



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

**Escuela Superior de Ingeniería Química
e Industrias Extractivas**

**“ DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA RE-REFINACION
DE ACEITES LUBRICANTES POR ARRASTRE
CON VAPOR - ARCILLAS.”**

Tesis Profesional

**Que para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO INDUSTRIAL**

p r e s e n t a

MIGUEL ANGEL RABAGO VERDUZCO

México, D. F.

1 9 8 4



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

DIVISION DE SISTEMAS DE TITULACION

T-148

México DF9 de agosto de 1983

C MIGUEL ANGEL RABAGO VERDUZCO

Pasante de Ingeniero QUIMICO INDUSTRIAL

78-82

Ermita Istapalapa # 30

Col. Santiago Acahualtepec

C.P. 09600

Presente

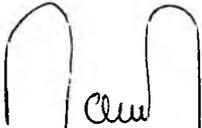
El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional en la opción SEMINARIO DE TESIS es propuesta por el CING. EDUARDO TELLEZ FUENTES quien será el responsable de la calidad de trabajo que usted presenta referida al tema el cual deberá usted desarrollar de acuerdo con el siguiente orden

"DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA RE-REFINACION DE ACEITE LUBRICANTE POR ARRASTRE DE VAPOR-ARCILLAS."

RESUMEN

INTRODUCCION

- I.- ACEITES LUBRICANTES. GENERALIDADES
 - II.- METODOS DE RE-REFINACION DE ACEITES LUBRICANTES SUCIOS
 - III.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE RE-REFINACION DE ACEITE LUBRICANTE SUCIO POR EL METODO DE ARRASTRE CON VAPOR-ARCILLAS
 - IV.- DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO
 - V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA


ING. RAFAEL TORRES LOPEZ

El Jefe del Departamento de Opcion


DRA. BEATRIZ MEDALLA LUEVANC

El Jefe de la División de Sistemas de Titulación

cmh.


ING. EDUARDO TELLEZ FUENTES

El Profesor Orientador


ING. HILARIO LOPEZ GARACHANA

El Director de la Escuela

A MI MADRE AMPARO VERDUZCO DE RABAGO

Con cariño y agradecimiento
por el esfuerzo realizado -
para mi formación moral e -
intelectual.

A MIS HERMANOS

Por el gran apoyo que me -
han brindado siempre.

CON AGRADECIMIENTO SINCERO AL
JURADO QUE ME ASESORO PARA LA
REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

I N D I C E .

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
I. GENERALIDADES	
I.1. Origen de los aceites lubricantes.	7
I.2. Métodos de refinación de aceites - lubricantes.	10
I.3. Tipos y características de los ad <u>di</u> tivos más comúnmente usados.	13
I.4. Características de los aceites lu- bricantes de desecho.	16
II. RE-REFINACION DE ACEITES LUBRICANTES.	
II.1. Métodos conocidos de re-refina- ción de aceites luoricantes.	19
II.2. Ventajas y desventajas de los di- ferentes métodos.	22
III. PROCESO DE ARRASTRE CON VAPOR ARCILLAS_ PARA LA RE-REFINACION DE ACEITES LUBRI- CANTES.	
III.1. Descripción del proceso de arras- tre con vapor-arcillas.	26
III.2. Diagrama de bloques del proceso_ de arrastre con vapor-arcillas.	31
IV. DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DE LOS EQUI- POS PRINCIPALES DE UNA PLANTA PARA RE- REFINACION DE ACEITES LUBRICANTES.	
IV.1. Capacidad de la planta.	33

	Página
IV.2. Balance de materia.	35
IV.3. Diseño del equipo principal.	38
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	130
APENDICE.	133
BIBLIOGRAFIA.	135

SOLO LECTURA

SOLO LECTURA

R E S U M E N

En esta tesis se hace un análisis técnico comparativo para seis procesos diferentes de recuperación de aceites lubricantes sucios, desecho de los motores de combustión interna, resultando de esto que el más apropiado es el de arrastre con vapor-arcillas. Mediante este método - las tres cuartas partes del aceite tratado se recuperan - obteniéndose subproductos no contaminantes aprovechables como material de recubrimiento para caminos vecinales.

En las generalidades se hace una semblanza del origen y características de los aceites lubricantes ya sean limpios o de desecho, así como de los tipos de aditivos que se emplean en su formulación. A continuación se describen someramente los diferentes métodos de re-refinación de aceites lubricantes, señalando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

En el tercer capítulo se explica en detalle el método de arrastre con vapor arcillas e incluye un diagrama de flujo del proceso para una mejor comprensión. Por último se diseñaron los equipos principales que serían necesarios para llevar a cabo el proceso.

De poder instalarse una planta industrial de las características señaladas en este proyecto, se podrían crear fuentes de trabajo y evitar en parte el desperdicio de recursos naturales, disminuir la degradación del medio ambiente y sustituir parcialmente las importaciones de aceite lubricante contribuyendo así a la diversificación de la planta industrial nacional.

SOLO LECTURA

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

Como uno de sus objetivos, el ingeniero químico industrial debe tratar de evitar la contaminación y el desperdicio de los materiales de producción y buscar la reutilización de los desechos tanto por el orden técnico como por el orden económico.

Este hecho, cuando se habla de recursos no renovables como es el caso del petróleo y en consecuencia de todos sus derivados, nos conduce a promover ideas que tiendan a lograr el máximo aprovechamiento de estos materiales.

Uno de estos derivados del petróleo, es el aceite lubricante que presenta una serie de características muy interesantes para buscar un proceso para reutilizarlo.

En el presente trabajo, se estudia la posibilidad de acondicionar el aceite lubricante "sucio" que se desecha de los motores de combustión interna, para su reutilización, ya que este aceite no ha sufrido ningún cambio químico. Actualmente el aceite lubricante sucio se tira al drenaje ocasionando con esto graves problemas de contaminación en las aguas y en el suelo. Otra parte, aproximadamente el 36 %, se utiliza en la industria de la construcción, un 14 % para la fabricación de combustibles, por lo que la otra mitad no tiene un uso específico.

El aceite lubricante sucio es portador de polvo, así como de pequeñas partículas metálicas provenientes del

desgaste de la maquinaria, cantidades insignificantes de combustible y agua. Los diversos métodos susceptibles de emplearse consisten generalmente en la eliminación de estas impurezas del seno del aceite para dejarlo en sus condiciones originales.

Lo que hasta aquí se recupera podemos llamarlo aceite básico, al cual se le agregaran una serie de aditivos para mejorar sus propiedades convirtiéndose así en un aceite lubricante. El aceite básico puede ser también transformado en grasas para usarse en las partes de transmisión de movimiento de las maquinas industriales.

Actualmente en nuestro país trabajan varias empresas en la recuperación de aceite lubricante, éstas emplean algunos de los métodos que se explican en este trabajo, con ésto se disminuye en parte al problema de contaminación que se causaba anteriormente al tirar el aceite sucio al drenaje.

SOLO LECTURA

I. GENERALIDADES

I.I ORIGEN DE LOS ACEITES LUBRICANTES

La fuente principal de los aceites lubricantes, es el petróleo, siendo éste un conjunto de compuestos orgánicos complejos que fueron formados a través de la putrefacción y tensiones geológicas ejercidas sobre organismos vivos tales como plantas y animales.

El petróleo se separara en diversas fracciones que se mencionan en la siguiente tabla:

CONSTITUYENTES DEL PETROLEO

Fracción	Temperatura de destilación °C	Número de carbonos.
Gas	Menos de 20	1 a 4
Eter de petróleo	20 a 60	5 a 6
Nafta ligera	60 a 100	6 a 7
Gasolina natural	40 a 205	7 a 10 y cicloalcanos.
Kerosén	175 a 325	12 a 18 y aromáticos.
Gasoleo	Más de 275	12 y superiores
Acete lubricante	Líquidos no volátiles.	Probablemente - cadenas largas unidas a estructuras cíclicas.
Asfalto o coque de petróleo	Sólidos no volátiles.	Estructuras policíclicas.

La anterior tabla constituye una separación preliminar de acuerdo con el número de carbonos y su punto de destilación. Cada fracción aún es una mezcla compleja, sin embargo, puesto que contiene alcanos en un rango de átomos de carbono y cada número representa varios isómeros, el uso de cada fracción depende de su volatilidad o viscosidad, y tiene poca importancia el hecho de que sea una mezcla compleja o un compuesto puro.

Las fracciones volátiles del petróleo se usan principalmente como combustibles. El gas natural que es la fracción gaseosa, se emplea principalmente para calefacción. En las máquinas de combustión interna se utiliza la gasolina por su alta volatilidad. En los motores a reacción se utiliza kerosen y el gasóleo en los motores diesel. -- Los dos últimos se pueden utilizar también para calefacción.

La fracción de aceite lubricante, especialmente la proveniente de crudos de base parafínica, a menudo contiene grandes cantidades de alcanos de cadenas largas -- (C_{20} a C_{34}), con puntos de fusión muy altos, si éstos permanecieran en el aceite, en días muy fríos podrían cristalizar en formas de sólidos cerosos.

En particular los aceites lubricantes se pueden obtener de dos clases: destilados y residuales variando según el método, y según el contenido de parafina. Esto es debido a que la parafina destilada entre los mismos límites de temperatura que las fracciones lubricantes y siem

pre se encuentran tanto en el destilado como en el residuo.

La operación básica para la refinación del petróleo es la destilación primaria, que consiste en una destilación fraccionada a presión atmosférica. Se trabaja en forma continua: el crudo es calentado en un horno de tubos y a continuación se carga dentro de una torre de rec tificación en la que también circula vapor de agua sobre calentado, para arrastrar las gasolinas. El número de fracciones recogidas depende de la composición del crudo.

Cuando el crudo es rico en asfaltos y no contiene ceras ni fracciones lubricantes de valor, la operación se reduce a la destilación de las fracciones ligeras (ga solinas, Keroseno y gasóleo), y del residuo se recuperan asfaltos.

Si se desea obtener una o más fracciones de aceite lubricante, es necesario tener en cuenta la inestabili dad térmica de las mismas, razón por la cuál se opera a vacío para ello el crudo es sometido primeramente a una destilación atmosférica, con el fin de eliminar los volá tiles y a continuación inyectando en una torre que se mantiene a vacío, separándose así varias fracciones de a ceite lubricante obteniendo en el residuo asfaltos.

Los productos obtenidos de la destilación varían y debido a las mezclas de isómeros, no son adecuados para

usarse, por lo tanto tienen que ser sometidos a una refinación con el objeto de ir eliminando en forma sucesiva los componentes indeseables.

1.2. METODOS DE REFINACION DE ACEITES LUBRICANTES.

Los métodos empleados pueden ser físicos o químicos, y a continuación se enlistan estos procesos:

CRISTALIZACION:

La cristalización se lleva a cabo por dos métodos - según el tipo de destilados parafinosos. Cuando el destilado es prensable, se puede eliminar la cera cristalizando la por enfriamiento. Se opera a temperaturas entre -35 y 0°C a la cuál la parafina se precipita para posteriormente separarse por filtración. Frecuentemente el destilado se somete a un tratamiento previo con ácido sulfúrico con objeto de obtener la cera más cristalina.

Cuando los destilados parafinosos son no prensables, no es posible cristalizarlos debido a su alta viscosidad y al contenido de parafina amorfa. La descerización de estos destilados se lleva a cabo por medio de solventes en la siguiente forma: el destilado se diluye con solventes que se eligen de acuerdo a su alto poder diluyente para el aceite y bajo poder para la cera; ésta se precipita al enfriarse aproximadamente a -10°F .

PRECIPITACION DIFERENCIAL.

Cuando un aceite lubricante y asfalto se diluyen en

un hidrocarburo ligero apropiado, tal como el propano -- que permanece licuado a la presión empleada, se separan dos capas. Una capa de aceite y una capa de cera, que pueden permanecer disueltos con el propano y los asfaltos -- que precipitan como un líquido viscoso. Ambas capas se tratan separadamente la inferior se destina a la manufactura de asfaltos, mientras que la superior puede tratarse de dos maneras.

Si el contenido de cera es muy bajo, se lleva un sistema de destilación para la recuperación de propano y la producción de aceites destilados y residuales. Si el contenido de cera es alto, ésta se precipita por enfriamiento y se separa por filtración. El filtrado se destila en la misma forma que cuando el contenido de cera es muy bajo.

El propano presenta la interesante anomalía de que su poder solvente para el aceite disminuye gradualmente conforme se va elevando la temperatura, de tal manera -- que primero se separan los aceites más viscosos y finalmente los más fluidos. Aplicando las propiedades se pueden obtener aceites de diferentes grados de viscosidad -- sin necesidad de destilarlos.

EXTRACCION SELECTIVA.

El procedimiento más antiguo de este tipo es el de Edeleanv en el que se usa anhídrido sulfuroso licuado como solvente selectivo. Actualmente ha sido sustituido -- por procesos de extracción como furfural, fenol, nitrobenzeno, y el proceso Duo-Sol el cual, como su nombre lo indica, emplea dos solventes que son el propano y los --

cresoles mixtos. Este proceso sobre todo es útil en la refinación de aceites residuales con alto contenido de asfalto, ya que no es necesario eliminarlo previamente.

ADSORCION.

Tratando los aceites lubricantes con tierras adsorbentes, pierden su poder emulsificante, pues las tierras eliminan los compuestos polares como fenoles y ácidos -- nafténicos al mismo tiempo que se eliminan algunos compuestos que causan sedimentación y carbonización durante su servicio en el motor. El principal efecto de las tierras sin embargo, consiste en la clarificación del aceite, industrialmente se aplican dos métodos:

PERCOLACION. El aceite precalentado a una temperatura adecuada para reducir su viscosidad, se hace pasar -- lentamente por una torre que contiene tierra de adsorción granulada.

TCP. Recientemente se ha desarrollado un método de percolación continua o sea el procedimiento TCP (Thermoform Continuous Percolation), que promete ser más económico -- que los procedimientos de contacto y percolación comunes.

Los métodos mencionados hasta aquí para la refinación son físicos. Ahora describiremos brevemente los métodos químicos.

ACIDO SULFURICO.

La refinación de aceites lubricantes con ácido sulfúrico es uno de los métodos más antiguos. Consiste en --

mezclar el ácido mineral con el aceite, los lodos se separan por centrifugación o precipitación, y la neutralización con carbonato de calcio o sosa diluída con objeto de eliminar el exceso de sulfúrico y los productos de --reacción oleosolubles. Los aceites de alta viscosidad se diluyen con nafta para facilitar la separación de lodos. El ácido sulfúrico actúa física o químicamente.

Los asfaltos se precipitan seguramente por un proceso físico, el hecho de que la adición de un pequeño porcentaje de agua facilite la separación de los lodos ácidos sugiere que se trata de la precipitación de un óleosol de sustancia asfáltica que luego son absorbidas por el ácido.

A pesar de que el ácido sulfúrico aún es un agente refinante muy usado, actualmente ha sido sustituido en gran parte por la extracción selectiva y la precipitación diferencial que permite muchas ventajas. Entre éstas, permite un control más exacto en la refinación, no elimina componentes valiosos y no corre el riesgo de introducir compuestos polares que puedan tener efectos emulsificantes.

HIDROGENACION.

Permite eliminar compuestos oleofínicos y aromáticos, pero tiene una desventaja que es la disminución de la viscosidad, particularmente de fracciones más pesadas, y por lo tanto su aplicación es limitada.

I.3. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ADITIVOS MAS COMUNMENTE USADOS.

El aceite básico obtenido por destilación primaria y su correspondiente refinación, es el llamado aceite básico. Este en su aplicación como lubricante para motores de combustión interna se tendrá que mezclar con sustancias químicas llamadas aditivos que le confieren ciertas propiedades tales como: elevar la oleaginosidad; abatir el punto de fluidez, en aproximadamente 25°C; reduce el índice de viscosidad y retarda el envejecimiento de tipo interno y externo.

ADITIVOS QUE ELEVAN LA OLEAGINOSIDAD. Se usan compuestos orgánicos clorados, sulfonados, oxigenados y fosfatados. Todos tienen la propiedad de reducir el coeficiente de fricción cinética en condiciones de lubricación imperfecta, pues se combina químicamente con los metales formando películas muy resistentes.

ADITIVOS QUE ABATEN EL PUNTO DE FLUIDEZ. Se añaden aceites de base parafínica cuyo porcentaje relativamente alto de cera restringen su uso en lugares de clima frío. El más conocido es el paraflúor que es un poli-alquilnافتالeno, que se obtiene condensando naftaleno y parafina clorada, en presencia de cloruro de aluminio, su acción consiste en alterar el punto de fluidez cambiando la estructura cristalina abatiendo la temperatura hasta 25°C.

ADITIVOS QUE ELEVAN EL INDICE DE VISCOSIDAD. Se añaden a aceites de base asfáltica, cuyo índice de viscosidad es bajo. Los más conocidos son polímeros sintéticos como el poliouteno, polimetacrilatos, etc. Su proporción dentro del aceite no suele ser mayor al 0.5 %; su acción está asociada con su escasa solubilidad dentro de los a-

ceites con los que forma suspensiones coloidales.

ADITIVOS QUE RETARDAN EL ENVEJECIMIENTO DEL TIPO IN TERNO. Son sustancias que retardan la oxidación de los a ceites y funcionan como antioxidantes típicos; como pas ivadores que evitan la formación de catalizadores creándo se una película en los metales evitando así el ataque de los ácidos; y evita la formación de agentes oxidantes. Se utilizan como aditivos de este tipo, compuestos tales co mo: compuestos orgánicos fosforados y nitrogenados, derivados del fenol y del naftaleno, derivados de algunos o rganometálicos. Los aceites que contienen este tipo de a ditivos se denominan aceites Premium.

ADITIVOS QUE RETARDAN EL ENVEJECIMIENTO DEL TIPO EX TERNO. Estos compuestos son agentes dispersantes e inhibi dores de la erosión causada por el agua. Normalmente son sales de calcio de fracciones de petróleo sulfonadas, co mo por ejemplo: cetil fosfato de calcio, octil salicila to de calcio y fenil estearato de calcio. Presentan el - inconveniente de acelerar la oxidación de los aceites, - pues su acción detergente deja limpia la superficie de - los metales facilitando el ataque de los ácidos. Los a-- ceites que contienen un aditivo oxidante y una sustancia dispersante son llamados aceites H.D. (Heavy Duty).

Habiendo definido los tipos y características de -- los aditivos más comúnmente usados, se puede decir que - un aceite lubricante es el resultado de mezclar uno o va rios tipos de aditivos con aceite básico. Entiéndase como aceite básico al producto obtenido de la destilación al _

vacío del residuo de petróleo de la destilación atmosférica.

