

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1980

07.80.02

CNEA-NT 17/80

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
DIRECCION DE RADIOISOTOPOS Y RADIACIONES
GERENCIA DE APLICACIONES

MEDIDOR DE INTERFASE PARA
TORRE DE AGUA PESADA

G.E.Maggio - R.J.Gillen - J.G.Graíño
Departamento de Aplicaciones Tecnológicas

Buenos Aires - Julio 1980

CONTENIDO

Sección	Página
1.0.0	Introducción..... 1
2.0.0	Principios de funcionamiento..... 1
3.0.0	Bases de diseño..... 2
3.1.0	Criterio de selección de la fuente..... 2
3.2.0	Criterio de selección del detector..... 4
3.3.0	Criterio de selección de la velocidad de barrido..... 4
3.3.1	Consideraciones preliminares..... 4
3.3.2	Selección de la velocidad..... 5
4.0.0	Sistema mecánico..... 6
4.1.0	Unidad estructural..... 6
4.2.0	Unidad de movimiento..... 7
5.0.0	Sistema de medición..... 7
6.0.0	Errores..... 8
6.1.0	Errores aleatorios..... 8
6.2.0	Errores sistemáticos..... 8
7.0.0	Pruebas de laboratorio..... 10
7.1.0	Ensayos estáticos..... 10
7.2.0	Ensayos dinámicos..... 11
8.0.0	Pruebas en Planta..... 11
9.0.0	Conclusiones..... 12

Figuras al final del texto.

MEDIDOR DE INTERFASE PARA TORRE DE AGUA PESADA

RESUMEN

El conocimiento de la altura de espuma sobre cada plato es un parámetro importante en el diseño y en la determinación de las características de una torre de agua pesada. A tal efecto fue desarrollado y construido un equipo capaz de obtener un perfil longitudinal de densidad cuyo principio de funcionamiento y bases de diseño se describen en el presente informe.

El sistema consta de una sonda de medición que se desplaza a lo largo de la torre y que tiene adosados en forma diametral una fuente radiactiva de ^{137}Cs y un detector de centelleo. La señal de salida de éste se acopla a un instrumento electrónico que permite efectuar lecturas diferenciales alrededor del promedio, obteniéndose sobre un registro gráfico la información deseada.

ABSTRACT

Knowledge of the height of foam on each plate is an important parameter for the design and determination of the characteristics of a heavy water tower. An equipment capable of obtaining a longitudinal profile of density has been developed and constructed; its functioning principles and bases of design are described in this report.

The system comprises a measuring device, that is displaced along the height of the tower, carrying diametrically a radioactive source of ^{137}Cs and a scintillation detector. The output signal is coupled to an electronic read out a mean value, and the desired information is obtained on a chart recorder.

1.0.0. INTRODUCCION

En plantas para producción de agua pesada, según el proceso GS, instaladas en otros países, se han detectado ciertos fenómenos de inestabilidad hidráulica, que hacen dificultosa la operación de las mismas.

El proceso GS consiste en el intercambio de deuterio entre sulfuro de hidrógeno gaseoso y agua líquida en columnas de contacto con platos perforados donde circulan en contracorriente ambas fases.

El fenómeno mencionado consiste en la formación de una espuma densa y estable, debida a la concentración de impurezas durante el proceso. Este efecto no es extraño en sistemas con fases líquidas y gaseosa en contacto, y se origina del compromiso existente entre obtener la máxima eficiencia de contacto posible entre las dos fases y posibilitar la correcta separación posterior de ambos fluidos.

Dada la importancia que esta fase mixta, llamada espuma, tiene en el proceso de producción de agua pesada se ha desarrollado un equipo medidor, el cual permite obtener un perfil longitudinal de densidad sobre un registro gráfico y de esta forma determinar las interfases líquido-gas y evaluar el nivel de la espuma sobre el plato.

El equipo experimental será ensayado en un prototipo de laboratorio correspondiente a una planta piloto de producción de agua pesada.

Dicha planta consta de una sección de columna de burbujeo con tres platos donde uno solo opera lleno de agua y los otros sirven de distribuidores o separadores de gas y líquido.

El aparato tiene una camisa con circulación de agua para mantener constante la temperatura. La presión interior puede alcanzar las 20 atmósferas.

2.0.0. 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 (Fig.1). La "C" se desplaza a lo largo de la torre a velocidad constante.

La señal de salida del detector se acopla a un integrador de impulsos el cual posee un sistema de compensación electrónica que permite efectuar lecturas diferenciales alrededor de un valor medio. El integrador está acoplado a un registrador gráfico en el cual se obtiene el perfil deseado.

Al diseñar el equipo se ha tomado como criterio básico la versatilidad, dada la característica experimental del mismo, pudiéndose variar los parámetros de medición en un amplio rango.

El receptáculo del detector permite el cambio del cristal de 1" x 1", elegido inicialmente, por otro de 2" x 2" en forma sencilla. Asimismo el portafuentes da la posibilidad de intercambio de fuentes radiactivas de manera simple y rápida. Tanto la fuente como el detector se hallan colimados, pudiéndose reemplazar estos colimadores por otros.

3.0.0. BASES DE DISEÑO

A continuación se detallan los principios básicos de diseño del medidor. Estos incluyen el cálculo de la actividad de la fuente, la elección del tipo de detector y la determinación de la velocidad de barrido óptima.

3.1.0. CRITERIO DE SELECCION DE LA FUENTE

Partiendo de la base de que se deben poder diferenciar claramente las lecturas correspondientes a aire y a espuma, dado que éste es el caso más desfavorable por ser sus densidades y, por lo tanto, las respectivas actividades medidas muy parecidas, se establece el siguiente criterio para la selección de la actividad de la fuente.

Dada la naturaleza estadística de la radiación, sobre el registro gráfico no se obtendrá un valor constante para condiciones fijas de medición sino que aparecerá una franja cuyo ancho estará determinado por el valor de la desviación estándar (σ) de la observación.

El 98,7% de las mediciones estarán comprendidas dentro de $A_m \pm 2,5\sigma A_m$, siendo A_m el valor medio de la actividad medida. Por lo tanto para poder distinguir entre dos lecturas, sus promedios deberán diferir como mínimo en 5σ (Fig. 2); es decir, para este caso:

$$A_{m1} - A_{m2} \geq 5\sigma_1 \quad (1)$$

siendo:

A_{m1} : actividad medida para aire;

A_{m2} : actividad medida para espuma;

σ_1 : desviación estándar para A_{m1}

Se toma σ_1 para estar en el caso más desfavorable dado que σ_1 es mayor que σ_2 .

La relación entre la actividad medida (A_m) y la actividad de la fuente (A_0) está dada por tres factores, independientes del contenido de la torre: eficiencia intrínseca del detector (R_e); distancia fuente - detector (R_d) y atenuación en las paredes (R_p).

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

Se ha seleccionado un detector de centelleo, por las razones que se expondrán en el punto 3.2.0. Para un cristal INa (Tl) de 1" x 1" y una fuente de ^{137}Cs la eficiencia intrínseca del detector es del 30%. Este dato se tomó de las hojas de especificaciones suministradas por el fabricante

$$R_e = 0,3$$

La reducción debida a la distancia está dada por la siguiente relación:

$$R_d = \frac{\text{área del detector}}{\text{área esférica}} = \left[\frac{\phi}{4 d} \right]^2 \quad (3)$$

siendo:

ϕ : diámetro del cristal;

d: distancia detector-fuente

La atenuación en las paredes está dada por el coeficiente lineal de atenuación (μ) para el hierro y por el espesor de ambas paredes (x).

$$R_p = e^{-\mu x}$$

Para este caso $\phi = 2,5$ cm; $d = 30$ cm; $\mu = 0,56$ cm⁻¹ para ¹³⁷Cs; $x = 4$ cm, resultando, según la expresión (2):

$$A_m = 1,29 \times 10^{-5} A_0 \quad (4)$$

Para obtener las actividades correspondientes a aire y a espuma, debe multiplicarse A_m por un factor R_1 ó R_2 respectivamente. La atenuación para el aire es despreciable siendo $R_1 \approx 1$, mientras que para la espuma resulta $R_2 = 0,95$, considerando una densidad del orden del 5% respecto de la fase líquida.

La desviación estándar para una medición hecha con un integrador y una constante de tiempo RC es:

$$\sigma A_m = \sqrt{\frac{A_m}{2 RC}} \quad (5)$$

Reemplazando esta expresión en la (1) se tiene:

$$A_{m1} - A_{m2} \geq 5 \sqrt{\frac{A_{m1}}{2 RC}}$$

Pero:

$$A_{m1} = R_1 A_m = R_1 R_T A_0$$

$$A_{m2} = R_2 A_m = R_2 R_T A_0$$

Por lo tanto:

$$(R_1 - R_2) R_T A_0 \geq 5 \sqrt{\frac{R_1 R_T A_0}{2 RC}}$$

Despejando:

$$A_0 \geq \frac{12,5}{\frac{R_T}{R_1} (R_1 - R_2)^2 RC} \quad (6)$$

Si se selecciona una constante de tiempo de 1 segundo y, considerando que $R_1 = 1$ y $R_2 = 0,95$, la actividad de la fuente resulta dada por la siguiente desigualdad:

$$A_0 \geq 12 \text{ mCi}$$

El radioisótopo seleccionado fue ¹³⁷Cs. La elección se basó en un compromiso entre vida media adecuada y un rango de sensibilidad apropiado para medir una espuma de las características especificadas (densidad del orden

del 5% respecto de la fase líquida).

3.2.0. CRITERIO DE SELECCION DEL DETECTOR

Dado que deberían leerse actividades del orden de 10^6 c/min. la elección recayó en un cristal de centelleo de ioduro de sodio, considerando la capacidad del mismo para responder a un elevado régimen de conteo, muy superior a un tubo Geiger-Müller.

Por otra parte, la eficiencia para radiación γ del 30% para un cristal de 1" x 1" aventaja netamente al G.M. (alrededor del 1%).

Inicialmente se adoptó un cristal de 1" x 1", pero el cabezal de medición permite el fácil recambio de éste por otro de 2" x 2" en caso de ser necesario.

3.3.0. CRITERIO DE SELECCION DE LA VELOCIDAD DE BARRIDO

3.3.1. Consideraciones preliminares

Se parte de la hipótesis de que la distribución de la espuma sobre el plato, adopta la forma de un paraboloide de revolución, un corte del cual se muestra en la figura 3.

