

Determinación de interfases en un sistema experimental para producción de agua pesada

R.J. Gillen, G.E. Maggio y J.G. Graiño*

1 - INTRODUCCION

El proceso para producción de agua pesada por intercambio isotópico entre agua y sulfuro de hidrógeno (conocido como GS) fue el seleccionado por la CNEA para su planta experimental de agua pesada actualmente en construcción.

Su utilización requiere pares de columnas gas-líquido en los cuales agua y sulfuro de hidrógeno circulan en contra-corriente originándose la transferencia hidrógeno-deuterio en un conjunto de platos perforados y en medio de una "zona de burbujas" en la que gas y líquido entran en íntimo contacto. Por lo tanto, la eficiencia del sistema dependerá de las características de esta fase que llamaremos espuma, sobre todo teniendo en cuenta que el incorrecto diseño de los platos puede influir en la forma de dicha espuma como así también la presencia de impurezas en la misma.

En consecuencia, resulta conveniente el estudio en particular de cada tipo de torre de producción para cual la CNEA desarrolló un Lazo Experimental para Circulación de Sulfuro de Hidrógeno (LECS) que, por medio de una sección de columna de burbujeo con tres platos, de los cuales sólo uno opera lleno de agua (los dos restantes sirven de distribuidores o separadores de gas y líquido) es capaz de brindar una valiosa información práctica del proceso bajo análisis (1).

Dada la importancia que, en este dispositivo, tiene la fase espumosa, el Departamento de

* Dirección de Radioisótopos y Radiaciones - Comisión Nacional de Energía Atómica

Aplicaciones Tecnológicas de la CNEA desarrolló un equipo medidor el cual permite obtener un perfil longitudinal de densidad sobre un registro gráfico y de esta forma determinar interfases líquido - gas y evaluar el nivel de espuma sobre el plato.

Este sistema se encuentra actualmente en operación en el LECS constituyendo la única instrumentación disponible capaz de entregar una información confiable que permita evaluar la espuma generada por el proceso GS. Las Fig. 1 y 2 muestran esquemáticamente la disposición de las distintas partes del medidor.

2 - PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El equipo consiste en una estructura en forma de "C" que abraza a la torre y que tiene dispuestos diametralmente un detector de centelleo y una fuente radiactiva de ^{137}Cs . El conjunto se desplaza a lo largo de la torre a velocidad constante por medio de un pistón hidráulico.

Los impulsos de salida se acoplan a un integrador que, a través de un sistema de compensación electrónica, permite efectuar lecturas diferenciales alrededor de un valor medio. El integrador se halla acoplado a un registrador gráfico del cual se obtiene el perfil deseado.

La medición se basa en la atenuación que sufre la radiación γ al atravesar un medio según la siguiente ley exponencial:

$$I = I_0 e^{-\mu_a \times \delta} \tag{1}$$

Siendo I e I_0 las intensidades de radiación antes y después de atravesar un medio de densidad δ y espesor x y μ_a el "coeficiente másico de atenuación para radiación γ " que puede ser considerado como constante para la mayor parte de los elementos. Por lo tanto la intensidad de radiación emergente será función de la densidad del medio atravesado. Entonces, teniendo en cuenta que la sonda de medición se desplaza a velocidad constante y que la señal de salida del detector es representativa de la densidad media en cada punto, se obtendrá en el registro gráfico una curva densidad-altura (2).

Al diseñar el equipo y dada su característica experimental, se tomó como criterio básico la versatilidad del mismo. En efecto, tanto la velocidad de barrido como los parámetros electrónicos (constante de tiempo, atenuación, escala, alta tensión y factor de compensación) permiten ser modificados dentro de un amplio

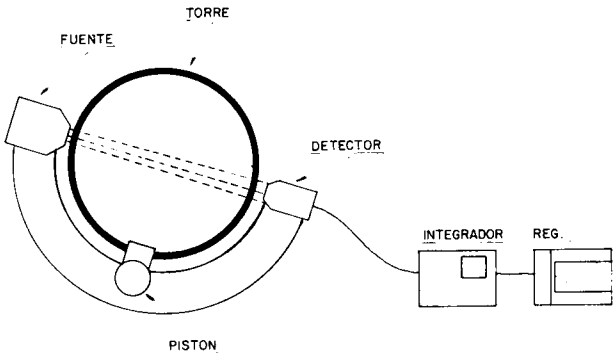


Figura 1: Esquema básico de medición

rango, mientras que, por otra parte, tanto la fuente radiactiva como el detector y sus respectivos colimadores pueden ser rápidamente reemplazados por otros diferentes.