I.4. CARACTERISTICAS DE LOS ACEITES LUBRICANTES DE DESECHO.

La lubricación en todo equipo de operación mecánica es una función esencial de operación, y constituye el -- factor más importante ya que: reduce la fricción y el -- desgaste, funciona como un líquido refrigerante, ayuda -- como un sellante contra la suciedad, protege las superfi -- cies lubricadas del herrumbre y algunas veces se utiliza como ,transmisor de potencia.

Al estar el aceite en constante movimiento dentro de la máquina y ya que la función lubricativa nunca es del 100 %, el aceite se contamina con sustancias extrañas -- que pueden ser: residuos de combustible no quemado, par -- tículas de carbón, polvo, pequeños residuos metálicos -- producto del desgaste de los anillos del pistón, produc -- tos residuales de la combustión incompleta, agua y pro -- ductos de la oxidación de los hidrocarburos que forman -- el aceite. Esto es al irse enfriando, se vuelven insolub -- les y reciben el nombre de lodo iriño.

Según investigaciones recientes al oxidarse un acei -- te lubricante, se forman hidroperóxidos. Estos a la vez -- se descomponen por mecanismos complejos de oxidación, re -- ducción, deshidratación y condensación en: aldehídos y --

cetanas que a su vez se descomponen en agua y bióxido de carbono; ésteres; y resinas de asfaltenos. Esto ocurre - en una pequeña proporción del aceite utilizado.

Debido a ésto el aceite lubricante después de un -- cierto tiempo, 4 meses, ya no cumple bien las funciones_ de lubricación, por lo cuál éste es desechado y sustituido por uno nuevo.

SOLO LECTURA

II. RE-REFINACION DE ACEITES LUBRICANTES.

II.1. METODOS CONOCIDOS DE RE-REFINACION DE ACEITES LUBRICANTES.

El problema de recuperar un aceite lubricante en como poder separar del aceite los lodos que se encuentran en suspensión que es una mezcla consistente en: residuos de combustible no quemado, partículas de carbón coloidal, polvo, pequeñas partículas metálicas producto del desgaste de las partes en movimiento del motor, agua y productos de oxidación del mismo hidrocarburo.

En base a lo anterior se encontró en la bibliografía varios procesos que en seguida se mencionan:

- a). Método del ácido sulfúrico-arcillas.
- b). Proceso IPP (Extracción propánica).
- c). Destilación hidrotratado.
- d). Proceso BERC (extracción por solventes).
- e). Proceso WPE (Pfaudler Wiped Film Evaporator).
- f). Proceso de arrastre con vapor arcillas.

Descripción general de cada proceso.

a). Método del ácido sulfúrico-arcillas. Consiste principalmente en tratar el aceite sucio, que será previamente deshidratado, con ácido sulfúrico concentrado que tiene la finalidad de precipitar las impurezas como una torta gomosa compacta. Este aceite se decanta y se le agrega hidróxido de calcio para neutralizarlo, posteriormente será tratado con arcillas para atrapar las partículas mi

microscópicas de carbón y metales que no se hayan eliminado con el ácido. Este método tiene el inconveniente de que se deriva un subproducto mucho más contaminante que el propio aceite sucio. Este subproducto es lodo de alto índice de acidez que genera un problema de manejo y desecho.

b). Proceso IFP. Este proceso es una variación del método del ácido sulfúrico-arcillas, diferenciándose en que antes de agregar el ácido sulfúrico se hace una extracción con propano, debido a que este solvente diluye únicamente el aceite por lo tanto se precipitan los lodos, metales y todo cuerpo extraño a su composición.

c). Destilación Hidrotratada. Mediante un calentamiento se procede a deshidratar el aceite sucio, éste es transportado a un tanque flash donde se le realiza una destilación con el fin de eliminar las partes ligeras y lodos. Posteriormente en un reactor se hará burbujear hidrógeno gaseoso en el seno del líquido. Por último para obtener el aceite básico es necesario introducir el producto del reactor en una torre de fraccionamiento.

d). Proceso BERG. El aceite deshidratado pasa a un tanque donde se diluirá en una mezcla de solventes que se compone de: metil etil cetona, alcohol isopropílico y alcohol n-butílico. En este paso se lleva a cabo una extracción selectiva y se separan los lodos por decantación. La mezcla se introduce a una torre de destilación

donde los solventes son recuperados y recirculados al tanque de la etapa anterior obteniéndose como residuo el aceite. Este pasa a una torre de fraccionamiento, donde se obtienen tres partes de aceite. Posteriormente, en otro tanque, se les agregarán arcillas, hidrógeno y un catalizador de níquel-cobalto. Finalmente esta mezcla pasa a otra torre de fraccionamiento donde se obtendrán: aceite básico como producto, lodos y arcillas como subproductos.

e). Método WFE. En este proceso, el aceite sucio es deshidratado en un tanque, posteriormente pasa a un evaporador de película en donde el aceite es purificado. El producto del evaporador se coloca en un tanque para ser tratado con una carga de arcillas y al mismo tiempo burbujearle vapor de agua para mejorar el mezclado. Finalmente esta composición se deja reposar en un tanque que al decantarse deja el aceite limpio.

f). Proceso de arrastre con vapor-arcillas. El aceite previamente deshidratado pasa a un tanque en donde es mezclado con arcillas, éstas atrapan las partículas de metales y carbón. Posteriormente en un reactor con agitación, le será inyectado al seno de la mezcla el vapor de arrastre, que deberá ser sobrecalentado, ésta operación tiene como finalidad eliminar las partes ligeras como gasolinas y partes crackeadas del aceite. Finalmente, por filtración, se obtiene el aceite básico.

II.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES METODOS.

En seguida se muestra un pequeño análisis de las ventajas y desventajas en la aplicación de cada uno de los procesos descritos en los párrafos anteriores.

a). Proceso ácido sulfúrico-arcillas. Este proceso fué - de los primeros en utilizarse y en su tiempo se consideró bueno. La calidad del producto obtenido no es satisfactoria ya que es de baja viscosidad y alto riesgo de operación. Además los materiales de construcción y el ácido sulfúrico son costosos. Los residuos consisten en una cantidad considerable de lodos ácidos, muy difíciles de manejar y desechar.

b). Proceso IFP. Debido al uso del propano en la extracción se obtiene un producto con mayor pureza y viscosidad, que en el producto que se obtiene al utilizar el método del ácido sulfúrico-arcillas, aunque el volumen de ácido sulfúrico utilizado en el proceso IFP es menor, que el que se requiere en el método anterior, el problema de los residuos lodosos ácidos continúa.

c). Destilación hidrotratada. El producto obtenido por medio de este proceso presenta buenas propiedades en cuanto a color, promedio de sólidos en suspensión y un rendimiento del procedimiento entre el 70 y el 80 %, aunque debido a que el aceite entra en contacto con el hidrógeno la viscosidad del producto se abate. Como incon-

veniente se puede mencionar el manejo del hidrógeno como materia prima lo que requiere de una instalación especial. Además de que la inversión inicial es muy elevada si la comparamos con la requerida en las opciones anteriores, debido a la necesidad de contar con torres de fraccionamiento y equipo para el tratamiento del hidrógeno residual.

d). Proceso BERC. Las ventajas que presenta este proceso son la alta viscosidad, buena apariencia y un bajo contenido de sólidos en suspensión. El rendimiento para este método es de aproximadamente 70 a 95 %. Entre las desventajas se pueden mencionar la inversión en equipo, que al igual que en el proceso destilación hidrotratada es considerable. Otra desventaja es la reposición constante de los solventes, que aunque se recupera la mayor parte siempre existen pérdidas por evaporación.

e). Proceso WFE. El rendimiento reportado para este proceso es 13 puntos por debajo del obtenido en el método BERC. Los evaporadores de película utilizados para el método WFE, son muy sofisticados y como es un proceso nuevo implica la adquisición del equipo en un paquete tecnológico por lo que su costo se eleva considerablemente. La calidad del producto obtenido por este método es similar a la obtenida en el proceso BERC.

f). Proceso de arrastre con vapor-arcillas. Este proceso nos proporciona un producto de buena apariencia, alta viscosidad, residuos no contaminantes y una eficiencia -

superior al 85%. La inversión en equipo no es tan elevada si lo comparamos con los otros procesos.

Como parámetros para la selección del proceso se — considera deseable que mediante su aplicación se obtenga:

- Un aceite básico recuperado de propiedades similares a las que tendría un aceite básico nuevo.
- Eficiencia alta.
- Inversión inicial, los costos de producción y gastos fijos, comparativamente mínimos.
- Secuencia de operaciones unitarias, sin requerimientos de equipo sofisticado.
- Subproductos no contaminantes.

De lo anterior se concluye que el proceso más indicado para la recuperación de aceite es el método de Arrastre con vapor-arcillas.

III. PROCESO DE ARRASTRE CON VAPOR-ARCILLAS PARA LA RE-
REFINACION DE ACEITES LUBRICANTES.

III.1. DESCRIPCION DEL PROCESO DE ARRASTRE CON VAPOR-ARCILLAS.

El método de arrastre con vapor-arcillas para la refinación de aceites lubricantes usados, se basa en el principio de destilación diferencial en donde se separan por arrastre con vapor sobrecalentado los compuestos volátiles, que se adicionaron al aceite lubricante durante su funcionamiento dentro de los motores de combustión interna, combustible no quemado y compuestos ligeros, formados por la modificación estructural del mismo aceite.

Por otro lado, a la temperatura en que se efectúa el arrastre con vapor, se favorece el efecto atrapante de las arcillas, sobre los materiales insolubles presentes en el aceite lubricante sucio tales como: carbón coloidal y residuos metálicos, productos de la combustión incompleta y del desgaste de los componentes metálicos del motor, respectivamente, esto con el objeto de lograr un tamaño de partícula tal, que pueda ser tratado por un medio filtrante para dejar el aceite básico con un buen grado de limpieza.

Definido en un aspecto más amplio, el proceso de refinación de aceites lubricantes usados por arrastre con vapor-arcillas implica las siguientes etapas:

RECOLECCION Y ALMACENAMIENTO.

El aceite lubricante sucio, producto de los cambios

que se efectúan en los servicios de lubricación de vehículos automotores se recolectan en tanques de 200 litros que son llevados a la planta de tratamiento, donde éste es depositado inicialmente en una cisterna. Cuando es vertido el aceite sucio a este depósito pasa inicialmente a través de una malla de regular tamaño capaz de retener partículas tales como piedras, madera o fragmentos de juntas, metales, etc.

El fondo de la cisterna está dispuesto de tal manera que se pueden sedimentar en el fondo las partículas pesadas que hayan pasado a través de la malla, posteriormente el aceite sucio es bombeado a dos tanques atmosféricos de almacenamiento con capacidad suficiente para asegurar la continuidad de producción de aceite regenerado por cinco semanas.

DESHIDRATACION.

En un tanque encaquetado con agitación continua, se eleva la temperatura del aceite sucio hasta 150 °C. Con esta operación, cuya duración es de 40 minutos, se elimina la mayor parte del contenido de agua, que se encuentra en una proporción del 2.1 % del total del aceite, saliendo de esta etapa con un nivel no superior al 0.2 %.

Posteriormente en un tanque similar se elimina la humedad remanente hasta un nivel microscópico del orden de 0.01 % a 0.005 %, por medio de un calentamiento que eleva la temperatura del aceite hasta 250 °C. Este calentamiento se lleva a cabo durante un lapso de 40 minutos.

ADICION DE ARCILLAS.

Previo a la adición de las arcillas, el aceite sucio es calentado a una temperatura que no debe exceder los 335 °C, ya que si se rebasa este límite es posible que se produzcan rompimientos en las cadenas de las fracciones de lubricante.

La mezcla de arcillas está constituida por una serie de arcillas del tipo bentonítico, que tienen los siguientes efectos:

- | | |
|-----------|---|
| 50 a 60 % | De una arcilla indicada para el tratamiento de aceites minerales usados y aceites para laminado en frío, siendo además muy adecuado para la clarificación de aceites delicados. |
| 15 a 25 % | De una arcilla altamente activada para aplicaciones de extremo rendimiento como en aceites quemados, sebo y parafinas. |
| 10 a 20 % | De una arcilla selectiva para la eliminación del azufre. |
| 3 a 8 % | De un agente secante y atrapanete de carbón. |

La adición de arcillas se lleva a cabo en un tanque similar a los anteriores, aunque de mayor volumen, con el fin de: atrapar las partículas de metales; carbón y todo tipo de impurezas sólidas; decolorar el aceite; eliminar compuestos polares, causa de la formación de carbón en -

el aceite durante su servicio; eliminar el ácido mineral formado por la oxidación del azufre. Todo ésto se lleva a cabo en setenta minutos.

ARRASTRE CON VAPOR.

En un reactor encaquetado con agitación continua - la mezcla de aceite y arcillas es sometida a un vacío entre 15 y 25 mm de Hg. Un vapor sobrecalentado a 315 °C - se inyecta a la mezcla arrastrando gasolinas, aditivos, partes ligeras del mismo aceite y trazas de agua. La mezcla de vapor sobrecalentado e impurezas que sale del reactor, pasa por un conjunto condensador-acumulador estando éste último conectado a una bomba que proporciona el vacío de operación del reactor.

La mezcla del acumulador pasa por un separador centrífugo, donde por la parte superior se eliminan los elementos ligeros, y por el fondo, el agua condensada que posteriormente pasa por un sistema de tratamiento para ser reutilizada.

FILTRACION.

Finalmente el aceite libre de fracciones ligeras -- que sale del reactor, se hace pasar por un equipo filtrante con el propósito de eliminar las arcillas que vienen de la etapa del arrastre con vapor.

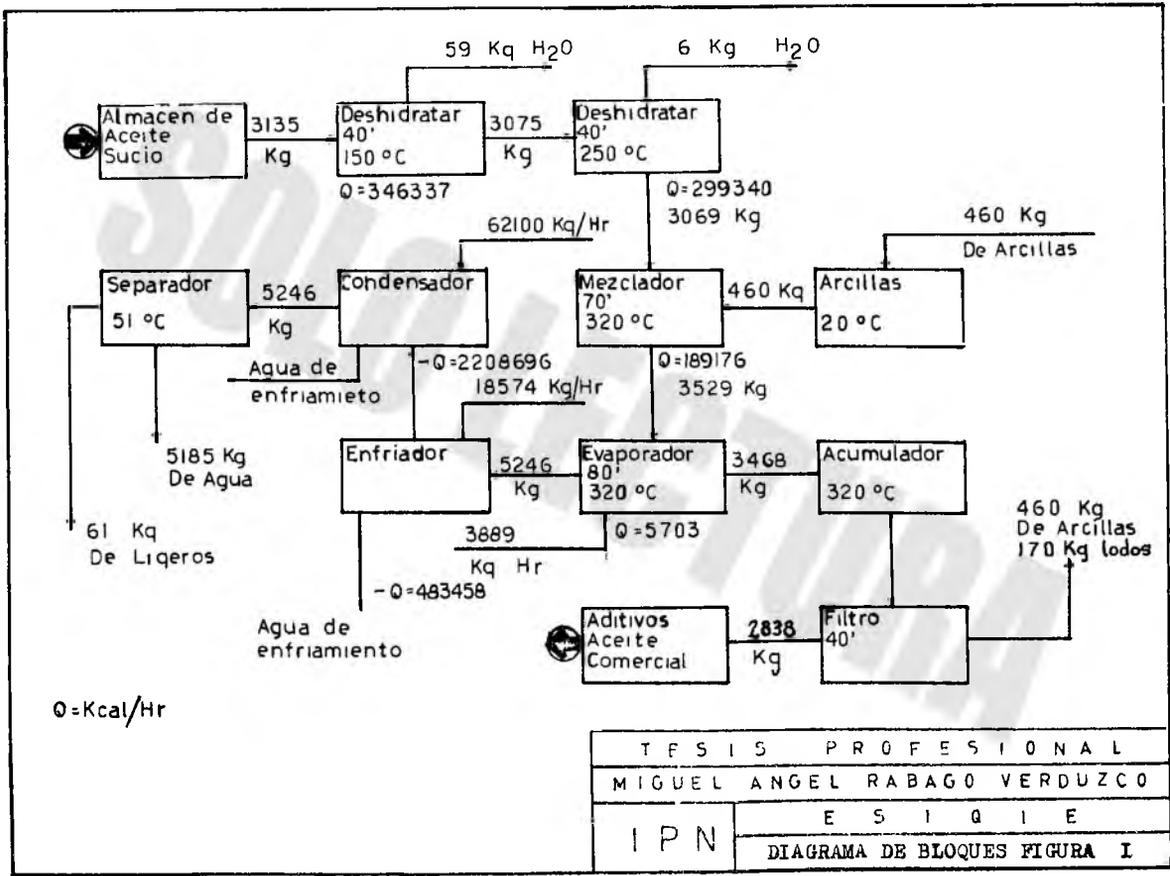
Del filtro cilíndrico de placas se obtiene el aceite básico como producto y una masa semicompacta, formada por las arcillas impregnadas de los elementos sólidos de gradantes de la calidad del aceite. Este subproducto no

es contaminante y puede ser utilizado para recubrimiento de caminos o como combustible para proporcionar energía a los sistemas de calentamiento de la planta.

INCORPORACION DE ADITIVOS.

En un tanque con agitación y una vez que el aceite ha adquirido la temperatura ambiente, se le agregan, en las proporciones necesarias, los diferentes tipos de aditivos que transformen el aceite básico obtenido en un aceite lubricante.

Por las características y propiedades de los fluidos a manejar, se hace necesario utilizar para el transporte de los mismos bombas de tipo centrífugo, de impulsor abierto o semiabierto.



III.2. DIAGRAMA DE BLOQUES

IV. DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES
DE UNA PLANTA PARA RE-REFINACION DE ACEITES LUBRICANTES.

IV.1. CAPACIDAD DE LA PLANTA.

El área metropolitana de la Ciudad de México es, por sus características, un centro de abasto ideal para la planta de re-refinación de aceites lubricantes.

Según datos estadísticos, en el área metropolitana circulan aproximadamente 2 500 000 vehículos automotores los cuales desechan en cada servicio de lubricación un promedio de 4.5 litros de aceite lubricante, sucediéndose dicho servicio de 3 a 4 veces por año.

Así, del aceite desechado un 53 % es tirado al drenaje, mientras que el restante es destinado para su venta a diferentes usos, entre los que se encuentran: la industria de la construcción, empleado para evitar la adhesión del concreto a la madera de la cimbra, o empleado en la impregnación de los postes para instalaciones telefónicas y en durmientes de ferrocarril; utilizado también en mezcla con viruta de madera para ser empleado como combustible popular.

