

10 2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGON"

"CAMBIADORES DE CALOR DE PLACAS EN PLANTAS NUCLEOELECTRICAS"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
MIGUEL ANGEL FLORES RENTERIA



MEXICO, D. F.

1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Índice

Introducción.....	1
1.- Generalidades del Cambiador de Calor.....	3
1.1.- Antecedentes.....	3
1.2.- Características de Operación.....	5
1.3.- Construcción y Forma de Flujo.....	9
1.4.- Aplicaciones Típicas.....	15
1.5.- Limitaciones.....	19
2.0.- Aplicación de los Cambiadores de Calor en las Plantas Nucleoeléctricas.....	21
2.1.- Diferentes tipos de Plantas Nucleoeléctricas.....	21
2.2.- Sistemas de Enfriamiento en una Planta Nucleoeléctrica Tipo BWR.....	45
2.3.- Operación de los Sistemas de Enfriamiento.....	51
3.0.- Propuesta de del Cambiador de Calor de Placas en Plantas Nucleoeléctricas Tipo BWR.....	63
4.0.- Criterios de Diseño y Selección.....	70
5.0.- Selección de un Cambiador de Calor de Placas para la Planta Nucleoeléctrica de Laguna Verde, Veracruz, México.....	103
6.0.- Análisis Técnico Económico.....	107

Conclusión 115

Bibliografía 116

Introducción

El cambiador de calor de placas esta constituido por un número variable de placas, las placas presentan un troquelado especial y un empaque el cual no permite la fuga de los fluidos, las placas son sujetas en su parte superior e inferior por medio de una barra de soporte; dos placas de presión y pernos laterales -- oprimen al conjunto de placas formandose así un paquete de placas.

En las esquinas de las placas se dispone de orificios de paso de forma que los fluidos circulen por canales alternos, cediendo el calor el fluido caliente al frío.

El cambiador de calor de placas inicialmente fué utilizado en unidades pasteurizadoras, más adelante se utilizó en unidades esterilizadoras, tienen su máxima aplicación en la industria química y la alimenticia debido al alto grado de higiene que se obtiene en estos equipos y a los altos coeficientes de transferencia de calor. Debido al gran éxito del cambiador de calor de placas en la industria --- química, el uso de estos equipos ha aumentado y seguirá aumentando en el futuro, esto no significa que el cambiador de calor de placas desplazará en forma definitiva al cambiador de calor de haz de tubos, pero sus virtudes y ventajas valen la pena una cuidadosa consideración.

Estudios efectuados en años recientes han demostrado que para muchos casos el cambiador de calor de placas tiene ventajas defini-

tivas sobre las unidades convencionales tubulares.

En el presente trabajo se pretende poner de manifiesto la eficiencia del cambiador de calor de placas en una planta nucleoelectrica.

Ya que las mayores necesidades de disipar calor en una planta nucleoelectrica están en el equipo auxiliar de enfriamiento del reactor y en el cambio de fase que se requiere en el condensador, es necesario contar con grandes caudales de agua de enfriamiento. Es por esto que la mayoría de las plantas nucleoelectricas se construyen cerca de una costa o un estuario para usar el agua como el principal elemento de enfriamiento, de tal manera que la facilidad de apertura de los cambiadores de calor es muy importante para su limpieza y mantener un buen servicio de enfriamiento.

El cambiador de calor de placas es muy eficiente al manejar grandes caudales de agua, además, presenta la característica que puede abrirse con facilidad para realizar limpieza y mantenimiento, por tales motivos es considerado para su empleo en plantas nucleoelectricas.



CAPITULO UNO

" Generalidades del Cambiador
de Calor de Placas "

Generalidades del Cambiador de Calor de Placas

1.1 Antecedentes

Los orígenes del cambiador de calor de placas datan del año de 1920 aproximadamente, su creador fué el doctor R. Seligman - quien patentó dicho invento y lo explotó en forma comercial a través de la compañía APV de Inglaterra. Estos cambiadores de calor desplazaron en pocos años a los equipos ya existentes, debido principalmente a la facilidad de limpieza que ellos presentan y a los altos porcentajes de recuperación de calor (90% - 95%) que es posible obtener en el interior del cambiador de calor, entre dos líquidos.

El cambiador de calor de tubos desde su origen ha presentado dos grandes defectos; requiere largos períodos de tiempo para su limpieza y es necesario contar con un espacio adicional igual al tamaño del cambiador de calor para efectuar la limpieza con comodidad.

Seligman suponía que si los tubos interiores y exteriores de un cambiador de tubos concéntrico se pudieran cortar longitudinalmente y arreglarlo uno al lado del otro en tal forma que los fluidos siguieran un camino de zig - zag y colocarlos contra las placas --

planas que se sujetan en la armazón de un filtro prensa, solucionaba los dos problemas fundamentales, es decir, la inspección -- total de las superficies de calentamiento y la limpieza.

1.2 Características de Operación

El cambiador de calor de placas tiene grandes ventajas tanto teóricas como prácticas sobre otros equipos de transmisión de calor y que lo hacen muy adecuado tanto para el servicio líquido-líquido, como para el cambio de fase (condensadores, evaporadores etc).

El arreglo de las placas permite cualquier número de pasos en el cambiador; y los dos flujos en forma de delgadas cintas, pasan en dirección opuesta, siempre; cualquiera que fuera el número de pasos, lo que tiene como consecuencia que se establezca un verdadero sistema contracorriente. Dando por resultado el logro de altos coeficientes de transmisión de calor de ambos lados de la placa metálica, y a su vez un coeficiente global elevado.

Si se considera cuales son los coeficientes en un cambiador de tubos; se verá que se tiene un coeficiente de transferencia bajo del lado de la carcasa, debido a la baja velocidad del fluido sobre los tubos, y aún cuando se coloquen mamparas de distribución el coeficiente global siempre será menor que el obtenido en el cambiador de calor de placas, además se pierde el flujo a --

contra corriente que en realidad es un flujo transversal.

Un resultado importante de la eficiente transmisión de calor que se logra en un cambiador de calor de placas, es que el fluido que realiza el servicio de enfriamiento puede calentarse a unos -- cuantos grados abajo de la temperatura del fluido caliente, haciendo así posible un grado de recuperación de calor considerable (92%).

Debido a que el fluido que realizó el servicio de enfriamiento posee una temperatura un poco inferior a la del fluido caliente, en caso que se requiera, este fluido puede ser utilizado en otro proceso como fluido de calentamiento o precalentamiento.

Por ejemplo en las plantas recuperadoras de solventes, la eficiencia de recuperación llega a ser tan alta como el 95%.

El régimen que generalmente se obtiene en el cambiador de placas es el turbulento, aún para un máximo de área del cambiador de calor. El arreglo de las placas es tal, que se obtendrá la velocidad máxima dentro de los límites de la caída de presión máxima permisible; esto implica un gran número de pasos pequeños.

Sin embargo para fluidos viscosos tales como las resinas o aceites, el flujo es laminar, porque la transmisión de calor se efectúa principalmente por conducción a través del líquido, por lo tanto es independiente de la velocidad del fluido; esto permite arreglar las placas en pasos grandes de velocidades pequeñas y caídas mínimas de presión.

La viscosidad límite está gobernada por la tendencia del flujo a formar "canales" entre los orificios de entrada y salida dejando espacios muertos en las esquinas de las placas. En -- general ya sea que tenga flujo laminar o turbulento la velocidad del fluido deberá ser tal, que asegure que se opere con placas llenas y sin dejar espacios muertos.

... El coeficiente de película que se logra un cambiador de placas varía con la velocidad a la 0.67 potencia ($U \propto V^{0.67}$), comparado con la velocidad a la 0.80 potencia ($U \propto V^{0.80}$) en un tubo, lo que demuestra que la transferencia de calor depende menos de la velocidad que en el caso de los tubos, y es relativamente -- mejor a bajas velocidades que a altas... (3)

Sin embargo una de las principales ventajas que se obtienen con el cambiador de calor de placas es que se logra un flujo turbulento muy fácilmente debido a la configuración de la placa se ha demostrado... que con un número de Reynolds de 150 se tiene un flujo turbulento; lo cual se compara muy satisfactoriamente con el Reynolds de 2300 que es necesario en un ducto circular. Este detalle es de particular importancia cuando se manejan fluidos no newtonianos, ya que se baja la viscosidad efectiva del fluido... (3)

Otras de las ventajas distintivas del cambiador de calor de placas, es lo que respecta a su flexibilidad de capacidad, la cual

se puede aumentar simple y sencillamente adicionando placas al equipo ya existente.

Cabe la posibilidad que esta flexibilidad se tome en cuenta durante el diseño del proceso, y programar la adición de placas a medida que aumente la capacidad requerida.

1.3 Construcción y Forma de Flujo

Las placas de los cambiadores de calor de placas estan --
construidas principalmente en los siguientes materiales; acero --
inoxidable, con titanio 99.8% y 0.2% de paladio, cuproniquel al --
70 / 30 y 90 / 10, bronce, bronce aluminio, hastelloy B hastelloy
C276, tantaló, zirconio etc., dependiendo de las condiciones de -
trabajo y del fluido a manejar.

Las placas son estampadas y montadas sobre un marco dentro
del cual se les puede sujetar entre un extremo fijo del marco o -
cabezal y un seguidor; entre placa y placa se coloca un sello de -
hule o algún otro material, dependiendo de las presiones y princi-
palmente de las temperaturas de operación, entre los materiales -
útiles se encuentran la fibras naturales, los elastómeros como el-
neoprano, hypalon, y para altas temperaturas emplea fibra de as-
besto comprimida.

El estampado o troquelado de la placa tiene por objetivo me-
jorar la distribución del fluido, provocar un flujo turbulento y dar
una rigidez física a la placa, las cuales son capaces de soportar -
presiones hasta 230 lb/pul².

Cada placa tiene cuatro perforaciones posibles en sus esquí-
nas lo que permite el flujo de un líquido en forma alterna en los
espacios que hay entre placa y placa, y el otro líquido que puede
ser el medio calefactor que fluye en el espacio de las otras placas
como se muestra en la figura 1.1. Para tener un flujo alterno es

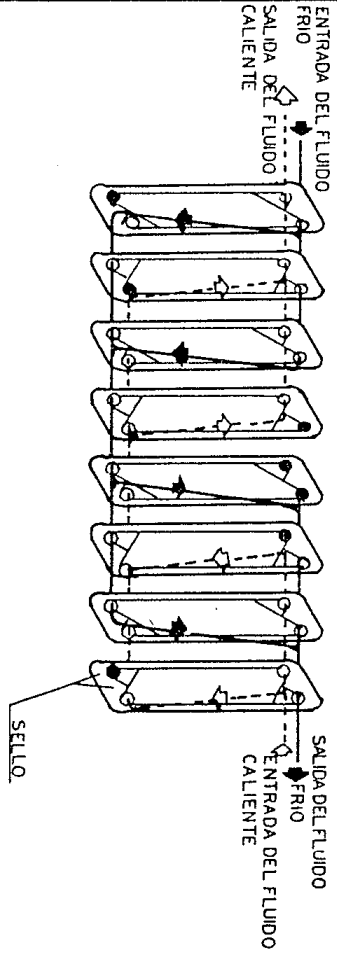
necesario efectuar dos perforaciones en posición diagonal opuestas en las placas. Así estas perforaciones que también llevan un sello a su alrededor forman un ducto de distribución del fluido.

El sello es prácticamente doble en las esquinas como se muestra en la figura 1.2. Se tiene una muesca de ventilación o salida que impide se mezclen los dos fluidos en caso de falla del material del sello; cuando esto sucede se forma una fuga hacia la parte exterior del cambiador que es fácilmente visible.

El espacio que hay entre placa y placa es del orden de 60-200 mils. de pulgada (1.5-5.0 mm) y para que esta distancia sea uniforme se cuenta con algunos puntos de soporte o pequeñas muescas.

Aún cuando la patente original de Seligman ya se venció, el desarrollo del cambiador de calor de placas ha continuado, y actualmente la forma del troquelado de las placas son motivo de patente por los diversos fabricantes de estos equipos.

Este troquelado forma una serie de canales transversales en las placas, es igual en todas las placas, forma un espacio de flujo plano que cambia de dirección continuamente y provoca coeficientes de transferencia de calor que pueden llegar hasta 5 veces mayor a los obtenidos en los cambiadores de calor tradicionales, de tubo y carcasa.



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

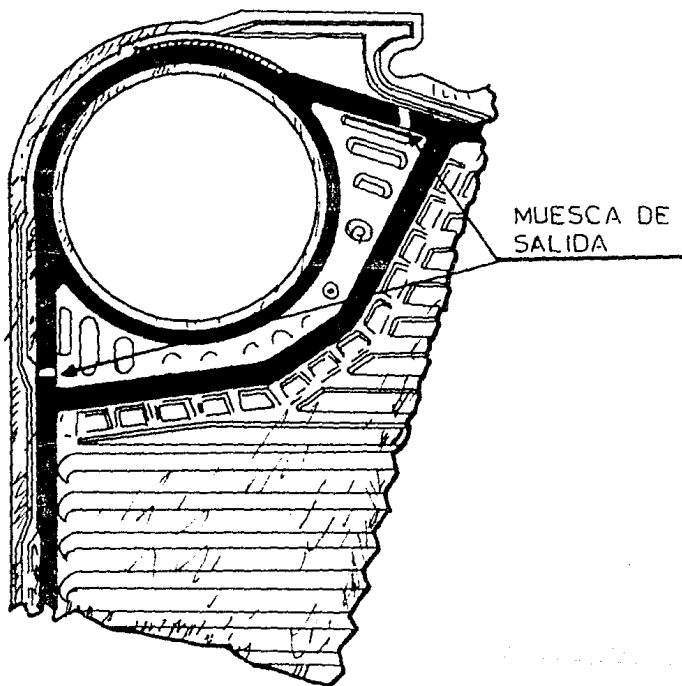
FIG. 1.1
FORMA DE FLUJOS ENTRE LAS PLACAS

TESIS
PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

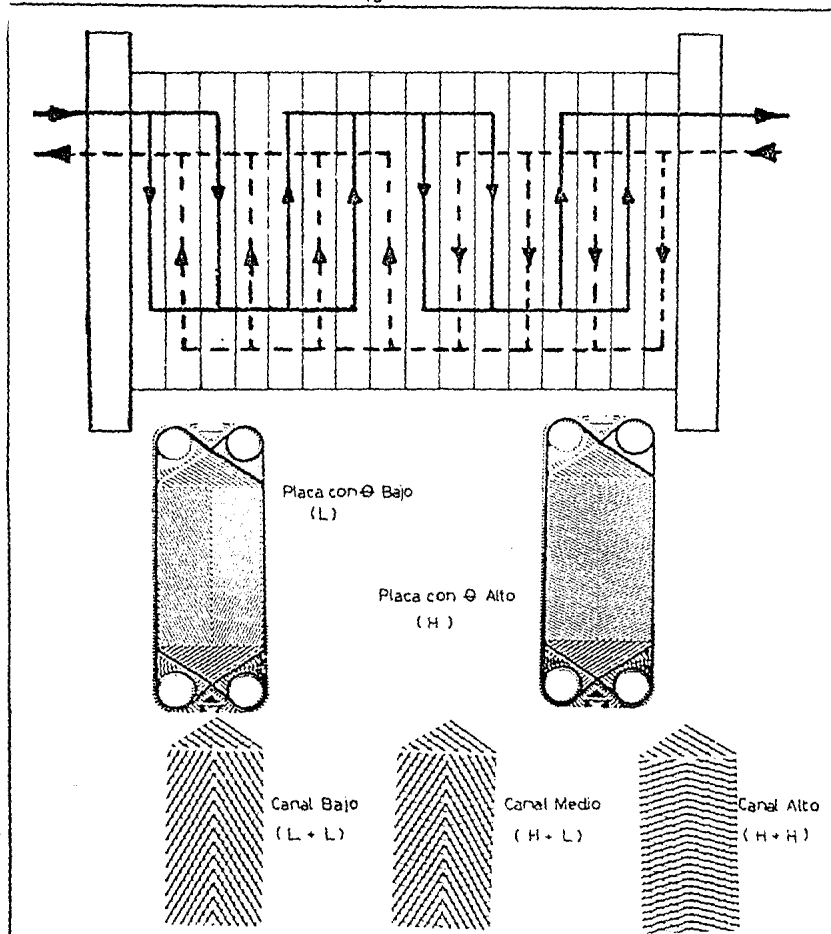
FIG.1.2
SELLO EN LA PLACA QUE EVITA LA MEZCLA
DE LOS DOS FLUIDOS

TESIS
PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG. 1.3

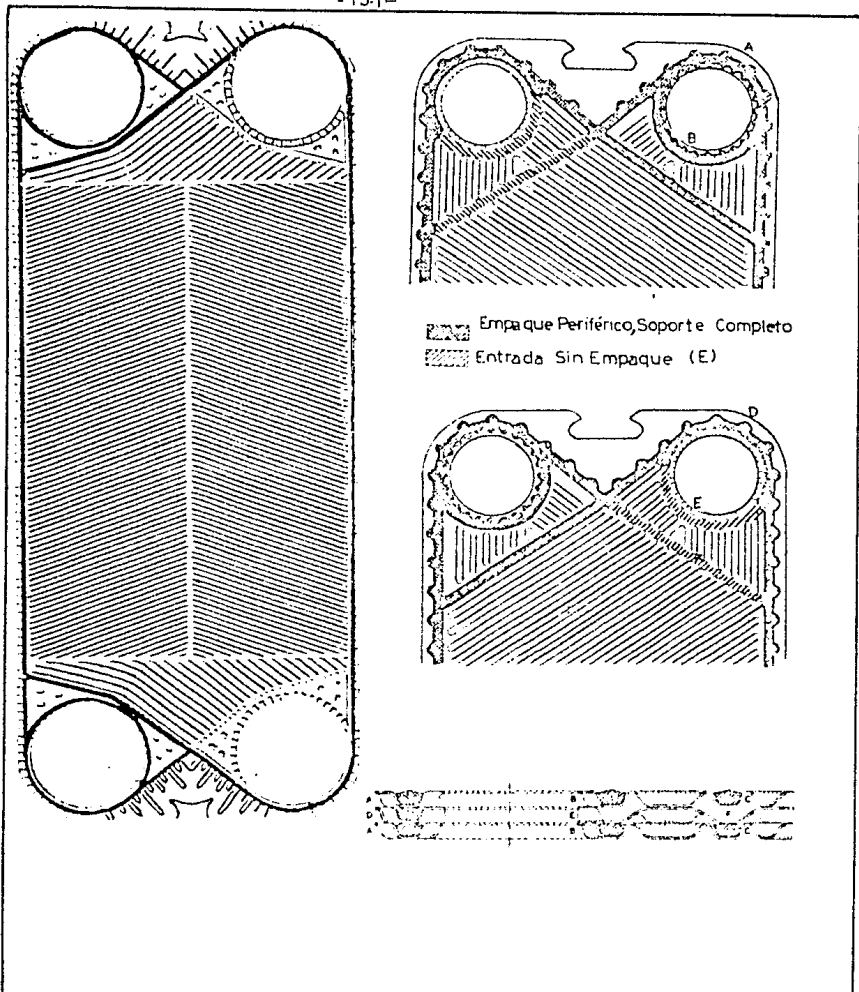
TIPO Y FORMA DE PLACAS

TESIS
PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R



ARAGON



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

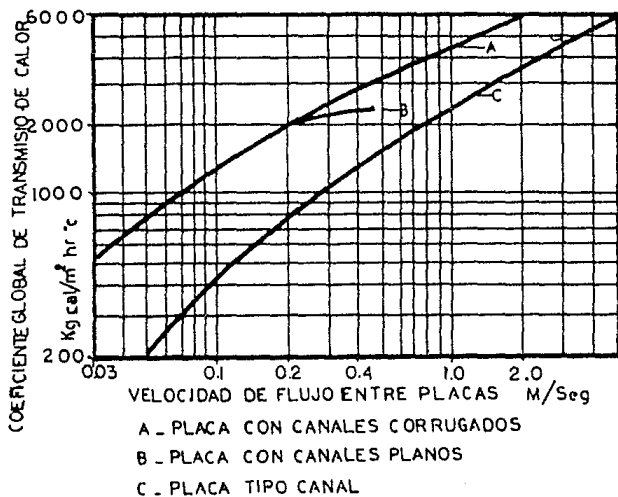
FIG. 13-1
FORMA DEL EMPAQUE EN LA PLACA

TESIS
PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG. 14 EFECTOS DE LA VELOCIDAD SOBRE EL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE VARIOS TIPOS DE PLACA

TESIS
PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON

1.4 Aplicaciones Típicas

El cambiador de calor de placas ha encontrado un uso muy valioso cuando se trabaja con suspensiones muy viscosas como lo son el bióxido de titanio (TiO_2), lechados de cal o agua de enfriamiento de ríos o de mar con altos contenidos de lodos.

