.315	5.875	6.108	5.670	5.550	8.170	8.196	8.515		6.70
	700	5.502	6.084	6.329	5.850	5.700	8.425	8.472	8.780		6.89
	720	5.681	6.280	6.521	6.050	5.900	8.670	8.708	9.050		7.09
	740	5.879	6.490	6.747	6.220	6.040	8.932	8.999	9.324		7.29
	760	6.073	6.688	6.948	6.430	6.280	9.220	9.256	9.600		7.49
	780	6.262	6.901	7.162	6.600	6.480	9.480	9.532	9.870		7.68
	800	6.460	7.105	7.356	6.800	6.680	9.750	9.788	10.150		7.88
	820	6.652	7.319	7.605	7.000	6.890	10.020	10.068	10.425		8.08
	840	6.843	7.517	7.800	7.200	7.090	10.270	10.308	10.690		8.28
	860	7.049	7.743	8.043	7.400	7.300	10.540	10.610	10.975		8.47
	880	7.248	7.953	8.248	7.580	7.500	10.820	10.971	11.250		8.67
	900	7.452	8.168	8.487	7.770	7.720	11.075	11.155	11.545		8.86
	920	7.658	8.400	8.715	7.970	7.950	11.350	11.421	11.815		9.09
	940	7.862	8.610	8.937	8.170	8.140	11.620	11.707	12.120		9.26
	960	8.073	8.830	9.148	8.360	8.350	11.900	11.976	12.420		9.46
	980	8.279	9.051	9.395	8.560	8.550	12.150	12.269	12.720		9.65
	1000	8.490	9.276	9.624	8.760	8.750	12.432	12.543	13.080		9.85

TABLE 7. EXPANSION TERMICA DE DUCTOS

DIAM. INT. NOMINAL MANGUERA (Pulg)	TIPO MANGUERA	DIAMETRO EXTERIOR MANGUERA (Pulg)	PESO POR PIE (Lbs)	DIAMETRO MINIMO		MAX. PRESION TRABAJO (Psig) a 70°F	MAX. PRESION PRUEBA (Psig) a 70°F
				ESTATICO CODO	FLEXIBLE CODO		
1	400U	1.42	0.487	3	65	100	
	401U	1.48	0.668	3	715	1070	2860
2	400U	2.67	1.22	5	30	45	
	401U	2.75	1.27	5	475	710	1900
3	400U	4.07	1.89	12.5	15	22	
	401U	4.19	2.75	12.5	375	560	1500
4	400U	5.14	2.95	12.5	15	23	
	401U	5.26	3.88	12.5	260	390	1040
5	400U	6.44	5.32	7	23	35	
	401U	6.6	7.03	7	320	480	1285
6	400U	7.31	8.1	8	20	30	
	401U	7.47	9.94	8	225	335	900
8	400U	9.31	10.53	10.5	16	23	
	401U	9.56	14.15	10.5	260	390	1050
10	400U	11.31	12.97	12.5	12	19	
	401U	11.56	17.37	12.5	180	270	725
12	400U	13.94	18.04	17	10.5	16	
	401U	14.19	23.65	17	195	290	780
14	400U	15.63	24.95	19	9.5	14	
	401U	15.88	30.91	19	160	240	640
16	400U	17.63	28.34	21	9	13	
	401U	17.88	34.79	21	115	170	460
18	400U	19.56	31.63	24	7	11	
	401U	19.81	37.24	24	105	155	420
20	400U	21.56	35.02	29	7	10	
	401U	21.81	40.9	29	90	135	360
24	400U	25.56	41.8	31	6	9	
	401U	25.81	48.42	31	50	75	200

TABLA 8.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS ELEMENTOS FLEXIBLES



BIBLIOTECA

el fabricante detalladas en la tabla 8, se decidió utilizarlas como tales.

Las características particulares de los elementos flexibles disponibles son:

Diámetro nominal	10" (254mm)
Longitud total	14" (356mm)
Longitud del fuelle	10" (254mm)
Presión máxima de trabajo ..	715 PSIG(48.64 Kg/cm ²)
Temperatura de servicio	1500°F (815°C)
Tipo de material	Acero 316L

2.5. SELECCION DE INSTRUMENTACION

Para el control de parámetros necesarios de proceso, se determina cuales son dichos parámetros y que grado de importancia posee cada uno de ellos.

En el presente caso se hace referencia exclusivamente al intercambiador de calor, cuyos datos a tomarse en cuenta por orden de importancia son:

- Temperatura. A la entrada y salida del intercambiador.
- Presión. A la entrada y salida del intercambiador.

Control de temperatura

El control de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidos en cada tipo de

aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios.

En la figura 16, pueden verse los instrumentos de temperatura con sus intervalos de medida.

Dada la importancia en el proceso, de un buen control de temperatura se debe tomar en cuenta las siguientes necesidades:

- La respuesta al indicador debe ser rápida.
- La distancia entre el elemento sensor y el instrumento medidor es 20 mm.
- El campo de temperatura es de 0°C hasta 700°C.
- El sensor debe estar expuesto a los gases SO₂.
- Debe ser preciso.

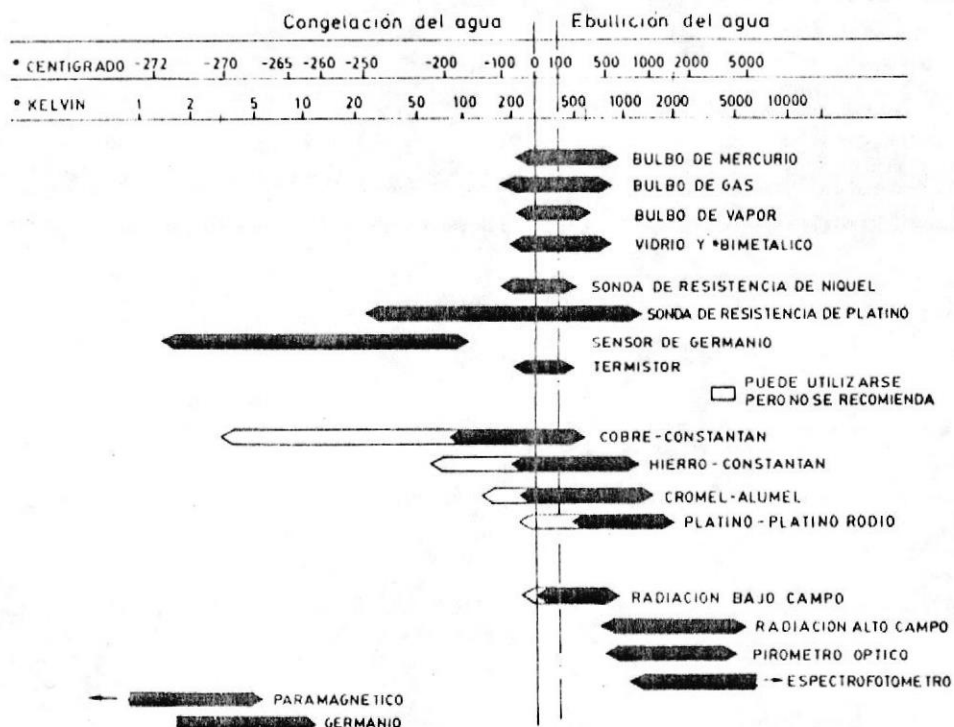


Fig. 16 Campo de medida de los instrumentos de temperatura.

Del gráfico anterior y de las condiciones necesarias para un buen control de temperatura, se reduce a dos tipos de instrumentos:

- Termocuplas, y
- Termoresistencias

La termocupla si bien cubre un campo grande del control de la temperatura, la respuesta en el medidor es lenta, la condición deseada del proceso es de una respuesta rápida.

Las características generales de una termoresistencia son:

- Señal de alto rendimiento
- Alta precisión
- Campo de aplicación -220°C a 850°C
- El protector de la bobina (sensor) es fabricado de diferentes materiales, incluido acero 316.

En las figuras 17 y 18 se muestra el campo de aplicación de las termoresistencias y la curva de resistencia Vs Temperatura, respectivamente.



BIBLIOTECA

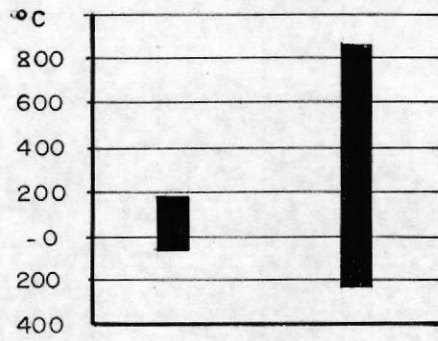


FIG. 17.- CAMPO DE APLICACION DE LAS TERMORESISTENCIAS

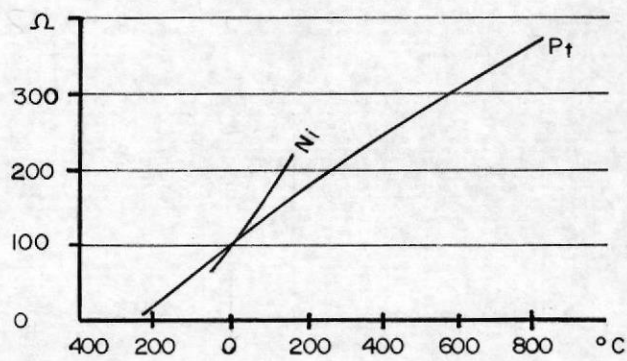


FIG. 18.- CARACTERISTICA RESISTENCIA Vs TEMPERATURA

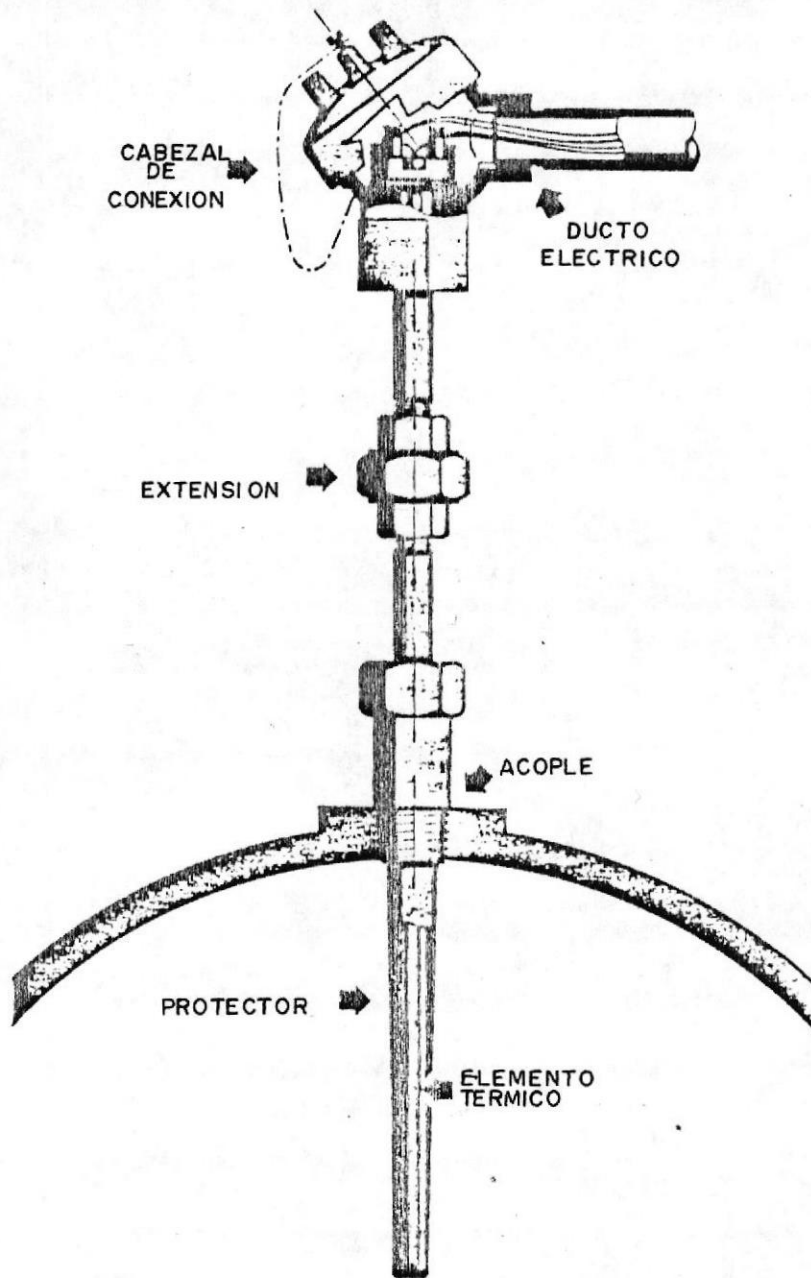


FIGURA 19 CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS TERMORESISTENCIAS

Las condiciones establecidas de proceso para el control de temperatura, determina que el instrumento a utilizarse es la termoresistencia, cuyas características físicas y partes se detallan en la figura 19.