La envolvente tendrá en un determinado plano la siguiente expresión:

$$y = -4 h_0 \left(\frac{x}{d}\right)^2 + h_0 \quad (7)$$

La actividad dependerá del espesor de la espuma en cada punto, E ; del coeficiente de atenuación, μ_e ; y de la actividad con el recipiente vacío, A_m .

$$A(y) = A_m e^{-\mu_e E} \quad (8)$$

El espesor E será, en cada punto igual al doble de x :

$$E = 2x \quad (9)$$

Despejando x de la expresión (7) se tiene:

$$x = d \sqrt{\frac{h_0 - y}{4 h_0}} = \frac{d}{2} \sqrt{1 - y/h_0} \quad (10)$$

Reemplazando (10) en (9) y ésta en (8) se obtiene la expresión de la actividad en función de la altura sobre el nivel del plato y .

$$A(y) = A_m e^{-\mu_e d \sqrt{1 - y/h_0}} \quad (11)$$

Si se desarrolla la exponencial en serie y se desprecian los térmi-

nos de orden superior al primero se comete un error inferior al 0,13%, llegando a:

$$A(y) = A_m (1 - \mu_e d \sqrt{1 - \frac{y}{h_0}}) \quad (12)$$

La expresión normalizada respecto de A_m de (12) está representada gráficamente en la figura 4, en la cual se tomó $\mu_e d = 0,05$, con lo cual resulta que :

$$0,95 < \frac{A(y)}{A_m} < 1$$

En dicha figura se observa también una aproximación lineal de la variación de actividad con la altura uniendo los puntos extremos. El máximo error al adoptar la recta se comete en el punto en que ambas pendientes son iguales, sucediendo esto para $y_0 = 0,75 h_0$. En este caso el error es menor que el 1,3%.

Por lo tanto empleando la aproximación lineal se comete un error menor que el 1,5% para el caso en que se cumpla la (7).

3.3.2. Selección de la velocidad

La expresión que determina la variación de actividad en función del tiempo cuando se barre con velocidad v , constante, es (Fig.5)

$$A(t) = \frac{A_{m1} - A_{m2}}{h_0} y + A_{m2} = S y + A_{m2} \quad (13)$$

La constante S representa la sensibilidad de medición. Teniendo en cuenta que $y = vt$, resulta:

$$A(t) = A_{m2} + S vt \quad (14)$$

Cualquier variación en la actividad $A(t)$ será seguida exponencialmente por el integrador. (Fig.5)

$$\frac{dA_i(t)}{dt} = \frac{dA(t)}{dt} (1 - e^{-t/RC}) = Sv (1 - e^{-t/RC}) \quad (15)$$

Siendo A_i la actividad indicada por el integrador.

Integrando entre 0 y t , y considerando que para $t = 0$; $A(t) = A_{m2}$, resulta:

$$A_i(t) = A_{m2} + Svt - SvRC (1 - e^{-t/RC}) \quad (16)$$

La diferencia entre el valor indicado y el real, será luego de transcurridas 3 RC:

$$\Delta A = A(t) - A_i(t) = Sv RC \quad (\text{para todo } t > 3 RC) \quad (17)$$

Esta diferencia representa un error en la lectura de la espuma, dado que si se lee una actividad A_1 (Fig.5) que correspondería a una altura y_1 ,

en realidad la actividad verdadera en ese momento es A_2 , con lo cual la altura es y_2 . Por lo tanto se comete un error $\Delta y = y_2 - y_1$. En la ecuación (13) se observa que $\Delta A = S \Delta y$; reemplazando ΔA en la (17) resulta:

$$\Delta y = v R C \quad (18)$$

Entonces fijada $R C$ para un valor adecuado de σ (ecuación 5), Δy depende sólo de la velocidad de barrido v .

El criterio usado fué tomar a Δy como 1% de la separación entre platos (450 mm), con lo cual para $R C = 1$ seg, resulta, $v = 4,5$ mm/seg.

4.0.0. SISTEMA MECANICO

4.1.0. UNIDAD ESTRUCTURAL

Esta unidad está compuesta por la "C" de medición mencionada en 2.0.0., el portafuentes y el portadetector, elementos que se muestran en la figura 7. Estas tres piezas forman un conjunto que se desplaza en forma solidaria, accionado por el sistema de movimiento. La unidad se acopla mediante tres portabujes y tres barras verticales separadas 120° y fijas a la torre. Esta forma de acople no requiere que la pared exterior de la torre tenga algún acabado especial.

La estructura fue construída en chapa de hierro por razones de simplicidad y dada la característica experimental del equipo.

El portadetector permite efectuar fácilmente el cambio de un cristal de 1" x 1" por otro de 2" x 2".

La fuente radiactiva, que se encuentra convenientemente blindada y colimada, puede también cambiarse en forma segura y rápida.

4.2.0. UNIDAD DE MOVIMIENTO

La unidad estructural debe desplazarse a lo largo de la torre a velocidad constante. Esto puede lograrse con un sistema de movimiento eléctrico o mecánico, habiendo para este último dos opciones: neumático o hidráulico.

El sistema constituido por un motor eléctrico y un tren reductor de engranajes presenta el inconveniente de generar ruidos que pueden alterar la medición. En efecto, los transitorios de conexión y desconexión, como así también los de inversión de marchas pueden afectar la lectura del integrador a menos que se tomen precauciones no siempre sencillas de llevar a la práctica. Por esta causa, sumada a la necesidad de contar con piezas especiales (tren de engranajes), se decidió desechar el sistema de movimiento eléctrico.

Los ensayos preliminares se realizaron con un pistón neumático pero no dieron resultados compatibles con los requerimientos de sensibilidad, constancia de velocidad y reproducibilidad.

Por las razones expuestas fue adoptado un pistón hidráulico para desplazar el cabezal de medición.

El sistema de movimiento está constituido por una unidad hidráulica y

y por un pistón. La primera comprende la bomba, el motor y las válvulas para modificar la velocidad de barrido, constituyendo, en conjunto, un bloque separado, mientras que el pistón se encuentra acoplado a la unidad estructural. Esta disposición permite una fácil operación y elimina algunas conexiones externas.

La unidad estructural realiza su desplazamiento guiada por tres barras dispuestas simétricamente alrededor del recipiente (Fig.7). Dichas barras, que se sujetan a través de sendos soportes soldados a la torre, pueden modificar levemente su posición para lograr un correcto alineamiento de toda la estructura.

Debe aclararse que esta forma de movimiento se adapta a este prototipo de laboratorio pero no podría utilizarse en torres de producción debido a las dificultades tecnológicas para construir pistones de gran recorrido.

5.0.0. SISTEMA DE MEDICION

Los pulsos provenientes del fotomultiplicador pasan a través de un preamplificador (seguido por emisor) y luego son aplicados al equipo electrónico.

El sistema de medición está constituido por un preamplificador de ganancia 10, un conformador y un integrador de pulsos. Este opera entre los rangos de 10^3 Imp/min. y 3×10^6 y con constantes de tiempo desde 0,03s a 30s.

El integrador posee una entrada diferencial y, dado que a una de ellas se aplica una tensión continua (compensación), la salida del sistema permite obtener una información que es proporcional a la diferencia entre la cantidad de impulsos por minuto de entrada y una constante.

Posteriormente un amplificador de continua (ganancia variable entre 1 y 100, por medio del control de sensibilidad), permite lograr una lectura adecuada sobre un instrumento de bobina móvil.

De esta forma, partiendo de una señal con ciertas fluctuaciones estadísticas, actuando sobre la tensión de compensación se puede restar el valor medio y, seleccionando un valor adecuado de compensación, lograr la expansión de escala deseada.

Las ventajas del uso de compensación pueden analizarse comparando como se modifica la relación entre dos lecturas A_1 y A_2 :

$$\Delta A = \frac{A_1 - A_2}{A_2} \quad (\text{sin compensación})$$

Mediante el uso de compensación se resta a ambas lecturas una constante A_0 , siendo la nueva relación:

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

De esta forma ΔA queda dividido por un número menor que la unidad el cual puede hacerse muy pequeño con tal de tomar A_0 lo suficientemente próximo a A_2 , sin embargo esta aproximación no puede hacerse en forma indefinida porque A_2 no es una constante sino que está representado por una banda característica de las fluctuaciones estadísticas.

El integrador se completa con una salida para registrador gráfico potenciométrico de 10mV y otra para un registrador de corriente de 1mA.

Por último, el equipo posee una fuente de alta tensión para polarización del fotomultiplicador, variable desde el panel por medio de un potenciómetro de diez vueltas.

En la figura 8 se observa el sistema de medición junto con el equipo hidráulico, en tanto que la fig. 9 se muestra el esquema en bloques del instrumento.

6.0.0. ERRORES

Se dividirán en errores aleatorios, en los cuales se englobarán, fundamentalmente, aquellos debidos a la naturaleza estadística de la radiación y errores sistemáticos que comprenden, principalmente, los debidos a la no linealidad del instrumento de medición (integrador).

6.1.0. ERRORES ALEATORIOS

Estos errores están dados por la desviación estandar de la observación, la cual para un integrador está dada por la expresión (5) según lo visto en el punto 3.1.0.

$$\sigma A_m = \sqrt{\frac{A_m}{2 RC}} \quad (19)$$

Dado que el 98,7% de las mediciones están comprendidas entre $A_m \pm 2,5 \sigma A_m$ (Fig. 2), el error relativo de la lectura estará dado por:

$$\epsilon_a = \pm \left| \frac{2,5 \sigma A_m}{A_m} \right| \quad (20)$$

Reemplazando (19) en (20):

$$\epsilon_a = \pm \left| \frac{2,5}{\sqrt{2} RC A_m} \right| \quad (21)$$

Para una actividad medida de 10^6 c/min. y una constante de tiempo de 1 seg. el error es de 1,4%.

En este caso el error corresponde a una sensibilidad de 1, para otros valores de sensibilidad (trabajando con una compensación adecuada) la escala se expande y, por lo tanto, también se amplía la banda de indeterminación en forma proporcional. Así, para una sensibilidad de 10, resulta que $\epsilon_a = 14\%$.

6.2.0. ERRORES SISTEMATICOS

En este punto se estudiarán los errores debidos a la transferencia a lineal del integrador y al error de clase del instrumento de lectura.

La función que relaciona la tensión de salida del integrador con el número de pulsos de entrada es la siguiente:

$$V_0 = \frac{n \tau}{1 + n \tau} \Delta V \quad (22)$$

Siendo:

V_0 : tensión de salida

n : frecuencia de impulsos de entrada

$\tau=RC$: constante de tiempo

ΔV : amplitud de impulsos de entrada (constante)

Si se hace $y_1 = \frac{v_0}{\Delta V}$; $n\tau = x$, se tiene:

$$y_1 = \frac{x}{1 + x} \quad (23)$$

Esta expresión está representada en la figura 6, donde x_m está dado por el máximo valor de frecuencia a plena escala, y el correspondiente valor de tensión es y_m . La escala del instrumento es lineal y varía entre 0 e y_m , estando representada esta función por la recta y_2 .

