

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
Y MANUFACTURERA



**SIMULACION DE DAÑOS POR CONTAMINACION
EN LA TORRE DE ENRIQUECIMIENTO DE AGUA
PESADA DE UNA CENTRAL NUCLEAR**

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUIMICO

JULIO CARRASCO MANTARI

LIMA — PERU — 1987

A mi madre y mis hermanos
por su constante apoyo en
mi formación.

ACLARACION:

El título original de la tesis es "SIMULACION DE DAÑOS POR CONTAMINACION EN LA TORRE DE ENRIQUECIMIENTO DE AGUA PESADA DE UNA CENTRAL NUCLEAR". Pero para dar mayor claridad al tema, se puede denominar "SIMULACION DE DAÑOS POR CONTAMINACION EN LA TORRE DE DESTILACION DEL SISTEMA DE ENRIQUECIMIENTO DE AGUA PESADA DE UNA CENTRAL NUCLEAR."

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Dr. Alberto Maroto, por su guía, enseñanzas, apoyo y revisión del manuscrito.

Al Ing. Marcelo Fizner, por sus sugerencias y discusiones en varias etapas de este trabajo.

A la Lic. Norma Piacquadío, por su apoyo y sugerencias.

Al Lic. Guillermo Urrutia, por sus sugerencias.

A la Lic. Marina Villegas, por las fotografías de microscopía electrónica de barrido.

Al Sr. Ricardo Larotonda, por sus sugerencias en el aspecto computacional.

A la Sra. Susana Steiner, por su colaboración en el tipeo del manuscrito.

Al Inq. Emerson Collado, por su orientación en la presentación del tema,

- Resultados y Conclusiones

1.- De los resultados obtenidos, podemos concluir que el pH ácido en la calota no se debe al dióxido de carbono, dado que el perfil de distribución muestra que la concentración en el fondo de la columna es nula.

2.- El amoníaco, dado a su baja constante de distribución se concentra en los primeros platos teóricos del relleno superior a la alimentación. En los primeros instantes de ocurrido el transitorio, esta concentración es alta logrando sobrepasar el pH límite recomendado por el fabricante; pero, en un lapso de tiempo corto del orden del primer segundo. Posteriormente, el perfil se va achatando hasta alcanzar el estado estacionario, donde en la zona de rectificación el pH es casi constante.

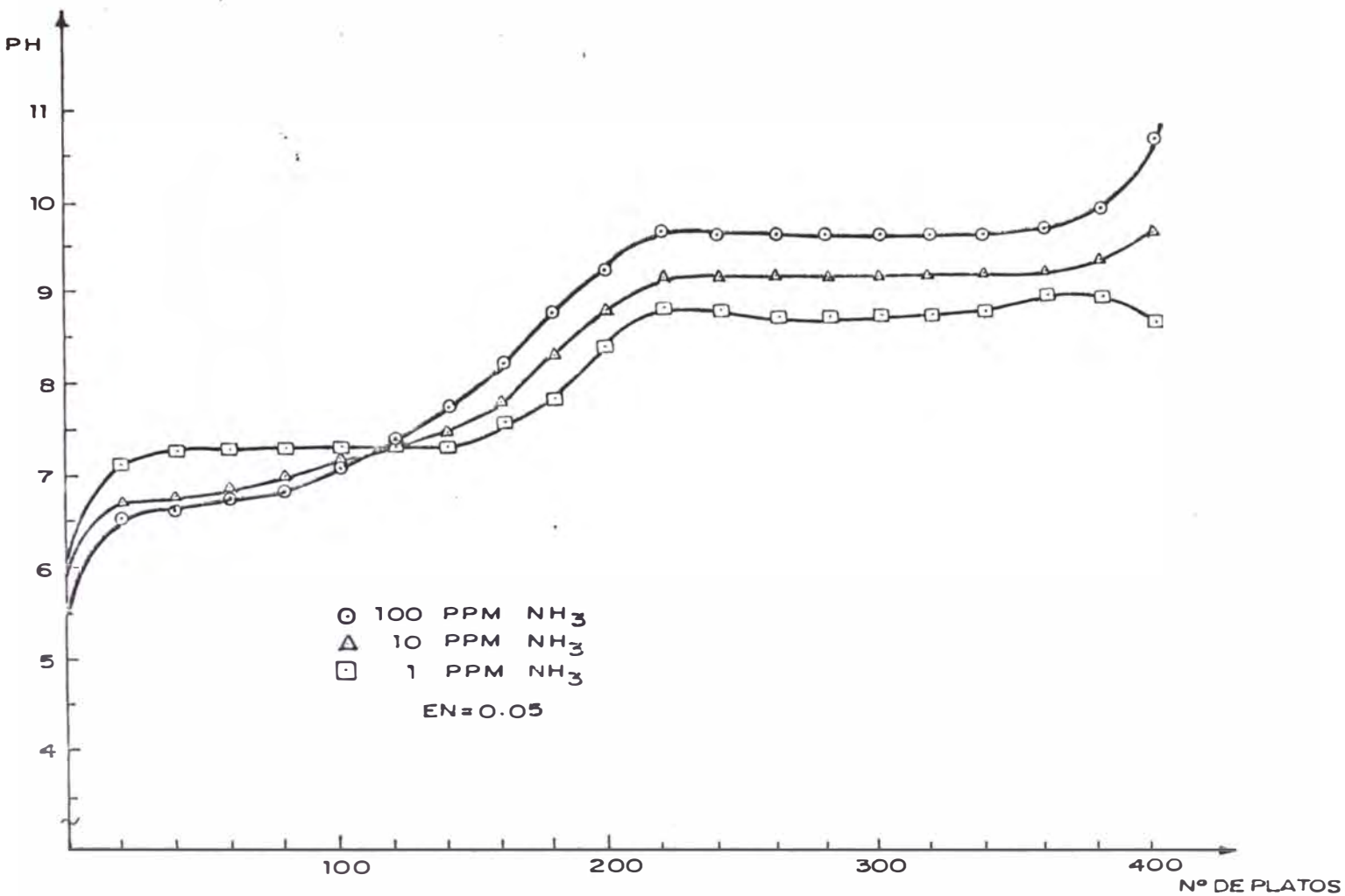
Este hecho explicaría que el relleno superior a la alimentación sea el relleno más afectado desde el punto de vista de contaminantes volátiles. Lo que está de acuerdo con lo ocurrido en la torre de enriquecimiento, dado que se detectó el problema de taponamiento de los distribuidores en dicho relleno.

3.- El amoníaco en las concentraciones permitidas de trabajo en operación normal, su concentración se mantiene siempre menor que $10^{-2}M$, al alcanzar el estado estacionario.

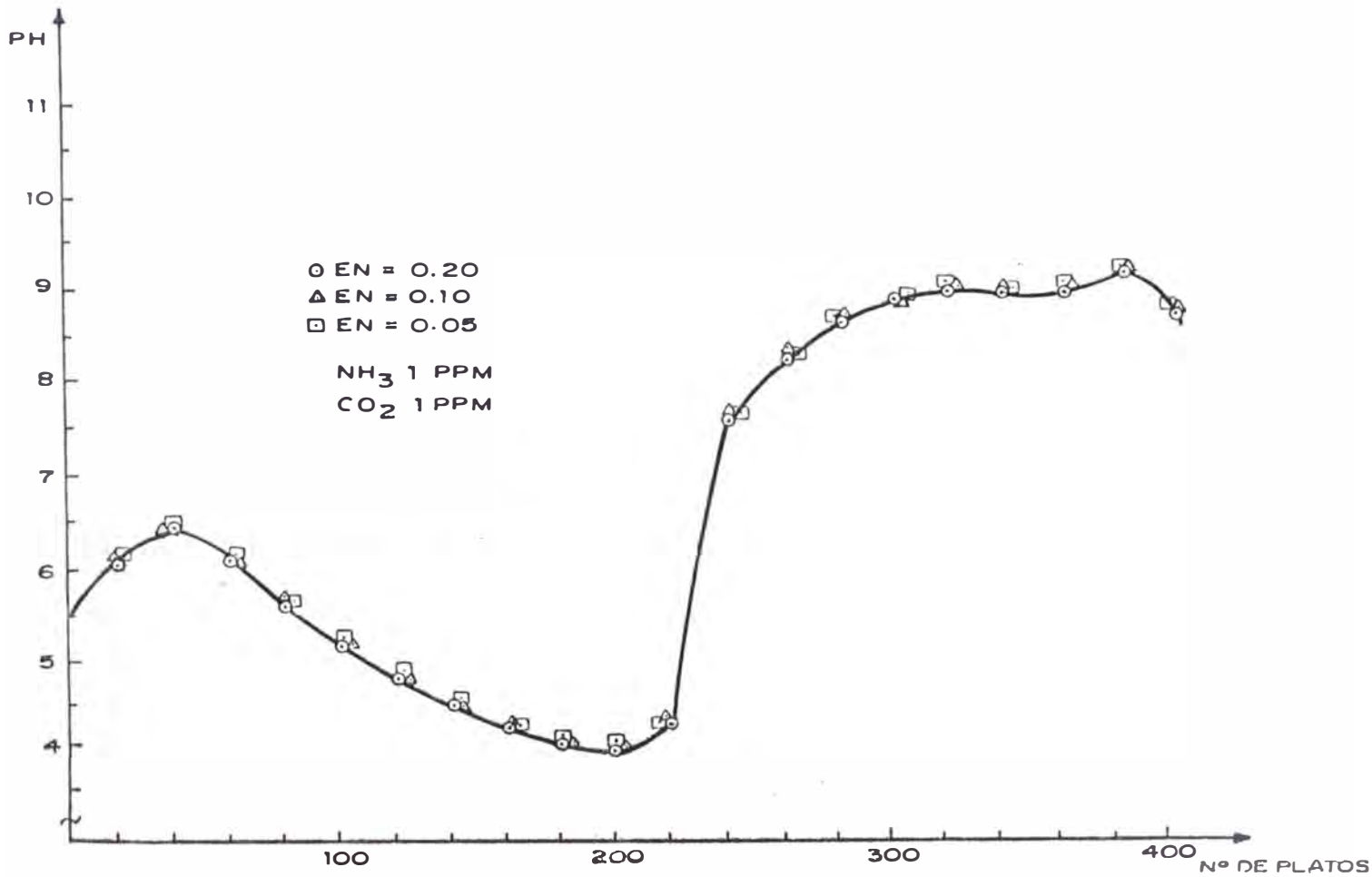
Asímismo la presencia de dióxido de Carbono en cantidades posibles no modifica sustancialmente el perfil de distribución.

4.- El tiempo obtenido para diferentes concentraciones de contaminantes en la alimentación es de 11 minutos.

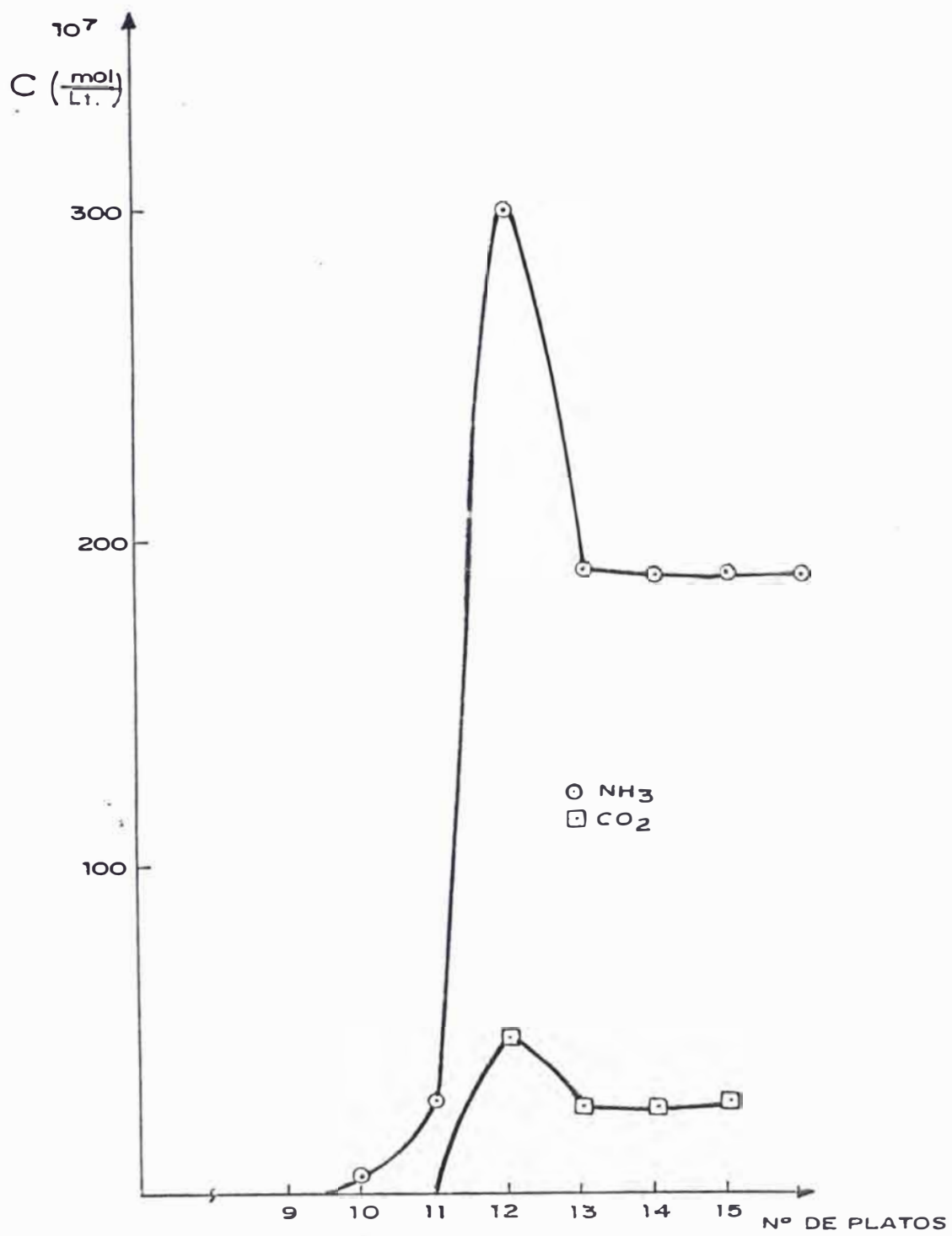
Esto nos indicaría que las altas concentraciones obtenidas durante el estado transitorio no afectaría gravemente el relleno. Sin embargo, si resultaría peligroso si las contaminaciones son cíclicas, con lo que poco a poco debilitaría el material y se esperaría por ende una corrosión localizada.



8.2 EFECTO DEL AMONIACO DE ALIMENTACION EN EL PERFIL DE PH



8.3 EFECTO DEL ARRASTRE MAXIMO EN EL PERFIL DE PH



8.4 DIFERENCIA DE CONCENTRACION EN UN PLATO DE ESPECIES VOLATILES .

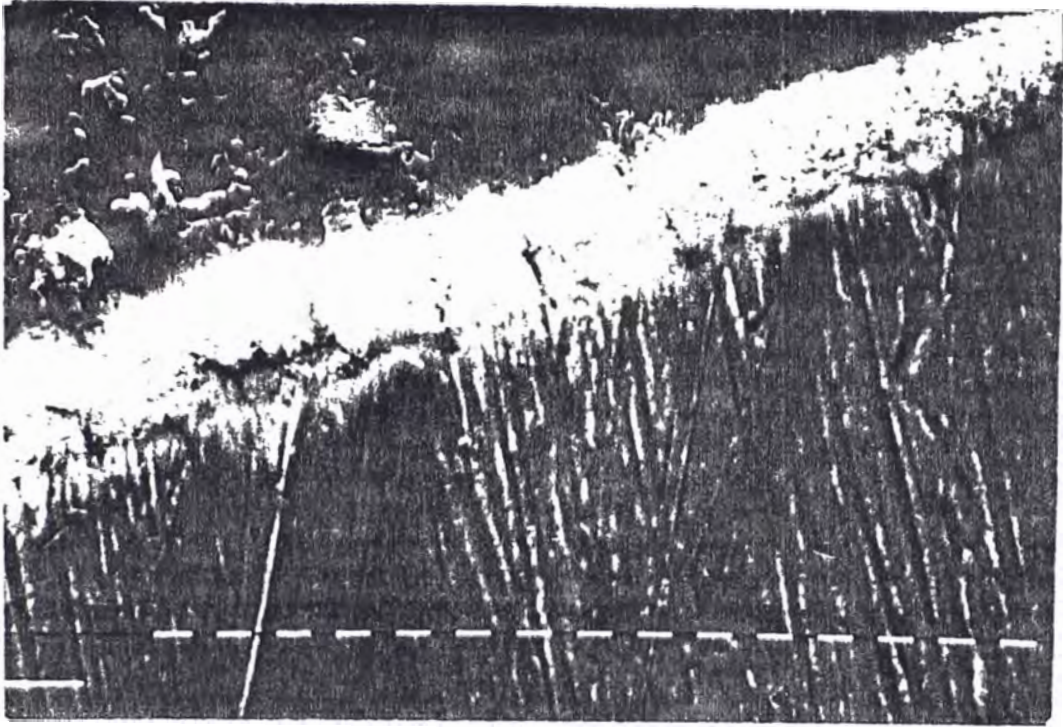


FIG. 8.5 MICROGRAFIA DEL MATERIAL NO ATACADO - $1\mu m$

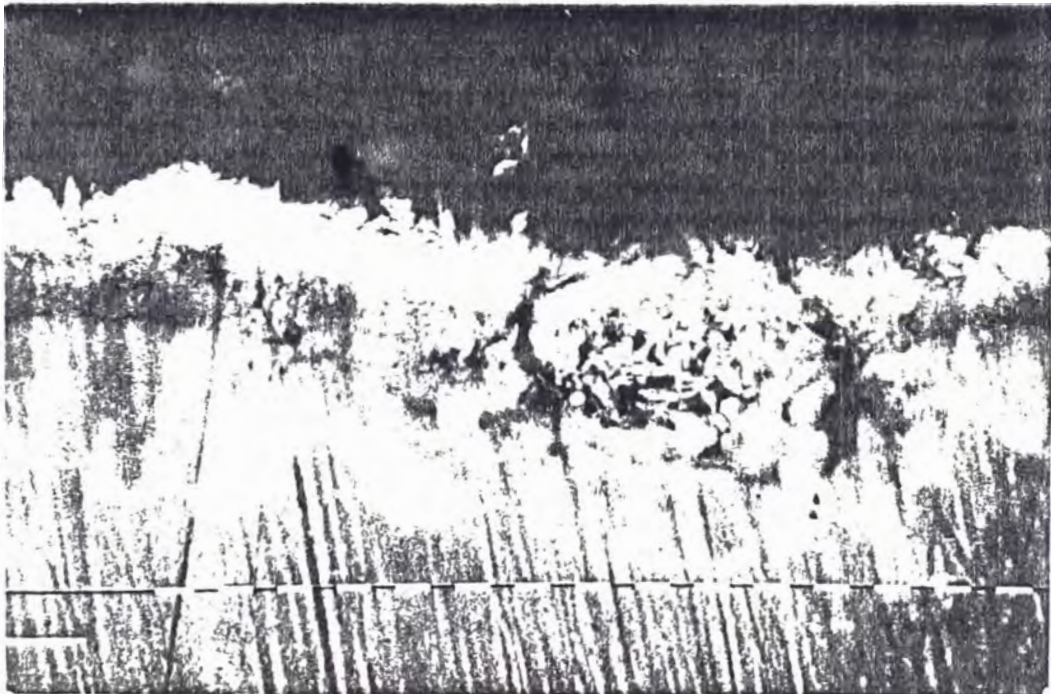


FIG. 8.6 MICROGRAFIA DEL MATERIAL ATACADO - $1\mu m$

5.- Si aumenta la concentración de amoníaco en la alimentación aumenta el pH en la zona de rectificación. Similarmente el aumento del anión fuerte disminuirá el pH de la sección de agotamiento y se concentrará en calota.

6.- El parámetro de arrastre máximo (E_n) no influye apreciablemente en el perfil de distribución, cuando las especies contaminantes son volátiles.

Cuando se introduce un contaminante no volátil, se deforma el perfil anterior, pero; similarmente el arrastre máximo no influye apreciablemente el perfil de distribución.

7.- No puede definirse una zona químicamente agresiva respecto de una disolución generalizada de los óxidos.

8.- Aspectos de la observación con microscópio electrónico de barrido de trozos del relleno provenientes de la zona afectada se muestran en las figuras 8.5 y 8.6. Corresponden a cortes transversales de alambres obtenidos por la técnica de inclusión. Se distingue en ella el óxido depositado sobre el material base.

En la micrografía de la fig. 8,5 se observan además de las fisuras que atraviesan el espesor del óxido, fisuras en la zona de interfase metal-óxido paralelas a la misma.

Estas fisuras sugieren la existencia de ataque químico por penetración del reactivo. Este ataque no es generalizado, sino que es permitido por la porosidad de la capa de óxido, tal como se muestra en la fig. 8.6, que favorece la entrada del medio aún hasta la interfase con el metal.

El posterior desprendimiento de estos segmentos entre fisuras sería el responsable de los problemas mencionados.

9.- Como pronóstico para la Central Nuclear de Embalse, es posible que estos desprendimientos disminuyan con el tiempo, en función de un extremo cuidado de las condiciones químicas del agua procesada.

El criterio recomendado a la central es operar la columna dentro de límites sensiblemente menores de impurezas en la alimentación que las especificadas originalmente.

INDICE

RESUMEN

1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>EL ATOMO Y LAS REACCIONES NUCLEARES</u>	3
2.1. PARTICULAS CONSTITUYENTES DEL ATOMO	
2.1.1 NUMERO ATOMICO Y NUMERO DE MASA	
2.1.2 ISOTOPOS	
2.1.3 REACCIONES NUCLEARES	
2.1.3.1 SECCION EFICAZ	
2.2 RADIACION	
2.2.1 ESTABILIDAD NUCLEAR	
2.2.2 RADIOACTIVIDAD	
2.3 FISION NUCLEAR	
2.3.1 MATERIALES DE FISION	
2.3.2 PROCESO DE FISION	
2.4 MODERACION DE NEUTRONES	
2.4.1 PODER DE MODERACION y RELACION DE MODERACION	
3.0 <u>CENTRAL NUCLEAR EMBALSE</u>	16
3.1.0 EL REACTOR	
3.1.1 CALANDRIA	
3.1.2 ELEMENTOS COMBUSTIBLES	
3.2 SISTEMAS PRINCIPALES	
3.2.1 SISTEMA PRIMARIO DE TRANSPORTE DE CALOR	
3.2.2 SISTEMA DEL MODERADOR	
3.2.3 SISTEMA SECUNDARIO	
3.3 SISTEMA COMPLEMENTARIO	
3.3.1 SISTEMA DE AGUA DE PROCESOS	
3.3.2 SISTEMA DE CIRCULACION Y CANAL DE DESCARGA	
3.4 CONTROL DE LA CENTRAL	

- 3.4.1 CONTROL DEL REACTOR
 - 3.4.1.1 UNIDADES LIQUIDAS DE CONTROL ZONAL
 - 3.4.1.2 BARRAS ABSORBEDORAS MECANICAS
 - 3.4.1.3 BARRAS AJUSTADORAS DE COBALTO
- 3.4.2 RECAMBIO DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES
 - 3.4.2.1 MAQUINA DE CARGA
 - 3.4.2.2 OPERACION DE RECAMBIO
- 3.5 SISTEMA ELECTRICO
- 3.6 SISTEMAS DE PROTECCION
 - 3.6.1 SISTEMA DE CONTENCIÓN DEL EDIFICIO DEL REACTOR
 - 3.6.2 SISTEMA DE ROCIADO Y REDUCCION DE LA PRESION
 - 3.6.3 SISTEMA DE REFRIGERACION DEL SISTEMA DEL NÚCLEO
 - 3.6.4 OTROS SISTEMAS

4. PRODUCCION DE AGUA PESADA

37

- 4.1 INTERCAMBIO ISOTOPICO
 - 4.1.1 SULFURO DE HIDROGENO Y AGUA
 - 4.1.1.1 PROCESO BITERMICO
 - 4.1.2 AMONIACO E HIDROGENO
 - 4.1.2.1 PROCESO MONOTERMICO
 - 4.1.2.2. PROCESO BITERMICO
 - 4.1.2.2.1 PROCESO BITERMICO SIN AGOTAMIENTO
 - 4.1.2.2.2 ESQUEMA BITERMICO CON AGOTAMIENTO
- 4.2. DESTILACION ISOTOPICA
 - 4.2.1. DESTILACION DEL HIDROGENO
 - 4.2.2. DESTILACION DE H₂O
 - 4.2.3. DESTILACION DE AMONIACO
- 4.3. PRODUCCION DE AGUA PESADA POR ELECTROLISIS
 - 4.3.1. METODO ELECTROLITICO

5. EL AGUA PESADA EN REACTORES (CANDU)

53

- 5.1. CONTROL DEL AGUA PESADA
- 5.2. MONITOREO DE PERDIDAS DE AGUA PESADA
 - 5.2.1. MONITOR DE CHIMENEA
 - 5.2.2. MONITOR DE D₂O EN H₂O

- 5.2.3. DETECCION DE FUGAS LIQUIDAS
- 5.2.4. CONTROL EN DRENAJE ACTIVO
- 5.3. RECUPERACION Y ALMACENAMIENTO DE D₂O
- 5.3.1. RECOLECCION DE D₂O DEL MODERADOR Y DEL SISTEMA REFRIGERANTE
- 5.3.2. RECUPERACION DE VAPOR DE D₂O
- 5.3.3. COLECCION DE FUGAS DE H₂O
- 5.3.4. SUMINISTRO DE D₂O

6. PROBLEMA DE CONTAMINACION EN LA TORRE DE ENRIQUECIMIENTO DE D2O 63

- 6.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA
 - 6.1.1 CIRCUITO DE ALIMENTACION DE LA TORRE DE ENRIQUECIMIENTO
 - 6.1.2 SISTEMA DE DESTILACION
 - 6.1.3 SISTEMA DE EXTRACCION DE PRODUCTO DE FONDO
 - 6.1.4 SISTEMA DE VACIO
- 6.2 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES
 - 6.2.1 TORRE DE ENRIQUECIMIENTO
 - 6.2.1.1 RELLENO - SULZER
 - 6.2.2 HERVIDOR
 - 6.2.3 TANQUE DE ALIMENTACION
 - 6.2.4 EVAPORADOR DE ALIMENTACION
 - 6.2.5 CONDENSADOR
 - 6.2.6 TRAMPA DE HUMEDAD DEL TOPE
 - 6.2.7 BOMBAS DE VACIO
- 6.3 LOCALIZACION DEL PROBLEMA
 - 6.3.1 TAPONAMIENTO DEL DISTRIBUIDOR
 - 6.3.2 DETECCION DE CONTAMINANTES

7. ANALISIS DEL BALANCE DE MASA 73

- 7.1 ESPECIES QUIMICAS CONTAMINANTES
 - 7.1.1 AMONIACO
 - 7.1.1.1 PRODUCTOS DE AMONIACO EN CENTRALES NUCLEARES
 - 7.1.1.2 FISICOQUIMICA DEL AMONIACO
 - 7.1.2 DIOXIDO DE CARBONO
 - 7.1.2.1 FISICOQUIMICA DEL DIOXIDO DE CARBONO
- 7.2 ARRASTRE EN TORRES EMPACADAS
 - 7.2.1 MODELOS DE ARRASTRE

7.2.2 PERFIL DE ARRASTRE
7.3 BALANCE DE MASA EN LA TORRE
7.3.1 BALANCE PARA ESPECIES VOLATILES
7.3.1.1 PLATOS COMUNES
7.3.1.2 PLATO DE ALIMENTACION
7.3.1.3 HERVIDOR
7.3.1.4 CONDENSADOR
7.3.2 BALANCE DE ESPECIE NO VOLATIL
7.3.2.1 PLATOS COMUNES
7.3.2.2 PLATO ALIMENTACION
7.3.2.3 HERVIDOR
7.3.2.4 CONDENSADOR
7.4. BALANCE DE MASA EN EL PLATO
7.4.1 BALANCE DE MASA PARA CADA ESPECIE
7.4.2 DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE CADA ESPECIE
7.4.3 DETERMINACION DEL pH
7.5 DETERMINACION DE PARAMETROS DE LA TORRE
7.5.1 LINEA DE OPERACION
7.5.2 DETERMINACION DEL VOLUMEN DEL PLATO
8. METODO DE CALCULO
8.1 METODO NUMERICO
8.1.1 CONCEPTO DE ESTABILIDAD
8.1.2 ESTABILIDAD DEL SISTEMA
8.1.3 METODO RUNGE-KUTTA SEMI-IMPLICITO
8.1.3.1 EXTRAPOLACION Y AJUSTE
8.2 COMPUTACION
8.2.1 DESCRIPCION DEL PROGRAMA
8.2.1.1 DATOS DE ENTRADA
8.2.1.2 PROGRAMA PRINCIPAL
8.2.1.3 SUBROUTINA DATOS
8.2.1.4 SUBROUTINA STIFF
8.2.1.5 SUBROUTINA MET
8.2.1.6 SUBROUTINA PLATO
9. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO
REFERENCIA
APENDICE

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla un programa computacional para determinar la distribución de contaminantes y el pH de la fase líquida a lo largo de la torre de enriquecimiento de agua pesada. Se analizan la influencia del: dióxido de carbono, amoníaco y un anión de ácido fuerte.

En el desarrollo del programa se utilizaron las máquinas IBM/370 mod. 158 y/o BASF 7/68.

La importancia del trabajo y la introducción al tema, refiere el Cap. 1.

En el Cap. 2, se hace algunas consideraciones básicas de física nuclear, refiriéndose a algunos conceptos usados en Centrales Nucleares. Esto apunta, a la importancia que tiene el agua pesada como moderador en el núcleo del reactor.

También se explica algunas reacciones nucleares que pueden ocurrir con el hidrógeno del agua, tal como el aprovechamiento del agua liviana como unidad líquida de control zonal del reactor.

Se trata la fisión nuclear muy brevemente, para explicar los conceptos de moderación y moderador.

En el Cap. 3, se describe la Central Nuclear Embalse, cuya torre de enriquecimiento fué analizada.

En el Cap. 4, se trata algunos métodos usados para la producción de agua pesada, por intercambio isotópico, destilación isotópica y electrólisis.

En el Cap. 5, se trata del control de agua pesada en la central, para lo cual se cuenta con muchos sistemas de detección de fugas y métodos de recuperación.

En el Cap. 6, se describe la torre de enriquecimiento y todos los equipos complementarios que integran el sistema de regeneración de agua pesada; para luego ubicar el problema que dió origen a este trabajo.

En el Cap. 7, se enfoca algunos aspectos fisicoquímicos de los contaminantes volátiles que serán utilizados en el desarrollo del balance de masa.

Se discute algunos modelos de arrastre en rellenos regulares y se determina el perfil de arrastre para la simulación.

Se hace un balance de masa para especies volátiles y no volátiles plato a plato a lo largo de la columna de enriquecimiento. Además se hace un balance de especies en el plato para hallar una relación que nos dé la concentración de protones y por ende el pH.

En el Cap. 8, se hace un estudio de estabilidad del sistema de ecuaciones diferenciales, para elegir un método numérico adecuado.

Se elige el método de Runge-Kutta semi-implícito de cuarto orden y se determina el paso inicial.

Respecto al programa desarrollado se describe la entrada de datos, como las subrutinas principales del programa.

Se presentan también el listado del programa en FORTRAN y los resultados obtenidos del análisis.

INTRODUCCION

Una Central Nuclear es una planta que produce energía eléctrica utilizando la energía producida por la fisión nuclear del material contenido en los elementos combustibles. Este tipo de reacción, hace que una Central, produzca materiales radiactivos (productos de fisión y de activación). Por este motivo, se le exige en el diseño alta seguridad y confiabilidad para minimizar el impacto ambiental y alcanzar valores razonables para la protección de la población. Esto se traduce a que las Centrales Nucleares sean cada vez más costosas por el aumento de las imposiciones del ente licenciante.

Una de las imposiciones desde el punto de vista de análisis de fallas, es diseñar en algunos sectores que así lo requieren equipos redundantes en "Stand by", por otro lado, se exige que los equipos sean especiales; es decir, que tengan la mínima probabilidad de falla. Para lograr esto se requiere que las industrias nacionales eleven su nivel técnico, con el consiguiente desarrollo tecnológico del país.

Desde el punto de vista de ingeniería de procesos, una Central Nuclear es similar a una planta convencional, si se deja de lado el aspecto de diseño del reactor nuclear propiamente dicho. Una vez fijada la potencia del reactor, a través de la aplicación de los principios básicos de cantidad de movimiento, transferencia de calor y materia, el ingeniero de procesos puede encarar el diseño y el control del proceso.

Es evidente que los problemas que se presentan en plantas convencionales tales como mal funcionamiento de equipos, corrosión, etc., también ocurren en Centrales Nucleares.

Aquí, se analizará, la torre de enriquecimiento de agua pesada; que es la encargada de mantener la concentración isotópica del moderador y refrigerante de la central.

La necesidad de este estudio surgió del mal funcionamiento detectado por los operadores de la central nuclear, cuya solución es sumamente compleja, no sólo debido a los materiales de construcción y del relleno de la columna, sino también de la interacción de los mismos con la compleja química del proceso.

Debido a ello, para racionalizar el problema planteado, se hizo necesario el estudio de "Simulación de daños por contaminación en la torre de enriquecimiento de agua pesada de una central nuclear."

2.0 El átomo y las reacciones nucleares

2.1.- Partículas constituyentes del átomo

Los átomos están constituidos por partículas elementales:

Los protones que están cargados positivamente.

Los neutrones carecen de carga.

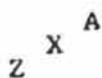
Los electrones poseen cargas negativas.

Según la teoría de Bohr, en el átomo existe un núcleo central, compuesto por protones y neutrones, alrededor del cual giran los electrones en orbitas fijas. El átomo en sí es neutro, es decir tiene igual cantidad de protones y electrones. Estas últimas son atraídas por el núcleo, por estar cargados negativamente, y la fuerza centrífuga de repulsión se encuentran exactamente equilibrada por la fuerza electrostática de atracción.

Las partículas elementales de la materia no son únicamente las tres señaladas pero las demás no juegan papel apreciable en la ingeniería nuclear.

2.1.1.- Número atómico y número de masa

Se denomina número atómico al número de protones que contiene el núcleo, y se lo suele designar por la letra Z y al número total de neutrones y protones se lo denomina número de masa, y se lo designa por A. El número de neutrones será, pues, $N = A - Z$. En la notación usual, el número Z se sitúa como índice inferior a la izquierda del símbolo del elemento y A en la parte superior derecha, de la forma siguiente:



El término Nucleón sirve para designar indistintamente a un protón o a un neutrón, es decir, una partícula elemental del núcleo del átomo, y por consiguiente, A define el número total de nucleones

La reacción nuclear que ocurre en este caso puede escribirse en la forma de ecuación como:



en la que Q denota la energía absorbida o liberada en la reacción. Puede considerarse que, momentáneamente hay un paso intermedio de un núcleo (${}_{12}^{24}\text{Mg}$) con un exceso de energía (o masa) llamado núcleo compuesto. Este núcleo es inestable y busca su estabilidad emitiendo energía o masa, en este caso emite un neutrón.

La reacción (2.1) se abrevia en la forma:



En realidad hay gran cantidad de tipos de reacciones nucleares dependiendo de la partícula de bombardeo y la emitida.

Algunas reacciones tienen energía inicial, esto es, la partícula de bombardeo debe tener energía cinética que exceda a un valor mínimo específico para que la reacción tenga lugar. P.e., el U-238 puede ser fisionado por un neutrón, solamente si la energía del neutrón excede a 1.1 Mev.

Otras reacciones importantes que se lleva a cabo en un reactor de agua pesada son del tipo (n,γ) es decir:



La ecuación (2.3) tiene importancia desde el punto de vista de control del reactor como absorbedores de neutrones, y la ecuación (2.4) por la formación del tritio que es un isótopo radiactivo, muy común en centrales nucleares.

2.1.3.1.- Sección Eficaz

Cuando un neutrón es disparado a un núcleo blanco éste puede chocar elástico o inelásticamente, puede ser absorbido, o puede pasar sin interactuar.

Supongamos un haz de neutrones de intensidad I (neut./cm².seg.) incide sobre una lámina de material de área S (cm²) y espesor t (cm). Si la lámina posee una densidad N (núcleos/cm³), el número de interacciones por segundo, que se producen entre los neutrones y los núcleos del material será proporcional al producto ($I.N.S.t$). Si llamamos "p" a la rapidez o frecuencia de interacción, podrá escribirse:

$$p = \sigma \cdot I.N.S.t \quad (2.5)$$

donde σ aparece como una constante de proporcionalidad que permite establecer la igualdad de la ec. (2.5) y se le denomina sección eficaz.

Se puede interpretar entonces la "sección eficaz", como una medida de la probabilidad que un neutrón tenga algún tipo de interacción con un núcleo blanco. A mayor σ mayor probabilidad de interacción.

Por tratarse σ del "área efectiva" de un núcleo individual se le denomina sección eficaz microscópica para diferenciarla del área total efectiva que tiene en cuenta el número total de núcleos blancos de la muestra expuesta, y se denomina sección eficaz macroscópica. Esta última está definida $\Sigma = N \cdot \sigma$ y tiene unidades de longitud recíproca. Las secciones eficaces de muchos núcleos para diferentes sucesos de neutrones son del orden de 10^{-24} cm², y la cantidad 10^{-24} se ha llegado a conocer como 1 barn.

Las secciones eficaces pueden ser de dispersión o absorción, cada una de las cuales está compuesta de secciones eficaces parciales tales como: dispersión elástica o inelástica, captura radiactiva, fisión, etc.

La suma de todas las secciones eficaces nos dá la sección eficaz total. Es importante hacer notar que las secciones eficaces son características de cada núcleo blanco, pero además depende de la energía del neutrón incidente.

2.2.- Radiación

El término radiación como se usa en ingeniería nuclear, se refiere a la emanación de partículas nucleares u ondas electromagnéticas de alta energía, de una fuente radiactiva.

La radiación es importante, tanto porque tiene propiedades que le permiten ser usada en una gran variedad de formas, como porque constituye un serio peligro para la salud. En ambos casos, los efectos se producen debido a la interacción de la radiación con la materia.

2.2.1.- Estabilidad nuclear

En un núcleo atómico los neutrones y protones no coexisten en todas las combinaciones. Para un número dado de protones, sólo un margen relativo pequeño de neutrones pueden asociarse para formar un núcleo.

Se admite la existencia de dos tipos de fuerzas intranucleares. Están en primer lugar las fuerzas atractivas entre nucleones, todas ellas del mismo orden de magnitud que sólo actúan a distancias muy cortas, del orden de 10^{-13} cm. Como consecuencia de su corto alcance, la fuerza atractiva total es proporcional en primera aproximación al número de nucleones existentes en el núcleo. También existen fuerzas repulsivas, de carácter electrostático, que se ejercen entre los protones cargados positivamente, y que son capaces de actuar a distancias relativamente grandes. La fuerza total de repulsión electrostática entre todos los protones existentes en el núcleo es proporcional al cuadrado del número de estos. Ahora bien, al ir aumentando el número atómico, se va haciendo cada vez mayor la repulsión electrostática entre protones, que es proporcional a Z^2 .

Para mantenerse estables, los núcleos deben, tener mayor proporción de neutrones, con el fin de que las fuerzas atractivas puedan compensar las fuerzas de repulsión entre protones, rápidamente crecientes. Hay un límite, sin embargo, al exceso de neutrones para mantenerse estable. Por esta razón los elementos de número atómico superior a 84 no poseen isótopos estables. A estos isótopos inestables se les denomina "radiactivos".

La inestabilidad puede manifestarse:

- por la separación del núcleo original en dos o más núcleos.
- por el reacomodo de partículas dentro del núcleo, que da por resultado la emisión de partículas o de energía en formas de rayos.

Las partículas y las energías emitidas se conocen como radiación, y existen tres tipos principales de radiación:

- 1) Partículas alfa: cargadas positivamente, son similares a los núcleos de Helio y constan de dos protones y dos neutrones.
- 2) Partículas beta: cargada negativamente son similares a los electrones ordinarios.
- 3) Radiación gamma: son ondas electromagnéticas de alta energía, es más penetrante que los rayos X y constituye uno de los peligros alrededor de la central nuclear.

El ritmo de radiación, la frecuencia con que son emitidas las partículas o rayos gamma de un radioisótopo dado, y la distribución de energía de la radiación, son características del isótopo específico.

2.2.2.- Radioactividad

Los isótopos inestables o "radioactivos" experimentan una transformación espontánea que se conoce con el nombre de desintegración radioactiva, proceso que tiene lugar con velocidad bien definida.

En una especie radioactiva determinada, cada núcleo tiene una probabilidad de desintegración, posee un valor constante característico del radioisótopo de que se trate. Este valor permanece invariable, sea cual fuere el estado físico o químico del elemento, a cualquier temperatura o presión. En una muestra radioactiva dada, la velocidad de desintegración en cada instante es siempre directamente proporcional al número de átomos radioactivos del isótopo considerado presentes en ese instante. Así pues, si N es el número de átomos o núcleos radioactivos existentes al tiempo t , la velocidad de desintegración viene dada por:

$$\frac{dN}{dt} = - \lambda \cdot N \quad (2.6)$$

Siendo λ una constante, llamada "constante de desintegración" de la especie radioactiva, y que constituye una medida de su probabilidad de desintegración.

El valor recíproco de la constante de desintegración se le denomina vida media de la especie radioactiva ($t_m = 1/\lambda$).

La forma más usual de representar la velocidad de desintegración, es mediante el llamado "período de desintegración". Se define como el tiempo necesario para que el número de núcleos radioactivos de la especie considerada (o actividad) se reduzca a la mitad de su valor inicial. De la ec. (2.6) se obtiene:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda \quad (2.7)$$

Es así que se tiene para el U-238, U-235 y U-233 períodos de 4.51×10^9 , 7.13×10^8 y 1.62×10^5 años, estos períodos son relativamente largos comparados con otros como Th-233 cuyo período es de 23.5 minutos.

Los isótopos radioactivos tienen una secuencia de isótopos formados por el decaimiento a las que se conoce como series radioactivas, cada miembro radioactivo de la serie se desintegra de acuerdo a un valor propio y característico de la constante de desintegración y se puede

representar como:



donde A representaría el progenitor de una serie natural radioactiva, o la especie que se forma cuando se captura un neutrón; y Y representa el producto final estable.

En cierta forma existe similitud con una reacción química en cadena, donde los λ sería las constantes cinéticas .

Para la especie B por ejemplo se representaría así:

$$\frac{d N_B}{dt} = \lambda_A \cdot N_A - \lambda_B \cdot N_B \quad (2.9)$$

donde la especie A al desaparecer produce B, y esta desaparece para dar C. Estas se pueden plantear para toda la serie y resolver para cada especie.

La unidad usada para medir la actividad es el Curie que es la actividad estimada de un gramo de radio, la que equivale a 3.7×10^{10} desint./seg., de cualquier especie radioactiva.

Cuando se trata de cantidades pequeñas de material activo se emplean el "milicurie" que es la milésima parte de un Curie y el "microcurie" que es la millonésima parte de un Curie. Son usadas también el kilocurie y el megacurie para mil y un millón de curies.

2.3.- Fisión nuclear

El término de fisión nuclear se usa para designar la explosión de un núcleo o su desintegración en dos o más partes componentes, como resultado de que una partícula penetra o se combina con un núcleo. Virtualmente todos los núcleos pueden desintegrarse por medio de éste

proceso, y la partícula que produce la desintegración, puede ser cualquiera de las diferentes componentes de un átomo. En la mayoría de los casos, sin embargo, las velocidades mínimas que las partículas de bombardeo deben tener para inducir una fisión, son mayores que las velocidades de las partículas que resultan de la fisión, y para ellas no se puede establecer una reacción en cadena que se mantenga por sí misma.

2.3.1.- Materiales de fisión

El número de combustibles nucleares es muy limitado, incluyen al Uranio-233, Uranio-235 y plutonio 239 que tienen suficiente estabilidad para ser almacenados por largo tiempo, son fisionables por neutrones de todas las energías, desde valores térmicos o inferiores hasta millones de electrón voltios. De los tres, únicamente existe en la naturaleza el Uranio-235; los otros dos se producen artificialmente a partir de Torio-232 y Uranio-238, por captura neutrónica seguida de dos desintegraciones Beta.

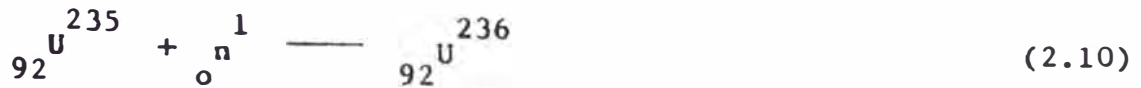
Además de los núcleos fisionables por neutrones de cualquier energía, hay otros que requieren neutrones rápidos para producir fisión tales como el Torio-232 y Uranio-238 y son llamados núcleos "fisionables". Para distinguirlos de los nucleidos que experimentan fisión por neutrones de cualquier energía, a los cuales se les denomina "físiles".

Dado que el Torio-232 y el Uranio-238 pueden convertirse en especies físiles por captura neutrónica se les denomina núcleos fértiles.

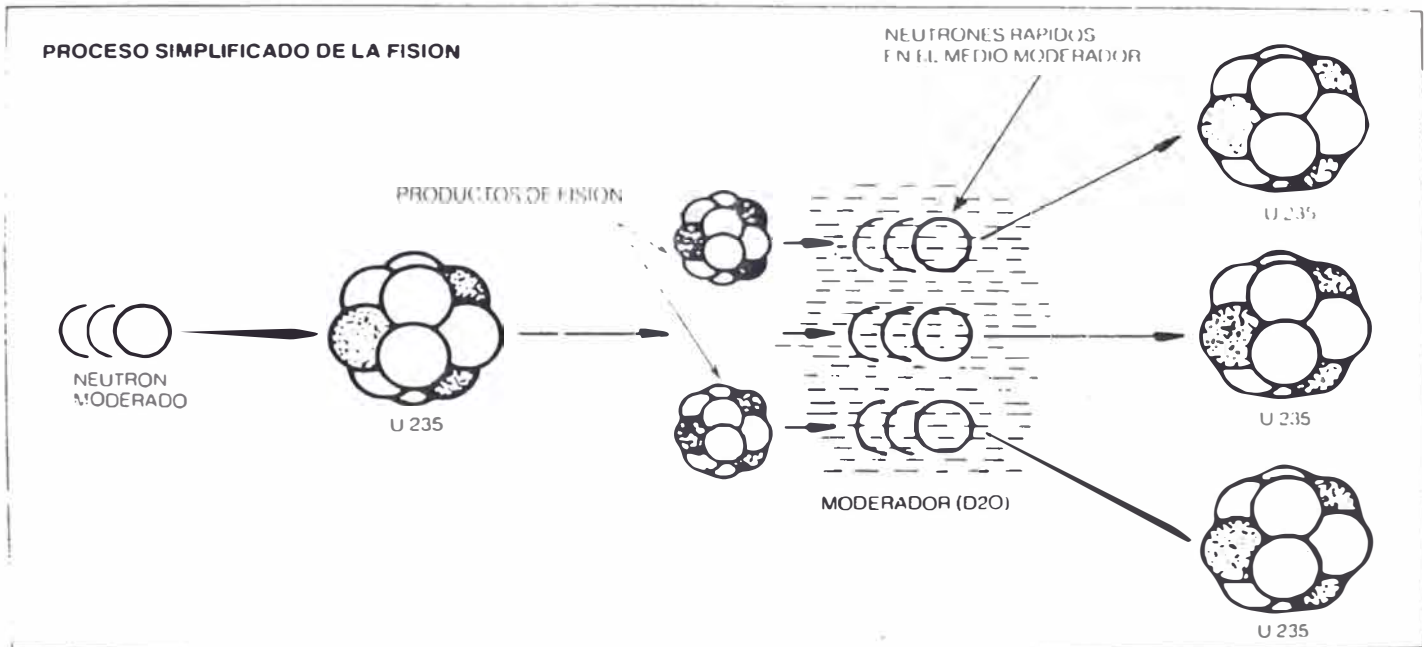
El uranio natural contiene solo 0,711% de U-235 el resto es de U-238. Según el tipo de reactor a veces es necesarios tener mayor porcentaje en U-235 que el natural, al que comúnmente se le denomina Uranio enriquecido.

