

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
CENTRAL NUCLEAR EN EMBALSE

08.83.018

TM-38420 - TORRE DE ENRIQUECIMIENTO DE AGUA PESADA -
REVISION 1

NIVEL 2

J. LUENGAS y J. KORTEKAAS

Buenos Aires
1983

I N D I C E

1.0	INTRODUCCION
2.0	PRINCIPIOS DEL PROCESO DE DESTILACION
2.1	Volatilidad relativa
2.2	Plato teórico
3.0	DESCRIPCION DEL PROCESO
3.1	Esquema de columna
3.2	Columnas
3.3	Sistema de vacío
3.4	Evaporador y condensador
3.5	Sistema de alimentación
3.6	Producto de extracción
3.7	Trampas frías o condensadores
4.0	EQUIPO PRINCIPAL
4.1	Secciones de la torre
4.2	Evaporador
4.3	Condensador de cabeza
4.4	Instalación de vacío
4.5	Evaporadores (alimentación y producto)
4.6	Trampas frías y condensadores
4.7	Bombas encamisadas
4.8	Analizador de D ₂ O
4.9	Instalación de condensado
5.0	INSTRUMENTACION Y CONTROL
5.1	Presión de cabeza
5.2	Alimentación de vapor
5.3	Alimentación
5.4	Extracción producto de cabeza
5.5	Extracción producto de pie
5.6	Niveles
5.7	Panel de control
6.0	OPERACION
7.0	FORMULARIOS

1.0 INTRODUCCION

A la Central Nuclear Embalse se decidió dotarla de una sola columna de enriquecimiento que puede procesar aguas con contenidos desde 0,5% en peso de D_2O hasta 99,75% en peso. El agua pesada es concentrada a 99.82% en peso (producto de fondo) y se obtienen desechos de un valor máximo de 0,5% en peso de D_2O (producto de cabeza).

El sistema de enriquecimiento opera sobre la base de destilación al vacío con empaquetamientos Sulzer tipos Cy.

2.0 PRINCIPIOS DEL PROCESO DE DESTILACION

2.1 Volatilidad relativa

La Figura 1 muestra la curva de equilibrio líquido/vapor para mezclas de H_2O/D_2O a presión constante. X representa el contenido de H_2O en la fase líquida e Y el contenido de H_2O en la fase de vapor. Nótese que, para todas las mezclas, el contenido de H_2O es siempre mayor en la fase de vapor. La medición de la diferencia entre concentraciones de H_2O de las fases líquida y de vapor, se denomina volatilidad relativa (α) y se define según la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{Y/1 - Y}{X/1 - X}$$

Por lo tanto, la ecuación correspondiente a la curva de equilibrio es:

$$y = \frac{x}{x + 1 - x}$$

Estas fórmulas se aplican a mezclas de dos componentes y cuando hay más de dos como en el caso de una

VOLATIBILIDAD RELATIVA H_2O/D_2O

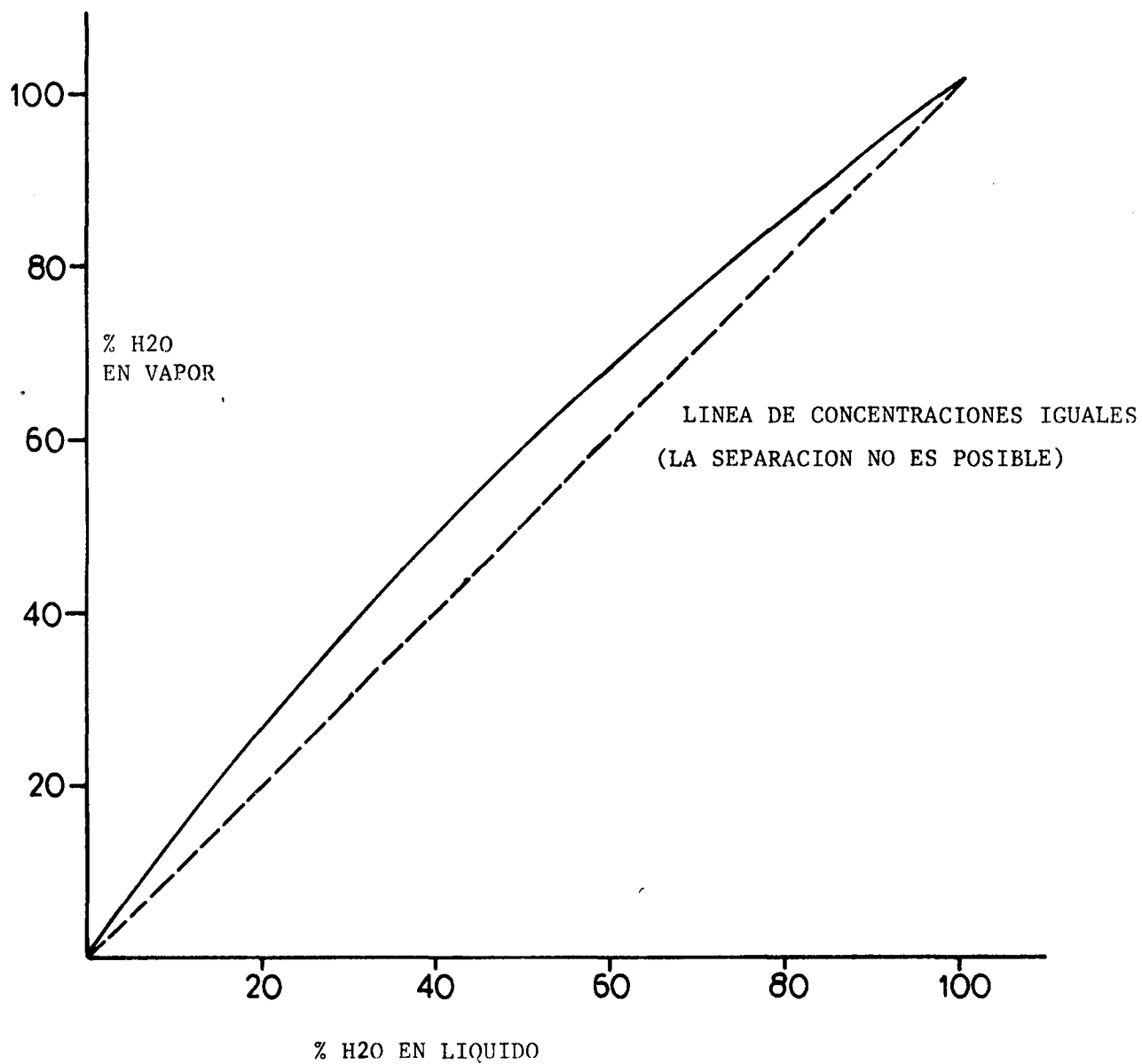


FIGURA 1

columna para agua pesada; se puede generalmente considerar despreciable la influencia de más elementos sobre los parámetros de diseño.

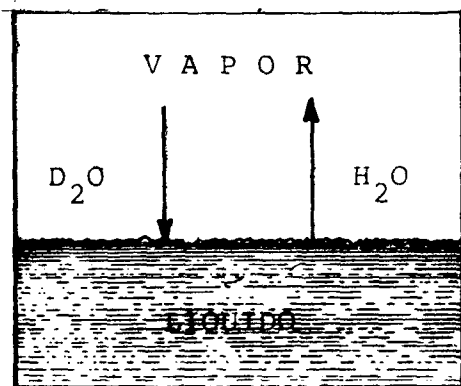
A medida que se disminuye la presión, aumenta la volatilidad relativa en las mezclas de H_2O/D_2O . Por lo tanto, las columnas de destilación que intervienen en la separación de D_2O están preparadas para operar a presiones bajas. Sin embargo, existen ciertos límites prácticos dado que las presiones bajas indican que el vapor en la columna no es tan denso, en consecuencia se requieren columnas más anchas.

Dos investigadores (Van Hook y Kirshenbaum) han realizado exhaustivas mediciones de la volatilidad relativa de H_2O y D_2O . Sulzer utiliza una combinación de los resultados obtenidos por ellos (ver tabla ad junta).