Entre la indicación del instrumento y_2 , y la función de transferencia real y_1 hay una diferencia que representa el error sistemático que se comete

$$y_2 = a x$$

Siendo:

$$a = \frac{y_m}{x_m} = \frac{1}{1 + x_m}$$

Luego la expresión de la recta es:

$$y_2 = \frac{x}{1 + x_m} \quad (24)$$

El máximo error absoluto se produce cuando las pendientes de ambas funciones sean iguales, esto se produce para un valor x_0 , tal que:

$$x_0 = \sqrt{1 + x_m} - 1 \quad (25)$$

El error $\Delta y = y_1 - y_2$, es máximo para $x = x_0$. Reemplazando la (25) en las ecuaciones (23) y (24) y operando se obtiene la siguiente expresión:

$$\Delta y_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + x_m}}\right)^2$$

Se define el error típico máximo como sigue:

$$E = \frac{\Delta y|_{\max}}{y_m} = \frac{1}{y_m} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + x_m}}\right)^2 \quad (26)$$

Dado que como condición de diseño se toma $x = n\tau = 0.1$ - para que la (22) sea aproximadamente lineal - el error típico máximo es de $E = 2,4\%$.

En función de E, el error en cada punto de la escala está dado por:

$$\left| \frac{\Delta y}{y} \right|_E = E \frac{y_m}{y_i} \quad (27)$$

A este error hay que sumarle el debido a la clase del instrumento.

$$\left| \frac{\Delta y}{y} \right|_c = \frac{c}{100} \frac{y_m}{y_i} \quad (28)$$

Sumando (27) y (28) se llega al error total sistemático:

$$\epsilon_s = \left(E + \frac{c}{100} \right) \frac{y_m}{y_i} \quad (29)$$

Para un instrumento clase 1,5, el error es 11,7% si se lee a 1/3 del fondo de escala y 5,8% si se lee a 2/3 del fondo de escala.

Dado que la progresión de rangos es 1 - 3 siempre se podrá leer por encima del nivel 1/3 de fondo de escala.

7.0.0. PRUEBAS DE LABORATORIO

Antes de instalar el medidor en la verdadera torre de producción, se realizaron experiencias en laboratorio montando el equipo sobre un recipiente cilíndrico de dimensiones apropiadas.

Se efectuaron dos tipos de ensayos: con la sonda de medición fija (estáticos) y con la sonda en movimiento (dinámicos). A continuación se describen ambas experiencias.

7.1.0. ENSAYOS ESTATICOS

Se realizó una prueba destinada a obtener una curva de respuesta del sistema que representara la lectura del instrumento en función de la densidad del líquido contenido en el recipiente y a partir de ella, determinar la sensibilidad del mismo.

Para ello se midieron distintas concentraciones de cloruro de sodio en agua de modo que la densidad de la solución variara entre 1 g/cm³ y 1,1 g/cm³. Para cada valor de densidad se obtuvo un registro gráfico y se tomó como valor indicado el promedio de cada una de las bandas obtenidas. El lector de sensibilidad se ajustó al valor 10.

La representación gráfica de la curva de transferencia se muestra en la figura 10 en la que en abscisas se miden densidades relativas y en ordenadas número de divisiones del registro gráfico (unidades arbitrarias).

La sensibilidad absoluta se define como el cociente entre una variación en la indicación del instrumento y una variación en la densidad a medir.

$$S_a = \frac{\Delta D}{\Delta \delta} \quad (30)$$

Siendo:

$\Delta \delta$: variación en la densidad

ΔD : variación en la lectura provocada por $\Delta \delta$

En general interesa más hacer lecturas con respecto a un valor conocido, por lo tanto es más útil trabajar con una expresión que indique la sensibilidad relativa del sistema.

Esta se define como el cociente entre una variación relativa en la indicación del instrumento y una variación dada de la magnitud a medir. Tomándola con respecto al máximo número de divisiones del registro gráfico, D , se tiene la siguiente expresión:

$$Sr = \frac{\frac{\Delta D}{D}}{\Delta \delta} \quad (31)$$

A partir de la figura 10 y aplicando la (31) se obtuvo la sensibilidad relativa del equipo, la cual, expresada en forma porcentual es:

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

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

Para comprobar este resultado se realizó un nuevo ensayo estático midiendo esta vez dos soluciones de alcohol etílico en agua cuya diferencia de densidades era de 20 mg/cm^3 . Se obtuvieron dos registros gráficos para valores de sensibilidad de medición de 10 y de 30. Los registros obtenidos se muestran en las figuras 11 y 12 respectivamente. En ellas se ve que para sensibilidad 10 los valores medios difieren en un 10% del valor de fondo de escala y para sensibilidad 30 en un 30% de dicho valor, notándose además que en este último caso la desviación estándar se triplica (aproximadamente) respecto del primero.

Aplicando la (31) puede hallarse nuevamente la sensibilidad relativa dando también 0,5% $/\text{mg/cm}^3$ para el caso en que el selector esté colocado en sensibilidad 10 (condición normal de trabajo).

7.2.0. ENSAYOS DINAMICOS

Los ensayos dinámicos están orientados a la evaluación del comportamiento del equipo cuando la sonda se encuentra en movimiento.

Es importante determinar el momento en que el sistema detecta la interfase espuma-aire y compararlo con la ubicación verdadera de la misma para calcular el error máximo cometido según lo expresado en el punto 3.3.0. Esta experiencia debe repetirse para distintas velocidades de barrido y diversas constantes de tiempo.

Las pruebas se realizaron utilizando constantes de tiempo de 0,3 seg., 1 seg. y 3 seg., empleando velocidades comprendidas entre 0,2 cm/s y 1 cm/s . Dentro de este rango se obtuvieron resultados acordes con lo esperado no detectándose errores apreciables.

8.0.0. PRUEBAS EN PLANTA

Las pruebas en planta comprenden todos los ensayos realizados con el medidor de interfase instalado en la torre piloto. Entre ellos se cuentan; obtención de la curva de transferencia con el equipo detenido y elaboración de perfiles de densidad con el equipo en movimiento. Todas estas determinaciones fueron llevadas a cabo por personal del Proyecto Agua Pesada, exponiéndose aquí sólo un breve resumen de las mismas. Para mayor información es conveniente remitirse a la publicación respectiva citada en la bibliografía.

La torre, cuyo esquema se muestra en la Fig.13 da la posibilidad de efectuar lecturas con una o ambas camisas llenas de agua, con el tubo lleno o vacío y con las distintas combinaciones posibles. De esta manera se efectuó una curva de transferencia del sistema graficándose en ordenadas la fracción

de agua respecto al llenado total (tubo y ambas camisas) y en abcisas el porcentaje de transferencia respecto de la lectura con aire. (Fig. 14)

La figura 15 permite ver una distribución de agua y aire en el interior de la torre conjuntamente con las lecturas que deberían obtenerse en cada caso, mientras que la figura 16 presenta el registro gráfico de un barrido efectuado en esas condiciones. La velocidad de desplazamiento del gráfico es de 50mm/min y la velocidad de movimiento de la sonda es de 150 mm/mín.

Cuando la torre está operando se genera una fase espumosa por encima del plato, dependiendo la altura, distribución longitudinal y la forma de la misma de diversos factores. El registro gráfico en este caso permite efectuar una evaluación de dichos parámetros como así también obtener información complementaria. (Fig. 17)

La altura de la espuma fue medida en función de cada una de las siguientes variables: tiempo, caudal, calidad de agua, tipo de plato. Esto permitió hallar las condiciones de funcionamiento óptimas para cada caso.

Adicionalmente pueden representarse curvas de perfiles de porcentaje de agua en base a la actividad medida y por medio de la función de transferencia del sistema. La Fig. 18 es un ejemplo de esta experiencia realizada para tres condiciones distintas.

Integrando gráficamente la curva de porcentaje de agua y multiplicando este valor por la sección del tubo es posible calcular el volumen de agua involucrado en el proceso. Es de hacer notar que este es el único medio práctico para obtener esa información.

9.0.0. CONCLUSIONES

Lo expuesto anteriormente demuestra la factibilidad de construcción de un medidor de interfases y de un sistema capaz de realizar un perfil longitudinal de densidad destinada a una torre de producción de agua pesada.

El sistema desarrollado permite determinar los parámetros óptimos de diseño de dicha torre mediante el análisis de los registros gráficos para diversas condiciones. Posteriormente su utilización permitirá evaluar el correcto funcionamiento de la misma durante su operación normal, siendo por lo tanto un elemento más, capaz de suministrar información básica conjuntamente con los demás instrumentos convencionales.

Actualmente el sistema se encuentra en una etapa de ensayos iniciales en planta, no obstante lo cual se ha reunido información suficiente como para concluir que su funcionamiento es correcto. En el futuro deberán realizarse algunas otras pruebas que permitirán decidir acerca de algunas otras aplicaciones como por ejemplo para estudio de posibles deterioros en platos.

BIBLIOGRAFIA

- 1) A.C.CASTAGNET - J.R.LORENZETTI - R.J.GILLEN: "Telemedición, por atenuación gamma, del nivel y densidad de líquidos almacenados en tanques". CNEA, EN-1/14 (1969)
- 2) A.C.CASTAGNET - R.J.GILLEN - C.J.LAZOR - G.E.MAGGIO: "Regulador automático de nivel de líquidos, por atenuación de rayos gamma" CNEA, RR-2/161 (1974)
- 3) N.R.STREHAR - M.A.MOLINARI - E.A.ROJO: "Formación de fases mixtas en torres de intercambio gas/líquido" A.A.T.N. (1977)
- 4) M.J.FULHAM - V.G.HULBERT: "Gamma Scanning of Large Towers". Chemical Engineering Progress. Vol.71 N°6 (1975)
- 5) R.D.EVANS: "The atomic nucleus". Mc.Graw Hill (1965)
- 6) J.KOHL - R.ZETNER - H.LUKENS: "Radioisotope Applications Engineering" Van Nostrand Co. Inc. (1961)
- 7) D.W. JONES - J.B. JONES: "Tray performance evaluation". Chemical Engineering Progress (junio 1975)
- 8) N.R. STREHAR - P.BRUZZONI - M.A. MOLINARI: "Operación con nitrógeno de un lazo experimental de circulación". XV Sesiones Químicas Argentinas. (1980) A publicar.