De lo anterior se deduce que existe una oferta potencial de materia prima que permita la instalación de una planta industrial para la reutilización de aceites lubricantes.

A continuación se procede a determinar las bases para el diseño del equipo. Tomando estos datos, y considerando que todo el aceite que se tira se puede recolec-

tar, se tendría que:

$$\begin{aligned} \text{Aceite sucio disponible} \\ \text{por servicios de lubricación.} &= 2.5 \times 10^6 \times 3.5 \times 4.28 \\ &= 37.45 \times 10^6 \text{ litros/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aceite sucio desechado} \\ \text{susceptible de ser recolectado.} &= 37.45 \times 10^6 \times 0.53 \\ &= 19.849 \times 10^6 \text{ litros/año} \end{aligned}$$

Si este total de aceite disponible se considera que se puede recolectar un 33 % se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Aceite sucio recolectado} \\ \text{por procesar.} &= 19.849 \times 10^6 \times 0.33 \\ &= 6.541 \times 10^6 \text{ litros/año} \end{aligned}$$

El factor de servicio de la planta: 313 días/año con 3 turnos de 8 horas cada uno, por lo que tendremos que:

$$\begin{aligned} \text{Aceite sucio por procesar.} &= 6.541 \times 10^6 \times \frac{1}{313} \times \frac{1}{24} \\ &= 870.74 \text{ litros/hora} \\ &= 6900 \text{ litros/turno} \end{aligned}$$

IV. 2. BALANCE DE MATERIA:

Una carga de 3135.2 Kg de aceite sucio es bombeado de T-2, T-3 a R-1, en donde es sometida a la primera deshidratación llevándola de temperatura ambiente hasta 150 °C durante 40 minutos, en este paso se desprenden 59.6 - Kg de agua.

Los 3075.0 Kg de aceite semi-deshidratado salen de R-1 y son bombeados a R-2 donde el aceite es deshidratado totalmente, eliminándose 6.27 Kg de agua a una temperatura de 250 °C durante 40 minutos.

El aceite ya deshidratado, 3069.4 Kg, es transportado a R-3, R-4, en donde su temperatura es elevada a 320 °C; en estos tanques se le adicionan 400 Kg de arcillas por cada los que serán mezclados perfectamente durante 70 minutos.

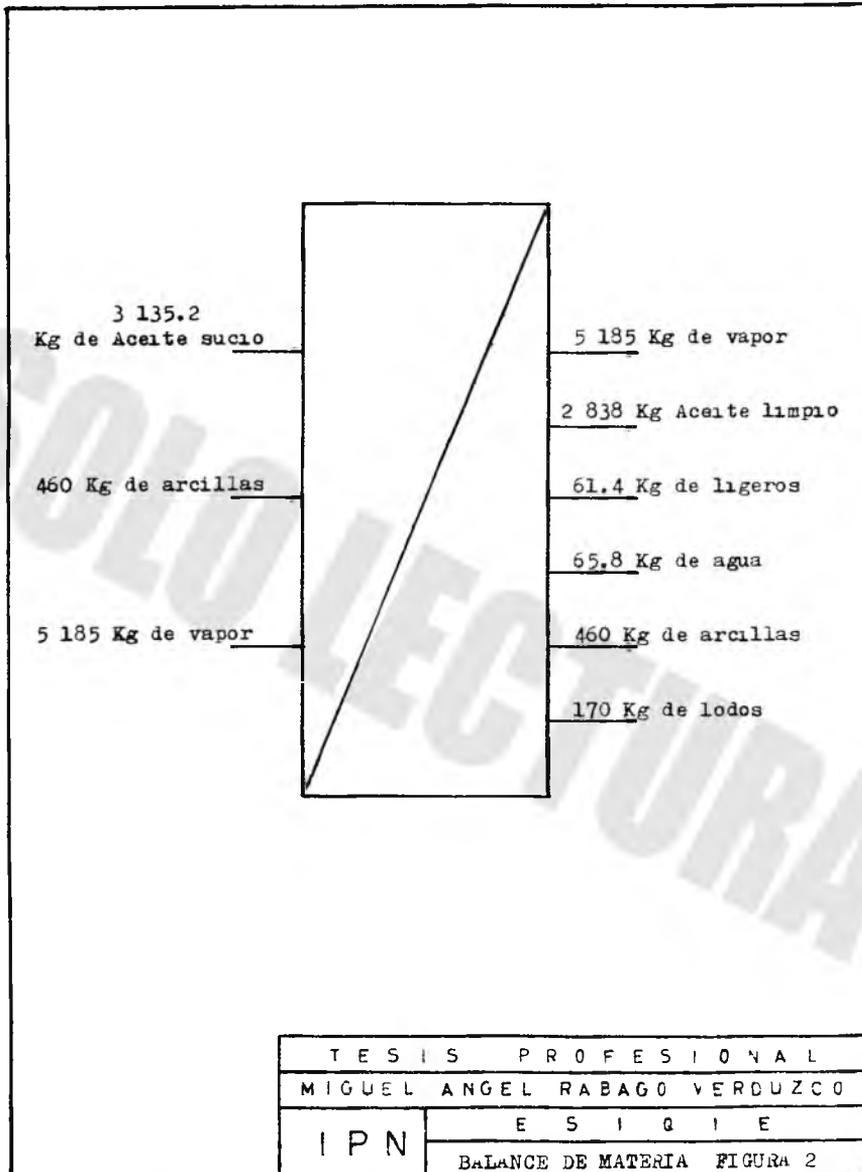
La mezcla de aceite-arcillas, 3529.4 Kg., es bombeada a R-5, R-6, en donde se conservará su temperatura de llegada, 320 °C; a una presión manométrica de 10 mm Hg se inyectarán 3889 kg/Hr de vapor sobrecalentado a 320 °C y 20 psia, que arrastrarán 61.4 Kg de ligeros por batch.

El batch de 3407.0 kg de aceite-arcillas pasa al tanque T-5 en donde se almacena y se conserva su temperatura, 320 °C, para posteriormente pasar a filtración y -

separar las arcillas del aceite.

El aceite recuperado, limpio, entra a P-6, en donde se enfriará y posteriormente se mezclará con los aditi--vos correspondientes para estar en condiciones de ser envasado.

SOLO LECTURA



IV.3 DISEÑO DEL EQUIPO PRINCIPAL.

CALCULO DE UN TANQUE CILINDRICO PARA ALMACENAMIENTO.

Como datos son necesarios:

V_r , $\%EV$, T' , E , c y f .

METODOLOGIA:

- 1) Calcular $V = \frac{V_r}{(100 - \%EV)}$
- 2) Calcular $D = \left(\frac{V}{\pi} \right)^{1/3}$
- 3) Calcular $L = \frac{4 V}{\pi D^2}$
- 4) Calcular $A = \pi DL + \frac{\pi D^2}{2}$
- 5) Calcular $S = \frac{T'}{4}$
- 6) Calcular $P_D = 2.5 P_h P$
- 7) Calcular $t = \frac{P_D D}{2 SE} + c$
- 8) Aproximar t a un t_c
- 9) Aproximar las dimensiones obtenidas a las dimensiones comerciales. -----(1)

Referencias bibliográficas:

- (1) Código API 520.

TABLA DE RESULTADOS PARA T-2 Y T-3.

Variable	Valor	Unidades
A	212.8000	Metros ²
c	0.0625	Pulgadas
D	6.7200	Metros
E	75.0000	Por ciento
EV	16.0000	Por ciento
L	6.7200	Metros
P _D	1.5120	Kg/ cm ²
S	1 194.0000	Kg/cm ²
t	0.2860	Pulgada
t _c	5/16	Pulgadas
T*	68 000.0000	Lb / pulg ²
V	238.0950	Metros ³
V _r	200.0000	Metros ³
ρ	0.3000	Ton / metro ³

CALCULO DE LAS DIMENSIONES PARA RECIPIENTES SOMERJIDOS A PRESION EXTERNA.

Como datos son necesarios:

V_L , EV.

METODOLOGIA:

1) Suponer D en metros.

2) Calcular $L_c = 0.5105819 D$

3) Calcular $V_c = L_c^3 \times 0.954$ -----(1)

4) Calcular $V_I = V_L - V_c$

5) Calcular $L_I = \frac{V_I}{0.7354 D^2}$

6) Calcular $L_L = L_c + L_I$

7) Comparar L_L con 1.5 D

8) Si $L_L \leq 1.5 D$ realizar el paso 9.

Si $L_L > 1.5 D$ regresar al paso 1.

9) Calcular $V = \frac{V_L}{1 - EV}$

10) Calcular $V_1 = V - V_c$

11) Calcular $L_1 = \frac{V_1}{0.7354 D^2}$

12) Calcular $L = L_1 + L_c$

CALCULO DEL ESPESOR DE RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESION _
EXTERNA.

En este caso todos los datos deberan estar en el sistema inglés.

Como datos son necesarios:

L, D, L_L , T_2 y ρ .

METODOLOGIA:

1) Se supone un t_c

2) Calcular $\frac{L}{D}$

3) Calcular $\frac{D}{t_c}$

4) Con la relación del paso 2 entrar, horizontalmente, _
en la figura UCS-28.1 por el lado izquierdo.-----(1)

5) Con la relación del paso 3 interseptar, verticalmente,
en la figura UCS-28.1 por la parte superior con la re
lación calculada en el paso 2. -----(1)

o) De el punto determinado en el paso 4 se corre una lí-
nea, horizontal, hasta el lado derecho de la gráfica_
UCS-28.1, para leer el valor 'B'.

7) Calcular $P_D = \frac{B}{D/t_c}$

8) Calcular $P_1 = 2.5 L_L \rho$

9) Determinar con $T_{D1} = T_2 + 20$

en la tabla de propiedades termodinámicas de Dow Therm
saturado, la P_2 . -----(2)

10) Calcular $P = P_2 - P_1$

11) Comparar

Si $P_D \geq P$ entonces el t_c supuesto es correcto.

Si $P_D < P$ entonces regresar al paso 1.

Referencias bibliográficas:

- (1) Apéndices obligatorios del ASME, sección 8, división 1, párrafo UG-28, página 137, figura UCS-28.1. Carta para determinar el espesor de la coraza para recipientes cilíndricos y esféricos bajo presión externa --- cuando se construyen de acero al carbón con una resistencia a la tensión de 24000 a 30000 psi.
- (2) Capítulo 15 de la referencia no. 18.

CALCULO DEL VOLUMEN DE LAS CHAQUETAS DE CALENTAMIENTO.

Como datos son necesarios:

D , t_c , L_c , L_I y L_i .

METODOLOGIA:

1) Calcular $D_e = D + 2t_c$

2) Se consideró conveniente un espacio para la chaqueta_ de 10 cm.

Calcular $D_{cH} = D_e + 0.2$ metros

3) Calcular $L_{cHc} = L_c + t_c + 0.1$ metros

4) Calcular $V_{cHc} = L_{cHc}^3 \times 0.954$ ----(1)

5) Calcular $L_{cHi} = L_I + 0.1$ metros

6) Calcular $V_{cHi} = 0.7854 D_{cH}^2 L_{cHi}$

7) Calcular $V_{cH}^{\&} = V_{cHi} + V_{cHc}$

8) Calcular $V_{ei} = 0.7854 D_e^2 L_i$

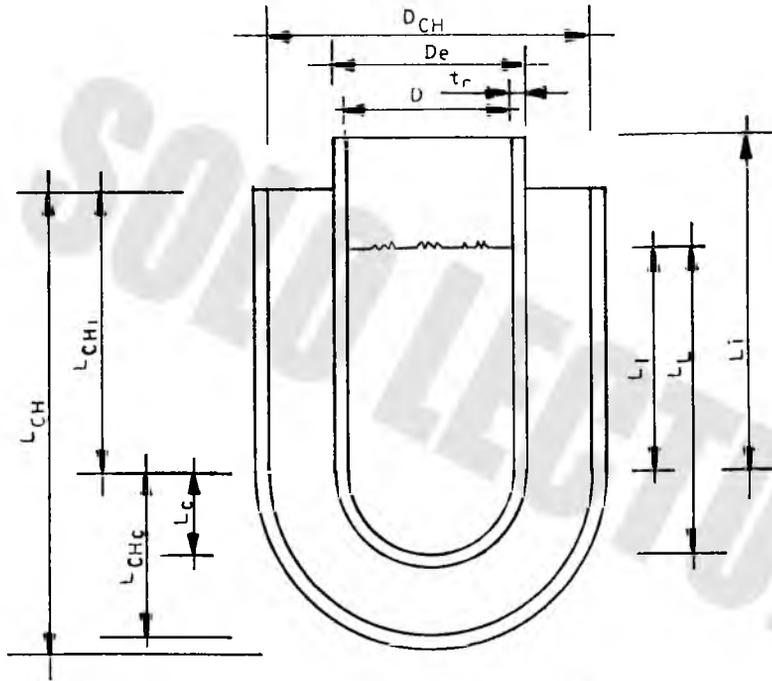
9) Calcular $V_{ce} = 0.954 (L_c + t_c)^3$ ----(1)

10) Calcular $V_e = V_{ei} + V_{ce}$

11) Calcular $V_{cH} = V_{cH}^{\&} - V_e$

Referencias bibliográficas:

- (1) Tabla A.2. Volumen de la tapa. Apéndice A, página 197 de la referencia no. 2



T E C N I C O P R O F E S I O N A L	
M I G U E L A N G E L R A B A G O V E R D U Z C O	
I P N	E S I Q U I E
	RECIPIENTES ENCHAQUETADOS FIG. 3

CALCULO DE LA POTENCIA DE AGITACION.

Como datos son necesarios:

D y N.

METODOLOGIA:

1) Escoger L° con el siguiente criterio:

$$0.3 D \leq L^{\circ} \leq 0.6 D \text{ -----(1)}$$

2) Escoger un valor de N.

3) Determinar la ρ y la μ del fluido a mezclar.

4) Calcular
$$Re = \frac{L^{\circ 2} N \rho}{\mu} \text{ -----(2)}$$

5) Con el valor de L° del paso 1, se obtiene el valor de HP en la figura 4. -----(3)

6) Calcular
$$D^{\circ} = (2000 \text{ HP})^{1/3} \text{ -----(4)}$$

Referencias bibliográficas:

- (1) Página 19.4 de la referencia no. 7
- (2) Página 1915 de la referencia no. 8
- (3) Figura Q Potencia necesaria para el mezclador de turbina. Página 1917 de la referencia no. 8
- (4) Página 26:9 de la referencia no. 8

CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISION DE CALOR.

Como datos son necesarios:

Re, T, D, L_i , D_e , t_c y μ .

METODOLOGIA:

1) Con el valor del Re se obtiene el valor de j de la figura 20.2 -----(1)

2) Con la T, se obtiene el valor de k en la figura 1-(2)

3) Determinar C_p del fluido.

4) Determinar μ_w en la figura 3-45. -----(3)

5) Calcular

$$h_j = j \left(\frac{k}{D} \right) \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \text{ -----(4)}$$

6) Determinar h_o para el fluido. -----(5)

7) Calcular

$$A_i = \pi D L_i$$

8) Calcular

$$A_c = 1.16 D^2$$

9) Calcular

$$A = A_i + A_c$$

10) Calcular

$$A_{ei} = \pi D_e L_i$$

11) Calcular

$$A_{ec} = 1.16 D_e^2$$

12) Calcular

$$A_e = A_{ei} + A_{ec}$$

13) Calcular

$$A_m = \frac{A_e + A}{2}$$

14) Calcular

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_j A_e} + \frac{1}{k A_m} + \frac{1}{h_o A}}$$

Referencias bibliográficas:

- (1) Figura 20.2 Coeficientes de transferencia de calor - para tanques enchaquetados, página 713, referencia - no. 6
- (2) Figura 1 Conductividades térmicas de hidrocarburos - líquidos, página 803, apéndice de la referencia no. 6
- (3) Figura 3-45 Viscosidades de líquidos a 1 atmósfera - página 3-213 de la referencia no. 7
- (4) Página 719 de la referencia no. 6
- (5) Página 137 sección 6 tabla 1 de la referencia no. 7

CALCULO DEL ESPESOR DE LOS AISLANTES DE LOS RECIPIENTES.

Como datos son necesarios:

$$M_i, k_i, T_A, A_B. \quad \text{-----}(1)$$

METODOLOGIA:

- 1) Suponer en $^{\circ}\text{F}$ T_E
- 2) Suponer en pulgadas e_i donde $i = 1$ a 4
- 3) Calcular $R_i = \frac{e_i / 12}{k_i A_B}$
- 4) Calcular $R = R_1 + R_2 + \dots + R_i$
- 5) Calcular $Q_2 = \frac{T_A - T_E}{R}$
- 6) Comparar $Q_2 > 100$ BTU/Hr pie² entonces realizar el paso no. 7
 $Q_2 \leq 100$ BTU/Hr pie² entonces realizar el paso no. 8
- 7) Retornar al paso no. 2 aumentando los e_i .
- 8) Comparar $Q_2 < 30$ BTU/Hr pie² entonces realizar el paso no. 9
 $Q_2 \geq 30$ BTU/Hr pie² entonces realizar el paso no. 10
- 9) Retornar al paso no. 2 disminuyendo los e_i .
- 10) Calcular $T_B = T_A - Q_2 R$

$$T_C = T_B - Q_2 R_2$$

$$T_D = T_C - Q_2 R_3$$

$$T_E = T_D - Q_2 R_4$$

Referencias bibliográficas:

- (1) Página 3-219 Tabla 3-290. Conductividades térmicas de algunos materiales de construcción y aislantes. Referencia no. 7

SOLO LECTURA

CALCULO DE LA CANTIDAD DE CALOR PARA R-1 Y R-2.

Como datos son necesarios:

A° , B° , ρ , T_2 , T_1 , m_1 y m_3 . Además el tiempo de residencia en el equipo que es de 40 minutos.