2.3.2. Proceso de fisión

Si el núcleo de U-235 es bombardeado con neutrones. La reacción inicial es la formación de un núcleo compuesto.



La introducción de un neutrón adicional en el núcleo de U-235,



perturba el equilibrio del núcleo. Como resultado, el núcleo puede emitir radiación gamma o puede fisionarse, si se fisiona, el tipo de reacción que ocurre es esencialmente.



en la que M_1 y M_2 dos núcleos, usualmente de diferentes masas, denominados "productos de fisión", y v es el número de neutrones liberados, por fisión. El valor de v es un entero para un núcleo dado, pero varía de núcleo a núcleo, dependiendo de los detalles de la reacción de fisión individual. Tiene un valor promedio de aproximadamente 2.47.

Se ha calculado el valor de la energía producida por fisión, de la ec. (2.11) el valor de Q se obtuvo a partir de las masas nucleares y es de aproximadamente 203 Mev.

Los neutrones producidos tienen una energía cinética de aproxima-

damente 2 Mev.

2.4.- Moderación de neutrones

En la sección 2.3.2 vimos que los neutrones producidos en la fisión tienen una energía cinética promedio de 2 Mev. Se modera los neutrones para evitar que estos se escapen del núcleo sin fisionar.

Una de las condiciones para lograr la fisión del Uranio-235 es decir, aumentar la probabilidad de captura por fisión; es reducir la energía del neutrón hasta energías térmicas de 0.025 ev.

El proceso que se utiliza para reducir la energía cinética de los neutrones rápidos a térmicos se le denomina "moderación" y al material usado "moderador".

Para este proceso se espera que el número de colisiones sea mínimo para evitar la absorción, por lo mismo el material moderante debe tener baja sección eficaz de absorción y alta sección eficaz de dispersión.

Se define un factor ξ denominado "decremento logarítmico medio de la energía" que es inversamente proporcional al número de colisiones que debe sufrir el neutrón para moderarse a una cierta energía. Este factor ξ es a su vez inversamente proporcional a la masa del núcleo blanco.

Entonces, el número de colisiones para llevar un neutrón desde una energía E_0 hasta una energía E estará dada por la siguiente ecuación:

$$N = \frac{1}{\xi} \ln \frac{E_0}{E} \quad (2.12)$$

Si en particular $E_0 = 2 \text{ Mev}$ (valor medio de energía de los neutrones de fisión) y $E = 0,025 \text{ ev}$ (energía térmica)

$$N = \frac{18.2}{\xi} \quad (2.13)$$

Todo lo antes dicho nos permite concluir que, cuanto más liviano sea el material moderador, mayor energía perderá en cada choque y menor será el número de choques necesarios para llevarlo a la energía deseada. En la Tabla 2.1 se indican los valores de ξ y N para algunos elementos.

TABLA 2.1.

Elemento	Nº másico	ξ	N
H	1	1.000	18
D	2	0.725	25
H _c	4	0.425	43
B _e	9	0.206	86
C	12	0.158	114
U	238	$0,838 \cdot 10^{-3}$	2172

2.4.1.- Poder de moderación y relación de moderación

La mayor o menor efectividad que tiene un material para moderar neutrones está dada por el producto $\Sigma \cdot \xi$, al que se denomina poder de moderación.

$$P.M. = \Sigma_s \cdot \xi \quad (2.14)$$

No obstante, esta expresión no nos dice nada respecto de la mayor o menor capacidad de absorber neutrones que posee el material.

Para tener esto en cuenta se define la llamada relación de mod-

eración como:

$$R.M. = \frac{\sum s \cdot \xi}{\Sigma_a} \quad (2.15)$$

En la Tabla 2.2. se muestra los valores de P.M. y R.M. para moderadores comunmente usados. Los valores corresponden a energías térmicas.

TABLA 2.2.

Moderador	Poder moderante	Relación de moderación
Be	0.156	150
H ₂ O	1.288	65
D ₂ O	0.178	6000
C	0.065	223

Como se puede observar el P.M. para el H₂O es mayor que al correspondiente a D₂O, no obstante la absorción en H₂O es mayor que en D₂O, por consiguiente la R.M. es más alta para H₂O. De ahí que el D₂O sea el moderador utilizado en reactores con uranio natural.

3.0 Central Nuclear Embalse

3.1.- El reactor

La central es un reactor CANDU (Canadian Deuterium Uranium) con elementos combustibles de uranio natural, refrigerado y moderado con agua pesada, el cual cederá 2,109 MW térmicos. El rendimiento térmico de la central es de 30.72% por lo que se generan 648 MW eléctricos, de los cuales 48 MW consumirá la propia estación, es decir que se suministra a la red 600 MWe.

El vapor generado tiene un caudal aproximado de 3,366 t/h, su presión es de 46.2 kg/cm^2 , y la temperatura de 258°C . Esta acciona una turbina que girando a 1500 r.p.m. mueve un generador de 3 fases, 50 Hz, de una potencia nominal de 763,530 KVA, 22 KV.

3.1.1.- Calandria

El reactor propiamente dicho está formado por un tanque cilíndrico horizontal de 7.6 m de largo por 5.94 m de diámetro,

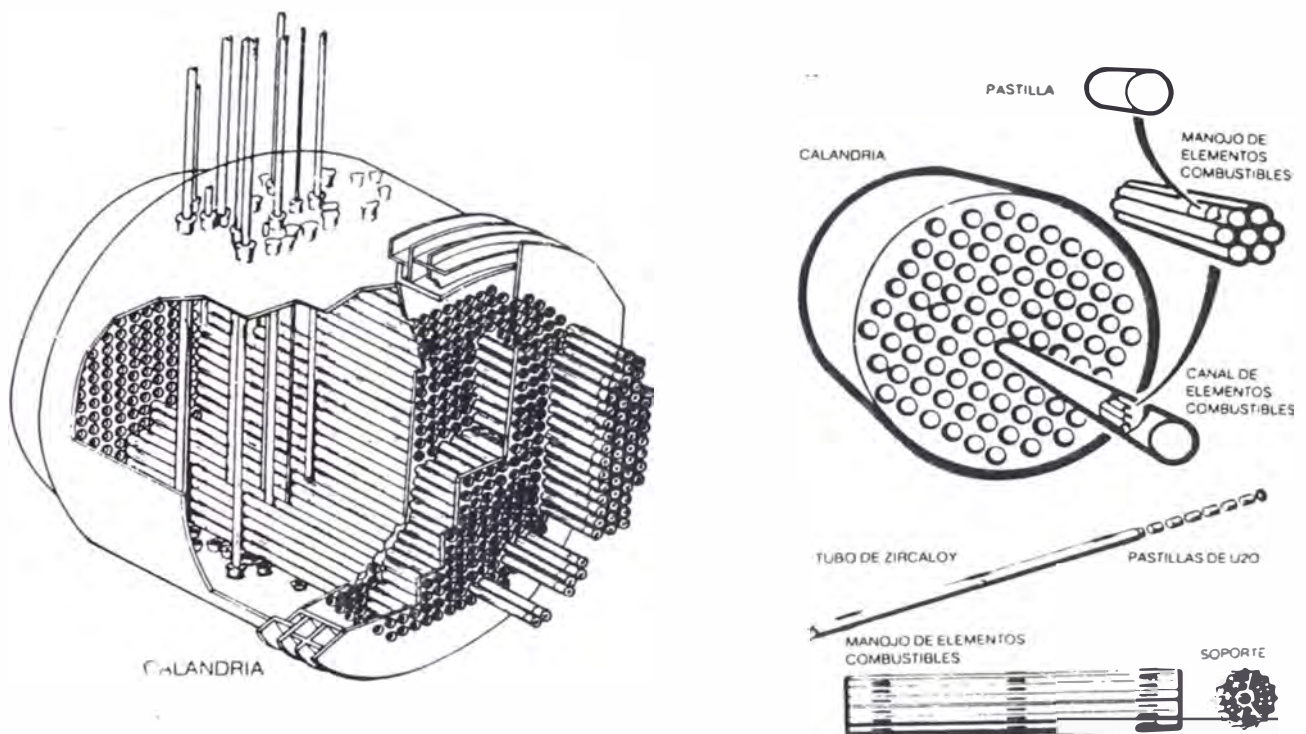


Fig.3.1 La calandria y los elementos combustibles.

constituido por una sola pared de acero inoxidable austenítico. La función principal es contener el moderador de agua pesada y proveer el soporte adecuado a los distintos componentes interiores de las unidades de control de reactividad. En ambos extremos la carcasa de la calandria va soldada a dos placas circulares. El espacio entre ambas placas se rellena con bolillas de acero que proveen el blindaje para permitir el acceso durante las paradas.

La calandria es cruzada horizontalmente por un total de 380 tubos que forman una disposición de red circular. Estos tubos se fabrican con una aleación a base de zirconio, conocida comercialmente como zircaloy. En forma concéntrica a estos tubos se ubican otros, los tubos de presión, que conforman los canales de combustible. Entre ambos tubos se insertan separadores toroidales y se hace circular una corriente de dióxido de carbono como aislante y detector de fallas. El espacio comprendido entre la carcasa y los tubos de la calandria se llena con agua, utilizado como medio moderador, véase la fig. 3.1.

Por los canales de combustible se introduce en un sentido el uranio, haciéndose circular en el otro sentido el agua pesada refrigerante.

Hay otros tubos que cruzan horizontalmente la calandria que son los tubos de guía para los detectores de flujo y los tubos de boquillas del sistema de parada por inyección de venenos líquidos.

Otro conjunto de tubos cruzan la calandria verticalmente: son los conjuntos de control de zona y los tubos guía para los absorbedores de parada, ajustadores, absorbedores de control y detectores de flujo.

3.1.2.- Elementos combustibles

El combustible que utiliza el reactor es uranio natural. El uranio natural se halla presente en forma de pastillas cilíndricas y compactas, como se puede observar la fig. 3.1. La pastilla es obtenida por el sinterizado de dióxido de uranio. Veintinueve de estas pastillas

se envainan herméticamente en tubos de zircaloy para conformar un elemento combustible. Treinta y siete de estos elementos se sueldan a dos placas terminales para formar un manojó cilíndrico de un diámetro de 10 cm por 50 cm de longitud . Cada uno de estos manojos contiene 18.51 kg de uranio y tiene una permanencia promedio de un año dentro del núcleo. Cada canal combustible contiene 12 de estos manojos. A su vez todo el núcleo almacena 4360 manojos combustibles con un contenido total de 84 toneladas de uranio.

3.2.- Sistemas principales

Se distinguen tres sistemas básicos en la central:

- Sistema primario
- Sistema moderador
- Sistema secundario

3.2.1.- Sistema primario de transporte de calor

En la fig. 3.2, el sistema primario contiene agua pesada y es el

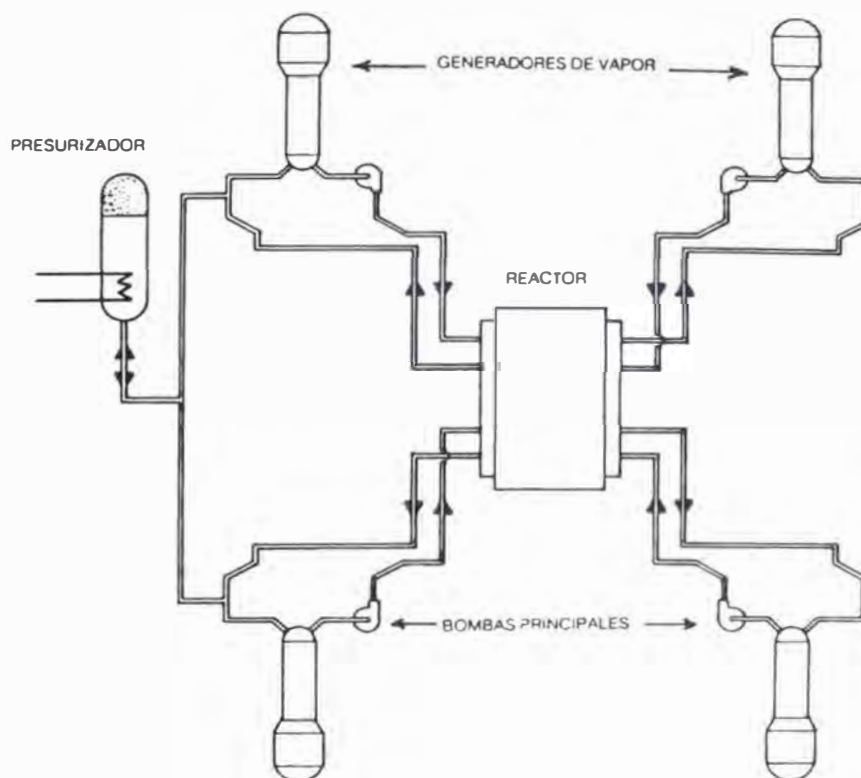


Fig.3.2 Diagrama de flujo simplificado del sistema primario

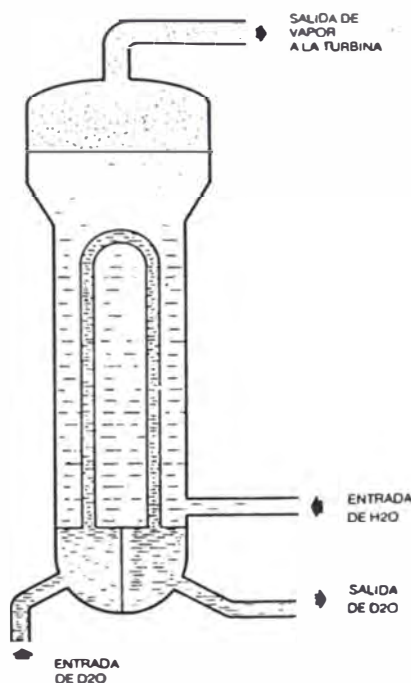
encargado de efectuar la transferencia térmica desde el combustible nuclear hacia el sistema secundario. Con el fin de que el agua pesada no hierva, disminuyendo su eficiencia como refrigerante del elemento combustible, se le mantiene presurizada de manera tal que aumente su punto de ebullición por encima de la temperatura de ebullición.

Para regular la presión se utiliza un dispositivo denominado presurizador, que contiene calefactores eléctricos y que en su parte inferior se conecta con el circuito primario.

Cuando la presión del sistema primario desciende, los calefactores son conectados y parte del agua pesada, contenida en el presurizador, es vaporizada.

El vapor obtenido dentro de este recipiente cerrado forma un "colchon" en su parte superior que mantiene la presión.

Si por alguna causa la presión del primario aumenta, los calefactores del presurizador son desconectados y, conjuntamente, se descarga vapor a través de válvulas especialmente dispuestas hacia un recipiente especial denominado "desgasificador condensador".



Cuando el reactor está en régimen de potencia, el agua pesada del sistema primario circula a través los canales de elementos combustibles impulsada por las bombas primarias o principales. El agua pesada extrae el calor producido por los elementos combustibles y la transporta a los generadores de vapor, donde se produce la transferencia térmica hacia el sistema secundario. Desde el pie de los generadores de vapor, el agua pesada, que ya ha entregado su energía térmica, es impulsada nuevamente hacia los canales de elementos combustibles, completando la mitad de su recorrido dentro de un circuito cerrado o "loop" del sistema primario.

Fig.3.3 Generador de vapor

En los generadores de vapor se efectúa la transferencia térmica desde el sistema primario hacia el secundario. En la Figura 3.3. se

representa este equipo, son recipientes cilíndricos verticales que, en su parte interna, presentan tubos en U. Por el interior de éstos últimos circula el agua pesada del primario y, a través de sus paredes, se realiza la transferencia térmica hacia el agua liviana del sistema secundario que los rodea exteriormente, puesto que se halla contenida entre dichos tubos y las carcazas de los generadores.

3.2.2.- Sistema del moderador

Este sistema también contiene agua pesada, se emplea para efectuar la moderación de los neutrones, provenientes de la fisión de los elementos combustibles, a efectos de posibilitar la reacción nuclear autosustentada.

En la fig. 3.4, el sistema del moderador está constituido por un circuito cerrado, donde el agua que contiene rodea por la parte externa los tubos de la calandria.

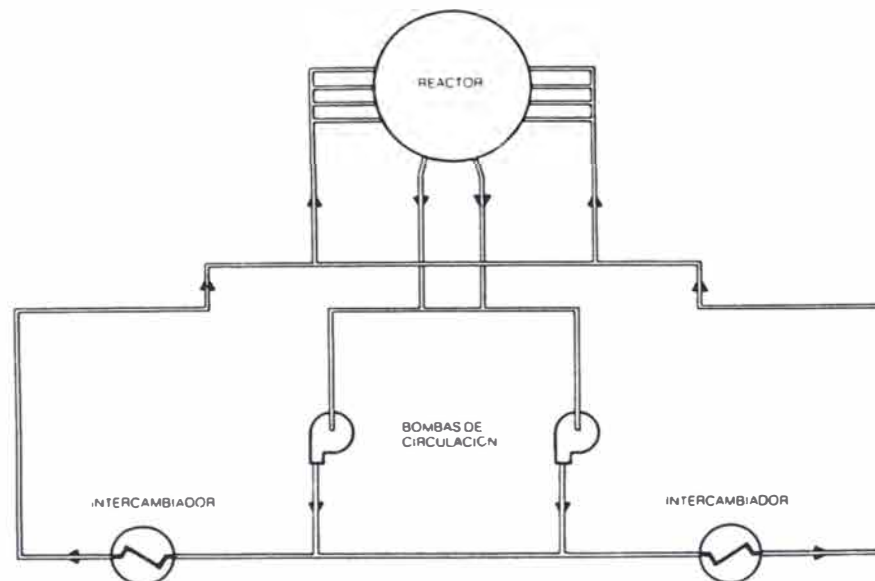


Fig. 3.4 Diagrama de flujo simplificado del moderador.

Los componentes contenidos en los canales de elementos combustibles, como los canales en sí están contruídos con materiales poco absorbentes de neutrones. Cuando tiene lugar la fisión del combustible, los neutrones atraviesan fácilmente los mencionados

componentes, y alcanzan el agua pesada del moderador, por lo que se produce el efecto de moderación. Con el nivel adecuado de energía obtenido inciden en el combustible.

De esta manera, se logra mantener la reacción en cadena necesaria para el funcionamiento del reactor, habiéndose dispuesto el conjunto de canales de elementos combustibles y masa del moderador en una configuración geométrica adecuada.

El proceso de moderación neutrónica produce calor. Debido a ello, el agua pesada del moderador es impulsada a través del circuito, por medio de bombas, hacia los intercambiadores de calor. Allí se realiza una evacuación térmica hacia el agua del lago por medio de un circuito abierto denominado de agua de procesos.

El agua pesada, ya enfriada, es retomada a la parte inferior de la calandria, cumpliendo la totalidad de su circuito cerrado.

3.2.3. Sistema secundario

Este sistema trabaja con agua liviana común desmineralizada para evitar, de la mejor forma posible la corrosión de los equipos que se encuentran en contacto con ella.

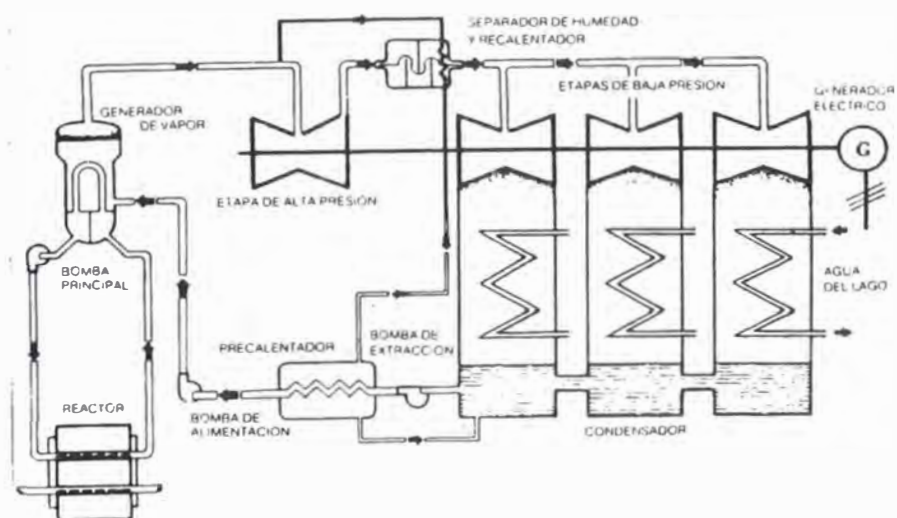


Fig. 3.5 Esquema simplificado del sistema secundario

Esta agua, en los generadores de vapor es transformada en vapor de alimentación para el accionamiento de la turbina, Figura 3.5. La turbina cuenta con una etapa de alta presión y tres de baja presión. Entre una y otras, se encuentran dos separadores de humedad y recalentadores con el objeto de disminuir el contenido porcentual de la humedad de vapor y aumentar su temperatura, antes de ser suministrado a las etapas de baja presión.

El vapor que es accionado a las etapas de baja presión, es condensado en un condensador de tres cuerpos verticales, existentes en la parte inferior de la turbina.

La condensación se logra por el aporte refrigerante del agua de lago, que circula por la parte interna de tubos existentes dentro del condensador. El agua obtenida en el fondo del condensador es bombeada, a través de una serie de precalentadores, hacia los generadores de vapor, recorriendo así, en su totalidad, el circuito cerrado del sistema secundario.

3.3. Sistema complementario

En la Figura 3.6. se representa en forma esquemática los sistemas complementarios: sistema de agua de procesos, sistema de circulación y canal de descarga.

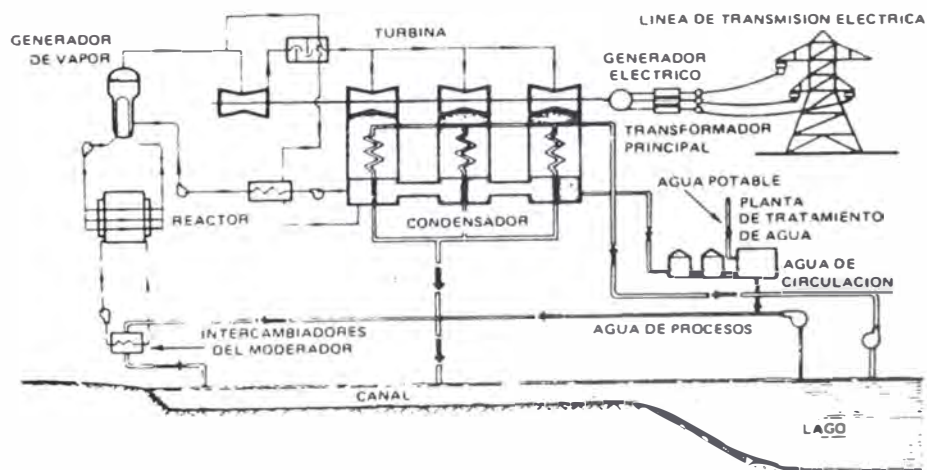


Fig.3.6 Sistemas complementarios

3.3.1. Sistema de agua de procesos

Este sistema posee una distribución maestra de la que se derivan ramificaciones destinadas para prestar distintos servicios. Es agua que se toma del lago y se hace circular por circuitos cerrados y circuitos abiertos. Estos últimos desagotan en el canal de descarga.

- Circuitos abiertos: desde la línea principal se abastece un conducto para dotar de refrigeración a los sistemas de la central que, por su índole, así lo requieren.

En la Figura 3.6 se ha indicado, a manera de ejemplo, la alimentación a los intercambiadores del moderador.

- Circuitos cerrados: un cierto caudal proveniente de la línea principal es enviado a la planta de tratamiento de agua, donde es tratado y desmineralizado, con el objeto de proveer agua potable y agua desmineralizada a los distintos sistemas de la central. A manera de ejemplo se ha indicado en la Figura 3.6 la línea que conduce al condensador el agua desmineralizada de reposición para el circuito cerrado del secundario.

3.3.2. Sistema de circulación y canal de descarga

- Sistema de circulación: para completar la descripción iniciada al tratar el sistema secundario, ampliar lo representado en la figura 3.6., debe decirse que el sistema de circulación es el encargado de alimentar los tubos del condensador. Se hace circular internamente, por los mencionados tubos, agua extraída del lago, con el objeto de condensar el vapor que ha pasado por las tres etapas de baja presión de la turbina y que incide, externamente, sobre los haces que configuran los tubos del condensador.

- Canal de descarga: aquí se reciben las aguas procedentes de los sistemas de circulación y de agua de procesos que, conjuntamente. Son descargadas por éste medio al lago.

El canal tiene una longitud aproximada de 7 kilómetros y es a

cielo abierto, para permitir el descenso de la temperatura del agua que ha pasado por la central cumpliendo, como único fin, la acción de refrigerar los equipos.

Con este diseño se ha logrado una solución técnica que impide la alteración de las condiciones naturales del lago.

3.4.- Control de la central

El empleo de numerosos sistemas de controles individuales de las centrales ha sido reemplazado por el uso de un sistema de computación digital, cuyos principales propósitos son los de controlar:

- el reactor.
- presión y nivel de los generadores de vapor.
- velocidad y carga de la turbina.
- presión y volumen en el sistema primario.
- temperatura del moderador.
- manejo de elementos combustibles.

De esta forma, se cuenta con una mayor confiabilidad para las operaciones de los distintos sistemas y se reducen a un mínimo los errores.

El sistema de computación, posee dos computadoras para el control de los procesos. Una de ellas es la que tiene a su cargo el control de los sistemas, mientras que la otra actúa como reserva de la primera, al mismo tiempo que controla los programas asignados a ambas computadoras.

Si por alguna causa la computadora que se encontraba controlando la central presenta una falla la que se mantenía en reserva toma el control automáticamente. La computadora averiada, en tanto, queda desconectado a la espera de su reparación.

3.4.1. Control del reactor

Para regular el comportamiento del reactor para distintas

demandas de potencia, o sea distintos r gimes operativos, resulta necesario controlar el flujo neutrónico.

La potencia del reactor depende, principalmente, del flujo neutrónico, el cual da una idea de la cantidad de neutrones presentes en el proceso de fisión. En definitiva, se debe contar con medios para poder regular el flujo. Estos medios están constituidos en general, por absorbedores de neutrones que, al ser introducidos en el seno del moderador, tienden a disminuir el flujo neutrónico y, al ser extraídos, a aumentarlo.

3.4.1.1. Unidades líquidas de control zonal

Son seis tubos verticales dispuestos en lugares predeterminados del reactor y que atraviesan toda la zona ocupada por los tubos de calandria. Están contruídos con aleaciones poco absorbentes de neutrones y en su interior, convenientemente dispuestos, existen catorce compartimientos que contienen agua liviana. Haciendo variar los niveles de estos compartimientos, se logra mantener el volumen necesario de agua liviana para absorber la cantidad requerida de neutrones, de acuerdo a las necesidades operativas, esta unidad se muestra en la fig. 3.7.

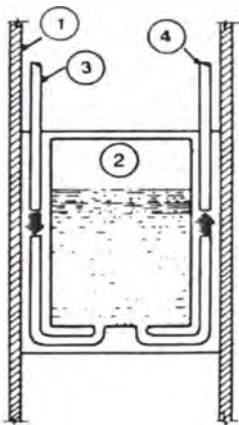


Fig.3.7 Unidad líquida de control zonal

3.4.1.2. Barras absorbedoras mecánicas

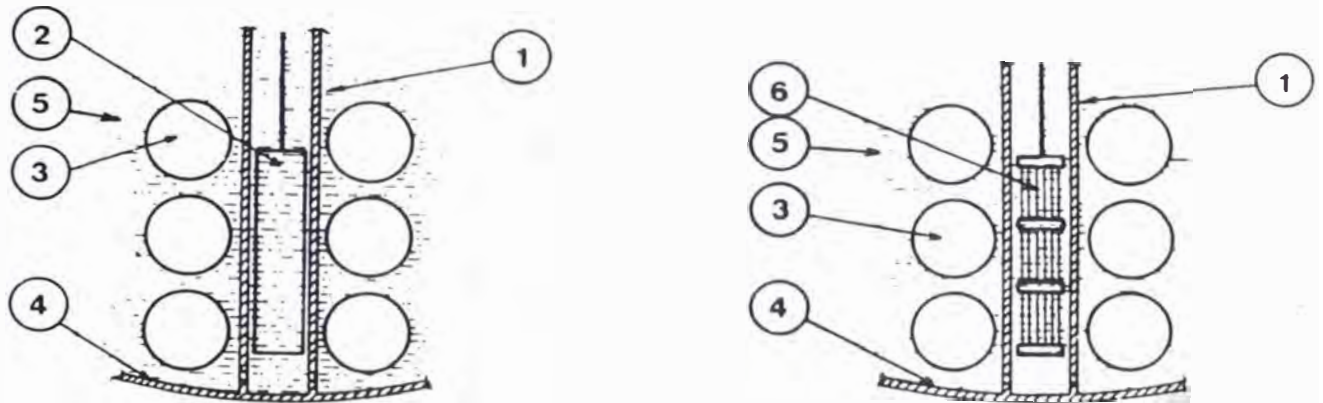
En la figura 3.8.a, las barras absorbedoras, son cuatro barras de cadmio que se introducen en forma vertical dentro de la calandria, guiadas por tubos especialmente dispuestos en determinados lugares del

reactor, en forma similar a los tubos de las unidades líquidas de control zonal.

Estas barras se encuentran normalmente extraídas de la calandria y se introducen total o parcialmente cuando las unidades líquidas de control zonal se hallan llenas y no pueden controlar más un alto nivel de flujo neutrónico. Por lo tanto estas barras extienden el rango de control de las unidades de control zonal.

3.4.1.3. Barras ajustadoras de cobalto

En la figura 3.8.b, se muestra las barras ajustadoras, que en total son veintidós barras verticales se colocan como los absorbedores mecánicos, en lugares convenientes de la calandria.



- 1- TUBO VERTICAL
- 2- BARRA ABSORBEDORA
- 3- TUBO DE CALANDRIA
- 4- CALANDRIA
- 5- D2O DEL MODERADOR
- 6- BARRA AJUSTADORA CON LÁPICES DE COBALTO

Fig.3.8 a) Barra absorbedora mecánica.
b) Barra ajustadora de cobalto.

Están construídas por platos soportes de zircaloy que sostienen delgados "lápices" de cobalto. En operación normal se hallan insertas en la calandria y se extraen, parcial o totalmente, cuando las unidades de control zonal están casi vacías y no pueden evitar que baje el flujo de neutrones. Por lo tanto, las barras ajustadoras de cobalto extienden el rango del sistema de regulación del reactor en el sentido opuesto al de las barras absorbedoras mecánicas.

Hay dos circunstancias muy importantes en la operación de la planta, que requieren la extracción de barras ajustadoras (algunas o todas), para que pueda seguir operando el reactor:

- Indisponibilidad de la máquina de carga o de recambio de elementos combustibles, por un período mayor a una semana, donde el quemado del combustible exceda el rango disponible del control zonal.

La autonomía sin recambio de elementos combustibles del reactor es de un mes, aproximadamente.

- Reducción de potencia del reactor, lo que produce un aumento en la concentración del Xenón-135.

Todos los productos de fisión se consideran venenos, ya que en mayor o en menor proporción absorben neutrones, pero el Xe-135 es el veneno que tiene mayor importancia, debido a su enorme capacidad para absorber neutrones. Por tal motivo, éste es el único se analiza.

Las barras ajustadoras están diseñadas con una capacidad suficiente para compensar el aumento en la concentración del Xe-135, hecho que ocurre dentro de los 30 minutos siguientes a la salida del servicio del reactor. Este es el margen de tiempo de que se dispone, para volverlo nuevamente a régimen de potencia.

si no se puede actuar con estas barras, dentro de los 30 minutos, el reactor quedará indefectiblemente fuera de servicio alrededor de 36 horas.

3.4.2.- Recambio de elementos combustibles

Debido a que se busca una continuidad en el servicio del reactor, el recambio de elementos combustibles debe efectuarse mientras opera, éste, en régimen de potencia.

Como los canales de refrigeración se encuentran presurizados, la introducción de elementos combustibles nuevos y la extracción de los quemados se realiza bajo presión y permitiendo la circulación del medio refrigerante (agua pesada del sistema primario).

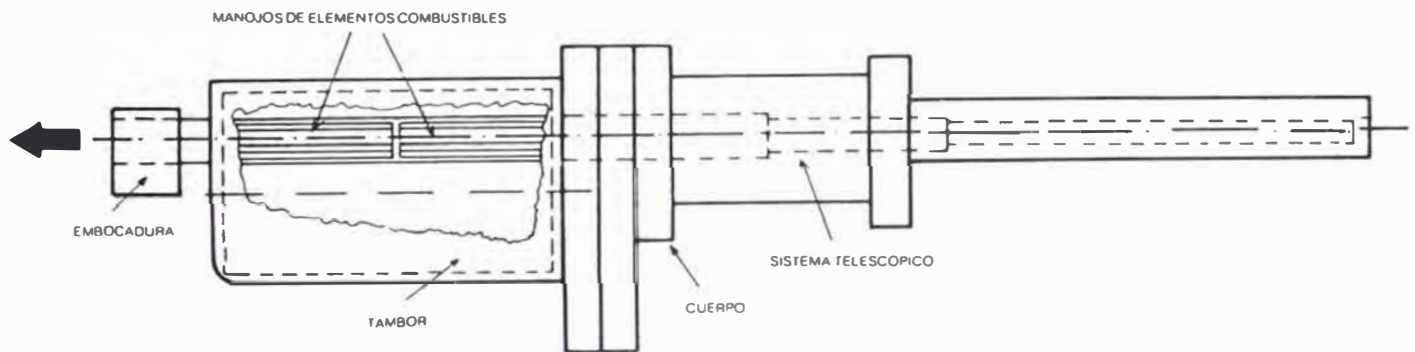
Para ejecutar las operaciones de recambio, se cuenta con el sistema de manejo de elementos combustibles.

3.4.2.1.- Máquina de carga

Las máquinas de carga son los dispositivos mecánicos que hacen posible introducir elementos combustibles nuevos en los canales bajo presión y extraer los quemados facilitando su refrigeración y posterior envío a la pileta de almacenamiento de elementos combustibles quemados. Dichas máquinas se encuentran montadas sobre puentes grúas y carros deslizantes, que les permiten efectuar tres tipos de movimientos frente a ambas caras del reactor:

- vertical
- horizontal
- según el eje longitudinal de la calandria

Con éstos se logra colocar en ambos extremos de un mismo canal a las dos máquinas en forma simultánea para efectuar las operaciones de recambio. veáse la fig. 3.9.



3.9 Fig. Máquina de carga

Los principales componentes de las máquinas de carga, son:

- embocadura: posee la facilidad de acoplarse a los extremos de los canales de elementos combustibles para facilitar el pasaje de los manojos. Por otra parte en ella se puede ubicar un tapón interno al

mecanismo, con el objeto de dotar a la máquina con la hermeticidad requerida para poder ser presurizada con agua pesada cuando actúa como cargadora y permitir la refrigeración de los elementos combustibles quemados cuando obra como receptora.

- cuerpo: tiene un tambor que permite girar según su eje longitudinal y que presenta alojamientos que pueden contener los elementos combustibles a ser transferidos y los recibidos, además de herramientas especiales para realizar las secuencias.

En la parte posterior del cuerpo existe un sistema telescópico que, obrando como baqueta es capaz de empujar a la columna de elementos combustibles de un canal desde la máquina cargadora hacia la receptora, cuando ambas se hallan acopladas en mismo canal.

Dicho sistema telescópico se utiliza, además, para desplazar los elementos combustibles quemados desde la máquina receptora hacia los mecanismos de transferencia.

Estos últimos, finalmente, los transportan siempre, mediante comandos a distancia, hacia la pileta de almacenamiento de elementos quemados.

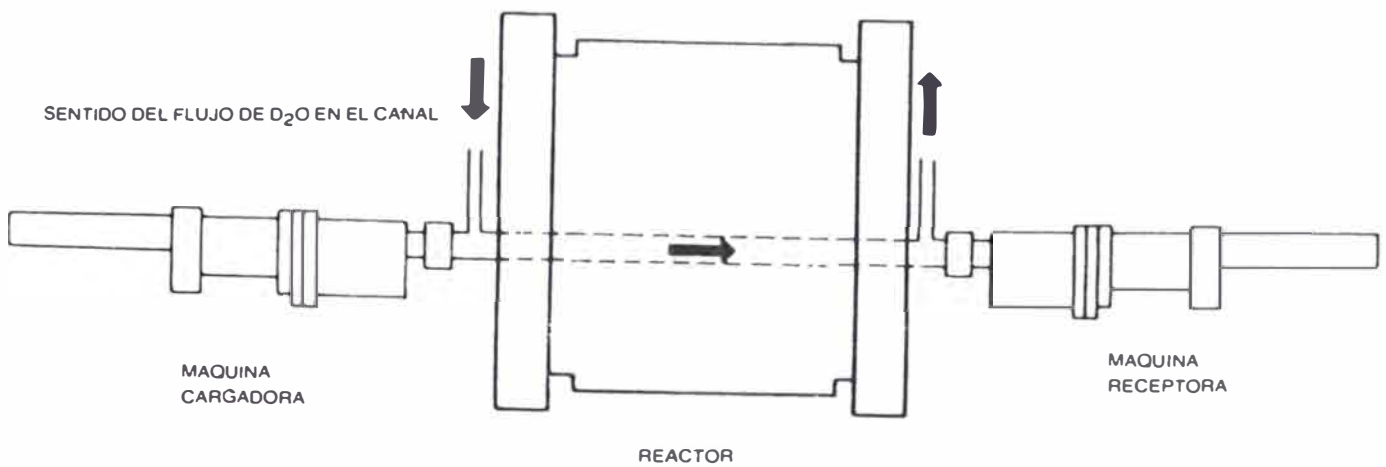
3.4.2.2.- Operación de recambio

El acoplamiento de las dos máquinas en los extremos de un mismo canal, permite que se quiten los tapones de cierre extremos y se los aloje en los tambores de las mismas, véase fig. 3.10.

La máquina cargadora, con el empleo del sistema telescópico de empuje va desplazando de a dos elementos combustibles nuevos que se encuentran ubicados en cada uno de los alojamientos del tambor que, en sucesivos giros, se van alinendo con el canal a realimentar.

El empuje de los dos elementos combustibles nuevos desplaza la columna de 12 manojos y los dos últimos, ya quemados, se alojan en la

máquina receptora.



3.10 Fig. Acoplamiento de las máquinas de carga en un canal

En subsiguientes operaciones de giros del tambor y accionamientos del sistema telescópico de la máquina cargadora, se va dotando al canal de manojos nuevos. Mientras tanto, también con sucesivos giros del tambor de la máquina receptora, ésta va formando de a dos los manojos quemados y los mantiene en su interior.

Finalizando la operación de recambio, ambas máquinas colocan los tapones de cierre extremos del canal, ubican en sus bocas los de cierre interno y se desacoplan.

La máquina, que obró como cargadora a partir de este momento se mantiene pasiva, mientras que la que operó como receptora, previa despresurización, se traslada a un mecanismo de transferencia, donde se acopla para descargar manojos quemados con destino a su posterior ubicación en la pileta de elementos combustibles quemados.

Esta última contiene agua desmineralizada, hasta un cierto nivel, proporcionando refrigeración a los manojos quemados y blindaje biológico a los operadores quienes, con herramientas especiales ubican, adecuadamente, los elementos combustibles en el interior de la pileta.

3.5.- Sistema eléctrico

Básicamente, el sistema eléctrico de la central cumple tres funciones:

- entregar a la red la energía eléctrica producida
- suministrar energía eléctrica a los consumos internos de la central
- alimentar los consumos internos con situaciones de emergencia, manteniendo un mínimo de cargas para los servicios especiales.

El generador produce energía eléctrica con una potencia bruta de 648 MW y una tensión de 22 KV. De los cuales 600 Mw son entregados a la red de distribución a través de tres transformadores de salida de la central, que elevan la tensión a 500 KV.

Los 48 MW restantes son destinados para los consumos internos de la planta.

En el caso de producirse un corte del generador, una línea externa a la central, de 132 KV, suministra energía a través de dos transformadores (132/6,6 KV) denominados de arranque, quedando asegurada, así la alimentación de los consumos internos ante esta falla.

Cuando existe un corte del generador con una indisponibilidad simultánea de la "línea de arranque" de 132 KV, arrancan cuatro grupos Diesel de emergencia de 3 MW cada uno con el fin de suministrar tensión a los consumos internos.

Por la seguridad de la planta, desde el punto de vista de contar con la alimentación para un mínimo de cargas esenciales, la distribución de los consumos internos se ha agrupado en clases, según importancia:

Clase I: Alimenta todas las cargas de corriente continua que no pueden ser interrumpidas.

Clase II: Alimenta todas las cargas de corriente alterna que deben prestar servicio permanente.

Clase III: Alimenta todas las cargas que pueden tolerar una pequeña interrupción, pero que son necesarias para conducir al reactor a una detención segura.

Clase IV: Alimenta las cargas que pueden soportar un corte de larga duración en su suministro de potencia, sin representar peligro para los equipos de la central y su personal.

3.6.- Sistemas de protección

La seguridad aplicada a la central se considera, en forma amplia, desde cuatro aspectos fundamentales:

- Protección de equipos: son semejantes a los de una industria convencional. Sin embargo en una central nuclear existen en el caso de presentarse un accidente, no solamente se produciría su deterioro, sino que existiría un alto riesgo. por esto se diseñan para una misma función equipos redundantes.

- Protección del personal expuesto: mediante blindajes, zonas controladas de alta actividad, usos de dosímetros personales, etc.

- Protección al público: son los que viven en los alrededores de la central y que pueden ser afectados en situaciones de accidentes graves. El reactor se diseñó considerando el peor accidente que pueda ocurrir.

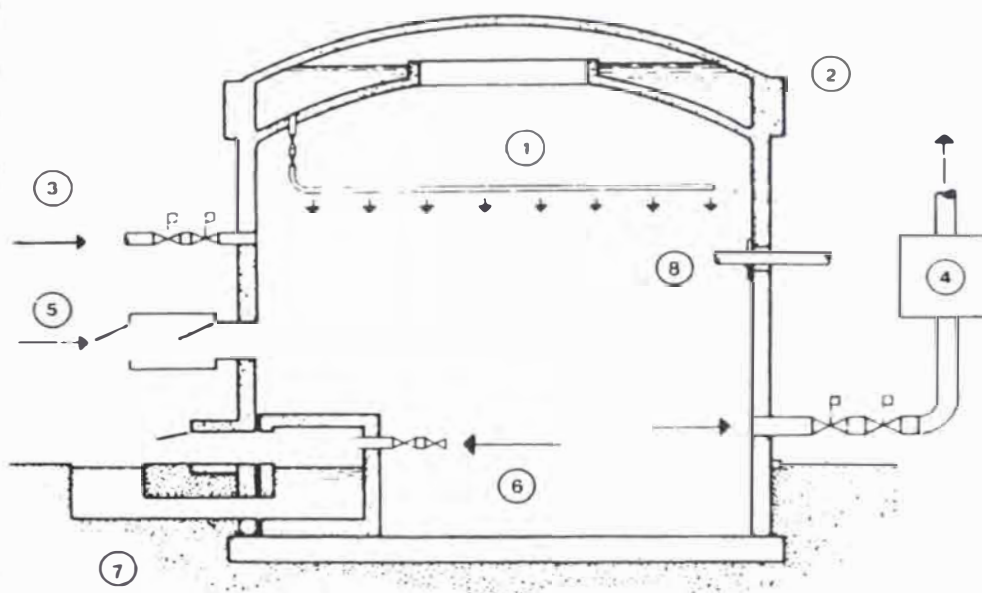
- Protección del medio ambiente: todos los efluentes líquidos o gaseosos, son permanentemente monitoreados. Si los niveles de radiación fuesen altos, los efluentes no serían eliminados al ambiente. Normalmente los efluentes contienen muy poca radioactividad.

Los sistemas principales que tiene el objetivo de protección de la central nuclear son varios, se describiran a continuación las

principales.

3.6.1.- Sistema de contención del edificio del reactor

En la fig. 3.11. la estructura de contención es un edificio de hormigón reforzado de forma cilíndrica cuya techo es abovedado, tiene un diámetro interior de 41.5 m, altura de 50 m y un espesor de 1.20m .La construcción contiene los componentes nucleares de mayor importancia (reactor, generadores de vapor y la mayoría de los auxiliares) opera, como se ha dicho, en depresión con respecto a la presión atmosférica, ya que forma parte de la zona controlada de la central. Al verificarse el mayor accidente previsible, (rotura del conducto principal del sistema primario de transporte de calor con daño apreciable del combustible), un conjunto de sensores, especialmente dispuestos, lo detectan.