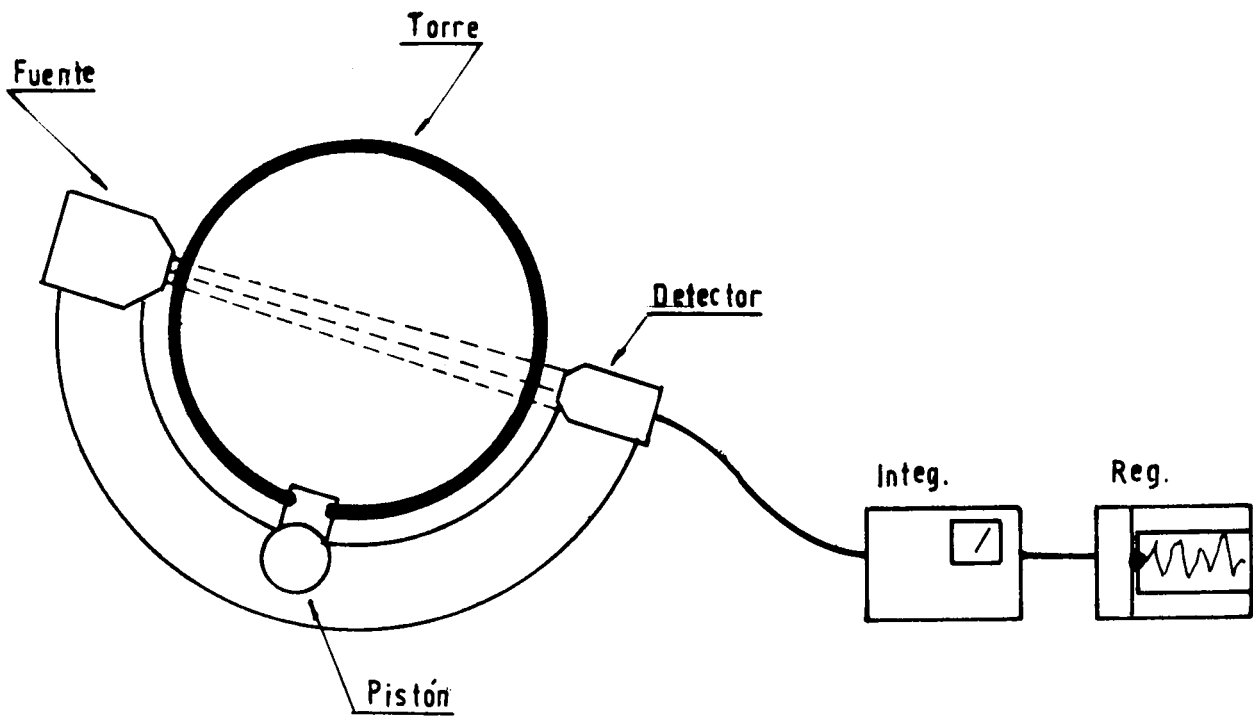


Fig. 1 Esquema básico de medición

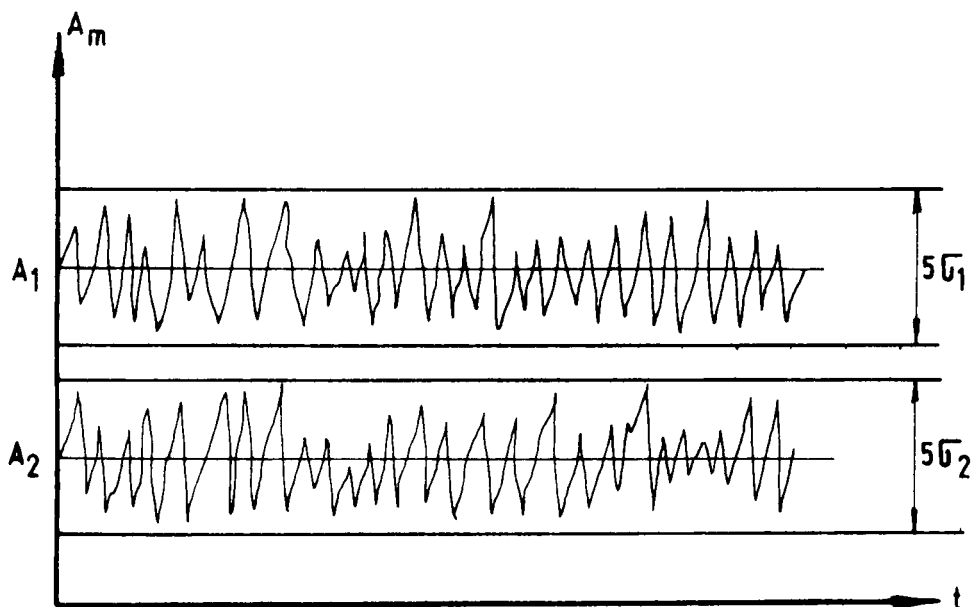


Fig. 2 Dos lecturas con sus correspondientes fluctuaciones estadísticas.

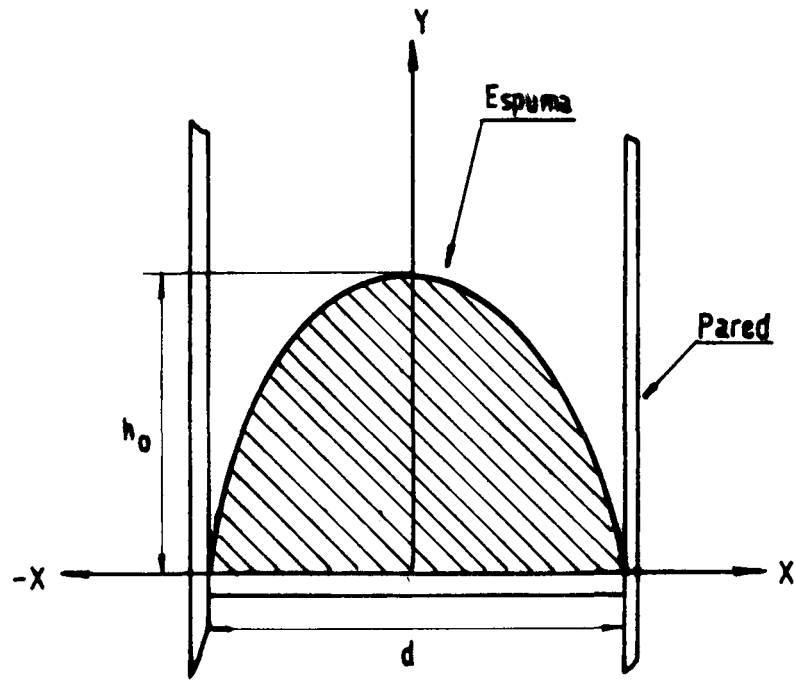


Fig. 3 Distribución de la espuma sobre el plato

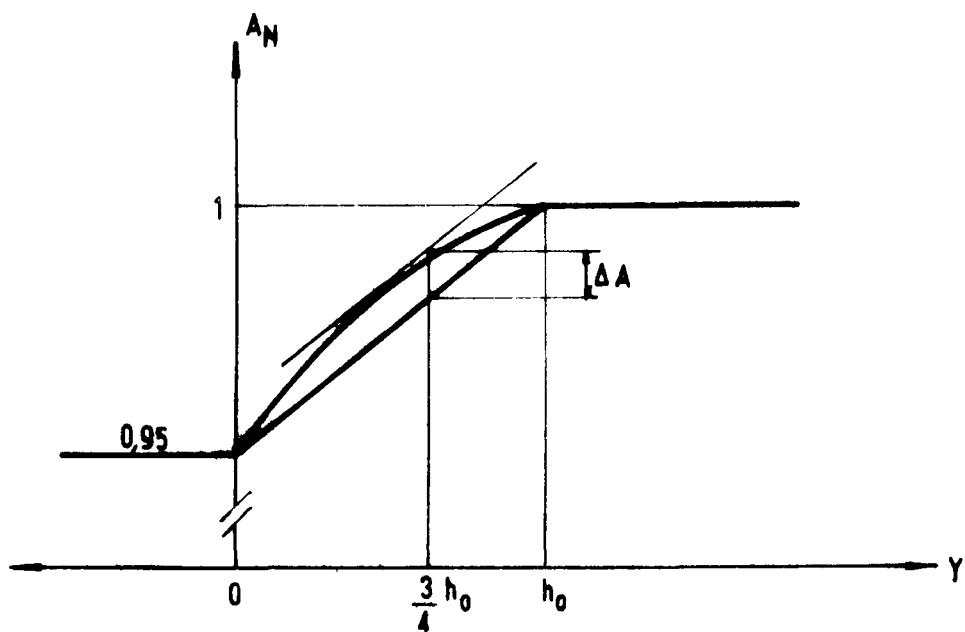


Fig. 4 Representación de la actividad en función de la altura.

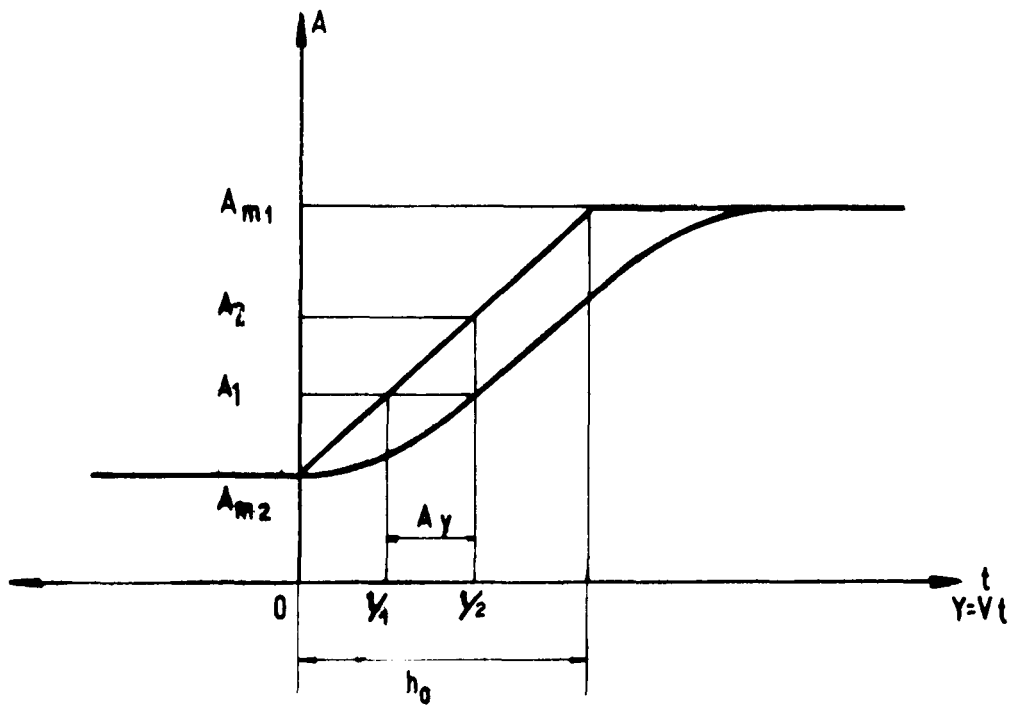


Fig. 5 Representación de la actividad en función del tiempo.