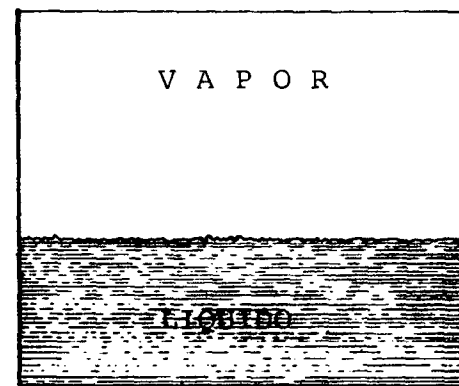
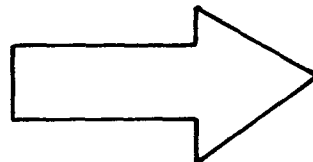
Como se indica en la curva de volatilidad relativa, las mezclas líquidas y de vapor de D_2O y H_2O no están en equilibrio si sus respectivas concentraciones de D_2O/H_2O son iguales (ver Figura 2). Si el vapor y el líquido, ambos con el mismo contenido de D_2O , se ponen en contacto entre sí, el D_2O se desplazará del vapor al líquido y el H_2O del líquido al vapor hasta equilibrarse (según lo definido por la curva de volatilidad relativa). En esta fuerza de conducción está basado el funcionamiento de las torres de enri-
quecimiento de D_2O .

2.2 Plato teórico

Una medida de la capacidad de separación de una columna está dada por el plato teórico (Fig. 3). Las concentraciones en los puntos X e Y son muy semejantes, pero dado que Y es líquido y X es vapor no tendremos estado de equilibrio entre ellos, por lo que se producirán transferencias de H_2O y D_2O entre los flujos.



ESTADO INICIAL
 $X_{\text{LIQUIDO}} = X_{\text{VAPOR}}$



ESTADO DE EQUILIBRIO
 $X_{\text{LIQUIDO}} < X_{\text{VAPOR}}$

$X = \text{CONTENIDO } H_2O$

PLATO TEORICO

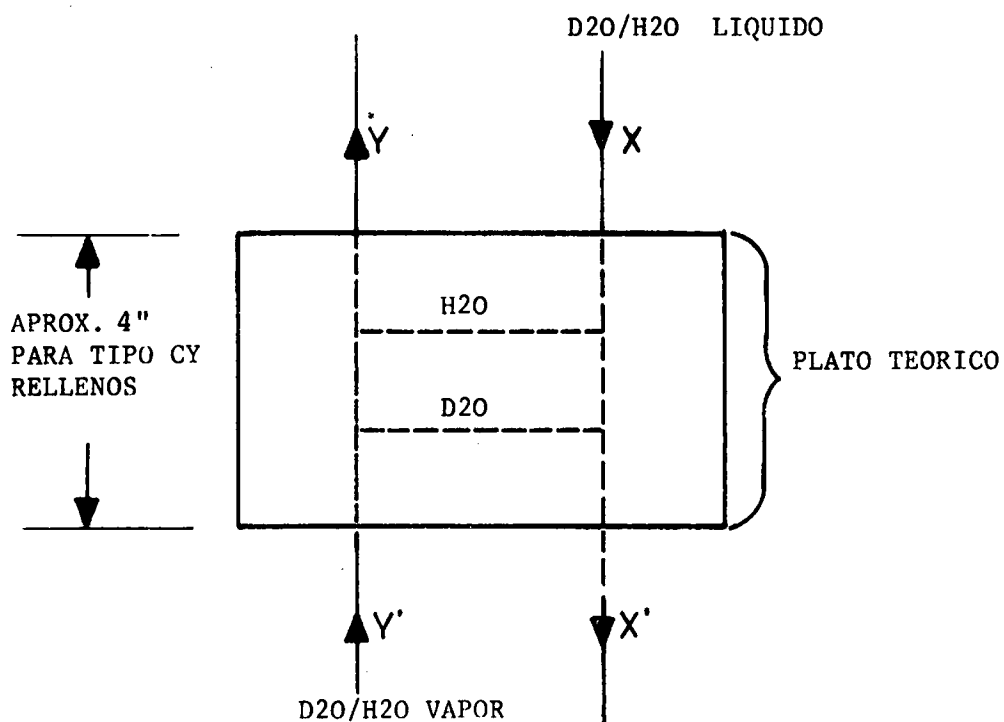


FIGURA 3

Por definición el vapor y el líquido producen situaciones de equilibrio en una distancia que es la conocida como plato teórico ($Y = X'$). En condiciones normales este valor para empaquetamientos CY de Sulzer es de 10 cm. La performance de estos empaquetamientos no es constante varía con la carga de vapor. La medida de esta carga de vapor es el factor "F" que es una función de la velocidad del vapor y de su densidad.

$$F = w \sqrt{\rho}$$

w = velocidad vapor
 ρ = densidad del vapor

Cuando el factor F incrementa, el NPT (número de platos teóricos) producido por una misma altura de empaquetamientos disminuye. Si el factor F se incrementa en exceso la torre se inunda y la performance cae a cero. Para una producción óptima, las torres Sulzer operan al 75% de líquido y con control de la velocidad de ebullición y control sobre la presión de cabeza (que influencia tanto a la velocidad de vapor como a la densidad).

3.0 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

3.1 Esquema de columna

La figura 4 muestra una representación esquemática de la columna de enriquecimiento. El calor es introducido a la columna por la parte inferior para hervir el líquido y es extraído por la parte superior para condensar el mismo. En la torre exige un flujo constante de vapor ascendente y líquido descendente. A medida que la corriente de vapor asciende transfiere D_2O constantemente a la corriente líquida y ésta transfiere D_2O a la corriente de vapor. De esta manera, el contenido de D_2O de la corriente de vapor decae a