METODOLOGIA:

1) Determinar $C_p = \frac{A^{\circ}}{\rho^{1/2}} + B^{\circ}(T_2 - 15) \text{ ---(1)}$

2) Determinar λ del agua . -----(2)

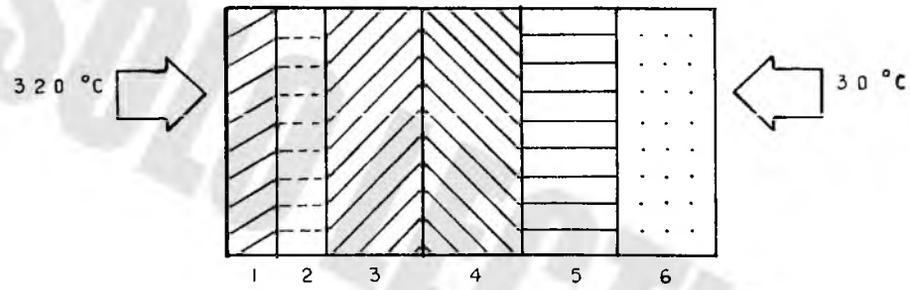
3) Determinar $\Delta T = T_2 - T_1$

4) Calcular $Q = m_1 C_p \Delta T + \lambda m_3$

5) Calcular $Q_1 = \frac{Q}{40/60}$

Referencias bibliográficas:

- (1) Tabla 3-201. Calor específico líquidos y sólidos diversos, página 3-136 de la referencia no. 7
- (2) Tablas de vapor, página 201 de la referencia no. 8



- 1) Película de aceite
- 2) Metal del recipiente
- 3) Tierra de diatomeas + asbesto + material ligante
- 4) Lana mineral
- 5) Asbesto corrugado
- 6) Cemento asbesto

ARCHIVO DE AISLANTES FIGURA 4

TABLA DE RESULTADOS PARA R-1. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
A	118.2000	Pies ²
A _B	1.0000	Pies ²
A _e	118.8000	Pies ²
A _m	118.4960	Pies ²
B	1 010.0000	Adimensional
C _p	0.5826	Kcal/Kg °C
C _{p1}	-	-
C _{p2}	-	-
D	1.6000	Metros
D'	4.8100	Centímetros
D _{CH}	1.8084	Metros
D _e	1.6064	Metros
e ₁	1.0000	Pulgadas
e ₂	0.5000	Pulgadas
e ₃	0.5000	Pulgadas
e ₄	0.5000	Pulgadas
%EV	16.0000	Adimensional
H	-	-
h _j	190.5700	BTU/Hr pie ² °F

TABLA DE RESULTADOS PARA R-1. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
h_o	1 794.8700	BTU/Hr pie ² °F
HP	22.2900	HP
j	2 367.8300	Adimensional
k	0.0690	BTU/Hrpie ² °F/pie
k_1	0.0550	BTU/Hrpie ² °F/pie
k_2	0.0850	BTU/Hrpie ² °F/pie
k_3	0.1000	BTU/Hrpie ² °F/pie
k_4	0.4300	BTU/Hrpie ² °F/pie
L	2.6200	Metros
L^o	0.5334	Metros
L_c	0.8169	Metros
L_{chi}	1.5741	Metros
L_i	1.8000	Metros
L_I	1.6664	Metros
L_L	2.2910	Metros
m	-	-
m_1	3 135.2000	Kilogramos
m_3	59.6000	Kilogramos
N	6.6700	Revol. por segundo

TABLA DE RESULTADOS PARA R-1. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
P	1.7850	Libras/pulgada ²
P ₁	6.6000	Libras/pulgada ²
P ₂	8.3850	Libras/pulgada ²
P _D	2.0040	Libras/pulgada ²
Q	230 891.0000	Kilocalorías /batch
Q ₁	346 337.0000	Kilocalorías/batch
Q ₂	86.0000	BTU/ Hr pie ²
Q ₃	-	-
Re	4.9970 x 10 ⁵	Adimensional
t _c	1/8	Pulgadas
T ₁	20.0000	°C
T ₂	150.0000	°C
T ₃	-	-
T _A	302.0000	°F
T _B	86.0000	°F
U	161.8800	BTU/Hr pie ² °F
V	4.6078	Metros ³
V _c	0.5200	Metros ³
V _{ce}	0.5264	Metros ³

TABLA DE RESULTADOS PARA R-1. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Resultado
V_{cH}	1.0660	Metros ³
$V_{cH\&}$	4.7825	Metros ³
V_{cHc}	0.7485	Metros ³
V_{cHi}	4.0340	Metros ³
V_e	3.7165	Metros ³
V_{ei}	3.1900	Metros ³
V_i	4.0878	Metros ³
V_I	3.3506	Metros ³
V_L	3.8706	Metros ³
λ	505.0000	Kilocalorías/Kg
ρ	810.0000	Kilogramo/ metro ³
μ	3.0742×10^{-3}	Kilogramo/metro seg
μ_w	0.0014	Gramo/cm segundo

TABLA DE RESULTADOS PARA R-2. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
A	118.2000	pies ²
A _B	1.0000	pies ²
A _e	119.2500	pies ²
A _m	118.7200	pies ²
B	6 000.0000	adimensional
C _p	0.6955	Kcal/Kg °C
C _{p1}	-	Kcal/Kg °C
C _{p2}	-	Kcal/Kg °C
D	1.6000	metros
D'	3.6300	centímetros
D _{CH}	1.8222	metros
D _e	1.6220	metros
e ₁	1.0000	pulgadas
e ₂	2.0000	pulgadas
e ₃	1.0000	pulgadas
e ₄	1.0000	pulgadas
e _{LV}	16.0000	adimensional
γ	-	BTU/lb
h _j	196.2130	BTU/ Hr pie ² °F

TABLA DE RESULTADOS PARA R-2. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
h_o	1 794.8700	BTU/Hrpie ² °F
HP	7.1500	HP
j	4 645.3132	adimensional
k	0.0650	BTU/Hrpie ² °F/pie
k_1	0.0550	BTU/Hrpie ² °F/pie
k_2	0.0850	BTU/Hrpie ² °F/pie
k_3	0.1000	BTU/Hrpie ² °F/pie
k_4	0.4300	BTU/Hrpie ² °F/pie
L	2.6200	Metros
L^o	0.5334	Metros
L_c	0.8169	Metros
L_{CH_1}	1.5741	Metros
L_1	1.8000	Metros
L_1	1.8226	Metros
L_L	2.2910	Metros
m	-	Kg/ Batch
m_1	3 069.4000	Kilogramos
m_3	6.2700	Kilogramos
N	5.0000	Revoluciones por segundo.

TABLA DE RESULTADOS PARA R-2. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
P	40.4000	libras/pulgada ²
P ₁	6.0000	libras/pulgada ²
P ₂	47.0000	libras/pulgada ²
P _D	41.6600	libras/pulgada ²
-	199 560.0000	kilocalorías/batch
↙ ₁	299 340.0000	kilocalorías/hora
↙ ₂	88.0000	BTU/hr pie ²
↙ ₃	-	BTU/hora
Re	1.3590 x 10 ⁶	adimensional
t _c	7/16	Pulgadas
T ₁	150.0000	°C
T ₂	250.0000	°C
T ₃	-	°C
T _A	482.0000	°F
T _E	86.0000	°F
U	144.5100	BTU/hr pie ² °F
V	4.9815	metros ³
V _c	0.5200	metros ³
V _{ce}	0.5419	metros ³

TABLA DE RESULTADOS PARA R-2. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
V_{ch}	1.0777	Metros ³
V_{ch}^{α}	4.8720	Metros ³
V_{cnc}	0.7680	Metros ³
V_{ch1}	4.1000	Metros ³
V_e	3.7943	Metros ³
V_{e1}	3.2520	Metros ³
V_{e2}	4.4615	Metros ³
V_{e3}	3.6645	Metros ³
V_L	4.1845	Metros ³
λ	543.7900	kilocalorías/kg
ρ	735.0000	Kilogramo/metro ³
μ	7.6928×10^{-4}	Kilogramo/m seg
μ_w	0.0011	Kilogramo/centímetro segundo.

CALCULO DE LA CANTIDAD DE CALOR PARA R-3 Y R-4.

Como datos son necesarios:

A° , B° , m_1 , m_2 , T_1 , T_2 , T_3 y ρ . Además el tiempo de residencia en el equipo que es de 70 minutos.

METODOLOGIA:

1) Determinar $C_{p1} = \frac{A^{\circ}}{\rho \cdot 1/2} + B^{\circ}(T_2 - 15) \text{ ---(1)}$

2) Calcular $\Delta T_1 = T_2 - T_1$

3) Determinar $C_{p2} \text{ ---(1)}$

4) Calcular $\Delta T_2 = T_2 - T_3$

5) Calcular $Q = m_1 C_{p1} \Delta T_1 + m_2 C_{p2} \Delta T_2$

6) Calcular $\tau_1 = \frac{Q}{70/60}$

Referencias bibliográficas.

(1) Tabla 3-201. Calor específico líquidos y sólidos diversos, página 3-136 de la referencia no.7

TABLA DE RESULTADOS PARA R-3 Y R-4. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
A	134.4900	Pies ²
A _B	1.0000	Pies ²
A _e	138.8400	Pies ²
A _m	136.0700	Pies ²
B	7 300.0000	Adimensional
C _p	0.6955	Kcal/Kg °C
C _{p1}	0.7366	Kcal/Kg °C
C _{p2}	0.2240	Kcal/Kg °C
D	1.8000	Metros
D'	3.5400	Centímetros
D _{CH}	2.0440	Metros
D _e	1.8440	Metros
e ₁	2.0000	Pulgadas
e ₂	1.0000	Pulgadas
e ₃	1.5000	Pulgadas
e ₄	0.5000	Pulgadas
% EV	16.0000	Adimensional
H	-	-
h _J	237.0800	BTU/ Hr pie ² °F

TABLA DE RESULTADOS PARA R-3 Y R-4. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
h_o	1 794.8700	BTU/Hr pie ² °F
HP	1.7500	HP
j	1 311.6800	Adimensional
k	0.8040	BTU/Hr pie ² °F/pie
k_1	0.0550	BTU/Hr pie ² °F/pie
k_2	0.0850	BTU/Hr pie ² °F/pie
k_3	0.1000	BTU/Hr pie ² °F/pie
k_4	0.4300	BTU/Hr pie ² °F/pie
L	2.6600	Metros
L^o	0.5400	Metros
L_c	0.9190	Metros
L_{chi}	1.5890	Metros
L_1	1.7400	Metros
L_I	1.4544	Metros
L_L	2.3700	Metros
m	-	-
m_1	3 069.4000	Kilogramos
m_3	-	-
N	1.3333	revoluc.por segundo

TABLA DE RESULTADOS PARA R-3 Y R-4. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
P	77.2900	Libras/pulgada ²
P ₁	5.7900	Libras/pulgada ²
P ₂	83.0950	Libras/pulgada ²
P _D	90.1000	Libras/pulgada ²
Q	220 705.0000	Kilocal/Batch
Q ₁	189 176.0000	Kilocal/Hora
Q ₂	96.3300	BTU/ Hr pie ²
Q ₃	-	-
Re	2.0788 x 10 ⁵	Adimensional
t _c	7/8	Pulgadas
T ₁	250.0000	°C
T ₂	320.0000	°C
T ₃	20.0000	°C
T _A	608.0000	°F
T _E	86.0000	°F
U	135.4900	BTU/Hr pie ² °F
V	5.1640	Metros ³
V _c	0.7400	Metros ³
V _{ce}	0.7967	Metros ³

TABLA DE RESULTADOS PARA R-3 Y R-4. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
v_{ch}	1.2320	Metros ³
$v_{ch\&}$	6.1567	Metros ³
v_{chc}	1.0850	Metros ³
v_{chi}	5.0717	Metros ³
v_e	4.9246	Metros ³
v_{ei}	4.1279	Metros ³
v_i	4.4240	Metros ³
v_I	3.7010	Metros ³
v_L	4.4410	Metros ³
λ	-	-
ρ	686.9800	Kilogramo/metro ³
μ	1.3100×10^{-3}	Kilogramo/ m seg
μ_w	1.0700×10^{-3}	Gramo/ cm segundo

TABLA DE RESULTADOS PARA T-5. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
A	-	Pies ²
A _B	1.0000	Pies ²
A _e	-	-
A _m	152.5200	Pies ²
B	7 800.0000	Adimensional
C _p	0.5882	Kcal/Kg °C
C _{p1}	-	-
C _{p2}	-	-
D	2.2000	Metros
D'	3.0290	Centímetros
D _{CH}	2.4635	Metros
D _e	2.2635	Metros
e ₁	2.0000	Pulgadas
e ₂	1.0000	Pulgadas
e ₃	1.5000	Pulgadas
e ₄	0.5000	Pulgadas
EV	16.0000	Adimensional
H	1 339.7100	BTU/libra
h _j	60.5273	BTU/ Hr pie ² °F

TABLA DE RESULTADOS PARA T-5. FIGURA 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
h_o	1 794.8700	BTU/Hr pie ² °F
HP	5.0000	HP
j	15 707.9300	Adimensional
k	0.0774	BTU/Hr pie ² °F
k_1	0.0550	BTU/Hr pie ² °F
k_2	0.0850	BTU/Hr pie ² °F
k_3	0.1000	BTU/Hr pie ² °F
k_4	0.4300	BTU/Hr pie ² °F
L	3.1400	Metros
L^o	1.1150	Metros
L_c	1.1200	Metros
L_{chi}	1.2578	Metros
L_i	2.0150	Metros
L_I	1.6397	Metros
L_L	2.2760	Metros
m	5 185.3800	Kg/Batch
m_1	-	-
m_3	-	-
N	6.0000	Revol. por segundo

TABLA DE RESULTADOS PARA T-5. FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
P	101.2100	Libras/pulgada ²
P ₁	6.7430	Libras/pulgada ²
P ₂	107.9530	Libras/pulgada ²
P _D	112.4800	Libras/pulgada ²
Q	3 852 739.0000	Kilocal/ Batch
Q ₁	2 889 554.0000	Kilocal/ Batch
Q ₂	96.3300	BTU/ Hr pie ²
Q ₃	14 692.6900	BTU/ Hr
Re	8.2999 x 10 ⁶	Adimensional
t _c	1 1/4	Pulgadas
T ₁	-	-
T ₂	-	-
T ₃	-	-
T _A	608.0000	°F
T _E	86.0000	°F
U	53.5530	BTU/Hr pie ² °F
V	9.0156	Metros ³
V _c	1.3400	Metros ³
V _{ce}	1.4726	Metros ³

TABLA DE RESULTADOS PARA T-5 . FIGURAS 3 Y 4.

Variable	Valor	Unidades
V_{cH}	2.3850	Metros ³
$V_{cH\&}$	10.1920	Metros ³
V_{cHc}	1.3985	Metros ³
V_{cHi}	8.2936	Metros ³
V_e	7.8063	Metros ³
V_{ei}	6.3337	Metros ³
V_i	7.6757	Metros ³
V_I	6.2332	Metros ³
V_L	7.5732	Metros ³
λ	-	-
ρ	645.4000	Kilogramo/metro ³
μ	5.8080×10^{-4}	Kilogramo/ n seg
μ_w	8.3000×10^{-4}	Gramo/ cm segundo

SIMBOLOGIA EMPLEADA.

A	Area total del recipiente por el interior. pies ² .
A ^o	Factores para calcular los Cp. adimensional.
A _B	Area de 1 pie ² como base de cálculo para los espesores de aislantes. pies ² .
A _c	Area de la tapa. pies ² .
A _e	Area total del recipiente por el exterior, pies ² .
A _{ec}	Area total de la tapa por el exterior, pies ² .
A _{ei}	Area total del cuerpo cilíndrico por el exterior del recipiente. pies ² .
A _i	Area total del cuerpo cilíndrico. pies ² .
A _m	Area promedio del recipiente. pies ² .
B	Factor de diseño que es función de P, D y t _c . adimensional.
B ^o	Factor para calcular los Cp. adimensional.
c	Factor de corrosión. pulgadas.
Cp	Calor específico del contenido del recipiente. -- Kcal/ Kg ^o C.
Cp ₁	Capacidad calorífica del aceite sucio. Kcal/Kg ^o C.
Cp ₂	Capacidad calorífica de las arcillas. Kcal/Kg ^o C.
D	Diámetro interior del recipiente. metros.
D'	Diámetro de la flecha. centímetros.
D _{ch}	Diámetro interior de la chaqueta. metros.
D _e	Diámetro exterior del recipiente. metros.
E	Porcentaje de eficiencia de la soldadura. adimensional.

e_i	Espesor del aislante. pulgadas.
$\%EV$	Porcentaje de espacio vapor. adimensional.
H	Entalpía del vapor de agua. Kcal/kg.
h_j	Coefficiente de transferencia de calor de película interior. BTU/Hr pie ² °F.
h_o	Coefficiente de transferencia de calor de película exterior. BTU/Hr pie ² °F.
HP	Potencia del agitador. caballos de potencia.
J	Factor de transferencia de calor de Sieder. adimensional.
k	Conductividad térmica. BTU/ Hr pie ² (°F/pie).
k_1	Conductividad térmica del aislante. BTU/Hrpie ² °F/ pie)
L	Altura total del recipiente. metros.
L^o	Diámetro de la turbina del agitador. metros.
L_c	Altura del fondo heliédrico del recipiente. metros.
L_{cHc}	Altura del fondo heliédrico de la chaqueta. metros.
L_{cH1}	Altura total del cuerpo cilíndrico de la chaqueta. metros.
L_i	Altura total del cuerpo cilíndrico. metros.
L_L	Altura de líquido en el cuerpo cilíndrico. metros.
L_L	Altura total de líquido. metros.
m	Cantidad de vapor de agua sobrecalentado. kg/batch
m_1	Cantidad de aceite sucio a tratar. Kg.
m_2	Cantidad de arcillas a adicionar. Kg.
m_3	Cantidad de agua a evaporar. Kg.

M_1	tipo de material aislante. i va de 1 a 4.
N	Velocidad del agitador. revoluciones por segundo.
P	Presión de trabajo. lb/pulg ² .
P_1	Presión interior de trabajo. lb/pulg ² .
P_2	Presión exterior de trabajo o sea la presión de vapor del Dow therm. lb/pulg ² .
P_D	Presión de diseño máxima. lb/pulg ² .
P_h	Presión hidrostática igual a la altura total del líquido (L_L). lb/pulg ² .
P_m	Presión manométrica de trabajo en R-5 y R-6. lb/pulg ² .
Q	Cantidad de calor. Kcal/batch.
Q_1	Cantidad de calor a suministrar. Kcal/Hr.
Q_2	Cantidad de calor por unidad de área. Btu/Hr pie ² .
Q_3	Cantidad de calor que escapa por radiación. BTU/Hr.
R_e	Número de Reynolds modificado. adimensional.
R_1	resistencia parcial al paso del calor. Hr ^o F/BTU.
S	Esfuerzo a la tensión del material. Kg/cm ² .
t	Espesor del recipiente. pulgadas.
t_c	Espesor comercial del recipiente. pulgadas.
T'	Tensión límite del material. Kg/cm ² .
T_1	Temperatura a la que entra el aceite sucio. °C.
T_2	Temperatura final del fluido. °C.
T_3	Temperatura de entrada de las arcillas. °C.