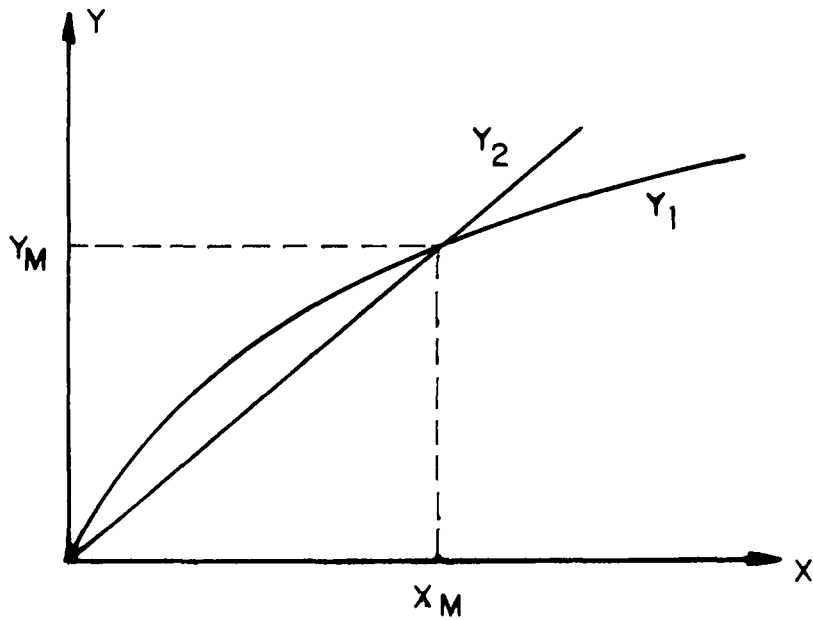


Fig. 6 Representación de la función de transferencia normalizada para un integrador.