- 1- SISTEMA DE ROCIADO
- 2- ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN
- 3- SUMINISTRO DE AIRE DE VENTILACION
- 4- SISTEMA DE DESCARGA DE AIRE FILTRADO
- 5- ESCLUSA DE ACCESO AL EDIFICIO
- 6- COMBUSTIBLE QUEMADO
- 7- SISTEMA DE DESCARGA DE COMBUSTIBLE QUEMADO
- 8- PENETRACION DE SERVICIO (TIPICA)

3.11 Fig. Sistema de rociado y de contención

Como el edificio del reactor es un cilindro de hormigón hermético, ante esta situación se cierran mediante un sistema doble de válvulas todos los conductores desde y hacia el edificio del reactor, quedando así confinados los productos radioactivos que puedan producirse

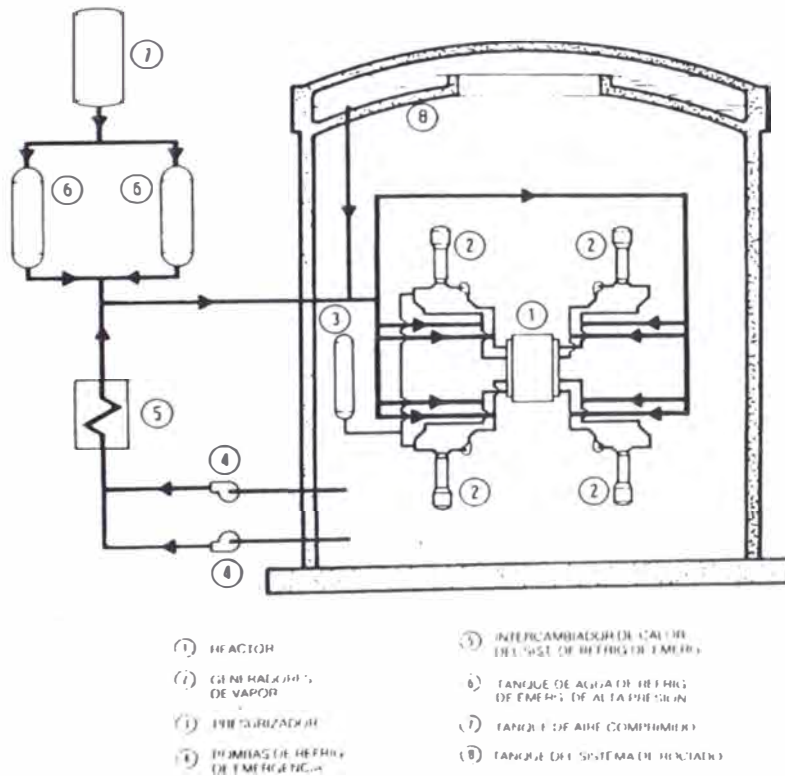
como consecuencia del accidente.

3.6.2.- Sistema de rociado y reducción de la presión

El edificio del reactor presenta, en su parte superior, un gran tanque que contiene agua desmineralizada. Ocurrido el accidente una parte es inyectada en el núcleo del reactor para posibilitar su refrigeración y el resto es lanzada por toberas, en forma de lluvia, para disminuir la temperatura y presión del edificio del reactor. Al mismo tiempo se logra el arrastre de una considerable cantidad de productos de fisión, removiendolos de la atmósfera del edificio.

3.6.3.- Sistema de refrigeración de emergencia del núcleo

En el caso que se viene describiendo en la sección 3.6.2. también actuará un sistema que se denomina de refrigeración de emergencia del núcleo y recolección, que inyecta agua liviana a presión, para posibilitar la refrigeración de los elementos combustibles contenidos en



3.12 Fig. Sistema de refrigeración de emergencia del núcleo.

el reactor. véase fig. 3.12. El agua que ha pasado por el núcleo, cumpliendo su misión refrigerante, sale por la rotura del conducto del sistema primario y cae al fondo del edificio del reactor en un foso, desde donde se recolecta por medio de bombas y se inyecta nuevamente, en el núcleo del reactor, posibilitándose, de esta manera la refrigeración del mismo en forma continua.

3.6.4.- Otros sistemas

Además de las tres mencionadas anteriormente se tiene los siguientes sistemas de protección:

- Sistema de parada del reactor: los sistemas de parada ya descritos intervendrán, asimismo, para evitar que prosiga en forma autosostenida el proceso de fisión.

- Sistema asegurado de suministro de energía: está diseñado física y electrónicamente separado del resto de las fuentes de energía que alimentan los sistemas especiales de seguridad. Abastece a algunos lazos y controles de instrumentación necesarios para el control de los sistemas de la central en condiciones de emergencia.

- Sistema de suministro de energía de emergencia: Está constituido por dos pequeños motores Diesel de arranque manual que proveen energía en el caso que se haya perdido totalmente el suministro de energía. Esto podría ocurrir en caso de terremoto muy intenso.

- Sistema de suministro de agua de emergencia: está constituido por una fuente físicamente separada que suministra agua a los generadores de vapor en caso de que falle el agua de alimentación de reposición normal y que, simultáneamente, se produzca la rotura de un conducto principal del sistema primario de transporte de calor.

- Sistema de aire de instrumentación: alimenta los dispositivos que lo requieran y para su funcionamiento continuo el sistema cuenta con tanques pulmones que permiten una provisión ininterrumpida de aire, que suple las

eventuales fallas de los suministros normales.

- Sala de control secundaria: está constituida por un área físicamente separada, desde la cual pueden controlarse los sistemas especiales de seguridad, en caso que un accidente severo torne inhabilitable la sala de control principal.

4. Producción de agua pesada

El D_2O es uno de los elementos más escasos en la naturaleza y debido a su gran dilución, es necesario manipular enormes cantidades de materia prima para alcanzar un enriquecimiento significativo. Por ello el tamaño de las instalaciones requeridas es grande.

Para desarrollar métodos de separación del deuterio e hidrógeno se aprovecha cualquier diferencia química o física de estos elementos o sus compuestos. El número de métodos posibles es grande, pero la mayoría de ellos no puede considerarse de aplicación práctica desde el punto de vista económico, ya sea porque los factores de separación son inadecuados, los consumos de energía son excesivos, o no pueden adaptarse eficientemente a escala industrial.

Todo compuesto que contiene hidrógeno constituye una fuente potencial de deuterio, pero únicamente el agua, el hidrógeno, el amoníaco y el metano están disponibles en cantidades suficientes, como para ser utilizados en la producción industrial de agua pesada.

De estas sustancias solamente el agua puede considerarse una fuente ilimitada de deuterio.

El proceso integral de fabricación industrial de agua pesada se divide en general en dos partes:

- 1) Enriquecimiento primario o pre-enriquecimiento.
- 2) Enriquecimiento final.

A continuación se describirá algunos de los métodos de obtención que han sido desarrollados en escala industrial.

4.1.- Intercambio isotópico

Los isótopos de un mismo elemento, no obstante su extremada similitud química, tienen algunas diferencias en sus propiedades físicas. Pero estas diferencias son tan pequeñas, que en general, no pueden aplicarse los métodos comunes de separación.

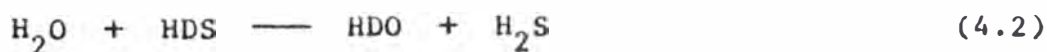
Las reacciones de intercambio isotópico consisten en la sustitución de un isótopo por otro del mismo elemento. Cuando se efectúan entre dos sustancias distintas una de ellas se enriquece en alguno de estos isótopos, dando lugar a procesos de separación o enriquecimiento isotópico de uno de ellos. Se define al factor de separación como:

$$\alpha = (D/H)_1 / (D/H)_2 \quad (4.1)$$

donde $(D/H)_1$ es la relación de concentración de deuterio e hidrógeno en la sustancia más rica en deuterio y $(D/H)_2$ es la misma relación, en la sustancia pobre en deuterio.

4.1.1.- Sulfuro de hidrógeno y agua

Al mezclar sulfuro de hidrógeno y agua, bajo ciertas condiciones de equilibrio, el H_2O se enriquece en deuterio en un factor " α " según la reacción:



El enriquecimiento primario en una planta de agua pesada implica elevar el contenido de deuterio entre 1.000 y 2.500 veces, respecto de la concentración natural; es evidente entonces, que para ello son necesarias numerosas etapas. Esta puede obtenerse en forma más económica y eficiente, mediante la operación en contracorriente entre el H_2O líquida y el H_2S gaseoso.

El valor de α determina el número de etapas requeridas y los caudales de H_2O y H_2S a utilizar; de aquí se puede inferir la importancia de α , ya que determinará el volumen de la planta.

Como α es aproximadamente independiente de la presión, los equipos donde se realice el contacto gas-líquido pueden ser reducidos operando con las condiciones que provean la máxima cantidad de gas por unidad de volumen, normalmente a presiones relativamente altas.

La operación en contracorriente sólo es posible si el agua puede ser conectada con una corriente de H_2S enriquecido en deuterio. La corriente enriquecida de H_2S es el reflujo.

De esta forma, el H_2O se enriquece en deuterio y el H_2S se empobrece; parte de la corriente de H_2O se extrae como producto o pasa a etapas posteriores de enriquecimiento.

En el proceso bitérmico esta transferencia de H_2O hacia el H_2S se realiza en una segunda torre de intercambio que opera a temperaturas más altas que la primera.

4.1.1.1.- Proceso bitérmico

El intercambio químico ocurre en dos columnas de transferencia en las cuales fluyen en contracorriente dos flujos, uno de gas H_2S y otro

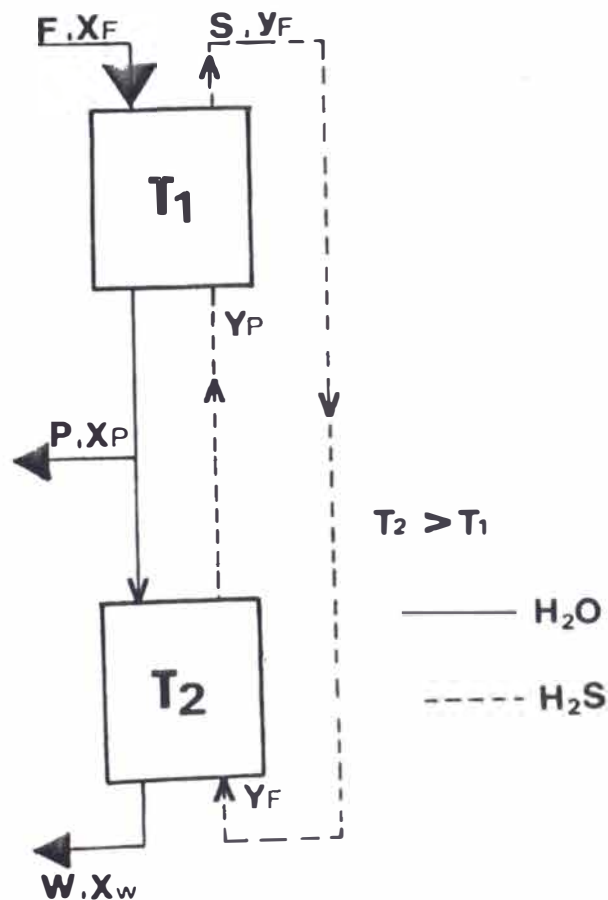


Fig.4.1 Esquema del proceso bitérmico para el sistema $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$

de H_2O líquida. En la Figura 4.1, el agua desgasada, purificada y saturada con H_2S , entra como alimentación por la cabeza de la columna fría (a temperatura T_1) y desciende, mientras asciende en contracorriente un flujo de H_2S enriquecido (reflujo). Este gas se empobrece en deuterio a favor del líquido a medida que asciende, alcanzando sucesivos equilibrios regidos por el factor de separación α_1 .

Del líquido enriquecido que sale por el fondo de la columna fría una pequeña parte, se retira como producto o se envía a una etapa posterior de enriquecimiento, mientras el resto pasa a la columna caliente (a temperatura T_2). Este líquido se empobrece en deuterio a medida que desciende, a favor de H_2S que asciende en contracorriente alcanzando sucesivos equilibrios regidos por el factor de separación α_2 . Este cambio de la fase que se enriquece se debe a los distintos valores de α ya que a las temperaturas de trabajo.

$$\alpha_1 > \alpha_2$$

(4.3)

Por lo tanto el H_2S en equilibrio con H_2O a T_2 tendrá mayor concentración de deuterio que a T_1 .

Como se observa en la Figura 4.1, el H_2S circula en circuito cerrado, de forma que sale por la cabeza de la columna fría y sirve de alimento a la caliente, cediendo el deuterio al H_2O en la primera mientras que en la segunda se enriquece en deuterio.

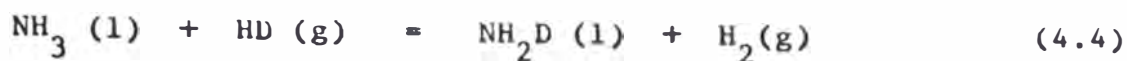
Es evidente entonces, que la máxima concentración de deuterio en el líquido y en el gas se podrá encontrar en las corrientes que circulan entre las dos columnas, siendo las respectivas fracciones molares de deuterio en esas corrientes X_p e Y_p .

Generalmente $T_1 = 30^\circ C$, $T_2 = 130^\circ C$ y la presión de trabajo es de 10 atmósferas.

4.1.2.- Amoníaco e hidrógeno

El proceso se basa en poner en contacto a contracorriente H_2

gaseoso con NH_3 líquido. Una fracción de deuterio que contiene el hidrógeno pasa al NH_3 , según la reacción:



El coeficiente de intercambio α varía de 5,9 ($t = -40^\circ\text{C}$) a 2,96 ($t = 60^\circ\text{C}$).

El H_2 utilizado en el proceso contiene alrededor de 130 ppm de deuterio y se recupera un 70-80%, necesitándose grandes caudales para lograr una producción significativa de D_2O .

A diferencia del sistema $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ que no requiere catalizador, en el sistema NH_3/H_2 , la velocidad de reacción es prácticamente nula en ausencia de catalizador.

Se usa como catalizador el amido de potasio (NH_4K), pero aún con éste catalizador la velocidad de intercambio es relativamente lenta. Se conoce también que los amidos de cesio y rubidio son catalizadores más efectivos que el de potasio. Además, tienen la ventaja que son más seguros para manipular y más solubles en amoníaco; pero, su costo elevado limita su utilización.

Dado que el catalizador reacciona con impurezas oxigenadas se requiere purificar el hidrógeno para reducir el contenido de O_2 , H_2O , CO , CO_2 hasta el orden de los ppm.

4.1.2.1.- Proceso monotérmico

Como se muestra en la fig.4.2, el esquema general del proceso es parecido al de una destilación. El intercambio isotópico se realiza dentro la columna de intercambio, entre el gas de síntesis ($3\text{H}_2 + \text{N}_2$) y el amoníaco líquido, que se enriquece en deuterio. El condensador de una destilación clásica es reemplazada por un sistema de síntesis de amoníaco (este punto de la instalación es "pobre" en deuterio) y el hervidor es reemplazada por un sistema de disociación de amoníaco (punto "rico" en deu-

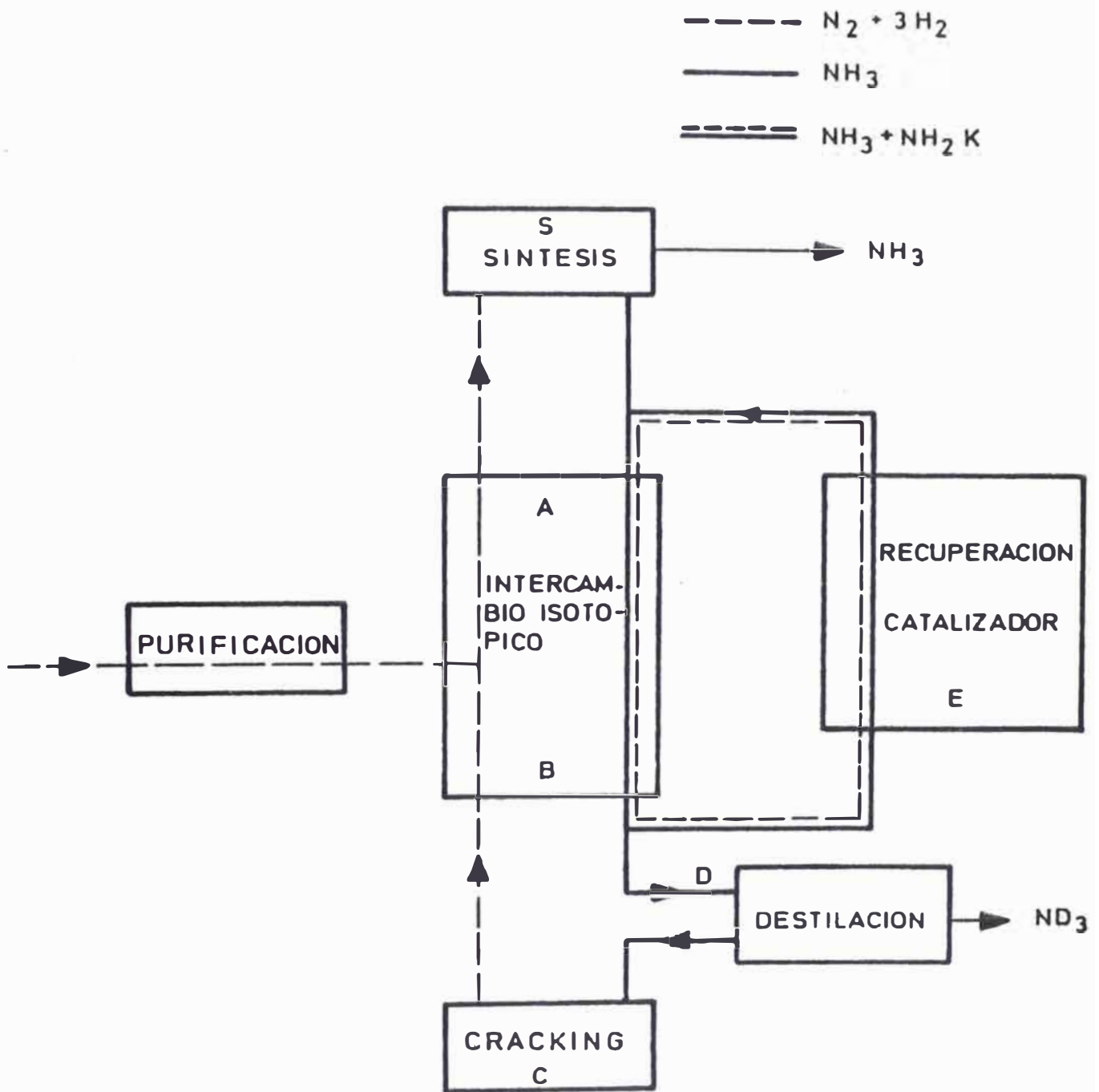


Fig. 4.2. Esquema del Proceso Monotérmico NH_3/H_2

terio), que permite la conversión de fase.

El gas de síntesis transfiere el deuterio al amoníaco en la parte (A) de la columna, antes de entrar al sintetizador (S). La mayor parte del amoníaco producido sale como tal, y el resto se usa como reflujo líquido. El amoníaco enriquecido, que abandona la base de la columna, se "craquea" convirtiéndose en (C) en nitrógeno e hidrógeno. Estos constituyen el gas que circula a contracorriente en la parte (B) de la columna de intercambio.

El amoníaco enriquecido se extrae en el punto (D) y se somete a una concentración final por destilación para obtener ND_3 . Este es posteriormente disociado y por combustión se obtiene agua pesada.

Otra forma de realizar la concentración final consiste en poner en contacto el amoníaco enriquecido con agua, estableciéndose el equilibrio:



Este es casi instantáneo y la constante de equilibrio es cercana a la unidad.

4.1.2.2.- Proceso bitérmico

En este proceso se introduce una variante con respecto al sistema $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ por el acoplamiento de un sistema de agotamiento, en cambio cuando se trabaja sin este sistema es similar al caso referido.

4.1.2.2.1.- Proceso bitérmico sin agotamiento

La instalación está formada por dos torres de intercambio a distintas temperaturas, a través de las cuales circulan en contracorriente el amoníaco y el gas de síntesis, al cual se le extrae el deuterio.

En la Figura 4.3. la corriente de amoníaco líquido entra a la

torre fría y mientras fluye hacia abajo se enriquece progresivamente en deuterio por intercambio con el gas de síntesis. Esta al entrar a la torre caliente cede deuterio al gas. Una parte de esta corriente de gas que sale de la torre caliente, se extrae como producto; el resto alimenta la torre fría.

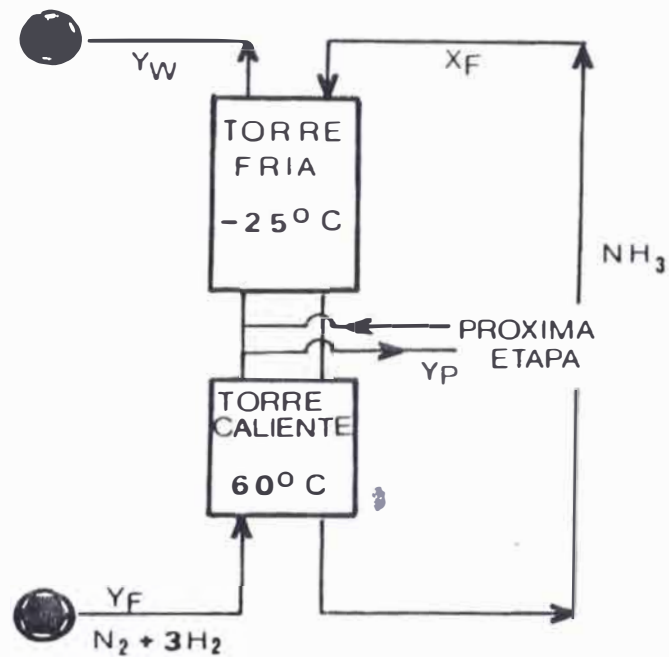


Fig. 4.3 Esquema del proceso bitérmico sin agotamiento

Es necesaria una conveniente elección de las temperaturas para obtener una optimización global de la planta. La de la columna fría está limitada por varios factores. La mínima está fijada por la de solidificación del NH_3 a -78°C . Aunque α es muy alto a bajas temperaturas, la velocidad de intercambio decrece con la temperatura y por ello se necesita un mayor tiempo de contacto, por lo tanto, un aumento en la longitud de las torres de intercambio.

4.1.2.2.2.- Proceso bitérmico con agotamiento

La recuperación de deuterio se mejora notablemente combinando el método bitérmico mencionado con un sistema de agotamiento.

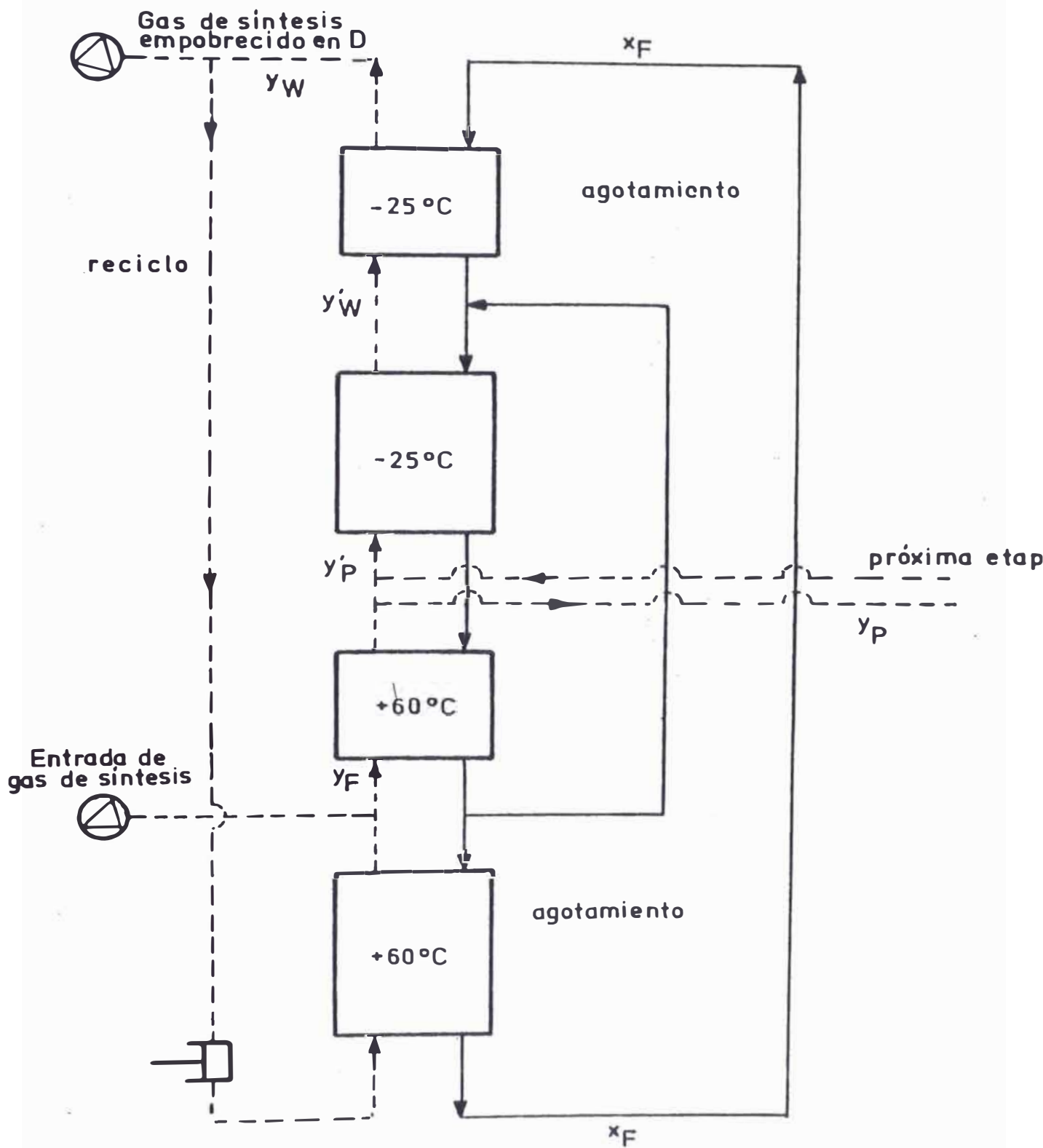


Fig. 4.5 Esquema del Proceso Bitérmico con agotamiento.

En la Fig. 4.4 y Fig.4.5 la concentración de deuterio del gas de síntesis en la entrada a la sección de enriquecimiento es Y_F . Desde ese punto se desplaza por la línea de operación de la columna caliente hasta Y_P correspondiendo al ascenso del gas dentro la columna caliente.

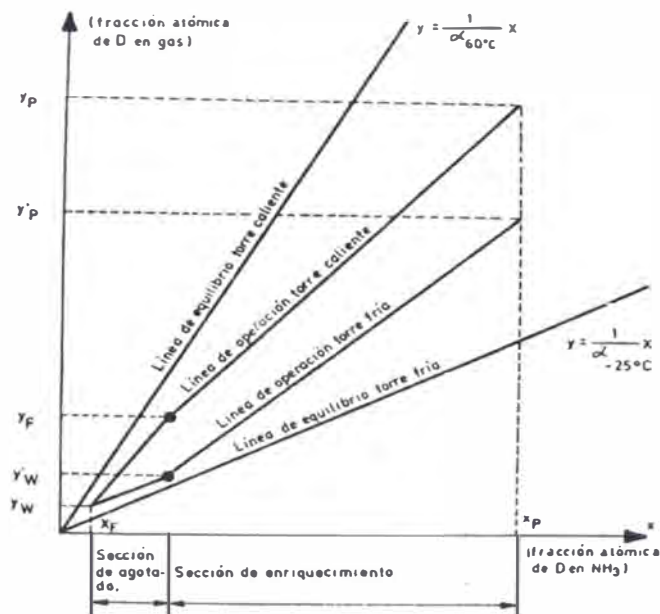


Fig.4.4 Gráfico de McCabe Thiele para el intercambio de NH_3/H_2 a dos temperaturas con agotamiento

Allí se extrae una cierta cantidad y y se transfiere a la etapa siguiente; el resto se mezcla con gas proveniente de la etapa posterior y resulta una corriente de concentración Y'_P que entra por el fondo de la torre fría.

En esas condiciones, el punto de operación se desplaza a lo largo de la línea de operación de la torre fría, hasta alcanzar la concentración Y'_W en la parte superior. En este punto entra en la torre fría de agotamiento y cambia la relación gas/líquido. En la parte superior de esta columna se alcanza la concentración Y_W . La corriente de gas empobrecida, con concentración Y_W entra a la columna caliente de agotamiento; la pendiente de la curva de operación se altera, por la mezcla con gas de síntesis que entra al proceso y vuelve al punto de

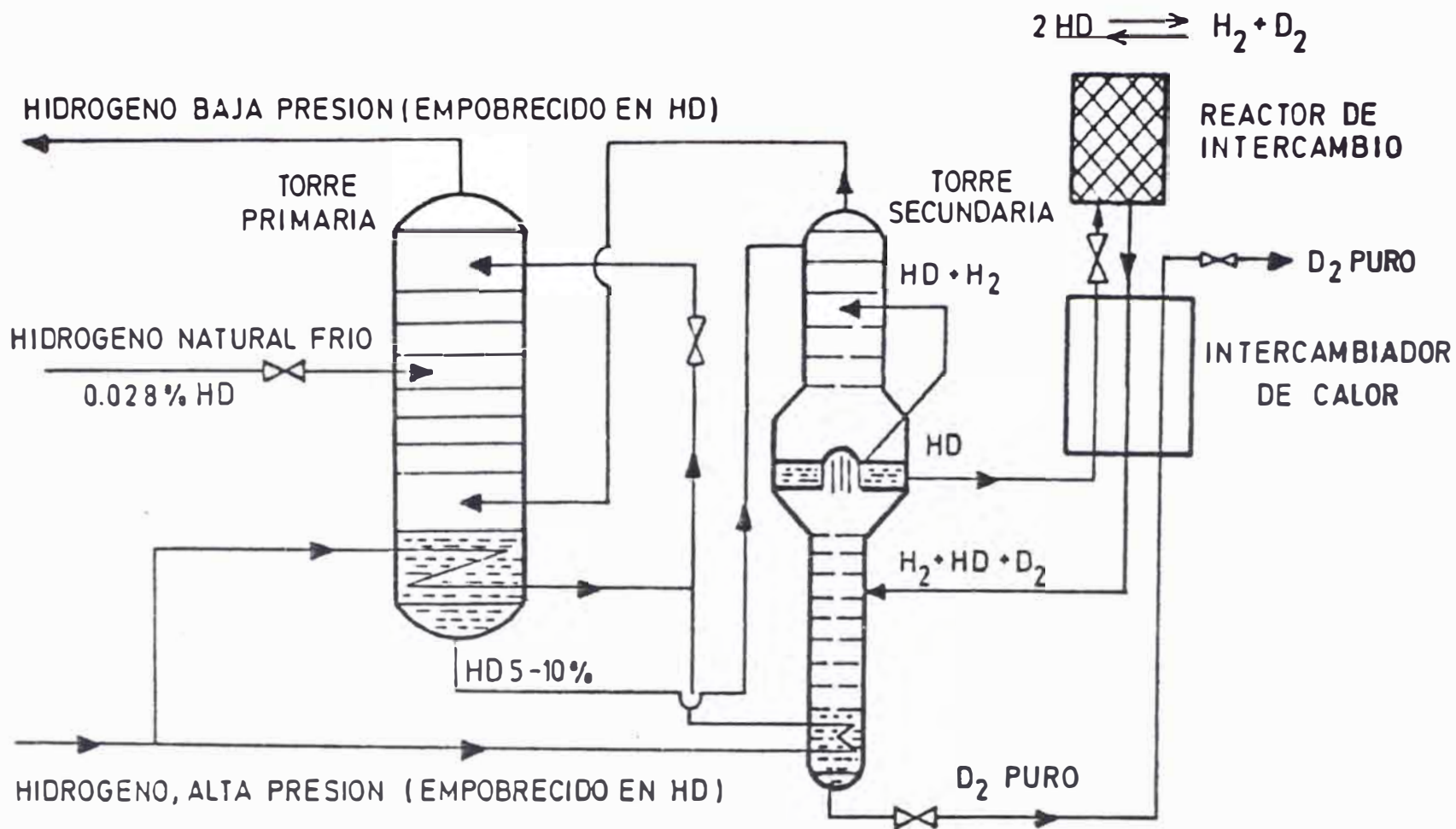


Fig. 4.6 Diagrama de Flujo de una Planta de destilación de H₂ para Producción de Deuterio diseñada por Clasius y Starke.

alimentación Y .
F

4.2.- Destilación Isotópica

Cuando una mezcla se destila se elimina el componente de más bajo punto de ebullición. El hidrógeno y el deuterio tienen estructuras moleculares suficientemente distintas como para que el punto de ebullición de un compuesto que contenga hidrógeno, difiera de aquel mismo compuesto con uno o más átomos de hidrógeno reemplazados por deuterio. La destilación de compuestos que contienen hidrógeno como un procedimiento para la fabricación de D_2O , merecen una especial atención debido a que es un proceso simple, emplea equipos y procedimientos bien desarrollados; y no se requiere agregar sustancias que puedan ser caras, corrosivas o difíciles de eliminar.

4.2.1.- Destilación del Hidrógeno

Este procedimiento se basa en el hecho que los puntos de ebullición del D_2 y HD son respectivamente 23.50 y 22.13°K y la del H_2 20.38°K, entonces las diferencias de las temperaturas de ebullición son:

$$\Delta T (D_2 - H_2) = 3.12^\circ K$$

$$\Delta T (HD - H_2) = 1.75^\circ K$$

A pesar que el hidrógeno natural contiene HD y no D_2 , la diferencia de 1.75°K es lo suficientemente grande como para producir un enriquecimiento considerable.

Una mezcla normal de isótopos de hidrógeno contendrá H_2 , DH y D_2 con casi todo el deuterio presente en la forma de HD.

En la Figura 4.6, el H_2 natural conteniendo 0,028% de HD a una presión ligeramente superior a la atmosférica se enfría hasta su punto de rocío (alrededor de -252° C) y alimenta la torre primaria de destilación

en esta torre se fracciona en un producto de tope sustancialmente libre de HD y un producto de fondo que contiene entre un 5 a 10% de HD, que alimenta la mitad superior de una torre de destilación secundaria. Este HD es calentado a la temperatura ambiente en un intercambiador de calor y pasado a través de un reactor de intercambio catalítico donde se equilibra la mezcla de H_2 , HD y D_2 . El producto de esta reacción es enfriado a la temperatura del nitrógeno líquido, alimenta la mitad inferior de la torre secundaria y se fracciona en un producto de tope de HD, H_2 y un producto de fondo que es deuterio puro. Este se calienta a temperatura ambiente en un intercambiador de calor y constituye el producto final.

4.2.2. Destilación de H₂O

La destilación de agua no ha sido nunca considerada un método económico de obtención de D₂O en la etapa de pre-enriquecimiento, debido al elevado consumo de vapor y el alto costo de las instalaciones. A pesar de ello fue uno de los primeros utilizados para la preparación a escala industrial.

Los factores de separación son desalentadores p.e. a 50°C $\alpha = 1.05$. Esto significa que se requieren muchos platos teóricos, gran volumen de columna, agua a destilar y elevado consumo de vapor.

Si conocemos la concentración natural de deuterio en agua $X_F = 0,00014$ y la concentración del producto $X_p = 0,998$.

Según la ecuación de Fenske ec. (4.6) el número mínimo de platos necesarios es de 309.

$$N_p + 1 = \log [X_D / (1 - X_D)] / [X_W / (1 - X_W)] \quad (4.6)$$

donde N_p es el número mínimo de platos, X_D y X_W concentración del compuesto más ligero en el destilado y en el fondo.

El número real de platos será aproximadamente el doble o según Benedict (6), alrededor de 700.

Hasta hoy, no se ha logrado disminuir los costos suficientemente como hacer de él un proceso competitivo.

4.2.3.- Destilación de amoníaco

La destilación de NH_3 presenta ciertas ventajas con respecto a la del agua :

- a) El calor latente molar del amoníaco es un 40% del correspondiente al agua, por lo que las cargas en el hervidor y condensador son considerablemente menores.
- b) A presiones mayores de 1 atm., el factor de separación es mayor que la del agua. Para aumentar la densidad del vapor y reducir los tamaños de las torres es conveniente el funcionamiento de estas a varias atmósferas de presión.
- c) El amoníaco posee un 50% más de hidrógeno que el agua. Por lo que las velocidades de flujo de vapor se reducen.

Los resultados de los estudios de costos realizados, muestran que la producción de amoníaco no es competitiva. Sin embargo, al igual que el agua se usa la destilación de amoníaco, como operación final.

4.3.- Producción de agua pesada por electrólisis

El proceso consiste en la descomposición de soluciones conductoras que contienen H_2O y D_2O por el paso de corriente eléctrica. Como resultado se produce O_2 y una mezcla de H_2 y D_2 cuya concentración isotópica es distinta a la de la solución acuosa original. Dado que la velocidad de descomposición del H_2O es mayor que la del D_2O , la solución remanente se enriquece en D_2O y las últimas porciones de gas producida son más ricas en D_2 que las primeras.

Como en los demás procesos de separación isotópica, se puede definir un coeficiente de separación α , como la relación entre el

contenido isotópico en la fase líquida y en la fase gas.

Se alcanzan altos valores de α , entre 5 y 30, según las condiciones de operación, (temperatura, concentración, parámetros eléctricos) y la constitución o diseño de electrodos, electrolitos, celda, etc.

La separación isotópica se debe a diferencias de velocidad de varios procesos que tienen lugar durante la electrólisis:

- a) transporte de iones en el electrolito.
- b) Neutralización eléctrica de iones hidrógeno.
- c) Absorción de átomos de hidrógeno sobre el cátodo.
- d) Formación de hidrógeno molecular a partir de átomos y su liberación en forma de gas.

e) Intercambio entre átomos y moléculas de hidrógeno con la fase acuosa sobre la superficie del electrodo:



4.3.1.- Método electrolítico.

El proceso de electrólisis puede llevarse a cabo reduciendo el volumen de electrolito contenido en las celdas hasta que se enriquezca lo suficiente en deuterio. Esto tiene el inconveniente de que el proceso es discontinuo, y que el hidrógeno que se desprende después de un cierto tiempo de trabajo está también enriquecido y no es conveniente desecharlo. Resulta necesario, por lo tanto, quemar el hidrógeno desprendido y volver a introducir en la celda de electrólisis el agua formada. Se puede así

hacer funcionar un sistema de manera que el nivel del electrolito permanezca constante.

En las plantas diseñadas para utilizar como alimentación agua natural la circulación de electrolito se hace en cascada, de manera que la entrada y salida de líquido es continúa.

Teniendo en cuenta que parte del volumen del electrolito se retira continuamente, como producto final o para pasar a otra etapa, la concentración de deuterio de la fracción retirada (D) es:

$$(D) = \frac{(D_0)^\alpha}{1 + \phi(\alpha - 1)} \quad (4.8)$$

donde (Do) es la concentración de la solución inicial, α es el coeficiente de intercambio y ϕ es la relación entre volumen que sale y volumen que entra en la celda.

El rendimiento en deuterio de la celda electrolítica R, esta dada por:

$$R = \frac{\alpha \phi}{1 + \phi(\alpha - 1)} \quad (4.9)$$

Con estas ecuaciones se puede calcular el número de etapas necesarias para obtener un cierto enriquecimiento, conociendo α y ϕ

5.- El Agua pesada en reactores (CANDU)

Diversos sistemas de la Central Nuclear contiene gran cantidad de agua pesada (D_2O). En razón de su elevado costo y relativa escases, es esencial que se vigile cuidadosamente la existencia total de D_2O , de manera que se pueda detectar y justificar cualquier pérdida de ese material. Los orígenes de pérdidas de D_2O deben hallarse y corregirse rápidamente con el propósito de evitar que se produzcan pérdidas acumuladas de gran monto.

Normalmente el D_2O se encuentra encerrado en sistema bajo presión. De estos sistemas puede escaparse el agua de diversas maneras, tales como :

- Pérdidas controladas a través de sellos de bombas y empaquetaduras de válvulas.
- Pérdidas no controladas por fallas de sellos, cañerías, equipo, etc.

También puede perderse D_2O como consecuencia de operaciones de rutina, como por:

- Muestreo,
- Deuteración y dedeuteración de las resinas de intercambio ionico, del sistema de limpieza.
- Transferencia manual de D_2O durante la recepción y despacho,
- Transferencia manual de D_2O a las instalaciones de almacenaje, limpieza y enriquecimiento,
- Drenaje de equipos para su mantenimiento y
- Limpieza de derrames.

5.1.- Control del Agua Pesada

La contabilización de D_2O consiste en llevar registros, con fines de inventario, de todo el D_2O manipulado y almacenado en la Central. Esta contabilización involucra esencialmente procedimientos

operativos y de administración, tales procedimientos abarcan las siguientes situaciones:

- Recepción de D_2O nueva en tambores y su transferencia a los sistemas que corresponda para ser almacenada.
- Despacho de D_2O usada en tambores para ser usada y/o procesada fuera de la Central.
- Almacenamiento y transferencia de D_2O de pureza para reactor hacia o fuera del sistema de suministro de D_2O .
- Recolección, transferencia y almacenamiento de D_2O empobrecida que entra y sale de los sistemas de colección de D_2O , de recuperación de vapor, de limpieza, de deuteración y dedeuteración.
- Recuperación de derrames de D_2O mediante equipo portátil, como ser lampas, aspiradores de humedad, etc.

5.2.- Monitoreo de pérdidas de Agua Pesada

Las pérdidas de D_2O pueden clasificarse como recuperables y no recuperables. Las pérdidas recuperables, típicamente, provienen de fuentes previsibles para las cuales se han adoptado los depósitos necesarios para recolectar las fugas de D_2O . Las pérdidas no recuperables, típicamente provienen de fuentes inesperadas, o de fuentes tan pequeñas que es económicamente inconveniente su recuperación.

El primer paso en el monitoreo de pérdidas consiste en detectar fugas de D_2O de manera que se pueda proceder a la acción correctora que reduzca las pérdidas no recuperables. El segundo paso involucra la medición de las pérdidas no recuperables en el punto en que D_2O sale de la Central con los efluentes de la planta.

5.2.1.- Monitor de chimenea

Si hay fuga de D_2O en una fuente caliente y bajo presión, como es el sistema refrigerante la mayor parte se vaporizará y disipará en la atmósfera del ambiente. Además, si se derrama D_2O líquida en el piso, parte de la misma se evaporará hacia la atmósfera del ambiente. Si bien se dispone de secadores de aire para recuperar la mayor parte de vapor de D_2O , parte del mismo posiblemente sea expulsado por el sistema de ventilación y dispersado hacia el exterior a través de la chimenea.

Para monitorear estas pérdidas por la chimenea se aspira en forma permanente una muestra de aire del conducto de expulsión de la ventilación del edificio del reactor mediante una bomba que la hace pasar por una trampa que condensa y aparta cualquier humedad que haya en el aire. Esta humedad colectada así se somete a periódicos análisis. Determinando la cantidad de humedad que hay en el aire que se expulsa (humedad relativa), la cantidad de D_2O concentrada en esta humedad, y el caudal de expulsión, se puede calcular la cantidad de D_2O perdida durante un lapso de tiempo.

5.2.2.- Monitor de D_2O en H_2O

Hay una cantidad de componentes que contienen D_2O y H_2O separadas por una barrera mecánica (p.e. intercambiadores de calor).

El D_2O se mantiene siempre a presión más elevada, de manera que, en caso de alguna fuga en la barrera, el H_2O no entrará al sistema de D_2O , empobreciéndolo. Por el contrario, entraría D_2O en el sistema de H_2O .

La presencia de D_2O en un sistema de H_2O no tendrá efecto perjudicial en el funcionamiento del sistema, pero sí representa una pérdida potencial de D_2O . Por este motivo se ha provisto un sistema para detectar la presencia anormal de D_2O en los sistema de H_2O en que puedan producirse fugas.

El método de monitorear consiste en pasar un flujo de muestra de

agua a través de un espectrómetro infrarrojo que mide la concentración de D_2O . La concentración natural de D_2O en H_2O es de 151 ppm. El rango de los instrumentos es de 100 a 200 ppm y producen alarma a 157 ppm.

Este método es efectivo para detectar una fuga de D_2O , pero es difícil el grado o régimen de la pérdida, por ejemplo, en efluente de agua de servicio.

5.2.3.- Detección de fugas líquidas

La detección en forma líquida de sistema procesadores hacia la atmósfera del ambiente, será detectada por los sensores de nivel para líquidos. Estos sensores se encuentran situados en las líneas de drenaje que entran en los sumideros o en depresiones del piso donde podría juntarse una filtración líquida.

Cuando el agua entra en contacto con la punta del sensor, una alarma en la sala de control principal alerta al operario para que investigue. Los sensores han sido colocados en todos los lugares donde hay posibilidad de pérdida de D_2O pero no pueden distinguir entre D_2O y H_2O . Los sensores solamente sirven para anunciar que hay pérdida, pero no informan acerca del volumen o la velocidad de las fugas de D_2O .

5.2.4.- Control en drenaje activo

Las pérdidas en sistema de procesamiento, drenajes o los derrames en forma líquida, que contienen D_2O serán colectados. Antes de vaciar los sumideros bombeando, se toma una muestra de cada uno de ellos para determinar si hay D_2O . Si la concentración es menor que el 2%, se desecha. Conociendo la cantidad de desperdicio líquido y su contenido de D_2O se puede calcular la cantidad de D_2O que se pierde por esta vía.

5.3.- Recuperación y almacenamiento de D_2O

Se han provisto varios sistemas para coleccionar y almacenar el D_2O

que escapa de fuentes de filtración previstas, que drena durante operaciones normales o durante el mantenimiento, o que se recupera de derrames. Si este D_2O recolectado es de pureza adecuada para el reactor y no ha sido contaminado por impurezas, se lo puede volver a usar directamente. Con este fin se almacena en un sistema que, además recibe lotes de D_2O nueva y pura, que es para la reposición, en los sistemas de procesamiento, de acuerdo a las necesidades. Sin embargo, si el D_2O se ha empobrecido y contiene impurezas, tendrá que ser enviado a otros sistemas para su purificación y enriquecimiento.

5.3.1.- Recolección de D_2O del moderador y del sistema refrigerante

Estos dos sistemas son muy parecidos, consistiendo cada uno de ellos esencialmente en cañerías y cabezales que recolectan las pérdidas de D_2O de las cavidades entre juntas, de los vástagos de doble empaquetadura, de los sellos de las bombas, de los drenajes y venteos de los equipos. Las pérdidas que allí se producen son llevadas a un tanque recolector.

Se han previsto sistemas independientes, cada uno provisto con su propio tanque recolector, para evitar que se mezcle el D_2O del moderador que podría acusar un elevado contenido de tritio, con el D_2O del sistema de refrigeración, el cual puede contener productos de fisión y productos de corrosión activada.

En líneas individuales del equipo se han previsto indicadores visuales de pérdida para permitir al operario que identifique los orígenes de las fugas y haga una estimación del régimen de las mismas, de manera de adoptar las medidas adecuadas si las pérdidas fueran anormales.

Para cada tanque hay una bomba que se emplea para circular el contenido y obtener una muestra representativa y para vaciar los tanques. Si el análisis de la muestra demostrara que el D_2O es de pureza de reactor, entonces se devuelve directamente al sistema de procesamiento del cual provino. Si no fuera de pureza suficiente para el reactor, entonces esa D_2O es bombeado hacia el sistema de limpieza.

Los indicadores de fuga están provisto con una mirilla de vidrio de manera que se pueda observar la presencia de D_2O , y estimar el régimen de fuga en forma visual, contando las gotas.

El tanque recolector del sistema de refrigeración contiene un haz de tubos en U, por el cual se hace circular agua de servicio a baja presión para refrigerar el D_2O . También hay un condensador en la línea de venteo, que es para recuperar el vapor de D_2O .

5.3.2.- Recuperación de vapor de D_2O

Las fugas o derrames de D_2O generalmente están acompañadas con escapes de vapor de D_2O hacia el ambiente interno, con el fin de evitar la pérdida de este D_2O a través del sistema de ventilación, el aire en las zonas del edificio del reactor donde hay posibilidad de que haya vapor de D_2O , se hace circular en forma continua a través de un circuito cerrado, dentro del cual se lo seca para recuperar el vapor de D_2O .