Para problemas de corrosión el cambiador de calor de placas se usa, por ejemplo, en soluciones de sosa caústica al 50% y a temperaturas de $90^\circ C$ en este caso debido a la severidad de la corrosión se deben emplear placas de níquel puro.

En los enfriadores de soluciones concentradas antes de ser descargadas a los equipos de cristalización es muy conveniente usar este tipo de cambiador de calor.

En una instalación típica en la que se produce hipoclorito de sodio al hacer reaccionar el sodio con la sosa caústica, el calor de la reacción se ha eliminado tradicionalmente por medio del empleo de serpentines de enfriamiento de polietileno alojados en tanques de absorción de acero al carbón recubiertos de hule.

Sin embargo, la transferencia de calor es muy pobre debido a la baja conductividad del polietileno, y a las fracturas periódicas de los serpentines, lo que ocasiona además la contaminación del lote de proceso. Por esta razón se consideró la posibilidad

de una operación continua utilizando un cambiador de placas de titanio los cuales resultaron con un capital de inversión menor que las unidades de tubo y carcasa. La experiencia de operación de este equipo ha demostrado que la dura incrustación que se forma en unos pocos meses del lado de la placa en contacto con el agua de enfriamiento, se elimina muy fácilmente debido a la facilidad con la que se abre el cambiador de calor de placas; esto reduce los factores de costo de mano de obra durante el paro y el tiempo de la unidad fuera de operación.

En la industria del papel y la pulpa, una de las principales necesidades de intercambio de calor está en la recuperación de calor de agua de desecho y otros efluentes de desecho del proceso de blanqueo.

Las altas relaciones de temperaturas del cambiador de placas dan por resultado una economía muy significativa cuando se manejan grandes cantidades de efluentes de cloro por lo cual se requiere el uso de acero inoxidable, por otra parte, el agua desecho arrastra consigo residuos de material fibroso y es de suma importancia que el cambiador de calor pueda ser abierto para su limpieza.

Este tipo de unidades también se utilizan en la recuperación de calor de la solución de sulfito de desecho, la cual después de

la neutralización con cal en un cambiador de calor de placas a 70 °C mientras que el agua de enfriamiento sale del condensador a 60 °C y se puede utilizar en otros puntos del proceso.

En las plantas de N-Metil Pirrolidina también tienen gran aplicación los cambiadores de calor de placas, este material se utiliza en el proceso de conversión de metano y acetileno, y en la mayoría de las instalaciones efectuadas en Francia, Alemania U.R.R.S., Rumanía e Italia están incorporadas en unidades de proceso relacionadas con el aprovechamiento del gas natural, donde los cambiadores de placas forman una parte integral del equipo de recuperación de acetileno del gas natural. El N-Metil Pirrolidina es un solvente selectivo, que se utiliza en un sistema de recuperación cerrado de acetileno, el cual es primeramente absorbido por él y luego eliminado de él, el paso de absorción se efectúa a bajas temperaturas y el paso de eliminación a temperaturas ligeramente elevadas. La economía energética calorífica que se logra es mayor al 75 %.

La ventaja en este caso queda enfatizada por la facilidad de limpieza de las unidades, ya que el solvente tiene la tendencia a incrustarse en las superficies de transferencia de calor.

La instalación es compacta, requiere poco volumen de llenado lo cual es un factor importante pues el solvente es caro y

en consecuencia el costo del solvente usado se mantiene en --
valor mínimo.

Los cambiadores de calor de placas se utilizan bajo cir --
cunstancias similares en el proceso de Girbitol, para la elimina
ción de bióxido de carbono del gas amoniaco sintético usado en
un solvente selectivo que puede ser una solución acuosa del --
monoctanol amina.

1.5 Limitaciones

Debido a la forma de construcción este tipo de cambiadores de calor tienen la limitación inherente al material que se usa para el sello.

Algunos materiales usados para el sello son el llamado paracrif elaborado a base de fibras de asbesto comprimidas con teflón, otros materiales elastómeros útiles para las juntas son el hule natural, el paracrílico y el butílico, cada uno de ellos con límite máximo de temperatura.

El material que se usa en los sellos es uno de los puntos más críticos en los cambiadores de calor de placas. A diferencia de cualquier material de empaque en el que se puede aumentar la presión del sello, deformarlo y no tener ninguna consecuencia posterior ; en los cambiadores de placa, esta compresión debe estar limitada para asegurar un espacio de flujo entre las placas. Las características del empaque están no solamente determinadas por sus propiedades físicas, si no también por su sección transversal la cual tiene que ser diseñada de tal manera que cuando las placas se compriman baste su correcto espaciamiento para que la compresión del sello sea mayor que la presión interna del líquido, asegurando así un sello hermético.

Afortunadamente la selección de materiales para este ser--

vicio se ha ampliado grandemente durante los últimos años; el hule sintético se usa para la mayoría de las aplicaciones.

Aunque para trabajos ligeros, abajo de 82 °C se emplea el neopreno y el GRS.

Para seleccionar el material de empaque adecuado, se debe considerar tanto la acción química de los fluidos en contacto con el empaque, como la temperatura de operación.

La vida útil del sello depende del trato que se le dé durante la operación de mantenimiento y apriete de las placas.

Largos períodos de duración se han obtenido con tan solo un correcto apriete, lo suficiente para asegurar que no se presente fuga.

Además se debe tener en mente que cuando se pone en servicio un cambiador de placas y se eleva hasta su temperatura de operación, ambos materiales, tanto la placa metálica como el empaque sufren una expansión, aumentando la compresión a que están sujetos los empaques, haciendo más remota la posibilidad de fugas en el cambiador de calor de placas.

2

CAPITULO DOS

" Aplicación de Los Cambiadores
de Calor en las Plantas Nucleo-
eléctricas "

2.1 Diferentes Tipos de Plantas Nucleoeléctricas

En la actualidad existen diversos tipos de arreglos de plantas nucleoeléctricas, todos estos arreglos emplean uranio, ya sea enriquecido, natural o combinado con plutonio como fuente generadora de energía calorífica, esta energía se obtiene por medio de una reacción interatómica del uranio, la reacción puede lograrse por medio de una fisión nuclear, la cual consiste en la ruptura de un átomo de uranio U^{235} por medio de un neutrón a alta velocidad que lo golpea.

Existe otro método para generar energía calorífica, este es la fusión nuclear pero no se emplea.

La fisión nuclear se logra de la siguiente manera: El uranio natural es una mezcla de dos isótopos el U^{235} y U^{238} de estos solamente el U^{235} es fisible, cuando un neutrón a alta velocidad golpea y penetra en un núcleo de uranio U^{235} lo fisiona, es decir, lo subdivide en dos fragmentos aproximadamente iguales. Se emite también dos o tres electrones y una considerable cantidad de energía, el isótopo de U^{238} absorbe gran cantidad de estos neutrones sin producir fisión.

Se encuentra en cantidad tan grande, que el U absorberá gran cantidad de los neutrones emitidos por el átomo de ^{235}U antes de que estos se rean con otros átomos de ^{235}U y los subdividan nuevamente.

Si el átomo de ^{238}U no existiera, cada uno de los neutrones --- emitidos podría tocar un átomo de ^{235}U producir la fisión y liberar a su vez a otros neutrones, los cuales, romperían otros átomos de ^{235}U cada una de estas fisiones produce otros tres neutrones, Y así sucesivamente produciéndose una reacción en cadena incontrolable.

Esta reacción en cadena puede producirse en una fracción de segundo, y si tenemos en cuenta que cada fisión libera también una cantidad muy considerable de energía, es evidente que de aquí podrá derivarse una explosión en extremo violenta.

Una planta nucleoelectrica nunca podrá asociarse a una bomba atómica, la existencia del isótopo de uranio ^{238}U controla la reacción en cadena, aún cuando se utilice uranio enriquecido --- con ^{235}U , el empleo de materiales moderadores cuya función es absorber neutrones, además del ^{238}U controlarían la reacción en cadena. Una bomba atómica utiliza uranio ^{235}U puro, material -- que en una planta nucleoelectrica existe en cantidad muy reducida, Aun tratandose de uranio enriquecido.

El uranio natural contiene más del 99% de uranio ^{238}U y solo

el 0.7% de uranio U^{235} , cuando el uranio es enriquecido, se tiene un promedio de 1.87% de uranio U^{235} , la masa de U^{235} es muy pequeña en una planta nucleoelectrica la cual en presencia del U^{238} y el material moderador es incapaz de generar una reacción en cadena incontrolable, y por tanto una explosión nuclear.

La fusión nuclear es lo que ocurre cuando dos núcleos se unen formando uno solo. Como ocurre con los átomos de deuterio (hidrógeno pesado), que se utiliza en muchos experimentos de fusión, los núcleos que se unen generan grandes cantidades de energía. Pero para conseguir la fusión es necesario calentar el deuterio a unos 100 millones de grados Fahrenheit.

Estas condiciones plantean un difícil problema; no existe sustancia física para contener tales temperaturas, la solución sobre la que se trabaja actualmente, consiste en tejer una capullo magnético indestructible.

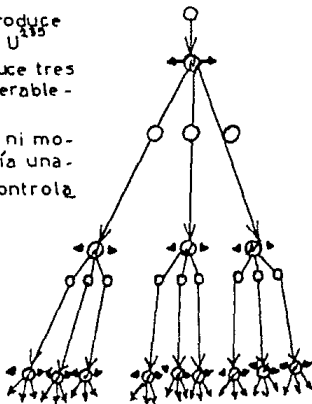
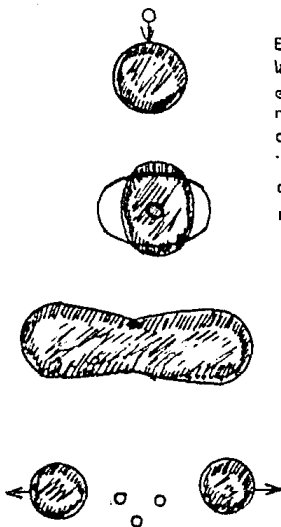
Si se llegara a resolver el problema, el deuterio del agua de mar podría proporcionar millones de veces más energía que cualquier otra fuente de energía actual.

De manera general las plantas nucleoelectricas funcionan de la siguiente manera;

Todas utilizan un reactor como fuente generadora de energía calorífica, existen diferentes tipos de reactores pero todos

FISION

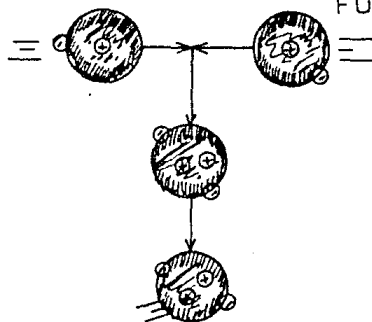
En la fisión nuclear se produce la ruptura de un átomo U^{235} en dos, la ruptura produce tres neutrones y una considerable cantidad de energía. Si no existiera el U^{238} ni moderadores se produciría una reacción en cadena incontrolable



REACCION EN CADENA

FUSION

La fusión es la unión de dos átomos, los más estudiado han sido los de deuterio. Su empleo será en plantas futuras esto es cuando se puedan contener las temperaturas tan altas que se obtienen de la fusión.



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG.2.1 FISION Y FUSION NUCLEAR

TESIS PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON

emplean al uranio ya sea enriquecido o natural como combustible, cuando el uranio entra en reacción por medio de una fisión desprende energía calorífica, entonces se requiere de dos elementos, un moderador que regule la fisión y un refrigerante que absorba la energía desprendida por la fisión, algunas plantas utilizan por moderador al grafito otras al agua natural y algunas más al agua pesada, como refrigerante utilizan agua pesada o natural o en su defecto algún gas como lo es el anhídrido carbónico, helio o sodio. El refrigerante al absorber la energía térmica desprendida por la fisión nuclear puede entrar en ebullición como sucede en las plantas del tipo BWR (reactor de agua hirviendo), en otras plantas el refrigerante no entra en ebullición esto se logra manteniendo el refrigerante a altas presiones. Si el refrigerante entró en ebullición en el reactor, entonces este se dirige a las turbinas pasando antes por los equipos auxiliares como los atemperadores etc., pero si aún no entra en ebullición entonces se dirige a un cambiador de calor donde transfiere su energía térmica a otro fluido. Cuando se tiene ya vapor de agua se dirige a las turbinas, en las turbinas la energía cinética del vapor se transforma en energía mecánica, la que al pasar a los generadores se transforma en corriente eléctrica. El vapor que a las turbinas no se desperdicia, ya que es transportado a un condensador donde cambia de fase, transformándose hasta --

en líquido condensado, el cual, es dirigido por medio de bombas ya sea al reactor o algunos de los cambiadores de calor para cerrar el ciclo y absorber nuevamente la energía térmica del refrigerante.

De manera general las plantas nucleoelectricas estan constituidas por tres partes esenciales estas son:

La primera esta constituida por el material de uranio arreglado de tal manera que permita la regulaci3n y control de la reacci3n en cadena.

La segunda la forma el moderador, que sirve para disminuir la velocidad de los electrones que lo atraviesan entre una colisi3n y la sucesiva.

La tercera es un sistema para extraer la energfa térmica del reactor y transferirla.

Se presenta de inmediato el problema de la selecci3n de materiales adecuados para el revestimiento de las barras, el moderador y el refrigerante.

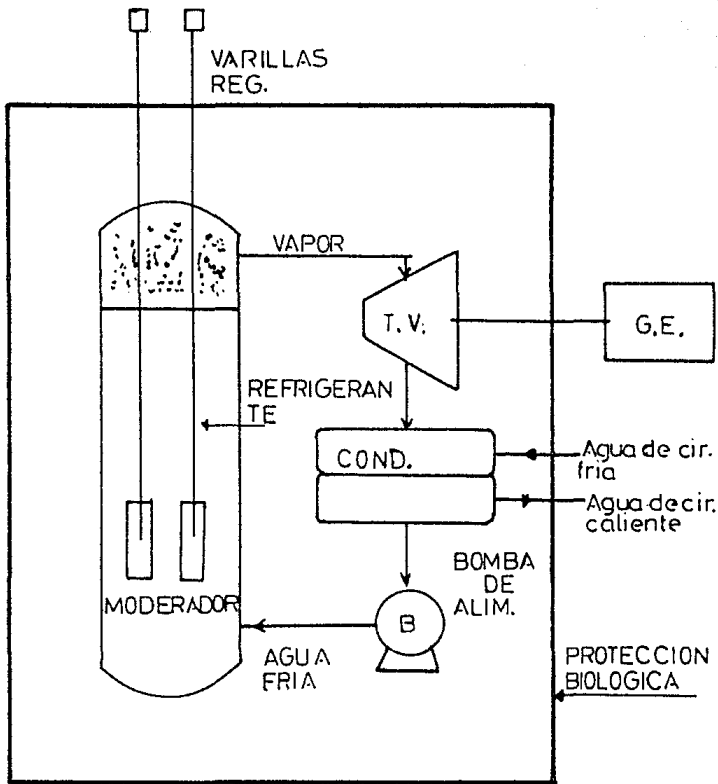
El material para el revestimiento de las barras de combustible a de ser capaz de soportar una elevada presi3n interna debido a los productos de la fisi3n. Estos materiales (moderador y refrigerante) han de tener una propiedad en com3n, no han de absorber demasiados neutrones, pues en caso contrario la-

la cantidad de estas partículas quedaría por de bajo del valor --- necesario para mantener la reacción en condiciones optimas. El material para el moderador no debe someterse a esfuerzos ya que la misión más importante de este es reducir la velocidad de los -- neutrones sin absorber demasiados.

Tres sustancias se emplean normalmente para este fin, el grafito, el agua pesada (en la que el deuterio, un isótopo de hidrógeno sustituye a este elemento) y el agua corriente. El agua pesada es cara, pero constituye un buen moderador; El agua corriente, que absorbe bien los neutrones, puede usarse unicamente si el "combustible" es uranio enriquecido, que es también muy caro. El grafito tiene la ventaja de ser sólido y en tal estado se pueden revestir las barras de uranio con barras de grafito, sin embargo, no es tan buen moderador como el agua pesada o el agua natural.

La elección de un buen refrigerante implica numerosas y complicadas consideraciones. Si el reactor emplea uranio enriquecido, -- se puede usar agua como moderador o refrigerante, ejerciendo el -- mismo fluido ambas funciones. Pero si el reactor emplea uranio natural, no se puede tomar en consideración al agua natural a causa -- de su elevada absorción de neutrones. Y puesto que no es posible -- usar ningún otro líquido, sera necesario buscar un refrigerante --- entre las sustancias gaseosas; algunos gases poseen los requisitos -- solicitados; por ejemplo el hidrógeno, helio y el anhídrido carbónico.

La selección de diversos materiales útiles como "combustible" y recubrimiento del mismo, del moderador y refrigerante a llevado a la creación de diversos tipos de plantas nucleoelectricas a continuación se mencionarán las más comunes así como la descripción de su funcionamiento.



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG.22

ARREGLO DE PLANTA NUCLEOELECTRICA

TESIS
PROFESIONA

MIGUEL ANGEL FLORES R.



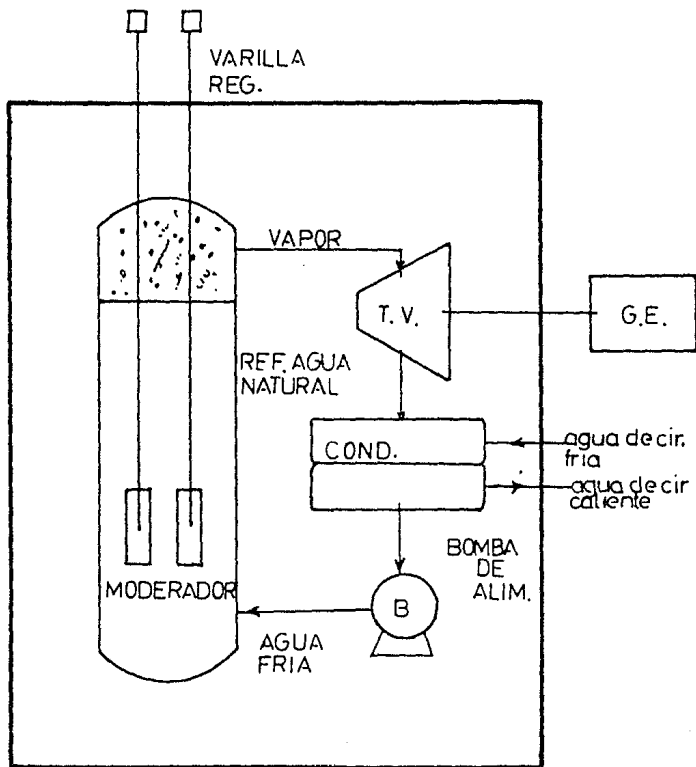
ARAGON

Reactor de Agua Hirviendo

El reactor de agua hirviendo emplea como "combustible" al uranio natural U238 enriquecido con U235, utiliza como moderador y refrigerante al agua natural.