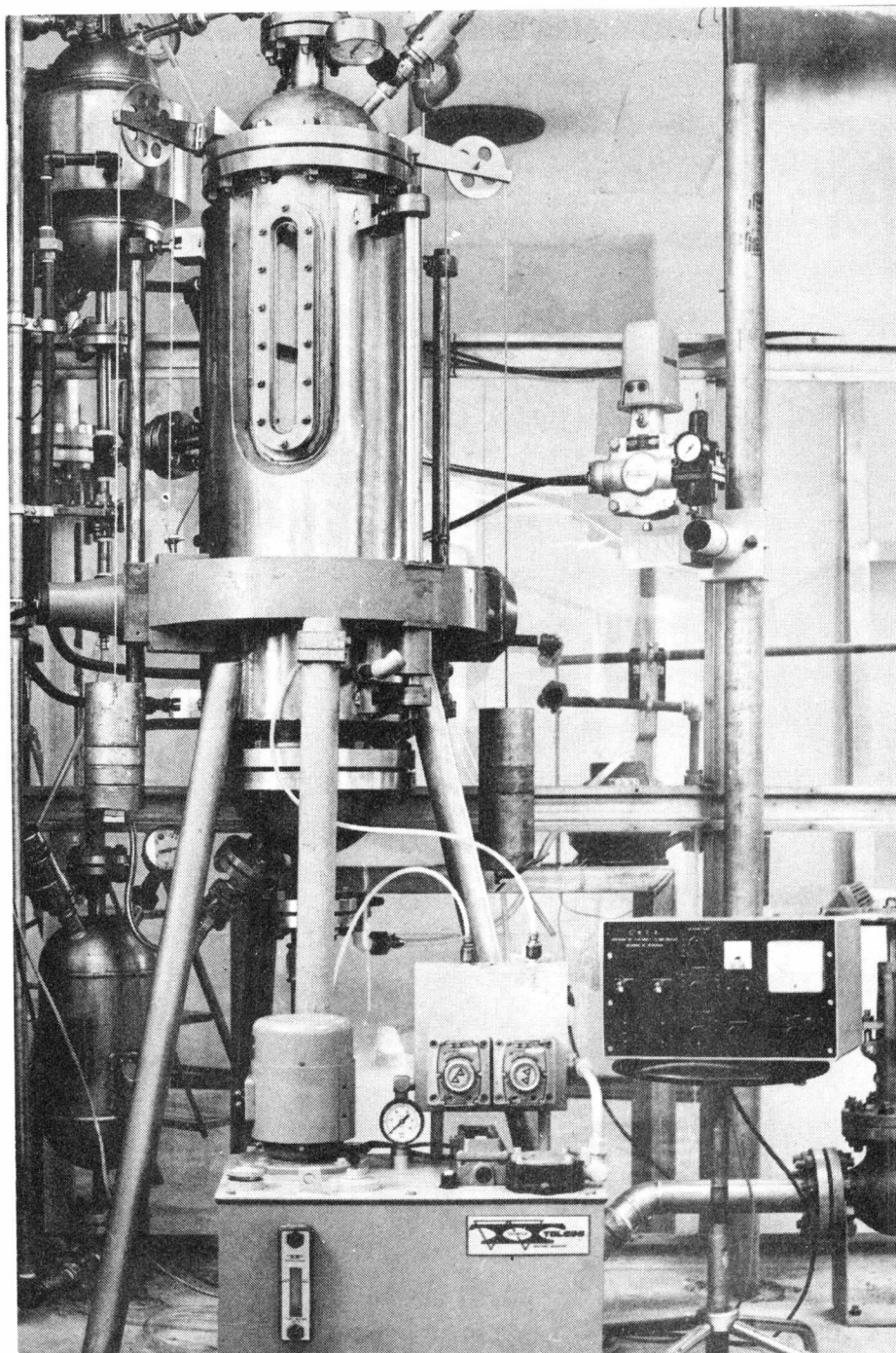


Fig. 7 Medidor de interfase instalado en la torre

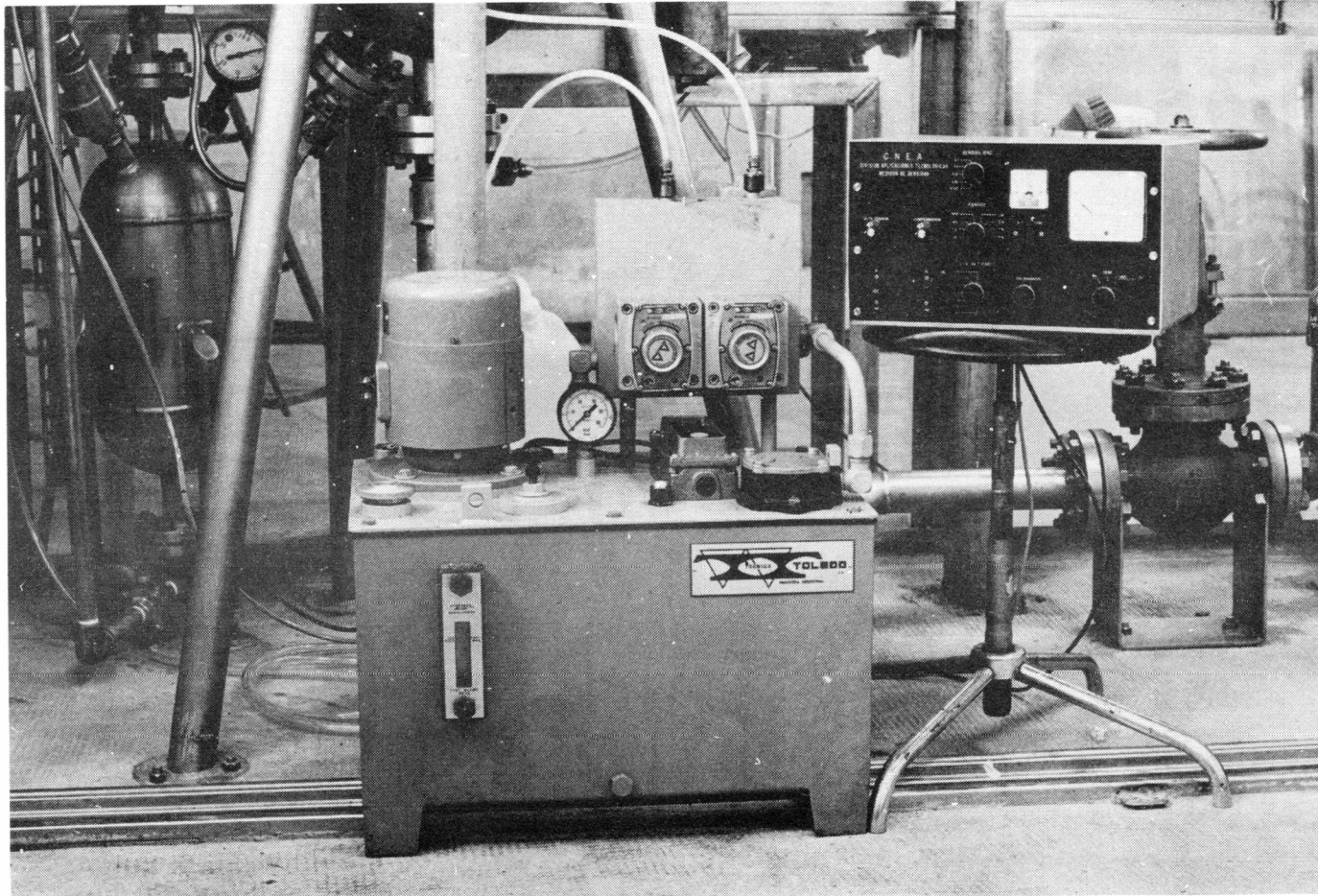


Fig. 8 Equipo hidráulico y sistema de medición

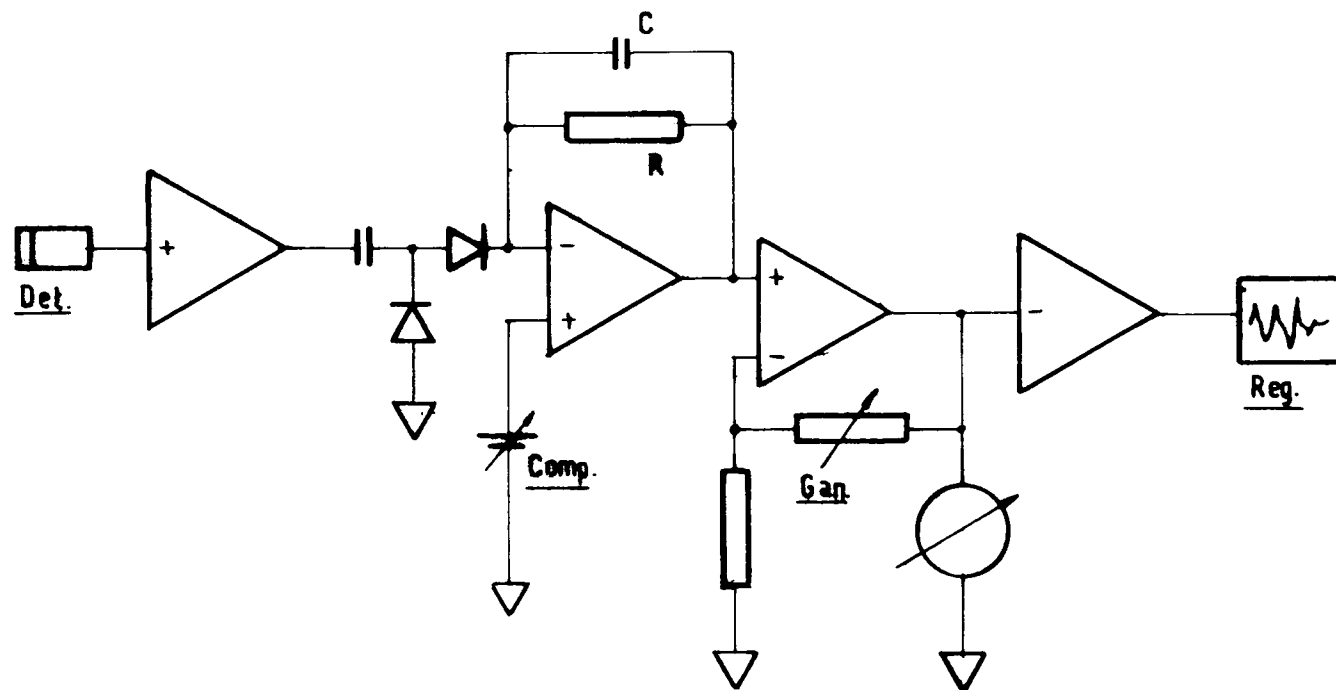
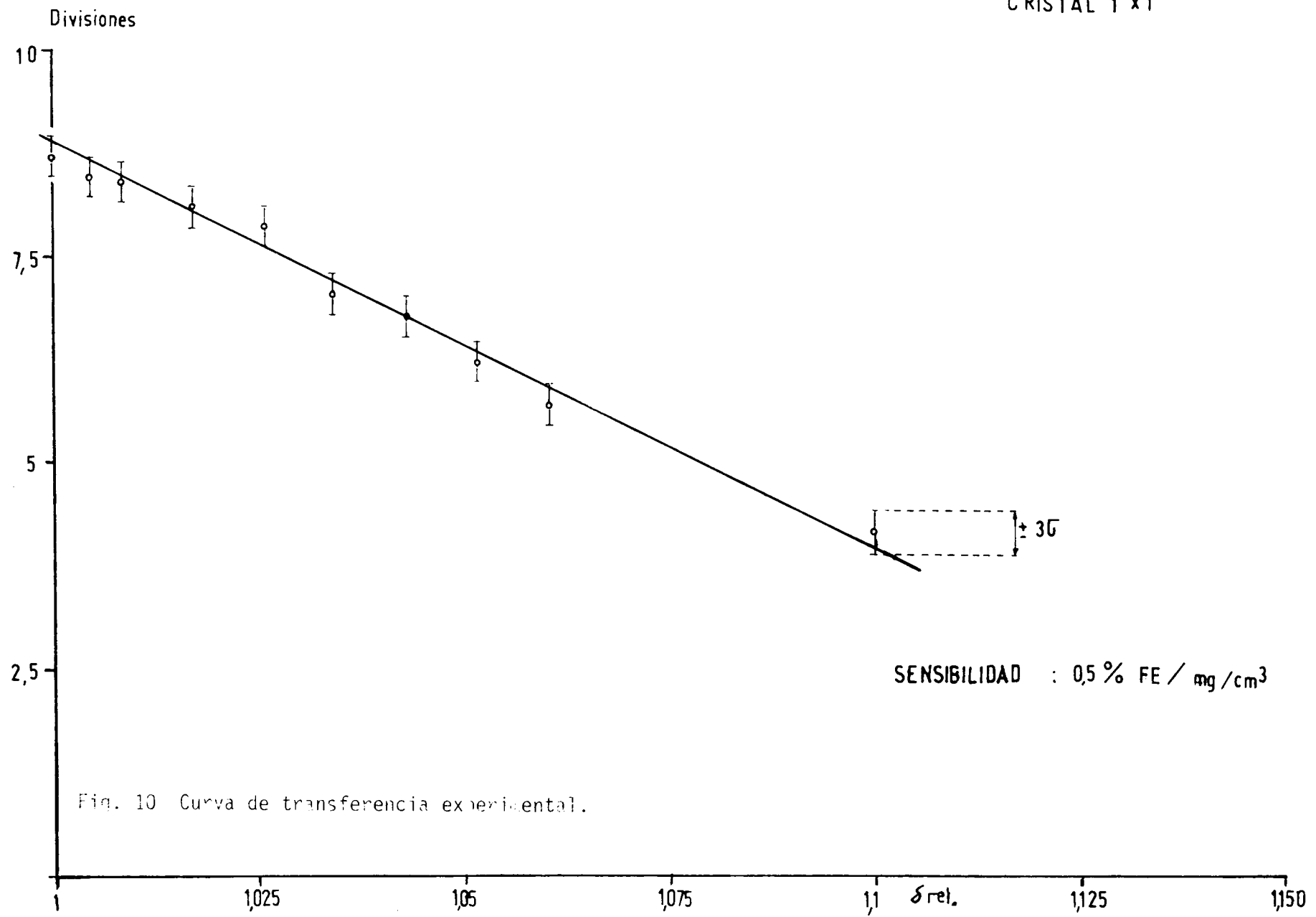


Fig. 9 Esquema en bloques de sistema de medición

CRISTAL 1"x1"