3 - BASES DE DISEÑO

En este punto deben considerarse los criterios para la selección de la fuente radiactiva y del detector como así también la velocidad óptima de barrido y las características del instrumental electrónico asociado.

Se partió de la base de que se trabajaría con un cristal de centelleo por ser capaz de responder a un elevado régimen de conteo y poseer una buena eficiencia de medición. El radioisótopo elegido fue ^{137}Cs por razones de disponibilidad, período de semidesintegración adecuado y buena sensibilidad para el caso en estudio.

Para calcular la actividad se tuvo en cuenta el hecho de que la sensibilidad del sistema es función de la misma. Es decir que la capacidad para diferenciar valores de densidad próximos se incrementa con la actividad. Para el caso de la torre la situación más desfavorable se presenta cuando se deben distinguir los valores correspondientes a aire y espuma (considerando para ésta una densidad del orden del 5% respecto de la fase líquida según las condiciones impuestas para el diseño).

La actividad medida por el detector (en impulsos por unidad de tiempo) está dada por la

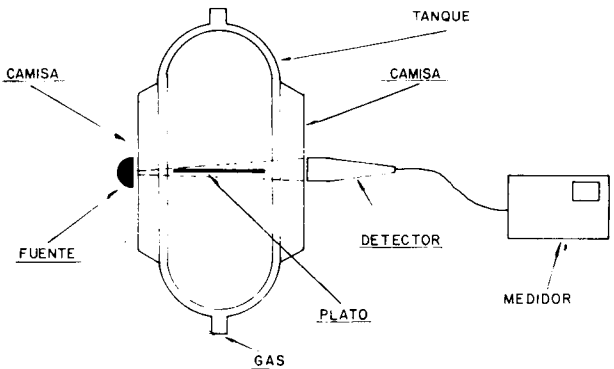


Figura 2: Esquema de la torre de producción

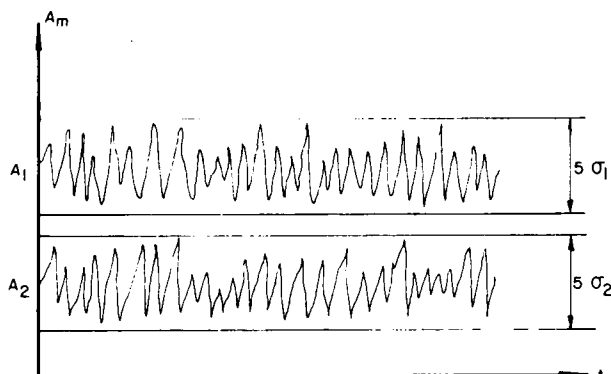


Figura 3: Dos lecturas con sus correspondientes fluctuaciones estadísticas

siguiente expresión:

$$A_m = R_e R_d R_p R_a A_0 = R_t R_a A_0 \quad (2)$$

En ésta R_e representa la reducción debida a la eficiencia del detector y por lo tanto fijada por el mismo (en este caso $R_e = 0,3$); R_d es la reducción debida a la distancia fuente-detector, dependiente del cuadro de la misma y del área sensible del cristal, valores también fijos (resultando para este caso $R_d = 3,9 \times 10^{-4}$); R_p es la atenuación que producen las paredes de hierro y de acuerdo con la expresión (1) resulta $R_p = 0,11$. Finalmente, R_a vale 1 para aire y 0,95 para espuma con lo cual la relación entre la actividad medida y la correspondiente a la fuente resulta para el primer caso de $1,29 \times 10^{-5}$ y para el segundo $1,22 \times 10^{-5}$.