T_4	Temperatura de entrada del vapor. °F.
T_{1P}	Temperatura interior de la pared del evaporador. °F.
T_{2P}	Temperatura exterior de la pared del evaporador. °F.
T_A	Temperatura interior de la capa de aislantes. °F.
T_E	Temperatura exterior de la capa de aislantes. °F.
T_{DI}	Temperatura a la que entra el Dow therm. °C.
TR	Tiempo de residencia. minutos
U	Coefficiente global de transmisión de calor. BTU/_ Hr pie ² °F.
V	Volumen de diseño total del recipiente. metros ³ .
V_c	Volumen del fondo helíptico del recipiente. m ³ .
V_{ce}	Volumen del fondo helíptico del recipiente consi- derando su espesor. metros ³ .
V_{cH}	Volumen anular total de la chaqueta. metros ³ .
V_{cH^*}	Volumen total de la chaqueta. metros ³ .
V_{cHc}	Volumen del fondo helíptico del recipiente. m ³ .
V_{cHi}	Volumen total del cuerpo cilíndrico de la chaqueta. metros ³ .
V_e	Volumen total del recipiente considerando el volu- men del espesor. metros ³ .
V_{ei}	Volumen total del cuerpo cilíndrico del recipient- te empleando el diámetro exterior. metros ³ .
V_i	Volumen total del cuerpo cilíndrico. metros ³ .
V_I	Volumen de líquido en el cuerpo cilíndrico. m ³ .

V_L	Volumen total de líquido. metros ³ .
V_r	Volumen real. metros ³ .
λ	Calor latente del agua. Kcal/Kg.
ρ	Densidad del fluido. Kg/metro ³ .
ΣR_i	Resistencia total al paso del calor, igual a R. - Hr °F/ BTU.
μ	Viscosidad del fluido. Kg/m seg.
μ_w	Viscosidad del agua. g/cm seg.
ΔT	Incremento de temperatura. °C.

BALANCE DE ENERGIA PARA LA CONDENSACION DEL VAPOR DE A--
RRASTRE. C-1

Cantidad de calor que habrá que retirar al vapor so
bre calentado hasta llevarlo a líquido sub enfriado:

$$Q = m C_p \Delta T + m \lambda + m C_p \Delta T''$$

$$Q = m C_p (T_3 - T_4) + m \lambda + m C_p' (T_1 - T_2)$$

Al entrar el vapor de agua al reactor, habrá un cam
bio en la presión variando de 20 psia a 1.93 psia, 100 -
mm de Hg, por lo que habrá un cambio de estado en donde_
el calor es constante, cambio adiabático, y habrá una --
disminución en la temperatura del vapor como se demues--
tra en seguida.

$$H_1 = \text{Entalpía del vapor sobre calentado} = 1\,339.71 \text{ BTU/lb a } 610.1 \text{ }^\circ\text{F y } 20 \text{ psia.}$$

$$H_2 = \text{Entalpía del vapor sobre calentado a } 100 \text{ mm Hg}$$

$$H_1 = H_2$$

Con la H_2 se busca la temperatura correspondiente -
que será de :

$$T_2 = 608 \text{ }^\circ\text{F} = 320 \text{ }^\circ\text{C}$$

Sabemos que: $Q = m H_2$ sustituyendo valores

$$m = 3889.03 \text{ kg/Hr entonces } Q = 2\,392\,003.1 \text{ kcal/hr}$$

ENFRIADOR C-1

BALANCE DE CALOR:

1) Determinar C_p del vapor a T_3 y T_4 promedio.

2) Calcular $\Delta T = T_3 - T_4$

3) Con m calcular $Q = m C_p \Delta T$

4) Determinar C_p del agua líquida a T_5 y T_6 promedio.

5) Calcular $\Delta T' = T_6 - T_5$

6) Calcular $w = \frac{Q}{C_{p1} \Delta T'}$

CALCULO TERMODINAMICO:

1) Determinar U_{D2} y U_{D1} -----(10)

2) Calcular $\Delta T_1 = T_4 - T_6$

$$\Delta T_2 = T_3 - T_5$$

3) Calcular $\Delta T_L = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$

4) Calcular $A = \frac{Q}{U_{D1} \Delta T_1}$

5) Escoger un OD (tubing) y con el espesor BWG se leen los siguientes datos:

$$a_t ; A_p ; ID . \text{ -----(11)}$$

6) Determinar L y calcular

$$N_T = \frac{A}{A_T L}$$

7) Con OD y tipo de arreglo de la tubería (Pt) se busca un N_{TL} que se acerque al valor de N_T .

Comparar $N_{TL} > N_T$
 Determinar $D_c ; n ; NPC$. -----(12)

8) Calcular $A_D = N_{TL} \mu_T L$

9) Calcular $\frac{A_D}{A}$

Si $\frac{A_D}{A} < 1.15$ pasar a paso no. 10

Si $\frac{A_D}{A} > 1.15$ pasar a paso no. 5

10) Calcular $U_{DL} = \frac{Q}{A_D \Delta T_L}$

11) Calcular $G' = P_t - OD$

12) Determinar B con el siguiente criterio:

$$\frac{D_c}{5} \leq B \leq D_c$$

13) Calcular $a_s = \frac{D_c G' B}{144 P_t}$ -----(1)

14) Calcular $G_s = \frac{w}{a_s}$ -----(2)

15) Calcular $G'' = \frac{w}{L N_{TL}^{2/3}}$ -----(3)

16) Con G'' , μ , k , sf , se busca h_c a la ΔT_L . -----(13)

17) Calcular
$$a'_t = \frac{N_{T1} a_t}{144 n} \quad \text{-----(4)}$$

18) Calcular
$$G_T = \frac{w_l}{a'_t}$$

19) Calcular
$$V = \frac{G_T}{3600 \rho}$$

20) Con valor de V se obtiene h_1 ---(14)

21) Calcular
$$U_c = \frac{h_c h_1}{h_c + h_i}$$

22) Calcular
$$R_d = \frac{U_c - U_{D1}}{U_c \times U_{D1}}$$

23) Si $R_d >$ Factor de ensuciamiento de la U_{D2} de bibliografía entonces realizar el paso no. 23.

Si $R_d <$ Factor de ensuciamiento de la U_{D2} de bibliografía entonces el área calculada está sobre diseñada y se tendrá que suponer otro arreglo de tubos, mamparas, longitud de tubos y regresar al paso no. 5.

CAIDAS DE PRESION POR LA CORAZA.

24) Calcular
$$D_e = \frac{4 a_t}{3.1416 ID} \quad \text{-----(5)}$$

25) Calcular
$$Re_s = \frac{D_e G_s}{\mu} \quad \text{-----(6)}$$

26) Con Re_s se obtiene f. ----(15)

27) Calcular
$$N = \frac{L}{D_c}$$

28) Calcular
$$\Delta P = \frac{1}{2} \frac{f G_s^2 D_c (N + 1)}{25.22 \times 10^{10} D_e sf} \quad \text{-----(7)}$$

- 29) Si $\Delta P < 2.0$ psi máximo entonces calcular paso no. 30
 Si $\Delta P > 2.0$ psi entonces regresar al paso no. 5

CAIDA DE PRESION POR EL LADO DE LOS TUBOS.

30) Calcular
$$Re_f = \frac{ID G_f}{\mu_w}$$

31) Con Re_f determinar f' -----(16)

32) Calcular
$$\Delta P_t = \frac{f' G_T^2 L n}{5.22 \times 10^{10} ID s \phi_t} \quad (8)$$

33) Calcular
$$\Delta P_r = \frac{4 n v^2}{s 2 g'} \quad \text{-----}(9)$$

34) Calcular
$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r$$

35) Si $\Delta P_T < 5$ psi entonces el cálculo del área se con
sidera aceptable.

Si $\Delta P_T > 5$ psi entonces regresar al paso no. 5

Referencias Bibliográficas.

- (1) Ecuación 7.1 referencia no. 5
- (2) Ecuación 7.2 referencia no. 5
- (3) Ecuación 12.43 referencia no. 6
- (4) Ecuación 7.48 referencia no. 5
- (5) Gráfica no. 28 página 838 referencia no. 6
- (6) Ecuación no. 7.3 referencia no. 5
- (7) Ecuación 12.47 referencia no. 5
- (8) Ecuación 7.45 referencia no. 5
- (9) Ecuación 7.46 referencia no. 5
- (10) Tabla 8 Página 840 referencia no. 6
- (11) Tabla 11-2 página 11-12 referencia no. 7

- (12) Tabla 11-3 referencia no. 7
- (13) página 267 referencia no. 6
- (14) figura 25 página 835 referencia no. 6
- (15) figura 29 página 839 referencia no. 6
- (16) figura 20 página 836 referencia no. 6

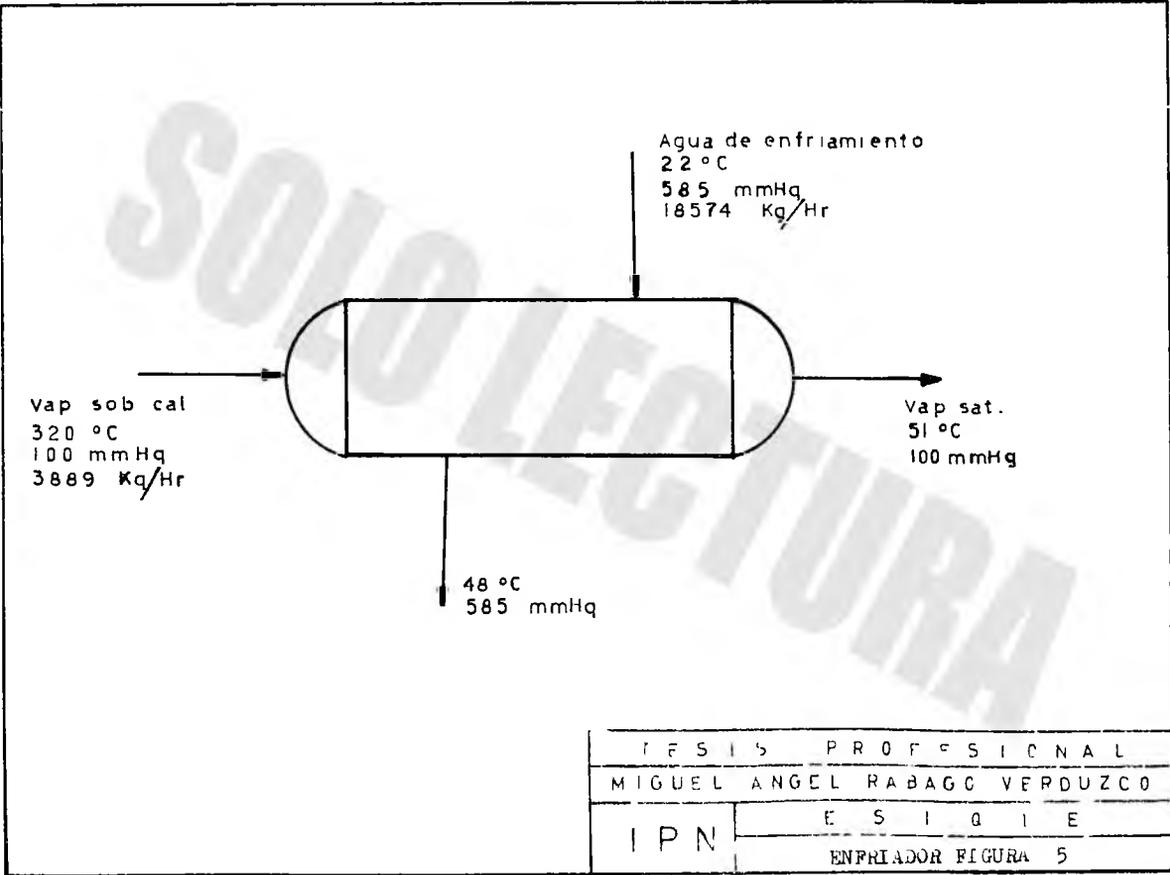
SOLO LECTURA

TABLA DE RESULTADOS PARA C-1 . FIGURAS 4 Y 5.

Variable	Valor	Unidades
A_D	45.8080	Pies ²
a_t	0.2035	Pulgadas ² /tubo
A_T	0.1636	Pie ² /pie
B	12.0000	Pulgadas
BWG	17	-
C_p	0.4627	Kcal/Kg °C
C_{p1}	1.0000	Kcal/Kg °C
D_c	12.0000	Pulgadas
g'	32.2000	Pies/seg ²
h_c	495.0000	BTU/Hr pie ² °F
h_i	1 120.0000	BTU/Hr pie ² °F
ID	0.5090	Pulgadas
k	0.3806	BTU/Hr pie ² °F/pie
L	2.5000	Pies
m	3 889.0350	Kilogramos/hora
N_{T1}	112.0000	Tubos
NPC	1	Paso
n	4	Pasos
OD	5/8	Pulgada

TABLA DE RESULTADOS PARA C-1. FIGURAS 4 Y 5.

Variable	Valor	Unidades
Pt	13/16	Pulgadas
Q	-433 458.4000	Kilo calorías/hora
R _d	0.0017	-
s	1.0000	-
s _f	0.0030	-
T ₃	51.3200	°C
T ₄	320.0000	°C
T ₅	22.2200	°C
T ₆	48.8800	°C
U _{DL}	1 047.5300	Kcal/Hr metro ² °C
U _c	343.2800	BTU/Hr pie ² °F
w	8 566.1500	libras/Hora
w ₁	40 957.2700	libras/Hora
ΔT _L	108.4400	°C
ΔP	0.0961	Psi
ΔP _t	1.0645	Psi
ΔP _r	2.3100	Psi
ΔP _T	3.3700	Psi
μ	0.0123	Centi poises
ρ	61.9900	libras/pie ³



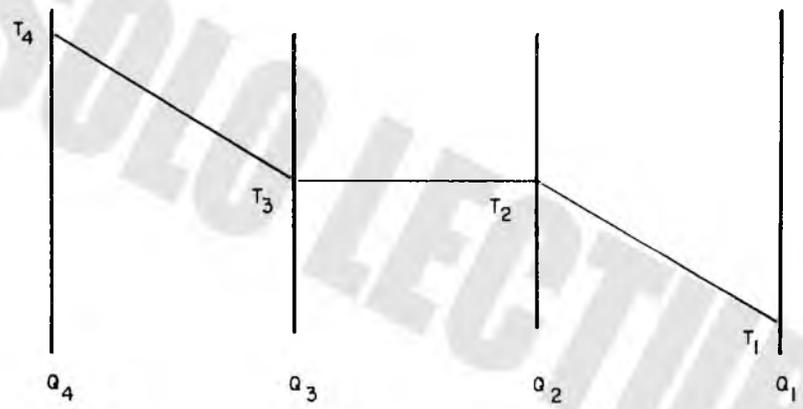
TESIS PROFESIONAL	
MIGUEL ANGEL RABAGO VERDUZCO	
IPN	E S I G I E
	ENFRIADOR FIGURA 5

SIMBOLOGIA EMPLEADA:

A	Area de transferencia de calor teórica. pie ² .
A _D	Area de diseño real. pie ² .
a _S	Area de flujo. pies ² .
a _t	Area transversal por tubo. pulg ² /tubo.
a _t '	Area de flujo por el lado de los tubos. pies ² .
A _T	area exterior. pie ² /pie.
B	Distancia entre baffles. pie.
BWG	Espesor de tubería de transferencia de calor.
Cp	Capacidad calorífica del vapor al promedio de T ₃ y T ₄ a 100 mm de Hg. Kcal/Kg °C.
Cp ₁	Capacidad calorífica del agua de enfriamiento al promedio de T ₅ y T ₆ . Kcal/Kg °C.
D _C	Diámetro de la coraza. pie.
D _e	Diámetro equivalente de la coraza. pie.
C'	Espacio libre entre tubos.
f	Factor de fricción por la coraza.
f'	Factor de fricción por los tubos.
G''	Masa velocidad de condensación para tubos horizontales por el lado de la coraza. lb/hr pie.
g'	Aceleración de la gravedad. pie/seg ² .
G _S	Masa velocidad por el lado de la coraza. lb/hr pie ²
G _T	Masa velocidad por el lado de los tubos. lb/hr pie ²
h _c	Coefficiente de película lado de la coraza. BTU/hr pie ² °F.

h_i	Coefficiente de película lado de los tubos. BTU/hr pie ² °F.
ID	Diámetro interior de la tubería. pulgadas.
k	Conductividad térmica del vapor a ΔT_L . BTU/hr -- pie ² °F/pie.
L	Longitud del haz de tubos. pie.
m	Gasto de vapor a enfriar. Kg/hr.
N_T	Número de tubos.
N_{TL}	Número de tubos real.
NPC	Número de pasos por la coraza.
N	Número de mamparas.
n	Número de pasos por los tubos.
OD	Diámetro exterior de la tubería. pulgadas.
P_t	Pitch espacio entre centro y centro de tubo a tu bo. pulgadas.
Q	Calor que hay que retirar del vapor sobrecalentado para pasarlo a vapor saturado. Kcal/Hr.
R_d	Factor de ensuciamiento.
Re_f	Reynolds por lado de tubos.
Re_s	Reynolds por lado de la coraza.
s	Gravedad específica del agua líquida.
s_f	Gravedad específica del vapor a ΔT_L .
T_3	Temperatura a la que hay que enfriar el vapor. °C.
T_4	Temperatura del vapor. °C.
T_5	Temperatura de entrada de agua de enfriamiento, - se toma la temperatura de bulbo húmedo en el área metropolitana. °C.

T_6	Temperatura de salida del agua de enfriamiento y se toma la temperatura máxima del agua para poderla retornar a una torre de enfriamiento. °C.
U_{D1}	Coefficiente global de transferencia de calor corregido. Kcal/hr m ² °C.
U_{D2}	Rango del coeficiente global de transferencia de calor bibliográfico. Kcal/Hr m ² °C.
U_c	Coefficiente global de transferencia de calor limpio. Kcal/hr m ² °C.
V	Velocidad del agua dentro de los tubos. pie/seg.
w	Gasto vapor. lb/hr.
w_1	Gasto de agua de enfriamiento. lb/hr.
ΔT_L	Temperatura media logarítmica. °C.
ΔP	Caída de presión por la coraza. psi.
ΔP_t	Caída de presión originada por el haz de tubos. psi
ΔP_r	Caída de presión originada por retornos en el haz de tubos. psi.
ΔP_T	Caída de presión total por el lado de los tubos. psi.
ϕ_t	Relación de viscosidades del agua = 1.0
μ	Viscosidad del vapor a ΔT_L . centipoises.
μ_w	Viscosidad del agua de enfriamiento. centipoises.
ρ	Densidad del agua de enfriamiento. lb/pie ³ .