ESQUEMA DE PROCESO

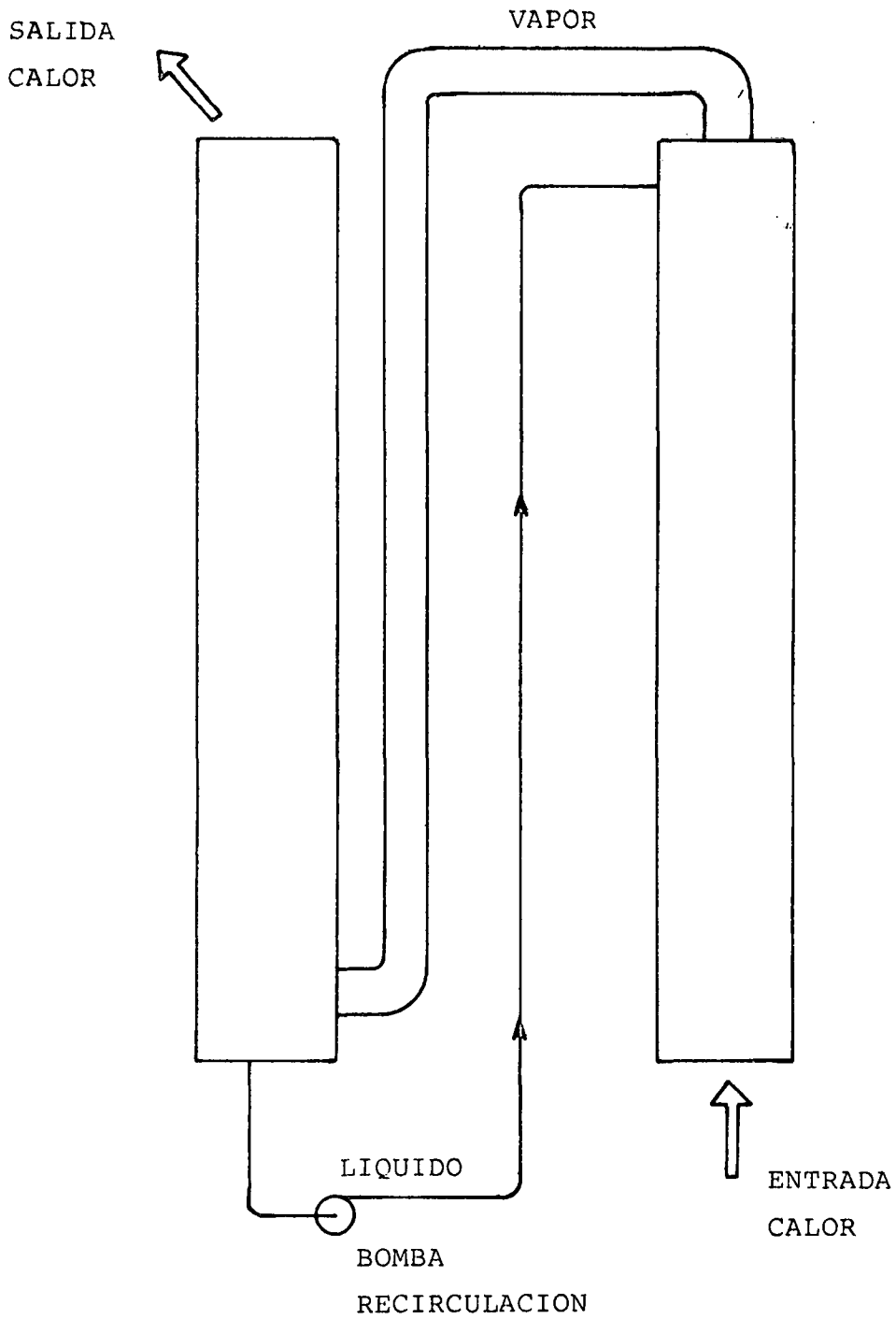


FIGURA 4

ESQUEMA DE COLUMNA

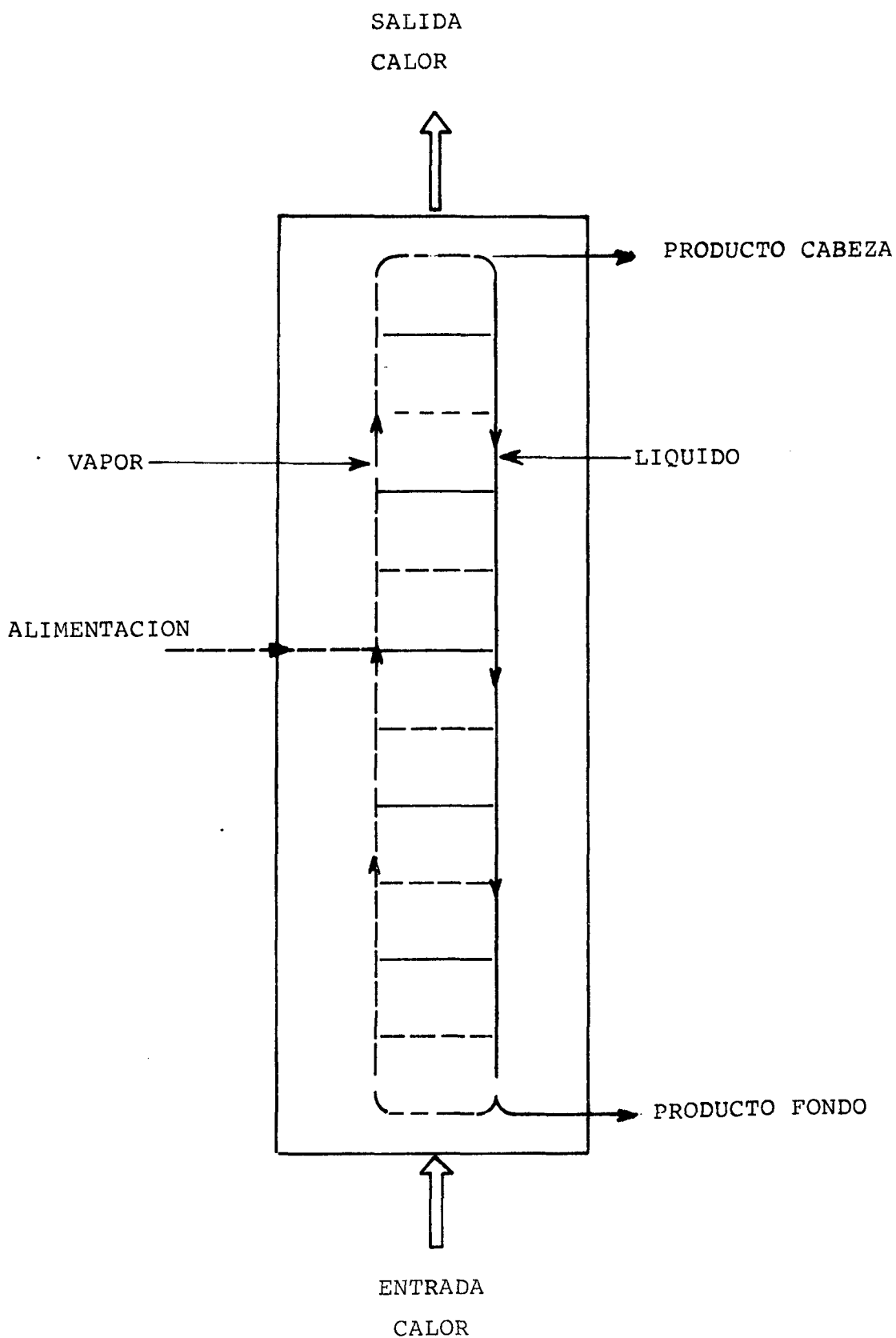


FIGURA 5

medida que éste asciende y el contenido de D_2O en la corriente líquida aumenta a medida que éste baja por la torre. La alimentación ingresa a la torre por uno de los diversos puntos existentes. La determinación del punto de alimentación persigue la comparación entre la concentración de la alimentación y la del vapor. La alimentación de alta concentración se coloca próxima al pie de la torre y la alimentación de baja concentración cerca de la parte superior. El producto de pie (99.8 ó 99.9% de D_2O) se retira de la parte inferior de la columna y el producto de cabeza (0.5%) de la parte superior de la misma.

3.2 Columna

Es común utilizar columnas cortas (2 ó 3) en lugar de una. En nuestro caso se adopta el criterio de una sola columna de 64 mts. de longitud con el agregado de utilizar 2 tanques que contienen los contenidos provenientes de las calotas. Es decir uno se utiliza para moderador y otro para primario.

3.3 Sistema de vacío

Según lo establecido anteriormente, la volatilidad relativa aumenta a medida que la presión decrece. Para lograr un mayor rendimiento las torres de enriquecimiento son operadas a presiones sub-atmosféricas (aproximadamente 13.3 kPa en la parte superior). O sea que se necesita una bomba de vacío para extraer el aire de las torres antes de la puesta en servicio y para extraer el producto no condensable durante la operación. La bomba de vacío está ubicada en la sala 143 y tiene conexiones con la cabeza de torre y con el Evl.

3.4 Evaporador y condensador

Se utilizan intercambiadores de calor para agregar calor al pie de la torre y extraerlo por la cabeza. El calor se suministra por medio de una corriente a través