Por otra parte, según se sabe, la desintegración radiactiva es un fenómeno estadístico caracterizado por un valor medio y una desviación estándar obteniéndose sobre el registro gráfico no un valor constante sino una franja de indeterminación. Dado que, según conocidas leyes estadísticas, el 98,7% de las veces la franja estará dentro de $\pm 2,5$ desviaciones (σ) del valor medio (A_m) el criterio adoptado fue que las lecturas correspondientes a aire y a espuma

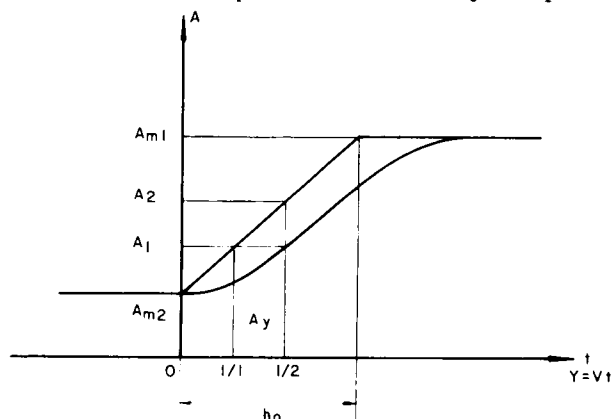


Figura 4: Representación de la actividad en función del tiempo

estuvieran separadas al menos en 5σ . (Fig. 3).

$$|A_m (\text{esp}) - A_m (\text{aire})| \geq 5\sigma \quad (3)$$

Para el caso de un integrador la desviación estándar de la medición está dada por la expresión siguiente, en la cual RC es la constante de tiempo:

$$\sigma = \sqrt{\frac{A_m}{2 RC}} \quad (4)$$

Combinando esta expresión con la (2) y planteado la condición (3) se obtiene para una constante RC = 1 segundo (valor típico) una actividad mínima de ^{137}Cs de 12 mCi empleándose en el equipo construido 40 mCi para lograr una mayor separación de lecturas.

En cuanto a la selección de la velocidad de barrido debió tenerse en cuenta la ley de variación de la actividad medida en función de la altura dentro de la fase espumosa. Al respecto, y a falta de otra información mejor, se supuso que la espuma adoptaba la forma de un paraboloide de revolución sobre la fase acuosa. Se plantearon, entonces, las ecuaciones correspondientes, desarrollándose en serie la expresión hallada para poder obtener una aproximación lineal de la función actividad-altura. El resultado obtenido, considerando una velocidad de barrido constante (v) y en el que se comete un error inferior al 1,5%, es el siguiente: (2)

$$A_{(v)} = \frac{A_{m1} - A_{m2}}{h_0} vt + A_{m2} = svt + A_{m2} \quad (5)$$

Siendo A_{m1} y A_{m2} las lecturas correspondientes a aire y a espuma respectivamente y h_0 la altura de esta fase, mientras que s es la sensibilidad del sistema.

Esta variación de la actividad será seguida en forma exponencial por el integrador (Fig. 4) alcanzándose el equilibrio luego de transcurridas 3 a 5 constantes de tiempo. Planteando la correspondiente ecuación diferencial y considerando que se alcanzó el régimen permanente (2) se llega a la conclusión siguiente: cuando el equipo lee una actividad A_1 (Fig. 4) que correspondería a una altura y_1 , en realidad la actividad verdadera en ese momento es A_2 con lo cual la altura real es y_2 , cometiéndose un error $\Delta y = y_2 - y_1$, que resulta igual a:

$$\Delta y = v RC \quad (6)$$

Tomando RC = 1 segundo y fijando a Δy como el 1% de la separación entre platos, resul-

ta una velocidad de barrido de 4,5 mm/seg.

Dentro de las bases de diseño se incluye también la selección de tipo de instrumento a emplear para la medición, aunque previamente se haya determinado el uso de un integrador dada la necesidad de obtener un registro gráfico.