T E S I S P R O F E S I O N A L	
M I G U E L A N G E L P A B A G O V E R D U Z C O	
E S : Q I E	
I P N	DIAGRAMAS DE CALOR FIGURA 6

CONDENSADOR C-2

BALANCE DE CALOR:

1) Determinar λ a temperatura de condensación y a la presión.

2) Con w calcular $q_3 = w\lambda$

CALCULO TERMODINAMICO:

1) Determinar C_{cl} , C_T , C_1 , C_t y V_1 . -----(8)

2) Calcular $U_{D2} = C_{cl} C_T C_1 C_t \sqrt{V_1}$ --(9)

3) Suponer OD, BWG, L y P_t entonces determinar a'' , a'_t , n. ---- (10)

4) Con T_s y t_1 calcular

$$t_2 = T_s - \frac{T_s - t_1}{\text{antilog}(0.000279 U_{D2} L n a'') / (V_1 a'_t)}$$

5) Calcular $G_o = \frac{q_3}{(t_2 - t_1) 500}$ ----(11)

6) Se supone w' para el caso vapor de agua-agua.

7) Calcular $A = \frac{w}{w'}$

8) Calcular $A' = a'' L$

9) Calcular $N_T = \frac{A}{A'}$

10) Con N_T y datos del paso 3 determinar NT'

11) Calcular $A_D = NT' a'' L$

12) Calcular $\frac{A_D}{A}$

Si $\frac{A_D}{A} < 1.15$ calcular 13

Si $\frac{A_D}{A} > 1.15$ suponer otro arreglo de pitch

CALCULO DE LAS CAIDAS DE PRESION

13) Lado de los tubos máximo permisible = 5 psi

Lado de la coraza máxima permisible = 2 psi

LADO DE LA CORAZA

14) Calcular $C' = OD - P_t$

15) Determinar B con el siguiente criterio:

$$\frac{D_{cl}}{5} \leq B \leq D_{cl}$$

16) Calcular $a_s = \frac{D_{cl} C' B}{144 P_t}$ -----(1)

17) Calcular $G_s = \frac{w}{a_s}$ -----(2)

18) Determinar con P_t y OD el D_e -----(4)

19) Determinar μ a 124.37 °F del vapor

20) Calcular $Re_s = \frac{D_e G_s}{\mu}$ -----(5)

21) Con Re_s determinar f -----(6)

22) Calcular $(N + 1) = \frac{12 L}{B}$

23) Determinar s del vapor

24) Calcular $\Delta P_s = 0.5 \frac{f G_s^2 D_e (N + 1)}{5.22 \times 10^{10} D_e s}$

- 25) Si $\Delta P_s < 2$ psi el valor del área es bueno
 Si $\Delta P_s > 2$ psi regresar al paso 3 y suponer otros valores.

LEUDO DE LOS TUBOS.

- 26) Calcular
$$G_t = \frac{Q_2}{1 (t_2 - t_1)}$$
- 27) Calcular
$$V_2 = \frac{G_t}{3600 \rho}$$
- 28) Calcular
$$\Delta P_1 = \frac{0.0067 V_2^{1.84}}{d^{1.16}} \quad \text{---(13)}$$

- 29) Si $\Delta P_1 < 5$ psi el cálculo se considera bueno y el área es la correcta.

Si $\Delta P_1 > 5$ psi se debe repetir el cálculo de de el -
 paso 3

Referencias bibliográficas:

- (1) Ecuación 7.1 referencia no. 6
- (2) Ecuación 7.2 referencia no. 6
- (4) Figura 28 página 833 referencia no. 6
- (5) Ecuación 7.3 referencia no. 6
- (6) Figura 29 página 839 referencia no. 6
- (7) Ecuación 12.47 referencia no. 6
- (8) Tabla 12.23 página 306 referencia no. 6
- (9) Ecuación 12.55 página 307 referencia no. 6
- (10) Tabla 11-2 página 11-12 referencia no. 7
- (11) Ecuación 12.59 página 303 referencia no. 6
- (12) Ecuación 12.57 referencia no. 6
- (13) Ecuación 12.50 referencia no. 6

Al salir el líquido saturado del condensador C-2, para llevarlo a líquido subenfriado, se bombeará a un recipiente a presión atmosférica, al realizar este cambio de presión de 100 mm de Hg a 585 mm de Hg se llevará a cabo un proceso a temperatura constante ya que el agua líquida es casi incompresible y el desprendimiento de calor será igual a cero.

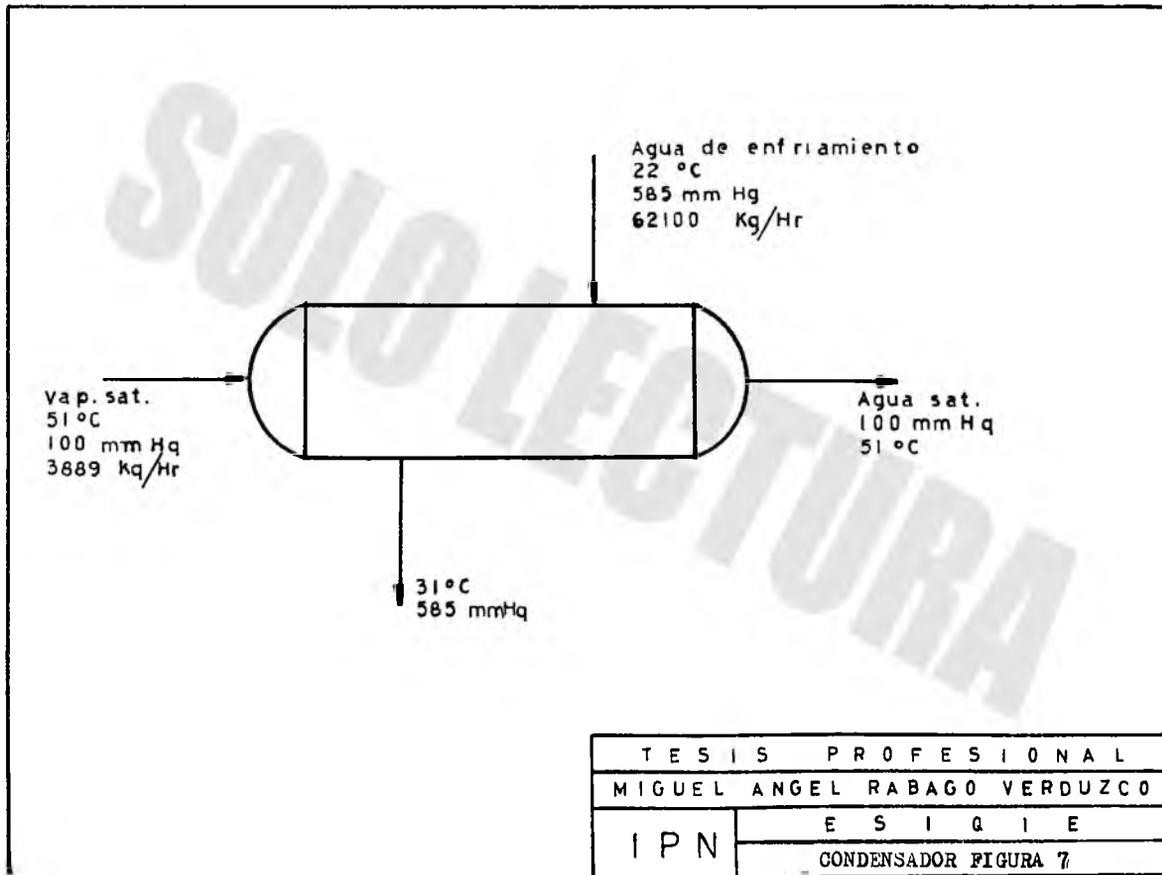
SOLO LECTURA

TABLA DE RESULTADOS PARA C-2 . FIGURAS 5 Y 6 .

Variable	Valor	Unidades
a ⁿ	0.1963	Pie ² /pie
a ['] _t	0.3340	Pie ² /tubo
B	37.0000	Pulgadas
BWG	18	-
C ₁	0.9494	-
C _{cl}	85.0000	%
C _T	1.0250	-
C _t	270.0000	-
D _{cl}	37.0000	Pulgadas
D _c	3.0830	Pies
d	0.6520	Pulgadas
f	0.0023	-
G _o	273.1845	Galones/minuto
L	6.0000	Pies
n	2	Pasos
NPC	1	Paso
NT	1119	Tubos
NT'	1124	Tubos
OD	3/4	Pulgada

TABLA DE RESULTADOS PARA C-2 . FIGURAS 5 Y 6.

Variable	Valor	Unidades
P_t	1.0000	Pulgadas
Q_3	2 208 696.8000	Kilo calorías/hora
s	0.0001	-
t_1	72.0000	$^{\circ}F$
t_2	88.1700	$^{\circ}F$
T_s	124.3700	$^{\circ}F$
V_1	7.5000	Pies/segundo
w	8 566.1400	Libras/hora
w_1	6.5000	Libras/hora pie ²
λ	567.9300	Kilo calorías/ Kg.
μ	0.0261	libras/ pie hora
ΔP_1	0.0558	Psi
ΔP_s	0.1363	Psi
ρ	62.3013	Libras/pie ³



T E S I S P R O F E S I O N A L	
M I G U E L A N G E L R A B A G O V E R D U Z C O	
I P N	E S I Q I E
	C O N D E N S A D O R F I G U R A 7

SIMBOLOGIA EMPLEADA.

A	Area de transferencia de calor. pie^2 .
A'	Area de transferencia por tubo. pie^2/tubo .
A _D	Area total real de la tubería necesaria. pie^2 .
a''	Superficie externa por tubo. pie^2/pie .
a _s	Area de flujo por coraza. pie^2 .
a' _t	Area de flujo por tubo. pie^2/tubo .
B	Espacio entre mamparas. pulgadas.
B _{hG}	Espesor tubería para intercambiador de calor.
C'	Espacio entre tubos. pulgadas.
C _l	Corrección por carga.
C _{cl}	Factor de limpieza.
C _T	Corrección por temperatura.
C _t	Factor por los tubos.
D _{cl}	Diámetro de la coraza en pulgadas.
D _c	Diámetro de la coraza. pies.
D _e	Diámetro equivalente de los tubos. pies.
d	Diámetro interior de los tubos. pulgadas.
f	Factor de fricción. $\text{pie}^2/\text{pulg}^3$.
G _g	Circulación agua de enfriamiento. g-l/min.
G _s	Masa velocidad por la coraza. lb/Hr pie^2 .
G _t	Masa velocidad por lado de los tubos. lb/Hr pie^2 .
L	Longitud del haz de tubos. pie.
n	Número de pasos por los tubos.

N	Número de mamparas.
NPC	Número de pasos por la coraza.
NT	Número de tubos teóricos que son necesarios.
NT'	Número de tubos comerciales reales.
OD	Diámetro exterior de la tubería. pulgadas.
P_t	Pitch.
Q_3	Calor que habrá que eliminar para condensar. Kcal/hora.
Re_s	Reynolds por la coraza.
s	Gravedad específica del vapor a T_5 .
t_1	Temperatura entrada agua de enfriamiento.
t_2	Temperatura salida agua de enfriamiento.
T_s	Temperatura del vapor.
U_{D2}	Coefficiente global de transferencia de calor. BTU/Hr pie ² °F.
V_1	Velocidad del agua de enfriamiento. pie/seg.
V_2	Velocidad del agua por los tubos. pie/seg.
w	Masa del vapor a condensar. Lb/hr.
w_1	Carga de agua. lb/hr pie ² .
w'	Masa velocidad para condensadores agua- vapor de agua. lb/hr pie ² .

- λ Calor latente de condensación del agua. Kcal/Kg.
- μ Viscosidad del vapor a T_g . lb/pie hr.
- ΔP_1 Caída de presión por los tubos. psi.
- ΔP_g Caída de presión por la coraza. psi.
- ρ Densidad del agua. lb/pie³.

SOLO LECTURA

ELEVADOR DE CANJILONES.

Como datos son necesarios:

$W, t, h_1, h_2, h_4, c.$

METODOLOGIA:

- 1) Calcular $C_m = \frac{W}{t}$
- 2) Calcular $h_3 = \frac{c}{\tan C}$
- 3) Calcular $h_T = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$
- 4) Con C_m y h_T obtener las especificaciones del elevador de canjilones.

Referencias bibliográficas.

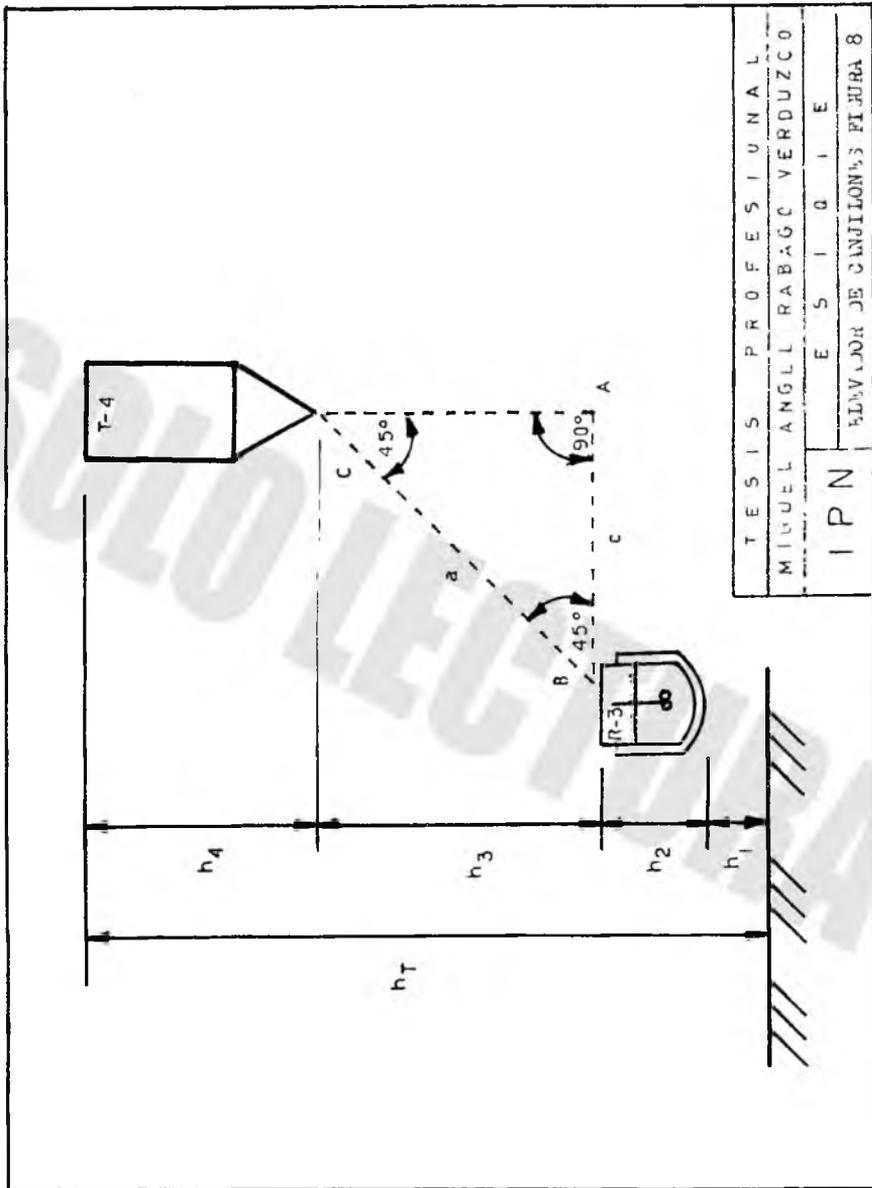
- (1) Tabla 7-8 página 7-13 referencia no..7.

TABLA DE RESULTADOS PARA EL ELEVADOR DE CANJILONES. FIG.8

Variable	Valor	Unidades
W	0.463	Toneladas
t	0.250	Horas
h_1	0.700	Metros
h_2	2.800	Metros
h_4	2.150	Metros
G	45.000	Grados
c	1.500	Metros
C_m	1.800	Toneladas/hora
h_3	1.500	Metros

ELEVADOR DE CANJILONES TIPO MARCHA LENTA DESCARGA CENTRIFUGA.

Medida de canjilones	6 x 4 x 4 1/4	Pulgadas
Velocidad del canjilón	225	Pies/min
Espacio entre canjilones	12	Pulgadas
Ancho de correa transmisora	7	Pulgadas
Velocidad del eje del cabezal	43	RPM
Diámetro del eje superior	1 15/16	Pulgadas
Diámetro del eje inferior	1 11/16	Pulgadas
Diámetro de la polea superior	20	Pulgadas
Diámetro de la polea inferior	14	Pulgadas
Potencia del cabezal del eje	0.5	H P
Potencia adicional	0.24	H P
Potencia real	0.74	H P
Motor necesario	3/4	H P
Material de canjilones	Fierro fundido	
Cubierta exterior	Lámina galvanizada	



SIMBOLOGIA EMPLEADA.

c	Distancia entre R-3 y T-4. metros.
C	Angulo con respecto a la entrada del tanque R-3. grados.
C_m	Carga a mover. Toneladas/hora.
h_1	Altura del piso a la base del tanque R-3. metros
h_2	Altura del tanque R-3. metros.
h_3	Altura entre tanques. metros.
h_4	Altura del tanque T-4. metros.
h_T	Altura total a elevar la carga. metros.
t	Tiempo de llenado. horas.
w	Carga amover. Toneladas.

NOTA: Ver figura no. 8

CARGA DE ARCILLAS.

El peso necesario de arcillas corresponde aproximadamente al 15 % del peso del aceite a tratar, por lo tanto:

Peso de aceite a tratar: 3 071 Kg

Peso de arcillas a agregar: 460 Kg

Las arcillas se agregarán en las siguientes proporciones según el tipo:

Tipo de arcilla	Proporción	Densidad Kg/lt
Tonsil L-80	0.60	0.4810
Tonsil extra	0.20	0.4895
Tonsil neutro	0.15	0.4752
Dicalite	0.05	0.4819

Con los datos anteriores obtenemos que los pesos y volúmenes de arcillas según el tipo a agregar son:

Tipo de arcilla	Peso Kgs.	Volumen lts.
Tonsil L-80	277	576
Tonsil extra	92	188
Tonsil neutro	69	145
Dicalite	23	48

De la información de esta tabla conocemos que el -- volumen total de arcillas a agregar es de:

$$V_a = 957 \text{ litros}$$

& Dato experimental

CALCULO DE T-4 Y T-6.