- 11 -
ESQUEMA DE PROCESO

TM-38420 Nivel 2

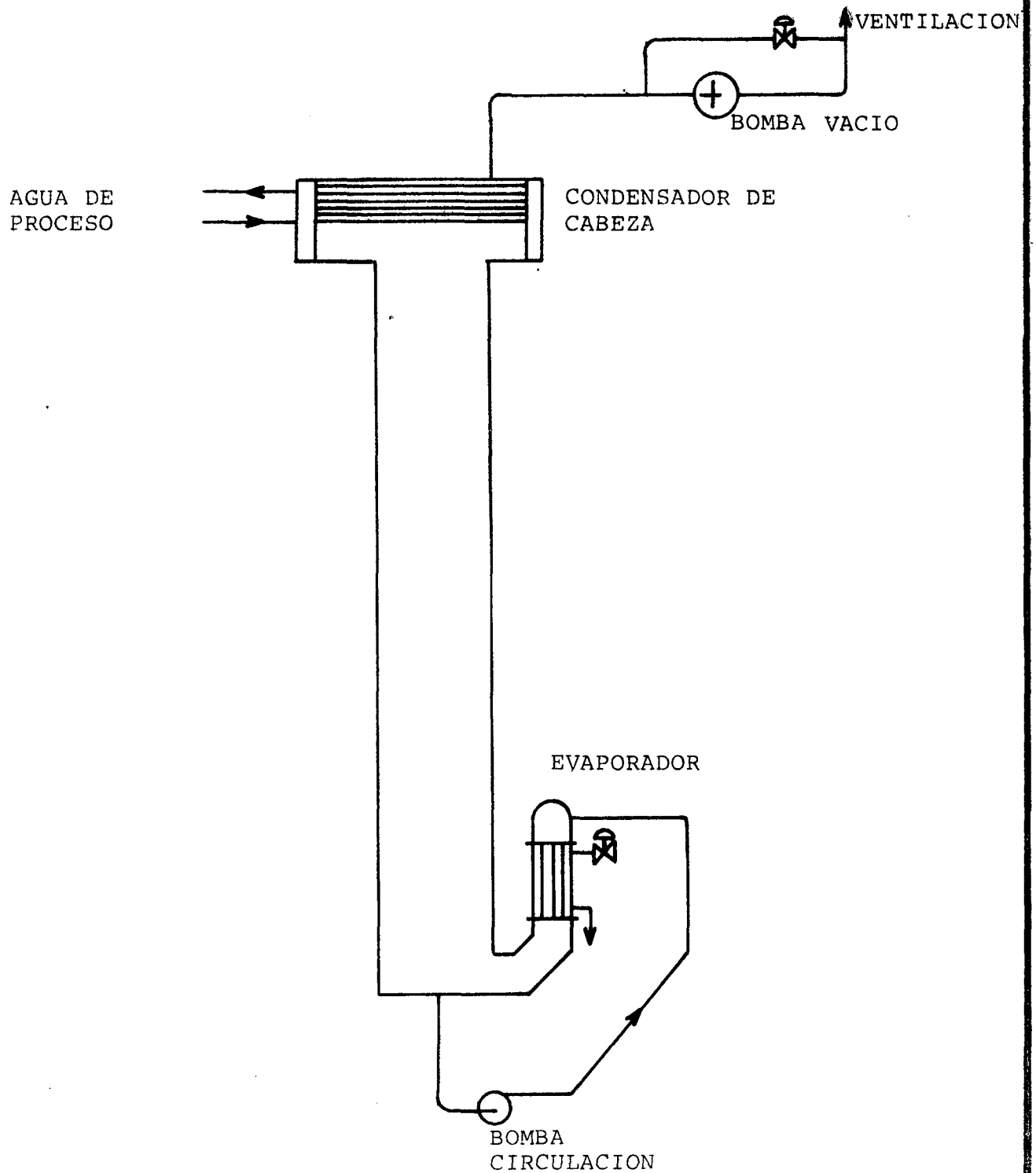


FIGURA 6

- 12 -
ESQUEMA DE PROCESO

TM-38420 Nivel 2

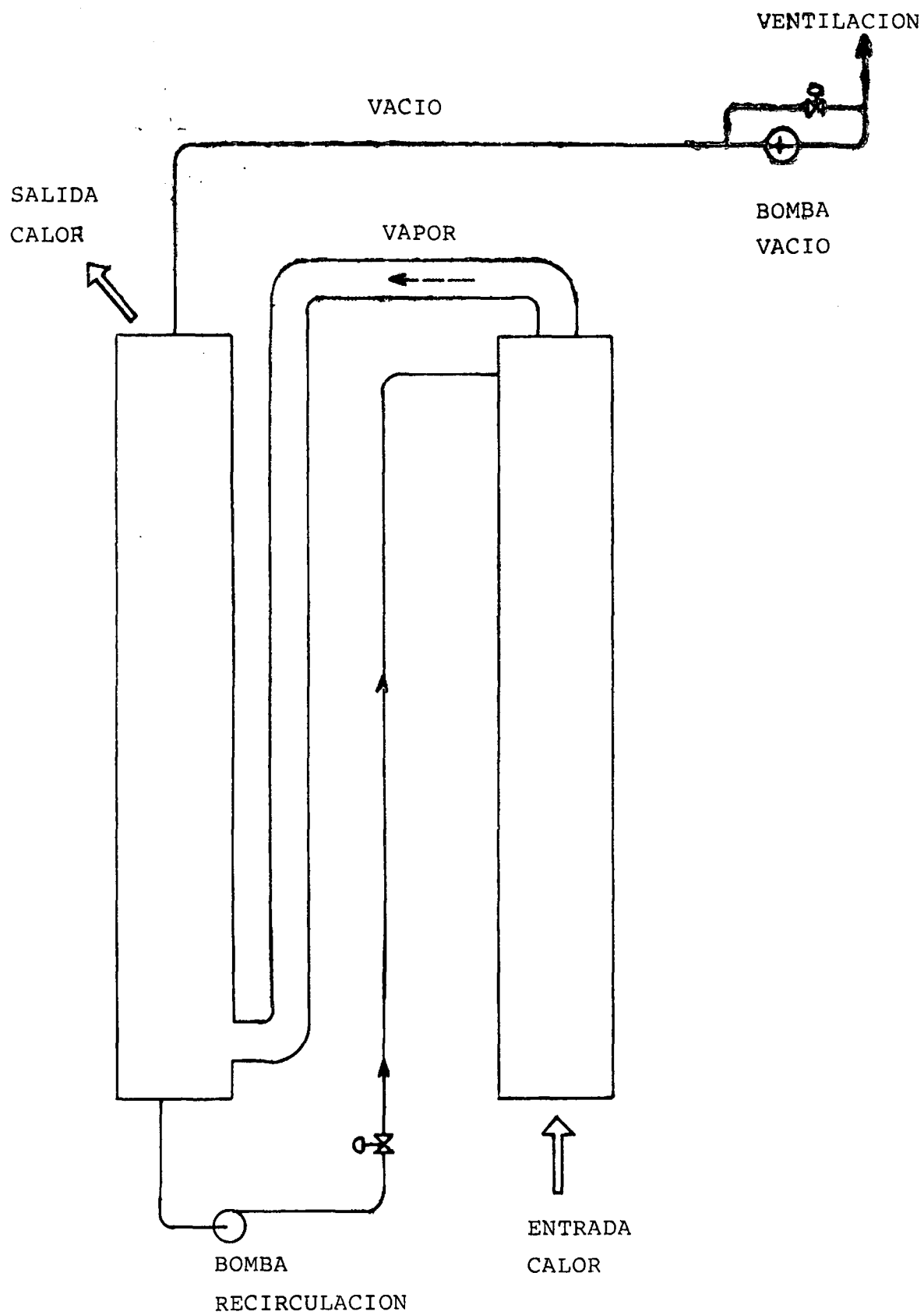


FIGURA 7

de un evaporador, de "película descendente" (que se describe más adelante). Al pie de la columna hay un pequeño loop de circulación que bombea agua a través del evaporador, donde es parcialmente evaporada. El calor es extraído de la cabeza de la torre enfriándolo con agua que circula a través de un caño y un condensador (descriptos más adelante).

3.5 Sistema de alimentación

Como se mencionó anteriormente, la alimentación se suministra a la torre a través de diversos puntos de alimentación. La alimentación deberá suministrarse a velocidad constante, sin impurezas, para lo cual se utilizará caída libre y evaporadores. La figura 8 muestra una típica torre de enriquecimiento del moderador con doble alimentación.

3.6 Producto de extracción

El producto de cabeza se extrae de la cabeza del condensador a una velocidad controlada. Asimismo el producto de pie se extrae de la línea de circulación del evaporador a una velocidad controlada. Debido a que las impurezas tienden a depositarse al pie de la columna es necesario que el producto de pie pase a través de un sistema de limpieza.

3.7 Trampas frías

Considerando que el D_2O es un elemento variable y muchas veces contiene rastros de radioactividad, se deben tomar precauciones para prevenir las pérdidas del mismo ya sea en forma de vapor o líquido. Para evitar el escape de vapor de D_2O , se utilizan trampas frías (Fig. 12). Las mismas se colocan en aquellos puntos donde los no condensables (por ejemplo, aire) salen del sistema. Las trampas frías enfrían el aire entre 6 a 10°C para eliminar cualquier rastro de humedad que pudiera existir.