El edificio del reactor ha sido dividido en tres sectores o zonas, cada uno de los cuales posee sus propias unidades secadoras de recuperación de vapor de D_2O .

- a) Recintos de las máquinas de recambio de combustible y generadores de vapor.

En estas salas hay equipo y cañerías que transportan refrigerantes a elevada temperatura y presión. Es de esperar una pérdida significativa de D_2O hacia la atmósfera.

- b) Salas de servicio de las máquinas de recambio de combustible y zonas accesibles al edificio del reactor.

En estas salas se encuentra equipos y cañerías que transportan refrigerante, incluso para los cabezales de la máquina de recambio de combustible.

La circunstancia más probable de que se produzcan pérdidas de

D₂O es durante los trabajos de mantenimiento. El requerimiento más importante para secar el aire en estas salas, consiste en reducir los niveles de tritio para facilitar el acceso de personal.

Como todo el vapor de D₂O recuperado de las zonas a) y b) se origina en el sistema de refrigeración del primario, el líquido se colecta y almacena en tanques comunes.

c) Recinto hermético del equipo del moderador

La atmósfera del recinto de generadores de vapor se encuentra en contacto con el equipo y la cañería del sistema moderador. Sin embargo, en razón de su elevado contenido de tritio es deseable conservar el vapor del moderador fuera del recinto de generadores de vapor donde se mezclaría con el vapor del refrigerante. Para lograr esto, se ha instalado un cierre especial en torno a las bombas y válvulas del moderador, que es donde existe la mayor probabilidad de fugas, y se ha provisto un secador independiente para recuperar el vapor de D₂O que haya en ese recinto hermético.

El líquido del moderador recuperado se colecta y almacena en un tanque separado al recuperado en a) y b).

Hay cinco unidades secadoras en el sistema de recuperación de vapor de D₂O. Cuatro de ellas son de diseño similar, consistiendo cada una en dos secadores de lecho simple.

Un secador de lecho simple consiste básicamente en un lecho deshumectante (del tipo de malla molecular), condensador, ventilador y calefactor. Cuando trabaja, aire húmedo de la sala es aspirado a través del lecho deshumectante, el cual absorbe el agua, y después se descarga aire seco de vuelta a la sala por medio del ventilador. Cuando el lecho deshumectante se satura con agua, entra en servicio el segundo lecho, y el primero pasa a ser regenerado. Durante la regeneración, en lugar de descargar hacia la sala, el ventilado hace recircular el aire del lecho

deshumectante a través de un calefactor. Este aire calentado reingresa al lecho cuya humedad hace evaporar y la lleva a un condensador que quita la humedad y dirige el líquido condensado (D_2O) hacia los tanques recolectores. Hacia el final del ciclo regenerativo el secador es enfriado, preparándolo así para entrar nuevamente en servicio al saturarse el segundo lecho deshumectante.

Hay dos unidades secadoras para la zona a), una para la b) y una para la c). El quinto secador se usa para recuperar cualquier vapor de D_2O del flujo saliente de la zona a) hacia la descarga de ventilación del edificio del reactor. Este quinto secador es un poco diferente a los otros cuatro.

Antes de ingresar en las unidades secadoras, el aire de la zona recintos de la zona a) pasa a través de un filtro. Este filtro está diseñado para eliminar partículas radioactivas y vapor de yodo que puede haber presente en el aire, debido a productos de fisión por fallas del combustible.

El líquido de los tanques recolectores van hacia el sistema de limpieza de D_2O , empleando bombas independientes ubicadas dentro de alojamientos herméticos para los líquidos del sistema primario y sistema del moderador.

5.3.3.- Colección de fugas de H_2O

Dentro de las zonas secadas del edificio del reactor descritos en la sección anterior, hay algunas potenciales fuentes de fugas de H_2O . Para evitar que vapores de tales fugas se mezcle en el aire con vapor de D_2O , empobreciendo así el líquido recolectado por el sistema de recuperación de vapor de D_2O , se proporciona un sistema separado para contener y recolectar las fugas de H_2O de estas áreas.

Este sistema recolecta H_2O de dos procedencias.

- a) Filtraciones de agua de vástagos de válvulas con doble empaquetadura, de las cavidades entre juntas de componentes

de los sistemas de agua de servicio de alta presión, de rociado y del agua de alimentación a los generadores de vapor.

b) Condensado y pérdidas en tuberías de los enfriadores de aire local del recinto de generadores de vapor.

El agua recolectada de las fuentes a) es enviada al sistema de drenaje activo para desecharlo. El agua de las fuentes de b) se colecta en bandejas y se manda a un drenaje del piso. Este drenaje o desague del piso se mantiene normalmente aislado para retener el líquido hasta que haya sido analizado para determinar su contenido de D_2O . Normalmente no debería haber agua procedente de las fuentes de b), porque el aire del recinto de generadores de vapor está siendo secado constantemente por los secadores del sistema de recuperación de vapor de D_2O .

En las líneas colectoras de H_2O procedentes de a), se han previsto indicadores o mirillas para permitir la detección visual y el monitoreo de fugas de H_2O .

En la línea entre las bandejas y el desague del piso se ha colocado un detector de líquidos para alertar al operario si se produjese una filtración o pérdida de las fuentes de b).

5.3.4.- Suministro de D_2O

Generalmente el D_2O nuevo, de pureza para reactor, se entrega en la central en tambores. El sistema de suministro de D_2O proporciona un medio para transferir este D_2O de los tambores a los tanques de almacenamiento, y después, de los tanques de almacenamiento a los sistemas del moderador o al de transferencia de calor, en la manera y el momento requeridos para llenar o agregar. Los tanques también pueden recibir y almacenar D_2O procedente del enriquecimiento de los tanques de cabeza de D_2O , del sistema de deuteración y dedeuteración, de los drenajes del circuito principal del moderador y del tanque de almacenamiento de D_2O del sistema de transferencia de calor.

El sistema de suministro de D₂O consiste esencialmente en cuatro tanques y dos bombas en alojamiento² hermético. Debido a que el moderador de D₂O contendrá mayor cantidad de tritio que el D₂O refrigerante, se utilizan dos tanques exclusivamente para uno, y otros dos para el otro, para evitar que se mezclen aguas de alto y bajo contenido de tritio. Las bombas se utilizan para transferir el contenido de los tanques a los sistemas que corresponda.

Cualquiera de las bombas puede usarse para cualquiera de los tanques, pero normalmente se utiliza una sola bomba exclusivamente para el D₂O del moderador, y la otra para el D₂O refrigerador de transferencia de calor, también en este caso para evitar que se mezclen.

6.- Problema de contaminación en la torre de enriquecimiento de D₂O.

La planta de enriquecimiento ha sido diseñada para separar, por rectificación, a una mezcla de agua liviana y agua pesada. Se obtiene en el tope un destilado más rico en agua liviana, y un producto de fondo más rico en agua pesada.

El objeto de la planta de enriquecimiento de D₂O es el de enriquecer el D₂O degradado que se recupera durante el funcionamiento de la Central, la cual satisface los requerimientos químicos específicos y posee un contenido isotópico mínimo de 2% (mol). La columna producirá un producto de fondo con contenido en deuterio mayor que 99,8 % (mol), y un producto de tope menor que 0,5% (mol) en concentración de D₂O.

6.1.- Descripción del sistema

En la figura 6.1 se muestra un diagrama de flujo simplificado del sistema de regeneración de agua pesada la que será descrita brevemente a continuación.

6.1.1.- Circuito de alimentación de la torre de enriquecimiento

El circuito de alimentación consiste en un tanque de alimentación, el evaporador de alimentación y catorce puntos de ingreso a la torre de enriquecimiento.

El D₂O degradado que se recuperó se bombea desde los tanques del sistema de limpieza, hacia el tanque de alimentación. Desde el cual, el D₂O se manda por gravedad y a una velocidad controlada hacia el evaporador.

El vapor se introduce en la columna por uno de los diversos puntos de alimentación del fluido, el cual es determinado por el contenido isotópico del agua de alimentación.

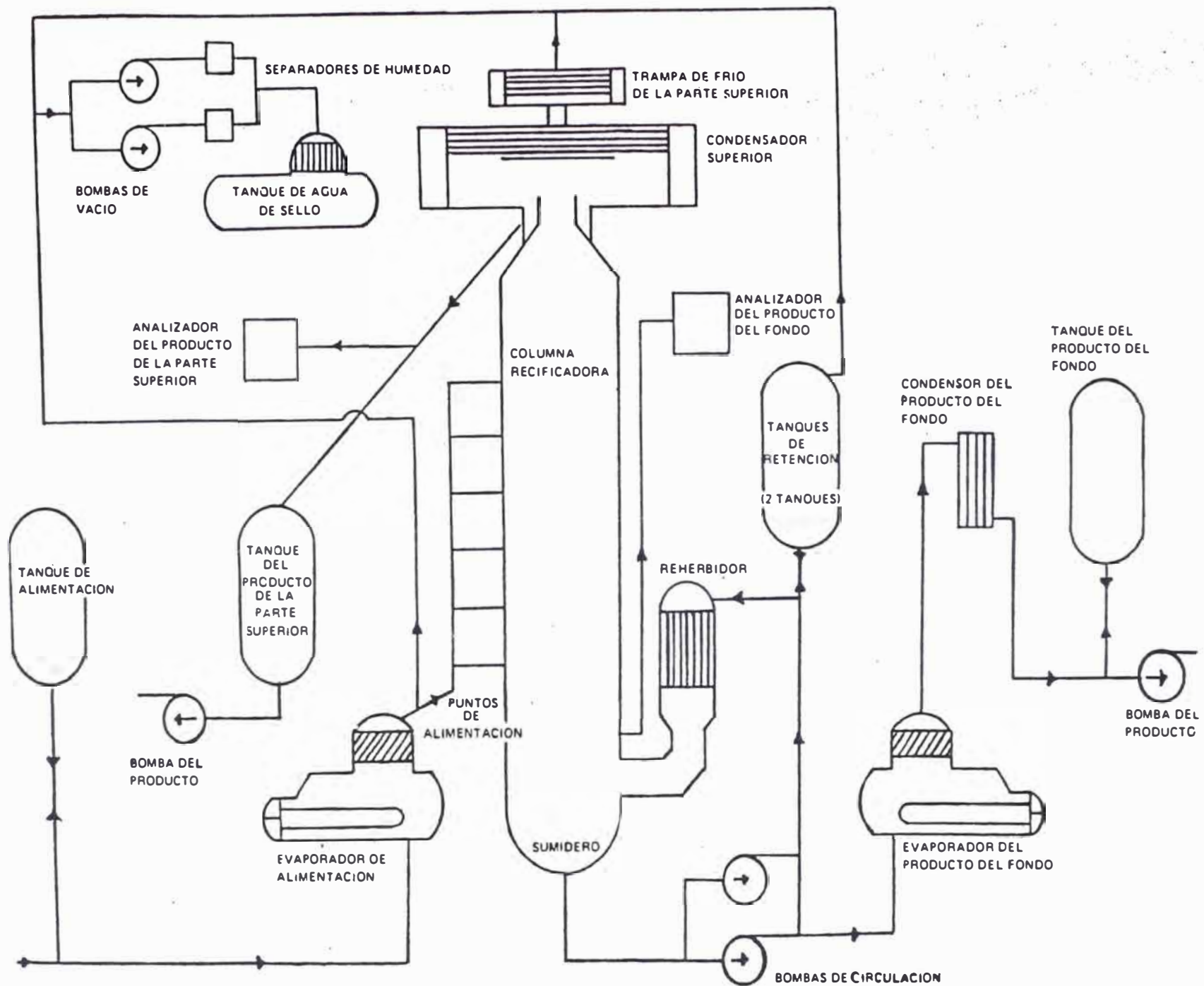


Fig. 6.1. Diagrama de Flujo del Sistema de Enriquecimiento de D_2O

6.1.2.- Sistema de destilación

El sistema de destilación consiste en una torre de destilación, condensador, trampa de humedad en el tope, un hervidor, dos bombas de circulación y dos tanques de almacenamiento.

La alimentación y la extracción tienen que ser realizados a una velocidad adecuada y en puntos apropiados de la torre, de modo tal que el perfil de concentración dentro de la torre no resulte alterada.

El agua del sumidero se mantiene en el punto de saturación por recirculación a través de un intercambiador de calor que es alimentada con vapor.

Aproximadamente el 20% del agua recirculada se vaporiza en el hervidor, éste vapor retorna a la base de la torre por debajo de la primera sección de relleno y luego sube por la torre.

Se han provisto dos tanques de almacenaje que permiten el drenaje total de la torre para mantenimiento. Cada uno de los tanques puede almacenar el contenido total de la torre.

6.1.3.- Sistema de extracción de productos de fondo

El vapor que se va elevando a través de la columna se condensa en el condensador de cabeza. La mayor parte regresa a través de la columna, pero una parte es extraída y se envía al tanque de producto de cabeza. Este producto, puede ser desechado por el sistema de manejo de residuos líquidos (siempre y cuando el contenido isotópico sea menor que 0,5% mol en D₂O) o puede ser devuelto al sistema de limpieza para su reprocesamiento dentro de la torre de enriquecimiento. El producto de cabeza es analizado en forma constante por un analizador instalado en la línea. El analizador manda señales a un controlador de flujo e inicia la alarma cuando el contenido isotópico del producto de cabeza excede lo especificado.

6.1.4.- Sistema de vacío

La columna de enriquecimiento ha sido diseñado para trabajar bajo condiciones de vacío. El sistema de vacío se encuentra conectado con el evaporador de alimentación, con la trampa fría de la cabeza, con los analizadores y con los tanques de almacenamiento.

El sistema de vacío consiste en dos bombas de vacío, un tanque de agua de sello y separadores de humedad. Las bombas de vacío requieren una provisión de agua desmineralizada limpia para sellado y para enfriamiento. Las bombas tienen tendencia a descargar parte de su agua de sello en forma de vapor. Esta es condensada en el enfriador y almacenada en el tanque de agua de sello.

Normalmente solo una de las bombas de vacío está en funcionamiento, permaneciendo la otra como reserva, pero cuando se inicia el bombeo, arrancan ambas, con el fin de reducir el tiempo requerido para crear el vacío necesario.

A medida que el sistema de vacío absorbe vapor del proceso (en forma de humedad en los gases no condensables), el tanque de agua de sello debe ser drenado periódicamente y vuelto a llenar con agua desmineralizada nueva.

6.2.- Descripción de los equipos principales

6.2.1.- Torre de enriquecimiento

La torre consiste en 19 secciones, iguales con bridas, y un sumidero. Todo el conjunto está montado sobre una camisa de soporte. Las secciones están unidas con pernos y las uniones de las bridas están soldadas herméticamente. Cada una de esas 19 secciones está cargada con un relleno consistente en un "paquete" de malla de aleación de cobre tipo Sulzer CY, (se describe más adelante) y tiene un soporte de relleno, una rejilla que la aprieta, un colector de líquidos y un distribuidor de

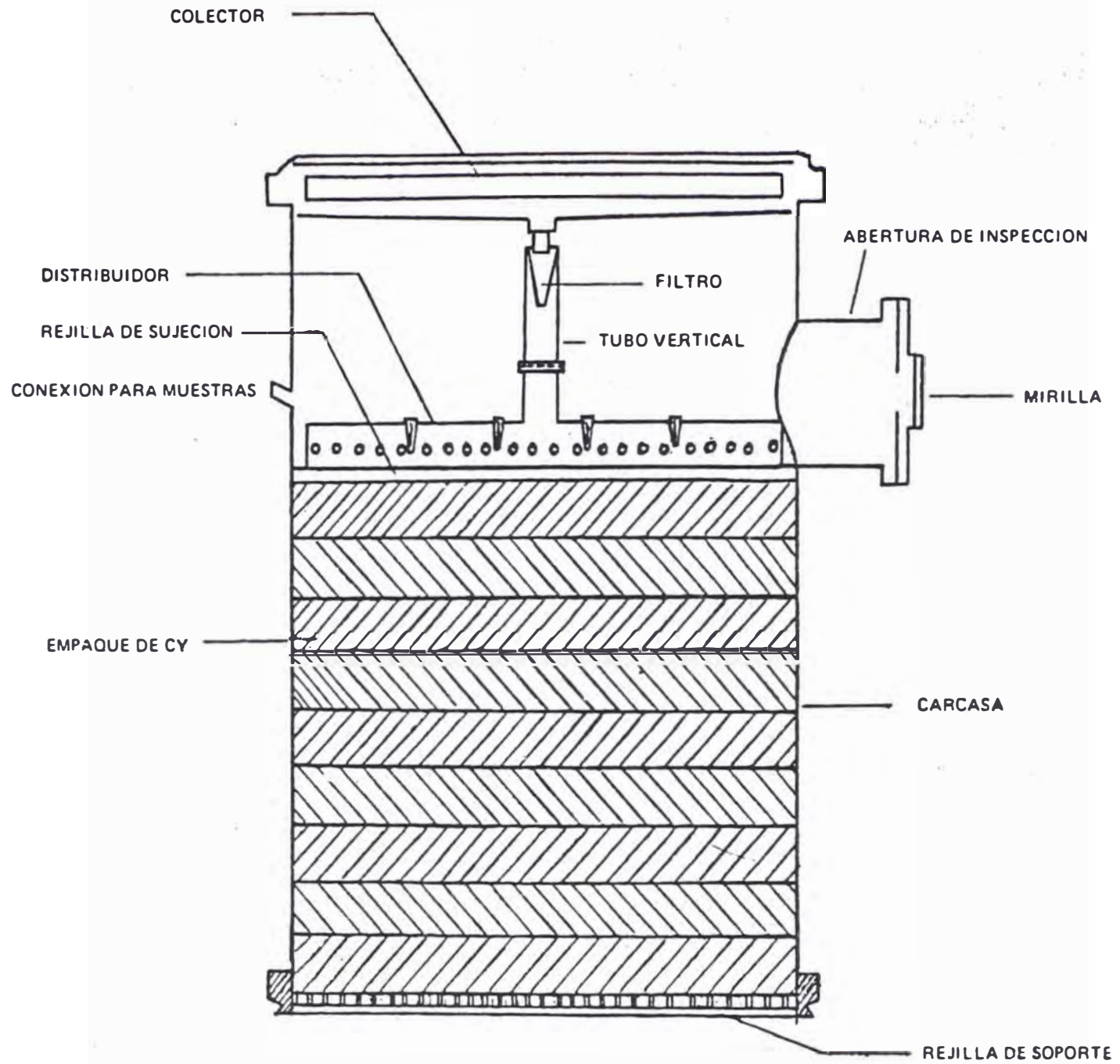


Fig. 6.2. Sección de Columna

líquidos. El colector y los distribuidores están situados entre cada "paquete" o sección de relleno, a los efectos de mantener un flujo descendente uniforme de líquido distribuido sobre el total de la sección transversal de la torre, para contrarrestar la tendencia a canalizarse que tiene el líquido, con lo cual se reducirá la superficie disponible para el intercambio de H_2O y D_2O . Cada sección está equipada con dos mirillas, un pasahombre y una válvula de muestreo. Catorce de las secciones están provistas con puntos de alimentación. El sumidero tiene una capacidad suficiente como para contener todo el conjunto de líquido de la torre, para el caso de una detención de emergencias.

6.2.1.1.- Relleno Sulzer

El relleno Sulzer de cada sección de la torres es un "paquete" ordenado uniformemente que consiste en tiras paralelas de tejido de alambre corrugado oblicuamente, y dispuestas en forma vertical.

El ángulo de inclinación de las corrugaciones de cada tira lleva sentido de orientación opuesta a la adyacente. De ésta manera se forma una serie de pasadas de flujo cruzado entre cada capa individual. El relleno viene de fábrica dentro de los cilindros de un diámetro levemente inferior al de la columna. Los sucesivos elementos de relleno se colocan escalonados a 90° . La corriente de vapor resulta mezclada lateralmente como consecuencia de la corrugación oblicua y escalonada, mientras el líquido se escurre zigzagueando hacia abajo.

El efecto de capilaridad de la malla induce un mojado uniforme y total. El reducido espesor de la película líquida y la turbulencia del flujo gaseoso tiene como resultado una rápida transferencia de masa entre ambas fases.

Las propiedades de mojado del relleno han sido mejoradas mediante un tratamiento activador. El revestimiento activador puede resultar destruído con un manejo inapropiado o por la presencia de impurezas en la alimentación.

6.2.2.- Hervidor

El hervidor es un vaporizador del tipo de película descendente calentado con vapor procedente del colector de vapor principal de la Planta Nuclear o del sistema de vapor auxiliar.

El líquido colectado en el sumidero se hace recircular a través del hervidor. El líquido se distribuye de una manera uniforme a cada tubo del haz, la cual tiene una disposición especial y desciende a lo largo de la pared interna de los tubos en forma de película. Aproximadamente 20% de esa película es evaporada. El vapor y la mezcla líquida retornan hacia el pie de la torre por encima del nivel del líquido, pero debajo de la primera sección de relleno. El vapor se eleva por dentro de la torre y el líquido se colecta en el sumidero desde donde es recirculado. El régimen de evaporación del hervidor se controla mediante el ajuste del flujo de vapor hacia el hervidor.

6.2.3.- Tanque de alimentación

El tanque de alimentación tiene una capacidad de 2000 litros. Cuando se llena por primera vez, su contenido es suficiente para un funcionamiento continuo de 40 horas bajo condiciones típicas de trabajo con un régimen de alimentación de 45 kg/hora de agua de un contenido isotópico de 30% (mol). El tanque está provisto con una mirilla para observación visual del mismo.

6.2.4.- Evaporador de alimentación

El evaporador de alimentación es un intercambiador de calor de coraza y tubos por las cuales pasa el vapor (procedente del colector de vapor principal o de hervidor auxiliar). El líquido del tanque de alimentación fluye por gravedad hacia el evaporador a un régimen gobernado por un controlador de flujo y la válvula de control.

El suministro de vapor al evaporador se controla en forma

automática, para mantener así un nivel constante de líquido dentro del evaporador, un régimen de evaporación y en consecuencia el régimen de alimentación líquida. Un eficiente deshumectador en la cabeza del evaporador, separa el líquido del vapor que entra en la línea de alimentación.

El evaporador de alimentación está concebido de manera que pueda instalarse una protección o blindaje adicional para proceder a la limpieza del mismo.

6.2.5.- Condensador

El condensador es un intercambiador de calor, de coraza y tubos montados en posición horizontal directamente encima de la columna de rectificación. El vapor que se eleva hacia lo alto de la columna fluye hacia el condensador. Por la parte interior de los tubos del mismo circula agua común de servicio.

Durante el funcionamiento normal, parte del condensado se extrae en calidad de producto del tope.

6.2.6.- Trampa de frío de la cabeza

La trampa de frío de la cabeza se encuentra montada directamente sobre el condensador de cabeza. Es un intercambiador de calor pequeño, horizontal, del tipo placa-tubo fijo. La trampa de frío se ventea hacia el sistema de vacío, con lo cual se mantiene a la torre con el vacío deseado.

El propósito de la trampa de humedad de cabeza es reducir la humedad de los no condensables atraídos hacia el sistema de vacío, y a la vez reduciendo el escape de D_2O y la posible liberación de tritio hacia la atmósfera.

6.2.7.- Bombas de vacío

Se han previsto dos bombas de vacío centrífugas con sello de

agua dentro de alojamientos herméticos accionados eléctricamente. Estas bombas requieren un suministro de agua limpia para su sellado enfriamiento. Cada bomba trabaja exteriormente a la presión atmosférica y a 100 mmHg en el interior. Normalmente funciona una sola bomba mientras la otra permanece en reserva.

6.3.- Localización del problema

El relleno Sulzer CY es una tela metálica de bronce revestido con una capa de óxido de cobre .

Desde el punto de vista operativo hay impurezas que disuelven el óxido de cobre y/o que afectan la humectabilidad del relleno, por lo tanto; es conveniente evitar su presencia en la alimentación de la torre.

TABLA 6.1.

Especificación del fabricante

Conductividad específica	< 0.3 ms/m
Amoníaco	< 1 ppm
Nitratos	no hay
Materia orgánica	< 40 ppm
pH	7-10
Aceite	< 50 ppm
Cloruros	< 1 ppm

En la Tabla 6.1, el fabricante proporciona algunas especificaciones límites para evitar cualquier daño en el relleno.

6.3.1.- Taponamiento del distribuidor

El efecto visual que observaron los operadores, se refiere al mal funcionamiento de los distribuidores. Estos distribuidores no cumplían su función debido a un posible taponamiento.

Se plantean diversas hipótesis al problema generado, de las cuales podrían ser: disolución de la capa protectora del relleno, corrosión generalizada, ataque localizado o por falla de adherencia en la cubierta de óxidos.

El estudio de los sólidos por rayos X, demostraron la presencia de monóxido, dióxido de cobre más pequeñas y cobre metálico.

Este problema se localizó en el relleno superior al punto de alimentación.

6.3.2.- Detección de contaminantes

Una vez detectado el problema de taponamiento, el siguiente paso era controlar la presencia de contaminantes en el sistema, para lo cual se analizaron los flujos de salida, es decir el destilado en el tope y el producto en el fondo. El análisis permitió determinar que especies fueron las posibles causantes de los daños ocasionados al relleno de la torre.

Los análisis mostraron variada evidencia respecto a la presencia de impurezas en el sistema:

- Alta conductividad y bajo PH en la calota del evaporador de cola.
- Presencia de cobre en calota.
- Especies no volátiles provenientes del arrastre de líquido en el evaporador de alimentación.
- Especies volátiles del tipo amoníaco y dióxido de carbono en la alimentación, provenientes del procesamiento de los sistemas de recuperación de vapor del agua pesada.
- Presencia de materia orgánica.

Este análisis nos permite plantearnos tres posibles contaminantes, el amoníaco, dióxido de carbono y dado el pH bajo en la calota un anión de ácido fuerte.

7.0.- Análisis del Balance de Masa

En el Capítulo precedente, se ha analizado el problema de contaminación de la torre de enriquecimiento de agua pesada y los efectos originados en la operación del sistema.

El interrogante que se plantea, es determinar cuáles de las secciones rellenas han sido dañadas. Para ello, debe conocerse la evolución de la concentración de contaminantes y el pH de la solución a lo largo de la columna, hasta alcanzar el estado estacionario. Este último valor, por ejemplo, permitiría, contrastándolo con los límites fijados por el fabricante, evaluar el daño por corrosión del relleno.

7.1.- Especies Químicas Contaminantes

Las especies más comunes en el sistema refrigerante en Centrales Nucleares son el dióxido de carbono y el amoníaco. El primero proviene de la contaminación con la atmósfera y en menor proporción por degradación de compuestos orgánicos, el segundo se origina por descomposición térmica de la hidracina, producto que se agrega al agua del reactor para controlar el nivel de oxígeno del mismo.

La especie aniónica fuerte, no es común en el agua del reactor que alimenta a la torre de enriquecimiento, ya que éstas especies generalmente quedan retenidas en los lechos de resina. Pero, el bajo pH del agua encontrado en el fondo de la torre sugeriría la presencia de éstas.

7.1.1.- Amoníaco

En reactores refrigerados por agua para minimizar la corrosión es fundamental guardar niveles bajos de oxígeno en el agua. Uno de los métodos mas usuales es el empleo de la hidracina.

7.1.1.1.- Productor de amoníaco en Centrales Nucleares

La hidracina se inyecta en los sistemas refrigerantes de los reactores nucleares para el control redox del agua, ya que reduce al O_2 presente en el medio de acuerdo a la siguiente reacción:



Los principales factores que determinan la velocidad del proceso son: exceso de hidracina, concentración inicial de O_2 , la temperatura y el pH del medio. Una de las ventajas del uso de hidracina es que su descomposición y productos de oxidación no aumentan el contenido de sólido disuelto del agua como se puede observar en la ecuación (7.1). La solución además es mantenida a pH alcalino minimizando la corrosión de los acero al carbono e inoxidable.

A temperaturas mayores de $250^\circ C$, la hidracina sufre una rápida descomposición según la ecuación:



que compite con la anterior y cuyo rendimiento es función de varios parámetros similares al que mencionamos para la ecuación (7.1)

Se localiza la producción de amoníaco en los generadores de vapor ya que en ese lugar se alcanzan las mayores temperaturas del circuito secundario y donde el rendimiento de la ecuación (7.2) es alto.

7.1.1.2.- Fisicoquímica del Amoníaco

El amoníaco a temperatura ambiente es un gas ya que su punto de ebullición es de $-33,43^\circ C$.

Su constante de distribución es baja con respecto a otros gases

tales como O_2 , N_2 , CO_2 , para la misma temperatura, esto quiere decir que el amoníaco es más soluble en agua que los otros. Por ejemplo, se puede citar que a $T=25^\circ C$ $K_{dNH_3} = 25$, $K_{dO_2} = 24900$, $K_{dN_2} = 40200$, $K_{dCO_2} = 1543$ la constante de distribución del NH_3 está dado por:

$$K_{dNH_3} = \frac{[NH_3]_V}{[NH_3]_L} \quad (7.3)$$

donde $[NH_3]_V$ es la concentración de NH_3 en fase vapor y el $[NH_3]_L$ es la concentración de NH_3 gaseoso en el líquido.

El amoníaco se hidroliza mediante la siguiente reacción:



La cual, produce en solución un medio alcalino. La constante de hidrólisis de amoníaco será:

$$K_B = \frac{[NH_4^+][HO^-]}{[NH_3]} \quad (7.5)$$

Esto nos permite decir, que sólo una pequeña fracción del gas disuelto se hidroliza dependiendo de la constante de basicidad y ésta de la temperatura.

Podemos decir entonces, que el amoníaco total en el líquido está dado por:

$$[NH_3]_T = [NH_3]_L + [NH_4^+] \quad (7.6)$$

donde $[NH_3]_L$ = es el amoníaco en el líquido no hidrolizado.

$[NH_4^+]$ = es la fracción de amoníaco en el líquido hidrolizado.

7.1.2.- Dióxido de Carbono

Es muy común encontrar en el aire del ambiente, dióxido de carbono, el cual es fácilmente absorbido por el agua.

Es por ésta razón, que el agua está generalmente contaminada por este gas.

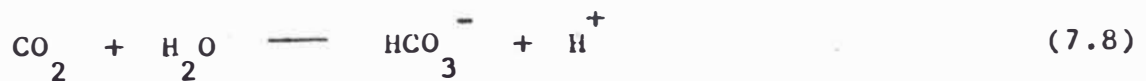
7.1.2.1.- Fisicoquímica del dióxido de carbono

Cuando el CO_2 es disuelto en agua pura a una dada temperatura y presión se produce un equilibrio químico entre el CO_2 disuelto y el de la fase gaseosa, que se describe por medio de la constante de distribución, que se define como:

$$K_{d\text{CO}_2} = \frac{[\text{CO}_2]_V}{[\text{CO}_2]_L} \quad (7.7)$$

El análisis de esta expresión se complica por la presencia de reacciones de disociación en la fase acuosa.

El CO_2 en fase acuosa se hidroliza y se expresa en las siguientes reacciones:



Se puede observar que absorción de CO_2 por el agua causará una disminución del pH.

Las constantes de acidez del dióxido de carbono para la primera y la segunda reacción se expresan como sigue:

$$K_1 = \frac{[\text{HCO}_3^-] [\text{H}^+]}{[\text{CO}_2]} \quad (7.10)$$

$$K_2 = \frac{[\text{CO}_3^{=}] [\text{H}^+]}{[\text{HCO}_3^-]} \quad (7.11)$$

La constante de disociación de la primera reacción es mucho mayor que la segunda. Es así que en la fase líquida se tendrá:

$$[\text{CO}_2]_T = [\text{CO}_2]_L + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{=}] \quad (7.12)$$

donde $[\text{CO}_2]_T$: es la concentración total en la fase líquida

$[\text{CO}_2]_L$: es la concentración de CO_2 en la fase líquida no disociada.

$[\text{HCO}_3^-]$, $[\text{CO}_3^{=}]$: son concentraciones de las especies disociadas.

7.2.- Arrastre en torres empacadas

En los últimos años se han desarrollado variados rellenos contruidos con láminas o tejidos (metálicos o de otros materiales) unidos en forma de ondas y luego ordenadas regularmente, para conformar un cuerpo relleno. El gas fluye por los canales así formados y el líquido corre sobre la superficie sólida en forma de una fina película. El empleo de tejidos en lugar de láminas, asegura por efecto de tensión superficial, un mejor mojado.

En la bibliografía no es común hallar información relacionado con arrastre de líquidos por gas en lechos empacados. En el caso de rellenos "random" esto puede ser justificado desde el punto de vista de las condiciones de operación y sus características hidráulicas. Los rellenos random llegan al punto de inundación mucho más abruptamente que el de tipo de relleno regular, por esta razón es conveniente mantener adecuadamente lejos del punto de inundación. Sin embargo, el rango de operación con arrastre es pequeño. Aunque debido a diferentes comportamientos hidráulicos del sistema, los rellenos regulares en este sentido tienen mayor rango de operación.

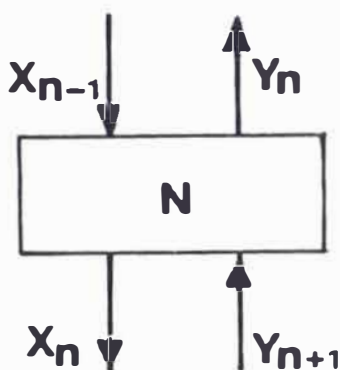
En este caso el arrastre de líquido por gas es de mayor importancia que en caso de rellenos random.

7.2.1.- Modelos de arrastre

Se han hecho estudios de arrastre para rellenos regulares asumiendo reflujo total y flujo molar constante, en la cercanía del punto de inundación. La importancia de conocer el comportamiento en dicha zona reside en que está incluida en el rango de operación económica de la columna.

Tanto Iribarren, 1982; (20) como Spekuljak, 1985; (37) presentaron trabajos referidos a éste tema los cuales serán discutidos a continuación.

Si definimos un tramo de columna cuyo efecto es el de un plato teórico:



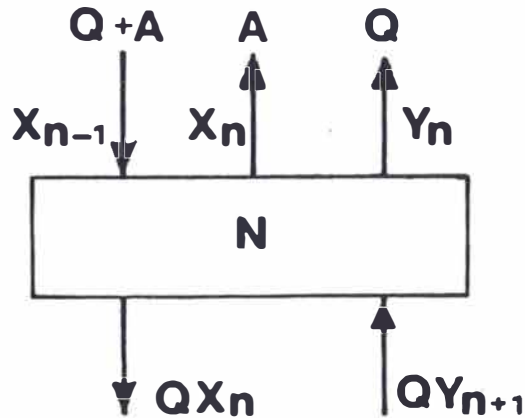
$$E_f = (Y_n - Y_{n+1}) / (Y_n^* - Y_{n+1}) \quad (7.13)$$

Por cuanto $Y_n = Y_n^*$ en un sistema sin arrastre, $E_f = 1$.

Para las condiciones de reflujo total y considerando los caudales constantes a lo largo del tramo de la columna el balance resulta ser:

$$Q Y_n = Q Y_{n+1} + Q X_{n-1} - Q X_n \quad (7.14)$$

Si atribuimos la pérdida de eficiencia con la cercanía del punto de inundación, a un efecto de retromezclado axial y lo identificamos con un modelo de arrastre de líquido por la corriente gaseosa, tendremos:



El balance queda:

$$Q Y_n + A X_{A_n} - A X_{n-1} = Q Y_{n+1} + Q X_{n-1} - Q X_n \quad (7.15)$$

Comparando con la ecuación (7.14.) se define una composición equivalente " \tilde{Y} " del gas que egresa como:

$$\tilde{Y}_n = Y_n + \frac{A}{Q} X_{A_n} - \frac{A}{Q} X_{n-1} = Y_n + \frac{A}{Q} (X_{A_n} - X_{n-1}) \quad (7.16)$$

donde \tilde{Y}_n tiende a Y_n cuando A tiende a cero.

La eficiencia con arrastre sería entonces:

$$E_f A = (\tilde{Y}_n - Y_{n+1}) / (Y_n - Y_{n+1}) \quad (7.17)$$

Para Iribarren (20) la composición del arrastre, es la que viene del plato n , esto es $X_{A_n} = X_n$. Con esta suposición, se tendría en la

ecuación (7.16) que:

$$\tilde{Y}_n = Y_n + \frac{A}{Q} (X_n - X_{n-1}) \quad (7.18)$$

Con lo que en la ecuación (7.17) se tendría:

$$E_f A = [Y_n - Y_{n+1} + \frac{A}{Q} (X_n - X_{n-1})] / (Y_n - Y_{n+1}) \quad (7.19)$$

$$E_f A = 1 + \frac{A}{Q} (X_n - X_{n-1}) / (Y_n - Y_{n+1}) \quad (7.20)$$

De la ecuación (7.15) se obtiene:

$$Q (Y_n - Y_{n+1}) + A (X_n - X_{n-1}) = -Q (X_n - X_{n-1}) \quad (7.21)$$

Como en este caso $X_n = X_{n-1}$, se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{X_n - X_{n-1}}{Y_n - Y_{n+1}} = -Q / (A + Q) \quad (7.22)$$

La ecuación (7.22) en la ecuación (7.20), resulta:

$$E_f A = 1 + \frac{A}{Q} (-Q / (A + Q)) = 1 - A / (A + Q) \quad (7.23)$$

$$E_f A = 1 - e \quad (7.24)$$

donde "e" es el arrastre relativo, en la cual se puede observar que cuando A se hace grande $E_f A$ tiende a 1, y a cero cuando A es muy pequeño.

Para Spekuljak (37), $X_n = (X_n + X_{n-1}) / 2$, con ésta suposición se

tendría de la ecuación (7.16) lo siguiente:

$$\tilde{Y}_n = Y_n + \frac{A}{2Q} (X_n - X_{n-1}) \quad (7.25)$$

De la ecuación (7.21) se tiene:

$$(X_n - X_{n-1}) / (Y_n - Y_{n-1}) = - 2Q / (2Q + A) \quad (7.26)$$

De donde la eficiencia con arrastre estará dada por:

$$E_{fA} = 1 - A / (2Q + A) \quad (7.27)$$

En esta parte podemos concluir que el arrastre de líquido obtenido por Spejuljak (37) es aproximadamente el 50% de lo que obtiene Iribarren (20). De los dos modelos, el arrastre relativo obtenido por Iribarren (20) es similar al de la bibliografía (38) para columnas de platos. Esto era de esperar, dado que asume como concentración de arrastre la del plato inferior.

Lo asumido por Spekuljak (37) es acertado, dado que en estado estacionario entre dos HEPT, asciende una cierta cantidad de líquido arrastrado con una concentración X_n y en el mismo instante baja la cantidad arrastrada con una cantidad X_{n-1} y están en íntimo contacto. La concentración más representativa entre éstas dos etapas sería el promedio entre estas dos.

7.2.2.- Perfil de arrastre

Para evaluar el arrastre en cada etapa, debemos conocer el perfil definido para el arrastre a lo largo de toda la columna, dado que las correlaciones de arrastre específico en términos de velocidad del gas en forma generalizada no están disponibles, se debe echar mano de los parámetros del proceso.

La variación de la presión a lo largo de la columna incide en la velocidad de los gases, y por lo tanto el arrastre de líquido no será uniforme.

Debido a la caída de presión desde el tope hasta el fondo los HEPT inferiores muestran pequeños arrastres con respecto al tope de la columna.

Para tener disponible una situación cercana a la realidad, debemos asumir que el arrastre máximo en la torre se alcanza en el tope y el mínimo en el fondo.

Para nuestro trabajo, asumimos un perfil de arrastre lineal, donde el máximo valor estará en el tope y en el fondo el arrastre será cero.

De la hipótesis planteada, se puede representar la relación lineal de la forma siguiente :

$$\frac{E_1}{1} = \frac{E_2}{2} = \dots = \frac{E_{n-1}}{n-1} = \frac{E_n}{n} \quad (7.28)$$

Es evidente que los E_i son diferentes entre sí, por tal motivo esperamos que la eficiencia para cada etapa sea también diferente.

Para el estudio de nuestro sistema, podemos tomar el valor máximo del tope de la columna, ya que en este punto de la torre, desde el punto de vista de operación, es el más desfavorable (punto donde la velocidad del gas es máxima).

Si asumimos un valor máximo E_n , y dado que hemos asumido un perfil de arrastre lineal a lo largo de la columna, en el plato i ; el arrastre E_i será:

$$E_i = \frac{i}{n} E_n \quad (7.29)$$

donde E_n será el arrastre máximo en el plato n del tope de la columna.

7.3.- Balance de masa en la torre

La torre de destilación isotópica D_2O/H_2O cuenta con 19 rellenos cada una de los cuales equivalen a 20 platos teóricos. El balance de masa se hará de acuerdo al tipo de la especie contaminante que se presente, es decir volátiles y no volátiles.

Los volátiles tal como el CO_2 y el NH_3 tienen la característica de tener una parte hidrolizada y la otra disuelta. Por la consiguiente similitud en el balance de masa, como veremos más adelante. Los no volátiles en cambio sólo estarán en la fase líquida más no en la fase vapor, en nuestro caso será el anión de ácido fuerte representado como X .

Para el balance en la torre de estas especies, se dividirá la torre en cuatro partes:

- platos comunes.
- plato de alimentación
- Hervidor
- Condensador

Además si consideramos la ecuación general de balance de masa:

$$\text{Acumulación} = \text{generación} + \text{entrada} - \text{salida} \quad (7.30)$$

Para nuestro estudio, por condiciones de nuestro sistema no hay producción de especies dentro la torre por lo que el término de generación se anulará.

Entonces tendremos de la Ec. (7.30)

$$\text{Acumulación} = \text{entrada} - \text{salida} \quad (7.31)$$

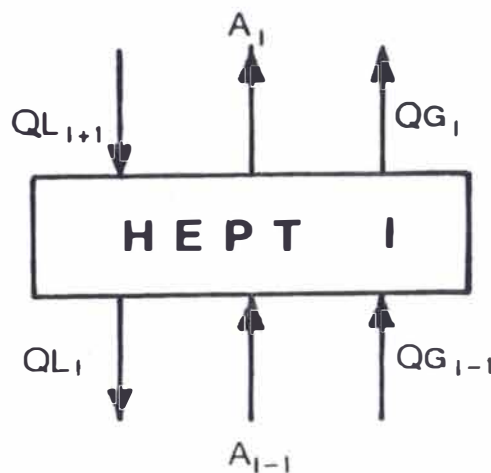
7.3.1. Balance para especies volátiles

El enfoque que se le va dar al problema es tal, que todas las

especies volátiles a considerar tienen tratamiento de balance similar. Dado a que las especies tienen una parte disuelta y la otra hidrolizada. Se ha definido en la ec. (7.6) y en la ec. (7.12) la concentración total en la fase líquida del $[\text{NH}_3]_T$ y $[\text{CO}_2]_T$. Se puede observar que no interesa el número de constantes de disociación que pueda tener la especie, igualmente se puede definir concentración total de la especie en fase líquida.

Por otro lado, su concentración en la fase vapor y en la fase líquida estará establecida por la ley de Henry o la constante de distribución para cada especie volátil.

7.3.1.1. Platos comunes



Haciendo un balance para la especie volátil NH_3 se tiene de la ecuación (7.31)

a) El término acumulación:

Si V_P es el volumen en litros de un tramo de relleno equivalente a un plato teórico HEPT y $[\text{NH}_3]_{TT}$ es la concentración total promedio en todo el plato, es decir, el promedio de la concentración del gas y líquido en el plato.

De donde se tiene la acumulación (moles/hr), para el plato I:

$$VP(I) \cdot \frac{d}{dt} [NH_3]_{TT} (I)$$

b) El término entrada:

- Transporte por el líquido desde el plato I+1

$$QL (I+1) \cdot [NH_3]_T (I+1)$$

siendo QL el flujo volumétrico del líquido en (lt/hr) y $[NH_3]_T$ es la concentración total de todas las especies del NH_3 en la fase líquida, (moles/lt).

- Transporte por el gas desde el plato I-1

$$QG (I-1) \cdot [NH_3]_V (I-1)$$

siendo QG el flujo volumétrico del gas (lt/hr) y $[NH_3]_V$ es la concentración (moles/lt) en la fase vapor.

- Transporte por arrastre de líquido desde el plato I-1

$$\frac{E(I-1)}{1-E(I-1)} \cdot QG (I-1) \cdot [NH_3]_T (I-1)$$

siendo E el arrastre relativo.

c) El término salida

- Transporte por el líquido desde el plato I

$$QL(I) \cdot [NH_3]_T (I)$$

- Transporte por el gas desde el plato I

$$QG(I) \cdot [NH_3]_V(I)$$

- Transporte por arrastre de líquido desde el plato I

$$\frac{E(I)}{1-E(I)} \cdot QL(I+1) \cdot [NH_3]_T(I)$$

Se reemplazará las variables $[NH_3]_T$ y $[NH_3]_V$ en función de $[NH_3]_{TT}$.

Definamos una constante aparente para el amoníaco como la relación de concentración de NH_3 en la fase vapor entre la concentración total de NH_3 en todas las especies en la fase líquida.

$$K_{APNH_3}(I) = \frac{[NH_3]_V(I)}{[NH_3]_T(I)} \quad (7.32)$$

Además, si definimos el volumen del plato teórico equivalente (VP) como:

$$VP(I) = VV(I) + VL(I) \quad (7.33)$$

donde VV es el volumen total de la fase vapor y VL es el volumen total de la fase líquida.

Podemos decir que las moles totales en el plato es igual a la suma de moles en la fase vapor, más las moles en la fase líquida. Es decir:

$$VP(I)[NH_3]_{TT}(I) = VV(I) \cdot [NH_3]_T + VL(I) \cdot [NH_3]_V \quad (7.34)$$

Reemplazando la Ec. (7.32) en la Ec (7.34), se obtiene:

$$[NH_3]_T(I) = \frac{[NH_3]_{TT}(I) \cdot VP(I)}{VL(I) + K_{APNH_3}(I) \cdot VV(I)} \quad (7.35)$$

De la ecuación (7.39) y la ec.(7.42)

$$[\text{NH}_3]_V(I) = \frac{\text{KAPNH}_3(I) \cdot [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(I) \cdot \text{VP}(I)}{\text{VL}(I) + \text{KAPNH}_3(I) \cdot \text{VL}(I)} \quad (7.36)$$

En función de la constante de distribución y la constante de hidrólisis del amoníaco definidas en la sección (7.1.1.2) y de la ec. (7.32), se halla la siguiente expresión de KAPNH_3 que como se puede observar es función del pH de la solución en el plato.