Control de presión

Los instrumentos de presión se clasifican en tres grupos, mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos.

En la tabla 9, se indican las clases de presión que los instrumentos miden.

El control de presión para el caso del intercambiador de calor no condiciona de acuerdo al proceso sino solamente al rango de presión:

- Rango de presión de 0 mm Hg hasta 200 mm Hg.

Por lo tanto se selecciona de la figura 20, el elemento mecánico.

El elemento seleccionado es el tubo en U que construido con escalas y actuando como líquido comparador el mercurio, se muestra en la figura 21.



CAMPO DE MEDIDA	PRECISION EN % DE TODA LA ESCALA	TEMPERATURA MAXIMA DE SERVICIO	PRECISION ESTATICA MAXIMA
BAROMETRO CUBETA	0.5-1%	AMBIENTE	6 Kg/cm ²
TUBO EN U	0.5-1%		10 Kg/cm ²
TUBO INCLINADO			100-600 Kg/cm ²
TORO PENDULAR			
MANOMETRO CAMPANA			Atmosferica
TUBO BOURDON		90°C	6000 Kg/cm ²
ESPIRAL			2500 Kg/cm ²
HELICOIDAL			5000 Kg/cm ²
DIAPHRAGMA			2 Kg/cm ²
FUELLE			
PRESTON ABSOLUTA	1%	AMBIENTE	Atmosferica
SELLO VOLUMETRICO	0.5-1%	400°C	600 Kg/cm ²

TABLA 9.- ELEMENTOS MECANICOS

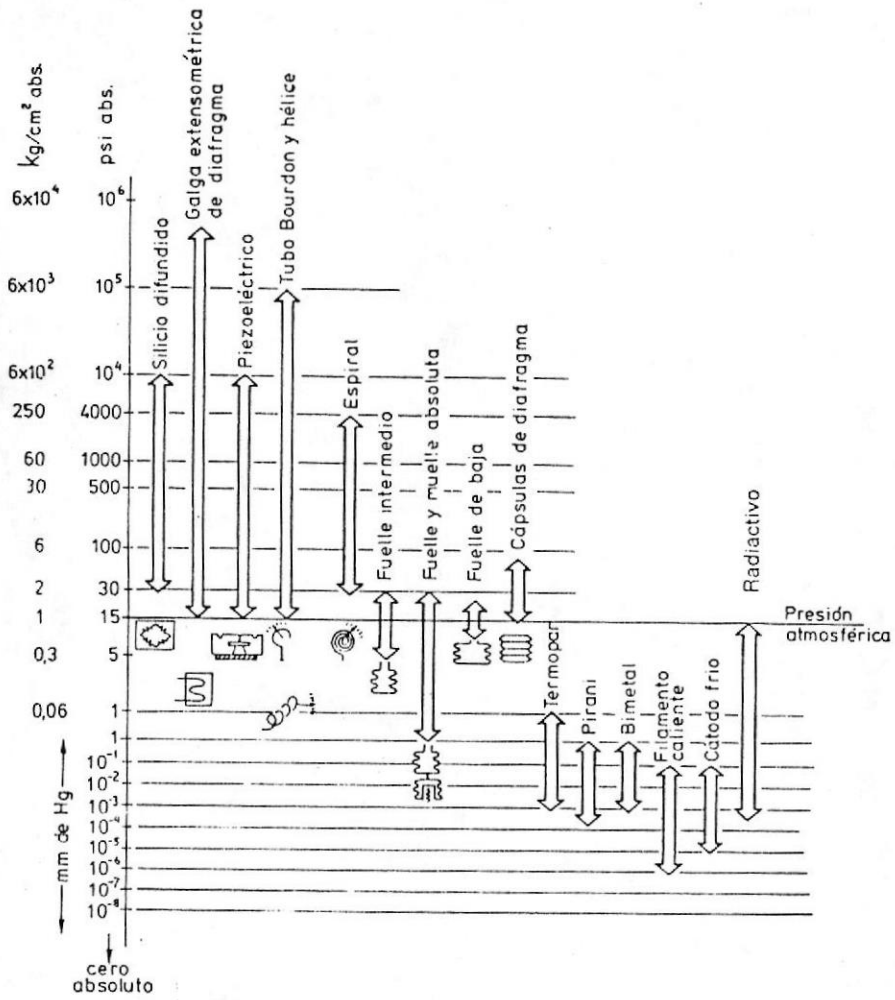
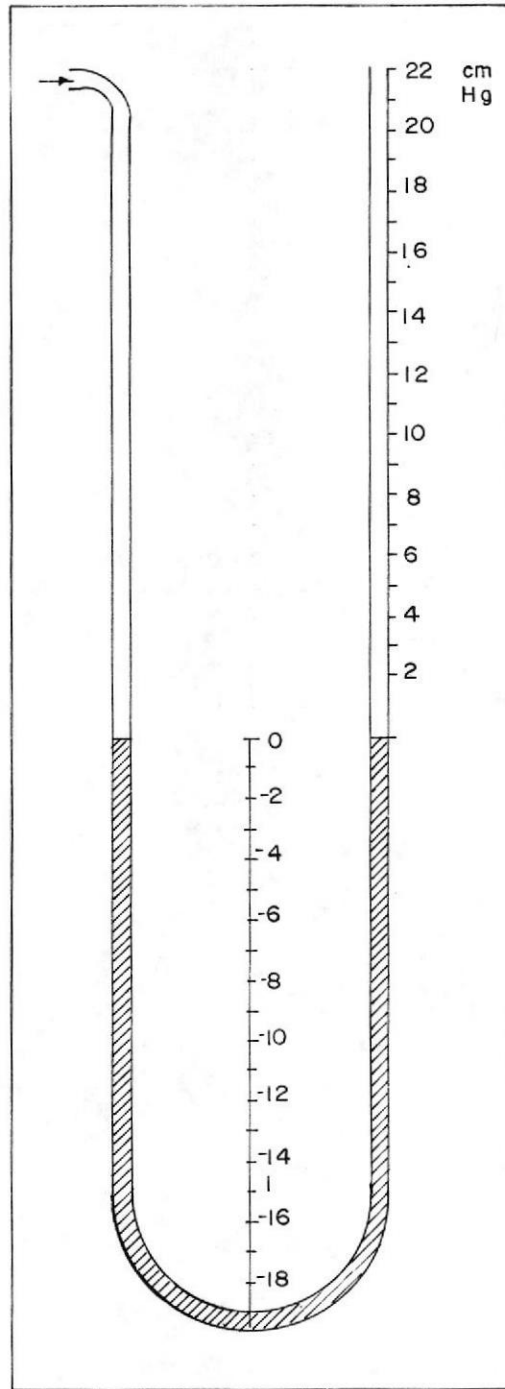


Fig. 20 Instrumentos de presión y campo de aplicación.



BIBLIOTECA

MANOMETRO FIG. N.º 21



BIBLIOTECA

2.6. SELECCION DEL MATERIAL Y CONSTRUCCION

El diseño mecánico obliga a considerar las temperaturas y presiones de operación, las características de operación, las características de corrosión de ambos fluidos, las expansiones térmicas relativas y los esfuerzos térmicos que lo acompañan y la relación del intercambiador con otro equipo que intervenga.

Selección del material

Para la selección del material en el presente caso, se hará referencia a las características de corrosión, presión y temperatura de proceso. En cuanto a las demás características ya se explicó en puntos anteriores. En la tabla 10 se encuentran datos críticos del proceso en el intercambiador de calor.

	Tubo interior	Tubo exterior
Fluido	SO ₂	aire
Tmax	700°C	700°C
Tmin	18°C	18°C
Pmax	200mmHg (0.27Kg/cm ²)	6" H ₂ O (0.015Kg/cm ²)

TABLA 10.- DATOS CRITICOS DEL PROCESO

Los gases SO₂ (anhidrido sulfuroso) que pasan por el tubo interior son altamente corrosivos, por lo tanto la selección de este tubo determinará la durabilidad

del equipo a construirse, es de mencionarse que una de las causas que motivaron el deterioro rápido del intercambiador original fue la corrosión.

El material disponible para ser utilizado como tubo interior, es acero AISI 316 CD20.

Por el tubo exterior del presente proyecto fluirá aire del ambiente, por lo tanto la exigencia en cuanto a la resistencia a la corrosión de éste material no requiere de mayor atención, debido a la gran cantidad de aceros que se pueden utilizar para dicho propósito.

En la tabla 11, se muestran algunos materiales que se pueden utilizar para diferentes fluidos y que son recomendados para un mejor aprovechamiento de resistencia a la corrosión. En el cual están incluidos los gases de SO_2 y aire.

Para la construcción del tubo exterior se cuenta con planchas de acero A37 cuyo espesor es 6 mm, el cual se tomó como referencia de la carcasa del intercambiador original.

La composición química, las características mecánicas de los materiales antes mencionados y la soldadura se muestran en la tabla 12.