ESQUEMA DE PROCESO

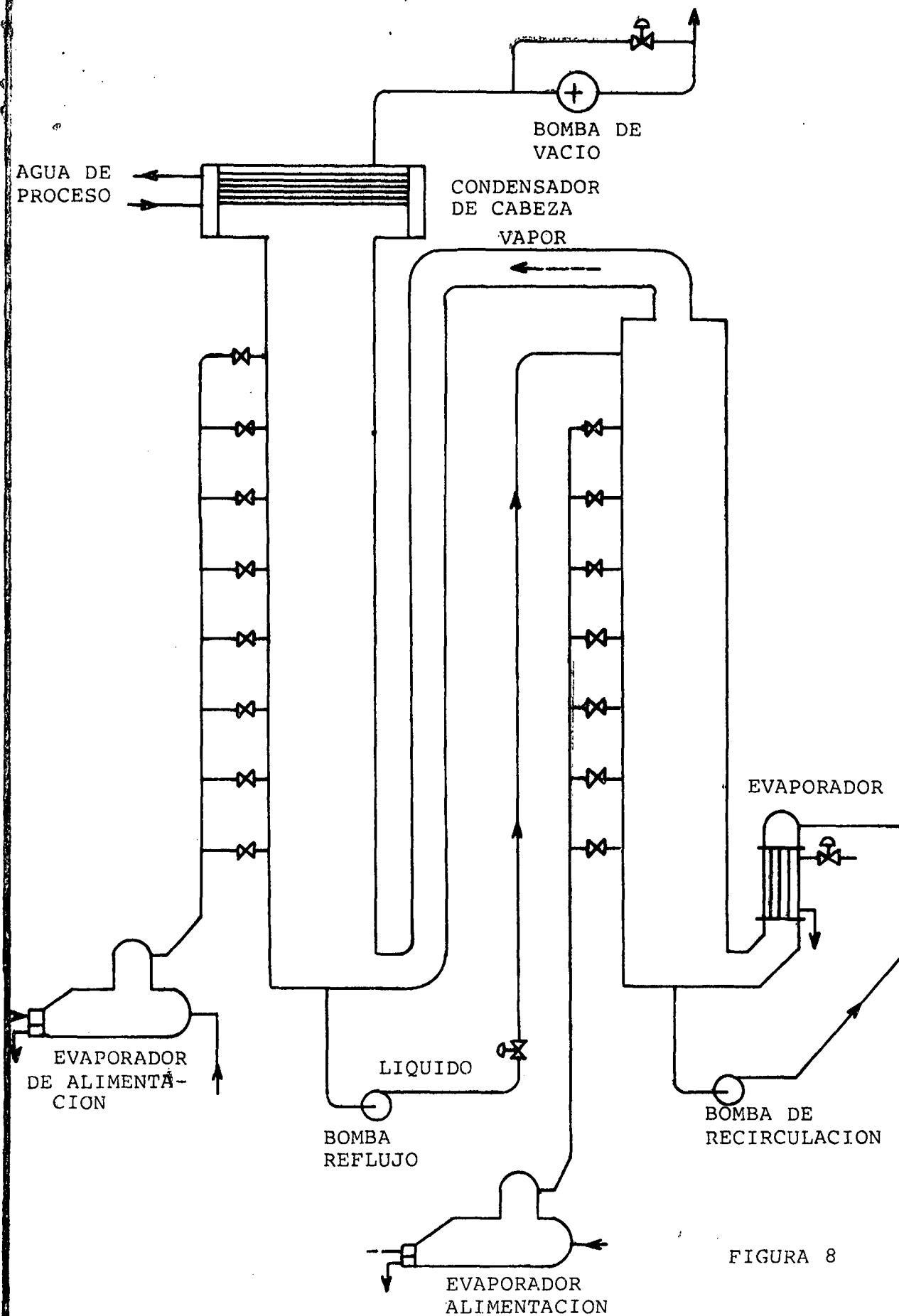


FIGURA 8

4.0 EQUIPO PRINCIPAL

4.1 Secciones de la torre

La figura 9 muestra una sección típica de la torre, compuesta por un colector de líquidos, un distribuidor de líquidos, una grilla de compresión, un soporte de la grilla y varias capas de relleno Sulzer. La torre de enriquecimiento de Embalse contiene 19 de esas secciones.

Para una torre de enriquecimiento dada se requieren muchos metros de relleno Sulzer. A pesar de las excelentes propiedades de distribución del líquido que posee ese relleno, el líquido tiende a canalizarse a medida que descende por la torre y la performance muestra tendencia a decrecer. Para solucionar esta dificultad se colecta el líquido en ciertos puntos de la torre y se redistribuye.

Con el objeto de obtener una mejor performance, el relleno Sulzer está compuesto por capas de alrededor de 15 cm. de profundidad. Varias de esas capas se ubican escalonadas a 90° en cada sección de la torre. Para mantener la distribución correcta del líquido, las secciones deberán estar firmemente en contacto entre sí y el relleno deberá estar comprimido en el momento de la instalación de la torre; las grillas de compresión están adaptadas para mantener el relleno firmemente en su lugar.

Cada sección de la torre está provista de dos miri-llas y un pasahombre para permitir la observación del distribuidor y el colector durante la operación y para facilitar la limpieza, cuando ésta fuere necesaria. Las secciones de la columna están comprimidas y poseen un labio de sello soldado para evitar que se produzcan pérdidas una vez que ha sido instalada la columna.

SECCION DE TORRE

TM-38420 Nivel 2

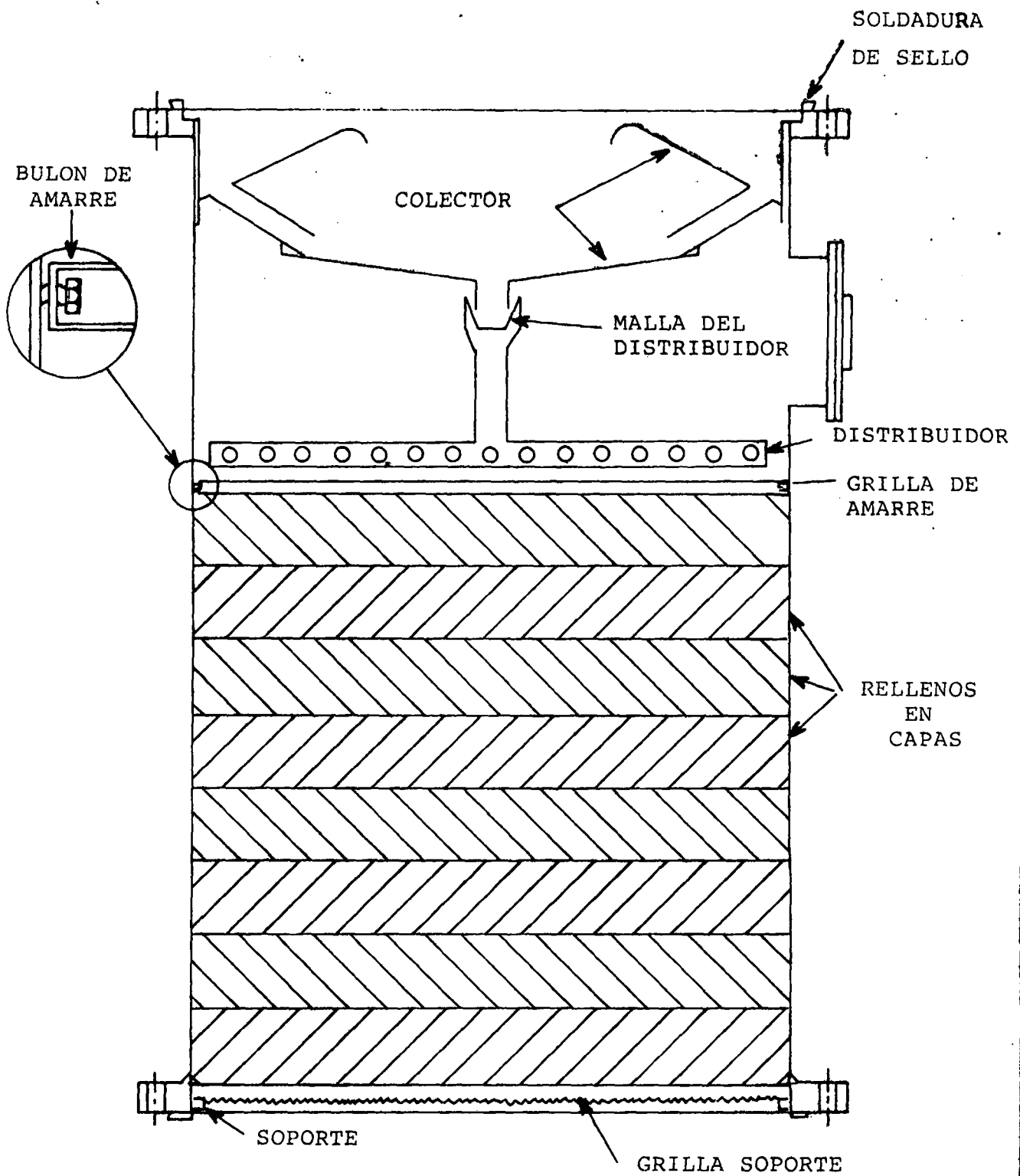


FIGURA 9

4.2 Evaporador

TM-38420 Nivel 2

La Fig. 10 muestra un típico evaporador de "película descendente". Esta clase de evaporador se prefiere en razón de su confiabilidad y poca necesidad de mantenimiento. El vapor es suministrado por el lado de la carcasa del evaporador y el líquido es bombeado por el lado del tubo. En el canal superior se instalan un caño distribuidor y un plato distribuidor para tener la seguridad de que el líquido se distribuye a través del intercambiador de calor. Una vez que el líquido pasó a través del caño distribuidor y el plato distribuidor, cae dentro de la hoja de tubo donde se mantiene un nivel constante de algunas pulgadas. Cada tubo tiene aproximadamente 6 agujeros a través de los cuales el líquido se precipita a lo largo de la pared interna de los mismos.