Como datos son necesarios:

V_a , ρ_p , S, E, Z^0 , c, material, EV, y Y^0 .

METODOLOGIA:

- 1) Calcular $V_a' = \frac{1.5 V_a}{1 - EV}$
- 2) Suponer D
- 3) Calcular $L_i = \frac{V_a'}{0.7854 D^2}$
- 4) Calcular $r = z = \frac{D}{2}$
- 5) Calcular $y = \frac{z}{\tan Z^0}$
- 6) Calcular $x = \frac{y}{\text{Sen } Y^0}$
- 7) Calcular $V_{con} = \frac{\pi r^2 y}{3}$
- 8) Calcular $V_{Lcil} = V_a - V_{con}$
- 9) Calcular $L_{Lcil} = \frac{V_{Lcil}}{0.7854 D^2}$
- 10) Calcular $L_{Ltot} = y + L_{Lcil}$
- 11) Comprobar Si $L_{Ltot} > 1.5 D$ entonces realizar paso 12
Si $L_{Ltot} < 1.5 D$ entonces realizar paso 13
- 12) Regresar al paso no. 2
- 13) Calcular $P_h = 2.5 L_{Ltot} \rho_p$

14) Calcular
$$t = \frac{P_h D}{2 \cos Z^0 (SE - 0.6 P_h)} + c$$

15) Acercar el valor de t a un t_c

16) Calcular
$$D_e = D + 2 t_c$$

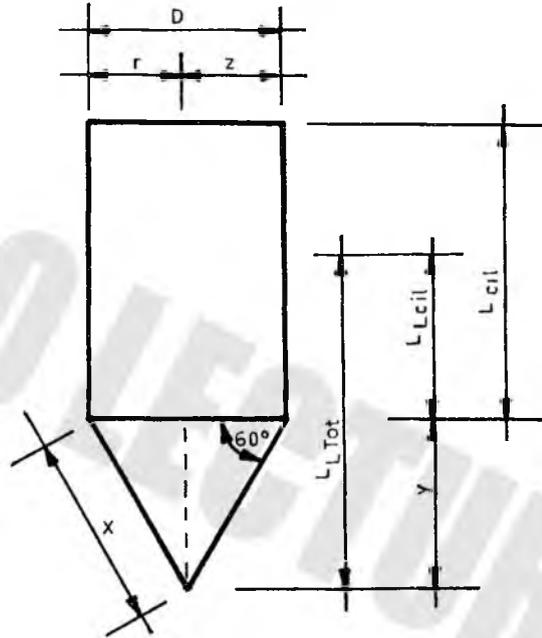
SOLO LECTURA

TABLA DE RESULTADOS PARA T-4. FIGURA 9.

Variable	Valor	Unidades
c	0.0622	Pulgadas
D	1.3000	Metros
E	75.0000	Porcentaje
EV	16.0000	Porcentaje
L _i	1.2800	Metros
L _{Lcil}	0.7700	Metros
L _{Ltot}	1.8900	Metros
P _h	0.3000	Kg/cm ²
S	16 991.0000	Lbs/pulg ²
t	0.0635	Pulgadas
t _c	1/32	Pulgadas
V _a	957.0000	Litros
V' _a	1 709.0000	Litros
V _{Lcil}	462.0000	Litros
x	1.3000	Metros
Z ^o	30.0000	Grados
ρ _P	0.6400	Kilogramos/litro
Material	Acero al carbón	

TABLA DE RESULTADOS PARA T-6. FIGURA 9

Variable	Valor	Unidades
c	0.0622	Pulgadas
D	2.0000	Metros
E	75.0000	Porcentaje
EV	16.0000	Porcentaje
L_i	1.9100	Metros
L_{Lcil}	2.2300	Metros
L_{Ltot}	3.3500	Metros
P_h	0.6162	Kg/cm ²
S	16 991.0000	Lbs/pulg ²
t	0.0935	Pulgadas
t_c	3/32	Pulgadas
V_a	3 369.0000	Litros
V'_a	6 016.0000	Litros
V_{Lcil}	1 558.0000	Litros
x	2.0000	Metros
Z°	30.0000	Grados
ρ_p	0.8900	Kilogramos/litro
Material	Acero al carbón	



T E S I S P R O F E S I O N A L	
M I G U E L A N G E L R A B A G O V E R D U Z C O	
I P N	E S I Q I E
	T A N Q U E S C O N I C O S F I G U R A 9

SIMBOLOGIA EMPLEADA:

c	Factor por corrosión. centímetros.
D	Diámetro. metros
D _e	Diámetro exterior. metros
E	Eficiencia de la soldadura, porcentaje.
EV	Espacio vapor. porcentaje.
L _i	Altura del cuerpo cilíndrico. metros.
L _{Lcil}	Altura del líquido dentro del cilindro. metros.
L _{Ltot}	Altura total del líquido. metros.
P _h	Presión hidrostática. Kg/cm ² .
r	Radio. metros.
S	Esfuerzo a la tensión del material. lbs/pulg ² .
t	Espesor. pulgadas.
t _c	Espesor comercial. pulgadas.
V _a	Volumen de mezcla a manejar. litros.
V' _a	Volumen de sobrediseño. litros.
V _{Lcil}	Volumen del líquido dentro del cuerpo cilíndrico. litros.
x	Cateto adyacente. metros.
Y ^o	Angulo de 60. grados.
z	Radio. metros.
Z ^o	Angulo del vértice inferior del tanque. grados.
ρ _P	Densidad promedio de la mezcla. Kg/lt.

CALCULO DE LOS FILTROS.

Como datos son necesarios:

$V, V_F, \Delta P, S, \alpha, w, e.$

METODOLOGIA:

1) Calcular

$$\frac{2 A^2 (\Delta P)^{1-s}}{\alpha \cdot w \mu} \theta - 2 A V_F V - V^2 = 0 \quad \text{-----}(2)$$

2) Con el valo de A, especificar el filtro. -----(1)

3) Calcular t_c con el método de la página . Cálculo del espesor de recipientes sometidos a presión externa.

Referencias bibliográficas:

(1) Página 19-53 de la referencia no. 7

(2) Página no. 577 de la referncia no. 9

TABLA DE RESULTADOS PARA FILTROS.

Variable	Valor	Unidades
A	108.5000	pies ²
B	3 250.0000	-
P	10.6800	lb/pulg ²
P _D	16.9200	lb/pulg ²
P ₁	0.6150	lb/pulg ²
P ₂	11.3000	lb/pulg ²
s	0.0000	-
t _c	3/16	Pulgadas
V	118.2000	Pies ³
V _F	0.3000	Pie ³ /pie ²
Δ ^P	1 440.0000	lb/pie ²
α ¹	140.8900	Hr ² /lb
w	8.5860	lb/pie ³
M	0.8645	lb/pie hr
e	0.6670	Hora

SIMBOLOGIA EMPLEADA.

A	Area de la superficie filtrante. pies ² .
B	Factor de diseño que es función de P, D y t _c . adimensional.
P	Presión de trabajo. lb/pulg ² .
P _D	Presión de diseño máxima. lb/pulg ² .
P ₁	Presión interior de trabajo. lb/pulg ² .
P ₂	Presión exterior de trabajo. lb/pulg ² .
s	Factor de compresibilidad de la torta filtrante. Para tortas rígidas incompresibles.
t _c	Espesor comercial del recipiente en pulgadas.
V	Volumen total del filtrado. pies ³ .
V _F	Volumen de filtrado por unidad de área de filtración necesaria.&
ΔP	Diferencia de presión entre las fuerzas que ocurren a través del filtro.&
α'	Resistencia específica de la torta. &
w	Peso de sólidos de la torta seca por unidad de volumen de filtrado. lbs/pie ³ .
μ	Viscosidad absoluta del filtrado. lb/pie hora.
θ	Tiempo de filtración. horas.
&	Datos experimentales.

CALCULO DE LA CANTIDAD DE CALOR PARA R-5 Y R-6.

Como datos son necesarios:

P_m , T_4 y m . Además el tiempo de residencia en el equipo que es de 80 minutos.

METODOLOGIA:

1) Con P_m y T_4 determinar H . -----(2)

2) Determinar $Q = m H$

3) Calcular $Q_1 = \frac{Q}{80/60}$

CALCULO DEL CALOR PERDIDO POR RADIAACION PARA R-5 Y R-6.

Como datos son necesarios:

e_i , k_1 , A_B , T_{1P} , T_{2P} en donde $i = 1$ a 4.

METODOLOGIA:

1) Calcular $R_i = \frac{e_i}{k_1 A_B}$

2) Calcular $\sum_{i=1}^{i=4} R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_4$

3) Determinar $\Delta T = T_{1P} - T_{2P}$

4) Calcular $Q_2 = \frac{\Delta T}{\sum_{i=1}^{i=4} R_i}$

5) Calcular $Q_3 = Q_2 A_B$

Referencias bibliográficas:

(2) Tablas de vapor, página 201 de la referencia no. 8

SIMBOLOGIA EMPLEADA.

A_B	Area de transferencia de calor. 1 pie ² .
e	Espesor de aislantes. pulgadas.
H	Entalpia de vapor. BTU/libra.
i	Subíndice. puede tomar valores del 1 al 4.
k	Conductividad de aislante. BTU/Hr pie ² °F/pie.
m	Cantidad de Dow Therm. Lbs/hora,
P_m	Presión del vapor. Lb/pulgada ² .
Q	Calor cedido por el vapor. BTU/Hr.
Q_1	Calor requerido para un batch. BTU/Hr.
Q_2	Cantidad de calor que escapa por radiación del R-5 ó R-6, por cada pie ² de superficie.
Q_3	Cantidad de calor que escapa en R-5 y R-6.
R	Resistencia al paso del calor. Hr °F/BTU.
T_{1P}	Temperatura interior de R-5 Y R-6.
T_{2P}	Temperatura exterior en la pared del aislante. °F
T_3	Temperatura del Dow Therm. °F.
T_4	Temperatura de salida. °F.
ΔT	Incremento de temperatura. °F.

DIMENSIONAMIENTO DE R-5 Y R-6.

METODOLOGIA.

1) Calcular $V_B = \frac{V_A}{0.50}$ -----(1)

2) Suponer una D

3) Calcular $D_c = D \times 0.5106$

4) Calcular $V_c = D_c^3 \times 0.954$

5) Calcular $V_1 = V_A - V_c$

6) Calcular $L_1 = \frac{V_1}{0.7354 D}$

7) Calcular $L_L = D_c + L_1$

8) Comparar Si $L_L < 1.5 D$ entonces pasar a paso 8

Si $L_L > 1.5 D$ entonces pasar a paso 2

9) Calcular $L_2 = 0.30 L_L$

10) Calcular $V_2 = 0.7854 (D)^2 L_2$

11) Calcular $d = 0.5D$

12) Calcular $a = \frac{D - d}{2}$

13) Calcular $h = \frac{a}{\text{Tang } 45^\circ}$

14) Calcular $V_{\text{cono}} = \frac{0.5 D h}{12} (D^2 + D d + d^2)$

15) Calcular $V_{sc} = (0.5106 d)^3 \times 0.954$

16) Calcular $V_{LL}'' = V_c + V_1 + V_2 + V_{\text{cono}} + V_{sc}$

- 17) Calcular $V_{s1} = V_B - V_{LL}''$
- 18) Calcular $S_1 = \frac{V_{s1}}{0.7854 d^2}$
- 19) Calcular $A_{PC} = \pi D L_1$
- 20) Calcular $A_{T1} = 1.16 D^2$
- 21) Calcular $A_T = A_{PC} + A_{T1}$

Referencias bibliográficas.

(1) Para evaporadores el espacio vapor varía de 35 a 50_

% Referencia no. 6

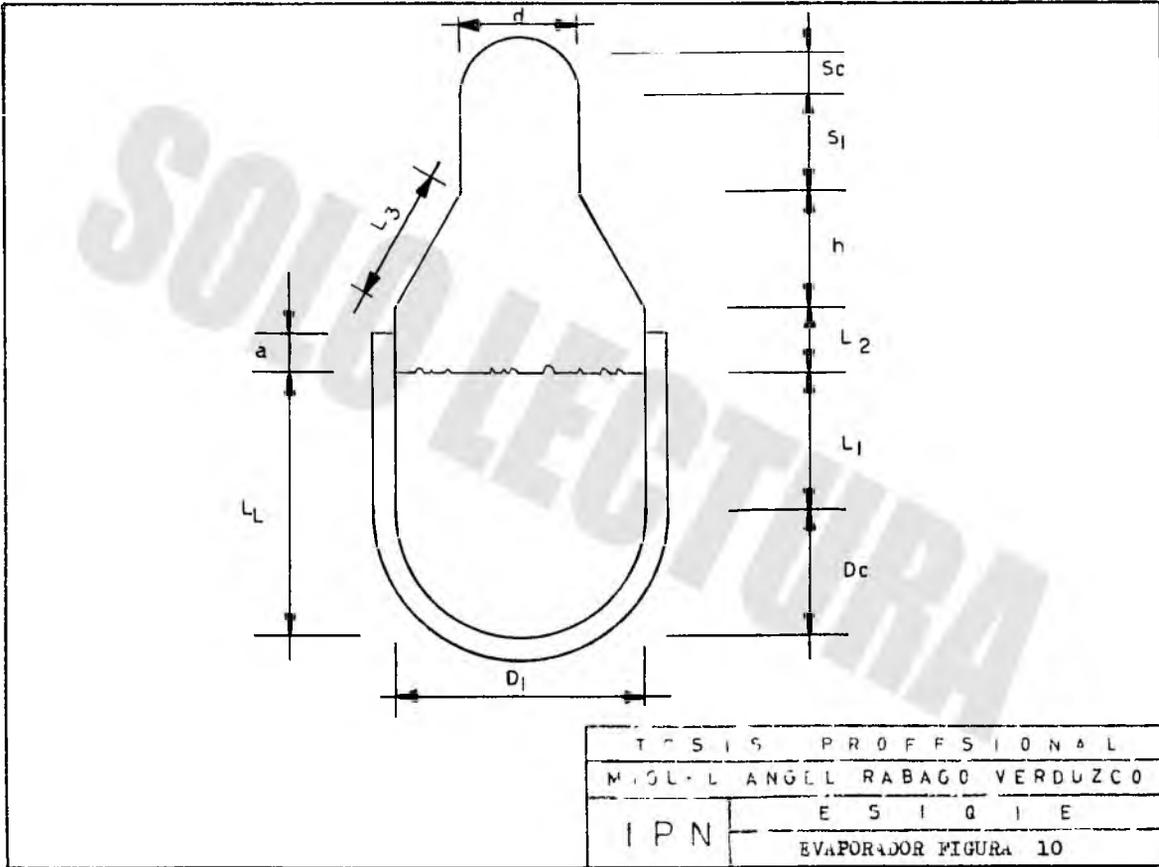


TABLA DE RESULTADOS PARA R-5 Y R-6. FIGURA 10.

Variable	Valor	Unidades
a	0.5500	Metros
A_{PC}	15.6898	Metros ²
A_{TI}	6.1364	Metros ²
A_T	21.8262	Metros ²
D_c	1.1744	Metros
d	1.1000	Metros
h	0.5500	Metros
L_1	2.1714	Metros
L_2	1.0037	Metros
L_L	3.3458	Metros
V_1	3.9224	Metros ³
V_2	4.1703	Metros ³
V_A	5.4676	Metros ³
V_B	10.9352	Metros ³
V_c	1.0160	Metros ³
V_{sc}	0.1690	Metros ³
V''_{LL}	9.7047	Metros ³
V_{s1}	1.2305	Metros ³
V_{cono}	0.4270	Metros ³
S_1	1.2948	Metros

SIMBOLOGIA EMPLEADA.

a	Palda parte cónica. metros.
A_{PC}	Area parte cilíndrica que tiene contacto con el - aceite. metros ² .
A_{TI}	Area tapa elíptica inferior. metros ² .
A_T	Area total de transferencia de calor. metros ² .
D_o	Altura tapa elíptica inferior. metros.
d	Diámetro parte superior del reactor. metros.
h	Altura parte cónica. metros.
L_1	Altura parte cilíndrica que ocupará el aceite su- cio. metros.
L_2	Sobrealtura por efectos de agitación. metros.
L_L	Altura de tapa y parte cilíndrica que ocupa el a- ceite sucio. metros.
V_1	Volumen parte cilíndrica que ocupará el aceite <u>su</u> cio. metros ³ .
V_2	Volumen que ocupará la sobrealtura. metros ³ .
V_A	Volumen de aceite. metros ³ .
V_B	Volumen total R-5, metros ³ .
V_C	Volumen tapa elíptica. metros ³ .
V_{sc}	Volumen tapa elíptica superior. metros ³ .
V''_{LL}	Volumen pracial. metros ³ .
V_{sl}	Volumen parte angosta superior cilíndrica. metro ³ .
V_{cono}	Volumen parte cónica. metros ³ .
S_1	Altura de V_{sl} . metros.
D	Diámetro interior del recipiente en la parte cilín- drica. metros. - 119 -

CANTIDAD DE DOW THERM PARA R-5 Y R-6.

METODOLOGIA.