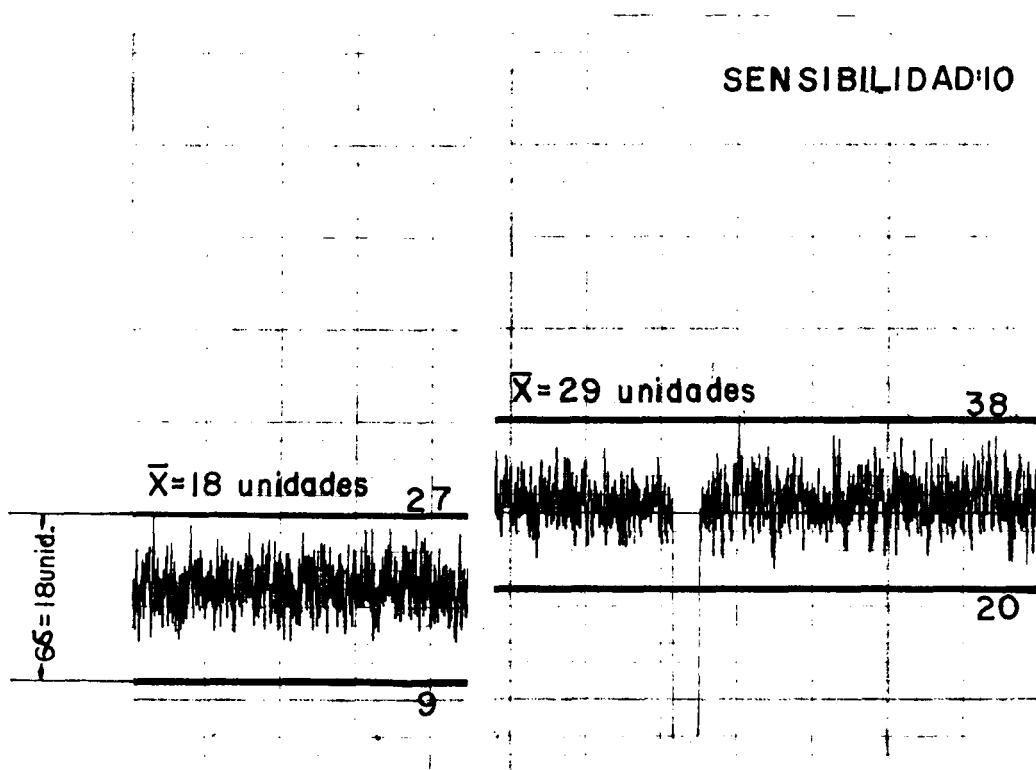


Fig. 11 Registro gráfico con sensibilidad 10

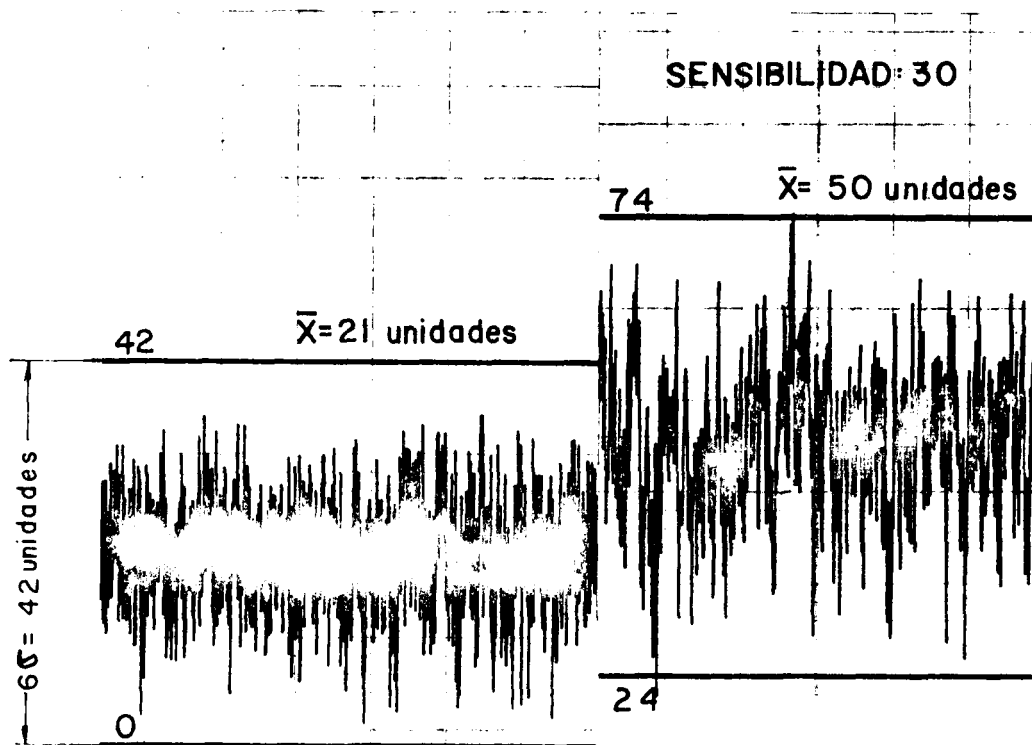


Fig. 12 Registro gráfico con sensibilidad 30

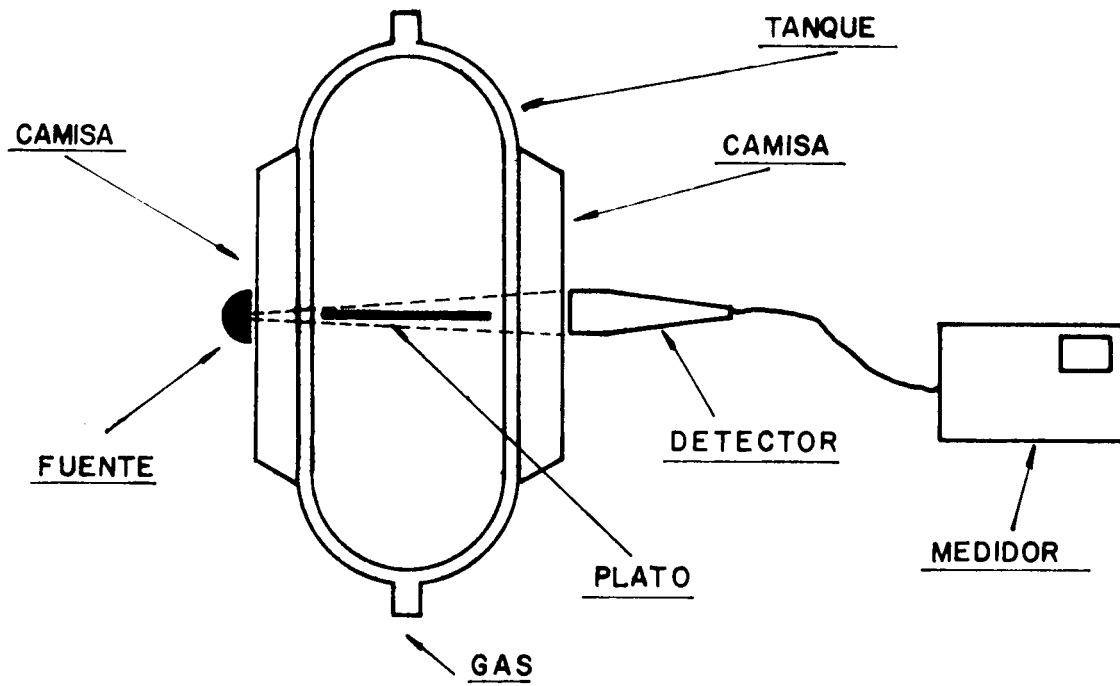


Fig.13 Esquema de la torre de producción.

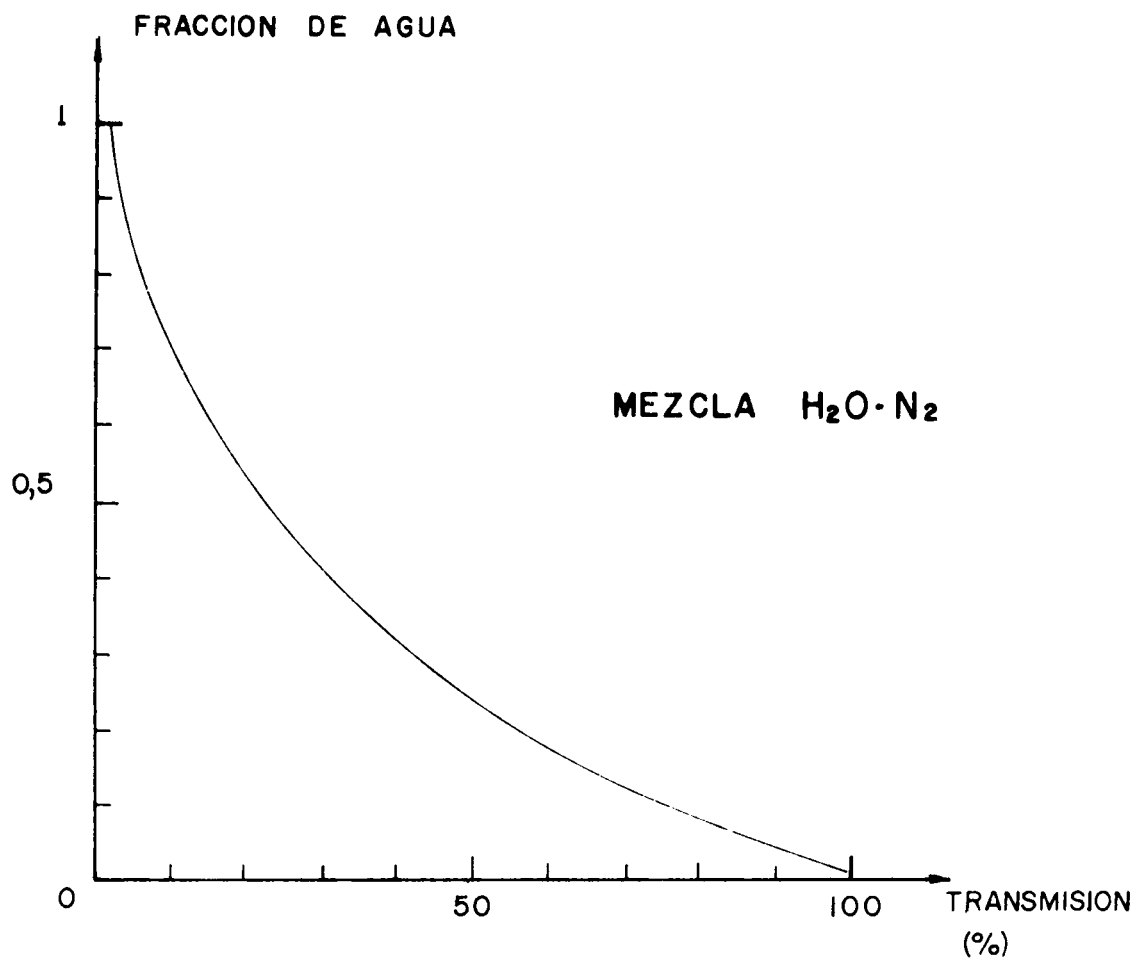


Fig.14 Transferencia estática.

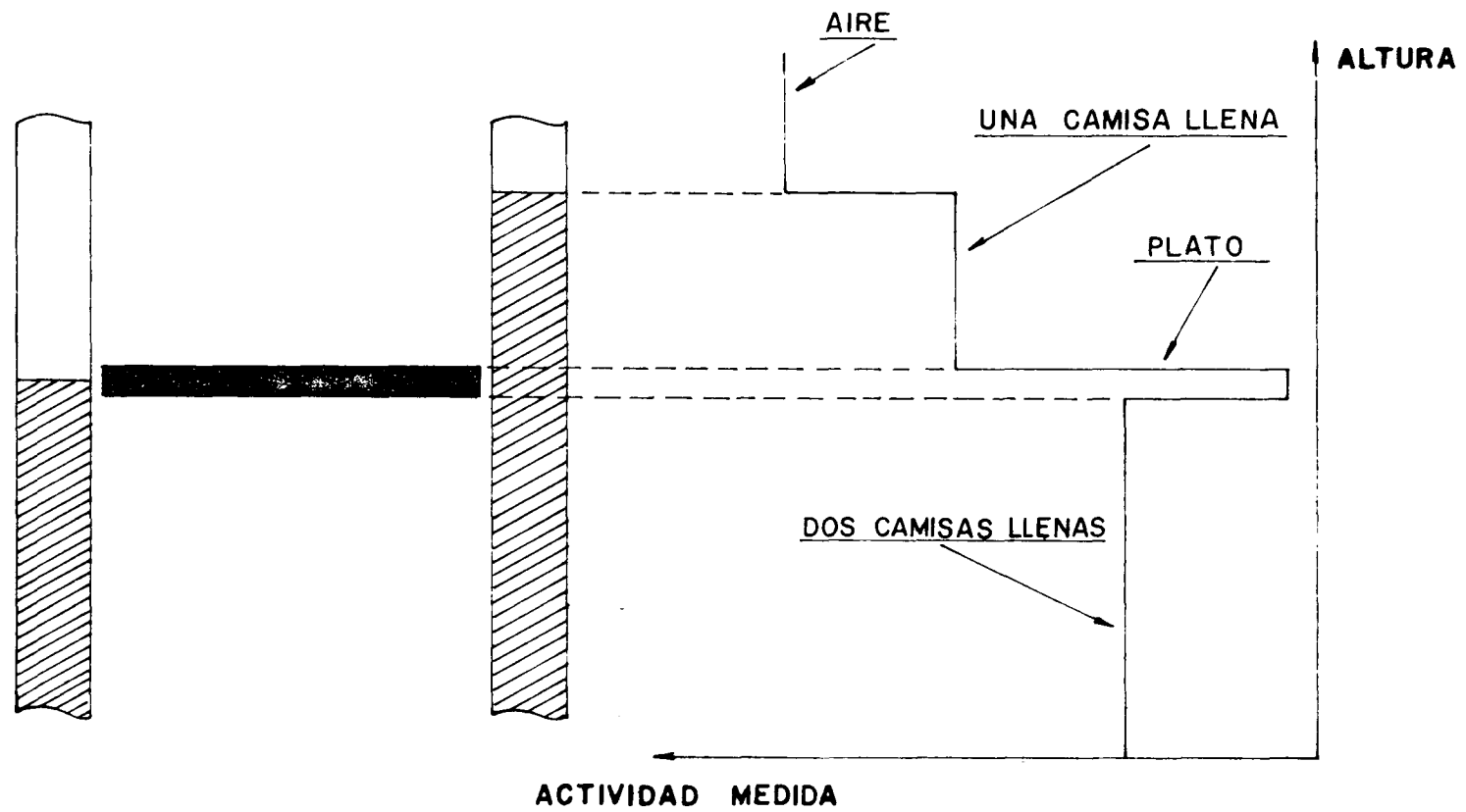


Fig.15 Distribución de actividades medidas durante la calibración.