Nótese que los tubos nunca están llenos de agua sino que solamente poseen una película de agua muy delgada en su interior, por esta razón requiere escaso mantenimiento. A medida que el líquido baja por la superficie interna de los tubos, es parcialmente evaporado. El vapor y el líquido mezclados fluyen dentro de la torre, donde el líquido es recirculado y el vapor sube a través del relleno.

4.3 Condensador de cabeza

La Figura 11 muestra un condensador de cabeza típico. El vapor fluye hacia arriba hasta chocar con el separador de impacto horizontal. Allí es desviado a cada extremo del intercambiador y a través de los tubos, donde se condensa. Los no condensables son colectados en la sección media superior del intercambiador de calor.

Si la temperatura del agua de refrigeración ascendiera, la presión aumentaría levemente y los no condensables serían despedidos del intercambiador. Esto expondrá un área adicional de tubos que incrementará

EVAPORADOR DE PELICULA DESCENDENTE

TM-38420 Nivel 2

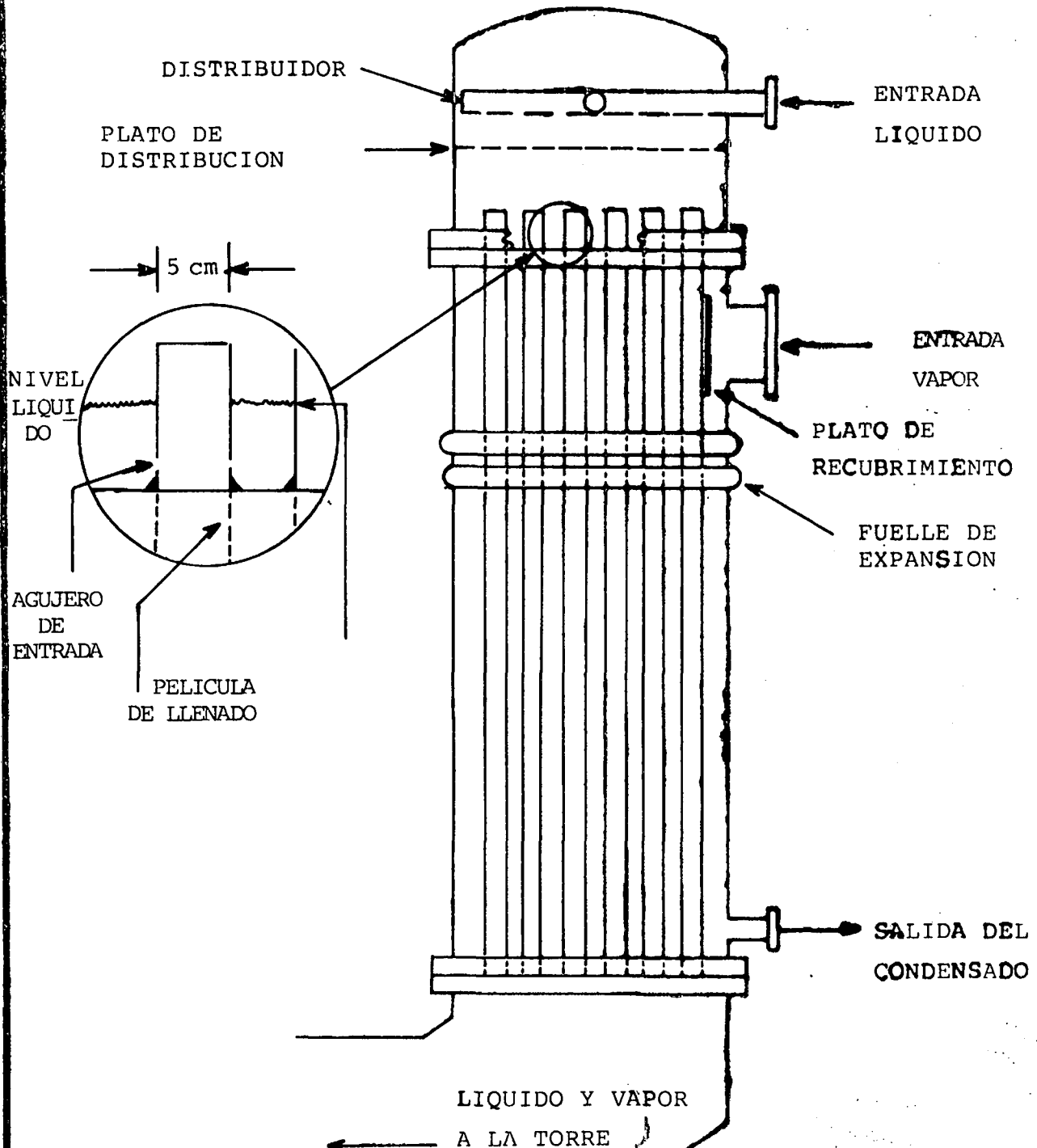


FIGURA 10

CONDENSADOR DE CABEZA

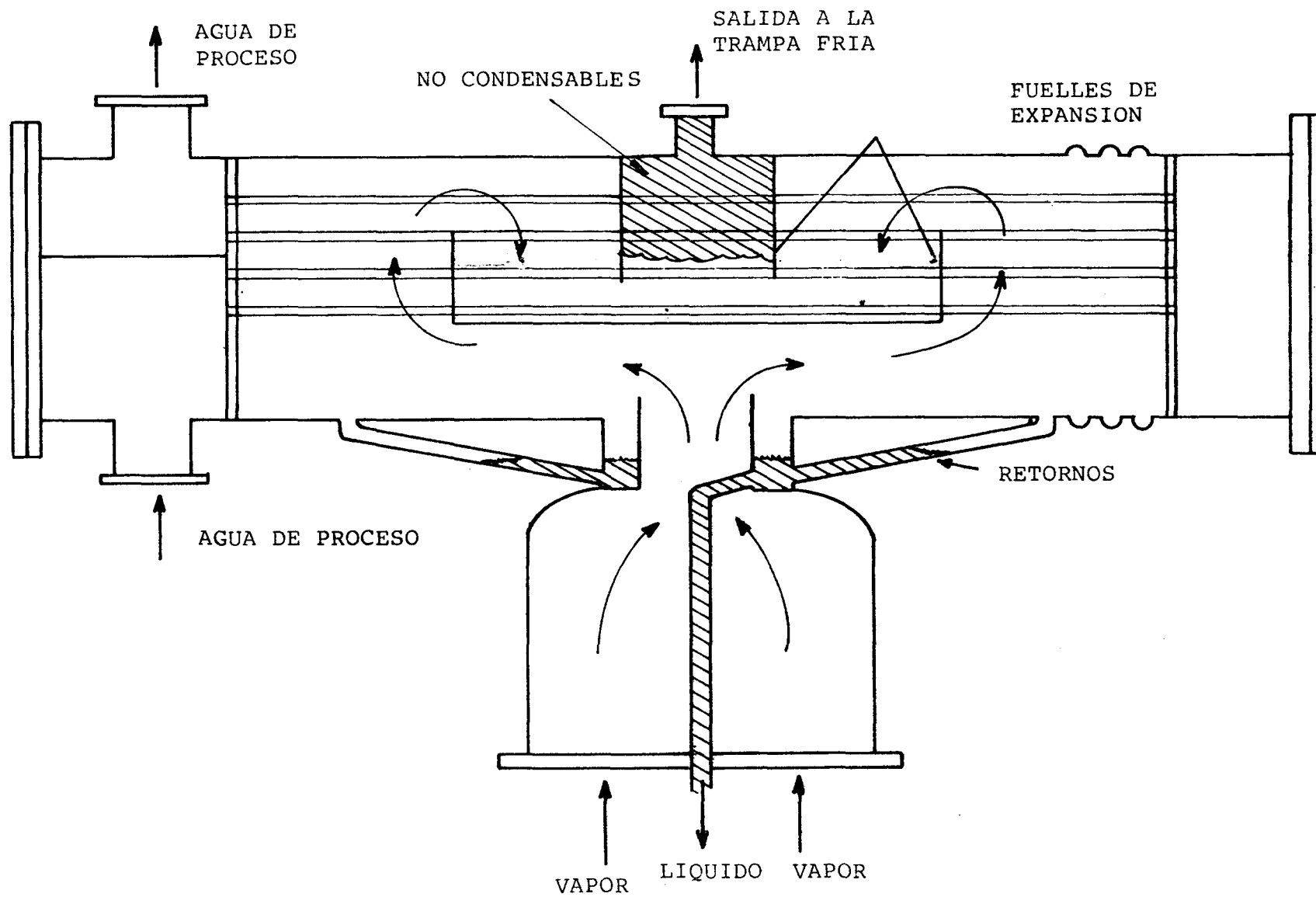


FIGURA 11

la condensación, disminuyendo la diferencia de temperatura entre las aguas en proceso y la de enfriamiento. Inversamente si la temperatura del agua de refrigeración descendiera, la presión en el condensador de cabeza tenderá a aumentar y los no condensables serían admitidos nuevamente dentro del intercambiador de cabeza cubriendo parte de los tubos. La reducción de superficie expuesta incrementa la diferencia de temperaturas.