El fluido refrigerante que es agua desmineralizada entra al reactor a alta presión, la energía desprendida por la fisión nuclear del "combustible" es absorbida por el agua la cual entra en ebullición.

El vapor es separado del agua dentro del mismo reactor y es enviada a la turbina la cual acciona un generador eléctrico, al salir el vapor de la turbina pasa a un condensador enfriado por agua de mar, el líquido condensado antes de ser enviado al reactor por medio de bombas se hace circular a través de precalentadores; los precalentadores son cambiadores de calor en los cuales circula por un lado vapor tomado de las extracciones de las turbinas de alta, baja y media presión y por otro lado el líquido condensado al cual se le incrementa su temperatura antes de entrar al reactor, la finalidad de las extracciones es mejorar el ciclo termodinámico de la planta.



Reactor de Agua Hirviendo



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG. 2.3

REACTOR DE AGUA HIRVIENDO

TESIS
PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON

Reactor de Agua a Presión

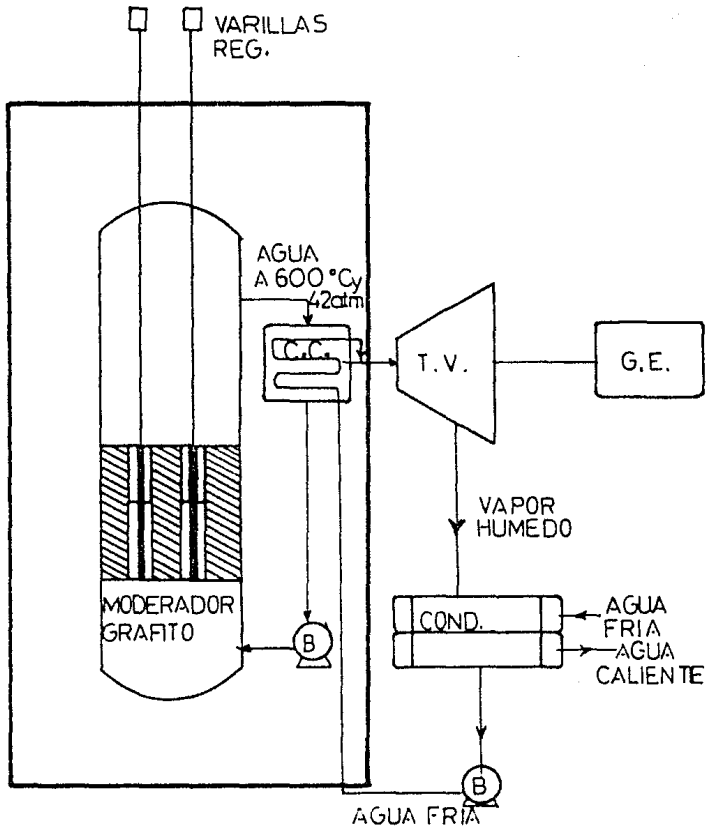
El reactor de agua a presión utiliza como "combustible" uranio U238 enriquecido con uranio U235.

El material empleado como moderador es el grafito; como --- refrigerante emplea al agua natural a 42 atm. de presión.

En este tipo de reactor el agua no entra en ebullición, sino - que únicamente se calienta a 600 °C. El mantener el agua a 42 atm. de presión impide que entre en ebullición a los 600 °C.

Una presión de 42 atm. dentro del reactor implica utilizar --- materiales de espesores mayores comparados con el reactor de agua hirviendo, lo que provoca que sean más costosos.

El agua a 600 °C que se obtiene en el reactor circula en un - circuito cerrado, pasa por un cambiador de calor donde transmite - su energía calorífica al agua natural fría hasta que es transformada a su fase gaseosa (vapor), este vapor es enviado a la turbina la cual está acoplada a un generador eléctrico, el vapor que sale de la turbina pasa a un condensador enfriado por agua de mar, el líquido -- condensado es enviado por medio de una bomba hasta el cambiador de calor donde nuevamente entra en ebullición al absorber la energía calorífica del agua del reactor a 600 °C, de esta manera se -- puede repetir el ciclo.



Reactor de Agua a Presion



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG. 24 REACTOR DE AGUA A PRESION



ARAGON

Reactor de Agua Pesada

El reactor de agua pesada utiliza como combustible uranio-natural, como moderador agua pesada y helio como refrigerante. El funcionamiento de este reactor es muy similar al de agua a presión.

El agua pesada es un buen moderador, es cuatro veces más eficiente que el grafito para frenar los neutrones.

El agua pesada existe en el agua ordinaria en proporciones muy reducidas, del orden del 0.015% esta constituida por un isótopo de hidrógeno de masa dos llamado deuterio y uno de oxígeno, Existen varios métodos para su obtención como lo son:

Proceso por electrólisis, la electrólisis se realiza en baterías o cubas conectadas en serie, en la primera se introduce agua natural, al circular una corriente eléctrica por dicha agua la descompone liberando los dos elementos que la constituyen oxígeno e hidrógeno.

En la primera cuba una parte del agua se descompone y debido a la corriente eléctrica, sucede lo mismo al pasar por las demás cubas, en la última se tiene ya un alto contenido de agua pesada, lo mismo que de hidrógeno, además se desprenden grandes cantidades de deuterio; de esta manera la planta se divide en dos en la primera se produce la electrólisis, en la segunda el hidrógeno

desprendido se transforma en agua natural la cual se recicla.

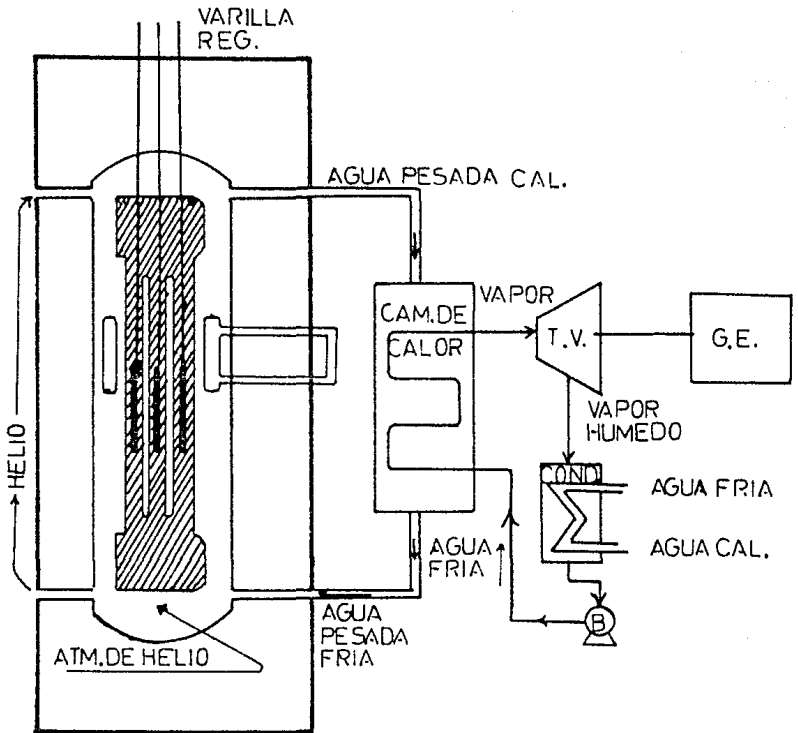
Para la obtencion de agua pesada destacan dos métodos -- químicos, uno de ellos basado en el ácido sulfúrico, único verdaderamente desarrollado en forma comercial por Canada; el otro esta basado en el proceso de síntesis de amoniaco, este -- último en fase experimental.

...En el programa nuclear de México existe la posibilidad de considerar reactores nucleares de uranio natural, el abastecimiento de agua pesada sería un elemento importante del programa, pues la contribución de este insúmo en la inversión -- inicial de las estaciones generadoras es del orden de un 17% lo que repercute en un 10 o 15 % del costo de la electricidad que se genera. La producción de un megawatt de electricidad requiere aproximadamente de 0.8 ton.met. de agua pesada y el costo aproximado de este líquido (si se puede conseguir) es superior al medio millon de dolares por tonelada... (7).

En Instituto Mexicano del Petróleo ha considerado un camino -- diferente en la obtención de agua pesada, este método sería único para México.

El proceso de obtención de agua pesada del Instituto Mexicano del Petróleo está basado en el intercambio isotópico de deuterio, entre el hidrógeno y el agua que fluye en las plantas de hidrógeno, el cual es usualmente acelerado por catalizadores, esto puede

lograrse siempre y cuando existan volúmenes de hidrógeno adecuados para hacer económico el proceso. Tales volúmenes de hidrógeno se encuentran en las plantas petroquímicas de Petróleos Mexicanos, se cuenta con estudios de equilibrio de deuterio que contienen las corrientes de amoniaco y una investigación teórica del intercambio isotópico de dichas corrientes.



Reactor de Agua Pesada



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG. 2.5 REACTOR DE AGUA PESADA

TESIS
PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R



ARAGON

Reactor de Sodio Grafito

El reactor de sodio grafito es el más eficiente, el menor -- contaminante y el más usado.

Emplea como combustible uranio U238 enriquecido con -- uranio U235, el moderador es el grafito y el refrigerante el -- sodio. Emplea tres sistemas cerrados, el primero lo constituye el reactor, un cambiador de calor intermedio y una bomba elec tromagnética encargada de cerrar el ciclo.

El segundo lo forman el cambiador de calor intermedio, un cambiador de calor final y una bomba electromagnética que maneja una aleación de sodio y potasio

El tercer ciclo lo forma el cambiador de calor final, la tur bina de vapor, el generador eléctrico, un condensador y una -- bomba centrífuga que regula el agua de condensado.

El sodio absorbe la energía calorífica desprendida por la -- fisión nuclear del combustible dentro del reactor. En el cambia dor de calor intermedio en forma de " U " el sodio transmite su energía calorífica a una aleación de sodio potasio, la cual -- en el cambiador de calor final transmite su energía calorífica al agua hasta su punto de ebullición.

Las características del sodio y el potasio hacen que el vapor contenga un mínimo de contaminación radioactiva, este vapor es enviado a la turbina la cual acciona a un generador -

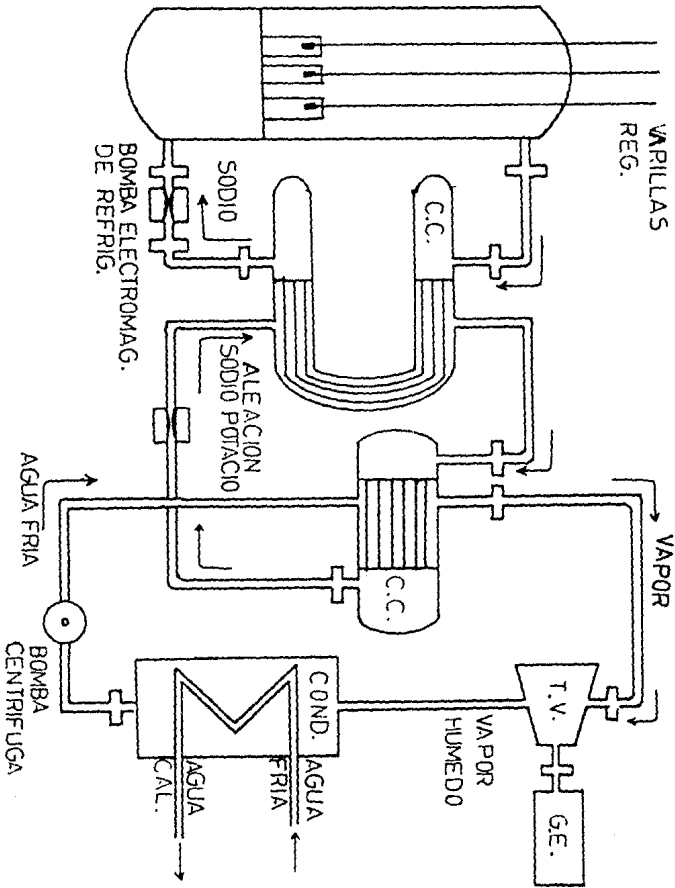
eléctrico, el vapor que abandona la turbina pasa a un condensador enfriado con agua de mar, una bomba centrífuga es la encargada de enviar el líquido de condensado al cambiador de calor final y repetir el ciclo.

Reactor Refrigerado por Aire

El reactor refrigerado por aire utiliza como combustible -- uranio natural, el moderador es el grafito y el refrigerante es aire a presión.

El inconveniente de este arreglo es que hay que vigilar -- constantemente la radioactividad del aire a la salida de la chimenea.

En este arreglo el aire absorbe la energía desprendida -- por la fisión nuclear, el aire calienta el agua contenida en los tubos del cambiador de calor transformandola en vapor listo -- para ser enviado a la turbina.



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG.2.6

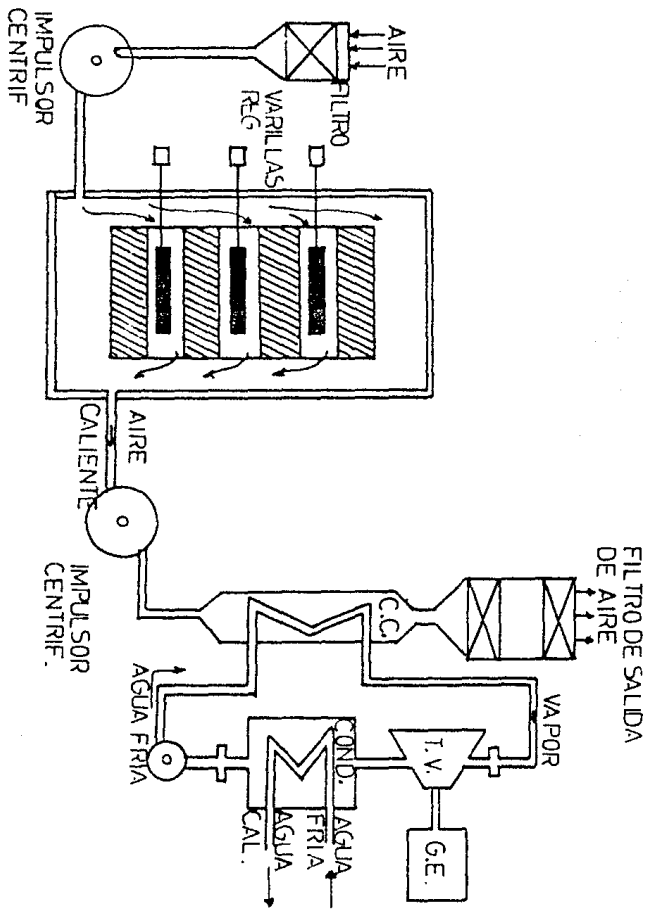
REACTOR DE SODIO GRAFITO

TESIS
PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG.2.7 REACTOR REFRIGERADO POR AIRE

TESIS
PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R



ARAGON

Reactor Refrigerado Por Gas

El reactor refrigerado por gas utiliza combustible de uranio natural, moderado por medio de helio o anhídrido carbónico.

Debido a la poca radioactividad del helio, el cambiador de calor puede instalarse sin protección biológica; en los países europeos este arreglo es muy utilizado.

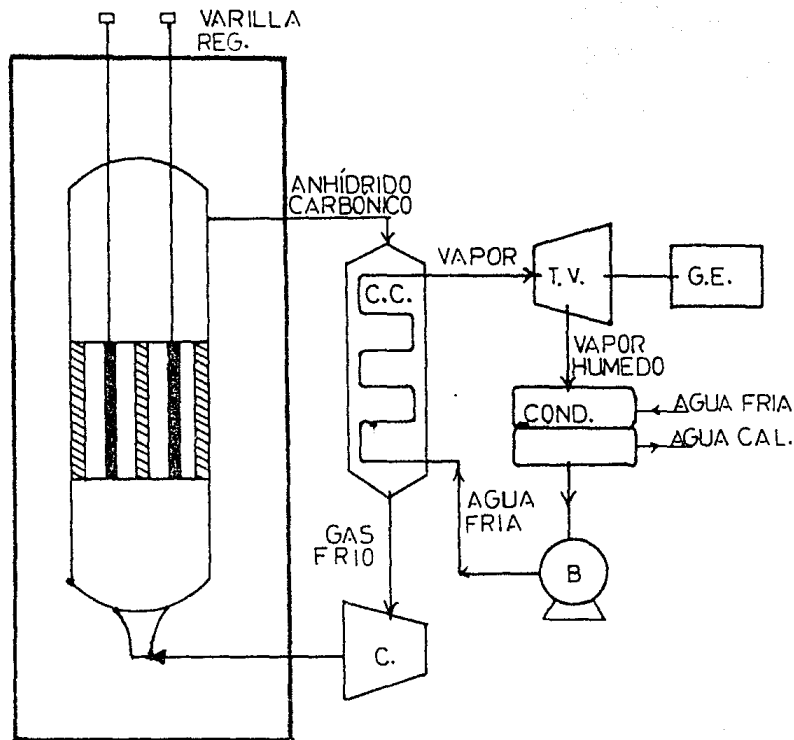
En un reactor enfriado por gas, los elementos combustibles revestidos se tienen a presión en un recipiente de acero. El anhídrido carbónico, transportado por el impulsor centrífugo -- desde abajo, circula a presión elevada, envolviendo a las barras de combustible y saliendo por arriba del reactor. El fin de la presión alta es aumentar la densidad del gas, de manera que la unidad de volumen del gas durante la circulación pueda absorber la mayor energía térmica posible.

El anhídrido carbónico caliente es transportado por medio -- de conductos desde la parte superior del reactor a un transformador de calor. En los transformadores de calor, el anhídrido carbónico calienta el agua contenida en los tubos provenientes del condensador de superficie, transformándolo en vapor recalentado listo para introducirlo de nuevo a la turbina.

La temperatura esta limitada en un rango de 250 a 300 °C ya que a temperaturas mayores se pueden producir variaciones -

en la estructura cristalina del uranio, utilizado como combustible, con las consiguientes distorsiones y posibilidad de ruptura de los revestimientos.

De ocurrir así, los productos de fisión radioactiva podrían mezclarse con el anhídrido carbónico y contaminar toda la central. Así pues, en este tipo de reactor atómico el rendimiento de transformación de energía térmica en eléctrica es menor-- que en una central tradicional, a causa de la temperatura inferior a la que esta obligada a trabajar.



Reactor Refrigerado por Gas



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG. 2.8

REACTOR REFRIGERADO POR GAS

TESIS
PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON

2.2- Sistemas de Enfriamiento es una Planta Nucleoeléctricas Tipo BWR .

La razón por la cual se eligió el arreglo del reactor de agua hirviendo es en el sentido de la poca experiencia en México en este tipo de centrales nucleoelectricas, es decir, unicamente se tiene -- una planta instalada en Laguna Verde, Veracruz, la cual contempla el arreglo mencionado.

Así que únicamente se analizará para la central mencionada.

En esta parte se tratarán los sistemas auxiliares y secundarios de enfriamiento del reactor.

El sistema de enfriamiento auxiliar del reactor está formado por; el sistema de remoción de calor residual y el sistema de purificación de agua del reactor.