Construcción

La longitud original del intercambiador obtenida de los cálculos del mismo y el espacio físico disponible para su instalación, se determina la

R. Indica che il metallo è resistente al prodotto chimico espresso fino alla temperatura mostrata. Lo spazio bianco indica la non idoneità del metallo.	ALLUMINIO	ALLUMINIO BRONZO	OTTONE	LEGA ACCIAIO INOX 20	MONEL (FUSO)	GHISA	RAME	BRONZO DURO E BRONZO	ACCIAIO AL CARBONIO FUSO	ACCIAIO INOX 18/8	ACCIAIO INOX 18/8/2 MOLIBDENO	TITANIO
	ALUMINIUM	ALUMINIUM BRONZE	BRASS	STAINLESS ALLOY 20	MONEL (CAST)	CAST IRON	COPPER	GUN METAL AND BRONZE	CAST CARBON STEEL	18/8 STAINLESS STEEL	18/8/2 MOLYBDENUM STAINLESS STEEL	TITANIUM
Centigrade	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°
Acetaldehyde	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	No data	R R R	R R R	No data	R R R	R R R	R R R
Acetic acid (10%)	R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R	R R R
Acetic acid (glac. & anh.)	R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R		R R	R R R	R R R
Acetic anhydride	R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R		R	R R R	R R R
Acetone	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R		R R R	R R R	R R	R R R	R R R	R R R
Acetylene	R R R		R R R	R R R	R R R				R R R	R R R	R R R	R R R
Acid fumes	R R R	R R R		R R R	R R R				R	R R R	R R R	R R R
Alcohols (most fatty)	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R		R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R
Alkyl chlorides	No data	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R	No data
Alum	R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R		R R	R R	R R R
Aluminium chloride		R R R					R R R	R R R	No data			R R R
Ammonia, anhydrous	R R R	R R R	R R R	R R R	R R		R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R
Ammonia aqueous	R R R			R R R					R R	R R R	R R R	R R R
Ammonium chloride	R R R			R R R	R R R		R			R R R	R R R	R R R
Amyl acetate	R R R	R R R		R R R	R R R	No data	R R R	R R R	No data	R R R	R R R	R R R
Aniline	R R R			R R R	No data	R R R			No data	No data	No data	R R R
Aqua regia												R R R
Aromatic solvents	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R	R R R	R R R	R R R
Beer	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R		R R R	R R R	No data
Benzoic acid	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R	R R R
Boric acid	R R	R R R	R R R	R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R	R R R
Brines saturated	R R R	R R R		R R R	R R R		R R					R R R
Bromine												No data
Calcium chloride	R R R	R R R		R R R	R R R	R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R
Carbonic acid	R R R			R R R	R R R		R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R
Carbon tetrachloride	R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R	R R R	R R R	R R R
Cautic soda & potash		R R R		R R R	R R R		R R R	R R R	R R	R R R	R R R	R R R
Chlorates of Na K Ba	R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R	R R R
Chlorine dry	R R R	R R R	R R R	R R R			R R R	R R R		R R R		
Chlorine wet				R R R	R R R							R R R
Chlorides of Na, K, Mg	R R R	R R R		R R R	R R R	R R R		R R R				R R R
Chloroacetic acids		No data		No data			No data	No data				R R R
Chlorobenzene	R ND ND	No data	No data	R R R	R ND ND	R R R	No data	No data	R R	R R ND	R R R	No data
Chloroform	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R	R R R
Chlorosulphonic acid		No data	No data	R ND ND	R ND ND				No data	No data	No data	R ND ND
Chromic acid (80%)				R R					R R ND			R R R
Citric acid	R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R	R R R
Copper salts (most)		R R R		R R R						R R R	R R R	R R R
Cresylic acids (50%)	R R R	R R R		R R R	R ND ND		R R R	R R R	No data	R R R	R R R	R ND ND
Cyclohexane	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	No data	R R R	R R R	R R R
Detergents synthetic	R R R	No data	R R R	R R R	R R R	No data	R R R	No data	No data	R R R	R R R	R R R
Ether	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R
Fatty acids (>C ₆)	R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R	R R R
Ferric chloride												R R R
Ferrous sulphate				R R R	R ND ND					R R R	R R R	R R R
Fluorinated refrigerants aerosol e.g. Freon	R ND ND	R R R	R R R	No data	No data	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	No data
Fluorine dry	R R R			R R R	R R R		R R R			No data	No data	No data
Fluorine wet				No data		No data						No data
Fluosilicic acid		No data		R R R	R R ND	No data						No data
Formaldehyde (40%)	R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R	R	R R R	R R R	R R R
Formic acid		R R R	No data	R R R	R R R		R R R	R R R			R R R	R R R
Fruit juices	R R R	R R R		R R R	No data		R R R		No data		R R R	R ND ND
Gelatine	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R	R R R
Glycerine	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R	R R R	R R R	R R R
Glycols	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R		R R R	R R R	R R R
Hexamine	No data			R R R	R R R	No data			No data	R R R	R R R	No data
Hydrazine	R ND ND			R R R	No data	No data			R R R	R R R	R	No data
Hydrobromic acid (50%)												R R R
Hydrochloric acid (10%)		R										R R R
Hydrochloric acid (conc.)												R R R
Hydrocyanic acid	R R R			R R R	R R R	R R R			R R ND	R R	R R	No data
Hydrofluoric acid (40%)				R	R R R							
Hydrofluoric acid (75%)					R R R							
Hydrogen peroxide (30%)	R R R			R R R	R R					R R R	R R R	R R R
(30-90%)	R R R			No data	No data					R R R	R	R R R

TABLA II. RESISTENCIA A LA CORROSION DE ALGUNOS METALES

R. Indica che il metallo è resistente al prodotto chimico espresso fino alla temperatura mostrata. Lo spazio bianco indica la non idoneità del metallo.	ALLUMINIO	ALLUMINIO BRONZO	OTTONE	LEGA ACCIAIO INOX 20	MONEL (FUSO)	GHISA	RAME	BRONZO DURO E BRONZO	ACCIAIO AL CARBONIO FUSO	ACCIAIO INOX 18/8	ACCIAIO INOX 18/8/2 MOLIBDENO	TITANIO
	ALUMINIUM	ALUMINIUM BRONZE	BRASS	STAINLESS ALLOY 20	MONEL (CAST)	CAST IRON	COPPER	GUN METAL AND BRONZE	CAST CARBON STEEL	18/8 STAINLESS STEEL	18/8/2 MOLYBDENUM STAINLESS STEEL	TITANIUM
Centigrade	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°	20° 60° 100°
Hydrogen sulphide	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R	R R R	R R R	R R R	R R R	No data	R R R
Hypochlorites										R	R	R R R
Lactic acid (100%)	R R R			R R R	R R R					R R R	R R R	R R R
Lead acetate	R R R			R R R	R R R	No data			No data	R R R	R R R	No data
Lime (CaO)	R	R R R	R R R	R R R	R NO NO	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	No data
Maleic acid	R R R	No data	No data	R R R	No data		R R R	No data	No data	R R R	R R R	R R R
Meat juices	R R R			R R R	R R R	No data			No data	R R	R R	No data
Mercuric chloride				R R R	R R R							R R R
Milk & its products	R R R			R R R	R R R	No data				R R R	R R R	No data
Wrist air	R R R			R R R	R R R			R R R		R R R	R R R	R R R
Molasses	R R R			R R R	R R R	R R R			R R	R R R	R R R	No data
Naphtha	R R R	R R R	R R R	R NO NO	R NO NO	R R R	R R R	R R R	R	R R R	R R R	No data
Naphthlene	R R R	No data	No data	R NO NO	R NO NO	R R R	R R R	R R R	No data	R R R	R R R	R NO
Nickel salts				R R R	R R R	No data				R R R	R R R	R R R
Nitrates of Na, K, NH ₃	R R R			R R R	R R R	R R R				R R R	R R R	R R R
Nitric acid (<25%)				R R R						R R R	R R R	R R R
Nitric acid (50%)				R R R						R R	R R	R R R
Nitric acid (95%)	R R R			R R R						R		R R R
Nitric acid, fuming	R NO NO			R R						R R		R R R
Oils essential	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R
Oils mineral	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R NO
Oils vegetable & animal	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R	R R R	R R R	R NO
Oxalic acid	R R R	R R R	No data	R R R	R R R		R R R	R R R		R	R R	R R
Ozone	R R R	No data	No data	R R R	R R R	R NO NO	No data	No data	R R R	R R R	R R R	R R R
Paraffin wax	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R
Phenol	R R R	No data	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R	R R R	R R R	R NO
Phosphoric acid (25%)	R			R R R	R R R					R R R	R R R	R NO
Phosphoric acid (50%)				R R R	R					R R	R R R	R NO
Phosphoric acid (95%)				R						R R	R R	R NO
Phosphorus chlorides				No data	R R R	R			R R R			R NO
Phosphorus pentoxide	R NO NO			R NO NO	R NO NO				R R R	R R R	R R R	No data
Phthalic acid	R R R	R R R	No data	R R R	R NO NO		R R R	R R R	No data	No data	No data	No data
Pyridine	R R R			R R R	R R R		R R R			R R	R R	R NO
Sea water	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R
Silicic acid	R R R		No data	No data	No data	No data	R R R	No data	No data	R R R	R R R	No data
Silicone Fluids	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	No data	R R R	R R R	No data	R R R	R R R	R R R
Silver nitrate				R R R		R R R				R R R	R R R	R NO
Sodium carbonate	R R		R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R
Sodium silicate	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R NO	R R R	R R R	R NO
Sodium sulphide				R R R	R R R				R R NO	R R	R R	R R R
Stannic chloride				No data								R R R
Starch	R R R	No data	No data	R R R	R R R	R R R	R R R	No data	No data	R R R	R R R	R NO
Sugar, syrups, jams	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R NO	R R R	R R R				No data
Sulphamic acid	No data			R R R	No data				No data	R R	R R R	No data
Sulphates (Na, K, Mg, Ca)	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R
Sulphites	R R R	R R R		R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R	R R R	R R R	R NO NO
Sulphonic acids	No data	No data	No data	R R R	No data	No data			No data	No data	No data	No data
Sulphur	R R R			R R R	R R R	R R R			R R R	R R R	R R R	R R R
Sulphur, dioxide, dry	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R NO
Sulphur, dioxide, wet	R R R	R R R	R R R	R R R								R R R
Sulphur trioxide				R R R	R R R		R R R	R R R	R			R R R
Sulphuric acid (<50%)		R R R		R R R	R R R		R R R					R R R
Sulphuric acid (70%)		R		R R R	R							R R
Sulphuric acid (95%)				R R R	R R R	R R R			R	R	R	
Sulphuric acid, fuming	R			R R R		R R R			R R	R R	R R	
Sulphur chlorides	R			No data	No data							No data
Tallow	R R R	No data	No data	No data	No data	R R R	R R R	No data	No data	R R R	R R R	R R R
Tannic acid (10%)	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R	R R R
Tartaric acid	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R		R R R	R R R		R R R	R R R	R R R
Trichlorethylene	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R	R R R	R R R	R R R
Vinegar	R R R			R R R	R R R					R R R	R R R	R R R
Water, distilled	R R R			R R R	R R R	R R R			R R R	R R R	R R R	R R R
Water soft	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R
Water hard	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R
Yeast	R R R	No data	No data	R R R	R R R	R R R	R R R	R R R	No data	R R R	R R R	No data
Zinc chloride				R R R	R R R							R R R

CONT. TABLA II RESISTENCIA A LA CORROSION DE ALGUNOS METALES





BIBLIOTECA

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL EN ACERO AL CARBONO

MAT	COMPOSICION PORCENTUAL						CARACTERISTICAS MECANICAS			TIPO DE ELECTRODO
	Cmax	Mnmax	Si _{max}	Pmax	S _{max}	Nmax	R Kg/mm ²	S Kg/mm ²	A min %	
Aq 42	0.2	0.5	0.35	0.04	0.04	-	42 + 52	23	24	B-Ac
Aq 42	0.17	0.4	0.35	0.035	0.035	-	35 + 45	24	28	B-Ac
A37	0.2	-	-	0.05	0.05	0.009	37 + 45	22	26	B-Ac
A37	0.2	-	-	0.06	0.06	0.009	37 + 45	22	25	B-Ac