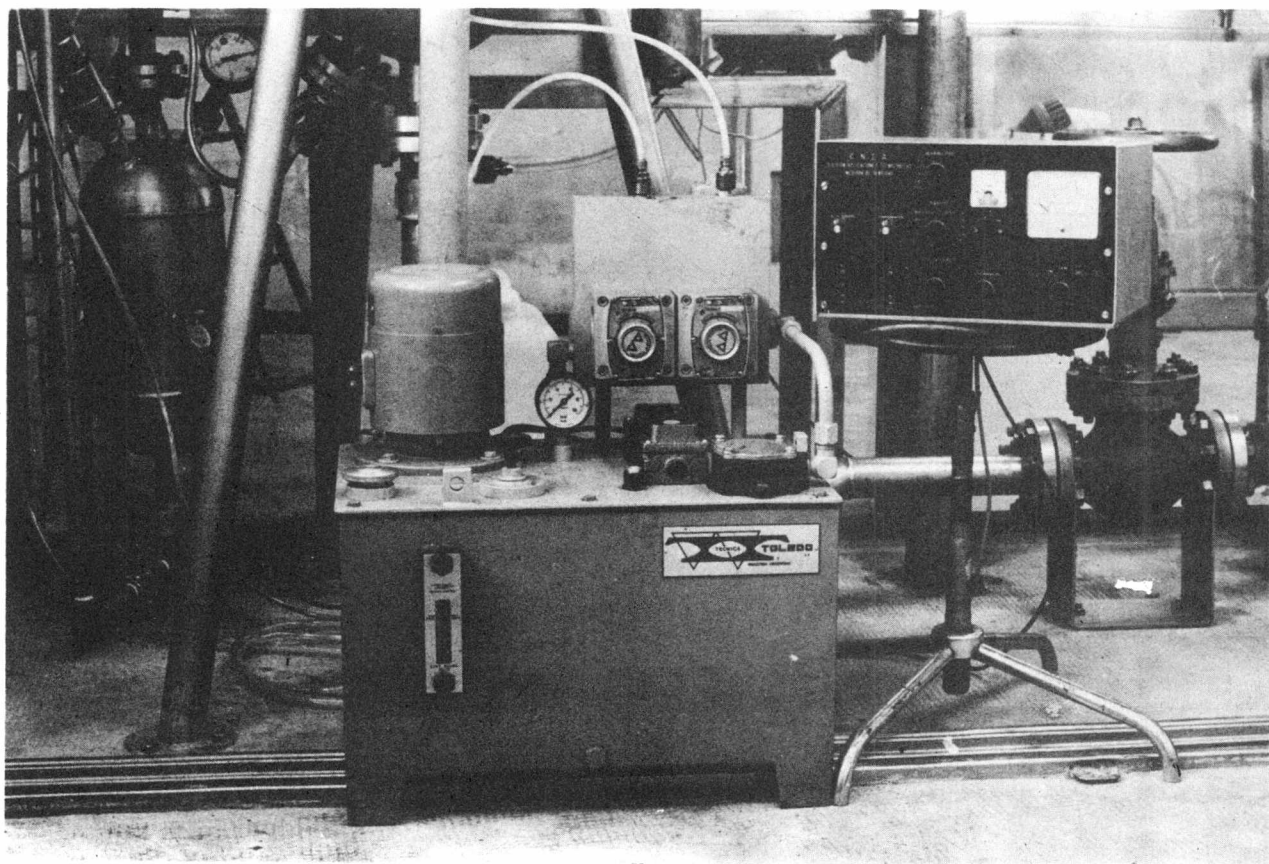
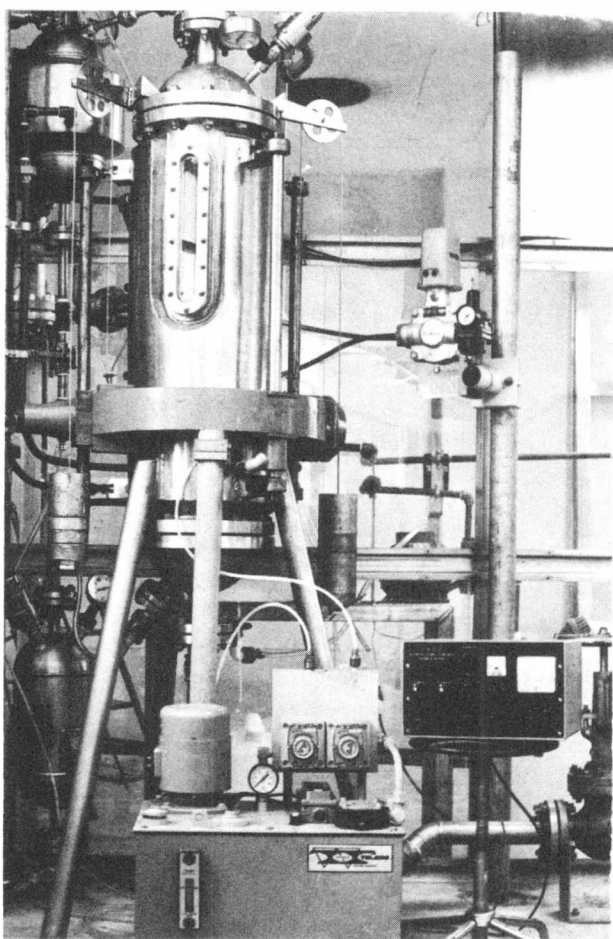
En un integrador común la relación entre dos lecturas está dada por la siguiente expresión:

$$\Delta A = \frac{A_1 - A_2}{A_2} \quad (7)$$

Luego, si ambos valores (como en este caso) son muy próximos este cociente resultará pequeño con la consiguiente dificultad de lectura, aún si se cumple la condición planteada por la expresión (3). Sin embargo, si se utiliza un método de compensación electrónica es posible restar a cada lectura una constante seleccionada mediante un control con lo cual se desplaza el cero de la escala aumentándose la sensibilidad de medición. La expresión siguiente muestra qué sucede con la relación ΔA cuando se sus-

Figura 5: Medidor de interfase instalado en la torre

Figura 6: Equipo hidráulico y sistema de medición



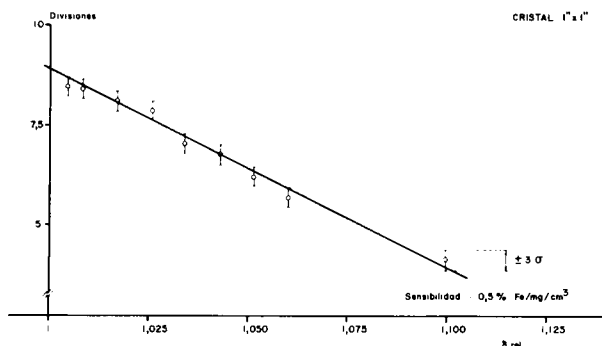


Figura 7: Curva de transferencia experimental trae una constante A_0 :

$$\Delta A' = \frac{(A_1 - A_0) - (A_2 - A_0)}{A_2 - A_0} = \frac{A_1 - A_2}{A_2 - A_0} = \frac{\Delta A}{1 \cdot \frac{A_0}{A_2}} \quad (8)$$

En consecuencia, $\Delta A'$ puede hacerse tan grande como se desee con tal de tomar un valor A_0 lo suficientemente próximo a A_2 . Sin embargo, esto no es rigurosamente cierto dado que A_2 no es una constante sino que está representada por una banda con fluctuaciones estadísticas.

4 - DESCRIPCION DEL EQUIPO

El sistema es mostrado en la Fig. 5 instalado en la torre. Puede observarse la "C" de medición, con el portafuentes y el portadetector los cuales se desplazan impulsados por un pistón hidráulico y guiados por tres barras separadas 120° , fijas en la torre. Este sistema de acople no requiere ningún acabado especial en las paredes del recipiente, estando toda la estructura construida en chapa de hierro por razones de simplicidad.