A medida que el vapor de proceso se condensa regresa a la cabeza de la columna a través de caños de retorno y luego a través de una línea de sobreflujo al primer distribuidor en la cabeza de la columna.

4.4 Instalación de vacío

12. La figura 12 muestra un esquema de instalación de vacío. Consiste de dos bombas de vacío, tipo anillo de agua (una principal y otra de reserva), dos bombas tipo sello de anillo de agua con llaves de flujo, un enfriador con sello de agua y un tanque de sello de agua. Dado que las bombas son del tipo anillo de agua, requieren un continuo suministro de agua de sello. La misma es continuamente descargada de la bomba de descarga y conducida a través del enfriador de sello de agua donde se extrae el calor de compresión del aire. Después de algunos años el tanque de agua de sello se llena gradualmente con agua y debe ser drenado, dependiendo de la cantidad de vapor conducida desde la torre con los no condensables y también de la pérdida que hubiera dentro del sistema (y por lo tanto de los no condensables extraídos del sistema).

La instalación de vacío se arma, entuba, instrumenta y chequea antes de ser embarcada.

4.5 Evaporadores

La figura 13 muestra un evaporador típico del tipo

UNIDAD DE VACIO

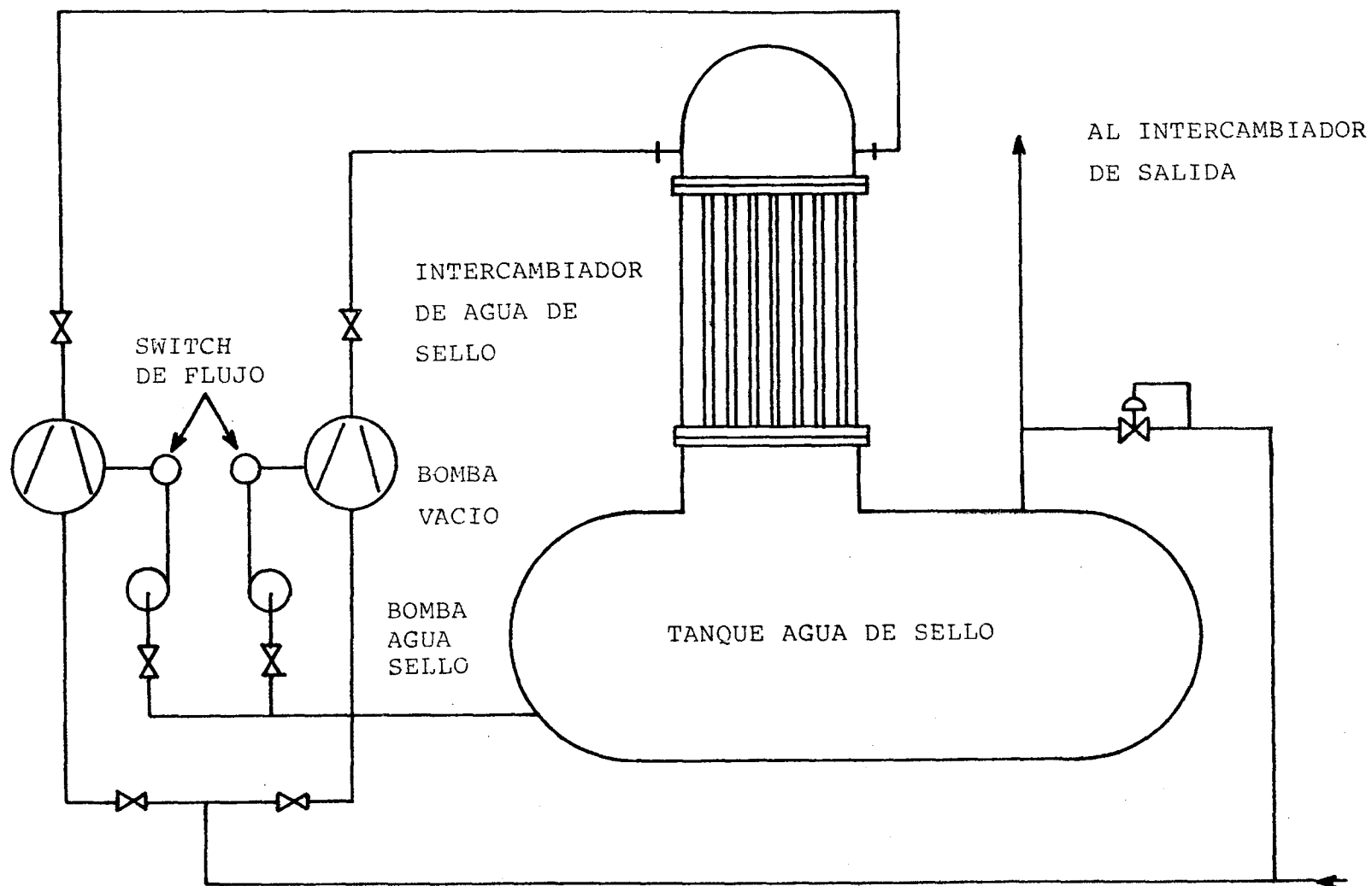


FIGURA 12

DE LA TRAMPA
DE CABEZA

utilizado para corrientes de alimentación y producto. Consiste de un sumidero vertical con un manotajo de tubos y una sección vertical con un deshumectador que elimina el líquido retenido. Del grado de limpieza del producto dependerá que los evaporadores sean purgados periódicamente para extraer las impurezas acumuladas.

Cada evaporador está provisto de dos mirillas para que el operador pueda observar la operación de los mismos.

4.6 Trampas frías

Las trampas frías en las torres de enriquecimiento son simples intercambiadores de calor de tubo y carcasa. El aire penetra en las proximidades de la cabeza del intercambiador, en tanto que los no condensables son extraídos cerca del pie, levemente por encima de la línea de descarga del líquido. Se hace necesaria esta disposición dado que los no condensables generalmente son más pesados que el vapor y tienden a depositarse en el fondo del intercambiador.

4.7 Bombas encapsuladas

La figura 16 muestra un corte de una bomba encapsulada típica. La bomba se denomina "encapsulada" por poseer sellos fijos y porque el líquido de proceso (D_2O) fluye a través del motor. Para la refrigeración de la bomba se utiliza el líquido de proceso el cual pasa a través de la línea de recirculación hacia el soporte terminal del motor y luego regresa a través de la bomba.