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL EN ACERO INOXIDABLE

MAT	COMPOSICION PORCENTUAL									CARACTERISTICAS MECANICAS			TIPO DE ELECTRODO
	Cmax	Cr	Ni	Mo	Si _{max}	Mnmax	Pmax	S _{max}	Al	R Kg/mm ²	S Kg/mm ²	A min %	
AISI 304	0.08	18+20	8+12	-	1.0	2.0	0.045	0.03	-	59+70	21+24	50+60	B-304
AISI 316	0.08	16+18	10+14	2+3	1.0	2.0	0.045	0.03	-	56+64	21+28	50+60	B-316
Piron 9 AL	0.12	13	-	-	1.2	1.0	-	-	0.9	50+65	30	15	B-9AL-F

CARACTERISTICAS DEL ELECTRODO DADO POR EL FABRICANTE

TIPO DE ELECTRODO	COMPOSICION PORCENTUAL								TIPO DE REVEST.	TIPO DE CORRIENTE
	Cmax	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	Pmax	S _{max}		
B-Ac	0.1	-	-	-	0.35	0.2	0.015	0.015	BAS-ACI	c.c+
B-304	0.06	19	9.5	-	1.5	1	-	-	BAS-ACI	c.c+
B-316	0.06	19	11	2.3	1.5	1	-	-	BAS-AL	c.c+
B-9AL-F	0.12	22	11	-	2	2	-	-	TILO BASICO	c.c+

TABLA 12.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION

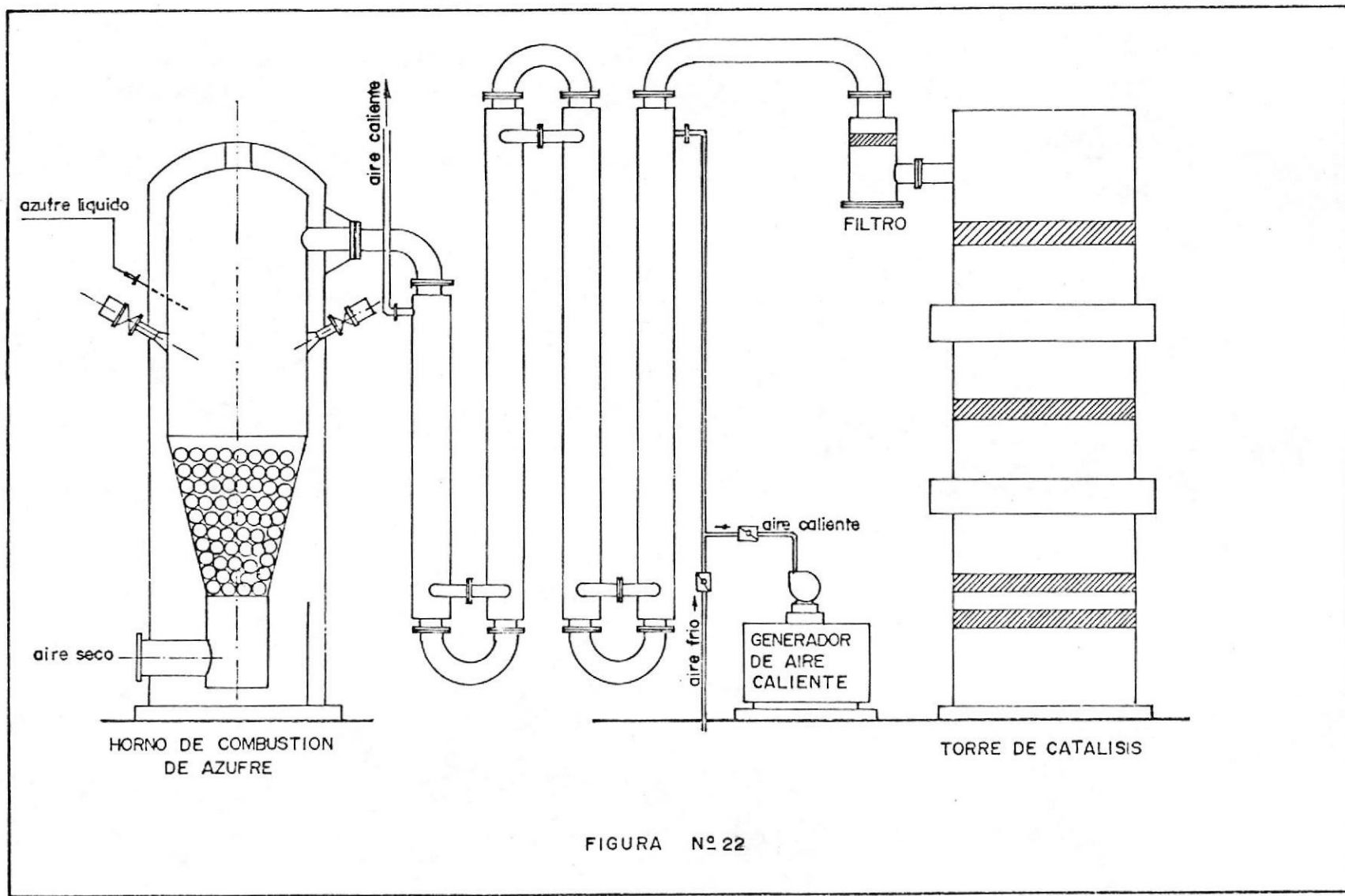


FIGURA N° 22

forma, posición y demás medidas de dicho intercambiador, la figura 22 muestra al intercambiador proyectado y su relación con los equipos adyacentes.

La construcción de cualquier sistema o equipo amerita un plano constructivo, el cual se encuentra detallado en la figura 23a y b, cuyas partes principales son:

- 4 juegos de tubos concéntricos
- 3 acoples en U bridados al tubo interior en forma alternada, cuya función es unir en serie las partes de las horquillas.
- 1 acople que une la parte pequeña de la horquilla al horno de combustión de azufre.
- 1 acople que conecta el final del intercambiador con el filtro de gases de SO_2 .
- 3 conectores en los extremos de las horquillas que unen el tubo exterior en forma alternada.
- 2 acoples al comienzo y final del intercambiador, para salida y entrada del aire respectivamente.
- 4 juntas de dilatación colocadas una en cada parte de la horquilla.

En la tabla 13 se detallan los materiales a utilizarse en la construcción del intercambiador.

De la forma como está proyectado el intercambiador de calor, la secuencia de construcción es la siguiente:

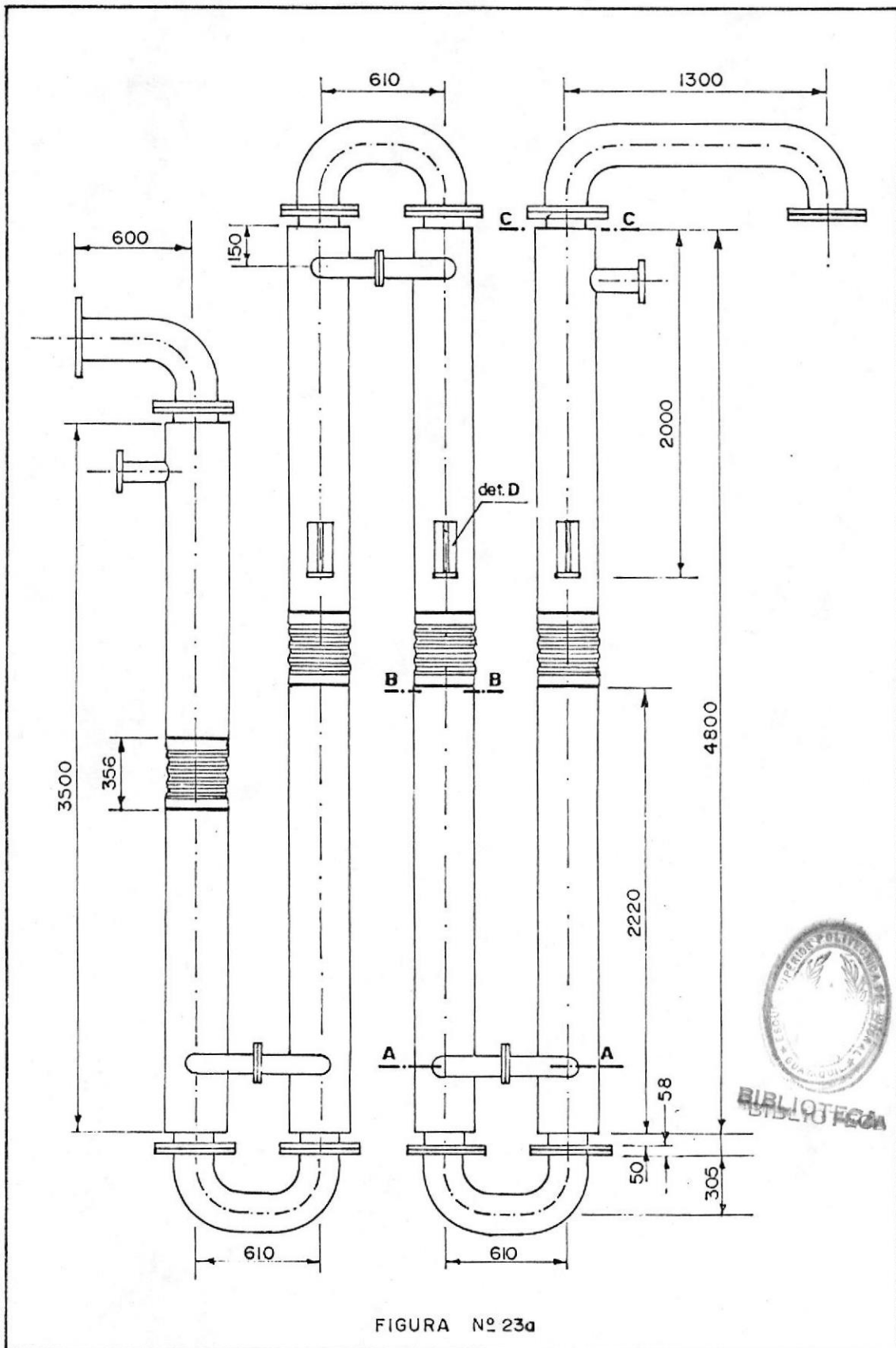
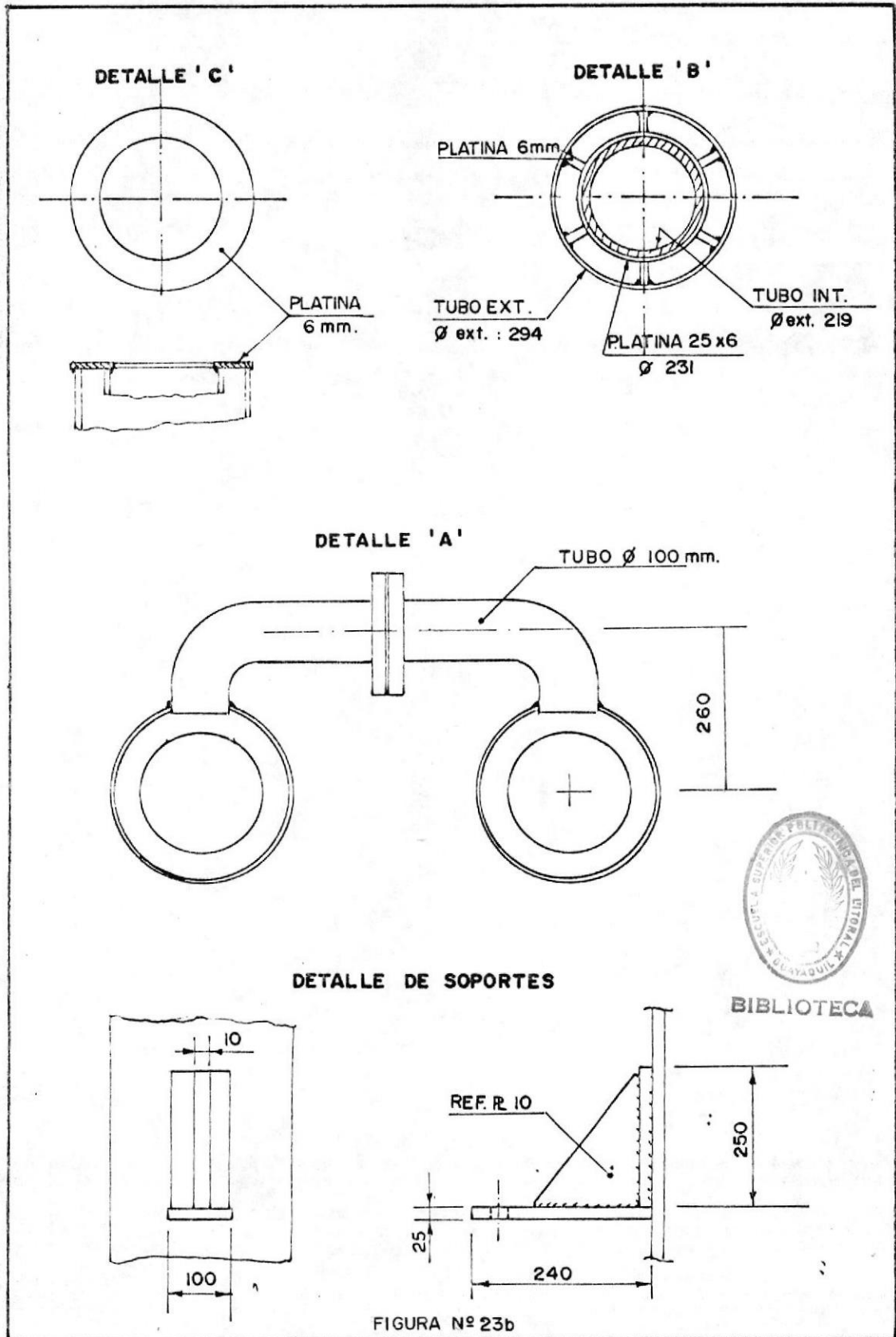