El sistema secundario de enfriamiento está formado por; el sistema de enfriamiento y purificación de la alberca de combustible y el sistema de agua de enfriamiento nuclear.

Los sistema que a continuación se describen son en los que -- se propondrá la sustitución de cambiadores de calor de haz de tubos y carcaza por los de placas.

Sistema de Remoción de Calor Residual (S.R.C.R)

El sistema de remoción de calor residual tiene el objetivo - de restaurar y mantener el inventario del enfriador en la vasija - del reactor de manera que el núcleo se enfríe adecuadamente después de una pérdida de enfriador accidental. Además de mantener la temperatura de la alberca de supresión de tal manera que asegure un correcto enfriamiento.

Una pérdida de enfriador sucede cuando se da una rotura de una tubería del sistema de enfriamiento del reactor, ocasionándose una pérdida apreciable de agua.

En condiciones normales el agua que circula por la tubería - del sistema de enfriamiento se encuentra a alta presión por lo que, al producirse una ruptura, esta agua se convierte subitamente en - vapor.

Esto produce una elevación de presión y de la temperatura en los diferentes recintos del edificio a la vez que se dificulta la remo- ción de calor del reactor, aumentándose por ello la temperatura en las pastillas del combustible.

Este sistema provee los medios para remover el calor de -- decaimiento y el residual del sistema nuclear, con el fin de recargar el reactor de combustible.

Cuando no este disponible el sumidero normal de calor el --- (S.R.C.R.) puede actuar para condensar el vapor del reactor.

El sistema de remoción de calor residual actua automáticamente en combinación con otros sistemas de reserva del núcleo para -- impedir que la temperatura del encamisado exceda de 270 °F despues de una pérdida de enfriamiento.

El sistema tiene capacidad suficiente de remoción de calor -- para enfriar al reactor hasta 125 ° en 20 horas despues de ser -- apagado

Sistema de Purificación de Agua del Reactor

Debido a que el agua circula por el reactor, que contiene -- material radiactivo, es necesario contar con un sistema que separe el material radiactivo que aparece en estado sólido en el agua y -- almacenarlo en lugares apropiados.

El objetivo de este sistema es mantener una pureza de gran -- calidad en el agua del reactor para limitar la acción química y corrosiva, de esta manera se limitará el ensuciamiento y se evitarán -- los depósitos en las superficies de transferencia de calor.

La función del sistema de purificación de agua del reactor es controlar las impurezas solubles en el sistema de agua de alimentación, controlar la concentración de productos fisionables de larga -- vida debido a una fuga de combustible, además de purificar el agua extraída del reactor durante el calentamiento.

Sistema de Enfriamiento y Purificación de la Alberca de Combustible

Este sistema tiene por objeto remover el calor liberado por el decaimiento de los elementos del combustible gastado. El sistema mantiene la temperatura, pureza, claridad y nivel específico -- para la alberca del combustible.

El sistema de enfriamiento y purificación de la alberca -- está encargado de minimizar la acumulación de productos corrosivos, además de controlar la claridad del agua, de tal manera que los ensambles de combustible sean manejados eficientemente bajo el agua.

Entre otras funciones está la de minimizar la concentración de productos de fisión en el agua de la alberca que se descarga al medio ambiente del edificio del reactor.

Dentro de las funciones prioritarias de este sistema está la de mantener la temperatura del agua de la alberca a menos de - 125 °C bajo condiciones normales de operación.

Este sistema está diseñado para operar de tal manera, -- que evite que parte del combustible se descubra debido a un rompimiento accidental de una tubería o apertura de válvula, -- además de minimizar la corrosión del agua.

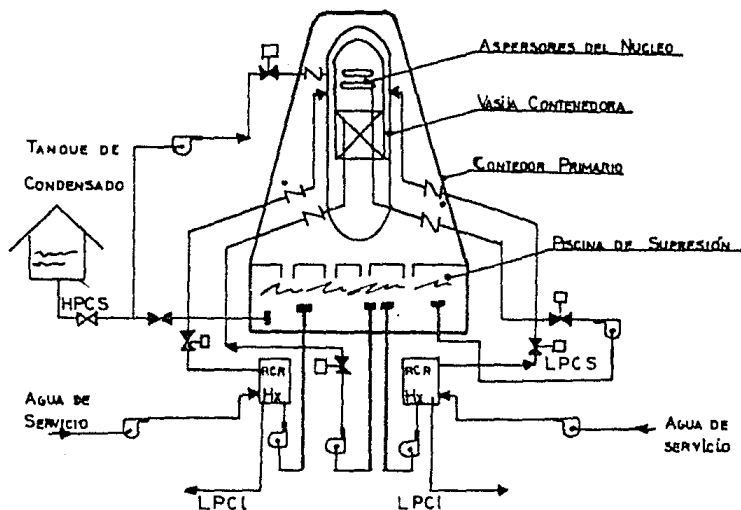
Sistema Cerrado de Agua de Enfriamiento Nuclear

Este sistema tiene por objetivo remover la carga térmica -- desprendida por todo el equipo esencial durante todos los modos de operación.

El sistema cerrado se requiere para proporcionar enfria-- miento al equipo esencial, bajo una pérdida de carga normal - - y durante un accidente de pérdida de enfriador con pérdida de - energía externa.

Este sistema funciona en una pérdida de carga y enfriamien-- to del reactor, así como en el enfriamiento de los sistemas auxi-- liares usados para mitigar la consecuencia de una pérdida de -- enfriador.

Lo importante de este sistema es que proporciona suficiente salvaguarda para garantizar una pérdida de carga segura o -- apagado del reactor en caso de accidente , como puede ser la-- pérdida de enfriamiento, pérdida del suministro de energía -- eléctrica externa o un sismo que ocasione daños como los -- antes mencionados, el sistema puede operar con o sin sumi--- nistro de energía eléctrica.



- LPCS SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE BAJA PRESIÓN
- HPCS " " " " ALTA PRESIÓN
- LPCI " " INYECCION " BAJA PRESIÓN
- RCR " " REMOCION DE CALOR RESIDUAL



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG. 2.9.

SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

TESIS
PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON

2.3. - Operación de los Sistemas de Enfriamiento

Sistema de Remoción de Calor Residual

El sistema de remoción de calor residual es una combinación de tres subsistemas. El equipo principal consiste en dos cambiadores de calor, tres bombas del sistema principal y cuatro bombas de agua de servicio, además de tuberías, válvulas para su conexión y los sistemas de control necesarios. Los subsistemas que lo integran operan de la siguiente manera:

Uno de los subsistemas tiene a su cargo la operación de inyección de enfriador a baja presión, está diseñado para operar bajo las siguientes condiciones ambientales.

340 °F por tres horas

320 °F por tres horas adicionales en las mismas condiciones

250 °F por 18 horas adicionales a una presión de 25 lb/in² man.

200 °F por 99 horas a 20 lb/in² man.

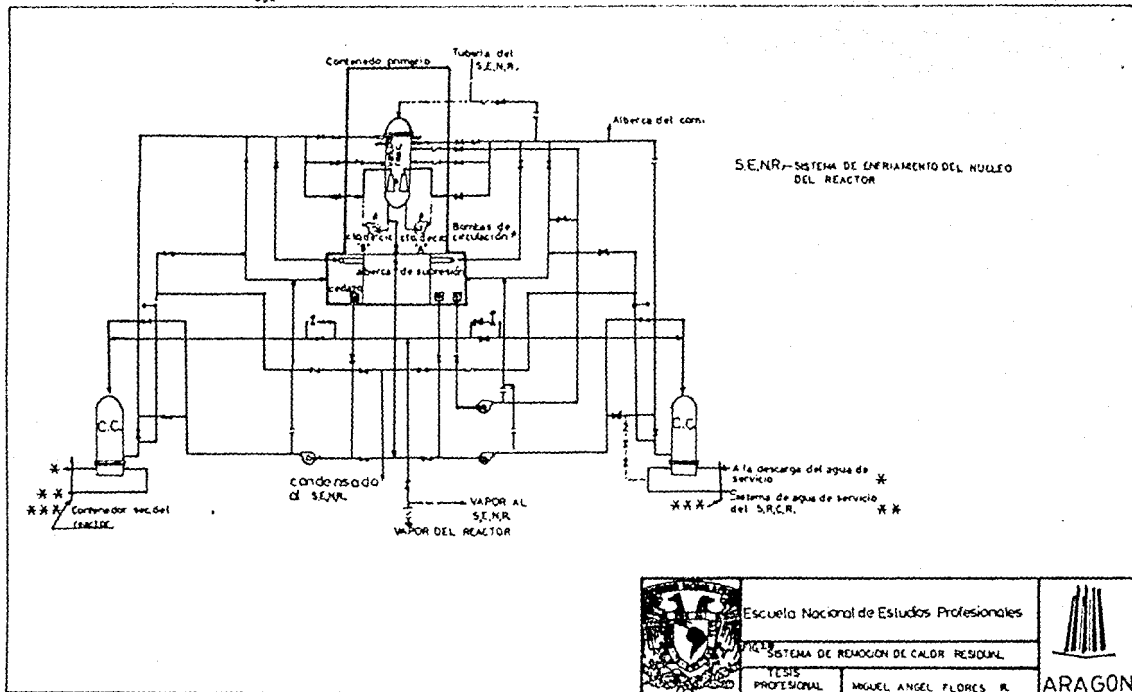
Los cambiadores de calor están diseñados para trabajar en condiciones severas, en un diseño de tubos en "U" que se monta en posición vertical.

Otro subsistema parte integral del sistema de remoción de

calor residual opera durante un apagado y enfriamiento normal. -

La fase inicial de enfriamiento del sistema nuclear se logra vertiendo vapor de la vasija del reactor al condensador principal, - este subsistema en caso de que el reactor sea apagado es capaz de completar el enfriamiento, de 300 a 125 °F dentro de 20 horas después de que las barras de control han sido insertadas y mantienen el subsistema a 125°F para una recarga de combustible y mantenimiento del reactor.

El último de los subsistemas está encargado de limitar la temperatura normal del agua de la alberca de supresión de manera que inmediatamente después de ocurrir una pérdida de enfriador la temperatura de la alberca no exceda de 170 °F, temperatura suficiente para realizar las funciones correspondientes.



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

SISTEMA DE REMOCION DE CALOR RESIDUAL

TESIS PROFESIONAL MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON

Sistema de Purificación del Agua del Reactor

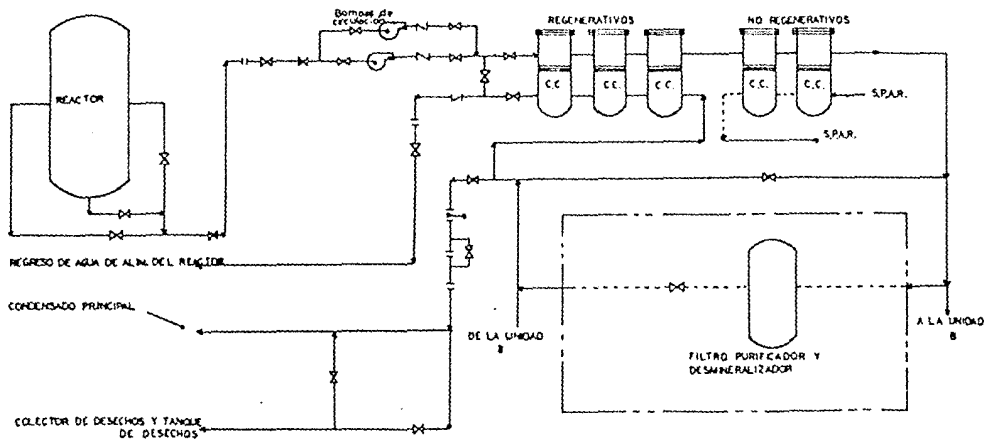
La calidad del agua en un reactor tipo BWR es de máxima importancia, esta calidad depende del agua de alimentación y del funcionamiento adecuado del sistema de purificación de agua del reactor. El control de las impurezas se realiza combinando la selección de materiales, manteniendo un adecuado control de la cantidad de oxígeno el cual forma una capa tenaz de óxido en las superficie de las paredes de los tubos de calentamiento de agua, (los cuales son de acero inoxidable) y mediante un tratamiento de filtración e intercambio iónico en el sistema de tratamiento de condensado.

El sistema de purificación de agua del reactor esta constituido por el siguiente equipo; Dos bombas centrifugas, tres cambiadores de calor regenerativos, dos cambiadores de calor no regenerativos y dos filtros desmineralizadores con sus accesorios. El sistema se conecta por medio de válvulas y tuberías asociadas -- opera de la siguiente manera;

El agua del reactor se enfría en los intercambiadores de calor regenerativos y no regenerativos, el cambiador de calor regenerativo el calor del agua afluente al agua efluente la cual regresa al sistema de agua de alimentación, los cambiadores de calor no regenerativos enfrían el agua afluente un poco más de esta manera el enfriador del reactor es enfriado antes de entrar en --

las unidades filtro desmineralizadoras, la temperatura de estas unidades esta limitada por la temperatura de operación de la resina de intercambio iónico las cuales no son regenerativas y son procesadas en el sistema de desechos radioactivos.

En resumen, el agua del reactor se enfría en los cambiadores de calor regenerativos y no regenerativos, despues se filtra, se desmineraliza y regresa al sistema de agua de alimentación a través del lado de la carcaza de los cambiadores de calor regenerativos.



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

(I.C.T.) SISTEMA DE PURIFICACION DE AGUA DEL REACTOR (S.P.A.R.)

TESES PROFESIONAL

NIGUEL ANGEL FLORES R



ARAGON

Sistema de Enfriamiento y Purificación de la Alberca de Combustible

Este sistema dispone de la capacidad suficiente para remover el calor de todo el núcleo durante cualquier período, que puede ser en equilibrio y no equilibrio en cualquier ciclo del combustible.

El sistema enfría el agua de la alberca de almacenamiento del combustible, transfiriendo el calor de decaimiento del combustible gastado a través de los cambiadores de calor al sistema cerrado de agua de enfriamiento nuclear.

El sistema está constituido por dos bombas de circulación que operan a toda su capacidad, dos cambiadores de calor que operan a plena carga, dos filtros demineralizadores, dos tanques amortiguadores desnatadores y las tuberías, válvulas e instrumentos de control necesarios.

Las bombas hacen circular el agua de la alberca en un circuito cerrado, succionándola de los tanques amortiguadores, circulándola a través de los cambiadores de calor y filtros, descargándola a través de difusores que se encuentran en el fondo de la alberca de combustible y del fondo del reactor.

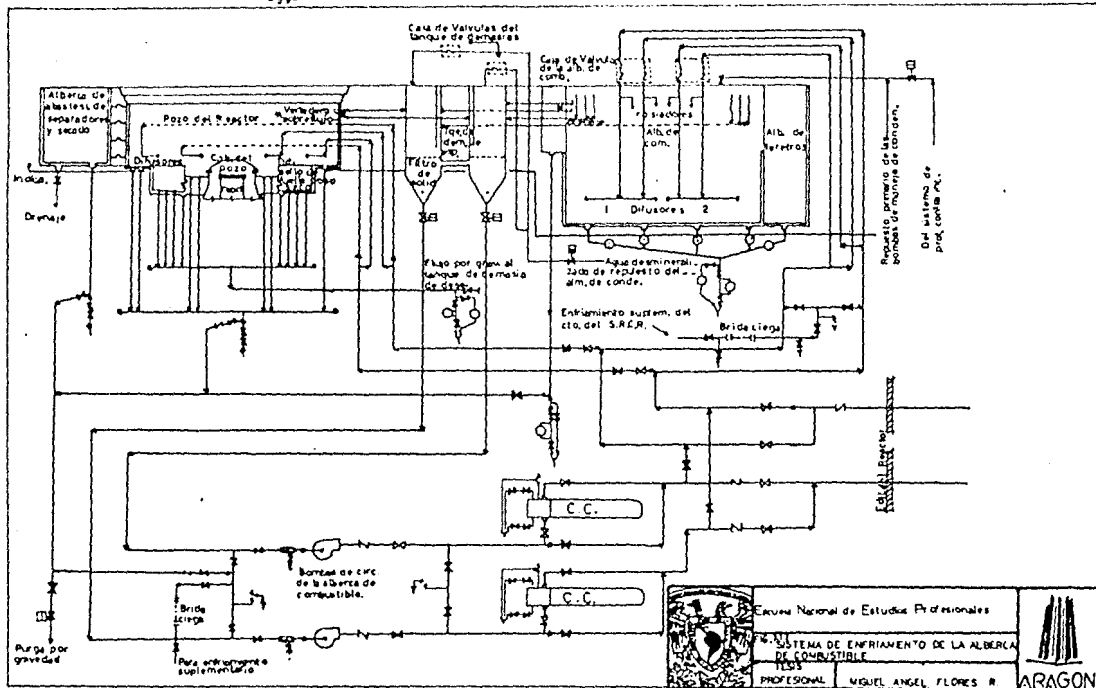
El agua fluye desde la superficie de la alberca hasta los tanques de derrame, circulando continuamente en todos los sitios

donde se halle almacenado el combustible gastado en la alberca.

Cada uno de los cambiadores de calor esta diseñado para remover la carga de calor nominal, la temperatura de operación es de 125 °F la cual puede aumentar.

Los cambiadores de calor se enfrían por medio del sistema cerrado de agua de enfriamiento nuclear, esto es con el fin de prevenir la contaminación fuera del edificio del reactor en el caso de una falla en los tubos del cambiador.

El sistema puede extraer cargas de calor mayores, cuando opere en su totalidad en paralelo o a través de interconexiones con los cambiadores de calor del sistema de remoción de calor residual.



Examen Nacional de Estudios Profesionales

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LA ALBERCA DE COMBUSTIBLE

PROFESIONAL MIGUEL ANGEL FLORES R



Sistema Cerrado de Agua de Enfriamiento Nuclear

El sistema cerrado de agua de enfriamiento nuclear es un eliminador de calor de varios equipos esenciales y no esenciales localizados en el edificio del reactor y en el edificio de desechos radioactivos, el sistema esta diseñado con el siguiente equipo; en dos circuitos independientes.

Cuatro bombas y cuatro cambiadores de calor, cada circuito independiente consiste de dos bombas y dos cambiadores de calor operando al 50% de su capacidad.

Se utilizan tres bombas y tres cambiadores de calor para operar a plena carga de diseño. Una bomba y un cambiador de calor de cualquiera de los circuitos cumplira con los requisitos para un apagado de emergencia.

El sistema esta arreglado con el suficiente equipo redundante para que en caso de emergencia o accidente con probabilidades extremadamente bajas de que suceda, el reactor puede ser apagado por una sola bomba y un solo cambiador de calor despues de una pérdida de enfriador o de energía o una sola falla en un componente. Siempre se dispone del suficiente equipo para permitir un apagado seguro del reactor.

El sistema opera como un sistema dividido en toda operación esto es, que además de conectarse con el S.R.C.R. puede operar independientemente, los cabezales de suministro y retorno estan

Sistema Cerrado de Agua de Enfriamiento Nuclear

El sistema cerrado de agua de enfriamiento nuclear es un eliminador de calor de varios equipos esenciales y no esenciales localizados en el edificio del reactor y en el edificio de -- desechos radioactivos, el sistema esta diseñado con el siguiente equipo: en dos circuitos independientes.

Cuatro bombas y cuatro cambiadores de calor, cada circuito independiente consiste de dos bombas y dos cambiadores de calor operando al 50% de su capacidad.

Se utilizan tres bombas y tres cambiadores de calor para -- operar a plena carga de diseño. Una bomba y un cambiador de - calor de cualquiera de los circuitos cumplira con los requisitos para un apagado de emergencia.