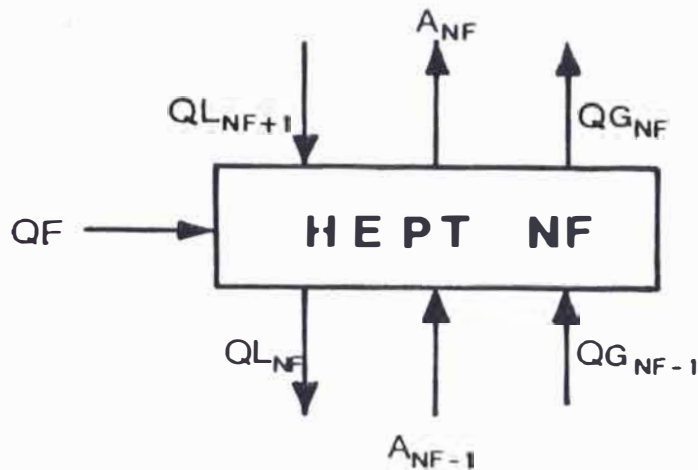
$$\text{KAPNH}_3(I) = \frac{\text{KdNH}_3(I)}{1 + \text{KB}(I) / [\text{H}^+]} \quad (7.37)$$

Reemplazando las ecuaciones (7.35) y (7.36) en a), b) y c) y ésta en la ecuación (7.31), se obtiene la ecuación para los platos comunes.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(I) = & + \frac{\text{QL}(I+1) \cdot [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(I+1) \cdot \text{VP}(I+1)}{\text{VP}(I) (\text{VL}(I+1) + \text{KAPNH}_3(I+1) \cdot \text{VV}(I+1))} \\ & + \frac{\text{QG}(I-1) \cdot \text{KAPNH}_3(I-1) \cdot \text{VP}(I-1) \cdot [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(I-1)}{\text{VP}(I) (\text{VL}(I-1) + \text{KAPNH}_3(I-1) \cdot \text{VV}(I-1))} \\ & + \frac{\text{E}(I-1) \cdot \text{QG}(I-1) \cdot [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(I-1) \cdot \text{VP}(I-1)}{(1-\text{E}(I-1)) \cdot \text{VP}(I) \cdot (\text{VL}(I-1) + \text{KAPNH}_3(I-1) \cdot \text{VV}(I-1))} \\ & - \frac{\text{QL}(I) \cdot [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(I)}{\text{VL}(I) + \text{KAPNH}_3(I) \cdot \text{VV}(I)} \\ & - \frac{\text{QG}(I) \cdot \text{KAPNH}_3(I) \cdot [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(I)}{\text{VL}(I) + \text{KAPNH}_3(I) \cdot \text{VV}(I)} \\ & - \frac{\text{E}(I) \cdot \text{QL}(I+1) [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(I)}{(1-\text{E}(I)) \cdot (\text{VL}(I) + \text{KAPNH}_3(I) \cdot \text{VV}(I))} \end{aligned} \quad (7.38)$$

7.3.1.2 Plato de alimentación

El balance para el plato de alimentación es similar al de los platos comunes. La única diferencia se encuentra en el término de alimentación que se incluirá en el balance de masa de la especie tratada. Se tiene para éste plato:



- Entrada de la especie:

- por el líquido del plato, F-1
- por el gas del plato, F-1
- por arrastre de líquido desde el plato, F-1
- por alimentación en el plato F

- Salida de la especie:

- por el gas desde el plato F
- por el líquido desde el plato F
- por arrastre desde el plato F

De todos estos términos el único que no fué tratado, es el término de entrada por alimentación.

Si la concentración en la alimentación es NH_3 TTF (moles/lit) y QF el flujo volumétrico de alimentación (lt/hr) se tiene :

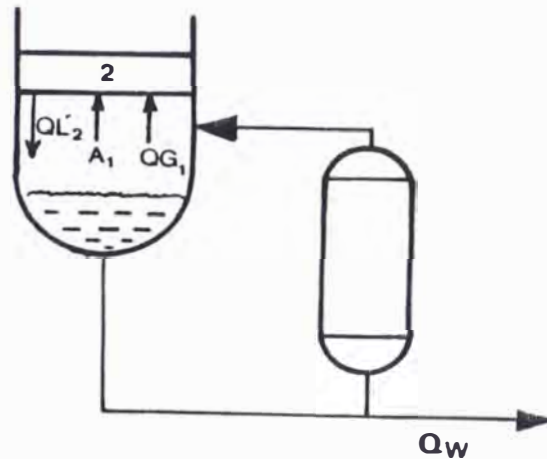
$$QF.NH_3 TTF$$

En la ecuación (7.31) se tiene la ecuación de balance para el plato de alimentación.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} [NH_3]_{TT}(F) = & + \frac{QL(F+1) \cdot [NH_3]_{TT}(F+1) \cdot VP(F+1)}{VP(F) \cdot (VL(F+1) + KAPNH_3(F+1) \cdot VV(F+1))} \\ & + \frac{QG(F-1) \cdot KAPNH_3(F-1) \cdot VP(F-1) \cdot [NH_3]_{TT}(F-1)}{VP(F) \cdot (VL(F-1) + KAPNH_3(F-1) \cdot VV(F-1))} \\ & + \frac{E(F-1) \cdot QG(F-1) \cdot [NH_3]_{TT}(F-1) \cdot VP(F-1)}{(1-E(F-1)) \cdot VP(F) \cdot (VL(F-1) + KAPNH_3(F-1) \cdot VV(F-1))} \\ & + \frac{QF.NH_3 TTF}{VP(F)} \\ & - \frac{QG(F) \cdot KAPNH_3(F) \cdot [NH_3]_{TT}(F)}{VL(F) + KAPNH_3(F) \cdot VV(F)} \\ & - \frac{QL(F) \cdot [NH_3]_{TT}(F)}{VL(F) + KAPNH_3(F) \cdot VV(F)} \\ & - \frac{E(F) \cdot QL(F+1) \cdot [NH_3]_{TT}(F)}{(1-E(F)) \cdot (VL(F) + KAPNH_3(F) \cdot VV(F))} \end{aligned} \quad (7.39)$$

7.3.1.3. Hervidor

Si comenzamos a enumerar los platos teóricos a partir del reboiler el plato del condensador sería $N_p + 1$.



Para nuestro caso el balance para el plato 1 sería:

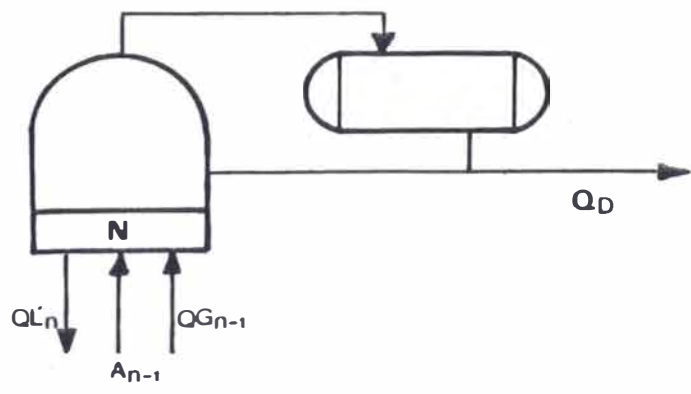
- Entrada de la especie al plato:
 - por el líquido desde el plato 2.
- Salida de la especie del plato:
 - por el líquido desde el plato 1 (Q_w).
 - por el gas desde el plato 1.
 - por arrastre del líquido del plato 1.

Reemplazando estos términos en la ecuación (7.31), se tiene para este plato la ecuación siguiente:

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(1) = & + \frac{QL(2) \cdot VP(2) \cdot [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(2)}{VP(1) \cdot (VL(2) + KAPNH_3(2) \cdot VV(2))} \\
& - \frac{QW \cdot [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(1)}{(VL(1) + KAPNH_3(1) \cdot VV(1))} \\
& - \frac{QG(1) \cdot KAPNH_3(1) [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(1)}{VL(1) + KAPNH_3(1) \cdot VV(1)} \\
& - \frac{E(1) \cdot QL(2) \cdot [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(1)}{(1-E(1)) \cdot (VL(1) + KAPNH_3(1) \cdot VV(1))}
\end{aligned} \tag{7.40}$$

7.3.1.4. Condensador

El balance para este plato es diferente a los otros por lo que lo trataremos aquí. Llamaremos el número total de platos teóricos incluido el rebuiler como N que es igual a Np + 1.



De la figura se tiene que:

- Entrada de la especie en el plato N:

- por el gas desde el plato N-1.
- por arrastre del líquido del plato N-1.

- Salida de la especie del plato N:

- por el líquido del plato N.
- por el destilado del plato N.

Reemplazando en la Ecuación (7.31), los términos expresados matemáticamente se obtiene:

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt} [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(N) = & + \frac{Q_G(N-1) \cdot K_{\text{APNH}_3}(N-1) \cdot V_P(N-1) \cdot [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(N-1)}{V_P(N) \cdot (V_L(N-1) + K_{\text{APNH}_3}(N-1) \cdot V_V(N-1))} \\
 & + \frac{E(N-1) \cdot Q_L(N) \cdot V_P(N-1) \cdot [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(N-1)}{(1-E(N-1)) \cdot V_P(N) \cdot (V_L(N-1) + K_{\text{APNH}_3}(N-1) \cdot V_V(N-1))} \\
 & - \frac{Q_L(N) \cdot [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(N)}{V_L(N) + K_{\text{APNH}_3}(N) \cdot V_V(N)} \\
 & - \frac{Q_D \cdot [\text{NH}_3]_{\text{TT}}(N)}{(V_L(N) + K_{\text{APNH}_3}(N) \cdot V_V(N))} \tag{7.41}
 \end{aligned}$$

En el último término de la ec. (7.41), dado a que la columna opera a baja presión, se espera que la concentración del gas sea baja.

Se ha supuesto para el balance, que la bomba de vacío no elimina apreciablemente los gases no condensables por lo consiguiente sólo se

elimina en el destilado.

7.3.2. Balance de especie no volátil

Se hizo referencia que el contaminante no volátil en nuestro caso será el anión de ácido fuerte. Dado a que se encontró un bajo PH en el fondo de la torre. La concentración de este ion en la fase gaseosa es cero debido a su comportamiento no volátil.

El balance a diferencia de las especies volátiles, no habrá salida ni entrada en la fase gas.

7.3.2.1. Platos comunes

Se ha definido anteriormente la concentración total media de la fase gas y líquida como $[X^-]_{TT}$ y la concentración total de especies en la fase líquida $[X^-]_T$. La primera pues, indicaría las moles de la especie en la fase vapor más las moles en la fase líquida entre el volumen total del plato VP. Esto era conveniente para especies volátiles dado a que una fracción de la especie estaba en fase vapor. En cambio para especies no volátiles la concentración en la fase vapor es cero, por lo que nos conviene referirlo al volumen de la fase líquida. La acumulación en la fase líquida de la especie es:

$$VL(I) \cdot \frac{d}{dt} [X^-]_T(I)$$

- Entrada desde el plato I + 1

$$QL(I+1) \cdot [X^-]_T(I+1)$$

- Entrada por arrastre desde el plato I-1

$$\frac{E(I-1)}{1-E(I-1)} \cdot QL(I) \cdot [X^-]_T(I-1)$$

- Salida del plato I

$$QL(I) \cdot [X^-]_T(I)$$

- Salida por arrastre de I

$$\frac{E(I)}{1-E(I)} \cdot QL(I+1) \cdot [X^-]_T(I)$$

En la ecuación (7.31) se tiene:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} [X^-]_T(I) = & \frac{QL(I+1) \cdot [X^-]_T(I+1)}{VL(I)} + \frac{E(I-1) \cdot QL(I) \cdot [X^-]_T(I-1)}{(1-E(I)) \cdot VL(I)} \\ & - \frac{QL(I) [X^-]_T(I)}{VL(I)} - \frac{E(I) \cdot QL(I+1) \cdot [X^-]_T(I)}{(1-E(I))} \end{aligned} \quad (7.42)$$

7.3.2.2. Plato de alimentación

La alimentación de fluido a la torre se hace, todo en fase vapor para eliminar posibles impurezas sólidas que dañen el relleno. Aplicando este razonamiento al ión de ácido fuerte, indicaría que no ingresa éste contaminante a la torre. Pero, si suponemos que una parte es arrastrado con el vapor de alimentación, podemos simular el comportamiento de ésta especie con respecto al ataque del relleno.

La ecuación a usar para el plato de alimentación será:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} [X^-]_T(F) = & \frac{QF \cdot XTTF}{VL(F)} + \frac{QL \cdot (F+1) [X^-]_T(F+1)}{VL(F)} \\ & + \frac{E(F-1) \cdot QL(F) \cdot [X^-]_T(F-1)}{VL(F) \cdot (1-E(F-1))} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{QL(F) \cdot [X^-]_T(F)}{VL(F)} \\
& - \frac{E(F) \cdot QL(F+1) \cdot [X^-]_T(F)}{VL(F) \cdot (1-E(F))}
\end{aligned}
\tag{7.43}$$

Donde F es el número del plato de alimentación.

7.3.2.3. Hervidor

La enumeración de los platos es de abajo hacia arriba es por esta razón, que el plato número 1 es el hervidor, siguiendo procedimientos anteriores se tiene para el balance de este plato la siguiente ecuación diferencial:

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} [X^-]_T(1) = & + \frac{QL(2) \cdot [X^-]_T(2)}{VL(1)} \\
& - \frac{QW \cdot [X^-]_T(1)}{VL(1)} \\
& - \frac{E(1) \cdot QL(2) [X^-]_T(1)}{VL(1) \cdot (1-E(1))}
\end{aligned}
\tag{7.44}$$

Se puede observar que el primer término del miembro de la derecha es el que baja del plato 2, el segundo término es el que sale por el fondo con el producto (D₂) y el tercer término es el que sale por arrastre del plato 1.

7.3.2.4. Condensador

En nuestro caso el condensador corresponde al plato N que será el número de platos más uno.

Siguiendo el mismo razonamiento anterior, se tiene el balance referido al volúmen de la fase líquida en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} [X^-]_{T(N)} = & + \frac{E(N-1).QL(N).[X^-]_{T(N-1)}}{VL(N).(1-E(N-1))} \\ & - \frac{QL(N).[X^-]_{T(N)}}{VL(N)} \\ & - \frac{QD.[X^-]_{T(N)}}{VL(N)} \end{aligned} \quad (7.45)$$

7.4. Balance de masa en el plato

Se ha observado en la sección (7.3) que las ecuaciones diferenciales halladas están en función de una constante aparente (KAP) que está definida por la ec. (7.32) para el amoníaco, pero, similarmente se puede definir para cualquier especie volátil hidrolizable. Aplicada al dióxido de carbono se tendría:

$$KAPCO_2 = \frac{[CO_2]_V}{[CO_2]_T} \quad (7.46)$$

donde $[CO_2]_T$ es la concentración total en fase líquida. Es decir está incluida todas las especies formadas por hidrólisis y el gas disuelto.

7.4.1. Balance de masa para cada especie

Siguiendo con la nomenclatura anterior y para un plato cualquiera, se tiene para el amoníaco la siguiente relación.

$$[NH_3]_{TT}.VP = ([NH_3]_L + [NH_4]^+).VL + [NH_3]_V.VV \quad (7.47)$$

Para el dióxido de carbono:

$$[\text{CO}_2]_{\text{TT}} \cdot \text{VP} = ([\text{CO}_2]_{\text{L}} + [\text{CO}_3\text{H}^-] + [\text{CO}_3^{=}]) \cdot \text{VL} + [\text{CO}_2]_{\text{V}} \cdot \text{VV} \quad (7.48)$$

Para el anión de ácido fuerte:

$$[\text{X}^-]_{\text{TT}} \cdot \text{VP} = [\text{X}^-]_{\text{T}} \cdot \text{VL} \quad (7.49)$$

7.4.2. Determinación de la concentración de cada especie

Haciendo un balance de carga en el plato se obtiene la siguiente ecuación:

$$[\text{H}^+] + [\text{NH}_4^+] = [\text{CO}_3\text{H}^-] + 2 [\text{CO}_3^{=}] + [\text{X}^-] + [\text{OH}^-] \quad (7.50)$$

De las ecuaciones (7.3) y (7.7) se despeja $[\text{NH}_3]_{\text{V}}$ y $[\text{CO}_2]_{\text{V}}$ obteniéndose;

$$[\text{NH}_3]_{\text{V}} = \text{KDNH}_3 \cdot [\text{NH}_3]_{\text{L}} \quad (7.51)$$

$$[\text{CO}_2]_{\text{V}} = \text{KDCO}_2 \cdot [\text{CO}_2]_{\text{L}} \quad (7.52)$$

La constante de ionización del agua está dado por:

$$\text{Kw} = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] \quad (7.53)$$

En la ecuación (7.5) se definió la constante de basicidad del NH_3 , despejando $[\text{NH}_4^+]_{\text{L}}$ y eliminando $[\text{OH}^-]$ con la ecuación (7.53) tenemos:

$$[\text{NH}_4^+] = \frac{\text{KB}}{\text{Kw}} \cdot [\text{NH}_3]_{\text{L}} \cdot [\text{H}^+] \quad (7.54)$$

Reemplazando la ecuación (7.51) y la ecuación (7.54) en la ecuación (7.47) se tiene:

$$[\text{NH}_3]_{\text{L}} = [\text{NH}_3]_{\text{TT}} \cdot (\text{A1} + \text{B1} [\text{H}^+])^{-1} \quad (7.55)$$

$$A1 = \frac{VL}{VP} + K_{DNH_3} \cdot \frac{VV}{VP}$$

$$B1 = \frac{KB \cdot VL}{K_w \cdot VP}$$

Si reemplazamos la ecuación (7.55) en la ecuación (7.54) obtenemos:

$$[NH_4^+] = \frac{KB}{K_w} \cdot [NH_3]_{TT} \cdot [H^+] \cdot (A1 + B1 [H^+])^{-1} \quad (7.56)$$

Similarmente se puede hacer el análisis para las especies del CO_2 en la solución.

De las ecuaciones (7.10) y (7.11) despejamos $[CO_3H^-]$ y $[CO_3^{=}]$, y se obtiene:

$$[CO_3H^-] = K_1 \cdot \frac{[CO_2]_L}{[H^+]} \quad (7.57)$$

$$[CO_3^{=}] = K_2 \cdot \frac{[CO_3H^-]}{[H^+]} \quad (7.58)$$

De las ecuaciones (7.57) y (7.58) despejando $[CO_3^{=}]$ se tiene:

$$[CO_3^{=}] = K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{[CO_2]_L}{[H^+]^2} \quad (7.59)$$

Reemplazando las ecuaciones (7.52), (7.57), (7.59) en la ecuación (7.48) obtenemos una relación de $[CO_2]_L$ en función de $[CO_2]_{TT}$.

$$[CO_2]_L = [CO_2]_{TT} \cdot \left(A2 + \frac{B2}{[H^+]} + \frac{C2}{[H^+]^2} \right)^{-1} \quad (7.60)$$

donde:

$$A2 = \frac{VL}{VP} + KDCO_2 \cdot \frac{VV}{VP}$$

$$B2 = K_1 \cdot \frac{VL}{VP}$$

$$C2 = K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{VL}{VP}$$

Si ahora reemplazamos la ecuación (7.60) en la ecuación (7.57) obtenemos una expresión para $[CO_3H^-]$

$$[CO_3H^-] = K_1 \cdot [CO_2]_{TT} \cdot (A1 \cdot [H^+] + B1 + \frac{C1}{[H^+]})^{-1} \quad (7.61)$$

Similarmente en la ecuación (7.59) se tiene:

$$[CO_3^{=}] = K_1 \cdot K_2 \cdot [CO_2]_{TT} \cdot (A1 \cdot [H^+]^2 + B1 \cdot [H^+] + C1)^{-1} \quad (7.62)$$

Habiendo hallado una relación de cada especie en la fase líquida dependiente de su concentración media total en todo el plato y la concentración de protones, se procederá a hallar una ecuación que nos permita determinar la concentración de $[H^+]$.

7.4.3. Determinación del pH

Si hallamos la concentración de protones en el plato, habremos logrado determinar el pH ya que $pH = -\log [H^+]$.

Si reemplazamos la concentración de cada especie halladas en la ecuación (7.56), (7.57), (7.58) y (7.59) en la ecuación (7.50) se obtiene

$$[X^-]_T + \frac{(2K_1 \cdot K_2 + K_1 \cdot [H^+]) \cdot [CO_2]_{TT}}{A2[H^+]^2 + B2[H^+] + C2} + \frac{Kw}{[H^+]} - [H^+] \dots$$

$$- \frac{KB \cdot [NH_3]_{TT} \cdot [H^+]}{Kw \cdot (A1 + B1 \cdot [H^+])} = 0 \quad (7.63)$$

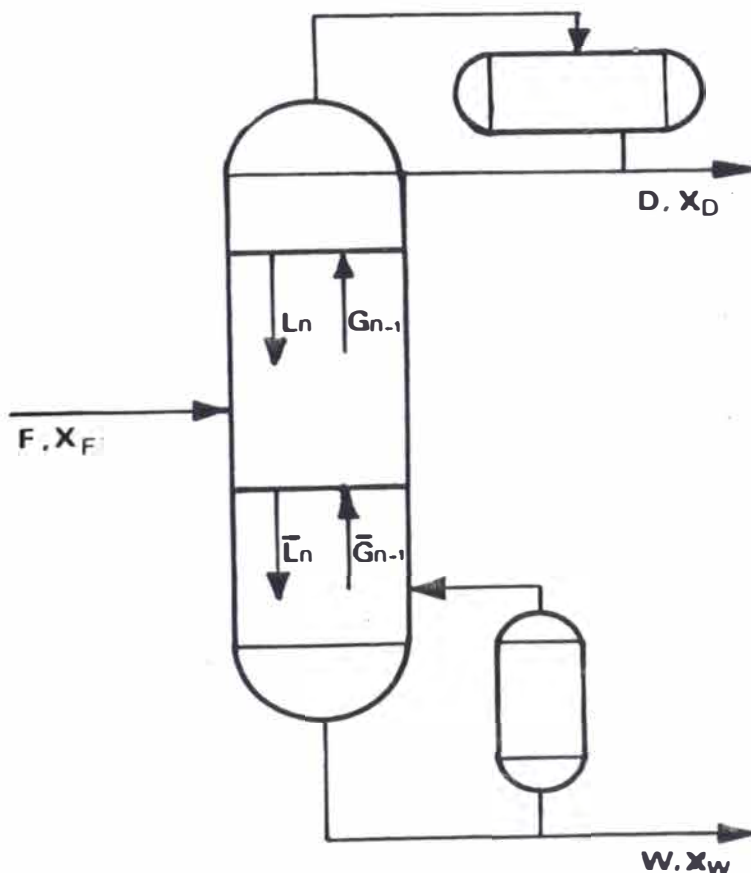
La ecuación (7.63) es una expresión de 5^o orden con respecto a la concentración de protones. Se usará el método de Rhapson-Newton para su resolución.

7.5. Determinación de parámetros de la torre

El sistema H_2O/D_2O son sustancias isotópicas muy similares en sus propiedades físicas y químicas. Además, la constante de volatilidad para este sistema es muy cercana a la unidad, es decir que la curva de equilibrio está muy pegada a la línea de 45^o.

7.5.1. Línea de operación

Para la determinación de los flujos molares utilizaremos el método de Mc. Cabe Thile.



Haciendo un balance total en todo el sistema.

$$D + W = F \quad (7.64)$$

Para el balance de un componente se tiene:

$$D \cdot X_D + W \cdot X_W = F \cdot X_F \quad (7.65)$$

Si conocemos el flujo de alimentación y la composición del D_2O que va ser regenerada, se pueden determinar los flujos de salida dado que se conocen las composiciones de éstas.

Las composiciones de los datos siguientes estan referidos al D_2O .

$$F = 45 \text{ kg/Hr} = 2419.355 \text{ mol/Hr}$$

$$X_F = 0.300$$

$$X_D = 0.005$$

$$X_W = 0.998$$

El flujo molar de alimentación, se obtuvo teniendo en cuenta la composición de la mezcla H_2O/D_2O .

Resolviendo las ecuaciones (7.64) y (7.65) se obtiene:

$$D = 1700.614 \text{ mol/Hr}$$

$$W = 718.741 \text{ mol/Hr}$$

Haciendo un balance en la zona de rectificación para un componente se obtiene:

$$G_{n+1} \cdot Y_{n+1} = L_n \cdot X_n + D \cdot X_D \quad (7.66)$$

Para nuestro sistema la línea de operación será una línea casi recta por lo que G_{n+1} y L_n serán constantes, de donde se puede eliminar los subíndices de la ecuación (7.66) y se obtiene:

TABLA 7.1

Sección	Fracción molar (X) de H ₂ O en fase líquida	Fracción molar (Y) de H ₂ O en fase vapor
1	0,00448	0,00450
2	0,00939	0,00945
3	0,01907	0,01922
4	0,03782	0,03812
5	0,07285	0,07345
6	0,13433	0,13544
7	0,23103	0,23296
8	0,35981	0,36282
9	0,49793	0,50210
10	0,61559	0,62075
11	0,70000	0,70587
12	0,77926	0,78344
13	0,84832	0,85116
14	0,90162	0,90350
15	0,93928	0,94036
16	0,96404	0,96464
17	0,97066	0,97996
18	0,98923	0,98934
19	0,99500	0,99500

$$Y_{n+1} = \frac{L}{G} \cdot X_n + \frac{D}{G} \cdot X_D \quad (7.67)$$

Para la zona de agotamiento, por el mismo razonamiento anterior se tiene para la línea de operación en esta zona la siguiente relación:

$$Y_{n+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{G}} \cdot X_n - \frac{W}{\bar{G}} \cdot X_W \quad (7.68)$$

Se puede observar en las ecuaciones (7.67) y (7.68) son rectas cuya pendiente son respectivamente L/G y \bar{L} / \bar{G} .

En la Tabla (7.1) se encuentran tabulados los datos de composición en equilibrio a la salida de cada sección de la torre. Dado que la alimentación está en la sección 11, podemos ajustar estos puntos por regresión lineal de mínimos cuadrados, tanto para la zona de rectificación como para la zona de agotamiento. Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Zona rectificación:

$$\frac{L}{G} = 0.9878 \quad (7.69)$$

$$r = 0.99998$$

Zona de agotamiento:

$$\frac{\bar{L}}{\bar{G}} = 1.0084 \quad (7.70)$$

$$r = 0.99999$$

También se obtiene del balance de flujos en la zona de rectificación y agotamiento las siguientes expresiones:

$$G = L + D \quad (7.71)$$

$$L = G + W \quad (7.72)$$

Resolviendo las ecuaciones (7.69), (7.70), (7.71) y (7.72) se obtiene:

$$G = 139,395 \text{ mol/hr}$$

$$L = 137,694 \text{ mol/hr}$$

$$\bar{G} = 85,487.1 \text{ mol/hr}$$

$$\bar{L} = 86,205.8 \text{ mol/hr}$$

Estos valores cuando son expresados en flujos volumétricos no serán constantes, sino que variarán con la densidad de la mezcla.

7.5.2. Determinación del volumen del plato

En la ec. 7.33 se definió el volumen del plato (VP), en función de la fase líquida (VL) y el volumen de la fase vapor (VV). Para calcular éstos parámetros, se tiene como datos las dimensiones de la torre:

$$\text{Diámetro} = 1 \text{ m.}$$

$$\text{altura} = 68.5 \text{ m.}$$

de donde el volumen es :

$$V_{\text{torre}} = 53,800 \text{ lts.}$$

Según Meier, 1979; (26) el volumen de liquido retenido, en la columna es el 4% del volumen de la columna, esto es:

$$V_r = 2,152 \text{ lts.}$$

Este valor concuerda aproximadamente con el medido en forma experimental en la central, esto es:

$$V_R = 2,106 \text{ lts.}$$

De donde conociendo el número de platos, se calcula el volumen de la fase líquida en un plato, que será:

$$V_L = 5.5 \text{ lts}$$

Según Meier (26), el 85% del relleno Sulzer CY es vacío por lo que el volumen que ocupa la fase vapor en la torre será:

$$V_{\text{vacío}} = 45,730 \text{ lts.}$$

Si a éste volumen vacío, se le resta el ocupado por la fase líquida, se obtiene el volumen de la fase vapor en la torre, esta será:

$$V_{VT} = 43,624 \text{ lts.}$$

Por lo tanto, el volumen de la fase vapor en el plato será:

$$V_V = 115 \text{ lts.}$$

y

$$V_P = 120.5 \text{ lts.}$$

Es evidente, que estos valores pueden ser cambiados si se varía el número de platos, en el análisis.

8.- Método de cálculo

Como veremos más adelante, nuestro sistema así como muchos sistemas físicos dan como resultado un sistema de ecuaciones ordinarias de los cuales sus eigenvalores son muy distantes. Tales situaciones se dan en el estudio de reacciones químicas en fase gaseosa (14), reacción química exotérmica en reactor tubular (1,2). Teoría de circuitos (8) y control de procesos (11). Es común referirse a tales sistemas como "stiff".

Para la resolución de estos sistemas se usan varios métodos numéricos entre ellos están el Runge-Kutta modificado, Runge-Kutta implícito, métodos de extrapolación y otros métodos basados en la inclusión de segundas derivadas y exponencial de ajuste.

8.1.- Método numérico

Nuestro sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias después de nuestro balance plato a plato es de 381 ecuaciones. Las condiciones de contorno de éstas son a $t = 0$, la concentración de la especie $i = 0$, la resolución de éste sistema es dificultoso por la cantidad de incógnitas que se presentan.

Otro problema, es la posible inestabilidad del sistema dado que se presenta en el análisis, compuestos gaseosos cuya solubilidades son distantes entre sí, la cual nos hace sospechar de un posible sistema "stiff". Por esta razón, es conveniente el estudio de estabilidad, analizando los eigenvalores del sistema.

8.1.1.- Concepto de estabilidad

Cuando se trata de resolver un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias con condición inicial tal como:

$$\frac{dY}{dt} = Y' = f(t, Y) \quad t > t_0 \quad (8.1)$$

$$Y = Y_0 \quad t = t_0$$

Se inicia con un valor conocido de Y_0 en t_0 y el procedimiento siguiente, es calcular Y_1 a t_1 , Y_2 a t_2 ,Esto continúa tanto como se desee a lo largo de t .

El método de Runge-Kutta de cuarto orden selecciona un paso adecuado para el incremento de " t ", que en el método explícito es constante.

Para el caso de sistema "stiff" éste método es inapropiado debido a que los valores absolutos de sus eigenvalores son muy distantes.

La estabilidad de cada método, requiere que la longitud de paso sea inversamente proporcional al mayor valor de los eigenvalores, a lo largo de toda la integración, es así; que se requiere generalmente un gran número de pasos de integración.

Si examinamos un problema particular, asociado con la integración numérica de ecuaciones diferenciales, tal como:

$$Y' = A Y \quad (8.2)$$

donde $Y = [Y_1, Y_2]^T$, $Y(0) = [2, 1]^T$ y

y

$$A = \begin{vmatrix} -500.5 & 499.5 \\ 499.5 & -500.5 \end{vmatrix} \quad (8.3)$$

La solución de la ecuación (7.2) es:

$$\begin{aligned} Y_1(x) &= 1.5 e^{-x} + 0.5 e^{-1000x} \\ Y_2(x) &= 1.5 e^{-x} - 0.5 e^{-1000x} \end{aligned} \quad (8.4)$$

donde los eigenvalores de A son $\lambda_1 = -1000$ y $\lambda_2 = -1$. Ambos Y_1 e Y_2 tienen un término que decae rápidamente, pero; de las dos la correspondiente a λ_1 decaerá muy rápidamente hasta llegar a ser insignificante.

1

Por esta razón, después de una breve fase inicial de solución en

la cual el componente de λ_1 no es despreciable, se puede proseguir la integración numérica de la ecuación (8.2) con la longitud de paso (h), la cual es determinada solamente por el componente correspondiente a λ_2 .

Sin embargo, para una solución numérica estable la mayor parte de los métodos requieren que $[h \lambda_1]$ y $[h \lambda_2]$ sea limitado por un número pequeño entre 1 a 10. La estabilidad de la integración numérica de la ec. (8.2) será controlado por $[-1000 h]$ por ejemplo, para el método de Euler es necesario que $[-1000h] < 2$ dando un máximo estable de $h = 0.002$.

Aunque el componente de la solución correspondiente a λ_1 no es de interés práctico, el criterio de estabilidad absoluta nos fuerza a usar un valor de h extremadamente pequeño, para la integración. Como resultado el tiempo de computación para la integración de un sistema stiff puede llegar a ser excesivo.

8.1.2.- Estabilidad del sistema

Una vez planteada el sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias de la forma

$$\frac{dz}{dt} = f(z) \quad (8.5)$$

donde z puede representar a la especie NH_3 , CO_2 o X^- con condición inicial:

$$z(t_n) = z_n \quad (8.6)$$

a partir de las ecuaciones diferenciales se puede obtener el Jacobiano A dado por:

$$A_{ij} = \left(\frac{df_i}{dz_j} \right) z_n \quad (8.7)$$

Determinado el Jacobiano podemos obtener el polinomio

característico, resolviendo la expresión siguiente:

$$A - \lambda I = 0 \quad (8.8)$$

y el grado del polinomio característico, viene dado por el orden del Jacobiano.

Para seleccionar el método numérico adecuado para la integración del sistema Finlayson, 1980 (16) presenta unos valores para la relación, "indicador" de complejidad (stiff rate) definida como la razón del mayor a menor eigenvalor del sistema.

$$SR = \frac{|\lambda_{\max}|}{|\lambda_{\min}|} \quad (8.9)$$

Si: SR = 20 no es stiff
 SR = 1000 es stiff
 SR = 10^6 es muy stiff

Para nuestro sistema, la resolución de la ec. (8.8) nos dá como resultado un $\lambda_{\max} = -10^5$ y $\lambda_{\min} = -1$ y el SR = 10^5 . Esto nos permite visualizar la complejidad de nuestro sistema.

Debido a lo difícil del sistema, la integración será evaluada por el método Runge-Kutta semi-implícito, desarrollado por Rosenbrock, 1963 (32) Calahan y Abbott, (1967), Caillaud y Pabmanabhan, 1971 (7) y Michelsen, 1976 (28).

El paso queda acotado por la ec. (8.10):

$$t < \frac{P}{|\lambda_{\max}|} \quad (8.10)$$

Según Calahan (8) el valor P para el método, es P = 3, de donde el paso para nuestro sistema queda limitado por $t < 3 \times 10^{-5}$.

8.1.3.- Método Runge Kutta semi-implícito

El método usado por Michelsen (28) es una versión modificada del método de tercer orden desarrollado por Caillaud y Padmanabhan (7).

Michelsen, (28) demostró que el método usado en conexión con un simple ajuste de la longitud de paso es eficiente y exacta. Para el sistema dado en la ec.(8.5) y condición en la ec. (8.6). Se define el Jacobiano A definida por la ec. (8.7)

La integración para un tiempo $t_n + h$, se obtiene el vector solución Z_{n+1} de :

$$K_1 = h(I-haA)^{-1} f(z_n) \quad (8.11)$$

$$K_2 = h(I-haA)^{-1} f(z_n + b_{21} K_1) \quad (8.12)$$

$$K_3 = (I-haA)^{-1} (b_{31} K_1 + b_{32} K_2) \quad (8.13)$$

$$Z_{n+1} = Z_n + R_1 K_1 + R_2 K_2 + K_3 \quad (8.14)$$

donde:

$$a = 0.4358$$

$$b_2 = 0.75$$

$$b_{31} = -1/6a(8a^2 - 2a + 1)$$

$$b_{32} = 2/9a(6a^2 - 6a + 1)$$

$$R_1 = 11/27 - b_{31}$$

$$R_2 = 16/27 - b_{32}$$

Si se aplica al problema trivial, Michelsen (28) demuestra que el método es fuertemente estable en A.

8.1.3.1.- Extrapolación y ajuste del paso

La técnica usada para el ajuste de paso es como sigue: seleccionando el paso (h) se integra el sistema para este paso, produciendo un vector solución $z_{n+1}^0(h)$. Luego, se repite la integración pero, esta vez se ejecuta dos veces con paso (h/2) y se obtiene la solución $z_{n+1}^0(h/2)$.

La diferencia de estas integraciones da como resultado un vector diferencia "d":

$$d_{n+1} = z_{n+1}^0(h/2) - z_{n+1}^0(h) \quad (8.15)$$

El vector "d" es comparado con un vector tolerancia " e_i ". Si definimos q como el mayor valor absoluto de esta relación se tiene:

$$q = \text{Max}_i [d_i] / [e_i] \quad (8.16)$$

si $q < 1$, el resultado de la integración es aceptada y el vector solución es extrapolado mediante la ec. (8.17)

$$z_{n+1} = z_{n+1}^0(h/2) + 1/7 d_{n+1} \quad (8.17)$$

Si $q > 1$ los resultados son rechazados y la integración es repetida con pasos h/2 y h/4. Como la integración con h/2 se realizó anteriormente sólo se necesita realizar la integración con h/4 y proseguir como en el caso anterior.

Si es aceptado el paso, el siguiente paso se elige de:

$$h_{n+1} = h_n \cdot \min[(4q)^{-0.25}, 3] \quad (8.18)$$

La ec. (8.18) muestra que h crece cuando $q < 0.25$ y acelera hasta por un factor de 3 cuando $q = 1$.

8.2. Computación

- El desarrollo computacional del programa fué realizado en una IBM/370 modelo 158 y/o en una BASF 7/68 en FORTRAN IV G. A continuación se hará un resumen del programa.

8.2.1.- Descripción del programa

El programa fue desarrollado para determinar la distribución de contaminantes a lo largo de toda la columna, una vez ocurrido el transiente hasta alcanzar el estado estacionario.

Los resultados de salida muestran además de las concentraciones de las especies en la fase líquida, el pH de la solución, en el plato.

El programa consta de un programa principal y trece subrutinas, estas son las siguientes:

- Subrutina DATOS
- Subrutina STIFF
- Subrutina MET
- Subrutina JACINT
- Subrutina JACNH3
- Subrutina JACNO3
- Subrutina FUNINT
- Subrutina FUNNH3
- Subrutina FUNNO3
- Subrutina PLATO
- Subrutina FUN

- Subrutina FUNPRI
- Subrutina RESOL

Como se puede observar en el esquema de la Figura (8.1) las subrutinas principales son: DATOS, STIFF, MET y PLATO.

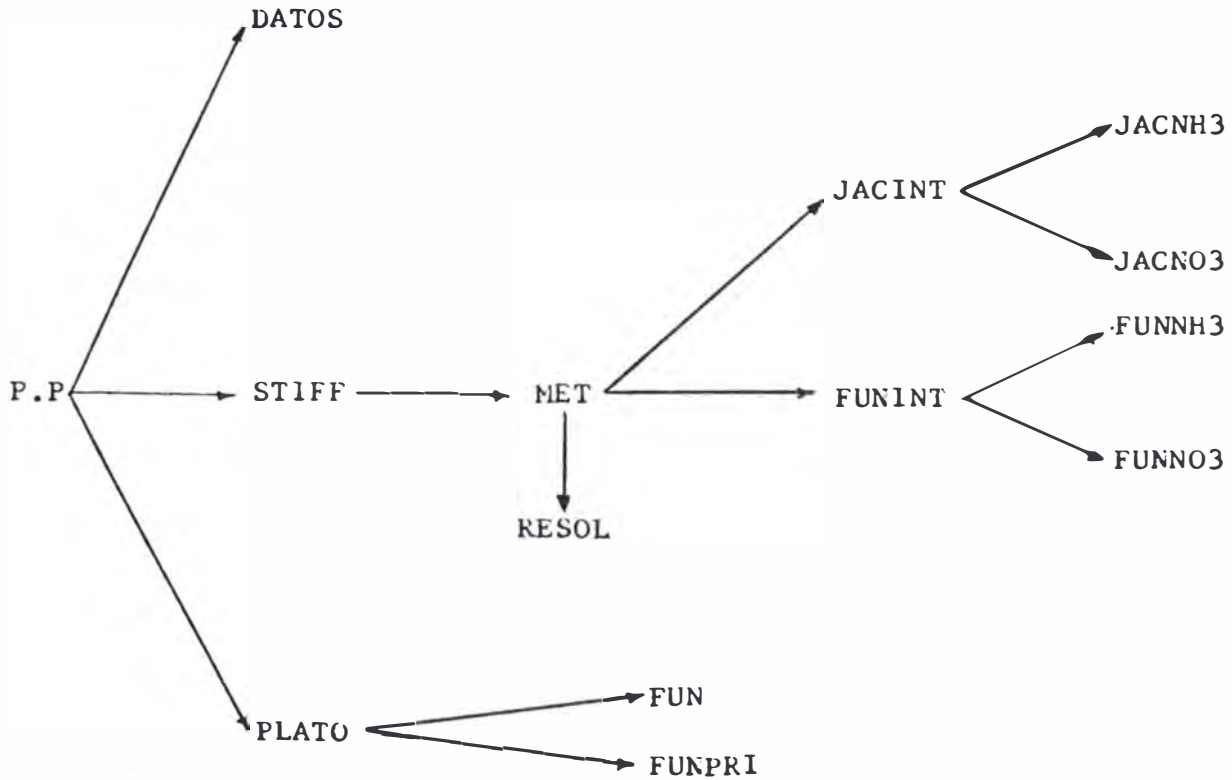


Fig.8.1 Diagrama simplificado del programa.

A continuación describiremos los datos de entrada, el programa principal y las subrutinas principales con sus subrutinas menores.

8.2.1.1.- Entrada de datos

- Flujo molar en la fase líquida y gaseosa en la zona de rectificación y en la zona de agotamiento:

$$LR = 137,694 \text{ mol/hr} \quad Gk = 139,395 \text{ mol/hr.}$$

$$Lb = 86,205.8 \text{ mol/hr} \quad Gb = 85,467.1 \text{ mol/hr}$$

- Caudales volumétricos del destilado, fondo y alimentación:

$$QD = 31.0038 \text{ lt/hr}$$

$$QW = 13.259475 \text{ lt/hr}$$

$$QF = 284950.14408 \text{ lt/hr}$$

- Paso inicial:

$$ACHEO = 10^{-6}$$

- Número de platos de la columna: $N = 381$

- Número del plato de alimentación: $NF = 191$

- Número de especies: $NES = 3$

- Número indicador de cada especie:

$$N1 = 1 \quad \text{Amoníaco}$$

$$N2 = 2 \quad \text{Dióxido de carbono}$$

$$N3 = 3 \quad \text{Anión de ácido fuerte}$$

- Valor inicial de protones para Newton-Raphson: $PROT = 10^{-13}$

- Error para la convergencia del Newton-Raphson: $ERROR1 = 10^{-5}$

- Máximo arrastre admitido: $EN = 0.1$

- Concentración de especies en la alimentación:

$$NH3TTF = 10^{-5} \text{ M} \quad \text{Amoníaco}$$

$$CO2TTF = 10^{-5} \text{ M} \quad \text{Dióxido de carbono}$$

$$NO3TTF = 10^{-5} \text{ M} \quad \text{Anión de ácido fuerte}$$

Los datos aquí planteados fueron variados de acuerdo a las necesidades del estudio realizado.

8.2.1.2. Programa principal

En principio el programa principal inicializa algunos parámetros como la constante aparente y la concentración de cada especie, genera la composición de H_2O en fase vapor y líquida en cada plato, la distribución de presiones a lo largo de la columna, la distribución de temperaturas. También genera una distribución de arrastre lineal.

Con ayuda de la subrutina DATOS se abastece de constantes fisicoquímicas como densidad del líquido y vapor según su temperatura y composición, masa relativa media, constantes de hidrólisis y constante de ionización. Aprovechando los datos que provee esta subrutina genera la distribución de caudales volumétricos en la fase líquida y vapor a lo largo de la columna.

Antes de llamar a la subrutina STIFF de los pasos obtenidos para cada especie se halla el menor, esta será el nuevo paso común para las especies.

La subrutina STIFF, es llamada una vez por cada especie cada avance de paso. Luego de ser distribuida las especies a lo largo de la columna, llama a la subrutina plato que distribuye las especies en el plato y calcula el pH .

Si cumple el error de estado estacionario termina si no continúa.

-Variables:

FY, FX = composición de H_2O en fase líquida y vapor para el sistema D_2O/H_2O .

PT = presión en un plato (PSI)

T = temperatura ($^{\circ}C$)

NH3TT = concentración de amoníaco en todo el plato (mol/lit)

KL = constante de ionización del agua

KB = constante de hidrólisis del amoníaco

KDNH3 = constante de distribución del amoníaco

KDCO2 = constante de distribución del CO2

8.2.1.4.- Subrutina STIFF

Esta subrutina hace la extrapolación y el ajuste del paso de acuerdo al algoritmo de Michelsen (28) referida en la secc. 8.1.3.

Llama la subrutina MET e integra para un paso ACHE, la integración lo almacena Y2, de la misma forma integra dos veces con medio paso (ACHEN), obteniendo Y1. La diferencia entre esta última y la primera, lo almacena en el vector EPS, luego es comparado con el error y almacenado en COMP, de éstas se halla el mayor valor que es almacenado en AMAX, si ésta es menor que 1, la integración es aceptada previo ajuste entre Y1 e Y2. Luego se ajusta el paso y se almacena en ACHE para la siguiente iteración si es mayor que 1 reduce a la mitad el paso y vuelve a repetir la integración hasta que cumpla la condición.

Los parámetros de entrada constantes son:

ID, N, NF, ERROR, QW, QG, VL, VP, VV, E, QD, QL, QF, NH3TTF, KAPNH3 donde:

ERROR = vector aceptado para la integración.

ID = matriz identidad.

NH3TTF = concentración de alimentación de cualquier especie.

KAPNH3 = constante aparente de cualquier especie

Parámetros de entrada y salida variables:

ACHE e Y

Y = Concentración de la especie integrada para el plato, entra con un valor anterior y sale con uno nuevo dado por avance de la integración

ACHE = el paso cambia o no de acuerdo al ajuste

NI = número que identifica a cada especie

8.2.1.5.- Subrutina MET

El algoritmo para la integración por el método Runge-Kutta semi-implícito de 4^o orden de Michelsen (28) tratada en la sección 8.1.3. fue programada en esta subrutina.

La subrutina JACINT es llamada para que sirva de intermediaria y seleccione a la especie que va ser evaluada. Si es volátil llama a JACNH3, si es no volátil llama JACNO3. Evaluada el Jacobiano de la especie seleccionada, llama a la subrutina FUNINT que similarmente es la intermediaria de FUNNH3 o FUNNO3 y evalúa la función de la especie considerada. Luego con ayuda de la subrutina RESOL resuelve las ecuaciones simultáneas tridiagonales, hallando seguidamente los vectores KUNO, KDOS, KTRES y obtenidos estos halla el vector de integración YN.

- Subrutina MET

Parámetro de entrada:

ACHE, ID, Y, N, QW, KAPNH3, QG, VL, VP, VV, E, QD, Q1, NH3TTF, NI, NF.

Parámetros de salida:

YN = vector integrado a partir del vector Y

- Subrutina JACINT

Parámetros de entrada:

QW, KAPNH3, QG, VL, VP, VV, E, QD, QL, NJ, N

Parámetros de salida:

A = matriz del Jacobiano

- Subrutina FUNINT

Parámetros de entrada:

NH3TT, QL, QG, VP, VL, VV, KAPNH3, E, QF, NH3TTF, QD, QW, NI, N, NF

Parámetro de salida:

FNH3 = vector función de la especie requerida.

-Subrutina RESOL

Parámetros de entrada:

IN = indicador.

N = Número de ecuaciones

A1 = vector de la subdiagonal

B1 = vector de la diagonal

C1 = vector del sobre diagonal

K = vector de constantes

Parámetro de salida

K = sale como vector solución

8.2.1.6.- Subrutina PLATO

La subrutina PLATO, resuelve la ecuación (7.63) por el método de Rhapsom-Newton obteniéndose la concentración de protones en cada plato, luego distribuye las diferentes especies en el plato.