6) Calcular
$$\mu_M = \left(1 + \frac{1.56 \phi_s}{0.52 - \phi_s} \right) \mu_1 \quad \text{---(1)}$$

7) Calcular
$$k_M = k_1 \frac{2k_5 + k_6 - 2\phi_s (k_5 - k_6)}{2k_5 + k_6 + \phi_s (k_5 - k_6)} \quad \text{---(5)}$$

8) Calcular
$$Cp_M = \left(\frac{w_1}{Cp_1} + \frac{w_2}{Cp_2} \right)^{-1} \quad \text{---(3)}$$

9) Suponer N y L^o para calcular
$$Re = \frac{L^o N \rho_M}{\mu_M} \quad \text{---(4)}$$

10) Con Re determinar j. ---(6)

11) Calcular
$$h_c = j \frac{k_M}{D_j} \left(\frac{Cp_M \mu_M^{-1/3}}{k_M} \right) \left(\frac{\mu_M}{\mu_w} \right)^{-0.14} \quad \text{---(4)}$$

12) Calcular
$$U_D = \frac{h_c h_o}{h_c + h_o}$$

13) Calcular
$$\Delta T_1 = T_3 - T_4$$

14) Calcular
$$m = \frac{Q_2}{Cp_D \Delta T_1}$$

Referencias bibliográficas:

- (1) Ecuación 3-127 página 3-247 referencia no. 7
- (3) Ecuación página 3-136 Tabla 3-201 referencia no. 7
- (4) Ecuación página 719 referencia no. 6
- (5) Ecuación página 3-242 referencia no. 7
- (6) Figura 20.2 página 718 referencia no. 6

TABLA DE RESULTADOS PARA R-5 Y R-6. FIGURA 10

Variable	Valor	Unidades
A	21.8262	Metros ²
A _B	1.0000	Pies ²
Cp ₁	0.7777	Kcal/kg °C
Cp ₂	0.2240	Kcal/kg °C
Cp _M	0.5882	Kcal/Kg °C
Cp _D	0.6689	BTU/lb °F
D _j	6.5615	Pies
e ₁	2.0000	Pulgadas
e ₂	1.0000	Pulgadas
e ₃	1.5000	Pulgadas
e ₄	0.5000	Pulgadas
h _o	1 794.8700	BTU/Hr pie ² °F
h _c	60.5274	BTU/Hr pie ² °F
j	15 707.9300	-
k ₁	0.0550	BTU/Hr pie ² °F/pie
k ₂	0.0850	BTU/Hr pie ² °F/pie
k ₃	0.1000	BTU/hr pie ² °F/pie
k ₄	0.4300	BTU/hr pie ² °F/pie
k ₅	0.0670	BTU/hr pie ² °F/pie
k ₆	0.1455	BTU/hr pie ² °F/pie

TABLA DE RESULTADOS PARA R-5 Y R-6. FIGURA 10.

Variable	Valor	Unidades
k_M	0.0774	BTU/hr pie ² °F/pie
L°	0.8000	Metros
m	939.8200	Lb/hora
N	11.6667	Rev por seg
u_2	90.3300	Btu/hora pie ²
u_3	22 631.3100	Btu/hora
T_{1P}	608.0000	°F
T_{2P}	86.0000	°F
T_3	360.0000	°C
T_4	340.0000	°C
w_1	0.8697	-
w_2	0.1303	-
M_M	5.8022×10^{-3}	Gramos/cm seg
M_1	3.2453×10^{-3}	Gramos/cm seg
M_w	830.0000×10^{-6}	Gramos/cm seg
ϕ_s	0.1745	-
ρ_M	0.6454	Kilogramo/litro

SIMBOLOGIA EMPLEADA.

A	Area total de R-5 ó R-6. pie ² .
A _B	Area de transferencia de calor base. pie ² .
Cp ₁	Calor específico del aceite sucio. Kcal/Kg °C.
Cp ₂	Calor específico de las arcillas. Kcal/Kg °C.
Cp _M	Calor específico de la mezcla. Kcal/Kg °C.
Cp _D	Calor específico del Dow Thern a 335°C. BTU/lb °F.
D _j	Diámetro interior del reactor. pie.
e ₁	Espesor de tierras diatomeas, asbesto y material ligante. pulgadas.
e ₂	Espesor de lana mineral. pulgadas.
e ₃	Espesor de asbesto corrugado. pulgadas.
e ₄	Espesor de cemento asbesto. pulgadas.
h _o	Coefficiente de película por lado de la chaqueta. BTU/hora pie ² °F.
h _c	Coefficiente de película lado del aceite sucio. BTU/hora pie ² °F.
j	Coefficiente de transferencia de calor.
k ₁	Conductividad de tierras diatomeas, asbesto y material ligante. BTU/hora pie ² °F/pie.
k ₂	Conductividad de lana mineral. BTU/hora pie ² °F/pie
k ₃	Conductividad de asbesto corrugado. BTU/hora pie ² °F/pie.
k ₄	Conductividad de cemento asbesto. BTU/hora pie ² °F/pie.

k_5	Conductividad térmica del aceite sucio. BTU/hora/ pie ² °F/pie.
k_6	Conductividad térmica de las arcillas. BTU/hora / pie ² °F/pie.
k_M	Conductividad térmica de mezcla aceite-arcilla. _ BTU/hora pie ² °F/pie.
L^0	Diámetro del agitador. metro.
m	Cantidad de dow therm. lb/hora.
N	Revoluciones por segundo del agitador. RPS.
Q_2	Cantidad de calor que escapa por radiación. BTU/_ Hora pie ² .
Q_3	Cantidad de calor que escapa por radiación. BTU/_ Hora.
R_i	Resistencia al paso del calor. Hr °F/BTU.
$\sum_{i=1}^{i=4} R_i$	Resistencia total al paso del calor. Hr °F/BTU.
T_{1P}	Temperatura interna del reactor. °F.
T_{2P}	Temperatura exterior en la pared del aislante. °F.
T_3	Temperatura de entrada del dow therm. °C.
T_4	Temperatura de salida del dow therm. °C.
w_1	Fracción peso del aceite sucio.
w_2	Fracción peso de las arcillas.
μ_M	Viscosidad de la mezcla aceite-arcillas. g/cm seg.
μ_1	Viscosidad de aceite sucio a 608 °F.
μ_w	Viscosidad del agua a 608 °F.

ϕ_s	Fracción volumen del sólido.
ρ_M	Densidad de la mezcla aceite-arcillas. Kg/litro.
Re	Número de Reynolds. Adimensional.
U_D	Coficiente global de transmisión de calor de diseño. BTU/ hr pie ² °F.
ΔT_I	Incremento de temperatura entre T_3 y T_4 . °F

SOLO LECTURA

CALCULO DE LA POTENCIA DE MOTOR DEL AGITADOR Y DIAMETRO_
DE LA FLECHA.

Al realizar el cálculo del número modificado de Reynolds se utilizó un agitador tipo turbina, la potencia necesaria para poderlo mover se calcula por medio de la figura Q página 1917 sección 17 de la referencia número 7 y los resultados fueron:

Diámetro del agitador tipo turbina = 0.8 m = 31.5 pulgs.

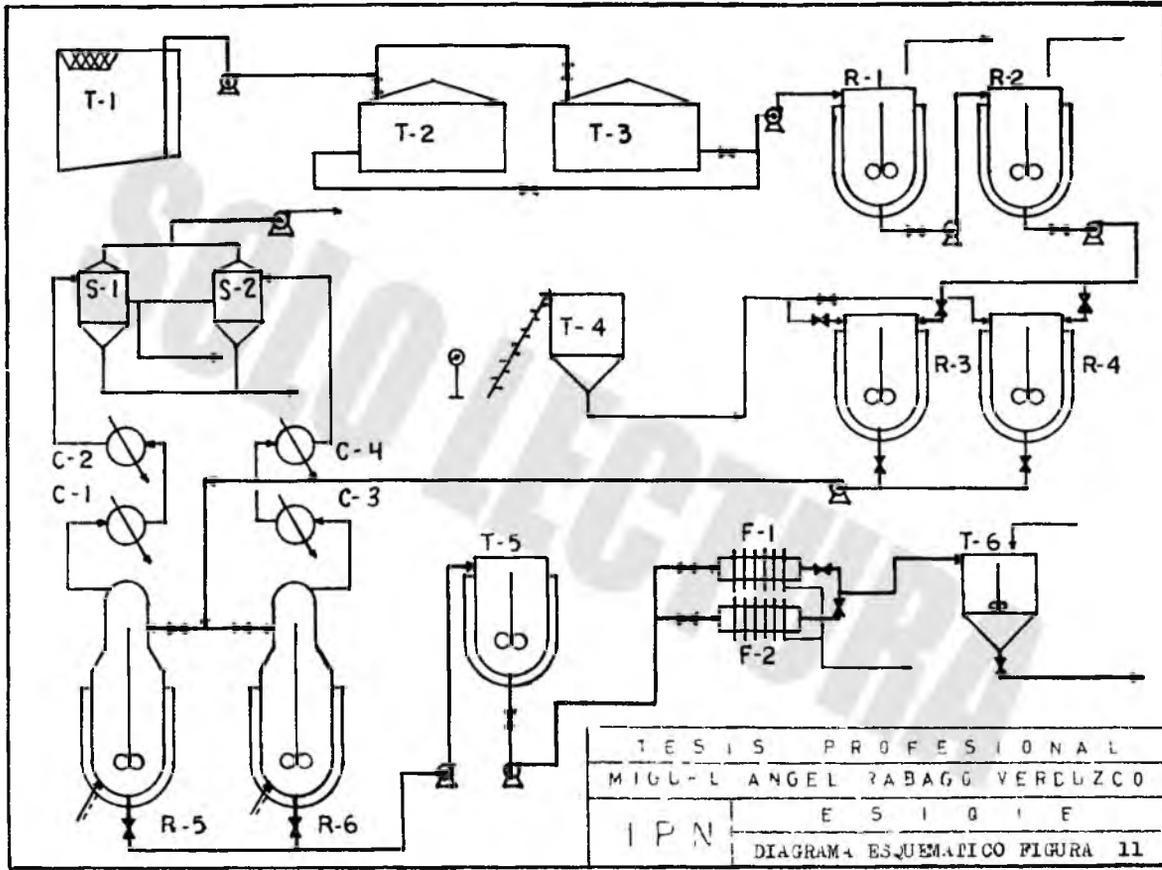
Con diámetro en la gráfica se calcula que la potencia necesaria será igual a 2 3/4 H P de lo que deducimos que comercialmente se requiere de un motor comercial de 3 H P.

Para calcular el eje de transmisión de la potencia se utilizará la siguiente fórmula:

$$H P = D'^3 N / 2000 \quad \text{Sustituyendo valores tenemos:}$$

$D' = 2.056 \text{ cm}$ un valor comercial de $D' = 1 \text{ pulgada}$.

Este eje será de barra para tornillo laminado en frío SAE 1120.



T E S I S P R O F E S I O N A L	
M I G U E L A N G E L P A B A G O V E R C U Z C O	
E S I G N I F I C A D O	
I P N	DIAGRAMA ESQUEMATICO FIGURA 11

NOMENCLATURA DEL DIAGRAMA ESQUEMATICO.

C-1	Enfriador.
C-2	Condensador.
C-3	Enfriador.
C-4	Condensador.
F-1	Filtro.
F-2	Filtro
R-1	Deshidratador.
R-2	Deshidratador.
R-3	Mezclador.
R-4	Mezclador.
R-5	Evaporador.
R-6	Evaporador.
S-1	Separador.
S-2	Separador.
T-1	Cisterna.
T-2	Tanque de almacenamiento.
T-3	Tanque de almacenamiento.
T-4	Tanque de batch de arcillas.
T-5	Tanque de batch de filtrado.
T-6	Tanque de aditivación.

TABLA DE INTEGRACION DE TIEMPOS

TIEMPO TOTAL	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	T-5	F-1	F-2	T-6
	a									
	b									
	b									
	b									
1 hora	c	a								
	a	b								
	b	b								
	b	b								
	b	b								
2 horas	c	a	a'							
	a	b	a'							
	b	b	b							
	b	b	b							
	b	b	b							
3 horas	c	a	b	a						
	a	b	b	a'						
	b	b	b	b						
	b	b	c	b	a					
	b	b	c	b	a					
4 horas	c	a	a'	b	b					
	a	b	a'	b	b					
	b	b	b	b	b					
	b	b	b	c	b	a				
	b	b	b	c	b	a				
5 horas	c	a	b	a'	b	b				
	a	b	b	a'	c	b	a			
	b	b	b	b	c	b	a			
	b	b	c	b	a	b	m			
	b	b	c	b	a	b	m			
6 horas	c	a	a'	b	b	b	c	f		m
	a	b	a'	b	b	c	a	f		a
	b	b	b	b	b	c	a	f		a
	b	b	b	c	b	a	c	l	f	a

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Mediante el presente estudio se propone un método - de re-refinación de aceite lubricante usado en máquinas_ de combustión interna para poder reutilizarlo tantas veces como sea necesario. Comparándolo con los otros proce- sos utilizados actualmente en algunos países, éste pre- senta varias ventajas como:

- Una gran versatilidad ya que se pueden procesar - cualquier tipo de aceite ya sea de automóviles, - camiones, barcos, máquinas ferroviarias, y/o cual- quier máquina accionada por motores de combustión interna.
- Presenta la posibilidad de ampliar la capacidad_ de producción, sin un incremento de equipo consi- derable.
- El aceite recuperado presenta una buena calidad - y compite con uno nuevo.
- El proceso de arrastre de vapor-arcillas es nove- doso debido a que no utiliza sustancias químicas_ costosas, peligrosas, difíciles de manejar y/o -- contaminantes.
- El equipo utilizado es sencillo tanto en su cons- trucción, como en su operación y su mantenimiento y que se puede construir en el país y que a dife- rencia de otro proceso ,que se quisiera aplicar, - se tendría que importar tanto la tecnología como_ el equipo y pagar una regalía del producto obteni- do.
- El rendimiento es bueno ya que es mayor del 85 %.

Los subproductos derivados de este proceso presentan la cualidad de que son no contaminantes y que por lo contrario son fáciles de manejar y desechar, ya que por ejemplo los ligeros podrán utilizarse como combustible, las arcillas como materia prima para recubrimientos de caminos asfálticos.

Un problema que presenta no sólo este proceso sino todos los demás, es la recolección del aceite sucio ya que los centros de cambio de aceite se encuentran distribuidos en toda la ciudad, por lo que la solución sería planear las actividades de recolección y los requerimientos de transporte, otra sería la de establecer convenios de abastecimiento con empresas tales como: Astilleros de México, Ferrocarriles Nacionales y rutas urbanas y forneas de autotransportes de carga y pasajeros; otra sería la creación de centros de recolección o almacenaje en el que el usuario vendería el aceite sucio y que posteriormente se recolectaría periódicamente.

El procesamiento del aceite sucio desechado al alcantarillado urbano, presenta una posibilidad de solución al gran problema de contaminación del agua y suelo, ya que el agua contaminada con este tipo de sustancias no se autopurifica por procesos naturales. También presenta la oportunidad de tener un excedente de este tipo de producto para exportarlo o transformarlo en otros productos como pueden ser: diferentes clases de grasas y aceites especiales.

SOLO LECTURA

APENDICE

INFORMACION TECNICA PROPORCIONADA POR QUIMICA
SUMEA, S.A. de C.V.

"Clarificantes Tonsil "

	EXTRA	NEUTRA	L-80	"A"
<u>Propiedades Químicas.</u>				
- Sílice (SiO_2)	69.3 %	71.8 %	65.4 %	73.5 %
- Alúmina (Al_2O_3)	9.9	11.2	15.2	11.1
- Oxido de fierro(Fe_2O_3)	1.3	4.3	5.1	4.8
- Oxido de Magnesio (MgO)	2.3	2.4	TRAZAS	
- Oxido de calcio (CaO)	4.9	1.2	4.0	2.5
- Oxido de potasio (K_2O)	0.4	1.6	TRAZAS	
- Oxido de sodio (Na_2O)	0.2	0.8	TRAZAS	
- Pérdida por calcina- ción a 1000°C .	11.7	6.7	8.7	7.3
- Humedad libre al envasado.	8.0	8.0	8.0	8.0
- pH	3.0	3.5	6.0	6.8
- Acidez libre residual	0.225	0.018	0.007	---
<u>PROPIEDADES FISICAS.</u>				
- Densidad aparente (g/cm^3)	0.4895	0.4752	0.4810	----
- Velocidad de filtra- ción / 100 cm^3	0'45"	0'60"	1'10"	1'15"
- Retención de aceite	38+ 1%	38+ 1%	37+ 1%	36+ 1%
- Poder decolorante pro- medio contra tierra - Standard de florida - (= 100)	164	152	140	126
- Retiene en malla 200 Máx.	17 %	17 %	17 %	17 %

SOLO LECTURA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- American Petroleum Institute
"Motor Oil Guide"
American Petroleum Institute
Washington D.C.
5a. Edition
- 2.- Robert Chuse
Pressure Vessels. The ASME Code Simplified
Mc-Graw Hill Book Company
New York, N.Y. 1977
5a. Edition
- 3.- John A. Dean
Lange's Handbook of Chemistry
Mc-Graw Hill Book Company
New York, N.Y. 1979
20 a. Edition
- 4.- Igor J. Karassik
Pump Handbook
Mc-Graw Hill Book Company
New York, N.Y. 1976
- 5.- Frank N. Kemmer
Nalco Chemical Company
The Nalco water Handbook
Mc-Graw Hill Book Company
New York, N.Y. 1979
- 6.- Donald Q. Kern
Process Heat Transfer
Mc-Graw Hill Book Company
U.S.A. 1978

- 7.- Robert H. Perry
Cecil H. Chilton
Chemical Engineer's Handbook
Mc-Graw Hill Book Company
U.S.A. 5th. Edition
- 8.- John H. Perry
Manual del Ingeniero Químico
Tomos I Y II
Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana
México, 1981 3a. Edición
- 9.- Max Peters
Klaus D. Timmerhaus
Plant design and economics for chemical engineers
Mc-Graw Hill Book Company
New York, N.Y. 1980
- 10.- Química Sumex, S.A. de C.V.
Tierras decolorantes super-activas
México, 1981
- 11.- Robert C. Reid
John M. Prausnitz
Thomas K. Sherwood
The properties of gases and liquids
Mc-Graw Hill Book Company
New York, N.Y. 1977
3d. Edition
- 12.- Larry Ricci and the staff of chemical engineering
Separation Techniques 2. Gas/liquid/solid systems
Mc-Graw Hill Publications Co.
New York, N.Y. U.S.A.

- 13.- Philip A. Schweitzer
Handbook of separation techniques for chemical engineers
Mc-Graw Hill Company
New York, N.Y. 1979
- 14.- J.M. Smith
H.C. Van Ness
Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics
Mc-Graw Hill Kogakusha, Ltd.
Tokyo, Japan 1975
3a. Edition
- 15.- Robert Thornton Morrison
Robert Neilson Boyd
Química Orgánica
Fondo Educativo Interamericano, S.A.
E.U.A. Diciembre 1976
3a. Edición
- 16.- Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc.
Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Assoc. TEMA
New York, N.Y. 1968
5th. Edition
- 17.- Gordon J. Van Wylen
Richard E. Sonntag
Fundamentos de termodinámica
Editorial Limusa
México 1970, 2a. Edición
- 18.- N. B. Vargaftik
Tables of the thermophysical properties of liquids and
gases.
Hemisphere publishing Corporation
Washington, 1975, 3rd. Edition

19.- J. Weinstein

Waste Oil Recycling and Disposal

Patente no. PB 236148

Princeton, New Jersey

August 1974

20.- M.L. Whisman

J.W. Goetzinger

F.D. Cotton

Waste Lubricating Oil Research. An Investigation of
Several Re-refining Methods.

Patente no. PB 231277

Bureau of Mines

Washington, D.C.

March 1974