El sistema esta arreglado con el suficiente equipo redundante para que en caso de emergencia o accidente con probabilidades extremadamente bajas de que suceda, el reactor puede ser apagado por una sola bomba y un solo cambiador de calor despues de --- una pérdida de enfriador o de energía o una sola falla en un componente. Siempre se dispone del suficiente equipo para permitir - un apagado seguro del reactor.

El sistema opera como un sistema dividido en toda operación esto es, que además de conectarse con el S.R.C.R. puede operar - independientemente, los cabezales de suministro y retorno estan --

dívididos por una válvula de modo que una falla en los componentes de un circuito no afecta el buen funcionamiento del otro. Los cambiadores de calor están separados del edificio del reactor.

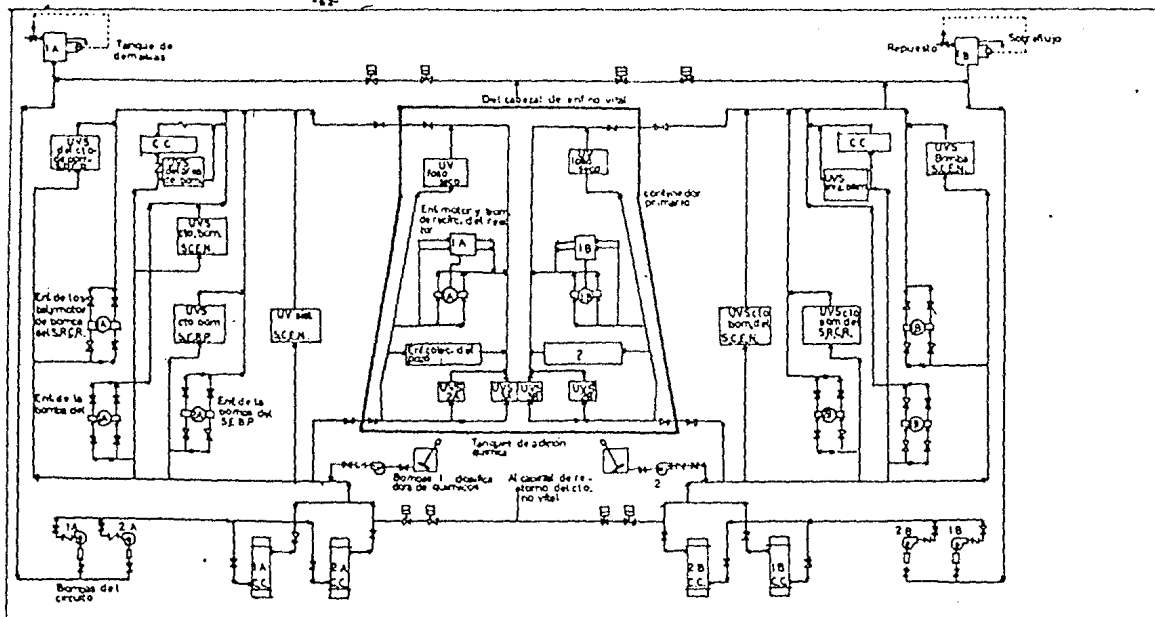
Los equipos que son enfriados por este sistema entre otros están;

Equipo esencial

- Enfriadores de bombas.
- Serpentines de enfriamiento de diversas unidades de ventilación.
- Cambiadores de calor de sumidero del foso seco y de la alberca del combustible.

Equipo No esencial

- Serpentin de ventilación del cuarto de instrumentos y del equipo de vacío.
- Enfriadores de sellos y chumaceras de bombas, de muestras de los desechos radioactivos, del sistema de evacuación de gases etc. .



UV Unidad Ventiladora
 UVS Unidad Ventiladora de Serpiente
 SEBP Sistema de Entr. de Baja Presión
 SCEN Siste Cerrado de Entr. Nuclear



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG. SISTEMA CERRADO DE AGUA DE ENFRÍAMENTO NUCLEAR

YES'S
 PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R.



3

CAPITULO TRES

" Propuesta del Cambiador de Calor
de Placas en Plantas Nucleoeléctri-
cas "

Propuesta del Cambiador de Calor de Placas en Plantas Nucleoeléctricas.

Las grandes necesidades de transferencia de calor en una planta nucleoelectrica son realizadas principalmente por medio de un cambio de fase, esto es, una condensación; A este proceso termodinámico se le conoce enfriamiento primario.

El sistema secundario y auxiliar de enfriamiento esta encargado de remover el calor por fricción en motores, bombas, y otros equipos, remover el calor residual del reactor, además, de mantener la temperatura de la alberca en óptimas condiciones, entre otras funciones ya mencionadas anteriormente. A este sistema de enfriamiento, para nuestro caso sera llamado sistema central de enfriamiento.

Debido a las limitaciones del cambiador de calor de placas en sus características mecánicas, estos solo podrán ser utilizados bajo las siguientes condiciones:

- El troquelado de las placas y espesores actuales de éstas no permiten ser utilizadas con presiones de operación mayores a las 230 lb / pul².

-Debido a las limitaciones técnicas del empaque, en nuestro -- caso se manejarán temperaturas arriba de 150 °C, para ello se utilizará fibra de asbesto comprimida la cual es capaz de soportar -- temperaturas de 250 °C, por tal motivo los cambiadores de calor -- de placas no podrán operar a temperaturas mayores a los 250 °C -- ya que no existe otro material para el empaque que cumpla con tales requisitos.

En estos límites ya está incluido un factor de seguridad para su correcto desempeño, es decir, pueden operar con plena seguridad hasta los límites señalados. El cambiador de calor de placas -- puede operar y emplearse siempre en condiciones iguales o inferiores a las señaladas.

Los cambiadores de calor de placas pueden utilizarse en -- plantas nucleoelectricas del tipo BWR (reactor de agua hirviendo) PWR (reactor de agua a presión), en reactores enfriados por gas -- y en reactores de agua pesada, puede emplearse en plantas termoelectricas e hidroelectricas.

Se pueden utilizar en el sistema secundario de enfriamiento y en lugares donde los límites señalados anteriormente no sean -- superados, hasta la fecha no existe un cambiador de calor de placas que realiza las funciones de condensado de vapor de alta capacidad, por tal motivo no podrá ser utilizado en el sistema principal de enfriamiento de una planta nucleoelectrica o termoelectrica.

Se han seleccionado cuatro arreglos (ya mencionados anteriormente) de la planta nucleoelectrica de Laguna Verde Veracruz, las cuales corresponden a un sistema PWR. Dichos arreglos operan en condiciones inferiores a las señaladas, incluso cuando estos operen en condiciones criticas.

Acontinuación se presentan tres diagramas en los cuales se muestra la forma en que operarán los cambiadores de calor de placas.

En la figura 1 se muestra un esquema simplificado del sistema de remoción de calor residual tambien llamado sistema central de enfriamiento; unicamente se muestra uno de sus lados debido a que este es simétrico (el lado izquierdo es omitido).

Los cambiadores de calor de placas representados por el número 12, son dos que suplen a uno de haz de tubos y carcaza que en condiciones normales de operación trabajan a la mitad de su capacidad, uno solo de los cambiadores de calor tubulares es capaz de satisfacer las necesidades de transferencia de calor incluso en condiciones criticas de operación.

Un cambiador de calor de placas satisface plenamente las condiciones de operación normal, cuando este se opera a su máxima capacidad satisface las condiciones criticas operación del sistema, de modo que dos cambiadores de calor de placas conectados en serie proporcionan suficiente capacidad de remoción para operar con máxima seguridad. Cuando los sistemas de enfriamiento operen en

en condiciones normales uno de los cambiadores de calor de placas podrá encargarse de la función requerida mientras que el otro esta inactivo o en mantenimiento, tres cambiadores de calor de placas pueden sustituir a los dos de tubos del sistema de remoción de calor residual, debido a la importancia del sistema se proponen -- cuatro cambiadores de placas para que reemplacen a los dos tubulares.

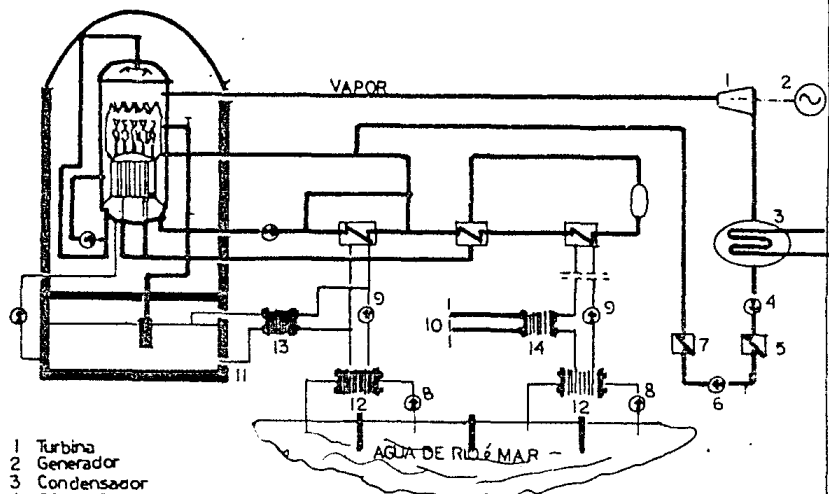
Los cuatro cambiadores de placas proporcionaran enfriamiento a los siguientes equipos:

- Agua de enfriamiento del reactor.
- Enfriamiento del contenedor del reactor.
- Circuitos derivados del reactor.
- Alberca de supresión.
- Sistema de purificación de agua.
- Enfriamiento a equipo esencial y no esencial.
- Generador (estator, rotor, sellos).
- Compresores.
- Enfriadores.
- Acondicionamiento de aire, entre otros equipos.

La fig. 2 muestra la forma en la que los cambiadores de calor de placas del sistema de remoción de calor residual son conectados para que estos alimenten a los cambiadores de calor regenerativos y no regenerativos del sistema cerrado de agua de enfriamiento --

nuclear, este sistema es enfriado por cinco cambiadores de calor tubulares los cuales son sustituidos por ocho de placas los cuales satisfacen plenamente las necesidades de transferencia de calor.

En la figura 3 se muestra la aplicación de los cambiadores de calor de placas en el sistema de purificación de agua.



- 1 Turbina
- 2 Generador
- 3 Condensador
- 4 BOMBA DE COND.
- 5 Pre-cal. de baja pres.
- 6 Booster
- 7 Pre-cal. de alta pres.
- 8 Sis. central de enf.
- 9 Cta. de agua desmineralizada
- 10 Sis. de calentamiento
- 11 Contenedor del sist. de enfriam.
- 12 C.C.P. del sist. central de enfriam.
- 13 " " cont. de enfriam.
- 14 " " Sist. de cal.



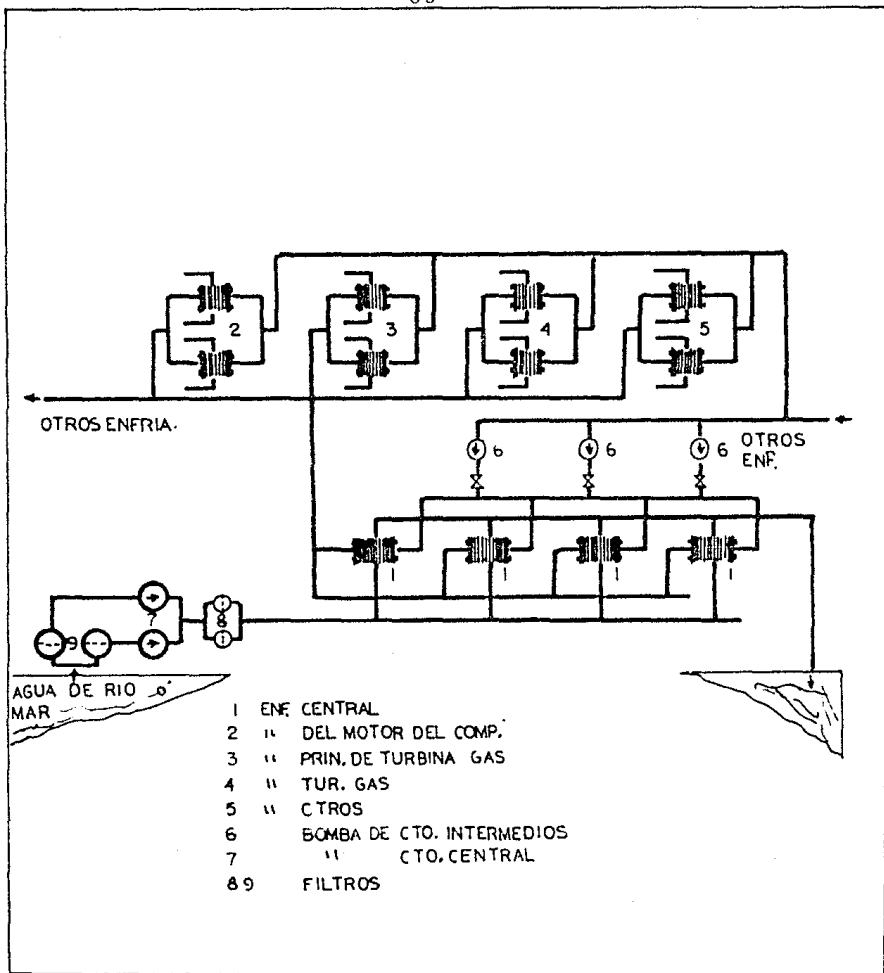
Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG. 3.1
PUNTOS DE ENFRIAMIENTO PRINCIPAL

TESIS
PROFESIONAL MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

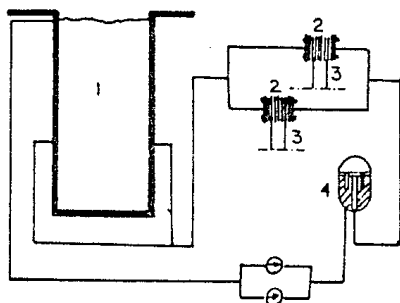
FIG. 3.2
 SISTEMA CENTRAL DE ENFRIAMIENTO

TESIS
 PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R



ARAGON



- 1 Alberca
- 2 C.C.P
- 3 AGUA DESMINERALIZADA
- 4 INTERCAMBIADOR IONICO



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG 3.3.

SISTEMA DE PURIFICACION DE AGUA

TESIS
PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON

4

CAPITULO CUATRO

" Criterios de Diseño y Selección"

Nomenclatura

- A Area Total de Transferencia de Calor, m^2 .
- a Area de transferencia de Calor por Placa, m^2
- C_p Calor Especifico, $Kcal / (Kg) (^\circ C)$.
- d Diámetro Hidráulico, m .
- f_k Factor de Corrección.
- F_f Factor de Fricción (Fanning).
- g Aceleración de la Gravedad, m / seg^2 .
- Coeficiente de película de transferencia de calor
 $Kcal / m^2 \ ^\circ C \ hr$.
- J Caída de Presión Específica, m.c.a. / NTU .
- J_h Factor para Transferencia de Calor, Adim.
- k Conductividad Térmica de la Placa, $Kcal/hr \ m \ ^\circ c$.
- L Longitud Nominal de la Placa, m .
- M Flujo Total, Kg / Seg , Ton / hr , Gal/min .
- m Flujo por Placa, Kg / Seg .
- m.c.a Metros columnas de agua
- P Caída de Presión, m.c.a o Pa .
- Rd Factor de Ensuciamiento, $m^2 \ ^\circ C \ hr / Kcal$.
- tm Diferencia media logarítmica de temperaturas .
(L M T D) $^\circ C$.
- U (U_c) Coeficiente de Transferencia de Calor, Excluye el factor de ensuciamiento $Rd . Kcal / m^2 \ ^\circ C \ hr$.

- Ud Coeficiente de Transferencia de Calor, Incluye al
Rd Factor de ensuciamiento Rd. Kcal / m² °C hr .
Número de Unidades de Transferencia, (NTU).
Densidad de Fluido, Kg / m³ .
Viscosidad, cp .
Viscosidad a la temperatura de la placa, cp.
G Velocidad Masa, Kg / hr m² .

Grupos Adimensionales

- N_{Re} Número de Reynold's.
N_{Pr} Número de Prandtl .
N_{Nu} Número de Nusselt .

El cálculo de la transferencia de calor en un cambiador de calor de placas puede obtenerse por medio de las ecuaciones típicas adimensionales, con sus apropiados exponentes y constantes, mismos que dependen de las propiedades físicas de la placa como lo pueden ser el corrugado de la placa, espacio entre -- placas, diámetro hidráulico, el grado de turbulencia que se forma en placa, el número de Reynolds que puede ser de 10 a 400.

La combinación de estos elementos produce un excepcional coeficiente de transferencia de calor. La relación general para un flujo turbulento es:

$$N_{Nu} = (\text{const.}) N_{Re}^n N_{Pr}^m (\mu/\mu_w)^x \quad \text{--- 1}$$

los valores típicos que se reportan para esta ecuación están comprendidos entre;

$$\begin{aligned} \text{const.} &= 0.15 \text{ a } 0.40 \\ n &= 0.65 \text{ a } 0.85 \\ m &= 0.30 \text{ a } 0.45 \text{ (usualmente } 0.33 \text{)} \\ x &= 0.05 \text{ a } 0.20 \end{aligned}$$

los valores más comunes para la ecuación son los siguientes:

$$N_{Nu} = (0,374) N_{Re}^{0.668} N_{Pr}^{0.333} (\mu/\mu_w)^{0.15} \quad \text{--- 2}$$

Algunos autores como Troupe, Morgan y Prift consideran la relación l/s donde l es la longitud del canal hasta la dirección

de cambio y s es el espacio normal de placa, la relación l/s - esta comprendida entre 1.5 a 10, usando la relación l/s la ecuación queda de la manera siguiente:

$$N_{Nu} = (0.383 - 0.0505^{l/s}) N_{Re}^{0.65} N_{Pr}^{0.4} \quad \underline{3}$$

esta ecuación esta limitada, cuando una placa presenta un doble corrugado resulta imposible determinar la relación l/s . Para un flujo laminar la ecuación es la siguiente:

$$N_{Nu} = \text{const.} (N_{Re} N_{Pr} d_{ll} / L)^{0.33} (\mu/\mu_w)^{0.14} \quad \underline{4}$$

Donde la constante de placa puede tener valores comprendidos entre 1.86 y 4.50 dependiendo de la geometría de la placa.

Las velocidades nominales para un líquido turbulento está en el rango de 0.2 a 3 m/s este es otro factor importante en la transferencia de calor en las placas.

Cuando se esté en un régimen de transición, la transferencia de calor puede calcularse por medio de una interpolación entre los límites del régimen turbulento y el laminar.

Geometría del Corrugado

La forma del corrugado en las placas por lo general es de dos maneras: de corrugación paralela, la cual deja espacios -- diafanos entre placas adyacentes, y de corrugado en " V " con -- vértice hacia arriba y hacia abajo en placas alternas de modo -- que los múltiples puntos de contacto hacen de soporte mutuo.

De el corrugado de la placa depende la caída de presión, la transferencia de calor y la manera en que se obtenga la turbulencia de los flúidos, además de la relación de transferencia de calor; no obstante, la mayoría de los corrugados dan aproximadamente una relación igual.

Además de las dos formas de corrugado ya mencionadas -- estos pueden ser de mayor o menor profundidad. Cuando un corrugado es bajo o pequeño el valor de la relación $N_u / P_r^{0.4}$ aumenta y el coeficiente de película de transferencia de calor decrece con el espacio de la placa.

El prensado del corrugado proporciona una enorme fortalecimiento a la placas además de inducir una turbulencia artificial.