FIGURA Nº 23a





BIBLIOTECA

DESCRIPCION	TIPO MATERIAL	CANTIDAD	PESO (Kg)
Tubo Ø 20 cm	ACERO 316	19.6 m	22 c/m
Plancha 6 mm espesor	ACERO A37	16 m ²	48 c/m ²
Bridas Ø 20 cm	ACERO 316	18 unid.	2.8 c/u
Codos 90° Ø 20 cm	ACERO 316	3 unid.	5.0 c/u
U Ø 20 cm	ACERO 316	3 unid.	10.0 c/u
Juntas de dilatacion Ø 25 cm	ACERO 316L	4 unid.	7.0 c/u
Codos 90° Ø 10 cm	ACERO A37	8 unid.	3.5 c/u
Tubo Ø 10 cm	ACERO A37	6m	12.1 c/m
Bridas Ø 10 cm	ACERO A37	10 unid.	1.4 c/u
Platina 6x40 mm	ACERO A37	7.4 m	2.2 c/m
Pernos con tuerca 15x75 mm	ACERO	104 unid.	0.25 c/u
Soldadura	ACERO 316		15
Soldadura	ACERO A37		15

PESO TOTAL APROXIMADO DEL INTERCAMBIADOR = 1510 Kg

TABLA 13.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS MATERIALES

- Rolar las planchas de acero A37 para la construcción del tubo exterior, cuyo diámetro exterior es 294 mm, obtenido de las características del elemento flexible (junta de dilatación) tabla 8.
 - Preparar el tubo exterior para cada parte de las horquillas según dimensiones del plano constructivo.
 - En cada una de las partes del tubo exterior y que se unirá a la junta de dilatación, acoplar el anillo guía detalle B del plano constructivo, cuya función es evitar que se una el tubo interior al tubo exterior.
 - Acoplar la junta de dilatación al tubo exterior con puntos de soldadura. Previamente el tubo interior está colocado en su posición.
 - Acoplar el tubo exterior al tubo interior detalle C del plano con puntos de soldadura.
 - Acoplar bridas a los extremos del tubo interior y al conector en U debidamente empernadas.
 - Adaptar conectores al tubo exterior detalle A.
 - Proceder a soldar en su totalidad el intercambiador.
 - Acoplar los soportes al intercambiador detalle D.
- Es necesario mencionar brevemente la ubicación, preparación de las bases y la estructura donde se soportará el nuevo intercambiador de calor.

Las características físicas diferentes del

intercambiador proyectado comparado con el intercambiador original, hacen indispensable la preparación de una nueva base y la construcción de una estructura que se adapte a las condiciones del intercambiador de tubos concéntricos.

La figura 24, muestra la implantación de las bases para el nuevo intercambiador y su relación con las bases de los equipos adyacentes.

La figura 25, muestra en detalle la base y la estructura. Es importante anotar que el equipo del presente trabajo y los equipos interconectados al mismo, carecen de vibración en el proceso por lo tanto en las consideraciones para la preparación de las bases y la construcción de su estructura solamente se ha tomado en cuenta el peso del intercambiador. A continuación se encuentra un listado de materiales para la base y la estructura que hace referencia la figura 21.

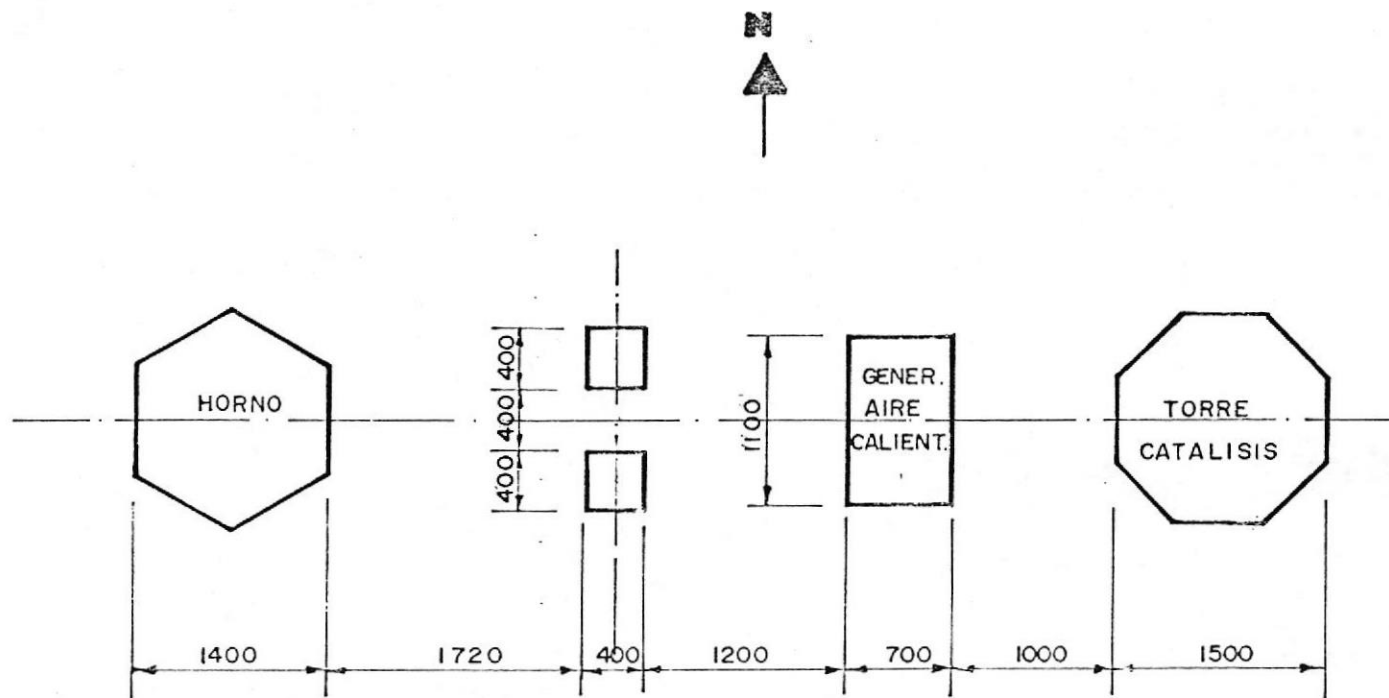
VIGA I PB160	10.30 m
PLANCHAS 12 mm	25X25 cm ²
PLANCHAS 12 mm	20X20 cm ²
VARILLA Ø 12 mm CORRUGADA	20.00 m
CEMENTO	
ARENA	
PIEDRA	