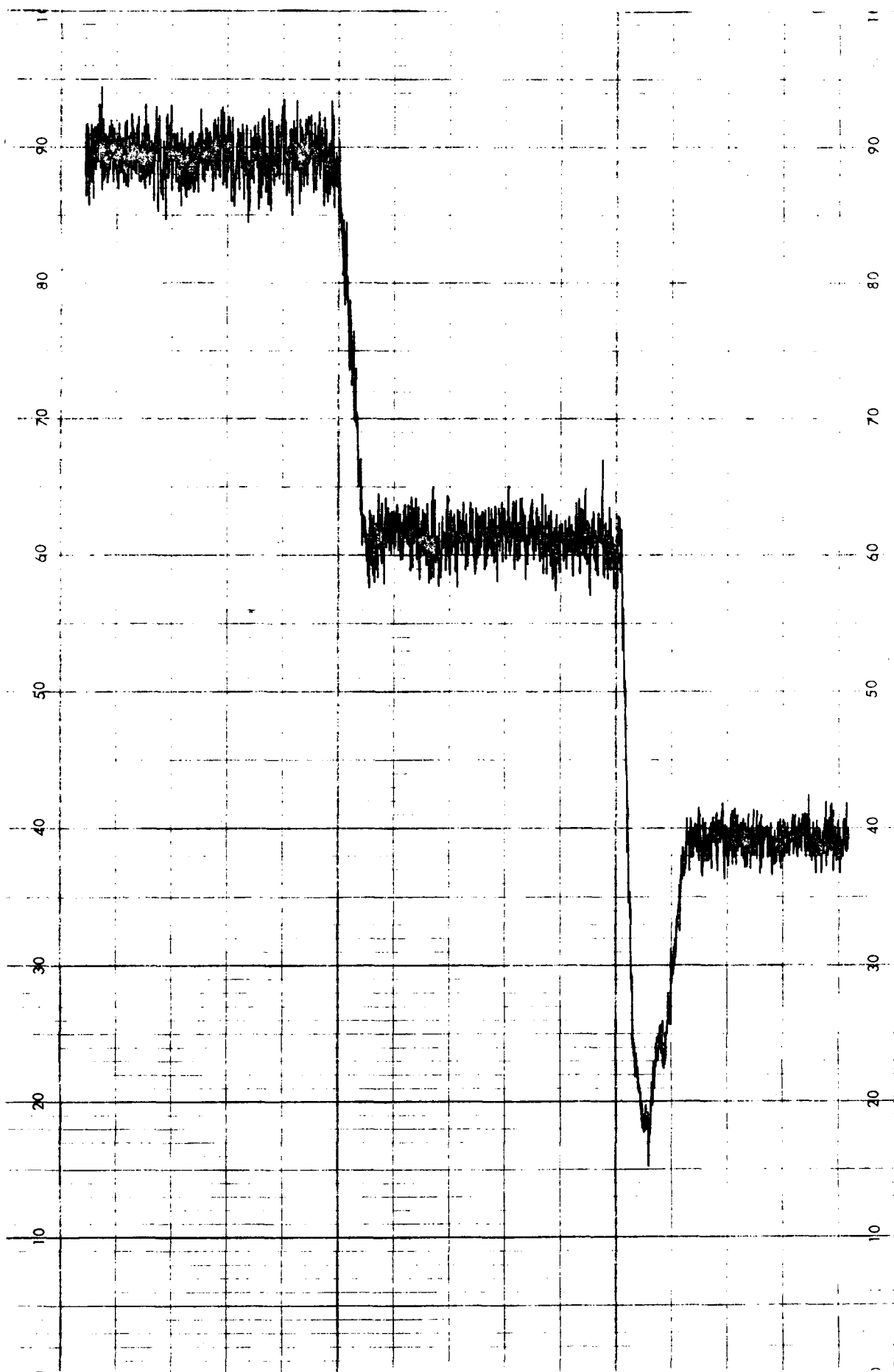


Fig. 16 Registro gráfico correspondiente a la distribución de la Fig.15

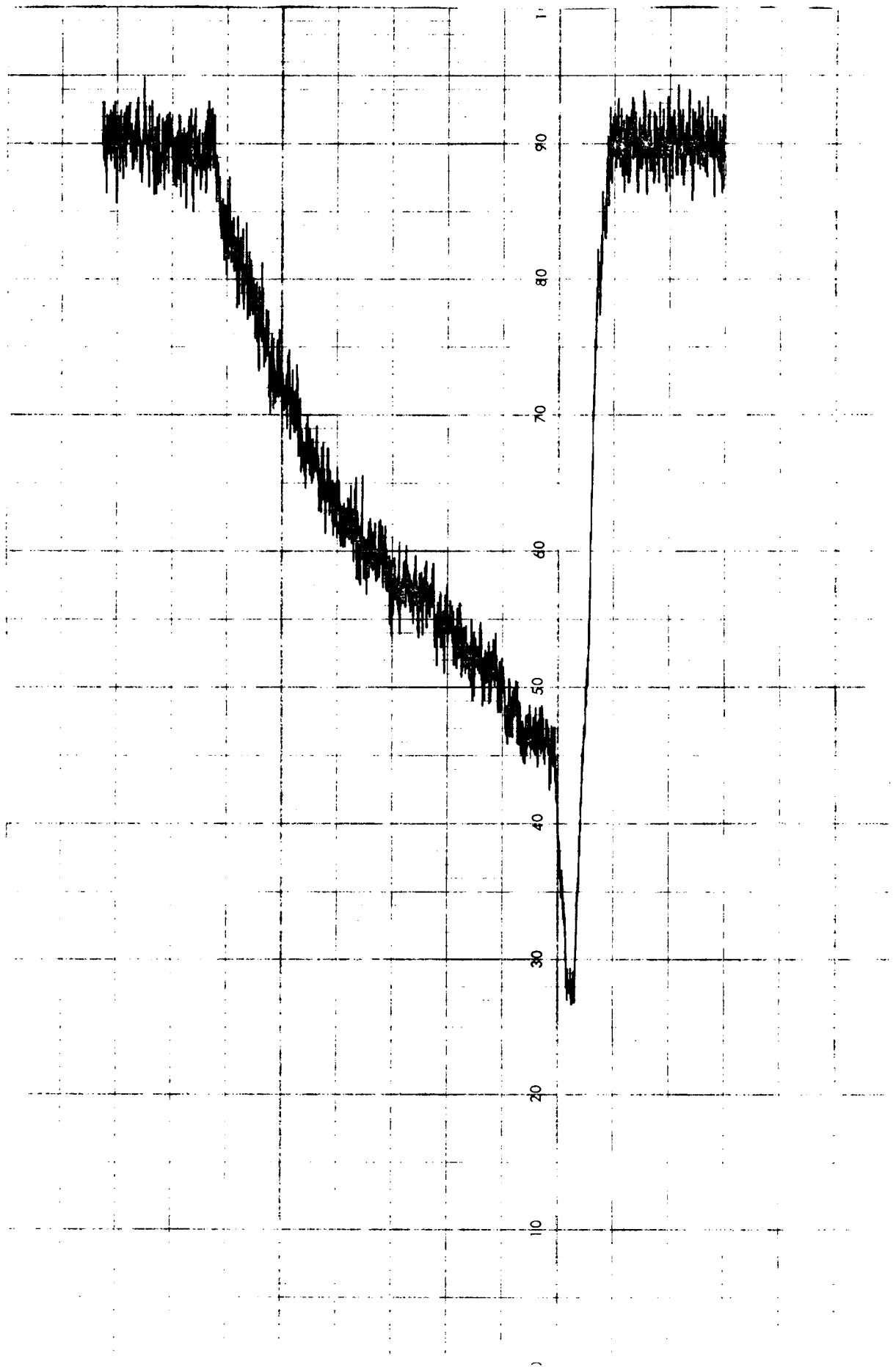


Fig. 17 Perfil de densidad con la torre en operación.

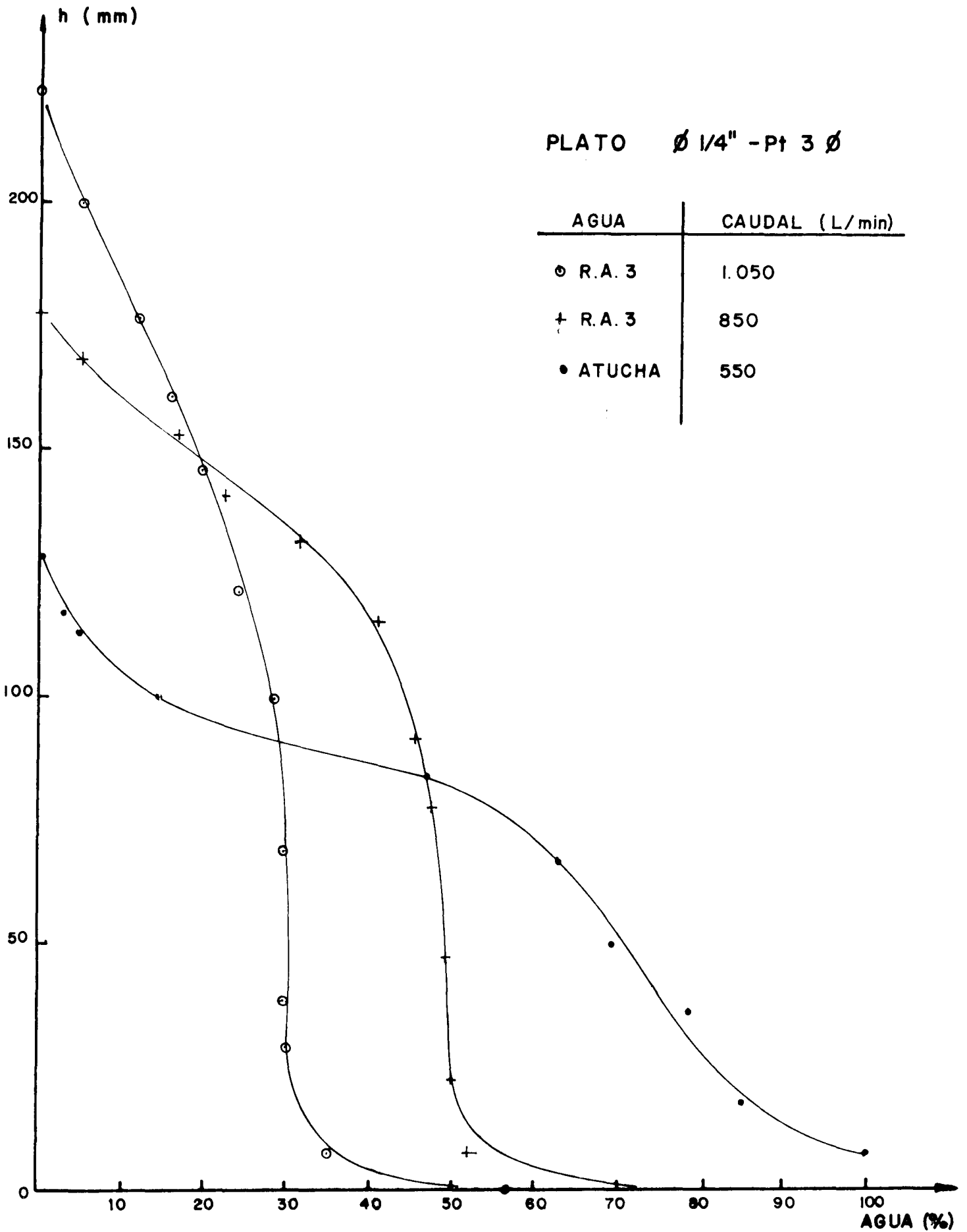


Fig.18 Perfiles de porcentajes de agua