Para resolver la ec. (7.63) llama a la subrutina FUN que evalúa la función y a la subrutina FUNPRI que evalúa la derivada de la función anterior con respecto a los protones.

Alcanzado el ERROR1, calcula el pH de la solución en el plato, NH3T, CO2T, NH4, CO3H, CO3, CO2L, NH3L, CO2V, NH3V, para luego con estos valores calcular las constantes aparentes KAPNH3 y KAPCO2, para cada plato.

Parámetros de entrada

NH3TT, CO2TT, NO3TT, KAPNH3, KAPCO2, K1, K2, KB, KW, ERROR1, PROT, KDNH3, KDCO2, VP, VL, VV.

Parámetros de salida:

PH, NH3V, NH3L, NHH, CO2V, CO2L, CO3, CO3H, CO2T, NH3T.

9. Importancia del Estudio

El presente trabajo fué realizado en la Comisión Nacional de Energía Atómica, de la república Argentina para un problema específico de la Central Nuclear de Embalse.

Los resultados obtenidos fueron aplicados adecuadamente por los operadores para un mejor funcionamiento y conservación de la torre de destilación isotópica de la Central.

Es evidente que nos preguntemos, ¿Cuál es la importancia de este estudio para nuestro país?. Para responder a esta pregunta podemos nombrar las más importantes, entre ellas se puede citar la siguientes:

9.1 Proyecto Nucleoeléctrico

En el transcurso de este año quedará inaugurado el reactor de Investigación de 10 Mw de potencia para la producción de radioisótopos de aplicación en la industria, medicina, agricultura, etc. Este hecho es el pimer paso del desarrollo nuclear en el Perú, el siguiente sería, empezar el estudio de factibilidad de una Central Nuclear en nuestro país. Para esto se necesita recopilar información y experiencias de otros países que tienen funcionando Centrales Nucleares que son comerciales.

El trabajo desarrollado aporta información sobre la tecnología de la producción y enriquecimiento de agua pesada. Además el problema analizado nos servirá de experiencia para tomar decisiones acertadas al respecto.

9.2 Aplicación del Método Numérico

Cuando en la industria se intenta abordar el diseño de un reactor de procesos químicos, el primer paso consiste en el análisis de las condiciones de equilibrio del sistema, en general, constituidos por reacciones múltiples. Es así que frecuentemente se obtiene sistemas que presentan gran diferencia en módulo de sus autovalores.

Cuando se utiliza para resolver el sistema por el método convencional de Raphson-Newton multivariable no converge.

Se propone entonces un método alternativo, que consiste en simular el sistema en estado transitorio y aplicar el algoritmo de Runge-Kutta de cuarto orden la cual requiere elevado tiempo de computo.

El método numérico aplicado al presente trabajo ha demostrado ser eficaz para este tipo de sistemas,,con lo cual se logra convergencia en un número reducido de iteraciones .

Tales sistemas se presentan por ejemplo en el estudio de reacciones químicas en fase gaseosa, reacción exotérmica en reactores tubulares (1), Control y procesos dinámicos (11), en análisis de torre de destilación como en nuestro caso, esto no limita la utilización en otro campo que presente sistemas "STIFF".

9.3 Aplicación de torres de rellenos Sulzer

La rectificación y la absorción cuentan en la industria química entre los procesos más importantes de separación de materias: Estas separaciones se realizan en columnas rellenas (irregulares) y de platos.

En los últimos años se ha observado una tendencia creciente hacia los rellenos regulares, que se caracterizan por menor pérdida de carga y mayor capacidad de separación, lo que se debe a razones siguientes: mejor separación de productos térmicamente inestables, un grado más elevado de pureza de los productos, reducción de los costos de energía con la disminución de la proporción de reflujo.

Los rellenos regulares desarrollados por la Sulzer en estos últimos años (CY, BX, MELLAPAK, KERAPAK) amplían considerablemente el campo de aplicación en la industria. En muchos casos ofrecen ventajas técnicas en comparación a los convencionales.

Los distintos rellenos son apropiados tanto para procesos de rectificación como de absorción y desorción.

gama de aplicación es extraordinariamente amplia de la cual sólo mencionaré algunos de estos, tales como la separación de:

-Sustancias afines de difícil separación, tales como los isómeros orgánicos. P.e para y metil Xileno.

1 Sustancias aromáticas y farmacéuticas.

Monómeros de material sintético.

Acidos grasos sintéticos y de alcoholes grasos.

En este trabajo se han presentado algunas ventajas de las torres rellenas de la Sulzer tipo CY tal como la mayor cantidad de platos teóricos en menor tamaño de columna, se proporciona suficiente bibliografía para que la industria nacional que tenga interés en implementar este tipo de columna realice el estudio necesario de costos para ver su rentabilidad.

REFERENCIAS

- 1.- Amudson, N.R., Cand. J. Chem. Eng. 43, 49 (1965)
- 2.- Amudson, N. R. y Luss, D., Cand. J. Chem. Eng. 46, 425 (1968)
- 3.- Bar-El K. y Klein, F.S., J. Chem. Soc. London 1378-1388 (1962).
- 4.- Becker, E.W., "Producción de agua pesada". Review Series N^o 21 of Development in the Peaceful Applications of Nuclear Energy. IAEA. Viena-Marzo (1962).
- 5.- Benedict, M. y Pigford, T.H., Nucl. Chem. Eng. Ed. Mc. Graw-Hill Book Company (1957)
- 6.- Benedict, M y Pigford, T.H., "Procesos de Obtención de Agua Pesada" Proc. 1st. Int. Conf. on the PUAE; Genova. 8, 377 (1955)
- 7.- Caillaud, J. B. y Padmanabhan, L., Chem. Eng. J. 2, 227 (1971)
- 8.- Calahan, D.S. y Abbott, N.E., "Stability Analysis of Numerical Integration" Proc. of 10th Midwest Symposium on Circuit Theory, Lafayette, Ind., May (1967).
- 9.- Corti, H.R. y Scopetta, D.A., Inf. Técnico NA/2/83
- 10.- Dalgard, S.B. y Sanford, M.O., "Materials Performance", 32, April (1982).
- 11.- Davinson, E.J., A.I.Ch.E.J. 14 (1) 46 (1968).
- 12.- Delmas, R., Courvoisier, P. y Ravoire, J., "Catalisis por Amidas del Intercambio Isotópico entre H₂ y NH₃ Líquido", J. chim. Phys. 62, 1423 (1965).
- 13.- Ellis, S.M.M., Jeffreys, G.V. y Hills, P., J. Appl. Chem., Aug. (1960).
- 14.- Eschenroeder, A.Q., Boyer, D.W. y Hall, G.J., J. Phys. Fluids, 5 (5) 15 (1982).
- 15.- Fernández Prini, R., Rozenberg, C., Tanaka, K. y Bates, R.G., J. Electroanal. Chem. 144, 415-422 (1983).
- 16.- Finlayson, B.A., "Nonlinear Analysis in Chem. Eng.". Ed. Mc. Graw-Hill Inc. (1980).

- 17.- Glasstone, S. y Sesonske, A., "Ing. de Reactores Nucleares". Ed. Reverte S.A. (1975).
- 18.- Gilbert, S., J. Am. Chem. Soc. 51, 2744 (1929).
- 19.- Hitch, B.F. y Mesmer, R.E., "The Ioniz. of Aq. Ammonia to 300^o C in KCl Media". J. Sol. Chemistry 5, (10) 667-680 (1976).
- 20.- Iribarren, O.A., "Eficiencia en rellenos regulares". Rev. Latinoam. Transf. Cal. Mat. 6, 321-332 (1982).
- 21.- Jones, M.E., "Ammonia Equilibrium Between vapor and liquid aqueous phases at elevated temperatures". J. Phys. Chem. 67, 1113 (1963)
- 22.- Kuk, M.S., "Key design variables in packed towers". Chem. Eng. Prog. May (1979).
- 23.- Lapidus, L., "Digital computer for chem. Eng.". Mc. Graw-Hill Book inc (1962).
- 24.- Lechatelier, J., "Plantas de D₂O por el proceso NH₃/H₂". Bull Inf. Sci. Tech. (Paris) 123, 21-26²(1968).
- 25.- Mahal, H.S. y Ventateswarlu, "Water Chemistry Studies-III use of hidrazina for scavenging dissolved oxygen in high temperature water" B.A.R.C.-530, Bombay-India (1971).
- 26.- Meier, W., "Columna Sulzer para fines de rectificación y absorción". Rev. Técnica Sulzer, Enero (1979).
- 27.- Mesmer, R.E. y Herting, D.L., "Thermodynamics of D₂O y D₂PO₄", J. Sol. Chem. 7 (12) 667 (1978).
- 28.- Michelsen, M.L., "An efficient general purpose method for the integration of stiff ODE" AIChE J. 22 (3) 593-597 (1976).
- 29.- Murphy, G., "Elementos de Ingeniería Nuclear". Ed. Continental S.A. (1962).
- 30.- Ravoire, J., Grandcollot, P. y Dirian G., J. Chim. Phys. 60, 130-138 (1963).
- 31.- Read, A.J., J. Sol. Chem. 11 (9) 649-679 (1982).
- 32.- Rosenbrock, H. H., Computer J. 5, 320-330 (1963).
- 33.- Salomaa, P., Vesala, A. y Vesala S., "Solvent Deuterium Isotope Effects on Acid-Base Reactions". Acta Chem. Scand. 23 (6) 2107-2115 (1969).

- 34.- Seinfeld, J.H., Lapidus, L. y Hwang, M., Ind. Eng. Chem. Fund. 9 (2) 266-275 (1970).
- 35.- Sherwood, T.K., Pigford, R.L. y Wilke, Ch.R., "Mass Transfer". Ed. Mc. Graw-Hill Book Comp. (1975).
- 36.- Stones, R., Chem. and Ind. (2), 120 Feb. (1957).
- 37.- Spekuljak, Z., "Liquid Entrainment in regular packings". Transfer J. 12 (6) (1985).
- 38.- Treybal, R.E., "Operaciones de transf. de masa". Ed. Mc. Graw-Hill (1980).
- 39.- Villegas, M., Larotonda, R., Fiorini, R., Piacquadro, N., y Saíenz, K.
"Estudios sobre relleno de la columna de enriquecimiento de D2O CNE"
XIV Reunión Científica AATN, Córdoba 1986
- 40.- Withelm, E., Bottino, R. y Wilcock, R.; Chem. Rev. 77, (2) 219-260 (1977).

APENDICE A

PROPIEDADES FISICAS DEL AGUA LIVIANA Y PESADA

Propiedad	Unidad	H ₂ O	D ₂ O
Peso molecular	¹² C escala	18.015	20.028
Punto de fusión	°C	0.00	3.81
Temperatura del punto triple	°C	0.010	3.82
Temperatura de máxima densidad	°C	3.98	11.23
Punto de ebullición	°C	100.00	101.42
Máxima densidad	g cm ⁻³	1.000	1.1059
Densidad a 25°C	g cm ⁻³	0.99701	1.1044
ΔH fusión al P.F.	Kcal mol ⁻¹	1.436	1.515
ΔS fusión al P.F.	u.e.	5.26	5.42
ΔH ^o vapor a 25°C	Kcal mol ⁻¹	10.52	10.85
ΔG ^o vapor a 25°C	Kcal mol ⁻¹	2.06	2.14
ΔS ^o vapor a 25°C	u.e.	28.39	29.22
ΔH ^{of} del líquido a 25°C	Kcal mol ⁻¹	-68.32	-70.41
ΔG ^{of} del líquido a 25°C	Kcal mol ⁻¹	-56.69	-58.20
S ^o del líquido a 25°C	u.e.	16.75	18.19
ΔH ^{of} del gas a 25°C	Kcal mol ⁻¹	-57.80	-59.56
ΔG ^{of} del gas a 25°C	Kcal mol ⁻¹	-56.64	-56.06
S ^o del gas a 25°C	u.e.	45.14	47.41

Propiedad	Unidad	H ₂ O	D ₂ O
Coeficiente de expansión térmica:			
Sólido al P.F.	°C ⁻¹	1.39.10 ⁻⁴	1.39.10 ⁻⁴
Líquido al P.F.	°C ⁻¹	-5.9.10 ⁻⁵	-3.2.10 ⁻⁵
Líquido a 25°C	°C ⁻¹	26.2.10 ⁻⁵	21.8.10 ⁻⁵
Presión de vapor del líq. a 25°C	mm Hg	23.75	20.51
Constante dieléctrica a 25° C	Debyes	78.39	78.06
Tensión superficial a 24°C	dina cm ⁻¹	71.97	71.93
Viscosidad a 25°C	cpoises	0.8903	1.107
Vibraciones fundamentales	cm ⁻¹	3657.05	2671.69
	cm ⁻¹	1594.59	1178.33
	cm ⁻¹	3755.79	2788.02
Constante de ionización a 25° C		1.10 ⁻¹⁴	1.95.10 ⁻¹⁵
Calor de ionización a 25°C	Kcal mol ⁻¹	13.45	14.42

APENDICE B

Correlaciones de constantes fisicoquímicas usadas en la Subrutina DATOS. Se puede observar su dependencia con la temperatura y con la composición isotópica.

DENSIDADES:

Correlación para la densidad del agua.

$$\rho = \sum_0 [A_n \cdot T^n / (1 + b \cdot T)]$$

	H ₂ O	D ₂ O
A ₀	0.9998396	1.104690
A ₁	18.224944.10 ⁻³	20.09315.10 ⁻³
A ₂	- 7.92221.10 ⁻⁶	- 9.24227x10 ⁻⁶
A ₃	-55.44846.10 ⁻⁹	- 55.9509x10 ⁻⁹
A ₄	1.497562.10 ⁻¹⁰	79.9512x10 ⁻¹²
A ₅	- 3.932952.10 ⁻¹³	0.0
b	18.159725.15 ³	17.9619x10 ⁻³

Constante de ionización del H₂O

$$PK_w = \sum B_n \cdot T^{-n} + \sum C_m \cdot T^{-m} \cdot \log (\rho_w)$$

B ₀	B ₁	B ₂	B ₃
-4.098	3245.2	-2.236x10 ⁵	-3.984.10 ⁷
C ₀	C ₁	C ₂	
-13.957	-1262.3	8.5641.10 ⁵	

Constante de ionización del D₂O:

$$PK_1 = PK_w + 0,3314.X + 0,0766.X^2$$

Constante de disociación del CO₂.

$$PK = A_0 + A_1 T + A_2.T^2$$

	A ₀	A ₁	A ₂
PK ₁	6.421	-4.52.10 ⁻³	4.64.10 ⁻⁵
PK ₂	10.483	-8.92.10 ⁻³	5.60.10 ⁻⁵

Para la mezcla isotópica H₂O/D₂O:

$$PK_{1_1} = PK_1 + 0.414.X + 0.1.X^2$$

$$PK_{1_2} = PK_2 + 0.404.X + 0.212.X^2$$

donde X es la composición isotópica de D₂O.

Constante de hidrólisis del amoníaco

$$\ln KB = U_0 + U_1.T^{-1} + U_2.\log(T) + U_3.T$$

U ₀	U ₁	U ₂	U ₃
2.76	-3335.7	1.4971	-3.70566.10 ⁻²

Constante de partición:

$$\ln KD = B_0 + B_1.T^{-1} + B_2 \log (T) + B_3.T$$

	B_0	B_1	B_2	B_3
CO_2	96.9929	-6789.04	-12.4519	$1.0454 \cdot 10^{-2}$
NH_3	13.32	- 4425	- 1	0


```

=224
DO 23 I=1,N
IF(I.GT.K) GO TO 24
PT(I)=4.6-0.0057466*I
GO TO 23
T(I)=3.33-0.00375*(I-K)
CONTINUE
DISTRIBUCION DE LA TEMPERATURA
T(I)=30.4855+12.65175*PT(I)-0.8350086*PT(I)**2
DETERMINACION DE CONSTANTES FISICOQUIMICAS
CALL DATOS(FX,FY,PT,T,K1,K2,KW,K8,KDNH3,KDCO2,DL,DV,VL,MV,N)
TERMINA CAUDALES LIQUIDO-VAPOR PLATO A PLATO
NR=NF+1
DO 15 I=NR,N
RL(I)=LR*ML(I)*1.E-3/DL(I)
RC(I)=CR*MV(I)/DV(I)
DO 14 I=1,NF
RL(I)=LR*ML(I)*1.E-3/DL(I)
RC(I)=CR*MV(I)/DV(I)
VALORES DE LOS VOLUMENES DEL PLATO, FASE LIQUIDA Y FASE VAPOR
DO 16 I=1,N
VP(I)=120.
VL(I)=5.
VV(I)=VP(I)-VL(I)
ERFIL DE ARRASTRE EN LA COLUMNA
DO 8 I=1,N
IF(I.NE.1) GO TO 30
E(1)=0.E0
GO TO 3
E(I)=EN/(N-I+1)
CONTINUE
VECTOR ERROR PARA EL METODO STIFF
DO 9 I=1,N
ERROR(I)=1.E-8
VALORES INICIALES DE LAS CONSTANTES APARENTES
DO 31 I=1,N
KAPNH3(I)=0.
KAPCO2(I)=0.
KAPNO3(I)=0.
DATOS DE CONCENTRACIONES DE ENTRADA A TIEMPO CERO.
ZONA DE FONDO
NR=NF-1
DO 10 I=1,NR
NH3TT(I)=0.
CO2TT(I)=0.
NO3TT(I)=0.
CONTINUE
EL PLATO DE ALIMENTACION: SE PUEDE TRATAR EL PROBLEMA
COMO UN PULSO O COMO UN ESCALON.

```

```

      NH3TT(NF)=0.0000
      CO2TT(NF)=0.0000
      NO3TT(NF)=0.0000
CCC ZONA DE ENRIQUECIMIENTO
      KR=NF+1
      DO 12 I=KR,N
      NH3TT(I)=0.
      CO2TT(I)=0.
      NO3TT(I)=0.
      12 CONTINUE
CCC
CCC MATRIZ IDENTIDAD
CC
      DO 6000 I=1,N
      DO 6000 J=1,N
      IF(I.EQ.J)GO TO 6100
      ID(I,J)=0.
      GO TO 6000
      6100 ID(I,J)=1.
      6000 CONTINUE
CCC
CCC INICIALIZA EL PASO IGUAL PARA CADA ESPECIE.
CCC
      DO 1 I=1,NES
      1 PASO(I)=ACHE0
      PA=0.
      PA1=0.
      200 ACHE=PASO(1)
      DO 2 I=2,NES
      2 IF(ACHE.GT.PASO(I)) ACHE=PASO(I)
      DO 3 I=1,NES
      3 PASO(I)=ACHE
CCC DETERMINA LA DISTRIBUCION DE ESPECIES PLATO A PLATO
CCC
      CALL STIFF(PASO(1),ID,NH3TT,N,NF,ERROR,QW,KAPNH3,QQ,VL,VP,VV,
      IE,QD,QL,QF,NH3TTF,N1)
      CALL STIFF(PASO(2),ID,CO2TT,N,NF,ERROR,QW,KAPCO2,QQ,VL,VP,VV,
      IE,QD,QL,QF,CO2TTF,N2)
      CALL STIFF(PASO(3),ID,NO3T,N,NF,ERROR,QW,KAPNO3,QQ,VL,VP,VV,
      IE,QD,QL,QF,NO3TTF,N3)
      PA=PA+ACHE
CCC
CCC INICIALIZA LA CONCENTRACION DE PROTONES.
      DO 13 I=1,N
      13 PROT(I)=PROT0
CCC
      DO 17 I=1,N
      17 NO3TT(I)=VL(I)*NO3T(I)/VF(I)
CCC
      DO 108 J=1,3
      108 S(J)=0.
      SMAX=10.
      ANH3T=NH3T(N)
      ANO3T=NO3T(N)
      ACO2T=CO2T(N)

```

FILE: ZB FORTRAN C CNEA2-7/68-VN/SP-CMS-REL3.1-PLCB404--SL365

```
CCC LLAMADO A LA SUBROUTINA QUE DISTRIBUYE LAS ESPECIES EN EL PLATO
CC
DO 60 I=1,N
CALL PLATO(NH3TT(I),CO2TT(I),K1(I),K2(I),K3(I),KW(I),CO2T(I),NH3
1T(I),ERROR1,PROT(I),NH3V(I),NH3L(I),CO2V(I),CO2L(I),NH4(I),CO3H(I
2),CO3(I),KDNH3(I),KDCO2(I),VP(I),VL(I),VV(I),KAPNH3(I),KAPCO2(I)
3,IT,PH(I),NO3T(I))
60 CONTINUE
CC
IF(ANH3T.GT.1.E-5.OR.ANO3T.GT.1.E-5.OR.ACO2T.GT.1.E-5) GO TO 101
GO TO 102
101 IF(ANH3T.EQ.0.) GOTO 103
S(1)=ABS((ANH3T-NH3T(N))*100./ANH3T)
103 IF(ANO3T.EQ.0.) GO TO 104
S(2)=ABS((ANO3T-NO3T(N))*100./ANO3T)
104 IF(ACO2T.EQ.0.) GO TO 105
S(3)=ABS((ACO2T-CO2T(N))*100./ACO2T)
105 NES1=NE3+1
SMAX=S(1)
DO 99 I=1,NES1
99 IF(S(I).GT.SMAX)SMAX=S(I)
IF(SMAX.LE.5.)GO TO 102
102 Z=PA-PA1
IF(Z.LE.3.E-2) GO TO 114
109 A=PA*3600.
WRITE(6,70)A
70 FORMAT('X',1X,'TIEMPO=',1X,E12.5,1X,'SEGUNDOS' X'/3241*')
WRITE(6,72)
DO 71 I=1,N
WRITE(6,81)I,PH(I),NH3T(I),CO2T(I),NO3T(I)
71 CONTINUE
72 FORMAT(' ',5X,'PLATO',12X,'PH',17X,'NH3T',17X,'CO2T',17X,'X-1')
81 FORMAT(' ',5X,I4,5X,E12.7,10X,E12.7,10X,E12.7,10X,E12.7)
PA1=PA
114 CONTINUE
IF(SMAX.GT.5.) GO TO 200
STOP
END
CCC
SUBROUTINE DATOS(X,Y,P,TD,K1L,K2L,KL,KE,KDNH3,KDCO2,DNH3L,DREDV
1,ML,MV,N)
REAL*4 MD20,MH20,LOGKW,KL(381),K1L(381),K2L(381),KDNH3(381)
1,TC(381),P(381),X(381),Y(381),K3(381),KL(381),MV(381),
1KDCO2(381),DNH3L(381),DREDV(381)
CC MD20=MASA RELATIVA D2O...MH20=MASA RELATIVA H2O...
CC R=CTE.UNIVERSAL DE LOS GASES(8TN.CMS/K.MOL)
CC TCRIT=TEMP.CRITICA...VCRIT=VOL. CRITICO
C
MD20=20.028
MH20=18.015
R=0.032
CC
A0=1.104670E0
A1=20.0931E-3
A2=-9.24227E-6
```

A3=-55.9509E-9
 A4=79.9512E-12
 E =17.9619E-3

B1=-4.078
 B2=-3245.2
 B3=2.2362E5
 B4=-3.984E7
 B5=13.957
 B6=-1262.3
 B7=6.5641E5

C0=0.9998396E0
 C1=18.224944E-3
 C2=-7.92221E-6
 C3=-55.44846E-9
 C4=1.497562E-10
 C5=-3.932952E-13
 C6=18.159725E-3

U1=6.421
 U2=-0.00452
 U3=4.64E-5

D1=10.483
 D2=-8.92E-3
 D3=5.6E-5

CONSTANTES PARA LA EC. DE PARTICION CO2

F1=96.9929
 F2=-6789.04
 F3=-12.4519
 F4=-0.010454

G1=-3335.7
 G2= 1.4971
 G3=-3.70566E-2
 G4= 2.76

DO 10 I=1,N
 CALCULA PESOS MOLECULARES MEDIOS EN LA FASE LIQUIDA Y VAPOR.
 ML(I)=MD20*X(I)+MH2O*(1.-X(I))
 MV(I)=MD20*Y(I)+MH2O*(1.-Y(I))

TK=TC(I)+273.15
 DH20L=DENSIDAD DE H2O LIQUIDA. 1.0000-DENS. D2O LIQUIDA
 DMEDL=DENSIDAD EN LA FASE L
 DH20V=DENSIDAD DE H2O EN LA FASE VAPOR
 DD20V=DENS. DE D2O EN F. VAPOR. 1.0000-DENS. D2O EN LA FASE VAPOR

T=TC(I)
 DH20L=(C0+C1*T+C2*T**2+C3*T**3+C4*T**4+C5*T**5)/((1.-E**T))
 DD20L=(A0+A1*T+A2*T**2+A3*T**3+A4*T**4)/((1.-E**T))

DMEDL(I)=DD20L*A(I)+DH20L*(1.-A(I))

RY=V(I)/ML(I)

```

    DMEDV(I)=PT*MV(I)/(R*TK)
C   KW=CTE. DE DISOCIACION DE H2O
    KL=CTE. DE DISOCIACION DE LA MEZCLA
    LOGKW=D1+B2/TK+D3/TK*2+D4/TK**3+(P*DA*TK**2)/TK**2+
    1 ALOG10(DH2OL)
    KL(I)=10**((LOGKW-0.3314*X(I)+.19766*X(I)**2)
C   CONSTANTES DE DISOCIACION DEL CO2 EN H2O
    PK1=U1+U2*T+U3*T**2
    PK2=D1-D2*T+D3*T**2
    CONSTANTES DE DISOCIACION DEL CO2 EN LA MEZCLA
    K1L(I)=10**((-PK1-0.414*X(I)-0.190*X(I)**2)
    K2L(I)=10**((-PK2-0.404*X(I)-0.212*X(I)**2)
C   CONSTANTE DE HIDROLISIS DEL AMONIACO
    KB(I)=EXP(D1/TK-G2/ALOG(TK)+G3*T/TK)
C   CONSTANTES DE PARTICION CO2 Y H2O
    KD002(I)=EXP(F1+F2/TK+F3*ALOG(TK)+F4*K)
    10 KDNH3(I)=EXP(-4425/TK-ALOG(TK)+13.32)
    RETURN
    END
C
C   PROGRAMA PARA SISTEMAS DURES. METODO RUNGE-KUTTA MODIFICADO.
    SUBROUTINE STIFF(ACHE, ID, Y, N, NF, ERROR, QW, KAPNH3, QG, VL, VP, VV, E,
    1 QD, QF, NH3TTF, NI)
    REAL*4 Y(301), Y2(301), Y0(301), Y1(301), EPS(301), COMP(301),
    11 D(301, 301), D(301, 301), ERROR(301), A(301, 301), B(301),
    1 F(301), YP(301), YF(301), KAPNH3(301), QG(301), QL(301), VP(301),
    1 VL(301), VV(301), NH3TTF, E(301)
    DO 77 I=1, N
    77 YF(I)=0.
    ACHE=ACHE
    CALL MET(ACHE, ID, Y, Y2, N, QW, KAPNH3, QG, VL, VP, VV, E, QD, QF, QL, NH3TTF, NI,
    1, NF)
    2 ACHE=ACHE/2.
    CALL MET(ACHE, ID, Y, Y0, N, QW, KAPNH3, QG, VL, VP, VV, E, QD, QF, QL, NH3TTF
    1, NF)
    CALL MET(ACHE, ID, Y0, Y1, N, QW, KAPNH3, QG, VL, VP, VV, E, QD, QF, QL, NH3TTF
    1, NF)
    DO 3 I=1, N
    3 EPS(I)=Y1(I)-Y2(I)
    DO 4 I=1, N
    4 COMP(I)=ABS(EPS(I)/ERROR(I))
    AMAX=COMP(1)
    DO 5 I=2, N
    5 IF(COMP(I).GT.COMP(I-1))AMAX=COMP(I)
    IF(AMAX.EQ.0.) GO TO 1050
    IF(AMAX.LT.1.)GO TO 1000
C
C   REDUCCION DEL PASO
    ACHE=ACHE/2.
    DO 7 I=1, N
    7 Y2(I)=Y0(I)
    GO TO 6
    1000 DO 8 I=1, N

```

FILE: ZC FORTRAN C CREA2-7/68-VH/SP-CMS-REL3.1-PLC8401+-SL303

```
8 YF(I)=Y1(I)+(1./7.)*EPS(I)
IF((4.*AMAX)**(-0.25).LT.3.)GO TO 1400
1050 ACHE=ACHE*3.
GO TO 1200
1100 ACHE=ACHE*((4.*AMAX)**(-0.25))
1200 DO 1300 I=1,N
1300 Y(I)=YF(I)
ACHE0=ACHE
5000 RETURN
END
```

CC

```
SUBROUTINE NET(ACHE, ID, Y, YN, N, QW, KAPNH3, QG, VL, VP, VV, E, QD, QF, QL,
NH3TTF, NI, NF)
REAL*4 ID(381,381),KUNC(381),KDOS(381),KK(381),KTRES(381),
F(381),Y(381),YF(381),YH(381),KAPNH3(381),QG(381),QL(381),
VL(381),VP(381),VV(381),E(381),QW,QD,QF,ACHE,D,
A1(381),B1(381),C1(381),A(381,381),B(381,381)
CALL JACINT(A,QW,KAPNH3,QG,VL,VP,VV,E,QD,QL,NI,N)
CALL FUNINT(Y,QL,QG,VP,VL,VV,KAPNH3,E,F,QF,NH3TTF,QD,QW,NI,X,NF)
DO 1 I=1,N
DO 1 J=1,N
1 B(I,J)=ID(I,J)-ACHE*0.4358*A(I,J)
CCC LA MATRIZ TRIDIAGONAL SE ACONDICIONA PARA DETERMINAR LA SOLUCION
CCC DE LA FORMA A(I,I)*K(I)=FH(I)
IN=0
MI=N-1
DO 2 I=1,N
2 B1(I)=B(I,I)
DO 3 I=1,MI
A1(I+1)=B(I+1,I)
3 C1(I)=B(I,I+1)
DO 4 I=1,N
4 KUNC(I)=ACHE*F(I)
CALL RESOL(N,A1,B1,C1,KUNC,IN)
DO 5 I=1,N
5 YF(I)=Y(I)+0.75*KUNC(I)
CALL FUNINT(YF,QL,QG,VP,VL,VV,KAPNH3,E,F,QF,NH3TTF,QD,QW,NI,N,NF)
DO 6 I=1,N
6 KDOS(I)=ACHE*F(I)
CALL RESOL(N,A1,B1,C1,KDOS,IN)
DO 11 I=1,N
11 KTRES(I)=-0.430172*KUNC(I)-0.24235*KDOS(I)
CALL RESOL(N,A1,B1,C1,KTRES,IN)
DO 12 I=1,N
12 YN(I)=Y(I)+1.03759*KUNC(I)+0.83494*KDOS(I)+KTRES(I)
RETURN
END
```

CCC
CCC

```
CALCULO DEL JACOBIANO DE FUNNH3, FUNCO2 Y FUNNO3
SUBROUTINE JACINT(A, QW, KAPNH3, QG, VL, VP, VV, E, QD, QL, NI, N)
REAL*4 KAPNH3(381), VL(381), VP(381), VV(381), QL(381), QG(381),
1, QD, QW, E(381), A(381,381)
IF(NI-2)1,1,3
1 CALL JACNH3(A, QW, KAPNH3, QG, VL, VP, VV, E, QD, QL, N)
```

FILE: ZC FORTRAN C CNEA2-7/68-VM/SP-CMS-REL3.1-PLCS401+-SL303

```
3 CALL JACN03(A, QW, KAPNH3, QG, VL, VP, VV, E, QD, QL, N)
6 RETURN
END
SUBROUTINE JACNH3(A1, QW, KAPNH3, QG, VL, VP, VV, E, QD, QL, N)
REAL*4 A1(301,301), QW, QG(301), VL(301), VP(301), VV(301), E(301)
1, QL(301), KAPNH3(301)
300
A1(1,1)=-QW/(VL(1)+VV(1)*KAPNH3(1))-QG(1)*KAPNH3(1)/(VL(1)+
2VV(1)*KAPNH3(1))-E(1)*QL(2)/(1-E(1))/(VL(1)+VV(1)*KAPNH3(1))
300
A1(1,2)=QL(2)*VP(2)/VP(1)/(VL(2)+VV(2)*KAPNH3(2))
300
NA=N-1
A1(N,NA)=+QG(NA)*KAPNH3(NA)
1*VP(NA)/VP(N)/(VL(NA)+VV(NA)*KAPNH3(NA))+E(NA)
2*QL(N)*VP(NA)/(1-E(NA))/(VL(NA)+VV(NA)*KAPNH3(NA))/VP(N)
300
A1(N,N)=-QL(N)/(VL(N)+VV(N)*KAPNH3(N)+
3-QD/(VL(N)+VV(N)*KAPNH3(N))
300
DO 82 I=2,NA
II=I-1
III=I+1
300
A1(I,II)=
2QG(I-1)*KAPNH3(I-1)*VP(I-1)/VP(I)/(VL(I-1)+VV(I-1)*KAPNH3(I-1)
4E(I-1)*QL(I)*VP(I-1)/VP(I)/(1-E(I-1))/(VL(I-1)+VV(I-1)*KAPNH3
1(I-1))
300
A1(I,I)=
1-QL(I)/(VL(I)+VV(I)*KAPNH3(I))
3-QG(I)*KAPNH3(I)/(VL(I)+VV(I)*KAPNH3(I))
5-E(I)*QL(I+1)/(1-E(I))/(VL(I)+VV(I)*KAPNH3(I))
300
A1(I,III)=QL(I+1)*VP(I+1)/VP(I)/(VL(I+1)+VV(I+1)*KAPNH3(I+1))
82 CONTINUE
C
RETURN
END
300
SUBROUTINE JACN03(A3, QW, KAPN03, QG, VL, VP, VV, E, QD, QL, N)
REAL*4 VL(301), VP(301), VV(301), E(301), QD(301), KAPN03(301),
1A3(301,301)
300
A3(1,1)=-QW/VL(1)-E(1)*QL(2)/(1-E(1))/VL(1)
300
A3(1,2)=QL(2)/VL(1)
300
NA=N-1
A3(N,NA)=E(NA)*QL(N)/(1-E(NA))/VL(N)
300
A3(N,N)=-QL(N)/VL(N)-QD/VL(N)
300
DO 84 I=2,NA
```



```

II=I-1
III=I+1
A3(I,I)=-QL(I)/VL(I)-E(I)*QL(I+1)/(1-E(I))/VL(I)
CCC
A3(I,II)=E(I-1)*QL(I)/(1-E(I-1))/VL(I)
CCC
84 A3(I,III)=QL(I+1)/VL(I)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE FUNINT(NH3TT,QL,QG,VP,VL,VV,KAPNH3,E,FNH3,QF,NH3TTF,QD,QW,NI,N,NF)
REAL*4 NH3TT(381),QL(381),QG(381),VP(381),VL(381),VV(381),E(381),FNH3(381),KAPNH3(381),NH3TTF
IF(NI-2)1,1,3
1 CALL FUNNH3(NH3TT,QL,QG,VP,VL,VV,KAPNH3,E,FNH3,QF,NH3TTF,QD,QW,N,NF)
GO TO 8
3 CALL FUNN03(NH3TT,QL,QG,VP,VL,VV,KAPNH3,E,FNH3,QF,NH3TTF,QD,QW,N,NF)
8 RETURN
END

```

CCC SUBROUTINA QUE CALCULA LA FUNCION DEL NH3 PLATO A PLATO A PARTIR DEL BALANCE DE MASA INCLUYENDO ARRASTRE DE LIQUIDO.

```

SUBROUTINE FUNNH3(NH3TT,QL,QG,VP,VL,VV,KAPNH3,E,FNH3,QF,NH3TTF,QD,QW,N,NF)
REAL*4 NH3TT(381),QL(381),QG(381),VP(381),VL(381),VV(381),E(381),FNH3(381),QF,NH3TTF,QD,QW,KAPNH3(381)
MF=NF+1
KF=NF-1
NA=N-1
DO 1000 I=1,N
IF(I.EQ.1) GO TO 1
IF(I.EQ.N) GO TO 2
IF(I.EQ.NF) GO TO 3

```

```

FUNCIÓN PARA LOS PLATOS COMUNES 11(I<20) O 1(I<11)
FNH3(I)=QL(I+1)*VP(I+1)*NH3TT(I+1)/VP(I)/(VL(I+1)+VV(I+1)*KAPNH3(I+1))-QL(I)*NH3TT(I)/(VL(I)+VV(I)*KAPNH3(I))+QG(I-1)*KAPNH3(I-1)*VP(I-1)*NH3TT(I-1)/VP(I)/(VL(I-1)+VV(I-1)*KAPNH3(I-1))-QG(I)*KAPNH3(I)*NH3TT(I)/(VL(I)+VV(I)*KAPNH3(I))+E(I-1)*QL(I+1)*VP(I-1)*NH3TT(I-1)/VP(I)/(1-E(I-1))/(VL(I-1)+VV(I-1)*KAPNH3(I-1))-E(I)*QL(I+1)*NH3TT(I)/(1-E(I))/(VL(I)+VV(I)*KAPNH3(I))
GO TO 1000

```

```

FUNCIÓN PARA EL REBOILER I=1
1 FNH3(1)=QL(2)*VP(2)*NH3TT(2)/VP(1)/(VL(2)+VV(2)*KAPNH3(2))-QW*NH3TT(1)/(VL(1)+VV(1)*KAPNH3(1))-QG(1)*KAPNH3(1)*NH3TT(1)/(VL(1)+VV(1)*KAPNH3(1))-E(1)*QL(2)*NH3TT(1)/(1-E(1))/(VL(1)+VV(1)*KAPNH3(1))
GO TO 1000

```



```

00
3000 CONTINUE
      RETURN
      END

```

000 SUBROUTINA PARA CALCULAR CONCENTRACION DE LAS DISTINTAS ESPECIES EN EL PLATO POR UN BALANCE DE CARGAS REALIZANDO POR EL METODO DE RAPHSON-NEWTON.

```

000 SUBROUTINE PLATO(NH3TT,CO2TT,K1,K2,KB,KW,CO2T,NH3T,ERROR1,PROT,NH3V,NH3L,CO2V,CO2L,NH4,CO3H,CO3,KDNH3,KDCO2,VP,VL,VV,KAPNH3,KAPCO2,IT,PH,NO3TT)

```

```

000 REAL*4 K1,K2,CO2T,NH3T,KB,KW,ERROR1,F,PRONEW,PROT,U,FP,NH3TT,NH3V,NH3L,CO2V,CO2L,CO2TT,NH4,CO3H,CO3,KDNH3,KDCO2,VP,VL,VV,PROT0,2,KAPNH3,KAPCO2,PH,NO3TT

```

```

000 IF(NH3TT.EQ.0..AND.CO2TT.EQ.0..AND.NO3TT.EQ.0.)GO TO 20
000 IF(NH3TT.GT.1.E-14.OR.CO2TT.GT.1.E-14.OR.NO3TT.GT.1.E-14) GO TO 120
000 GO TO 61

```

```

000 20 CALL FUN(K1,K2,CO2TT,NH3TT,KB,KW,PROT,F,KDNH3,KDCO2,VP,VL,VV,KDCO2)

```

```

000 1) CALL FUNPR1(K1,K2,CO2TT,NH3TT,KB,KW,PROT,FP,KDNH3,KDCO2,VP,VL,VV,PRONEW=PROT-F/FP
000 U=ABS((PROT-PRONEW)/PRONEW)
000 IF(U.LT.ERROR1) GO TO 10
000 PROT=PRONEW
000 IT=IT+1
000 GO TO 20

```

```

000 10 PROT=PRONEW
000 PH=-ALOG10(PROT)
000 GO TO 150

```

```

000 61 PROT=SQRT(KW)
000 PH=-ALOG10(PROT)
000 150 NH3T=VP*(KB*PROT+KW)*NH3TT/(KVL+KB*PROT+VL*KW+VV*CO2TT+NH3T)
000 CO2T=VP*(K1*K2+K1*PROT+PROT**2)*CO2TT/(K1+K2+K1*PROT+PROT**2)
000 VL=VV*KDCO2*PROT**2)

```

```

000 NH4=NH3T*KB*PROT/(KB*PROT+KW)
000 CO3H=K1*PROT*CO2T/(K1+K2+K1*PROT+PROT**2)
000 CO3=K1*K2*CO2T/(K1+K2+K1*PROT+PROT**2)
000 CO2L=CO2T-CO3H-CO3
000 NH3L=NH3T-NH4
000 CO2V=KDCO2*CO2L
000 NH3V=KDNH3*NH3L

```

```

000 IF(NH3TT.NE.0.)GO TO 40
000 KAPNH3=0.
000 GO TO 50

```

```

000 40 KAPNH3=NH3V/NH3T
000 50 IF(CO2TT.EQ.0.)GO TO 60
000 KAPCO2=CO2V/CO2T

```

```

000 GO TO 70
000 60 KAPCO2=0.