Montaje del intercambiador de tubos concéntricos

La forma como está construido el intercambiador,



BIBLIOTECA



IMPLANTACION DE BASES

FIGURA Nº 24

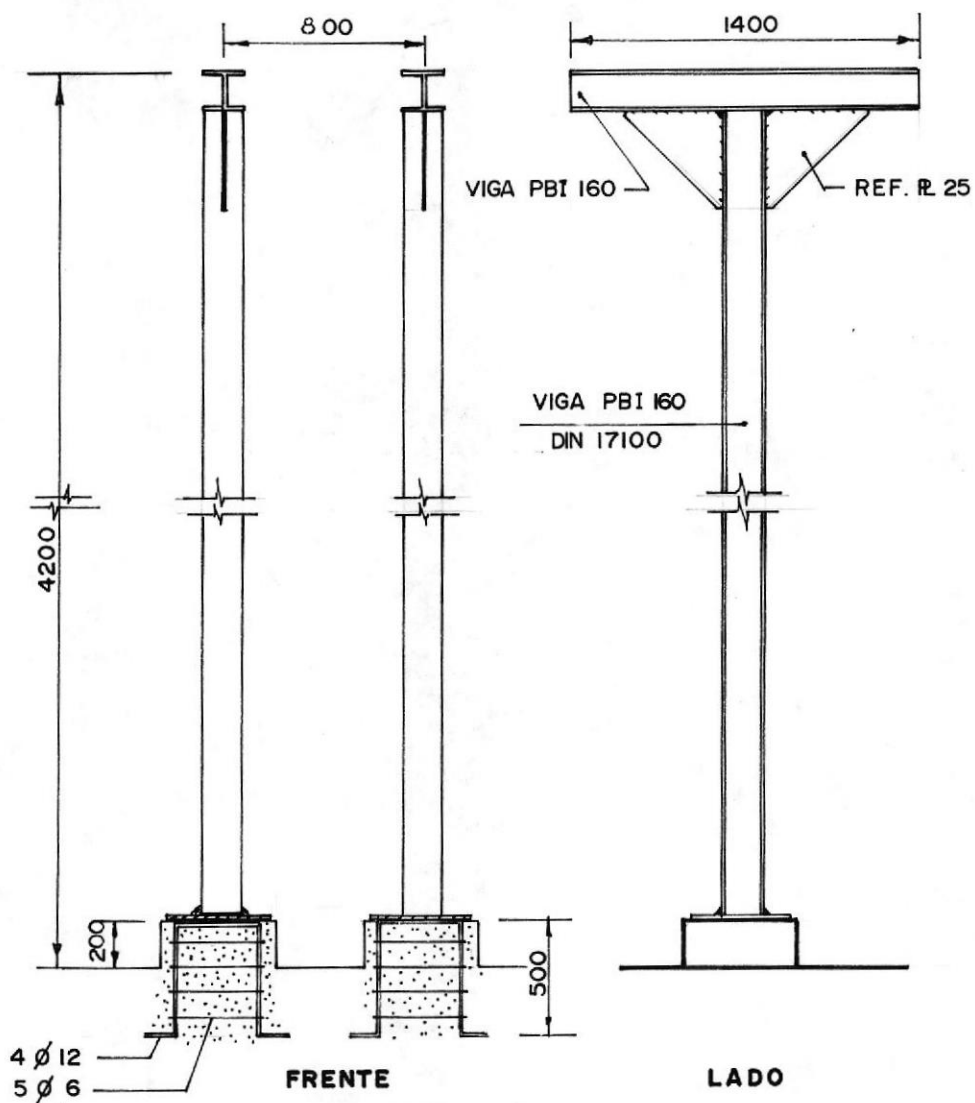


FIGURA Nº 25

presta las facilidades para el montaje sin necesidad de utilizar maquinaria pesada, procediendo a su ensamblaje de manera parcial como sigue:

- La segunda parte de la horquilla de derecha a izquierda está proyectada para ubicarse en el centro de la estructura, es por lo tanto la primera en acoplarse.
- Seguidamente las partes adyacentes al tramo anterior, que además de sujetarse sus soportes a la estructura debe acoplarse sus respectivos conectores en U.
- Luego la última parte de la horquilla que se ubica del lado izquierdo del sistema con su respectivo conector al horno de combustión de azufre.
- Se procede al acoplamiento del conector entre el final del intercambiador y el filtro de gases de SO_2 .
- Las condiciones están dadas para el ensamblaje de los tubos entrada y salida de aire.
- Instalación de instrumentación. Básicamente la instrumentación consta de dos sensores de temperatura y dos acoples para control de presión, que se ubican a la entrada y salida del intercambiador.

La figura 22 muestra el intercambiador instalado su acoplamiento a los equipos adyacentes, instrumentación y estructura.



Aislamiento térmico

El trabajo de aislamiento térmico necesariamente debe realizarse con el equipo totalmente ensamblado, puesto que, el material aislante no resiste a los esfuerzos y choques, que generalmente ocurren en cualquier montaje.

La figura 26 detalla la forma de acoplado del aislamiento térmico, cuyo espesor se seleccionó de:

Tabla # 3
Diámetro de la tubería Ø 10 "
Temperatura de proceso 700°C

Obteniéndose un espesor de aislamiento de 140 mm.

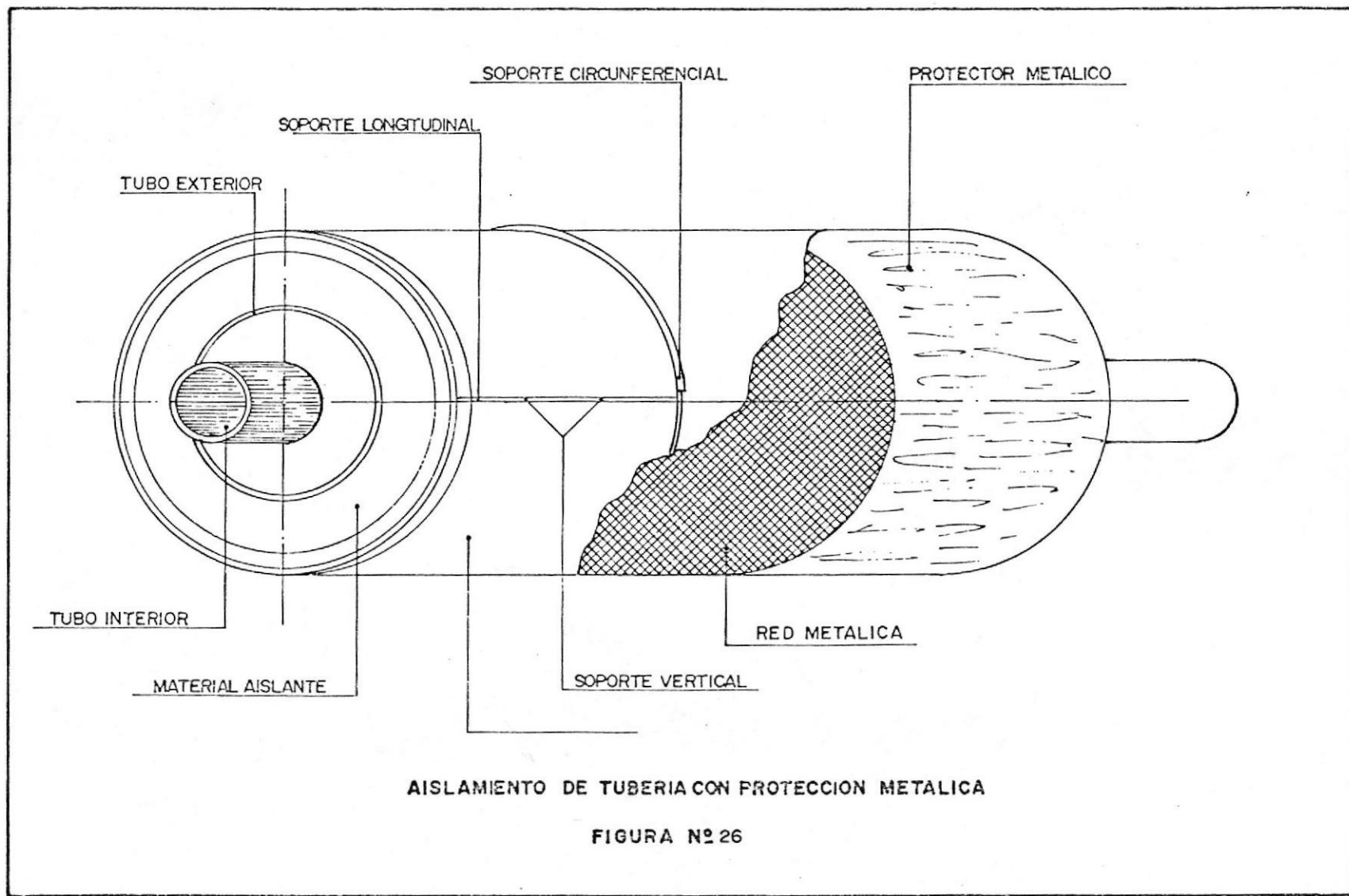
Los soportes circulares (platinas) están espaciados en todo el intercambiador cada 60 cm debido a que ésta es la medida del ancho del material aislante, los soportes verticales están ubicados dos en cada espacio de los soportes circulares y escalonados en el resto del intercambiador, la red metálica ya viene incorporada al material aislante, el protector metálico es material de aleación de aluminio de 1/20" de espesor fácilmente moldeable cuya función es proteger al material aislante, además mejoran las características de acabado, notándose unas líneas perfectas en los equipos.

Se describe a continuación el material a utilizarse en el aislamiento térmico.

Lana de Rocca 41.70 m²

Platinas 111.86 m

Plancha de Aluminio 46.00 m²





CAPITULO III PRUEBAS Y AJUSTES

BIBLIOTECA

Generalmente en toda nueva instalación o modificación de una planta industrial, las pruebas y ajustes determina diferentes tipos de problemas como:

- Personal que no está preparado con la nueva instalación
- Fugas de materiales de proceso
- Fallas eléctricas, etc.

En el caso particular del intercambiador de tubos concéntricos se procedió, aprovechándose de su misma instalación, a realizar pruebas con flujo de aire seco por el tubo interior y aire del ambiente por el tubo exterior, sin detectarse ninguna anomalía; lo anterior se justifica debido a las bajas presiones y temperaturas de dichos fluidos. Es necesario efectuar una prueba en proceso.

3.1. SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Para iniciar el arranque con proceso de la planta, el sistema del intercambiador instalado necesita de un previo calentamiento, para lo cual se cuenta con un generador de aire caliente cuya temperatura a la salida del mismo es 600°C, ver figura 22. Este mismo generador se utilizaba con igual propósito, en el intercambiador original.

La finalidad de su previo calentamiento es obtener las condiciones de temperatura mínimas

indispensables de proceso en los gases de azufre.

El flujo de aire caliente fluye entre el tubo exterior y el tubo interior, es decir utilizando el mismo paso del aire de enfriamiento, ver figura 22.

El criterio que se tomó en cuenta para dicha interconexión es el mismo con que estaba instalado el intercambiador original, ver figura 4.

El calentamiento del sistema detallado anteriormente, no alcanzaba la temperatura deseada para dar inicio al quemado de azufre y por consiguiente dar paso a los gases de SO_2 por el intercambiador de calor. Concluyéndose que, debido al recorrido más largo que debía efectuar el aire caliente en el nuevo intercambiador comparado con el intercambiador original, no podía mantener la temperatura deseada en todo el sistema.

Ante el problema presentado se decidió hacer dos correcciones:

- Controlar el paso de aire de proceso, debido a que éste posee una temperatura muy baja que va desde $0^{\circ}C$ a $5^{\circ}C$. Este paso de aire era normal con el intercambiador original.
- Efectuar dos entradas en paralelo, una para cada horquilla de aire caliente con instalación de sus correspondientes válvulas, de tal manera de distribuir el poder calorífico en el sistema con la ayuda de las válvulas, como se detalla en la

figura 22.

Con las correcciones antes mencionadas se obtuvo los resultados deseados.

3.2. CONTROL DE TEMPERATURA

Con el proceso en marcha, la temperatura de los gases alcanzó un rango normal; debido a que la combustión del azufre es exotérmico, se elimina el aire caliente para dar paso por medio de válvulas al aire de enfriamiento, el cual debe dosificarse de acuerdo a la temperatura requerida a la salida del intercambiador de los gases de SO_2 ($430^{\circ}C$). Este control de aire se lleva a efecto con una válvula manual tipo mariposa, figura 22, la cual cumplía el mismo propósito con el intercambiador original, convenientemente graduada con relación a la carrera de la bomba dosificadora de azufre líquido.

Para el nuevo intercambiador de calor se hizo necesario una nueva graduación en dicha válvula. La única manera de obtener dicho ajuste es en proceso, y en continuas variaciones en la dosificación de la bomba alimentadora de azufre, para mantener de ésta forma el mismo control de operación.

3.3. PUESTA EN MARCHA

Una vez controlada la temperatura de proceso, el sistema de calentamiento y hechos los ajustes

necesarios, básicamente en las partes bridadas, se procede al arranque de la planta.

Siendo el intercambiador de calor un equipo que generalmente no necesita de un control riguroso y considerando que en el proceso, anterior y posterior a dicho equipo no ha variado en absoluto el resultado del producto terminado es el deseado.