Dependiendo de la complejidad del troquelado o prensado de la placa se puede obtener una placa dura o blanda, cuando se -- deseé una caída de presión baja se hace por medio de una placa blanda, la cual tiene canales más lisos y de menos profundidad tiene también una relación largo/ancho baja, a esta relación se

le conoce como relación de aspecto y se define como el coeficiente de longitud efectiva dividido entre el ancho efectivo de la placa. La placa blanda tiene un coeficiente de transferencia de calor bajo.

Cuando lo importante es obtener un coeficiente de transmisión de calor alto se usa placas duras la cual tiene canales rugosos y profundos y por lo tanto una caída de presión más alta.

La manera convencional de evaluar una placa es en terminos de la relación de temperaturas Θ la cual se define como una medida del grado de dificultad del proceso de transmisión de calor, representa el número de unidades de transferencia de calor. Está definida por las siguientes expresiones

$$(\Delta t)_{\max} / \Delta t_m = k A / (G C_p)_{\min} \quad \text{---} 5$$

la relación de temperaturas Θ es también conocida como NTU (número de unidades de transferencia) y es el mejor indicador para la evaluación y diseño de los cambiadores de calor de placas.

En base a esta relación se puede determinar el tipo y el número de placas a utilizar, entre otros factores.

Arreglo de Placas y Factor de Corrección

Existen tres arreglos fundamentales de placas estos son;

- 1.-De un solo paso.
- 2.-Multipasos con igual número de pasos
- 3.-Multipasos con desigual número de pasos

En el arreglo de un solo paso, ambos flujos fluyen a contra corriente en paralelo por un solo paso.

El arreglo multipasos con igual número de pasos es aplicable cuando se tienen valores altos de Θ (NTU) para una sola -- placa, es entonces cuando se requiere de este arreglo, los pasos se indican por un espacio y los puntos P y Q en la figura 4.0.

El arreglo multipasos con desigual número de pasos, es aplicable a las placas de radios grandes en las entradas y mínimas - caídas de presión por un lado, la desigualdad de pasos por un lado hace que la caída de presión sea mínima y menor por dicho lado.

Este arreglo es útil cuando se manejan grandes volúmenes de flujos

Factor de Corrección. Si T_1 es la temperatura de entrada y T_0 es la temperatura de salida de un fluido y T_1' y T_0' la temperatura de entrada y salida de un segundo fluido, para un arreglo básico de temperaturas se tiene;

$$M_1 C_{p1} (T_1 - T_0) = M_2 C_{p2} (T_0' - T_1') \quad \underline{\underline{6}}$$

la relación R se define por; $R = (T_o' - T_i') / (T_i - T_o)$ ___7

La relación Z se define por $Z = (T_o' - T_i') / (T_i - T_o')$ ___8

Entonces la efectividad ϵ es igual a $\frac{T_o - T_i'}{T_i - T_i'} \cdot \frac{M_1 C_p}{(M C_p)_{\min}}$ ___9

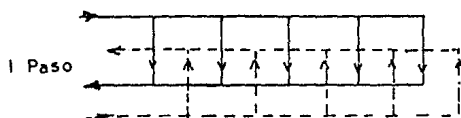
y el NTU = $\frac{T_o' - T_i'}{\Delta T}$ ___10

El factor de corrección esta definido por $F = \Delta T_x / \Delta T$ es determinado analíticamente o gráficamente con los valores de R y Z. En la figura 4.2 se muestran unas gráficas con las cuales se puede determinar el valor del factor de corrección en función de los valores de R y Z y en función de Θ (NTU) para diferentes arreglos.

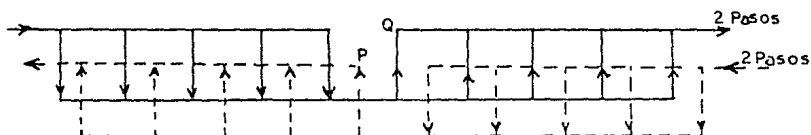
En un cambiador de calor de placas el grado de corrección es menor que en un cambiador de haz de tubos y carcasa, el factor de corrección se aplica a LMTD (media logarítmica de la distribución de temperaturas).

La obtención del factor de corrección por medios matemáticos es extremadamente compleja, es por eso que se presentan las gráficas, las cuales han sido calculadas para diferentes arreglos.

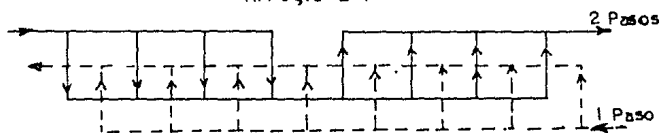
Arreglo 1-1



Arreglo 2-2



Arreglo 2-1



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG. 40

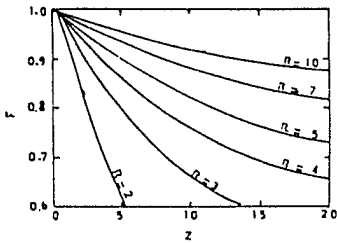
ARREGLO DE PLACAS

TESIS
PROFESIONAL

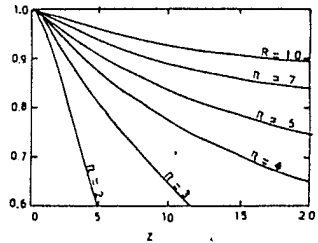
MIGUEL ANGEL FLORES R.



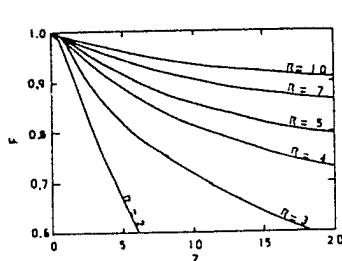
ARAGON



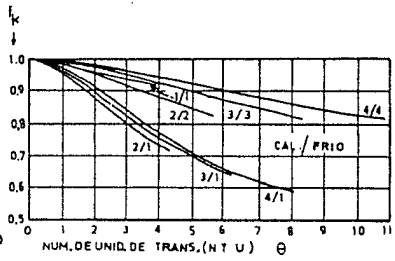
2-1



4-1



3-1



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG. 4.1. FACTOR "F" PARA ARREGLOS 2-1, 3-1 y 4-1

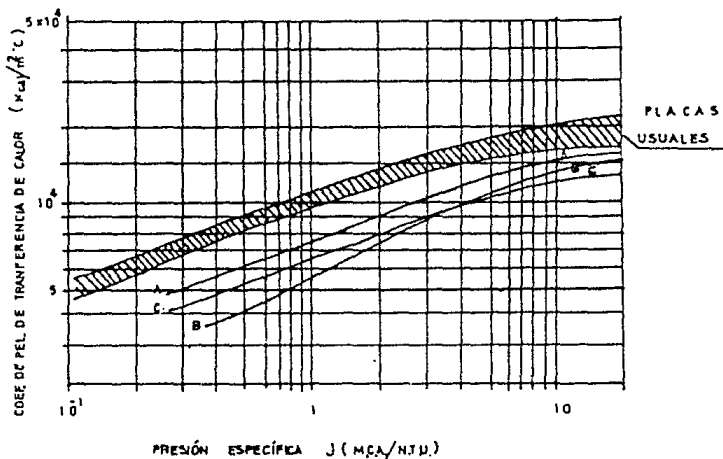
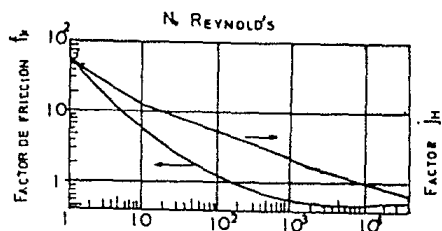
TESIS
PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



- A B C PLACAS ESPECIALES
 A VALORES DE ϕ BAJOS
 B " " ϕ ALTOS Y GRANDES CORRUGADOS
 C PLACAS APLASTADAS



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

FIG. 4.2

COEF. de $\frac{1}{3}$ PRESIÓN ESPECÍFICA

TESIS

PROFESIONAL

MIGUEL ANGEL FLORES R.



ARAGON

Tipos de Conexiones

Las conexiones para la entrada y salida de los cambiadores de calor de placas solo pueden hacerse por medio de maquinado, existen dos sistemas básicos de conexión estos son:

Conexiones en U .

El sistema de conexión en U es restringido solo para arreglos de un solo paso, con el se tiene una alta caída de velocidad y una alta pérdida por fricción.

Conexión en Z.

Este sistema es aplicable a los arreglos multipasos, la combinación de la pérdida por fricción y la caída de velocidad P_v dan la variación de la caída de presión en el paquete de placas, estas pérdidas son menores que las que se obtienen en el sistema de conexión en U.

En el paquete de placas la caída de presión por las múltiples entradas, es decir, por las entradas de cada placa pueden ignorarse y en los cálculos a efectuarse se puede suponer, en cualquier placa, pasos y fluidos iguales, pero la caída de presión a lo largo del paquete de placas si es significativa y esta depende de la pérdida por fricción a lo largo de las placas, a la variación de velocidad del líquido en el momento de carga, además de la relación de aspecto y del número de pasos.

Método de Cálculo

El método de cálculo está orientado para la obtención de un número de placas "n" y de pasos "H" y de una caída de presión.

El coeficiente de transferencia de calor esta en función de la cantidad de fluido, de sus propiedades físicas y del ensuciamiento esto es:

$$U = f(MH/n, X) \quad \text{--- 11}$$

Un funcionamiento adecuado depende de las mínimas pérdidas y de un arreglo adecuado de placas; para esto se tiene lo siguiente:

$$12 \quad \text{--- LMTD} \quad \Delta T = \Delta T f_2(n, H) \quad \text{donde } Q = \Delta TUA$$

$M C_p \theta = f_1(MH/n, X) = T f_2(n, H)$, la transferencia de calor puede ser evaluada por dos formas semejantes.

$$Q = (M C_p \theta)_1 = (M C_p \theta)_2 ; Q = U A \Delta T_m \quad \text{--- 13}$$

los valores de U pueden determinarse rápidamente por medio de la figura 4.2, donde el coeficiente de película α es equivalente a 2U y esta en función de la caída de presión específica, la cual es igual a la caída de presión permisible sobre el número de unidades de transferencia, esto es: $J = P/\theta$ --- 14

$$\theta = \Delta T_1 / \Delta T_m = UA / (M C_p)_1 \quad \text{--- 15}$$

$$\theta = \Delta T_2 / \Delta T_m = UA / (M C_p)_2 \quad \text{--- 16}$$

La variable θ representa un parámetro fundamental en el diseño de los cambiadores de calor de placas, numéricamente representa el número de unidades de transferencia de calor requeridos para el servicio, cuando se lleva a cabo la transferencia de calor, es -- decir, que $\theta = \Delta T / \Delta T_m$ y $\theta = UA / M \cdot C_p$, para el diseño de los cambiadores de calor ambos valores son iguales.

Para evaluar la caída de presión, se tiene lo siguiente: Esta en función de la cantidad de fluido, de sus propiedades físicas y - del tipo de placa. $P_{f3} (m, H)$; $P_{f3} (n, H) = f_4 (MH / n)$.

La caída de presión puede ser evaluada por la ecuación;

$$p = \frac{2 f l G^2}{C \text{ de } g} \quad \text{---17}$$

f es el factor de fricción y es determinado por $f = m \text{Re}^C$ _____ 18

C y m son constantes de placa.

"de" es el diámetro hidráulico equivalente; para placas con un -- ángulo pequeño o una θ baja los valores del "de" están por los - 4mm y para valores de ángulos altos o θ altos, los valores de -- "de" están dentro del rango de 5 - 7 mm. "de" puede calcularse por medio de la ecuación.

$$\text{de} = \frac{4 \times \text{Area libre}}{\text{Perímetro húmedo}} \quad \text{---19}$$

G , es la masa velocidad.

Re es el número de Reynold's y es equivalente a

$$Re = \frac{de G}{\mu} \quad \text{---} 20$$

L es la longitud de la placa, comunmente sus valores están entre 0.7 - 2 mts.

A la caída de presión es necesario hacerle corrección por viscosidad, esto es $(\mu/\mu_w)^{0.14}$, a continuación se muestran -- algunas constantes de placas en función de su ángulo y de su díametro equivalente.

Angulo	Diam. Equiv.(mm)	C	m
60°	5.1	0.32	0.63
60°	5.7	0.29	0.65
60°	6.7	0.34	0.64
75°	5.7	0.42	0.62
135°	5.7	0.22	0.64
120°	5.7	0.14	0.66

Existe otras formas de calcular la caída de presión, cuando tratemos el punto de combinación de placas se daran ecuaciones alternas correspondientes a cambiadores de calor para altas capacidades.

El cambiador de calor de placas está constituido por un número determinado de placas, dicho número es la suma de la cantidad de placas para cada fluido; $(n_p)_1$ es el número de placas para el fluido 1 y $(n_p)_2$ es el número de placas correspondientes al fluido 2, de tal modo que:

$$N_t = (n_p)_1 + (n_p)_2 + 1 \dots \text{Número total de placas} \quad \underline{21}$$

$$N_e = (n_p)_1 + (n_p)_2 - 1 = N_t - 2 \dots \text{Número efectivo de placas} \quad \underline{22}$$

El área de transferencia de calor quedará determinada por:

$$A = a N_e = a (n_p)_1 + (n_p)_2 - 1 \quad \underline{23}$$

$(n_p)_1 = (n_p)_2$, es siempre cierto dentro del límite ± 1 entonces:

$$A = a (2n_p - 1) \quad \underline{24}$$

$$M = n_p m \quad \underline{25}$$

Si sustituimos A y M en las ecuaciones 15 y 16 sin excluir el orden de los fluidos tenemos:

$$\theta = Ua (2n_p - 1) / (n_p m C_p) \quad \underline{26}$$

En esta ecuación se puede introducir el valor de n_s o número de arreglos quedando de la siguiente manera.

$$\theta = Ua (2n_s n_p - 1) / (n_p m C_p) \quad \underline{27}$$

El valor de n_p es lo suficientemente grande para hacer que $2n_p - 1 = 2n_p$, el error que se introduce es insignificante, y la ecuación queda de la manera siguiente:

$$\theta = n_s U 2a / (m C_p) \quad \underline{28}$$

Combinación de Placas

Las características hidrodinámicas del canal de la placa esta ligado al corrugado de ésta y en mucho depende el ángulo que -- el corrugado presente.

Existen dos variaciones básicas en las medidas de los ángulos de las placas producidas, unas incluyen un ángulo de 65° y --- otras de 135° con ellas se pueden obtener las siguientes características

-Dos placas con un ángulo obtuso producen un canal con -- valores altos de θ (placa H).

-Dos placas con un ángulo agudo producen un canal can va lores bajos de θ (placa L).

-Una placa de cada tipo produce una canal de características intermedias. (placa M) .

Recordando la ecuación $\theta = 2U a / (m C_p)$, " a " es el área de la placa, U es aproximadamente igual a la caída de presión en las placas, la variación de "m" es inversamente proporcional θ ..(14)

La caída de presión para estas placas es aproximada a:

$$L \theta \Delta p_n = 11.25 \times m^{1.9} \quad 10^4 / \rho C = 1.384 \times m^{2/3} \quad \underline{\underline{29}}$$

$$M \theta \Delta p_n = 28.60 \times m^{1.9} \quad 10^4 / \rho C = 0.937 \times m^{2/3} \quad \underline{\underline{30}}$$

$$H \theta \Delta p_n = 97.62 \times m^{1.9} \quad 10^4 / \rho C = 0.690 \times m^{2/3} \quad \underline{\underline{31}}$$

Puede observarse que el coeficiente de película ($10^4 / \rho C$) está en función de la caída de presión (Δp) y estas son funciones

del flujo másico por placa " m ", estas ecuaciones son aplicables para valores de temperaturas medias logarítmicas hasta 40°C, -- y para cuando las relaciones m/n = 0.005 no sean superadas, esto para el coeficiente de transferencia y m/n = 0.1 para la caída de presión; cuando estos valores son rebasados se debe usar los -- siguientes factores de corrección.

$$32 \quad 10^4 / \alpha_c = (10^4 \alpha_n) \rho^{-2/3} \eta^{1/3} C_p^{-1/3} \lambda^{-2/3} 1355.55$$

$$33 \quad \Delta p = (\Delta p_n) \rho^{0.9} \eta^{0.1} 0.0021$$

Todo esto solo es aplicable para flujos turbulentos.

Para determinar el número y tipo de placas se debe considerar lo siguiente. a, m₁, (t_i)₁ corresponden al fluido 1 Δt es un rango de temperatura a experimentar Δt m₂, (t_i)₂ corresponden al segundo fluido, en el balance de calor se supone en el rango de temperaturas experimentales que (t_i)₁ > (t_i)₂.

La diferencia de temperaturas para el lado caliente será

$$34 \quad \frac{(t_i)_1 - [(t_i)_2 + X \Delta t]}{[(t_i)_1 - \Delta t] - (t_i)_2} \quad \text{y para el lado frío} \quad \text{--- 35}$$

$$(t_i)_1 - (t_i)_2 = \Delta t_i ; \quad \text{LMTD} = \Delta t_m \quad \text{--- 36}$$

$$\text{LMTD} = (1 - X) \Delta t / [(\Delta t_i - X \Delta t) / (\Delta t_i - \Delta t)] \quad \text{--- 37}$$

$$Q = m C_p \Delta t = U 2a \Delta t_m \quad \text{sustituyendo } \Delta t_m \text{ en}$$

$$m C_p \Delta t = U 2a (1 - X) \Delta t / [L_n (\Delta t_i - X \Delta t) (\Delta t_i - \Delta t)] \quad \text{--- 38}$$

ordenando las ecuaciones tenemos:

$$L_n \left[(\Delta t_i - X \Delta t) / (\Delta t_i - \Delta t) \right] = U_2 a / (m C_p) \quad \text{---} 39$$

En la ecuación $\theta = n_s U_2 a / (m C_p)$ hacemos $n_s = 1$, entonces.

$\theta = U_2 a / (m C_p)$ por lo tanto:

$$\Delta t = \Delta t_i \left[\frac{(e^{(1-X)\theta} - 1)}{(e^{(1-X)\theta} - X)} \right] \quad \text{---} 40$$

Haciendo a $R =$ parametro de corrección y $t = R \Delta t_i$

$$R = \left[\frac{(e^{(1-X)\theta} - 1)}{(e^{(1-X)\theta} - X)} \right] \quad \text{---} 41$$

$X =$ razón de capacidad de calor

$$X = (M C_p)_1 / (M C_p)_2 \quad \text{---} 42$$

Considerando a n_m como el número de placas con un corrugado medio y n_H como al número de placas con un corrugado alto, el balance de masa es el siguiente.

$$M = n_m m_H + n_H m_H \quad \text{---} 43$$

la transferencia de calor total es:

$Q = M C_p \Delta t$, Δt es el rango de temperatura requerida.

$$M C_p \Delta t = n_m m_H \Delta t + \Delta t_M C_p + n_H m_H t_H C_p \quad \text{---} 44$$

Sustituyendo a Δt y eliminando a C_p , asumiendo que C_p se mantiene constante tenemos:

$$M \Delta t_i R = n_H m_H \Delta t_i R_M + n_H m_H \Delta t_i R_H \quad \text{---} 45$$

Resolviendo las ecuaciones queda:

$$n_M = (M / m_M) \left[(R - R_H) / (R_M - R_H) \right] \quad \text{_____} 46$$

$$n_H = (M - n_M m_M) / (m_H) \quad \text{_____} 47$$

Si $X = 1$ se debe hacer que $R = \theta / (\theta + 1)$ _____ 48

Con el objeto de ejemplificar lo anterior, vamos a considerar los siguientes casos.