```

```

GO TO 70
9 KAPCO2=0.
KAPNH3=0.
PROT=SQRT(KW)
PH=-ALOG10(PROT)
NH3T=0.
CO2T=0.
NH3V=0.
CO2V=0.
NH4=0.
NH3L=0.
CO2L=0.
CO3H=0.
CO3=0.
70 RETURN
END

```

UNA DE LAS SUBROUTINAS DE RAPHSON-NEWTON (EVALUA LA FUNCION)

```

SUBROUTINE FUN(K1,K2,CO2TT,NH3TT,KB,KW,PROT,F,KDNH3,KDCO2,VP,VL,VV,Z
1,N03TT)
REAL*4 K1,K2,CO2TT,NH3TT,KB,KW,PROT,F,KDNH3,KDCO2,VP,VL,VV,N03TT
F= 3*K1*K2*VP*CO2TT/(K1*K2*VL+K1*PROT*VL+PROT**2*VL+VV*KDCO2*PROT
1**2)+K1*PROT*VP*CO2TT/(K1*KB*VL+K1*PROT*VL+PROT**2*VL+VV*KDCO2*
2PROT**2)+KW/PROT-PROT-KB*VP*PROT*NH3TT/(VL*KB*PROT+VL*KW+VV*KDNH3
3*KW)+N03TT
RETURN
END

```

SEGUNDA SUBROUTINA DE RAPHSON-NEWTON (EVALUA LA DERIVADA)

```

SUBROUTINE FUNPRI(K1,K2,CO2TT,NH3TT,KB,KW,PROT,FP,KDNH3,KDCO2,VP,
1VL,VV)
REAL*4 K1,K2,CO2TT,NH3TT,KB,KW,PROT,FP,KDNH3,KDCO2,VP,VL,VV
FP=-2*K1*K2*VP*CO2TT*(K1*VL+2*PROT*VL+2*VV*KDCO2*PROT**2)/(K1*K2
1*VL+K1*PROT*VL+PROT**2*VL+VV*KDCO2*PROT**2)**2)+(K1*VP*CO2TT*(K1
2*K2*VL+K1*PROT*VL+VL*PROT**2+VV*KDCO2*PROT**2)-K1*PROT*VP*CO2TT
3*(K1*VL+2*VL*PROT+2*PROT*VV*KDCO2))/(K1*K2*VL+K1*PROT*VL+PROT
4**2*VL+VV*KDCO2*PROT**2)**2)-KW/(PROT**2)-KB*VP*PROT*(VL*
5KB*PROT+VL*KW+VV*KDNH3*KW)-KB*PROT*KB*VP*VL*KB*PROT*VL*KB*PROT
6+VL*KW+VV*KDNH3*KW)**2)
RETURN
END

```

SUBROUTINE RESOL(N,A1,B1,C1,SK,INFO)

```

SUBROUTINE RESOL(N,A1,B1,C1,SK,INFO)
INTEGER K,KB,KP1,NH1,NH2
REAL*4 E(301),C(301),D(301),B(301),A1(301),B1(301),C1(301),D1(301)

DO I=1,N
B(I)=B1(I)*1.E30
C(I)=A1(I)*1.E30
D(I)=B1(I)*1.E30
E(I)=C1(I)*1.E30
INFO = 6

```


NH3TTF=.588000E-04 CO2TTF=.250000E-04 NO3TTF=.0 EN=0.0

TIEMPO= 0.13205E+03 SEGUNDOS X

PLATO

6.5927744

6.6060514

6.6120815

6.6154366

6.6205225

6.6507568

6.85581371

7.3984871

7.9121103

8.4505386

8.9777294

8.9057289

8.7979498

8.7954245

8.8005142

8.8126612

8.8318586

8.8558540

8.8850584

8.2155390

8.2155390

TIEMPO= 0.2756E+03 SEGUNDOS X

PLATO

6.5928163

6.6062547

6.6142378

6.6284342

6.6841307

6.8708601

7.2046728

7.5429773

7.9372730

8.4533949

8.8778820

8.8059216

8.7981882

8.7956829

8.8007526

8.8120328

8.8322029

8.8555691

8.9384174

8.5406771

TIEMPO= 0.52637E+03 SEGUNDOS X

PLATO

6.6038723

6.6189222

6.6559410

6.7404089

6.89999510

6.6038723

6.6189222

6.6559410

6.7404089

6.89999510

NH3T

8.965295E-13

1.506525E-11

2.393934E-10

3.341207E-09

3.993307E-08

3.946920E-07

3.058976E-06

1.732712E-05

7.636986E-05

4.928648E-04

6.288888E-02

3.961946E-03

3.956703E-03

3.934010E-03

3.913809E-03

3.871382E-03

3.830756E-03

3.78324E-03

4.278887E-03

1.840352E-02

NH3T

4.925654E-10

3.525114E-09

2.483808E-08

1.595952E-07

7.617689E-07

3.082214E-06

9.577625E-06

3.511317E-05

8.311447E-05

4.979644E-04

6.294244E-03

3.968133E-03

3.965695E-03

3.947802E-03

3.936053E-03

3.908449E-03

3.899860E-03

4.010664E-03

7.434012E-03

7.570606E-02

NH3T

4.810538E-08

1.189698E-07

5.020373E-07

1.444929E-06

3.462642E-06

CO2T

4.794238E-40

7.654324E-36

6.063564E-32

4.973442E-28

3.967294E-24

3.306982E-20

3.001234E-16

5.725054E-09

4.155331E-06

7.636582E-04

4.260722E-04

4.429861E-04

4.569734E-04

4.706463E-04

4.798423E-04

4.883079E-04

4.993544E-04

6.563509E-04

1.210898E-02

CO2T

3.140806E-39

2.481072E-35

1.988070E-31

1.621467E-27

1.360195E-23

1.194007E-19

8.815068E-16

3.439603E-12

6.224170E-09

4.209601E-06

7.646687E-04

4.270105E-04

4.444960E-04

4.596438E-04

4.755178E-04

4.887237E-04

5.050111E-04

5.388555E-04

1.248057E-03

3.561983E-02

CO2T

8.072654E-39

6.413875E-35

5.219736E-31

4.378488E-27

3.548341E-23

X-

X-

X-

6	7.1046343	.6952774E-03	.2540665E-19	.0
7	7.3177652	.1296767E-05	.1225026E-15	.0
8	7.5759659	.2738253E-05	.3775895E-12	.0
9	7.9428597	.9345522E-05	.6328191E-09	.0
10	8.4539051	.4980767E-04	.4216863E-06	.0
11	8.8779221	.6295263E-03	.7647164E-04	.0
12	8.8059667	.3968736E-03	.4270357E-04	.0
13	8.7982206	.3966368E-03	.4445705E-04	.0
14	8.7957230	.3948531E-03	.4597061E-04	.0
15	8.8008251	.3937020E-03	.4755544E-04	.0
16	8.8129787	.3910263E-03	.4887588E-04	.0
17	8.8331375	.3914305E-03	.5060057E-04	.0
18	8.8771992	.4297495E-03	.5688968E-04	.0
19	8.9728909	.1251342E-02	.2233935E-03	.0
20	8.6221933	.1758607E-01	.7450391E-02	.0

X TIEMPO= 0.72593E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.6245041	.2966391E-07	.1360689E-38	.0
2	6.6555071	.5742453E-07	.1086058E-34	.0
3	6.7285480	.1350140E-06	.8896945E-31	.0
4	6.8461065	.2766018E-06	.7239426E-27	.0
5	6.9961205	.4928311E-06	.5284447E-23	.0
6	7.1583576	.8113815E-06	.3064630E-19	.0
7	7.3418007	.1381361E-05	.1321430E-15	.0
8	7.5829039	.2788638E-05	.3855200E-12	.0
9	7.9440384	.8374050E-05	.6351653E-09	.0
10	8.4540043	.4990639E-04	.4218616E-06	.0
11	8.8779221	.6295335E-03	.7647566E-04	.0
12	8.8059607	.3968840E-03	.4270660E-04	.0
13	8.7982340	.3966501E-03	.4445585E-04	.0
14	8.7957430	.3948726E-03	.4596899E-04	.0
15	8.8008518	.3937250E-03	.4755403E-04	.0
16	8.8130713	.3911131E-03	.4887130E-04	.0
17	8.8337870	.3924745E-03	.5060012E-04	.0
18	8.8853436	.4495780E-03	.5928619E-04	.0
19	8.9856138	.1647065E-02	.3016517E-03	.0
20	8.6425171	.2542230E-01	.1047937E-01	.0

X TIEMPO= 0.10016E+04 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.7012396	.1206276E-06	.2385252E-38	.0
2	6.7346849	.1516395E-06	.1853004E-34	.0
3	6.8253498	.2553295E-06	.1454799E-30	.0
4	6.9352980	.4020386E-06	.1061376E-26	.0
5	7.0564175	.5980186E-06	.6669582E-23	.0
6	7.1924257	.8922687E-06	.3447181E-19	.0
7	7.3568373	.1436875E-05	.1383512E-15	.0
8	7.5876818	.2823925E-05	.3906683E-12	.0
9	7.9448204	.8393101E-05	.6366161E-09	.0
10	8.4540710	.4991847E-04	.4219648E-06	.0
11	8.8779221	.6295464E-03	.7647672E-04	.0
12	8.8059673	.3968924E-03	.4270668E-04	.0
13	8.7982340	.3966556E-03	.4445745E-04	.0
14	8.7957296	.3948766E-03	.4597368E-04	.0

15	8.8008585	.3937304E-03	.4755368E-04	.0
16	8.8130846	.3911753E-03	.4888274E-04	.0
17	8.8344831	.3938118E-03	.5082083E-04	.0
18	8.8955822	.4763671E-03	.6253943E-04	.0
19	8.9960184	.2183601E-02	.4082413E-03	.0
20	8.6560755	.3605404E-01	.1458925E-01	.0

X TIEMPO= 0.13919E+04 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X
1	6.8691673	.3409308E-06	.4549977E-38	.0
2	6.8471870	.2964636E-06	.3097662E-34	.0
3	6.9110327	.3734996E-06	.2152405E-30	.0
4	6.9966373	.4989361E-06	.1380353E-26	.0
5	7.0965099	.6750208E-06	.7789940E-23	.0
6	7.2150297	.9494124E-06	.3725388E-19	.0
7	7.3670425	.1475792E-05	.1427282E-15	.0
8	7.5907173	.2846560E-05	.3940186E-12	.0
9	7.9453373	.8405651E-05	.6375240E-09	.0
10	8.4541178	.4992627E-04	.4220075E-06	.0
11	8.8779278	.6295526E-03	.7647550E-04	.0
12	8.8059740	.3968957E-03	.4270596E-04	.0
13	8.7982340	.3966589E-03	.4445744E-04	.0
14	8.7957497	.3948838E-03	.4597034E-04	.0
15	8.8008585	.3937390E-03	.4755595E-04	.0
16	8.8131714	.3912793E-03	.4888453E-04	.0
17	8.8355494	.3956836E-03	.5098796E-04	.0
18	8.9083586	.5132174E-03	.6706933E-04	.0
19	9.0040827	.2923969E-02	.5562585E-03	.0
20	8.6652803	.5073660E-01	.2027207E-01	.0

X TIEMPO= 0.19741E+04 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	7.0545092	.6532555E-06	.8858025E-38	.0
2	6.9941387	.5212170E-06	.5044488E-34	.0
3	6.9981213	.5103408E-06	.2955558E-30	.0
4	7.0485249	.5895494E-06	.1679380E-26	.0
5	7.1273375	.7386380E-06	.8705867E-23	.0
6	7.2319021	.9940186E-06	.3936480E-19	.0
7	7.3745899	.1505181E-05	.1458911E-15	.0
8	7.5930567	.2844139E-05	.3964898E-12	.0
9	7.9457083	.8414780E-05	.6382008E-09	.0
10	8.4541502	.4993174E-04	.4220596E-06	.0
11	8.8779278	.6295564E-03	.7647686E-04	.0
12	8.8059740	.3968982E-03	.4270636E-04	.0
13	8.7982407	.3966626E-03	.4445658E-04	.0
14	8.7957497	.3948845E-03	.4597078E-04	.0
15	8.8008718	.3937513E-03	.4755483E-04	.0
16	8.8132238	.3914125E-03	.4890338E-04	.0
17	8.8370275	.3983495E-03	.5123635E-04	.0
18	8.9247265	.5661251E-03	.7358467E-04	.0
19	9.0106897	.3988750E-02	.7694617E-03	.0
20	8.6714506	.7184517E-01	.2846291E-01	.0

X TIEMPO= 0.28559E+04 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
-------	----	------	------	----

1	7.1435928	.8473252E-06	.1614420E-37	.0
2	7.1416445	.8153105E-06	.8239302E-34	.0
3	7.1248922	.7529275E-06	.4175539E-30	.0
4	7.1283913	.7481967E-06	.2073162E-26	.0
5	7.1710973	.8363303E-06	.9768770E-23	.0
6	7.2532539	.1052986E-05	.4160075E-19	.0
7	7.3832188	.1539473E-05	.1490515E-15	.0
8	7.5954819	.2882490E-05	.3988070E-12	.0
9	7.9460859	.8424021E-05	.6387753E-09	.0
10	8.4541769	.4993705E-04	.4220884E-06	.0
11	8.8779345	.6295613E-03	.7647685E-04	.0
12	8.8059807	.3969006E-03	.4270428E-04	.0
13	8.7982407	.3966638E-03	.4445681E-04	.0
14	8.7957497	.3948887E-03	.4597125E-04	.0
15	8.8008718	.3937610E-03	.4755736E-04	.0
16	8.8133698	.3916128E-03	.4891228E-04	.0
17	8.8390884	.4021421E-03	.5159402E-04	.0
18	8.9440575	.6413846E-03	.8315874E-04	.0
19	9.0148249	.5513877E-02	.1077573E-02	.0
20	8.6750622	.1021012E+00	.4024982E-01	.0

X TIEMPO= 0.42119E+04 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	7.1335001	.8234691E-06	.3036356E-37	.0
2	7.1740761	.8929875E-06	.1338000E-33	.0
3	7.2110605	.9583828E-06	.6112182E-30	.0
4	7.2291918	.9908999E-06	.2752790E-26	.0
5	7.2506027	.1039945E-05	.1174379E-22	.0
6	7.3008938	.1195654E-05	.4601756E-19	.0
7	7.4044971	.1627287E-05	.1556735E-15	.0
8	7.6016378	.2929663E-05	.4038070E-12	.0
9	7.9469872	.8446103E-05	.6399306E-09	.0
10	8.4542370	.4994814E-04	.4221733E-06	.0
11	8.8779221	.6295701E-03	.7648347E-04	.0
12	8.8059807	.3969057E-03	.4270635E-04	.0
13	8.7982473	.3966703E-03	.4445606E-04	.0
14	8.7957497	.3948945E-03	.4597343E-04	.0
15	8.8008919	.3937827E-03	.4755672E-04	.0
16	8.8135023	.3918812E-03	.4894077E-04	.0
17	8.8419113	.4074753E-03	.5210807E-04	.0
18	8.9660454	.7473261E-03	.9691757E-04	.0
19	9.0179195	.7672165E-02	.1513859E-02	.0
20	8.6762743	.1448652E+00	.5701867E-01	.0

X TIEMPO= 0.62183E+04 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	7.0799494	.7050666E-06	.5187620E-37	.0
2	7.1009893	.7252952E-06	.2116880E-33	.0
3	7.1384640	.7827914E-06	.8475423E-30	.0
4	7.1873236	.8834959E-06	.3404640E-26	.0
5	7.2435913	.1020467E-05	.1342689E-22	.0
6	7.3113308	.1229136E-05	.4971555E-19	.0
7	7.4150400	.1672579E-05	.1614213E-15	.0
8	7.6060915	.2964272E-05	.4085240E-12	.0
9	7.9478226	.8466652E-05	.6411429E-09	.0

FILE: S

S17

C

CNEA1-3158-VM/SP-CMS-REL3.1-PLC8401+-SL303

10	8.4543095	.4996090E-04	.4221816E-06	.0
11	8.8779478	.6295838E-03	.7647628E-04	.0
12	8.8059807	.3969127E-03	.4270795E-04	.0
13	8.7982473	.3966750E-03	.4445856E-04	.0
14	8.7957621	.3949022E-03	.4597161E-04	.0
15	8.8008986	.3938037E-03	.4756039E-04	.0
16	8.8137083	.3922328E-03	.4897080E-04	.0
17	8.8453178	.4142928E-03	.5280523E-04	.0
18	8.9866676	.8839504E-03	.1157344E-03	.0
19	9.0185156	.1048513E-01	.2089295E-02	.0
20	8.6752205	.2006222E+00	.7909590E-01	.0

X TIEMPO= 0.82567E+04 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	7.1551962	.8754212E-06	.4454444E-37	.0
2	7.1416912	.8154190E-06	.1931256E-33	.0
3	7.13	.7782658E-06	.8147391E-30	.0
4	7.	.7886968E-06	.3315468E-26	.0
5	7.1881781	.8770840E-06	.1294356E-22	.0
6	7.2682954	.1090466E-05	.4775647E-19	.0
7	7.3913231	.1572356E-05	.1870974E-15	.0
8	7.5988750	.2908387E-05	.4048171E-12	.0
9	7.9468489	.8442690E-05	.6406884E-09	.0
10	8.4542561	.4995136E-04	.4222351E-06	.0
11	8.8779278	.6295729E-03	.7648085E-04	.0
12	8.8059740	.3969099E-03	.4270814E-04	.0
13	8.7982473	.3966743E-03	.4445718E-04	.0
14	8.7957430	.3948992E-03	.4597587E-04	.0
15	8.8008986	.3938151E-03	.4756187E-04	.0
16	8.8138275	.3924919E-03	.4897025E-04	.0
17	8.8474512	.4198470E-03	.5354997E-04	.0
18	8.9973164	.1000578E-02	.1337821E-03	.0
19	9.0191326	.1294376E-01	.2590699E-02	.0
20	8.6729946	.2472335E+00	.9858447E-01	.0

X TIEMPO= 0.10916E+05 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	7.1489143	.8601245E-06	.3504727E-37	.0
2	7.1945801	.9450353E-06	.1555267E-33	.0
3	7.2246590	.9945661E-06	.6917746E-30	.0
4	7.2406359	.1022092E-05	.3020755E-26	.0
5	7.2612982	.1070258E-05	.1252779E-22	.0
6	7.3082495	.1219164E-05	.4776736E-19	.0
7	7.4077244	.1641039E-05	.1581176E-15	.0
8	7.6023998	.2935525E-05	.4054615E-12	.0
9	7.9470739	.8448250E-05	.6403815E-09	.0
10	8.4542561	.4995057E-04	.4221784E-06	.0
11	8.8779411	.6295748E-03	.7647752E-04	.0
12	8.8059740	.3969092E-03	.4270785E-04	.0
13	8.7982340	.3966719E-03	.4446109E-04	.0
14	8.7957497	.3949010E-03	.4597384E-04	.0
15	8.8009052	.3938305E-03	.4756474E-04	.0
16	8.8140259	.3928170E-03	.4892619E-04	.0
17	8.8507051	.4262354E-03	.5415102E-04	.0
18	9.0110540	.1127113E-02	.1510500E-03	.0

FILE: S

S17

C

CNEA1-3158-VH/SP-CMS-REL3.1-PLC8401+-SL303

19	9.0180655	.1553838E-01	.3129324E-02	.0
20	8.6697006	.3005541E+00	.1194555E+00	.0

X TIEMPO= 0.13258E+05 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	7.0409241	.6266467E-06	.5510986E-37	.0
2	7.0710888	.6638032E-06	.2203595E-33	.0
3	7.1201344	.7426698E-06	.8758445E-30	.0
4	7.1754284	.8547730E-06	.3481542E-26	.0
5	7.2365208	.1001156E-05	.1357678E-22	.0
6	7.3086739	.1220543E-05	.4994677E-19	.0
7	7.4149617	.1671812E-05	.1617754E-15	.0
8	7.6063700	.2966432E-05	.4089620E-12	.0
9	7.9478951	.8468396E-05	.6413516E-09	.0
10	8.4543161	.4996119E-04	.4222428E-06	.0
11	8.8779278	.6295808E-03	.7648367E-04	.0
12	8.8059740	.3969138E-03	.4270881E-04	.0
13	8.7982540	.3966799E-03	.4445738E-04	.0
14	8.7957621	.3949050E-03	.4597243E-04	.0
15	8.8009243	.3938451E-03	.4756317E-04	.0
16	8.8140726	.3930228E-03	.4906481E-04	.0
17	8.8520641	.4307216E-03	.5484560E-04	.0
18	9.0157081	.1223960E-02	.1669787E-03	.0
19	9.0183372	.1759869E-01	.3550658E-02	.0
20	8.6664009	.3410683E+00	.1362066E+00	.0

X TIEMPO= 0.15899E+05 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	7.1979332	.9853557E-06	.4254618E-37	.0
2	7.1563892	.8499454E-06	.1848900E-33	.0
3	7.1338253	.7724911E-06	.7825900E-30	.0
4	7.1377153	.7684739E-06	.3245706E-26	.0
5	7.1779203	.8524367E-06	.1267949E-22	.0
6	7.2578926	.1066184E-05	.4711977E-19	.0
7	7.3865185	.1552798E-05	.1559246E-15	.0
8	7.5972776	.2896187E-05	.4037666E-12	.0
9	7.9466228	.8437139E-05	.6404521E-09	.0
10	8.4542503	.4994965E-04	.4221978E-06	.0
11	8.8779478	.6295771E-03	.7647515E-04	.0
12	8.8059807	.3969097E-03	.4270753E-04	.0
13	8.7982407	.3966705E-03	.4445923E-04	.0
14	8.7957554	.3948989E-03	.4597291E-04	.0
15	8.8009119	.3938503E-03	.4756938E-04	.0
16	8.8142443	.3932575E-03	.4907518E-04	.0
17	8.8543434	.4352492E-03	.5526048E-04	.0
18	9.0232277	.1313382E-02	.1793236E-03	.0
19	9.0165806	.1942940E-01	.3940333E-02	.0
20	8.6629086	.3772446E+00	.1514132E+00	.0

X TIEMPO= 0.18605E+05 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	7.1354218	.8279598E-06	.3317780E-37	.0
2	7.2122068	.9917505E-06	.1503571E-33	.0
3	7.2528496	.1073257E-05	.6819563E-30	.0
4	7.2664280	.1095466E-05	.3008452E-26	.0

5	7.2799597	.1125003E-05	.1254646E-22	.0
6	7.3171566	.1254787E-05	.4796261E-19	.0
7	7.4123964	.1661102E-05	.1586523E-15	.0
8	7.6035662	.2944592E-05	.4059023E-12	.0
9	7.9471798	.8450830E-05	.6404122E-09	.0
10	8.4542503	.4995026E-04	.4221940E-06	.0
11	8.6779278	.6295696E-03	.7647993E-04	.0
12	8.8059807	.3969085E-03	.4270727E-04	.0
13	8.7982473	.3966743E-03	.4445817E-04	.0
14	8.7957621	.3949015E-03	.4597170E-04	.0
15	8.8009243	.3938619E-03	.4756683E-04	.0
16	8.8142776	.3934093E-03	.4910374E-04	.0
17	8.8554440	.4386739E-03	.5576274E-04	.0
18	9.0266533	.1386744E-02	.1909150E-03	.0
19	9.0171776	.2097938E-01	.4254606E-02	.0
20	8.6593828	.4074977E+00	.1643839E+00	.0

X TIEMPO= 0.21186E+05 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X
1	7.0060863	.5615126E-06	.6293449E-37	.0
2	7.0251055	.5760924E-06	.2413900E-33	.0
3	7.0804996	.6609657E-06	.9229786E-30	.0
4	7.1491070	.7938079E-06	.3573725E-26	.0
5	7.2230682	.9652513E-06	.1373876E-22	.0
6	7.3040609	.1205723E-05	.5021106E-19	.0
7	7.4143581	.1669619E-05	.1621820E-15	.0
8	7.6067009	.2969006E-05	.4093939E-12	.0
9	7.9480209	.8471458E-05	.6414518E-09	.0
10	8.4543295	.4996358E-04	.4222033E-06	.0
11	8.8779411	.6295841E-03	.7647718E-04	.0
12	8.8059807	.3969143E-03	.4270854E-04	.0
13	8.7982473	.3966771E-03	.4445780E-04	.0
14	8.7957497	.3949057E-03	.4597593E-04	.0
15	8.8009310	.3938712E-03	.4756641E-04	.0
16	8.8143835	.3935634E-03	.4911255E-04	.0
17	8.8566826	.4415330E-03	.5607761E-04	.0
18	9.0294437	.1444324E-02	.1998201E-03	.0
19	9.0149641	.2217280E-01	.4520062E-02	.0
20	8.6562614	.4311407E+00	.1746961E+00	.0

X TIEMPO= 0.23886E+05 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X
1	7.2509336	.1137450E-05	.3783356E-37	.0
2	7.1850500	.9205406E-06	.1688184E-33	.0
3	7.1371651	.7798955E-06	.7299016E-30	.0
4	7.1262836	.7456661E-06	.3061300E-26	.0
5	7.1623535	.8160048E-06	.1227121E-22	.0
6	7.2451620	.1030290E-05	.4615664E-19	.0
7	7.3794813	.1524527E-05	.1542369E-15	.0
8	7.5949516	.2670507E-05	.4023480E-12	.0
9	7.9462652	.8428448E-05	.6402567E-09	.0
10	8.4542236	.4994536E-04	.4222504E-06	.0
11	8.8779221	.6295896E-03	.7648235E-04	.0
12	8.8059740	.3969076E-03	.4270810E-04	.0
13	8.7982340	.3966715E-03	.4446009E-04	.0

FILE: S

S17

C

CNEA1-3158-VH/SP-CMS-REL3.1-PLC8401+-SL303

14	8.7957554	.3949024E-03	.4597234E-04	.0
15	8.8009377	.3938703E-03	.4756483E-04	.0
16	8.8144102	.3936703E-03	.4913055E-04	.0
17	8.8576498	.4439745E-03	.5637333E-04	.0
18	9.0329227	.1495075E-02	.2068554E-03	.0
19	9.0158997	.2322269E-01	.4728273E-02	.0
20	8.6530809	.4513726E+00	.1837217E+00	.0

X TIEMPO= 0.27189E+05 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	7.1211948	.7950595E-06	.3161872E-37	.0
2	7.2363815	.1058966E-05	.1447099E-33	.0
3	7.2972221	.1208142E-05	.6731672E-30	.0
4	7.3108406	.1232758E-05	.3021608E-26	.0
5	7.3130608	.1228274E-05	.1268722E-22	.0
6	7.3383818	.1319916E-05	.4850529E-19	.0
7	7.4205742	.1696855E-05	.1597757E-15	.0
8	7.6056871	.2961079E-05	.4067418E-12	.0
9	7.9474115	.8456567E-05	.6404057E-09	.0
10	8.4542627	.4995239E-04	.4221553E-06	.0
11	8.8779411	.6295778E-03	.7647672E-04	.0
12	8.8659807	.3969090E-03	.4270644E-04	.0
13	8.7982473	.3966740E-03	.4445763E-04	.0
14	8.7957497	.3949010E-03	.4597423E-04	.0
15	8.8009243	.3938761E-03	.4757104E-04	.0
16	8.8144894	.3937897E-03	.4913886E-04	.0
17	8.8585577	.4432919E-03	.5665564E-04	.0
18	9.0335769	.1542324E-02	.2151515E-03	.0
19	9.0127172	.2421573E-01	.4964333E-02	.0
20	8.6496210	.4711341E+00	.1927076E+00	.0

FILE: S

S19

C

CNEA1-3158-VH/SP-CMS-REL3.1-PLCB401+-SL303

NH3TTF=.5879998E-02 C02TTF=.2500000E-04 NO3TTF=.0 EN=0.0

X TIEMPO= 0.11326E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	C02T	X-
1	6.5997744	.6138002E-12	.2069905E-35	.0
2	6.6060600	.1168869E-10	.1674206E-31	.0
3	6.6122398	.2043227E-09	.1365043E-27	.0
4	6.6178465	.3962011E-08	.1119304E-23	.0
5	6.6506014	.3798247E-07	.9212498E-20	.0
6	6.9139614	.3687034E-06	.7664605E-16	.0
7	7.5934074	.2593119E-05	.4739801E-12	.0
8	8.1667523	.1543261E-04	.8716439E-09	.0
9	8.7791624	.1446234E-03	.3933500E-06	.0
10	9.3592005	.2377058E-02	.3958870E-04	.0
11	9.8152170	.4971265E-01	.8656727E-03	.0
12	9.7718048	.3038388E-01	.4409775E-03	.0
13	9.7947807	.3011768E-01	.3585725E-03	.0
14	9.8414793	.2967613E-01	.2279703E-03	.0
15	9.8961573	.2927770E-01	.1066499E-03	.0
16	9.9387808	.2874240E-01	.3918824E-04	.0
17	9.9719677	.2823567E-01	.1186333E-04	.0
18	10.0043068	.2768803E-01	.3672974E-05	.0
19	10.0747957	.3184687E-01	.1938036E-05	.0
20	10.4961090	.1794153E+00	.3450502E-05	.0

X TIEMPO= 0.22194E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	C02T	X-
1	6.5999012	.1491764E-09	.9458686E-35	.0
2	6.6071072	.1222384E-08	.7487189E-31	.0
3	6.6203651	.9474501E-08	.5982010E-27	.0
4	6.6687784	.6099401E-07	.4822281E-23	.0
5	6.8742142	.3105711E-06	.3822882E-19	.0
6	7.2994556	.1191119E-05	.2444499E-15	.0
7	7.7353144	.3877139E-05	.8015798E-12	.0
8	8.2160225	.1691928E-04	.1063032E-08	.0
9	8.7844772	.1478313E-03	.4447604E-06	.0
10	9.3559866	.2394029E-02	.4365835E-04	.0
11	9.8005857	.4983251E-01	.9312865E-03	.0
12	9.7429791	.3053287E-01	.5332979E-03	.0
13	9.7331314	.3040172E-01	.5504270E-03	.0
14	9.7326670	.3012522E-01	.5517739E-03	.0
15	9.7488565	.2986428E-01	.5253202E-03	.0
16	9.7894793	.2941597E-01	.4448339E-03	.0
17	9.8612070	.2904108E-01	.3049269E-03	.0
18	9.9556198	.2940043E-01	.1530313E-03	.0
19	10.1561069	.3048325E-01	.6058095E-04	.0
20	10.7624598	.6126786E+00	.1768178E-04	.0

X TIEMPO= 0.33009E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	C02T	X-
1	6.6016684	.2222967E-08	.1814866E-34	.0
2	6.6153011	.1070464E-07	.1427700E-30	.0
3	6.6565142	.5086301E-07	.1134982E-26	.0
4	6.7841978	.1975450E-06	.8955381E-23	.0
5	7.0605927	.6057583E-06	.6328955E-19	.0

6	7.3962669	.1535651E-05	.3114371E-15	.0
7	7.7586470	.4128401E-05	.8545814E-12	.0
8	8.2192698	.1709400E-04	.1078013E-08	.0
9	8.7848015	.1480272E-03	.4475014E-06	.0
10	9.3558073	.2394821E-02	.4386867E-04	.0
11	9.7998238	.4983879E-01	.9347450E-03	.0
12	9.7412691	.3054171E-01	.5389056E-03	.0
13	9.7289963	.3042317E-01	.5639924E-03	.0
14	9.7222166	.3017689E-01	.5859041E-03	.0
15	9.7238665	.2998003E-01	.6059110E-03	.0
16	9.7342310	.2964685E-01	.6175365E-03	.0
17	9.7550058	.2944478E-01	.6215116E-03	.0
18	9.7986374	.3058065E-01	.6178862E-03	.0
19	10.0597601	.6822997E-01	.6657569E-03	.0
20	10.8499470	.1043666E+01	.3385523E-03	.0

X TIEMPO= 0.41304E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.6061935	.7535981E-08	.2654503E-34	.0
2	6.6295338	.2719725E-07	.2083244E-30	.0
3	6.6991825	.1003327E-06	.1629421E-26	.0
4	6.8658142	.3029999E-06	.1215883E-22	.0
5	7.1298094	.7439263E-06	.7642156E-19	.0
6	7.4232578	.1647448E-05	.3344630E-15	.0
7	7.7651281	.4201270E-05	.8694715E-12	.0
8	8.2200918	.1713837E-04	.1081007E-08	.0
9	8.7848616	.1480634E-03	.4478341E-06	.0
10	9.3557873	.2394893E-02	.4389433E-04	.0
11	9.7997570	.4983918E-01	.9350395E-03	.0
12	9.7412090	.3054239E-01	.5391014E-03	.0
13	9.7287045	.3042436E-01	.5649508E-03	.0
14	9.7216539	.3018007E-01	.5877826E-03	.0
15	9.7223425	.2998834E-01	.6109739E-03	.0
16	9.7300367	.2966908E-01	.6314260E-03	.0
17	9.7437477	.2952191E-01	.6594087E-03	.0
18	9.7659998	.3123276E-01	.7446308E-03	.0
19	9.9980183	.8071160E-01	.1183932E-02	.0
20	10.8419819	.1343167E+01	.1185171E-02	.0

NH3TTF=.5880000E-04 CO2TTF=.2800000E-04 NH3TTF=.1810001E-04 EN=0.200
 TIEMPO= 0.117936E+03 SEGUNDOS X

FLATO	PH	NH3T	CO2T	X=
1	6.5997744	.3733123E-13	.23500257E-43	.2214775E-13
2	6.6060505	.37852753E-12	.2664295E-39	.4595573E-12
3	6.6120644	.1415549E-10	.2007643E-35	.9192693E-11
4	6.6152053	.2410461E-09	.1595483E-31	.1359136E-09
5	6.6177654	.3625794E-08	.1299333E-27	.2704249E-08
6	6.6233664	.4745802E-07	.1095747E-23	.3950033E-07
7	6.6551095	.5325333E-06	.9045345E-20	.4717495E-06
8	6.7038575	.5071847E-05	.6558362E-16	.4844780E-05
9	6.6721239	.4105089E-04	.3750934E-12	.4018743E-04
10	7.1227522	.2701341E-03	.2382180E-08	.2048702E-03
11	7.8212242	.1479912E-02	.6928443E-05	.1124030E-02
12	8.7188053	.3054028E-03	.3484055E-04	.7555704E-03
13	8.7294350	.2999357E-03	.3769033E-04	.4102331E-03
14	8.7262869	.2922367E-03	.3904983E-04	.1954285E-03
15	8.7346100	.2979143E-03	.3979614E-04	.6897102E-03
16	8.7454786	.2945014E-03	.4075575E-04	.5019129E-03
17	8.7360220	.2977019E-03	.4071198E-04	.1747107E-03
18	8.8050470	.2976342E-03	.4140186E-04	.8885631E-03
19	8.8760794	.3254525E-03	.4044383E-04	.5430751E-03
20	7.7757111	.6567670E-03	.7672114E-03	.4738112E-03

TIEMPO= 0.24345E+03 SEGUNDOS X

FLATO	PH	NH3T	CO2T	X=
1	6.5997744	.4107987E-10	.3008654E-44	.4647513E-10
2	6.6060390	.3875389E-09	.2385743E-40	.3950451E-09
3	6.6118708	.3697777E-08	.1905746E-36	.3840308E-08
4	6.6192227	.32188100E-07	.1539541E-32	.3423637E-07
5	6.5974693	.2529753E-06	.1218562E-28	.2714868E-06
6	6.4942513	.1774681E-05	.9213923E-25	.1894220E-05
7	6.1916218	.1032393E-04	.6830978E-21	.1141608E-04
8	5.9002829	.5697340E-04	.6651495E-17	.5801311E-04
9	5.8155575	.2398601E-03	.6999739E-13	.2407298E-03
10	6.4260482	.7879641E-03	.5845622E-09	.7791972E-03
11	7.5722685	.2164237E-02	.4123797E-05	.1842009E-02
12	8.6947305	.3257932E-03	.3322627E-04	.2126152E-03
13	8.7403184	.3177999E-03	.3808374E-04	.2541141E-03
14	8.7345839	.3082340E-03	.3924205E-04	.1986132E-03
15	8.7369232	.3026358E-03	.4050836E-04	.1723379E-03
16	8.7476521	.2921266E-03	.4154797E-04	.1507701E-03
17	8.7688562	.2976237E-03	.4277308E-04	.1387163E-03
18	8.7969093	.3050452E-03	.4548453E-04	.1419693E-03
19	8.8664112	.5108472E-03	.9333452E-04	.1758332E-03
20	8.2849350	.4818973E-03	.7371969E-03	.3111973E-03

TIEMPO= 0.38899E+03 SEGUNDOS X

FLATO	PH	NH3T	CO2T	X=
1	6.5990171	.3356077E-08	.1554141E-44	.4138052E-08
2	6.6019726	.1998217E-07	.1047217E-40	.2433192E-07
3	6.5889730	.1284872E-06	.8246415E-37	.1508510E-06
4	6.5087233	.7339330E-06	.6364868E-33	.6462959E-06
5	6.2749424	.3801257E-05	.4911007E-29	.4246828E-05

6	5.9607182	.1783841E-04	.4593814E-25	.1892644E-04
7	5.6682692	.7039926E-04	.5169746E-21	.7240726E-04
8	5.2547569	.2313497E-03	.6214134E-17	.2367512E-03
9	4.5419261	.6122421E-03	.6981371E-13	.6409287E-03
10	4.0147910	.1292966E-02	.2785632E-09	.1389502E-02
11	7.5405121	.2697839E-02	.3721416E-05	.2322407E-02
12	8.6800251	.3487575E-03	.3037270E-04	.3506723E-04
13	9.7586718	.3286225E-03	.3767868E-04	.4961610E-06
14	9.7564325	.3247410E-03	.3874647E-04	.6681500E-08
15	9.7590237	.3204441E-03	.3989828E-04	.8812601E-10
16	8.7672138	.3141928E-03	.4094510E-04	.1180119E-11
17	8.7820387	.3094665E-03	.4235505E-04	.1675472E-13
18	8.8141518	.3232965E-03	.4637607E-04	.2665244E-15
19	8.8956680	.7345947E-03	.1415779E-03	.5141821E-17
20	8.3805466	.6863769E-02	.5025789E-02	.1427716E-18

TIEMPO= 0.52609E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.5840254	.5369385E-07	.8575582E-46	.7119985E-07
2	6.5529461	.2375505E-06	.6572717E-42	.2953857E-06
3	6.4250059	.1159577E-05	.5010724E-38	.1366349E-05
4	6.1626034	.5146133E-05	.4181611E-34	.5723724E-05
5	5.8514557	.2017571E-04	.4205756E-30	.2149548E-04
6	5.5199337	.6856794E-04	.4847985E-26	.7149485E-04
7	5.1557741	.2606553E-03	.6106566E-22	.2075359E-03
8	4.8244991	.5017736E-03	.8153619E-18	.5166291E-03
9	4.9612789	.1069826E-02	.1141149E-13	.1080369E-02
10	7.1347723	.1965784E-02	.6498773E-09	.1656432E-02
11	7.7841072	.3308529E-02	.5017018E-05	.2579462E-02
12	8.4980202	.2421068E-03	.2608985E-04	.4425288E-04
13	8.6202116	.2168326E-03	.3571129E-04	.7488462E-06
14	8.6111927	.2111547E-03	.3766741E-04	.1251004E-07
15	8.6178856	.2129759E-03	.3862190E-04	.2097531E-09
16	8.6410532	.2200619E-03	.4024171E-04	.3628731E-11
17	8.6775532	.2326871E-03	.4236655E-04	.6727301E-13
18	8.7460947	.2753974E-03	.4848115E-04	.1407230E-14
19	8.8874044	.9072494E-03	.1904827E-03	.3584479E-16
20	8.4248199	.1298685E-01	.7027414E-02	.1323108E-17

TIEMPO= 0.63855E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.4296618	.2076603E-05	.5151683E-46	.4076443E-06
2	6.1895876	.7939854E-06	.4454029E-42	.1341083E-05
3	5.7430325	.3379084E-05	.4512453E-38	.5146841E-05
4	5.2899665	.1279891E-04	.5301573E-34	.1790894E-04
5	4.8796101	.4280976E-04	.6654406E-30	.5598921E-04
6	4.5240498	.1256309E-03	.8627479E-26	.1555346E-03
7	4.2387962	.3210787E-03	.1148302E-21	.3789603E-03
8	4.0477531	.7084308E-03	.1567614E-17	.7979879E-03
9	3.9705114	.1322541E-02	.2201362E-13	.1429518E-02
10	4.1150055	.2072940E-02	.3186564E-09	.2149557E-02
11	7.1511612	.2895366E-02	.1970670E-05	.2708304E-02
12	8.8596445	.5737983E-03	.1827041E-04	.4939775E-04
13	8.8166437	.3562421E-03	.2860728E-04	.9177679E-06
14	8.7150612	.2699459E-03	.3367808E-04	.1728411E-07

15	8.6587868	.2408955E-03	.3969889E-04	.3331102E-09
16	8.6589251	.2539107E-03	.4789371E-04	.6715103E-11
17	8.6993818	.2919363E-03	.5696363E-04	.1464367E-12
18	8.7782478	.3651036E-03	.6783380E-04	.3626304E-14
19	8.8867550	.1108941E-02	.2437184E-03	.1098049E-15
20	8.4055166	.1526568E-01	.8439135E-02	.4843367E-17

TEMPO= 0.65772E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.3880415	.2762729E-06	.1414386E-46	.5287638E-06
2	6.1284361	.1020629E-05	.1224643E-42	.1677420E-05
3	5.6796331	.4201761E-05	.1289982E-38	.6257559E-05
4	5.2359829	.1538076E-04	.1604669E-34	.2116978E-04
5	4.8364639	.4981656E-04	.2166351E-30	.6437403E-04
6	4.4927616	.1419021E-03	.3038512E-26	.1740402E-03
7	4.2204466	.3528912E-03	.4334054E-22	.4130641E-03
8	4.0419836	.7576791E-03	.6184744E-18	.8484339E-03
9	3.9846745	.1382287E-02	.8743525E-14	.1485826E-02
10	4.3405247	.2146606E-02	.1222820E-09	.2192657E-02
11	7.5434151	.3167006E-02	.3337042E-05	.2725196E-02
12	8.3257627	.2052247E-03	.3452806E-04	.5010389E-04
13	8.6779308	.2821053E-03	.4389699E-04	.9426715E-06
14	8.7768831	.3458909E-03	.3888704E-04	.1805350E-07
15	8.8026743	.3449852E-03	.3487119E-04	.3549676E-09
16	8.7932577	.3082631E-03	.3285965E-04	.7317417E-11
17	8.7901831	.2821395E-03	.3283701E-04	.1634472E-12
18	8.8354111	.3147034E-03	.3867697E-04	.4150607E-14
19	8.9381857	.1094613E-02	.2088137E-03	.1289809E-15
20	8.4053774	.1583732E-01	.8757025E-02	.5843421E-17

S

313

B

CNEAT-3158-VM/SP-CMS-REL 3.1-PL C8491+-SL303

NRH3TTF=.5880000E-04 NR2TTF=.2500000E-04 NR0TTF=.1310001E-04 EN=0.100
EMPO= 0.11786E+03 SEGUNDOS X

FLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.5997744	.3715090E-13	.3580643E-43	.2203657E-13
2	6.6060505	.7424333E-12	.2667874E-39	.4576711E-12
3	6.6120644	.1411394E-10	.2032174E-35	.9161979E-11
4	6.6152058	.2405198E-09	.1599675E-31	.1664074E-09
5	6.6177654	.3620837E-08	.1302659E-27	.2699697E-08
6	6.6233721	.4743048E-07	.1088304E-23	.3848819E-07
7	6.6552515	.5326150E-06	.9062219E-20	.4717347E-06
8	6.7092028	.5075996E-05	.6566006E-16	.4848366E-05
9	6.6721888	.4110928E-04	.3952262E-12	.4024456E-04
10	7.1224203	.2706351E-03	.2360726E-08	.2551558E-03
11	7.8208265	.1482382E-02	.6925316E-05	.1126169E-02
12	8.7289505	.3055988E-03	.3557118E-04	.3750433E-05
13	8.7294741	.2998863E-03	.3769761E-04	.1007437E-07
14	8.7262936	.2982479E-03	.3905076E-04	.2369728E-07
15	8.7347097	.2979964E-03	.3974453E-04	.5198116E-13
16	8.7455578	.2946365E-03	.4077515E-04	.1122409E-15
17	8.7359753	.2880129E-03	.4719934E-04	.2516487E-18
18	8.8072338	.2986053E-03	.4115239E-04	.6228379E-21
19	8.8755226	.3234490E-03	.4058557E-04	.1842333E-23
20	7.7720728	.8799778E-03	.7625769E-03	.7615549E-26

EMPO= 0.24452E+03 SEGUNDOS X

FLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.5997744	.4313816E-10	.2976778E-44	.4319972E-10
2	6.6060371	.4050744E-09	.2359017E-40	.4141001E-09
3	6.6118555	.3848950E-08	.1983547E-36	.4027569E-08
4	6.6127863	.3337546E-07	.1512407E-32	.3556180E-07
5	6.5985528	.2613349E-06	.1203245E-28	.2807469E-06
6	6.4900799	.1826522E-05	.9079197E-25	.1950562E-05
7	6.1837225	.1119930E-04	.6837526E-21	.1170454E-04
8	5.8933657	.5815538E-04	.6585495E-17	.5922034E-04
9	5.8058815	.2436779E-03	.6938937E-13	.2445867E-03
10	6.4143267	.7963437E-03	.5757412E-09	.7877862E-03
11	7.5698624	.2173893E-02	.4106814E-05	.1851793E-02
12	8.7235899	.3210115E-03	.3501739E-04	.1064366E-04
13	8.7408390	.3117695E-03	.3810116E-04	.5331755E-07
14	8.7346306	.3062789E-03	.3924457E-04	.2431992E-09
15	8.7369499	.3027101E-03	.4052301E-04	.1056971E-11
16	8.7476845	.2992437E-03	.4157367E-04	.4579650E-14
17	8.7669163	.2980158E-03	.4201357E-04	.2076287E-16
18	8.7970943	.3054759E-03	.4556264E-04	.1043758E-18
19	8.8673382	.5134288E-03	.9421911E-04	.6304889E-21
20	8.2855177	.4643202E-02	.2885528E-02	.5298317E-23

EMPO= 0.38966E+03 SEGUNDOS X

FLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.5989952	.3441584E-08	.1363801E-44	.4295131E-08
2	6.6018639	.2047535E-07	.1070585E-40	.2427167E-07
3	6.5884304	.1294184E-06	.8430261E-37	.1545580E-06
4	6.5866566	.7495887E-06	.6505373E-33	.8644953E-06
5	6.2707871	.3926892E-05	.5033056E-29	.6332489E-05

6	5.9566031	.1816257E-04	.4724205E-25	.1916107E-04
7	5.6632929	.7151131E-04	.5327760E-21	.7354392E-04
8	5.2430124	.2343573E-03	.6409890E-17	.2399137E-03
9	4.5199795	.6175854E-03	.6222253E-13	.6477039E-03
10	3.9906197	.1297118E-02	.2900986E-09	.1399246E-02
11	7.5406981	.2703705E-01	.3729009E-05	.2327325E-02
12	6.7254257	.3404492E-03	.3329168E-04	.1748114E-04
13	8.7611504	.3299399E-03	.3769140E-04	.1229075E-06
14	8.7581024	.3281629E-03	.3869951E-04	.8212580E-09
15	8.7607460	.3219545E-03	.3986657E-04	.5365146E-11
16	8.7688513	.3156529E-03	.4093496E-04	.3550735E-13
17	8.7834568	.3107230E-03	.4237192E-04	.2484261E-15
18	8.8153181	.3245650E-03	.4343529E-04	.1939747E-17
19	8.8964701	.7373635E-03	.1419377E-03	.1925973E-19
20	8.3901299	.8876147E-02	.5031619E-02	.2399486E-21

TIEMPO= 0.52426E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X=
1	6.5943706	.5264415E-07	.0300404E-46	.6976467E-07
2	6.5557806	.2339910E-06	.6363650E-42	.2909064E-06
3	6.4271408	.1145627E-05	.4853610E-38	.1319938E-05
4	6.1653996	.5099933E-05	.4049197E-34	.5672626E-05
5	5.8529873	.2695325E-04	.4066093E-30	.2136806E-04
6	5.5177450	.6832551E-04	.4684555E-26	.7126844E-04
7	5.1446409	.2663102E-03	.5896588E-22	.2073751E-03
8	4.7971516	.5013288E-03	.7869034E-18	.5171655E-03
9	4.8659086	.1069144E-02	.1097332E-13	.1082449E-02
10	7.1303854	.1967314E-02	.6521832E-09	.1858919E-02
11	7.7737427	.3286531E-02	.4949888E-05	.2575606E-02
12	8.5716433	.2325674E-03	.3001340E-04	.2194008E-04
13	8.6223583	.2166203E-03	.3578066E-04	.1840769E-06
14	8.6123323	.2116415E-03	.3702729E-04	.1521869E-08
15	8.6202583	.2142697E-03	.3861057E-04	.1360170E-10
16	8.6444330	.2220782E-03	.4026470E-04	.1074074E-12
17	8.6812906	.2351647E-03	.4243327E-04	.9781772E-15
18	8.7492952	.2780154E-03	.4858732E-04	.1601368E-16
19	8.6884916	.9087864E-03	.1903124E-03	.1241553E-18
20	8.4246550	.1293176E-01	.6998830E-02	.2158446E-20

TIEMPO= 0.63514E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X=
1	6.4360437	.2019688E-06	.4924162E-46	.3940410E-06
2	6.2000713	.7768932E-06	.4239479E-42	.1306249E-05
3	5.7552691	.3320223E-05	.4278795E-38	.5036770E-05
4	5.3008642	.1262813E-04	.5024573E-34	.1760996E-04
5	4.8885841	.4239492E-04	.6314836E-30	.5556431E-04
6	4.5303965	.1248018E-03	.8201130E-26	.1542712E-03
7	4.2417965	.3199591E-03	.1093086E-21	.3772387E-03
8	4.0476971	.7070024E-03	.1493390E-17	.7965723E-03
9	3.9734049	.1322911E-02	.2096646E-13	.1429177E-02
10	4.1402664	.2076145E-02	.3032385E-09	.2148421E-02
11	7.1965475	.2896678E-02	.2107246E-05	.2699624E-02
12	8.8635941	.4902647E-03	.2241989E-04	.7443846E-04
13	8.8227797	.3643401E-03	.2948235E-04	.2250435E-06
14	8.7504287	.2847221E-03	.3428877E-04	.2096906E-08

15	8.6751614	.2539586E-03	.4034536E-04	.1995201E-10
16	8.6710596	.2630914E-03	.4826466E-04	.1980845E-12
17	8.7075930	.2970868E-03	.5667489E-04	.2121202E-14
18	8.7833309	.3666549E-03	.6690735E-04	.2570046E-16
19	8.8886442	.1105740E-02	.2417079E-03	.3788149E-18
20	8.4053774	.1517459E-01	.9389935E-02	.7859841E-20

EMPO=--0.65460E+03- SEGUNDOS X

FLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.3947401	.2702674E-06	.1601614E-46	.5141115E-06
2	6.1382294	.1004008E-05	.1395037E-42	.1642302E-05
3	5.6904736	.4148148E-05	.1465163E-38	.6151595E-05
4	5.2455759	.1523659E-04	.1866751E-34	.2089838E-04
5	4.8441706	.4949693E-04	.2408724E-30	.6379791E-04
6	4.4980068	.1413414E-03	.3332802E-26	.1730932E-03
7	4.2227201	.3521834E-03	.4698216E-22	.4120423E-03
8	4.0420761	.7574253E-03	.6653417E-18	.8481608E-03
9	3.9891205	.1384243E-02	.9389313E-14	.1486726E-02
10	4.3870249	.2150751E-02	.1320152E-09	.2191543E-02
11	7.5354166	.3148570E-02	.3320310E-05	.2716218E-02
12	8.4505920	.2048742E-03	.3872468E-04	.2478865E-04
13	8.6627226	.2690996E-03	.4408312E-04	.2312441E-06
14	8.7568302	.3269913E-03	.3977594E-04	.2192100E-08
15	8.7924223	.3385830E-03	.3598591E-04	.2129212E-10
16	8.7936487	.3127656E-03	.3394087E-04	.2163028E-12
17	8.7956696	.2907647E-03	.3390326E-04	.2374164E-14
18	8.8394861	.3224530E-03	.3972686E-04	.2951985E-16
19	8.9383917	.1097794E-02	.2094496E-03	.4468921E-18
20	8.4058142	.1576028E-01	.8716228E-02	.9529877E-20

A1 SQRV 3/02/87 19:28:18 E.S.T. WAS THE ORIGIN

NH3TTF=.5880000E-04 CD2TTF=.2500000E-04 NO3TTF=.1610001E-04 EN=0.050
 EMP0= 0.11783E+03 SEGUNDOS X

PLATO	FH	NH3T	CD2T	X-
1	6.5997744	.3709731E-13	.3579228E-43	.2200396E-13
2	6.6060505	.7416630E-12	.2668482E-39	.4571604E-12
3	6.6120644	.1410346E-10	.2033619E-35	.9154361E-11
4	6.6152058	.2404184E-09	.1601231E-31	.1663209E-09
5	6.6177454	.3620432E-08	.1303953E-27	.2699157E-08
6	6.6233749	.4743932E-07	.1089232E-23	.3847272E-07
7	6.6552887	.5328618E-06	.9068459E-20	.4719354E-06
8	6.7092915	.5079633E-05	.6568894E-16	.4851812E-05
9	6.6721001	.4114801E-04	.3951928E-12	.4028286E-04
10	7.1221619	.2709222E-03	.2359527E-08	.2554362E-03
11	7.8206015	.1483674E-02	.6923332E-05	.1127306E-02
12	8.7339745	.3027210E-03	.3593642E-04	.1868765E-05
13	8.7294741	.2998656E-03	.3769856E-04	.2496777E-08
14	8.7262936	.2982523E-03	.3905228E-04	.2918761E-11
15	8.7347631	.2980332E-03	.3974284E-04	.3178906E-14
16	8.7455978	.2947012E-03	.4078470E-04	.3404114E-17
17	8.7359285	.2881223E-03	.4724332E-04	.3778965E-20
18	8.8083735	.2991040E-03	.4101860E-04	.4620161E-23
19	8.8751850	.3234290E-03	.4066518E-04	.6750628E-26
20	7.7704430	.8769941E-03	.7605443E-03	.1353184E-28