4.8 Analizador de agua pesada

Para medir la concentración de agua pesada en la cabeza y pie de la torre se utiliza un analizador infrarrojo de agua pesada Barringer. Dicho analizador mide la cantidad de energía infrarroja que pasa a través de una muestra de líquido. La muestra que será analizada

EVAPORADOR

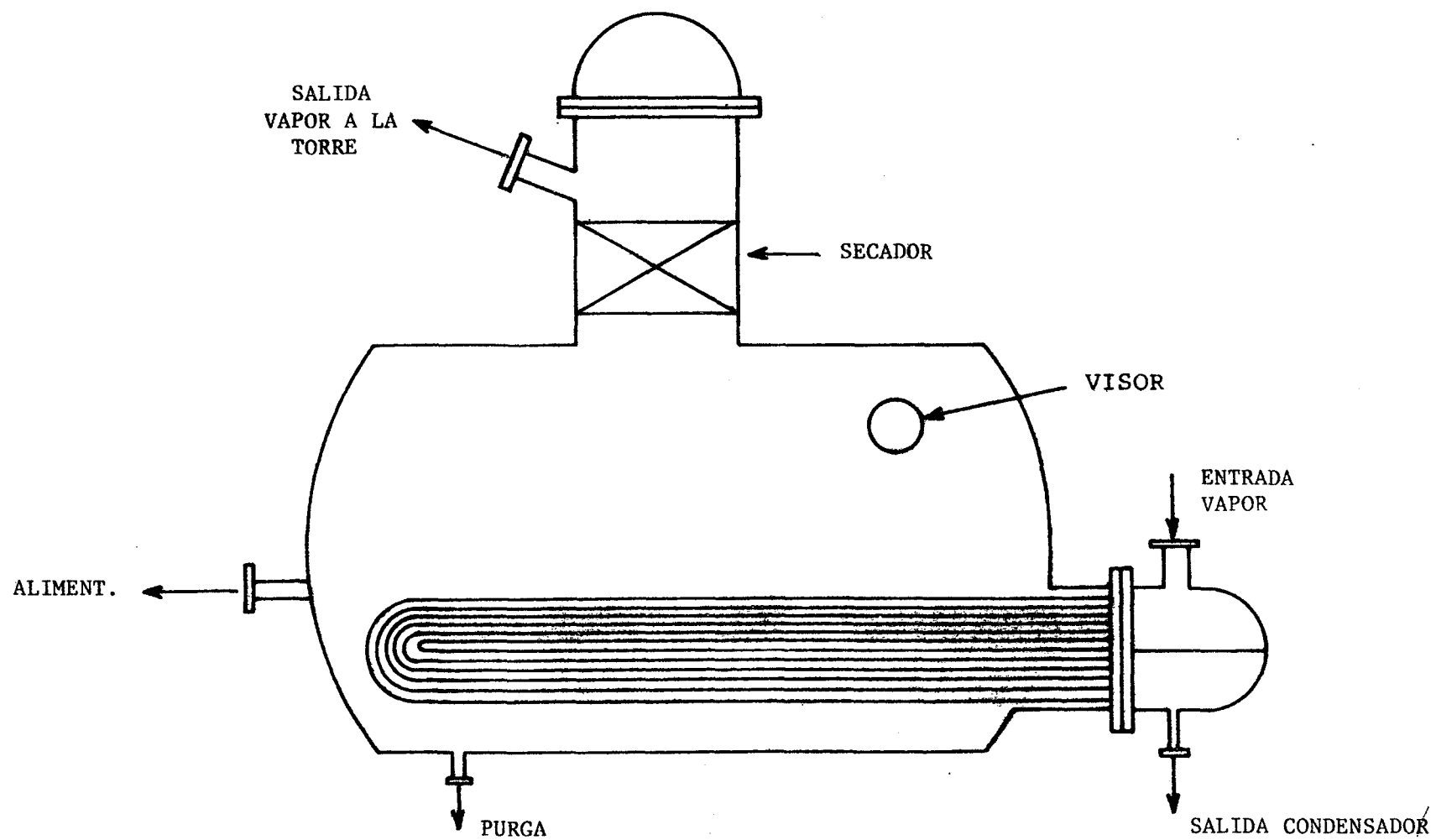


FIGURA 13

por el analizador de producto de cabeza se toma del condensador de cabeza, en forma de líquido; para el analizador de producto de pie se condensa una muestra de vapor de modo de evitar que las impurezas del pie de la torre ingresen al analizador. Ambos analizadores están encerrados dentro de un panel con temperatura constante dado que el funcionamiento de estas unidades es afectado por temperaturas extremas.

4.9 Instalación de condensado

El condensado proveniente de los evaporadores y el hervidor es colectado dentro de un tanque de condensado central. El mismo posee dos bombas de condensado e instrumentos de nivel para su control.

5.0 INSTRUMENTACION Y CONTROL

5.1 Presión de cabeza

Para mantener el vacío en la torre se utiliza una bomba de vacío. En la línea de vacío existe un transmisor de presión que monitorea constantemente la presión y que, a través de un controlador montado en el panel, resetea la válvula de control de presión para mantener una presión de cabeza constante en la torre.

5.2 Alimentación de vapor

Para obtener el máximo rendimiento de la torre de enriquecimiento es necesario mantener una velocidad de alimentación de vapor constante en las columnas. El alimentador de vapor se controla mediante una válvula de control que regula el flujo de vapor al evaporador. Normalmente esta válvula se ajusta a un flujo determinado y se mantiene en el mismo. La única excepción se produce durante la optimización de la torre cuando se deberá ajustar la alimentación aumentándola en cantidades pequeñas de modo de lograr la máxima performance de la torre.

5.3 Alimentación

Como en el caso de la alimentación de vapor, la velocidad de alimentación debe ser constante. Para cada concentración de alimentación existe una velocidad máxima de alimentación y un punto de alimentación. En el diagrama adjunto las curvas muestran las distintas posibilidades de alimentación

5.4 Extracción producto de cabeza

El producto de cabeza se extrae a una velocidad variable que depende de la velocidad de alimentación y de la concentración de alimentación, de manera que se mantenga el porcentaje de 0,5 (máximo) de concentración de agua pesada en la cabeza de la torre. El contenido de agua pesada en el condensador de cabeza se mide con un analizador Barringer y se aumenta o disminuye la velocidad de extracción si la concentración es muy baja o alta respectivamente.

5.5 Extracción producto de pie

Para mantener el balance de la masa dentro del sistema, se deberá extraer el producto de pie, considerando preferentemente el nivel (antes que la concentración) dentro del sumidero de la torre. Mientras las velocidades de alimentación de diseño no sean excedidas y la presión de cabeza permanezca a 100 Torr, el grado de concentración del reactor se mantendrá dentro de lo especificado (99,82%) al pie de la columna. Un transmisor de nivel ubicado al pie de la columna mide el nivel del sumidero y abre o cierra la válvula del producto de extracción, según el nivel sea muy alto o bajo respectivamente.

5.6 Niveles

El nivel de los distintos tanques y evaporadores es monitoreado mediante transmisores de tipo desplazamiento y por alarmas de tipo flujo. El nivel en el alimentador y

evaporadores de producto se mantiene ajustando la presión de vapor en el manojo de tubos.

5.7 Panel de control

Los controladores, indicadores, registradores, alarmas y llaves manuales están ubicados en un panel de control central en la torre. Todas las acciones lógicas son llevadas a cabo mediante un controlador programable. El panel es pre-programado y examinado en la fábrica antes del embarque.

6.0 OPERACION

Ver el M.O. 38420.

7.0 FORMULARIOS

Se deberán completar por el operador de equipo los formularios que aparecen en hojas 27 y 28. El ayudante de jefe de turno, controlará el llenado de los mismos y efectuará la distribución correspondiente.

MLP



INVENTARIO DE D₂O

REGISTRO DIARIO DE LA TORRE DE ENRIQUECIMIENTO DE D ₂ O	OF. TÉCNICA
--	-------------

OF. TÉCNICA

[illegible]

Día **Mes** **Año**
01.00 horas

Día Mes Año

Turno	Guardia	Operador
Noche		
Mañana		
Tarde		
Noche		

Hora de comienzo	Origen	Formulario de Transferencia N°	Contenido Isotópico % en peso D ₂ O	Título Cl/Kg	Hora de Finalización

Hora de comienzo	Transferido a:	Formulario de Transferencia N°	Contenido Isotópico % en peso D ₂ O	Tritio Cl/Kg	Hora de Finalización

Hora de comienzo	Transferido a:	Formulario de Transferencia N°	Contenido isotópico % en peso D ₂ O	Título Cl/Kg	Hora de Finalización

MOTIVO

Estado	Fuera de Servicio		Recirculación total		Total Horas
Hora Día	Comienzo	Fin	Comienzo	Fin	
Externo					
Interno					

Valor Deseado	A Según diseño Sección 10.0 M. Oper. T/h	B Horas a Caudal de alimentación	A x B	Válvula de Alimentación	Contenido Isotópico de Alimentación % en peso D ₂ O
Hora de cambio de alimentación			→		
Alimentación total del período			→		Toneladas

Distribución: original-Oficina Técnica (una vez completo depositario en bandeja de formularios de D₂O en Sala de Control)
copia-Operador Torre Enriquecimiento D₂O

38420 - TORRE DE ENRIQUECIMIENTO

[illegible]