El pistón es accionado por una unidad hidráulica integrada por una bomba, un motor y válvulas para modificar la velocidad constituyendo un bloque separado (Fig. 6). Esta disposición permite una fácil operación eliminando algunas conexiones externas.

Debe aclararse que esta forma de movimiento, muy adecuada para este prototipo, presentaría, en caso de pretender emplearse en una torre de producción, las dificultades tecnológicas inherentes a la fabricación de pistones de gran recorrido.

El sistema electrónico (Fig. 6) es básicamente, como ya se mencionó, un integrador el cual tiene adicionada una etapa diferencial que permite la aplicación de una tensión de compensación y un amplificador que es capaz de modificar la sensibilidad del instrumento (expansión de escala) entre 1 y 100 veces respecto a la lectura normal. El conjunto se completa con

un registrador gráfico el cual puede ser de tensión o de corriente.

5 - RESULTADOS

Previo a su instalación en la torre, el equipo fue sometido a un conjunto de ensayos de laboratorio, comenzando por las pruebas estáticas, es decir, aquellas en las cuales la sonda de medición no se hallaba en movimiento.

Primeramente se diseñó una experiencia que permitiría obtener una curva de respuesta y calcular la sensibilidad del instrumento para determinar si sería capaz de operar satisfactoriamente en las condiciones normales de trabajo.

Para ello se midieron distintas concentraciones de cloruro de sodio en agua de modo que la densidad variara entre 1 g/cm^3 y $1,1 \text{ g/cm}^3$. Para cada valor de densidad se obtuvo un registro gráfico tomándose de cada franja el valor medio y la desviación estándar. En la Fig. 7 se ilustra la función de transferencia, midiéndose en abscisas densidades relativas y en ordenadas divisiones del registro gráfico (unidades arbitrarias).

Dado que el sistema fue diseñado para realizar mediciones con respecto a un valor de referencia, es conveniente definir como parámetro característico del mismo su sensibilidad relativa:

$$s_r = \frac{\frac{\Delta D}{D}}{\Delta \delta} \quad (9)$$

Esta expresión vincula una variación relativa en la indicación del instrumento con una variación en la densidad a medir. A partir de la Fig. 7 y aplicando la (9) se halló la sensibilidad relativa del equipo que, expresada en forma porcentual, es:

$$s_r = 0,5\%/\text{mg/cm}^3$$

Esto significa que si se produce una variación en la densidad a medir de 1 mg/cm^3 , la indicación del instrumento se modificará en un 0,5% del valor de fondo de escala.

Para comprobar esta cifra se midieron dos soluciones de alcohol etílico en agua cuya diferencia de densidades era de 20 mg/cm^3 resultando las lecturas obtenidas separadas entre sí en un 10% del fondo escala coincidiendo, por lo tanto, el valor de sensibilidad, calculado nuevamente con la expresión (9), con el determinado anteriormente.

Luego se llevaron a cabo algunas pruebas dinámicas modificando sensibilidades, constantes del tiempo y velocidades de barrido con el objeto de detectar posibles errores en la determinación de la interfase y de su ubicación.

Finalmente, se pasó a la etapa de ensayos en planta trazando la curva de respuesta y determinando valores de sensibilidad en condiciones reales de trabajo.

Como ya se mencionó, cuando la torre se encuentra en operación normal se genera una fase espumosa sobre el nivel del plato dependiendo la altura, distribución longitudinal y forma de la misma de diversos factores. El registro gráfico en este caso permite evaluar dichos parámetros como así también obtener información complementaria, como ser verás. (Fig. 8).