Ejemplo # 1

Se requiere de un cambiador de calor de placas que trabaje bajo las siguientes condiciones: 34.0 Ton/Hr de agua destilada deberán ser enfriadas de 61 °C hasta 17.8 °C, para ello se cuenta con 34.4Ton/Hr de agua de mar, las cuales entrarán a 13 °C y saldrán a 57.5 °C, la caída de presión permitida para ambos fluidos es de 10 mca(metros columnas de agua). Determinar las características del cambiador de calor adecuado.

Solución

Se determinan las propiedades físicas para ambos fluidos.

	Unidad	Proceso	Servicio
Viscosidad Ent/Sal	cp	0.41/1.06	1.26/0.527
Densidad	Kg/m ³	990	1021
Calor Esp.	Kcal/hr m °C	0.997	0.957
Factor de Ensuc.	hrm ² °C/Kcal.	-----1 x 10 ⁻⁴	-----
Cond. Térmica	Kcal/hrm °C	0.543	0.532

Balance de Calor

$$Q = M C_p \Delta t$$

$$Q = 34000 \text{ Kg/h} \times 0.997 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C} \times (60 - 17.8) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 1430496.000 \text{ Kcal/hr.}$$

Cálculo de la LMTD

$$LMTD = \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{T_1}{T_2}}$$

$$T_1 = 61 - 57.5 = 3.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 17.8 - 13.0 = 4.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$LMTD = \frac{3.5 - 4.8}{\ln \frac{3.5}{4.8}} \quad LMTD = 4.12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta = \frac{\Delta T}{LMTD} = \frac{57.5 - 13.0}{4.12} \quad \theta = 10.80$$

Presión Específica

$$j = P / \theta \quad j = 10\text{mca} / 10.8 \quad j = 0.926 \text{ mca}/\theta$$

Con el valor de $\theta = 10.8$ entramos a la gráfica 4 de la fig. 4.1 encontramos que el sistema debe ser de 4 / 4 pasos, es decir, cuatro pasos para el fluido caliente y cuatro para el fluido frío

Con el valor de la presión específica de 0.923 entramos a la gráfica de la figura 4.2 e intersectamos con la curva C para obtener un valor de $\infty = 6500 \text{ Kcal/hr m } ^\circ\text{C}$.

$$\text{Recuerdese que } 2U = \infty \text{ por lo tanto } U = \infty / 2$$

$$U = 3250 \text{ Kcal / hr m } ^\circ\text{C}$$

El coeficiente de transferencia de calor de diseño se obtiene por medio del factor de ensuciamiento R_d , el cual tiene un va-

lor de 1×10^{-4} hr m^2 °C / Kcal

$$Rd = \frac{Uc - Ud}{Uc Ud} \quad 1 / Ud = 1 / Rd + Uc$$

$$1 / Ud = 1/3250 + 1 \times 10^{-4}$$

$$Ud = 2453 \text{ Kcal / hr } m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Area por Placa

$$\theta = \frac{|T_i - T_o|}{LMTD} = \frac{U 2a}{m C_p}$$

$$a = (\theta m C_p) / (2U) \quad \text{recuerdese que "m" es inver-}$$

samente proporcional al valor de θ , por la tanto

$$a = C_p / 2U \quad \text{respectando las unidades de "m"}$$

$$a = (0.997 \times 3600) / (2 \times 2453) \quad a = 0.73 \text{ m}^2 \quad \text{el valor de "a"}$$

lo aproximamos a 0.75 m^2 para obtener una placa con medidas estandar.

Número y Tipo de Placas

$$n_M = (M / m_M) \left[(R - R_H) / (R_M - R_H) \right]$$

$$n_H = (M - n_M \times m_M) / m_H$$

$$R = (e^{(1-X)\theta} - 1) / (e^{(1-X)\theta} - X)$$

$$X = M C_{p1} / M C_{p2} \quad X = (43 \times 0.997) / (34.4 \times 0.957)$$

$$X = 1.03$$

$$(1 - X)\theta = (1 - 1.03)10.49 = -0.3141$$

$$R = (e^{-0.3141} - 1) / (e^{-0.3141} - 1.03) \quad R = 0.9$$

Con la variación de temperaturas en la placa obtenemos las nuevas temperaturas; Para valores medios. (R_M)

$$T_1 = 61 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_2 = 19.046 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 13 \text{ } ^\circ\text{C} \quad t_2 = 56.254 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(61 - 56.254) - (19.046 - 13)}{\ln \frac{(61 - 56.254)}{(19.046 - 13)}} \quad \text{LMTD} = 5.31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta = \frac{(61 - 19.046)}{5.31} \quad \theta = 7.90$$

$$(1 - X)\theta = (1 - 1.03) \times 7.9 \quad ; \quad (1 - X) = -0.237$$

$$R_m = (e^{-0.237} - 1) / (e^{-0.237} - 1.03) \quad R_M = 0.8755$$

Para valores altos (R_H)

$$T_1 = 61 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_2 = 16.91 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 13 \text{ } ^\circ\text{C} \quad t_2 = 58.39 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(61 - 58.39) - (16.91 - 13)}{\ln \frac{(61 - 58.39)}{(16.91 - 13)}} \quad ; \quad \text{LMTD} = 3.21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta = (61 - 16.91) / 3.21 \quad \theta = 13.71$$

$$(1 - X)\theta = (1 - 1.03) = -0.4114$$

$$R_H = (e^{-0.4113} - 1) / (e^{-0.4113} - 1.03) = 0.92$$

$$N_M = (9.44 / 0.13) (0.899 - 0.92) / (0.88 - 0.92)$$

$$39.65 = 40 \text{ placas tipo M}$$

$$n_H = (9.44 - 40 \times 0.13) / 0.0729$$

58 placas tipo H

Considerando que $(n_p)_1 = (n_p)_2$ el número efectivo de placas sera 80 placas tipo M y 116 placas tipo H.

Como se tiene cuatro pasos por lado el arreglo de placas será el siguiente.

$$\frac{4(14H + 10M)}{4(14H + 10M)}$$

de esta manera el número efectivo de placas pasa a ser de -
192 placas y el número total es $N_e + 2 = 194$ placa .

El area total de transferencia es $N_e \times a$

$$A = 192 \times 0.75 \text{m}^2 = 144.0 \text{m}^2$$

Comprobación del Area de transferencia

$$Q = U_d \Delta T A$$

$$Q = 2453 \text{Kcal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 4.12 \times 144 \text{m}^2$$

$Q = 1455316 \text{Kcal/hr}$ lo cual es superior a 1430496, por lo tanto es suficiente para realizar la transferencia de calor adecuada.

Cálculo de la Caída de Presión

La caída de presión total será la suma de la caída de presión en las placas tipo H más la caída de presión en las placas tipo M

Caída de presión para placas tipo M, las características para esta placa son $C = 0.14$, $m = 0.66$, $d_e = 0.0057\text{m}$, $L = 1.35\text{m}$

$$Re = \frac{d_e G}{\mu} = 0.0057 \times (12.59) / 0.759 \times 10^{-3}$$

$$Re = 94.55$$

$f = mRe^C$ $f = 0.66 \times 94.55^{0.14}$ $f = 1.25$ también puede obtenerse de la figura. 4.2

$$\Delta_p = \frac{2 f L G^2}{de g} =$$

$$\Delta_p = \frac{2 \times 1.25 \times 1.35 \times (12.59)^2}{990 \times 0.0057 \times 9.81} \quad \Delta_p = 9.65 \text{Kg/m}^2 \text{ por cuatro pasos tenemos } 38.58 \text{ Kg/m}^2$$

Placas Tipo H

Características de placa C = 0.22, m = 0.64, L = 1.35

$$f = 0.64 \times 94.55^{0.22} \quad f = 1.74$$

$$\Delta_p = \frac{2 \times 1.74 \times 1.35 \times (12.59)^2}{990 \times 0.0057 \times 9.81} \quad 13.46 \text{Kg/m}^2 \text{ por cuatro pasos tenemos } 53.84 \text{ Kg/m}^2$$

La caída de presión total por lado del fluido en proceso es de

$$\Delta_{p_{tot.}} = 38.58 + 53.84 = 92.42 \text{Kg/m}^2 = 9.42 \text{ mca}$$

Caída de presión para el fluido en servicio

Placas tipo M

$$Re = de \times G/\mu \quad 0.0057 \times 12.57 / 0.899 \times 10^{-3} \quad Re=80.73$$

$$f = 0.66 \times 80.73^{0.14} \quad f = 1.22$$

$$\Delta_p = \frac{2 \times 1.22 \times 1.35 \times (12.57)^2}{1021 \times 0.0057 \times 9.82} \quad \Delta_p = 9.26 \text{Kg/m}^2 \text{ por cuatro pasos tenemos } 37.02 \text{ Kg/m}^2$$

cuatro pasos tenemos 37.02 Kg/m²

Placas tipo H

$$f = 0.64 \times 80.73^{0.22} \quad f = 1.68$$

$$\frac{2 \times 1.68 \times 1.35 \times (12.57)^2}{1021 \times 0.0057 \times 9.81} \quad 12.56 \text{Kg/m}^2 \text{ por cuatro}$$

pasos tenemos 50.26 Kg/m^2

La caída de presión total para el fluido en servicio es de

$$\Delta_{p_{\text{Tot}}} = 37.02 + 50.26 = 87.28 \text{ Kg/m}^2 = 8.89 \text{ mca.}$$

Resumiendo; La caída de presión en el lado del proceso es de 9.42 mca y en el de servicio de 8.89 mca. Ambos valores son inferiores a los 10 mca solicitados en el problema.

La caída de presión puede calcularse en forma alterna por medio de las ecuaciones expuesta en el punto de combinación de placas, en un segundo ejemplo se emplearan tales ecuaciones.

Ejemplo # 2

Se requiere de un cambiador de calor de placas que trabaje bajo las siguientes condiciones; 40.4 ton/hr de salmuera deben de ser enfriados de 60 °C a 17.8 °C, para ello se cuenta con -- 39.4 ton/hr de agua con las siguientes temperaturas de entrada y salida respectivamente 13 °C y 57.5 °C, la caída de presión permisible para ambos flujos es de 10 m.c.a., determinar el cambiador de calor adecuado.

Solución

Se determinan la propiedades físicas para ambos flujos

	Unidad	Proceso	Servicio
Viscosidad	Ent/sal. cp	0.556/1.21	1.27/0.546
Densidad	Kg/m ³	1046	1021
Calor Esp.	Kcal/Kg °C	0.921	0.956
Factor de Ensuc.	hm ² °C/Kcal.	-----1 x 10 ⁻⁴	-----
Conduc. Térmica	Kcal/hr m °C	0.531	0.528

Balance de Calor

$$Q = M C_p \Delta T$$

$$Q = 40400 \text{Kg/hr} \times 0.921 \text{Kcal/Kg } ^\circ\text{C} \times (60 - 17.8) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 1570194.00 \text{ Kcal/hr}$$

$$\text{LMTD} = (60 - 55.2) ^\circ\text{C}$$

$$\text{LMTD} = 4.8 ^\circ\text{C}$$

$$\theta = (60 - 17.8) / 4.8 \quad \theta = 8.79$$

Presión específica

$$j = mca / \theta \quad j = 10.0 / 8.79 \quad j = 1.14$$

Con el valor de $\theta = 8.79$ entramos a la gráfica 4 de la fig.4.1 encontramos que el sistema debe ser de 4 / 4 pasos; esto es, cuatro pasos para el fluido frío y cuatro para el fluido caliente.

Con el valor de la presión específica de 1.14 entramos a la gráfica de la figura 4.2 e intersectamos con la curva "C" para obtener un valor de $\infty = 6900 \text{ Kcal/hrm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\text{Donde } 2U = \infty \text{ por lo tanto } U = \infty / 2$$

$$U = 3450 \text{ Kcal/hrm}^2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

El coeficiente de transferencia de diseño lo obtendremos -- mediante el factor de ensuciamiento R_d , el cual tiene un valor de $1 \times 10^{-4} \text{ hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C/Kcal}$.

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c U_d} \quad 1 / U_d = 1 / R_d + U_c$$

$$1 / U_d = 1 / 3450 + 1 \times 10^{-4}$$

$$U_d = 2565 \text{ Kcal / hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Area por placa

$$a = (0.921 \times 3600) / (2 \times 2565)$$

$a = 0.65 \text{ m}^2$ la cual tendrá que ser aproximada a 0.75 para obtener medidas dentro de los estándares de los fabricantes, por lo tanto el área por placa será de 0.75 m^2

Número y Tipo de Placa

$$C_M = (M / m_M) (R - R_H) / (R_M - R_H)$$

$$C_H = (M - C_M m_M) / m_H$$

$$R = (e^{(1-X)\theta} - 1) / (e^{(1-X)\theta} - X)$$

$$X = M C_{p1} / M C_{p2} \quad X = (40.4 \times 0.921) / (39.0 \times 0.956)$$

$$X = 1$$

Recuédense que cuando el valor de $X = 1$ no es posible calcular el valor de R con la ecuación arriba indicada, para evaluar

el valor de R utilizaremos la expresión $R = \frac{\theta}{\theta + 1}$

De acuerdo a la variación de temperatura para esta placa -- obtenemos las siguientes temperaturas.

$$T_1 = 60 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_2 = 18.14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 13 \text{ } ^\circ\text{C} \quad t_2 = 54.86 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$LMTD = (60 - 54.86) = 5.136 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta = \frac{(60 - 18.14)}{5.136} = 8.10$$

$$R = \frac{8.79}{(8.79 + 1)} = 0.89$$

$$R_M = \frac{8.10}{(8.10 + 1)} = 0.89$$

Se puede observar claramente que el valor de R y R_M son iguales, esto implica que la combinación de placas M con H no procede, por lo tanto se usará únicamente placas del tipo M de modo que;

$$\Gamma_M = (M / m_M)$$

$$\Gamma_M = (11.22 / 0.123) = 91 \text{ placas tipo } M.$$

Recordando que $(np_1) = (np_2)$, el número efectivo de placas será de 182, como tenemos un arreglo de 4 / 4 pasos, el grupo de placas será el siguiente.

$$\frac{4 (22) M}{4 (22) M}$$

De modo que el número efectivo de placas pasa a ser de $4 \times 22 \times 2 = 176$ placas y el número total de placas es $Ne + 2 = 176 + 2 = 178$ placas.

El area total será igual a $Ne \times a' = 176 \times 0.75$

$$A = 132 \text{ m}^2$$

Comprobación del area

$$Q = U_d \times A \times \Delta T_m$$

$$Q = 2565 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 132 \text{ m}^2 \times 4.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$Q = 1\,625\,184.00 \text{ Kcal/hr}$ el cual es superior al valor requerido

$$\text{de } Q = 1\,570\,194.00 \text{ Kcal/hr}$$

Cálculo de la Caída de Presión

Para el lado del proceso tenemos lo siguiente.

$$m = \dot{V} / \theta = 0.114 \text{ Kg} / \text{s} \quad \rho = 1046 \quad \mu = 0.723 \text{cp}$$

Considerando las ecuaciones dadas en el punto de combinación de placas, el factor de corrección será el siguiente.

$$F_c = (\rho^{0.9}) (\mu^{0.1}) = (1046^{0.9}) (0.723^{0.1}) = 1.06$$

$$\Delta_p = 28.6 \times m^{1.9} \times \text{Ne} \times F_c$$

$$\Delta_p = 28.6 \times (0.114^{1.9}) \times 176 \times 1.06 = 86.16 \text{ KPa}$$

$$\Delta_p = 8.78 \text{ mca}$$

Para el lado del proceso

En este lado el flujo es menor es de 39 000 Kg/h de modo que

$$m = 0.123 \text{ Kg} / \text{s} \quad \rho = 1021 \text{ Kg} / \text{m}^3 \quad \mu = 0.700 \text{cp}$$

$$F_c = (1021^{0.9}) (0.700^{0.1}) = 1.03$$

$$\Delta_p = 28.6 \times (0.123^{1.9}) \times 176 \times 1.03 = 97.17 \text{ KPa}$$

$$\Delta_p = 9.9 \text{ mca}$$

Los valores de la caída de presión se encuentran dentro de los límites señalados por el problema.

Los ejemplos 1 y 2 fueron diseñados por la empresa Alfa Laval para la Comisión Federal de Electricidad, en seguida se muestran los resultados que proporciona Alfa Laval.

06/01/83

102 -

Ejemplo # 1

SPEC. No. 1 EP-12316A		PREPARED BY: A. KAPLAN	ISRAEL DESALINATION ENGINEERING (ZARCHIN PROCESS) LIMITED P.O. BOX 18041, TEL-AVIV 61180, ISRAEL	
DATE: 18th DECEMBER, 1988		APPROVED BY: N. NADAV	TLX. No: 33590 FAX. No: 546542	
REV. No. B DATE: 13.12.89		PROJECT No. 165102		
SERVICE: (PRODUCT HEAT EX.				
	UNITS	PROCESS SIDE	SERVICE SIDE	
FLUID CIRCULATED	Duty	DISTILLED WATER	SEA WATER 4%	
TOTAL FLOW	t/hr	34.0	34.4	
SPECIFIC GRAVITY	kg/m ³	990	1021	
VISCOSITY IN/OUT	cp	0.456/1.06	1.27/0.527	
SPECIFIC HEAT	kcal/kg De9. C	0.997	0.957	
TEMPERATURE IN	De9. C	61	13	
TEMPERATURE OUT	De9. C	17.8	57.5	
OPERATING PRESSURE	ATMG	5	5	
PRESSURE DROP ALLOW./CALC.	MWC	10/9.24	10/8.3	
FOULING RESISTANCE	hr-m ² -De9. C/kcal	1 x 10 ⁻⁴		
THERMAL CONDUCTIVITY	kcal/hr-m-De9. C	0.543	0.532	
HEAT EXCHANGED	kcal/hr	1423000		
TRANSFER RATE COEFFICIENT CLEAN/DESIGN	kcal/hr-m ² -De9. C	3329/2449		
CORRECTED LMTD	De9. C	4.12		
HEAT TRANSFER AREA / EFFECTIVE	m ²	143.25		
GROUPING		4 (14 H + 10 MH) / 4 (14 H + 10 ML)		
NO. OF PLATES / EFFECTIVE		194 / 191		
THICKNESS OF PLATES	mm	0.5		
MATERIAL OF CONSTRUCTION: PLATES		TITANIUM		
MATERIAL OF CONSTRUCTION: CASSETS		NITRILE GLUED TYPE *		
SIZE OF CONNECTIONS		6" ASA 150 (RUBBER SPOOL)		
DESIGN/TEST PRESSURE	atmg	8/10		
NOZZLE ORIENTATION		T4 -> S4	S1 -> T1	
NOTES: * HOLD TO BE FILLED IN BY ALFA LAVAL AND APPROVED BY IDE				
MANUFACTURER: ALFA LAVAL		AGENT:		
ADDRESS:		ADDRESS:		
TEL:	FAX:	TEL:	TLX:	FAX:
DATA SHEET FOR PLATE HEAT EXCHANGER TYPE AIS BEM				
IDE CAT. No. 1695812131	PAGE 1 of 3	SPEC. No. EP - 12316A	REV. 1 B	

SPEC. No. 1 EP-123168		PREPARED BY A. KAPLAN	ISRAEL DESALINATION ENGINEERING (ZARCHIN PROCESS) LIMITED P.O. BOX 18041, TEL-AVIV 61180, ISRAEL	
DATE 01th DECEMBER, 1988		APPROVED BY N. NADAV	TLX. No. 33590 FAX. No. 546542	
REV. No.	DATE			
SERVICE: DRIE HEAT EX.		PROJECT No. 165102		
	UNITS	PROCESS SIDE	SERVICE SIDE	
FLUID CIRCULATED	Duty	SEA BRINE 7.6%	SEA WATER 4%	
TOTAL FLOW	t/hr	40.4	39.0	
SPECIFIC GRAVITY	kg/m ³	1046	1021	
VISCOSITY	IN/OUT	cp	0.556/1.21	1.27/0.546
SPECIFIC HEAT	kcal/kg De9. C	0.921	0.956	
TEMPERATURE IN	De9. C	60	13	
TEMPERATURE OUT	De9. C	17.8	55.2	
OPERATING PRESSURE	ATM	5	5	
PRESSURE DROP ALLOW./CALC.	MWC	10/8.62	10/9.89	
FOULING RESISTANCE	hr-m ² -De9. C/kcal	1 x 10 ⁻⁴		
THERMAL CONDUCTIVITY	kcal/hr-m-De9. C	0.531	0.528	
HEAT EXCHANGED	kcal/hr	1570000		
TRANSFER RATE EFFICIENT CLEAN/DESIGN	kcal/hr-m ² -De9. C	3639/2541		
CORRECTED LMTD	De9. C	4.8		
HEAT TRANSFER AREA / EFFECTIVE	m ²	130.5		
GROUPING		1x21+3x22ML/Ax22MH		
NO. OF PLATES / EFFECTIVE		177/174		
THICKNESS OF PLATES	mm	0.5		
MATERIAL OF CONSTRUCTION: PLATES		TITANIUM		
MATERIAL OF CONSTRUCTION: GASKETS		NITRILE GLUED TYPE 1		
SIZE OF CONNECTIONS		6" ASA 150 (RUBBER SPool)		
DESIGN/TEST PRESSURE	atm	8/10		
NOZZLE ORIENTATION		T4 -> S4	S1 -> T1	
NOTES: * HOLD TO BE FILLED IN BY ALFA LAVAL AND APPROVED BY IDE				
MANUFACTURER: ALFA LAVAL		AGENT:		
ADDRESS:		ADDRESS:		
TEL:		TEL:	TLX:	FAX:
TLX:	FAX:			
DATA SHEET FOR PLATE HEAT EXCHANGER TYPE A15 BFM				
IDE CAT. No. 1695812149	PAGE 1 of 3	SPEC. No. EP - 123168		REV. 1

5

CAPITULO CINCO

" Selección de un Cambiador de --
Calor de Placas para la Planta --
Nucleoeléctrica de Laguna Verde
Veracruz, México."