LEMP0= 0.24509E+03 SEGUNDOS X

PLATO	FH	NH3T	CD2T	X-
1	6.5997734	.4427558E-10	.2959766E-44	.4442806E-10
2	6.6060362	.4146694E-09	.2344994E-40	.4245493E-09
3	6.6118469	.3931312E-08	.1871957E-36	.4118686E-08
4	6.6127119	.3401952E-07	.1502776E-32	.3628062E-07
5	6.5960550	.2658477E-06	.1195062E-28	.2857606E-06
6	6.4878435	.1854369E-05	.9007948E-25	.1980827E-05
7	6.1795607	.1134633E-04	.6788433E-21	.1185856E-04
8	5.8898172	.5878219E-04	.6550854E-17	.5985763E-04
9	5.8008461	.2456845E-03	.6907045E-13	.2466142E-03
10	6.4073553	.8007048E-03	.5713332E-09	.7922414E-03
11	7.5686502	.2178853E-02	.4098293E-05	.1856803E-02
12	8.7380762	.3188003E-03	.3594352E-04	.5325979E-05
13	8.7409782	.3117658E-03	.3810436E-04	.1330732E-07
14	8.7346497	.3062990E-03	.3924446E-04	.3025515E-10
15	8.7369690	.3027411E-03	.4052770E-04	.6548581E-13
16	8.7476845	.2992898E-03	.4158689E-04	.1411527E-15
17	8.7669230	.2980991E-03	.4283618E-04	.3178873E-18
18	8.7971611	.3056722E-03	.4560279E-04	.7921123E-21
19	8.8677826	.5147315E-03	.9441888E-04	.2364845E-25
20	8.2858629	.4656490E-02	.2892896E-02	.9691058E-26

LEMP0= 0.39009E+03 SEGUNDOS X

PLATO	FH	NH3T	CD2T	X-
1	6.5989828	.3492396E-08	.1377712E-44	.4360128E-08
2	6.6018000	.2076459E-07	.1081537E-40	.2532999E-07
3	6.5891128	.1311240E-06	.8516236E-37	.1564015E-06
4	6.5054598	.7590860E-06	.6570852E-33	.874978E-06
5	6.2682858	.3973197E-05	.5089029E-29	.4380261E-05

6	5.9542742	.1834542E-04	.4787544E-25	.1934991E-04
7	5.6606016	.7213095E-04	.5405415E-21	.7417696E-04
8	5.2370014	.2340118E-03	.6503680E-17	.2416489E-03
9	4.5095644	.6205081E-03	.6291435E-13	.6513614E-03
10	3.9789944	.1299514E-02	.2808549E-09	.1404415E-02
11	7.5406440	.2706830E-02	.3733235E-05	.2529908E-02
12	8.7480822	.3365560E-03	.3485303E-04	.8729009E-05
13	8.7621384	.3305345E-03	.3768080E-04	.3059663E-07
14	8.7589245	.3268686E-03	.3867449E-04	.1018522E-09
15	8.7615948	.3227012E-03	.3985055E-04	.3312003E-12
16	8.7696466	.3163731E-03	.4093199E-04	.1089878E-14
17	8.7641454	.3113660E-03	.4237874E-04	.3783136E-17
18	8.8158694	.3251764E-03	.4646483E-04	.1464967E-19
19	8.8968678	.7387861E-03	.1421267E-03	.6813691E-22
20	8.3799562	.8875899E-02	.5035788E-02	.4361342E-24

TIEMPO= 0.52358E+03 SEGUNDOS X

PLATO	FH	NH3T	C02T	X-
1	6.5844793	.5232398E-07	.8247162E-46	.6932214E-07
2	6.5540266	.2330052E-06	.6324344E-42	.2896478E-06
3	6.4277716	.1142082E-05	.4825615E-38	.1345546E-05
4	6.1661663	.5089967E-05	.4027069E-34	.5661303E-05
5	5.8531599	.2603483E-04	.4045690E-30	.2134906E-04
6	5.5162125	.6832161E-04	.4658230E-26	.7127562E-04
7	5.1388311	.2004019E-03	.5863250E-22	.2675646E-03
8	4.7834673	.5015666E-03	.7824502E-18	.5172178E-03
9	4.8186483	.1069238E-02	.1009687E-13	.1084141E-02
10	7.1218109	.1967116E-02	.6462739E-09	.1860742E-02
11	7.7701311	.3278588E-02	.4928398E-05	.2574063E-02
12	8.6080513	.2282680E-03	.3219524E-04	.1092661E-04
13	8.6229954	.2165901E-03	.3578403E-04	.4565478E-07
14	8.6128759	.2118844E-03	.3700775E-04	.1878145E-09
15	8.6213379	.2148655E-03	.3860542E-04	.7730542E-12
16	8.6459036	.2229799E-03	.4020036E-04	.3271443E-14
17	8.6829214	.2362617E-03	.4246425E-04	.1477149E-16
18	8.7506933	.2791907E-03	.4863527E-04	.7483120E-19
19	8.8899952	.9096488E-03	.1902747E-03	.4578960E-21
20	8.4245882	.1291608E-01	.6987572E-02	.3868882E-23

TIEMPO= 0.63382E+03 SEGUNDOS X

PLATO	FH	NH3T	C02T	X-
1	6.4382524	.2000590E-06	.4085404E-46	.5894019E-06
2	6.2036295	.7714360E-06	.4198807E-42	.1294840E-05
3	5.7593937	.5302102E-05	.4230613E-38	.5601690E-05
4	5.3044577	.1257885E-04	.4965127E-34	.1751934E-04
5	4.8913565	.4228680E-04	.6340980E-30	.5511385E-04
6	4.5320568	.1248793E-03	.8106221E-26	.1539762E-03
7	4.2419357	.3197519E-03	.1081132E-21	.3789999E-03
8	4.0464629	.7069504E-03	.1477368E-17	.7967679E-03
9	3.9743605	.1324068E-02	.2074410E-13	.1450039E-02
10	4.1608639	.2079715E-02	.2999936E-09	.2148631E-02
11	7.2081776	.2697720E-02	.2145644E-05	.2695613E-02
12	8.8768816	.4650424E-03	.2451157E-04	.1215793E-04
13	8.8253975	.3673646E-03	.2961955E-04	.5574983E-07
14	8.7351274	.2890429E-03	.3437159E-04	.2584550E-09

15	8.6795416	.2573417E-03	.4044383E-04	.1222329E-11
16	8.6738758	.2650691E-03	.4828309E-04	.6024654E-14
17	8.7091703	.2977566E-03	.5651277E-04	.3198349E-16
18	8.7840529	.3662761E-03	.6659744E-04	.1917579E-18
19	8.8889818	.4103978E-02	.2410375E-03	.1395093E-20
20	8.4052839	.1513820E-01	.8370638E-02	.1406109E-22

TIEMPO= 0.65335E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.3971243	.2681655E-06	.1656143E-46	.5089465E-06
2	6.1416140	.9995279E-06	.1443135E-42	.1630504E-05
3	5.6941690	.4131287E-05	.1513502E-38	.6117176E-05
4	5.2487288	.1519517E-04	.1862043E-34	.2081576E-04
5	4.8465090	.4941877E-04	.2475177E-30	.6364276E-04
6	4.4992495	.1412439E-03	.3414249E-26	.1729051E-03
7	4.2225704	.3521624E-03	.4900458E-22	.4120420E-03
8	4.0409660	.7577906E-03	.6786890E-18	.8487587E-03
9	3.9911747	.1385971E-02	.9574515E-14	.1487971E-02
10	4.4228983	.2154340E-02	.1348267E-09	.2191861E-02
11	7.5338659	.3142135E-02	.3321032E-05	.2711968E-02
12	8.5021420	.2029449E-03	.4131779E-04	.1233171E-04
13	8.6576004	.2651776E-03	.4417691E-04	.5728968E-07
14	8.7510509	.3243119E-03	.4691863E-04	.2702580E-09
15	8.7898378	.3369257E-03	.3624958E-04	.1304965E-11
16	8.7941122	.3140357E-03	.3415623E-04	.6582889E-14
17	8.7974520	.2930025E-03	.3408612E-04	.3582871E-16
18	8.8408575	.3242996E-03	.3986941E-04	.2205002E-18
19	8.9386435	.1093048E-02	.2093612E-03	.1648101E-20
20	8.4058275	.1572553E-01	.8690875E-02	.1707596E-22

LE: S S15 B CNCA1-3158-VM/SF-CMS-REL 3.1-PLC8401+-SL303

NH3TTF=.5880001E-03 CO2TTF=.2500000E-04 NO3TTF=.1610001E-04 EN=0.050
TIEMPO= 0.11855E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.5997744	.1902793E-12	.2159643E-39	.2305761E-13
2	6.6060524	.3549324E-11	.1630804E-35	.4811556E-12
3	6.6121063	.6173660E-10	.1275297E-31	.9619955E-11
4	6.6158142	.9379502E-09	.1035368E-27	.1740475E-09
5	6.6252279	.1214924E-07	.8681730E-24	.2809329E-08
6	6.6944189	.1299001E-06	.7544259E-20	.3980848E-07
7	7.0416994	.1101200E-05	.6459031E-16	.4853917E-06
8	7.4568224	.7475131E-05	.2641356E-12	.4960218E-05
9	7.7105894	.5353503E-04	.4018303E-09	.4093841E-04
10	8.2327023	.4703070E-03	.3537868E-06	.2500809E-03
11	8.8976631	.5953595E-02	.29082288E-04	.1132647E-02
12	9.2799702	.3209023E-02	.1432680E-03	.1887128E-05
13	9.2707062	.3192975E-02	.1506365E-03	.2535292E-08
14	9.2670412	.3168607E-02	.1556027E-03	.2980905E-11
15	9.2711496	.3145100E-02	.1601592E-03	.3265756E-14
16	9.2818260	.3098243E-02	.1632890E-03	.3517976E-17
17	9.2992744	.3046613E-02	.1657534E-03	.3928452E-20
18	9.3234091	.2985537E-02	.1672078E-03	.4629831E-23
19	9.3749056	.3423523E-02	.1962708E-03	.7090319E-26
20	9.6620054	.1817887E-01	.7487580E-03	.1425110E-28

TIEMPO= 0.23869E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.5998154	.8139731E-10	.2519508E-41	.3333671E-10
2	6.6063547	.6891347E-09	.2071562E-37	.3321343E-09
3	6.6141815	.5784685E-08	.1677193E-33	.3320168E-08
4	6.6266356	.4349456E-07	.1340357E-29	.3005534E-07
5	6.6586142	.2937097E-06	.1044955E-25	.2430285E-06
6	6.6633444	.1806592E-05	.7075946E-22	.1728788E-05
7	6.3781109	.1042786E-04	.3535614E-19	.1061858E-04
8	6.3788271	.5518054E-04	.2723149E-14	.5497420E-04
9	6.8628969	.2392070E-03	.1820541E-10	.2321786E-03
10	7.7153940	.9383991E-03	.7200117E-07	.7637572E-03
11	8.7167912	.6531585E-02	.6002167E-04	.1828623E-02
12	9.2812958	.3222275E-02	.1401796E-03	.5154527E-05
13	9.2751064	.3201311E-02	.1470843E-03	.1261130E-07
14	9.2703476	.3170676E-02	.1525601E-03	.2802215E-10
15	9.2732840	.3148929E-02	.1584411E-03	.5921080E-13
16	9.2835617	.3116674E-02	.1633959E-03	.1245126E-15
17	9.3008575	.3099936E-02	.1694683E-03	.2734595E-18
18	9.3250923	.3176723E-02	.1846353E-03	.6643020E-21
19	9.4051838	.5619872E-02	.3627082E-03	.1931740E-23
20	9.7101955	.6504500E-01	.2821909E-02	.7707316E-26

TIEMPO= 0.37035E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.6000385	.2974957E-09	.1580082E-42	.2638102E-08
2	6.6063080	.1675832E-07	.1220185E-39	.1625334E-07
3	6.6074924	.1017381E-06	.9419174E-35	.1055159E-06
4	6.5690508	.5764093E-06	.7097122E-31	.6210412E-06
5	6.3910465	.3030716E-05	.5074217E-27	.3269436E-05

6	6.0845385	.1448679E-04	.4233714E-23	.1518143E-04
7	5.8562698	.5992749E-04	.4446582E-19	.6113169E-04
8	5.8059578	.2079119E-03	.5131467E-15	.2089581E-03
9	6.0425339	.5915547E-03	.3579510E-11	.5898371E-03
10	7.5265961	.1520892E-02	.3482221E-07	.1327051E-02
11	8.6327095	.6998405E-02	.4692029E-04	.2280974E-02
12	9.2782011	.3213983E-02	.1395515E-03	.8327811E-05
13	9.2743378	.3193595E-02	.1471083E-03	.2820005E-07
14	9.2696056	.3161429E-02	.1524141E-03	.9017950E-10
15	9.2724352	.3136834E-02	.1581185E-03	.2807039E-12
16	9.2826872	.3103066E-02	.1629248E-03	.8822164E-15
17	9.2999830	.3090453E-02	.1693843E-03	.2922789E-17
18	9.3245354	.3263812E-02	.1938596E-03	.1077504E-19
19	9.4190531	.7834408E-02	.5351589E-03	.4771979E-22
20	9.7217531	.1161768E+00	.5064398E-02	.2906885E-24

MPO= 0.52545E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.5878763	.5869263E-07	.5134933E-43	.7166528E-07
2	6.5611877	.2499191E-06	.3974398E-39	.2980841E-06
3	6.4421558	.1194799E-05	.3027268E-35	.1379890E-05
4	6.1901503	.5258282E-05	.2478524E-31	.5785841E-05
5	5.9167461	.2063681E-04	.2473769E-27	.2174459E-04
6	5.6591768	.7029223E-04	.2822424E-23	.7235285E-04
7	5.2669649	.2047415E-03	.3386256E-19	.2100110E-03
8	4.5676498	.4953721E-03	.3211934E-15	.5223658E-03
9	4.1577101	.1020727E-02	.1418299E-11	.1090217E-02
10	7.7852736	.2359226E-02	.4251549E-07	.1866292E-02
11	8.5816765	.7267687E-02	.4091061E-04	.2576623E-02
12	9.2742109	.3188657E-02	.1387113E-03	.1095153E-04
13	9.2721176	.3170124E-02	.1470841E-03	.4584597E-07
14	9.2677307	.3142068E-02	.1524220E-03	.1890504E-09
15	9.2708979	.3120348E-02	.1580354E-03	.7802560E-12
16	9.2812824	.3088234E-02	.1628431E-03	.3311652E-14
17	9.2986374	.3081367E-02	.1697929E-03	.1499941E-16
18	9.3232632	.3366878E-02	.2054488E-03	.7623929E-19
19	9.4284105	.1041224E-01	.7369365E-03	.4679756E-21
20	9.7274122	.1756535E+00	.7664852E-02	.3967162E-23

EMPO= 0.63353E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.4238443	.1803588E-06	.7044952E-45	.3678995E-06
2	6.1601343	.6908320E-06	.6269966E-41	.1290295E-05
3	5.6898079	.2977720E-05	.6730690E-37	.4986267E-05
4	5.2247381	.1152923E-04	.8566865E-33	.1747320E-04
5	4.8073616	.3942239E-04	.1136533E-28	.5499300E-04
6	4.4416485	.1175465E-03	.1484519E-24	.1537045E-03
7	4.1306564	.3023834E-03	.1870849E-20	.3764902E-03
8	3.8915510	.6676719E-03	.2239939E-16	.7960186E-03
9	3.8710222	.1294627E-02	.2534409E-12	.1429167E-02
10	7.	.2484941E-02	.2578398E-07	.2147971E-02
11	8.5382252	.7121239E-02	.3911934E-04	.2695359E-02
12	9.2643442	.3120919E-02	.1408604E-03	.1215530E-04
13	9.2676048	.3145909E-02	.1492173E-03	.5072369E-07
14	9.2688904	.3164109E-02	.1533663E-03	.2582772E-09

15	9.2769547	.3178223E-02	.1576318E-03	.1221101E-11
16	9.2906590	.3165927E-02	.1612047E-03	.3016502E-14
17	9.3095055	.3166619E-02	.1675165E-03	.3192814E-16
18	9.3340254	.3499946E-02	.2073297E-03	.1913495E-18
19	9.4313068	.1169013E-01	.8380550E-03	.1391534E-20
20	9.7022705	.2026947E+00	.9490646E-02	.1401998E-22

EMPO= 0.72595E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.1571341	.6679333E-04	.4492121E-44	.1279240E-05
2	5.8427963	.2179955E-05	.4402187E-40	.3568166E-05
3	5.3922033	.8069610E-05	.4865863E-36	.1210141E-04
4	4.9753027	.2669297E-04	.5838478E-32	.3726425E-04
5	4.6053305	.7845969E-04	.7333162E-28	.1032596E-03
6	4.2893677	.2034798E-03	.9536965E-24	.2540264E-03
7	4.0477915	.4639141E-03	.1285238E-19	.5534752E-03
8	3.9550400	.9336728E-03	.1791148E-15	.1044550E-02
9	4.5800581	.1665846E-02	.2582141E-11	.1691895E-02
10	4.1335125	.2260835E-02	.3092552E-08	.2334236E-02
11	8.5910139	.7874876E-02	.3664171E-04	.2762485E-02
12	9.2797838	.3224956E-02	.1358073E-03	.1288162E-04
13	9.2702484	.3156512E-02	.1476289E-03	.6238173E-07
14	9.2611761	.3105734E-02	.1553317E-03	.3114624E-09
15	9.2652321	.3087326E-02	.1603469E-03	.1611248E-11
16	9.2805529	.3072881E-02	.1620542E-03	.8787083E-14
17	9.3036871	.3090328E-02	.1657816E-03	.5204235E-16
18	9.3305330	.3504381E-02	.2114543E-03	.3501546E-18
19	9.4274435	.1314007E-01	.9718088E-03	.2870807E-20
20	9.7078762	.2376137E+00	.1100421E-01	.3270120E-22

NH3TTF=.5879998E-02 C02TTF=.2500000E-04 NO3TTF=.1610001E-04 EN=0.050
 TEMPO= 0.11615E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	C02T	X-
1	6.5997753	.8973210E-12	.7107428E-36	.1808225E-13
2	6.6060638	.1630758E-10	.5551128E-32	.3914597E-12
3	6.6122923	.2725373E-09	.4363847E-28	.8039827E-11
4	6.6184559	.3903764E-08	.3460199E-24	.1488538E-09
5	6.6557388	.4629887E-07	.2785992E-20	.2454441E-08
6	6.9315424	.4307906E-06	.2325092E-16	.3550267E-07
7	7.5630436	.2954774E-05	.1396514E-12	.4417585E-06
8	8.0862637	.1796213E-04	.2554177E-09	.4606101E-05
9	8.5839891	.1656295E-03	.1354942E-06	.3878135E-04
10	9.1266060	.2514130E-02	.1958648E-04	.2493153E-03
11	9.6633778	.5027754E-01	.6657485E-03	.1114815E-02
12	9.7501154	.3039192E-01	.5054967E-03	.1826212E-05
13	9.7685843	.3012721E-01	.4349216E-03	.2408364E-08
14	9.8163242	.2967730E-01	.2961399E-03	.2777562E-11
15	9.8898622	.2927465E-01	.1453002E-03	.2983695E-14
16	9.9330425	.2875125E-01	.5243302E-04	.3150727E-17
17	9.9708414	.2830972E-01	.1587992E-04	.3447993E-20
18	10.0053539	.2787437E-01	.4671434E-05	.4151961E-23
19	10.0810652	.3278459E-01	.2218134E-05	.5961992E-26
20	10.5163670	.1968711E+00	.3640911E-05	.1168683E-28

TEMPO= 0.24230E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	C02T	X-
1	6.6000409	.3164713E-09	.9692846E-38	.3795077E-10
2	6.6077423	.2340404E-08	.7995698E-34	.3778151E-09
3	6.6234035	.1673560E-07	.6828890E-30	.3740194E-08
4	6.6750956	.1021775E-06	.5863554E-26	.3341987E-07
5	6.8339310	.5294194E-06	.4725260E-22	.2664064E-06
6	7.0174322	.2462908E-05	.2810444E-18	.1867601E-05
7	6.9732704	.1214143E-04	.1095913E-14	.1130515E-04
8	7.2907877	.6303331E-04	.4595953E-11	.5769281E-04
9	7.9656153	.3362047E-03	.1159092E-07	.2402621E-03
10	8.7715015	.2937044E-02	.6771497E-05	.7798003E-03
11	9.5777521	.5079036E-01	.5396500E-03	.1844584E-02
12	9.7343502	.3048790E-01	.5546513E-03	.5251254E-05
13	9.7225742	.3036189E-01	.5822848E-03	.1300190E-07
14	9.7166634	.3010804E-01	.6012022E-03	.2926824E-10
15	9.7218723	.2988611E-01	.6091732E-03	.6269361E-13
16	9.7434092	.2948349E-01	.5838198E-03	.1337029E-15
17	9.7941380	.2912340E-01	.4937937E-03	.2978780E-18
18	9.8917437	.2956574E-01	.3210437E-03	.7340846E-21
19	10.1409845	.5391438E-01	.1533896E-03	.2164537E-23
20	10.7886562	.6976197E+00	.4353331E-04	.8743337E-26

TEMPO= 0.36259E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	C02T	X-
1	6.6023273	.5135917E-08	.1611459E-39	.2108166E-08
2	6.6154232	.2451665E-07	.1292281E-35	.1347885E-07
3	6.6428776	.1262328E-06	.1041634E-31	.8970096E-07
4	6.6727057	.6132746E-06	.8155237E-28	.5394154E-06
5	6.5967607	.2913515E-05	.5913764E-24	.2898982E-05

6	6.3349724	.1349675E-04	.4611273E-20	.1373770E-04
7	6.2337217	.5628254E-04	.4427366E-16	.5643982E-04
8	6.7423229	.2008337E-03	.4275067E-12	.1967548E-03
9	7.6010752	.6578076E-03	.2627865E-08	.5660111E-03
10	8.5676730	.3428867E-02	.3504940E-05	.1295980E-02
11	9.5337439	.5108375E-01	.4669810E-03	.2260595E-02
12	9.7366829	.3047301E-01	.5444719E-03	.8164373E-05
13	9.7252121	.3034938E-01	.5735592E-03	.2725256E-07
14	9.7177172	.3010684E-01	.5978399E-03	.8571459E-10
15	9.7178297	.2991772E-01	.6229484E-03	.2620470E-12
16	9.7253647	.2959925E-01	.6438764E-03	.8082001E-15
17	9.7390423	.2943647E-01	.6714794E-03	.2626241E-17
18	9.7649002	.3085680E-01	.7354876E-03	.9493193E-20
19	9.9991045	.7380325E-01	.1038495E-02	.4121040E-22
20	10.8357592	.1177151E+01	.8405382E-03	.2458797E-24

X TIEMPO= 0.49022E+03 SEGUNDOS X

PLATO	FH	NH3T	CO2T	X-
1	6.6041708	.4324713E-07	.1934837E-40	.3754841E-07
2	6.6052742	.1714048E-06	.1521009E-36	.1699379E-06
3	6.5626812	.7959324E-06	.1180545E-32	.8419838E-06
4	6.3901701	.3541043E-05	.9312381E-29	.3775343E-05
5	6.1228476	.1454825E-04	.8513870E-25	.1516182E-04
6	5.9010715	.5278770E-04	.9154827E-21	.5385993E-04
7	5.8524132	.1657074E-03	.1074766E-16	.1666727E-03
8	6.4251518	.4450106E-03	.1288044E-12	.4410059E-03
9	7.3665590	.1066127E-02	.1106861E-08	.9754428E-03
10	8.4377489	.3869899E-02	.2381301E-05	.1757088E-02
11	9.5081560	.5128288E-01	.4299439E-03	.2525017E-02
12	9.7378159	.3047098E-01	.5389864E-03	.1045733E-04
13	9.7268820	.3034476E-01	.5481571E-03	.4214517E-07
14	9.7195988	.3009937E-01	.5916785E-03	.1657914E-09
15	9.7199965	.2990890E-01	.6158007E-03	.6486597E-12
16	9.7269154	.2959350E-01	.6387827E-03	.2598785E-14
17	9.7377234	.2948012E-01	.6771768E-03	.1107905E-16
18	9.7494659	.3178082E-01	.8201166E-03	.5289483E-19
19	9.9689198	.9450507E-01	.1641013E-02	.3646575E-21
20	10.8058920	.1680118E+01	.2597909E-02	.2420624E-23

X TIEMPO= 0.61973E+03 SEGUNDOS X

PLATO	FH	NH3T	CO2T	X-
1	6.5602169	.2764417E-06	.5943196E-41	.3187535E-06
2	6.4861336	.9616233E-06	.4616186E-37	.1090101E-05
3	6.2806940	.3918036E-05	.3792384E-33	.4303201E-05
4	6.0229349	.1456326E-04	.3660436E-29	.1539938E-04
5	5.7923737	.4799991E-04	.4052616E-25	.4947999E-04
6	5.6277027	.1389951E-03	.4872607E-21	.1411346E-03
7	5.5581923	.3502711E-03	.6057236E-17	.3525892E-03
8	5.3906784	.7562337E-03	.5406198E-13	.7596193E-03
9	7.2058325	.1476020E-02	.6421348E-09	.1387508E-02
10	8.3614349	.4235681E-02	.1877453E-05	.2116053E-02
11	9.4900932	.5141073E-01	.4097892E-03	.2682967E-02
12	9.7381611	.3046911E-01	.5365789E-03	.1202505E-04
13	9.7274847	.3034090E-01	.5661398E-03	.5459261E-07
14	9.7202883	.3009378E-01	.5893393E-03	.2497744E-09

15	9.7206593	.2990115E-01	.6134643E-03	.1162949E-11
16	9.7276773	.2958716E-01	.6361671E-03	.5633186E-14
17	9.7364378	.2951431E-01	.6824643E-03	.2935364E-16
18	9.7394667	.3267801E-01	.8879222E-03	.1725969E-18
19	9.9577332	.1152114E+00	.2179055E-02	.1230757E-20
20	10.7844543	.2185685E+01	.4418042E-02	.1215352E-22

X TIEMPO= 0.77752E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.2828817	.1886072E-05	.1895091E-41	.2273447E-05
2	6.1647367	.5284243E-05	.1741218E-37	.5852376E-05
3	5.9167385	.1747810E-04	.1754253E-33	.1859195E-04
4	5.6948576	.5176343E-04	.1971088E-29	.5366905E-04
5	5.5083618	.1366351E-03	.2369609E-25	.1395749E-03
6	5.3448410	.3195398E-03	.2969998E-21	.3238164E-03
7	5.1529913	.6561470E-03	.3857888E-17	.6628551E-03
8	4.8595505	.1170039E-02	.5230111E-13	.1183550E-02
9	3.9984360	.1724470E-02	.1232714E-09	.1824762E-02
10	8.3252993	.4642554E-02	.1609326E-05	.2419378E-02
11	9.4798145	.5154306E-01	.3961737E-03	.2790261E-02
12	9.7384062	.3048837E-01	.5354327E-03	.1319314E-04
13	9.7280750	.3035734E-01	.5648003E-03	.6542973E-07
14	9.7208977	.3010587E-01	.5877952E-03	.3378720E-09
15	9.7212496	.2990859E-01	.6118603E-03	.1822837E-11
16	9.7277765	.2959333E-01	.6360679E-03	.1043403E-13
17	9.7347813	.2956791E-01	.6896241E-03	.6516877E-16
18	9.7282667	.3376503E-01	.9696558E-03	.4639943E-18
19	9.9490064	.1401699E+00	.2822460E-02	.4035607E-20
20	10.7680864	.2794950E+01	.6601799E-02	.4864889E-22

X TIEMPO= 0.91924E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	5.9023962	.7775623E-05	.2953036E-42	.8955100E-05
2	5.8758898	.1725579E-04	.3567106E-38	.1849580E-04
3	5.6621246	.4809823E-04	.4249518E-34	.5017397E-04
4	5.4688702	.1207070E-03	.5126569E-30	.1239701E-03
5	5.2989120	.2720638E-03	.6150530E-26	.2769001E-03
6	5.1138830	.5470256E-03	.7239749E-22	.5544792E-03
7	4.7342682	.9685841E-03	.8348824E-18	.9868429E-03
8	4.1931238	.1485072E-02	.9717050E-14	.1549090E-02
9	6.8667641	.2197704E-02	.3251155E-09	.2135707E-02
10	8.1789722	.4296463E-02	.1436882E-05	.2597218E-02
11	9.4749975	.5161997E-01	.3896470E-03	.2840315E-02
12	9.7389956	.3054088E-01	.5346928E-03	.1379661E-04
13	9.7292547	.3043566E-01	.5635163E-03	.7173969E-07
14	9.7219648	.3019254E-01	.5871870E-03	.3974916E-09
15	9.7223034	.2998899E-01	.6111204E-03	.2350032E-11
16	9.7285786	.2966015E-01	.6357303E-03	.1499722E-13
17	9.7332573	.2965911E-01	.6976556E-03	.1058252E-15
18	9.7201424	.3475837E-01	.1038733E-02	.8597251E-18
19	9.9437704	.1623456E+00	.3390373E-02	.8594697E-20
20	10.7580070	.3335987E+01	.8544266E-02	.1201506E-21

X TIEMPO= 0.94905E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
-------	----	------	------	----

1	5.8209251	.1011373E-04	.3381151E-42	.1152985E-04
2	5.8216019	.2138839E-04	.3752122E-38	.2280284E-04
3	5.6154864	.5773238E-04	.4267860E-34	.6005199E-04
4	5.4260694	.1404934E-03	.5121783E-30	.1440964E-03
5	5.2519989	.3074016E-03	.6408746E-26	.3129693E-03
6	5.033260	.6663025E-03	.8299217E-22	.6694563E-03
7	4.8464195	.1034664E-02	.1116162E-17	.1057030E-02
8	4.3422985	.1575685E-02	.1554990E-13	.1621027E-02
9	7.1647520	.2317700E-02	.3473989E-09	.2191158E-02
10	8.3107308	.4956644E-02	.1341140E-05	.2625922E-02
11	9.4717636	.5133110E-01	.3089115E-03	.2849930E-02
12	9.7357153	.3935283E-01	.5353841E-03	.1366728E-04
13	9.7267895	.3023358E-01	.5649698E-03	.7274247E-07
14	9.7263484	.3003259E-01	.5872196E-03	.4676941E-09
15	9.7213254	.2788703E-01	.6108266E-03	.2448945E-11
16	9.7283792	.2961722E-01	.6349396E-03	.1592277E-13
17	9.7339446	.2967528E-01	.6989106E-03	.1148381E-15
18	9.7189760	.3500148E-01	.1052669E-02	.9555898E-18
19	9.9428560	.1670415E+00	.3510354E-02	.9060888E-20
20	10.7563572	.3449258E+01	.8948214E-02	.1467154E-21

NH3TTF=.5880001E-03 CO2TTF=.2500000E-04 NO3TTF=.0 EN=0.0
 X TIEMPO= 0.10995E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.5997744	.8836437E-13	.8742284E-38	.0
2	6.6060514	.1790241E-11	.7016619E-34	.0
3	6.6120901	.3356528E-10	.5652300E-30	.0
4	6.6156254	.5474801E-09	.4568836E-26	.0
5	6.6236839	.7559201E-08	.3707009E-22	.0
6	6.6903648	.8477076E-07	.3065214E-18	.0
7	7.1044550	.7220708E-06	.2585669E-14	.0
8	7.7532530	.4392645E-05	.1176964E-10	.0
9	8.3184204	.2684447E-04	.1379770E-07	.0
10	8.9051647	.2952924E-03	.3984535E-05	.0
11	9.3558140	.5292106E-02	.2531295E-03	.0
12	9.2890411	.3266412E-02	.1422639E-03	.0
13	9.2788572	.3251608E-02	.1480189E-03	.0
14	9.2750931	.3218688E-02	.1523810E-03	.0
15	9.2792282	.3182575E-02	.1558142E-03	.0
16	9.2908649	.3118952E-02	.1565352E-03	.0
17	9.3104000	.3044666E-02	.1549291E-03	.0
18	9.3385448	.2949923E-02	.1494993E-03	.0
19	9.3946667	.3241843E-02	.1593661E-03	.0
20	9.7054377	.1533432E-01	.4949044E-03	.0

X TIEMPO= 0.23319E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.5998201	.5390401E-10	.3221083E-37	.0
2	6.6064329	.4426250E-09	.2530140E-33	.0
3	6.6151199	.3490039E-08	.2018490E-29	.0
4	6.6357403	.2334714E-07	.1640822E-25	.0
5	6.7284575	.1275601E-06	.1366178E-21	.0
6	7.0224285	.5404619E-06	.1114392E-17	.0
7	7.4316874	.1746617E-05	.6040365E-14	.0
8	7.8394409	.5548917E-05	.1495126E-10	.0
9	8.3317070	.2806602E-04	.1442190E-07	.0
10	8.9068737	.2974435E-03	.4017400E-05	.0
11	9.3558674	.5297925E-02	.2535265E-03	.0
12	9.2891413	.3272744E-02	.1427355E-03	.0
13	9.2790155	.3263359E-02	.1489429E-03	.0
14	9.2750530	.3240571E-02	.1544534E-03	.0
15	9.2787838	.3223293E-02	.1600806E-03	.0
16	9.2895193	.3192540E-02	.1648547E-03	.0
17	9.3070335	.3175817E-02	.1708276E-03	.0
18	9.3312616	.3249109E-02	.1856375E-03	.0
19	9.4133806	.5642030E-02	.3527461E-03	.0
20	9.7452784	.6423801E-01	.2510958E-02	.0

X TIEMPO= 0.35017E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.6006422	.1018378E-08	.6777531E-37	.0
2	6.6103296	.4950397E-08	.5334259E-33	.0
3	6.6332407	.2418271E-07	.4263149E-29	.0
4	6.7016487	.9889209E-07	.3446581E-25	.0
5	6.8855972	.3261992E-06	.2703953E-21	.0

6	7.1774960	.8560777E-06	.1730533E-17	.0
7	7.4866829	.2015094E-05	.7032525E-14	.0
8	7.8498516	.5727607E-05	.1543857E-10	.0
9	8.3329792	.2818576E-04	.1448022E-07	.0
10	9.9069605	.2975520E-03	.4018690E-05	.0
11	9.3558798	.5298048E-02	.2535211E-03	.0
12	9.2881546	.3272841E-02	.1427351E-03	.0
13	9.2789764	.3263450E-02	.1489856E-03	.0
14	9.2750530	.3240638E-02	.1544599E-03	.0
15	9.2787971	.3223445E-02	.1600830E-03	.0
16	9.2895594	.3192881E-02	.1648514E-03	.0
17	9.3070869	.3180328E-02	.1712127E-03	.0
18	9.3313017	.3341203E-02	.1946347E-03	.0
19	9.4261179	.7674225E-02	.5081994E-03	.0
20	9.7476177	.1109316E+00	.4491262E-02	.0

X TIEMPO= 0.48375E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.6062145	.7561486E-08	.1153254E-36	.0
2	6.6264648	.2363765E-07	.9069139E-33	.0
3	6.6806955	.7878776E-07	.7187827E-29	.0
4	6.8021936	.2199832E-06	.5579998E-25	.0
5	7.0052319	.5079903E-06	.3872294E-21	.0
6	7.2439890	.1027034E-05	.2068495E-17	.0
7	7.5089884	.2135472E-05	.7451495E-14	.0
8	7.8543644	.5800064E-05	.1561941E-10	.0
9	8.3334427	.2822983E-04	.1449882E-07	.0
10	8.9069939	.2975874E-03	.4019083E-05	.0
11	9.3558731	.5298082E-02	.2535318E-03	.0
12	9.2881546	.3272868E-02	.1427384E-03	.0
13	9.2790089	.3263507E-02	.1489589E-03	.0
14	9.2751589	.3240684E-02	.1543623E-03	.0
15	9.2787571	.3223542E-02	.1601336E-03	.0
16	9.2894993	.3193165E-02	.1649353E-03	.0
17	9.3068886	.3185077E-02	.1718654E-03	.0
18	9.3310690	.3444893E-02	.2050517E-03	.0
19	9.4346399	.9973764E-02	.6854490E-03	.0
20	9.7488031	.1637517E+00	.6729640E-02	.0

X TIEMPO= 0.61691E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.6230612	.2736827E-07	.1676871E-36	.0
2	6.6581774	.6054512E-07	.1307285E-32	.0
3	6.7432251	.1526047E-06	.1013552E-28	.0
4	6.8853884	.3299054E-06	.7407039E-25	.0
5	7.0294856	.6224159E-06	.4634841E-21	.0
6	7.2753601	.1117204E-05	.2246791E-17	.0
7	7.5196905	.2195820E-05	.7654356E-14	.0
8	7.8565121	.5834888E-05	.1570256E-10	.0
9	8.3336554	.2825007E-04	.1450681E-07	.0
10	8.9070063	.2976034E-03	.4019199E-05	.0
11	9.3558865	.5298093E-02	.2535172E-03	.0
12	9.2881413	.3272855E-02	.1427450E-03	.0
13	9.2789831	.3263418E-02	.1489797E-03	.0
14	9.2751656	.3240725E-02	.1543551E-03	.0

6	7.1774960	.8560777E-06	.1730533E-17	.0
7	7.4866829	.2015094E-05	.7032525E-14	.0
8	7.8498516	.5727607E-05	.1543857E-10	.0
9	8.3329792	.2818576E-04	.1448022E-07	.0
10	8.9069605	.2975520E-03	.4018690E-05	.0
11	9.3558798	.5298048E-02	.2535211E-03	.0
12	9.2881546	.3272841E-02	.1427351E-03	.0
13	9.2789764	.3263450E-02	.1489856E-03	.0
14	9.2750530	.3240638E-02	.1544599E-03	.0
15	9.2787971	.3223445E-02	.1600830E-03	.0
16	9.2895594	.3192881E-02	.1648514E-03	.0
17	9.3070869	.3180328E-02	.1712127E-03	.0
18	9.3313017	.3341203E-02	.1946347E-03	.0
19	9.4261179	.7674225E-02	.5081994E-03	.0
20	9.7476177	.1109316E+00	.4491262E-02	.0

X TIEMPO= 0.48375E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.6062145	.7561406E-08	.1153254E-36	.0
2	6.6264648	.2363765E-07	.9069139E-33	.0
3	6.6806955	.7879776E-07	.7187827E-29	.0
4	6.8021936	.2199832E-06	.5579998E-25	.0
5	7.0052319	.5079903E-06	.3872294E-21	.0
6	7.2439890	.1027034E-05	.2068495E-17	.0
7	7.5089884	.2135472E-05	.7451495E-14	.0
8	7.8543644	.5800064E-05	.1561941E-10	.0
9	8.3334427	.2822983E-04	.1449882E-07	.0
10	8.9069939	.2975874E-03	.4019083E-05	.0
11	9.3558731	.5298082E-02	.2535318E-03	.0
12	9.2881546	.3272868E-02	.1427384E-03	.0
13	9.2790089	.3263507E-02	.1489589E-03	.0
14	9.2751589	.3240684E-02	.1543623E-03	.0
15	9.2787571	.3223542E-02	.1601336E-03	.0
16	9.2894993	.3193165E-02	.1649353E-03	.0
17	9.3068886	.3185077E-02	.1718654E-03	.0
18	9.3310690	.3444893E-02	.2050517E-03	.0
19	9.4346399	.9973764E-02	.6854490E-03	.0
20	9.7488031	.1637517E+00	.6729640E-02	.0

X TIEMPO= 0.61691E+03 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.6230612	.2736827E-07	.1676871E-36	.0
2	6.6581774	.6054512E-07	.1307285E-32	.0
3	6.7432251	.1526047E-06	.1013552E-28	.0
4	6.8853884	.3279054E-06	.7407039E-25	.0
5	7.0594558	.6224159E-06	.4634841E-21	.0
6	7.2753601	.1117204E-05	.2246791E-17	.0
7	7.5196905	.2195820E-05	.7654356E-14	.0
8	7.8565121	.5834888E-05	.1570256E-10	.0
9	8.3336554	.2825007E-04	.1450681E-07	.0
10	8.9070063	.2976034E-03	.4019199E-05	.0
11	9.3558865	.5298093E-02	.2535172E-03	.0
12	9.2881413	.3272855E-02	.1427450E-03	.0
13	9.2789831	.3263418E-02	.1489797E-03	.0
14	9.2751656	.3240725E-02	.1543551E-03	.0

15	9.2788897	.3223632E-02	.1600073E-03	.0
16	9.2895985	.3193505E-02	.1648706E-03	.0
17	9.3067293	.3189870E-02	.1724859E-03	.0
18	9.3309832	.3547323E-02	.2151973E-03	.0
19	9.4402266	.1224385E-01	.8606813E-03	.0
20	9.7494068	.2158833E+00	.8939054E-02	.0

X TIEMPO= 0.72522E+03 SEGUNDOS X

FLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.6484699	.5737340E-07	.2178798E-36	.0
2	6.6923399	.1007706E-06	.1666709E-32	.0
3	6.7924585	.2131898E-06	.1253075E-28	.0
4	6.9338264	.3998326E-06	.8664700E-25	.0
5	7.1011944	.6844301E-06	.5078186E-21	.0
6	7.2907019	.1163773E-05	.2340940E-17	.0
7	7.5249596	.2226168E-05	.7756182E-14	.0
8	7.8575659	.5852051E-05	.1574249E-10	.0
9	8.3337612	.2825991E-04	.1450970E-07	.0
10	8.9070129	.2976111E-03	.4019014E-05	.0
11	9.3558931	.5298104E-02	.2535076E-03	.0
12	9.2881346	.3272873E-02	.1427537E-03	.0
13	9.2788897	.3263438E-02	.1490717E-03	.0
14	9.2751255	.3240755E-02	.1543986E-03	.0
15	9.2789030	.3223642E-02	.1599964E-03	.0
16	9.2896118	.3193675E-02	.1648753E-03	.0
17	9.3067427	.3193703E-02	.1724852E-03	.0
18	9.3308172	.3629896E-02	.2234830E-03	.0
19	9.4435530	.1407320E-01	.1001971E-02	.0
20	9.7497244	.2579030E+00	.1071970E-01	.0

X TIEMPO= 0.84089E+03 SEGUNDOS X

FLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.6872463	.1036919E-06	.2786836E-36	.0
2	6.7322540	.1487255E-06	.2662688E-32	.0
3	6.8374567	.2712585E-06	.1490380E-28	.0
4	6.9712362	.4575950E-06	.9768282E-25	.0
5	7.1244411	.7324966E-06	.5433494E-21	.0
6	7.3019543	.1199023E-05	.2412782E-17	.0
7	7.5288429	.2248799E-05	.7832267E-14	.0
8	7.8583412	.5864691E-05	.1577258E-10	.0
9	8.3338337	.2826705E-04	.1451241E-07	.0
10	8.9070129	.2976165E-03	.4019023E-05	.0
11	9.3558931	.5298108E-02	.2535065E-03	.0
12	9.2881479	.3272877E-02	.1427400E-03	.0
13	9.2789631	.3263484E-02	.1490688E-03	.0
14	9.2750530	.3240709E-02	.1544674E-03	.0
15	9.2787905	.3223620E-02	.1601056E-03	.0
16	9.2895193	.3193741E-02	.1649723E-03	.0
17	9.3067093	.3197645E-02	.1732623E-03	.0
18	9.3307848	.3717389E-02	.2321087E-03	.0
19	9.4460449	.1601034E-01	.1152554E-02	.0
20	9.7499962	.3024018E+00	.1260450E-01	.0

X TIEMPO= 0.97537E+03 SEGUNDOS X

FLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
-------	----	------	------	----

1	6.7432890	.1724774E-06	.3594790E-36	.0
2	6.7786980	.2063733E-06	.2524477E-32	.0
3	6.8794966	.3283985E-06	.1736168E-28	.0
4	7.0026140	.5089453E-06	.1080177E-24	.0
5	7.1434803	.7736338E-06	.5744842E-21	.0
6	7.3111782	.1228650E-05	.2473443E-17	.0
7	7.5320369	.2267579E-05	.7895536E-14	.0
8	7.8589706	.5875075E-05	.1579802E-10	.0
9	8.3339005	.2827289E-04	.1451557E-07	.0
10	8.9070196	.2976202E-03	.4019337E-05	.0
11	9.3558798	.5298115E-02	.2535288E-03	.0
12	9.2881413	.3272875E-02	.1427513E-03	.0
13	9.2789431	.3263476E-02	.1490253E-03	.0
14	9.2751131	.3240732E-02	.1544127E-03	.0
15	9.2789097	.3223673E-02	.1599254E-03	.0
16	9.2895985	.3194097E-02	.1649269E-03	.0
17	9.3065300	.3202378E-02	.1738935E-03	.0
18	9.3307180	.3816093E-02	.2420728E-03	.0
19	9.4485493	.1824211E-01	.1325184E-02	.0
20	9.7501955	.3536543E+00	.1477658E-01	.0

X TIEMPO= 0.11202E+04 SEGUNDOS X

PLATO	PH	NH3T	CO2T	X-
1	6.8109837	.2600616E-06	.4634155E-36	.0
2	6.8284941	.2711625E-06	.3036846E-32	.0
3	6.9167595	.3819168E-06	.1975892E-28	.0
4	7.0282536	.5531036E-06	.1172409E-24	.0
5	7.1587553	.8078571E-06	.6008082E-21	.0
6	7.3185806	.1252897E-05	.2523305E-17	.0
7	7.5346012	.2282777E-05	.7947232E-14	.0
8	7.8594809	.5883398E-05	.1581973E-10	.0
9	8.3339472	.2827744E-04	.1451923E-07	.0
10	8.9070196	.2976232E-03	.4019881E-05	.0
11	9.3558540	.5298119E-02	.2535606E-03	.0
12	9.2881479	.3272883E-02	.1427412E-03	.0
13	9.2789497	.3263485E-02	.1490207E-03	.0
14	9.2751722	.3240736E-02	.1543535E-03	.0
15	9.2789771	.3223664E-02	.1601022E-03	.0
16	9.2895851	.3194330E-02	.1649610E-03	.0
17	9.3065166	.3207548E-02	.1744122E-03	.0
18	9.3306522	.3929634E-02	.2531093E-03	.0
19	9.4505577	.2071721E-01	.7517479E-02	.0
20	9.7503738	.4105092E+00	.1718526E-01	.0