La figura 27 representa la secuencia propuesta en el proyecto y la secuencia real del trabajo.



BIBLIOTECA

JABONERIA NACIONAL

FECHA	CONSTRUCCION, MONTAJE, PRUEBA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR										APROBADO	
CARACTERISTICA PRINCIPAL	DIAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	ITINERARIO ACTUAL											
RECOPIACION DE MATERIAL	I A											
CONSTRUCCION BASE PARA ESTRUCTURA	I A											
PREPARACION DE MATERIALES	I A											
ARMADA DE LAS HORQUILLAS	I A											
SOLDADURA EN LAS HORQUILLAS	I A											
ARMADA DE ESTRUCT. PRINCIPAL	I A											
MONTAJE Y ACOPLE DE HORQUILLAS	I A											
INTERC. PARA AIRE DE ENFRIAMIENTO	I A											
INTERCONEXION AIRE DE CALENTAMIENTO	I A											
MONTAJE DE INSTRUMENTACION	I A											
AISLAMIENTO TERMIC.	I A											
PRUEBAS Y AJUSTES	I A											

CRONOGRAMA DE CONSTRUCCION

FIGURA N.º 27

CONCLUSIONES

- 1.- Eliminamos los escapes de gases. Con ello, la contaminación del ambiente, las molestias que los gases causan a las personas, y las continuas clausuras de las autoridades.
- 2.- Normalizamos la producción de la planta. Las continuas paralizaciones de la planta nos obligaba a laborar tiempo extra y bajo la presión lógica de los ejecutivos.
- 3.- El nuevo intercambiador de calor es eficiente. Cumple con todas las condiciones de proceso y producción.
- 4.- Tomamos en cuenta la causa principal del deterioro del intercambiador original para la construcción del nuevo intercambiador, eliminándose de ésta manera la posible falla en el intercambiador construido producido por la misma causa.
- 5.- Cancelamos la importación de un intercambiador solicitado al fabricante del intercambiador original, beneficiándose la empresa con los valores de costos del mismo.
- 6.- Evitamos el desabastecimiento del producto terminado en el mercado. La construcción y puesta en marcha del intercambiador en 11 días.
- 7.- El tiempo que se encuentra en funcionamiento el intercambiador por nosotros construido (aproximadamente 5 años), justifica plenamente la inversión económica.

APENDICE A



BIBLIOTECA

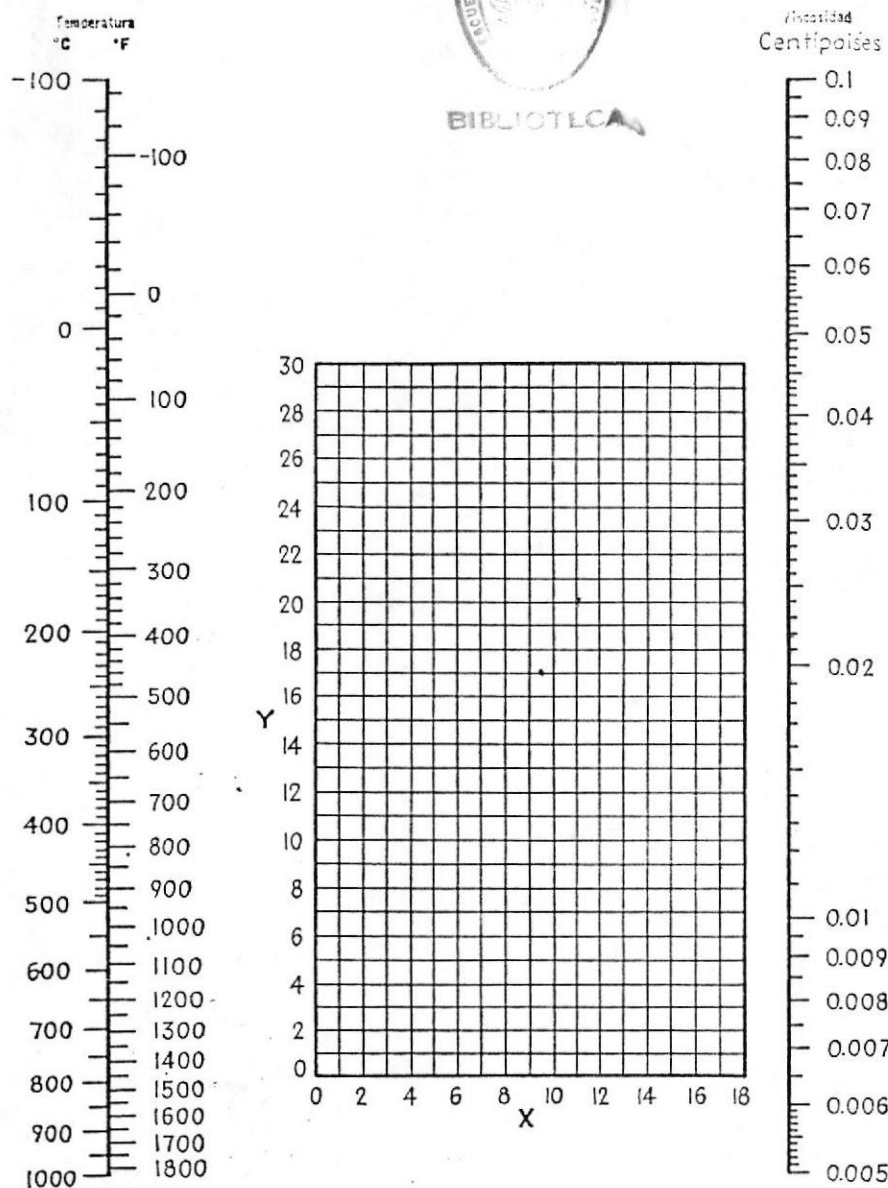


FIG. 28 Viscosidades de Gases. (Perry, "Chemical Engineers' Handbook", 3d ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950)

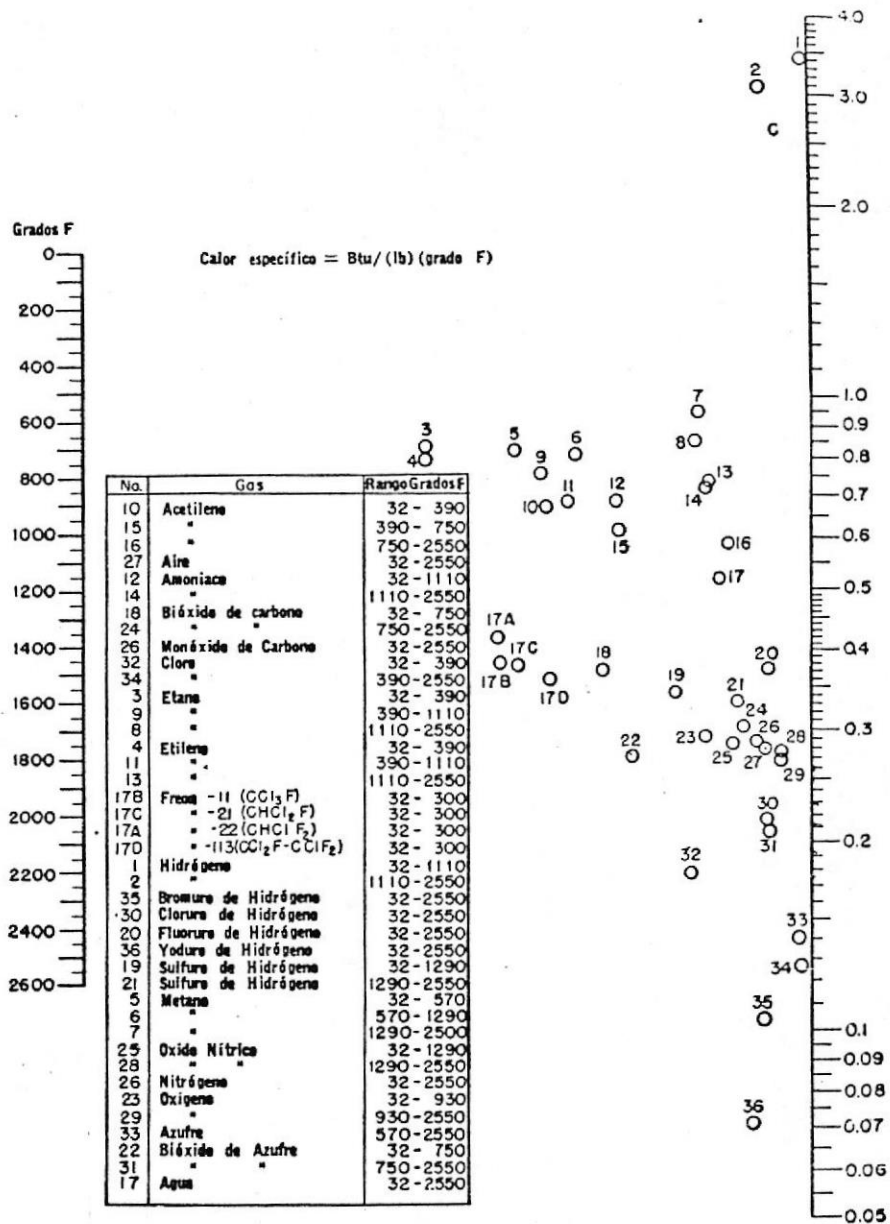


FIG. 29 Calores específicos de gases a 1 atm. (Perry, "Chemical Engineers' Handbook", 3d ed., McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, 1950)



BIBLIOTECA

Los valores extremos de la temperatura constituyen el rango experimental. Para extrapolación a otras temperaturas, se sugiere que los datos consignados se grafiquen como log de k vs. log de T o que se haga uso de la suposición de que la razón c_{μ}/k es prácticamente independiente de la temperatura (o de la presión, dentro de límites moderados).