Selección de un Cambiador de Calor de Placas para la Planta Nucleoeléctrica de Laguna Verde, Veracruz, México.

Los siguientes datos fueron tomados del informe de seguridad de la planta nucleoeléctrica de laguna Verde, en la ciudad de -- Veracruz; Corresponden al sistema de remoción de calor residual, la temperatura y carga térmica corresponden a condiciones de operación críticas, es decir, en caso de pérdida de enfriador.

Datos

Carga Térmica 503×10^6 BTU / Hr. = 126 766 000.00 Kcal/Hr

	Proceso	Unidad	Servicio
T entrada	176.7	°C	20 °C
T salida	60.0	°C	143.38°C
Gasto	283	Kg/s	290
Δp permít.	114(34.75)	ft (mca)	114(34.75)
Factor de -			
Ensuciamiento	1×10^{-4}	hr m ² °C/ Kcal	1×10^4

Cálculo de la LMTD

$$LMTD = \frac{(176.7 - 143.38) - (60.0 - 20)}{\ln \frac{(176.7 - 143.38)}{(60.0 - 20.0)}}$$

$$LMTD = 36.55 \text{ °C}$$

$$\theta = \frac{(176.7 - 60)}{36.55} \quad \theta = 3.19$$

Presión específica

$$j = mca / \theta \quad j = 34.75 / 3.2 \quad j = 10.85 \text{ mca} / \theta$$

Con el valor de $\theta = 3.19$ entramos a la gráfica de figura 4.1 y encontramos que el sistema debe ser 1 / 1 pasos, un paso para cada fluido.

Con el valor de la presión específica de $j = 10.85$ entramos a la gráfica de la figura 4.2 e intersectamos con la gráfica " C " de ella obtenemos un valor $\alpha = 18000 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$2U = \alpha \quad \text{entonces} \quad U = 9000 \text{ Kcal /hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

El coeficiente de transferencia de diseño es el siguiente

$$1 / U_d = 1 / R_d + U_c$$

$$1 / U_d = 1 / 9000 + 1 \times 10^{-4}$$

$$U_d = 4737 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tipo y Número de Placas

Para este caso se utilizaran solamente placas tipo M, debido al valor de $\theta = 3.2$ el cual es bajo y al arreglo de 1 / 1 en el es necesario cuidar la caída de presión.

De acuerdo a la variación de temperaturas obtenemos los siguientes valores .

$$T_1 = 176.7 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_2 = 96.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 98.74 \text{ }^\circ\text{C} \quad t_2 = 20.0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{LMTD} = \frac{78.26 - 70.3}{\ln \frac{78.26}{70.3}} \quad \text{LMTD} = 74 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta = \frac{176.7 - 96.3}{74} \quad \theta = 1.08 \quad m = 0.926 \text{ Kg / s}$$

El número de placas sera

$$n_M = (M / m_M)$$

$$n_M = (283 / 0.926) = 305 \text{ placas, recordando que } (n_p)_1 = (n_p)_2$$

el número efectivo de placas sera de 610 placas y el número total sera $N_e + 2 = 610$ placas.

Area por Placa

$a = (\theta \times m \times C_p) / 2u$ utilizando una ecuación alterna para evaluar a "m" tenemos, $M = N_e \times m$; $m = M / N_e$

$$m = 283/305 = 0.927 \text{ Kg / s con lo que se demuestra que}$$

"m" es inversamente proporcional a θ

$$a = (3.2 \times 0.927 \times 1.2 \times 3600) / 2 \times 4737$$

$$a = 1.60 \text{ m}^2 \text{ area total } A = 1.60 \times 610 = 976.0 \text{ m}^2$$

Comprobación del area

$$Q = U A \Delta T_m$$

$$Q = 4737 \times 976.0 \times 36.55$$

$Q = 168\,983\,053.00 \text{ Kcal / hr}$ el cual es superior al valor solicitado por el sistema de remoción de calor residual.

Como solo se tiene un tipo de placa y el área requerida es inferior a la calculada se puede reducir el número de placas - quedando de la manera siguiente, $976\text{m}^2 - 243\text{m}^2 = 733\text{m}^2$, los cuales representan a 458 placas, de esta manera el área se reduce a

733m², comprobando los cálculos tenemos lo siguiente:

$$Q = 4737 \text{Kcal/hrm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 733\text{m}^2 \times 36.55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 126'909,967.600 \text{ Kcal/hr}$$

Con esto se demuestra que el área de transferencia de calor de 733m² es suficiente para remover la carga térmica de 126'766,000.0 requeridos en el sistema de remoción de calor residual.

El arreglo de placas queda de la manera siguiente:

1 x 229 ML/ 1 x 229 MH, 229 placas por paso.

Características del Cambiador Seleccionado

	Proceso	Servicio
Flujo	283 Kg /s	290 Kg / s
Temperaturas	176.7 a 60 °C	20 a 143.3°C
Material del Empaque	-----Fibra de Asbesto Com.-----	
Material de Conexiones	-----Fibra de Asbesto Com.-----	
Material de las Placas	-----Titanio -----	
Espesor de la Placa	----- 0.6 mm -----	
Area de transferencia	----- 733 m ² -----	
Area por Placa	----- 1.60 m ² -----	
Arreglo de Placas	-----1 x 229 ML / 1 x 229 MH-----	
Caída de Presión Calc.	-----	-----

6

CAPITULO SEIS

" Análisis Técnico - Económico "

Análisis Técnico - Económico

- Las cantidades marcadas con * fueron tomadas del informe de seguridad de la planta nucleoelectrica de laguna Verde, -- corresponden a los cambiadores de calor del sistema de -- remoción de calor residual. Los costos están actualizados a 30 años.

Tabla Comparativa

	C. de Placas	C.de Carcaza y Tubos
Costo Inicial	4) 2 401 086 Dll's	(2) 3 271 556 Dll's
Costo de Inst.	17 404 Dll's	69 616
Costo por Opera- ción (anual)	33 842	47 806
Costo por Opera- ción x 30 años con 5% de interes	2 248 423	3 176 175
Inv.Total	4 666 913	6 517 347
Carga Térmica	-----126 766 000 .0Kcal/hr-----	
Coef.de Transfe- rencia de calor	4737 Kcal/hm ² °C	* 1464 Kcal/hm ² °C
Area de transfe- rencia de calor	1466 m ²	* 5677 m ²
Caída de Presión		

	C.de Placas	C.de Carcaza y Tubos
Inspección y Mantenimiento por.		
Ensuciamiento Un lado Ambos Lados	Muy Buena Muy Buena	Muy Buena Aceptable para algunos e imposible para otros
Fugas Un Lado Ambos Lados	Aceptable Aceptable	Muy Buena Muy Buena
Corrosión Un Lado Ambos Lados	Muy Buena Muy Buena	Buena e Imposible Buena e Imposible
Limpieza Química Un Lado Ambos Lados	Muy Buena Muy Buena	Muy Buena Imposible
Limpieza Manual Un Lado Ambos Lados	Muy Buena Muy Buena	Muy Buena Muy Buena y en - algunos casos impo- sible
Flexibilidad	Muy Buena	Imposible
Facilidad de Re- paración	Muy Buena	Aceptable
Utilización de Lí- quidos sucios	Aceptable	pobre

El costo inicial esta determinado por el valor comercial de -- los equipos, son cuatro los cambiadores de calor de placas requeridos para efectuar la tarea de dos cambiadores de haz de tubos y -- carcaza. Se solicito información a la empresa Alfa Laval de México para cotizar los cambiadores de calor en su costo inicial, asi como para su mantenimiento, es necesario recordar que dos cambiadores de calor de placas sustituyen a uno de haz de tubos y carcaza para realizar las labores de remoción en condiciones críticas.

El costo anual de operación esta integrado por el costo de consumo eléctrico en las bombas de alimentación, por el costo del agua de enfriamiento y por el costo de mantenimiento.

Según Y.N.Fan (21). El costo por consumo eléctrico se considera que se requieren de 261 Kw por GPM a un costo de U.S \$0.0092

El costo por agua de enfriamiento se calcula a U.S.\$2.0 por GPM.

El costo por mantenimiento esta evaluado a U.S. \$ 73.0 por hora de trabajo con un mínimo de ocho horas diarias y U.S.\$50.0 por noche en una estancia de 5 días.

El costo anual de operación es la suma de estos tres, el costo a 30 años que es la vida útil de la planta nucleoelectrica se esta evaluando con un 5% de interes global anual, esto es considerando que las cotizaciones están hechas en dólares americanos.

Analizando los resultados de la tabla notamos que el coeficiente de transferencia de calor es aproximadamente tres veces mayor en el cambiador de calor de placas que en el tubular, esto se debe a la escasa separación que existe entre las placas, al flujo a contra corriente que se forma en ellas y a la facilidad con la que se logra obtener la turbulencia.

Puede observarse que con 1466 m^2 de área de transferencia en un cambiador de calor de placas es suficiente para realizar la transferencia de calor en un sistema secundario de enfriamiento esta área es aproximadamente cuatro veces mayor en un cambiador de calor tubular para realizar la misma función.

El mantenimiento puede ser realizado, en el cambiador de calor de placas en un tiempo de dos a tres horas, este tiempo es muy inferior al compararlo con el tiempo que es necesario para efectuar el mantenimiento en un cambiador de calor tubular, en el cual es necesario un mínimo de tres personas para desmontar y limpiar los tubos, la limpieza de los tubos en muchas ocasiones es realizada a mano y con una turbina especial se limpia tubo por tubo lo que implica un tiempo mayor en el mantenimiento del equipo y un costo más elevado.

El material de las placas es el titanio, es un excelente material resistente a la corrosión, tiene una vida útil y periodos de mantenimiento largos. Las placas no pueden construirse en materiales como

acero al carbón como sucede en los cambiadores tubulares, en nuestro caso los cambiadores del sistema de remoción de calor residual estan fabricados con cuproniquel (Cu - Ni) 90 / 10.

Las placas de los cambiadores de calor de placas pueden fabricarse en otros materiales, como el acero inoxidable con - Mo 4.0%, cobre, cuproniquel 70 / 30 o 90 / 10 entre otros.

El empleo del titanio es porque el agua de mar empleada en la refrigeración contiene iones sulfuros y otros productos químicos los que afectan a la mayoría de los metales. El empleo de este material podría parecer caro, de hecho lo es pero no en alto grado, esto se debe al espesor de las placas que es de solo 0.6mm y a las modernas técnicas de prensado de esta manera se minimiza el costo del material necesario -- y los costos de fabricación, no obstante el costo de los cambiadores de calor de placas es altamente competitivo cuando en su fabricación se empleen materiales sofisticados, como el cuproniquel o el titanio en tales casos el cambiador de placas resulta más económico que el tubular. Cuando se trata de materiales - convencionales como lo es el acero al carbón el cambiador de placas resulta más caro, pues este no se fabrica en este material.

En la inspección por ensuciamiento; en un cambiador de placas puede realizarse perfectamente por ambos lados, es decir, -

por el lado de fluido en proceso y por lado del fluido en servicio.

En el cambiador tubular esto es posible solo por el lado de la carcaza y en algunos casos no es muy satisfactoria, por el lado de los tubos resulta prácticamente imposible sin abrir la unidad.

En la inspección por fugas el cambiador de placas presenta dificultad en su inspección en los empaques de las entradas de las placas, no obstante ésta inspección es aceptable pues la fuga se alcanza a apreciar. En los cambiadores tubulares no presentan dificultad alguna y por lo tanto tienen un inspección muy buena.

La inspección por corrosión en un cambiador de placas puede efectuarse perfectamente bien por ambos lados. En el cambiador de calor tubular puede realizarse con éxito pero en algunos casos por el lado de los tubos resulta imposible la inspección, la ausencia de soldadura en el cambiador de calor de placas evita la formación de zonas que son fácilmente atacadas por la corrosión.

La limpieza en un cambiador de placas puede realizarse tanto química como manualmente, debido al alto grado de turbulencia y al continuo cambio de dirección hacen posible que en muchos casos la limpieza pueda efectuarse por lavado químico

para quitar incrustaciones, pero si se requiere de una mayor limpieza es necesario y además muy facil abrir y limpiar las placas. En el cambiador de haz de tubos y carcaza la limpieza química es posible en muy contadas ocasiones en este tipo de cambiadores es necesario quitar las tapas y limpiar tubo por tubo con una turbina especial.

Con respecto a la flexibilidad, el cambiador de calor de placas es muy flexible, basta con aumentar o quitar placas, en el tubular la flexibilidad es imposible, no se puede aumentar -- quitar tubos.

En cuanto a la reparación es más facil y más económico la reparación de un cambiador de calor de placas que la de un cambiador de tubos.

En el empleo de flúidos sucios el cambiador de calor de placas tiene un mejor funcionamiento que el cambiador de calor tubular debido a la facilidad con la que se logra la turbulencia.

El tamaño de los cambiadores de calor de placas propuestos es de 7 x 3 metros el area de mantenimiento es prácticamente nula, para su mantenimiento las placas pueden ser deslizadas sobre su bastidor, el cambiador de calor tubular es más de -- tres veces mayor .

El peso de las placas es de 5 Kg. , un cambiador de calor como los requeridos tendrían un peso aproximado de 4000 Kg.

el hecho de que el cambiador de calor de placas sea más ligero origina que las cimentaciones sean de menor dimensión, además de que no es necesario el empleo de grúas para desmontar los cambiadores lo que trae consigo un ahorro considerando en la instalación.

Conclusión

El cambiador de calor de placas técnicamente es superior al cambiador de calor de haz de tubos y carcaza, siempre y cuando no sean operados con presiones de operación mayores a las 230 lb / pul². y temperaturas de operación mayores a los 250 °C, de lo contrario el cambiador de calor de placas --- sufre daños irreversibles.

En el sistema secundario de enfriamiento de una planta --- nucleoelectrónica tipo BWR el cambiador de calor de placas es --- técnica y económicamente superior al cambiador de calor de haz de tubos y carcaza.

El coeficiente de transferencia de calor en un cambiador de calor de haz de tubos y carcaza es menor que en el de placas- esto origina que el área de transferencia de calor sea tres veces mayor en el cambiador tubular.

El costo unitario en un cambiador de calor de haz de tubos y carcaza es superior al de placas, cuando estos sean fabricados en materiales especiales; En caso contrario, el cambiador de placas tiene un costo unitario mayor.

Los costos de instalación y operación en un cambiador de calor de placas son menores que en el cambiador de calor tubular.

Bibliografía

- 1.- A.Cooper Condensación de steam in plate heat exchanger
Aiche Symp.Ser. vol.70 No 138 1974
- 2.- A.J.Belcher Accomodación of varing θ values within a gve
plate heat exchanger.
Conference,Inst.ofMech. Engrgs. Oct. 1972
- 3.- C.A.Dunnett Development and Aplicación
Chemistry and Industry sep 1964
- 4.- Chopey,H Hand book of Chemical Engineering Calculación
Mc Graw Hill U.S.A. 1988
- 5.- Cocks. et al Could a telephone call increse options for --
heat exchanger designers ?
Process Engineering Oct. 1977
- 6.- Donald,Q.K. Procesos de Transferencia de Calor
C.F.C.A. Méx. 1983
- 7.- Conferencia Generación y Flujo de Tecnología en México
Programa Universitario de Energía
U.N.A.M. 1983
- 8.- Glassione Nuclear Reactor Engineering
Van Wostrong Publishing U.S.A. 1988
- 9.- Informe de Seguridad de la Planta Nucleoeléct-
trica de Laguna Verde,Veracruz México.
Comisión Federal de Electricidad 1972

- 10.- Jackson, B.W. Plate Heat Exchanger Design By E-NTU
Method.
Chem. Eng. Prog. Symp. Ser. Vol. 62 No 64 1966
- 11.- J.D. Usher Heat Exchanger Design Handbook
Hemisphere Publishing Corporation U.S.A. 1983
- 12.- J.D. Usher Evaluating Plate Heat Exchangers
Chemical Engineering Vol 77 No 4 1970
- 13.- J.D. Usher Current Trends in Plate Heat Exchanger
Design.
Conference, Inst. of Mech. Engrs. Oct. 1972
- 14.- J. Marriott Performance of an Alfaflex Plate Heat Exchanger
Chemical Eng. Prog. Vol. 73 No 2 1977
- 15.- J. Marriott Where and How to Use Plate Heat Exchanger
Chemical Eng. Vol. 78 No 127 1981
- 16.- Katsuto O. Design and Heat Transfer Characteristics of
New Plate Heat Exchanger.
Heat Transfer- Japan Research, Vol. 1 No. 1 1972
- 17.- Lanc, D.F. Design Trend in Plate Heat Exchanger
C.P.E. August, 1986
- 18.- Saunders, L Heat Exchanger
Scientific Publishing U.S.A. 1989

- 19.- Shisholm. Heat Exchanger Technical
Elsevier Applied Scientific Londres 1989
- 20.- W.M.Rohsenow Hand Book of Heat Transfer Aplicación
Mc Graw Hill U.S.A. 1988 .
- 21.- Y.N.Fan How to Design Plate Heat Exchanger
Hydrocarburing Institute U.S.A. 1983