Realizando barridos para diferentes caudales, tipos de plato y calidades de agua se hallaron las condiciones óptimas de funcionamiento de la torre. Posteriormente, la representación de los perfiles de porcentaje de agua (a través de la función de transferencia y en base a la lectura obtenida) permitió evaluar la cantidad de agua involucrada en el proceso. Para lograrlo se integraron gráficamente dichas curvas multiplicándose el resultado por la sección del cilindro, siendo éste el único medio de que se dispone para el cálculo de ese parámetro. Cabe aclarar que estas experiencias fueron realizadas por los usuarios del equipo. (1)

6 - CONCLUSIONES

Lo anteriormente expuesto demuestra las ventajas operativas de un sistema de medición basado en la atenuación de la radiación gamma. En efecto, el mismo constituye un medio idóneo de estudio de la fase espumosa dado que permite obtener un gráfico representativo de su distribución vertical, siendo además su manejo muy sencillo.

El sistema desarrollado se encuentra actualmente en operación instalado en el LECS permitiendo la determinación de los parámetros óptimos del mismo a través del conocimiento de la cantidad de líquido existente sobre la bandeja, la altura de la fase mixta y el perfil de densidades sobre el plato, datos que surgen del estudio del registro gráfico entregado por el instrumento.

Si bien el equipo fue diseñado primeramente como detector de interfases, sus usuarios hallaron inmediatamente otras aplicaciones del mismo tales como la determinación del agua involucrada en el proceso tal como ya se detalló.

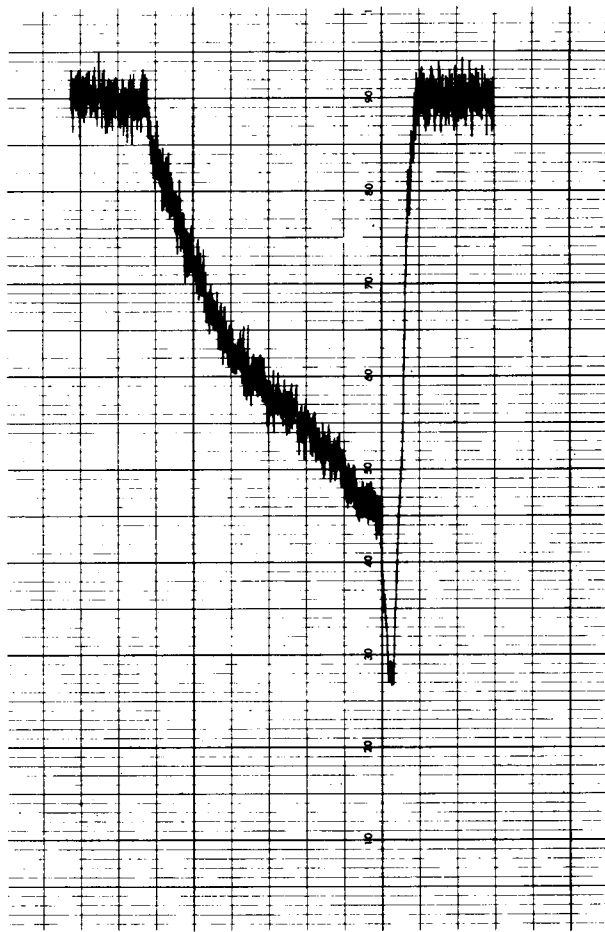


Figura 8: Perfil de densidad con la torre en operación

Además, cuando todo el sistema opere en condiciones normales y rutinarias podría estudiarse la posibilidad de emplearlo para el estudio de deterioros en platos. (4).

REFERENCIAS

- 1 - "Lazo experimental para circulación de sulfuro de hidrógeno (LECS) I. Descripción y ensayos preliminares" N.R. Strehar, J.J. Moras, E.O. Cogozzo, P. Bruzzoni. (Energía Nuclear N° 5, 1982).
- 2 - "Medidor de interfase para torre de agua pesada". G.E. Maggio, R.J. Gillen, J.G. Graiño (Informe interno CNEA N°T 17/80, 1980).
- 3 - "Tray performance evaluation" D.W. Jones, J.B. Jones. (Chemical Engineering Progress Vol. 71/N° 6, 1975).
- 4 - "Gamma scanning of large towers" M.J. Fulham, V.G. Hulbert (Chemical Engineering Progress. Vol. 71/N° 6, 1975).

SERVICIO I.A. 41