Sustancia	*F	k	Sustancia	*F	k
Acetato de etilo	115	0.0072	Diclorodifluorometano	32	0.0048
	212	0.0096		122	0.0064
	363	0.0141		212	0.0080
Alcohol	68	0.0089		302	0.0097
	212	0.0124	Etano	-94	0.0066
Cloruro	32	0.0055		-29	0.0086
	212	0.0095		32	0.0106
	363	0.0135		212	0.0175
Eter	413	0.0152	Etileno	-96	0.0064
	32	0.0077		32	0.0101
	115	0.0099		122	0.0131
	212	0.0131		212	0.0161
	363	0.0189	Heptano (n-)	392	0.0112
	413	0.0209		212	0.0103
Acetona	32	0.0057	Hexano (n-)	32	0.0072
	115	0.0074		68	0.0080
	212	0.0099	Hexeno	32	0.0061
	363	0.0147		212	0.0109
Acetileno	-103	0.0068	Hidrógeno	-148	0.065
	32	0.0108		-58	0.083
	122	0.0140		32	0.100
	212	0.0172		122	0.115
Aire	-148	0.0095		212	0.129
	32	0.0140		572	0.178
	212	0.0183	Hidrógeno y bióxido de carbono.	32	
	392	0.0226	0% H ₂		0.0083
	572	0.0265	20%		0.0165
Alcohol metílico	32	0.0083	40%		0.0270
	212	0.0128	60%		0.0410
Acetato	32	0.0059	80%		0.0620
	68	0.0068	100%		0.10
Amoniaco	-76	0.0095	Hidrógeno y nitrógeno	32	
	32	0.0128	0 H ₂		0.0133
	122	0.0157	20%		0.0212
	212	0.0185	40%		0.0313
Benceno	32	0.0052	60%		0.0438
	115	0.0073	80%		0.0635
	212	0.0103	Hidrógeno y óxido nítrico	32	
	363	0.0152	0% H ₂		0.0002
	413	0.0176	20%		0.0170
Bióxido de azufre	32	0.0050	40%		0.0270
	212	0.0069	60%		0.0410
Bióxido de carbono	-58	0.0068	80%		0.0650
	32	0.0085	Mercurio	392	0.0197
	212	0.0133	Metano	-148	0.0100
	392	0.0181		-58	0.0145
	572	0.0228		32	0.0175
Bisulfuro	32	0.0040		122	0.0215
	45	0.0042	Nitrógeno	-148	0.0095
Monóxido	-312	0.0041		32	0.0140
	-294	0.0046		122	0.0160
	32	0.0135	Oxido nítrico	212	0.0180
Tetracloruro	115	0.0041		-94	0.0103
	212	0.0052	Oxido nítrico	32	0.0138
	363	0.0065	Oxido nítrico	-98	0.0067
	32	0.0078		32	0.0087
Butano (n-)	212	0.0135	Oxígeno	212	0.0128
	32	0.0080		-148	0.0095
Butano (iso-)	212	0.0139		-58	0.0119
	216	0.0095		32	0.0142
Ciclohexano	32	0.0043		122	0.0164
Cloro	32	0.0038		212	0.0185
Cloroformo	115	0.0046	Pentano (n-)	32	0.0074
	212	0.0058	(iso-)	68	0.0083
	363	0.0077		32	0.0072
Cloruro de metileno	32	0.0039	Propano	212	0.0127
	115	0.0049		32	0.0087
	212	0.0063	Sulfuro de hidrógeno	212	0.0151
	413	0.0095	Vapor de agua	32	0.0076
Cloruro de metilo	32	0.0053		115	0.0120
	115	0.0072		212	0.0137
	212	0.0094		392	0.0187
	363	0.0130		572	0.0248
	413	0.0148		752	0.0315
				932	0.0441

* De Perry, J. H. "Chemical Engineers' Handbook", 3d ed. McGraw-Hill Book Company Inc., New York, 1950.

TABLA 14. VALORES DE CONDUCTIVIDAD

Gases de escape de máquinas Diesel.....	0.01	Unidades de destilación atmosférica:	
Vapores orgánicos	0.0005	Vapores superiores sin tratar	0.0013
Vapor (sin aceite)	0.0	Vapores superiores tratados	0.003
Vapores de alcohol	0.0	Cortes intermedios	0.0013
Vapor, de escape (con aceite)	0.001	Unidades de destilación al vacío:	
Vapores refrigerantes (condensando de compresores recíprocos)	0.002	Vapores superiores a aceite:	
Aire	0.002	De la torre de burbujeo (condensador parcial)	0.001
Vapores superiores en condensadores enfriados por agua:		Del tanque flash (sin reflujo apreciable) ..	0.003
De la torre de burbujeo (condensador final) ...	0.001	Aceite delgado	0.002
Del tanque flash	0.04	Vapores superiores	0.001
Cortes intermedios:		Gasolina	0.0005
Aceite	0.001	Debutanizador, Depropanizador, Depentanizador y unidades de Alkilación:	
Para agua	0.002	Alimento	0.001
Fondos residuales, menos de 20° API	0.005	Vapores superiores	0.001
Fondos residuales, más de 20° API	0.002	Enfriadores de producto .	0.001
Estabilizador de gasolina natural:		Calderetas de producto ..	0.002
Alimento	0.0005	Alimento del reactor	0.002
Vapores superiores	0.0005	Unidades de tratamiento de lubricantes:	
Enfriadores de producto e intercambiadores	0.0005	Alimento de aceite solvente	0.002
Calderetas de producto ..	0.001	Vapores superiores	0.001
Unidades de eliminación de HS ₂ :		Aceite refinado	0.001
Para vapores superiores ..	0.001	Intercambiadores calentadores de aceite refinado enfriados por agua † ..	0.003
Intercambiadores enfriadores de solución	0.0016	Gomas y breas:	
Caldereta	0.0016	Generadores de vapor enfriados por aceite	0.005
Unidades de Cracking:		Enfriados por agua	0.003
Alimento gas-oil:		Solvente	0.001
Menos de 500°F	0.002	Unidades desasfaltizadoras:	
500°F y más	0.003	Aceite de alimento	0.002
Alimento de nafta:		Solvente	0.001
Menos de 500°F	0.002	Asfalto y resina:	
Más de 500°F	0.004	Generadores de vapor enfriados por aceite.	0.005
Separador de vapores vapores del separador, tanque flash, y vaporizador)	0.006	Enfriados por agua...	0.003
Gas	0.002	Vapores de solvente	0.001
Aceite graso	0.002	Enfriamiento de mezcla aceite-cera †	0.003

TABLA 15. VALORES DE OBSTRUCCION

TABLA 16. VALORES CARACTERÍSTICOS DE LOS GASES

BIBLIOTECA



Gas	M	C_p	C_v	k	C_p	R	R/I
	Kg lb	Kg-°K lb-°R	Kg-°K lb-°R	(o bien, lb-mol.)	Kg-°K lb-°R	pre-lb. lb-°R	Kg-°K lb-°R
Agua (A)	39.93	0.1244	0.0747	1.665	4.97	39.68	0.4971
Agua (H)	(b) 4.003	1.2416	0.7475	1.665	4.97	211.79	0.49513
Mercurio (Hg)	(b) 200.61	0.0248	0.0148	1.664	4.97	4.226	0.0099
Aire	(a) 28.970	0.24	0.1714	1.4	6.933	59.264	0.06855
1 Monóxido de carbono (CO)	28.010	0.2487	0.1778	1.399	6.965	59.266	0.0709
Cloro (Cl ₂)	70.914	0.1144	0.0864	1.324	8.11	11.953	0.02880
Fluor (F ₂)	38.00	0.1979	0.1456	1.379	7.530	22.31	0.0226
Hidrógeno (H ₂)	2.016	3.419	2.434	1.405	6.892	430.55	0.09807
Hidrógeno (H ₂)	12.008	0.4199	0.3031	1.385	7.141	49.813	0.11626
Hidróxido (OH)	30.008	0.2378	0.1716	1.385	7.141	49.813	0.11626
Oxido nítrico (NO)	30.008	0.2378	0.1716	1.385	7.141	49.813	0.11626
Nitrogeno (N ₂)	28.016	0.2434	0.1775	1.399	6.960	39.260	0.07088
Oxígeno (O ₂)	32	0.2193	0.1572	1.395	7.017	56.442	0.06706
2 Óxido de carbono (CO ₂)	44.010	0.2016	0.1565	1.288	8.874	19.26	0.04312
1 Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	34.086	0.2382	0.1799	1.324	8.12	24.87	0.04826
Oxido nítrico (N ₂ O)	44.016	0.2102	0.1631	1.273	9.251	19.26	0.04512
1 Dioxido de azufre (SO ₂)	64.07	0.1481	0.1174	1.264	9.51	13.23	0.03100
Vapor de agua (H ₂ O)	18.016	0.4454	0.3352	1.329	8.025	47.05	0.11023
Acetileno (C ₂ H ₂)	26.036	0.4072	0.3269	1.233	10.499	32.56	0.07627
Amoníaco (NH ₃)	17.032	0.5004	0.3838	1.304	8.523	49.27	0.11660
n-Butano (C ₄ H ₁₀)	58.120	0.4007	0.3065	1.093	23.29	44.59	0.04417
Etileno (C ₂ H ₄)	30.068	0.4186	0.3256	1.187	12.985	28.19	0.06644
Etileno (C ₂ H ₄)	28.052	0.3711	0.3003	1.236	10.410	30.22	0.05909
Metano (CH ₄)	16.042	0.5321	0.4083	1.305	8.536	52.05	0.12379
n-Octano (C ₈ H ₁₈)	114.224	0.3972	0.3278	1.046	45.14	7.42	0.01239
Propano (C ₃ H ₈)	44.094	0.3985	0.3335	1.127	17.57	19.23	0.04504

1 Óxido de carbono.
2 Anhídrido carbónico.
3 Acido sulfúrico.
4 Anhídrido sulfuroso.

NOMENCLATURA DEL PRESENTE INFORME

- T_{pro} = Temperatura promedio del gas SO_2
- C = Calor específico del fluido caliente
- M = Peso del flujo del fluido caliente
- Q = Flujo de calor
- t_{pro} = Temperatura promedio del aire de enfriamiento
- c = Calor específico del fluido frío
- m = Peso del flujo del fluido frío
- t = Diferencia de temperatura verdadera
- D = Diámetro interno del tubo interior
- a_s = Area del flujo para el gas SO_2
- G_s = Velocidad de masa del gas SO_2
- μ_s = Viscosidad a la temperatura calórica, para gas SO_2
- Res = Número de Reynolds, para el gas SO_2
- J_h = Factor de transferencia de calor
- K_s = Conductividad térmica para SO_2
- h_i = Coeficiente de transferencia de calor para el flujo interior
- D_1 = Diámetro exterior del tubo interior
- D_2 = Diámetro interior del tubo exterior
- D_e = Diámetro equivalente para transferencia de calor
- h_{io} = Valor de h_i cuando está referido al diámetro exterior del tubo
- a_a = Area del flujo del anulo
- G_a = Velocidad de masa de aire
- μ_a = Viscosidad a la temperatura calórica del aire
- Re_a = Número de Reynolds para el aire



Jh = Factor de transferencia de calor para el aire
Ka = Conductividad térmica para el aire
ha = Coeficiente de transferencia de calor del fluido exterior
Uc = Coeficiente limpio de transferencia de calor
Rdi = Factor interno de obstrucción
Rdo = Factor externo de obstrucción
Rd = Factor combinado de obstrucción
Ud = Coeficiente de diseño de transferencia de calor
A = Superficie de transferencia de calor
L = Longitud del tubo de transferencia de calor
s = Densidad del gas a temperatura promedio de proceso
fi = Factor de fricción en el tubo interior
Fs = Caída de presión en el tubo interior
P = Caída de presión del gas SO₂
De' = Diámetro equivalente para cada caída de presión
Re' = Número de Reynolds para caída de presión
f = Factor de fricción exterior
a = Densidad del aire a temperatura promedio
Fa = Caída de presión del aire
V = Velocidad del aire
Fl = Caída de presión entrada y salida del aire
Pa = Caída de presión total del aire

BIBLIOGRAFIA

- 1.- D. Q. Kern, Procesos de Transferencia de Calor, Edit. Continental, México, 1984.
- 2.- R. Perry, Biblioteca del Ingeniero Químico, McGraw-Hill, México, 1986.
- 3.- Faires, Termodinámica, Edit. Hispano América, México 1972.
- 4.- F. Gianazza, Diario Técnico 20025, Leghano Italia.
- 5.- Ballestra, Procesos de Sulfurex, Milano-Italia, 1977
- 6.- A. Greus, Instrumentación Industrial, 2^{da} edición, México-Marcombo, 1979.
- 7.- Kreith, Principios de Transferencia de Calor, 3^{ra} edición, New York, Intext Press, 1973.