

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº /	AÑO 1969

09.69.08

EN - 7/14

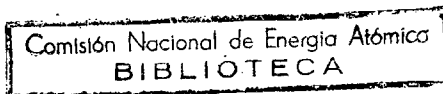
REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
GERENCIA DE ENERGIA

TELEMEDICION DIGITAL, POR ATENUACION GAMMA, DEL NIVEL
Y DENSIDAD DE LIQUIDOS ALMACENADOS EN TANQUES

Antonio C. Castagnet - José R. Lorenzetti - Ricardo Gillen

Buenos Aires - Marzo 1969

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
GERENCIA DE ENERGIA



TELEMEDICION DIGITAL, POR ATENUACION GAMMA, DEL NIVEL
Y DENSIDAD DE LIQUIDOS ALMACENADOS EN TANQUES

Antonio C. Castagnet - José R. Lorenzetti - Ricardo Gillen

Buenos Aires - Marzo 1969

CONTENIDO

<u>SECCION</u>	<u>PAG.</u>
1.0.0 INTRODUCCION	2
2.0.0 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	3
3.0.0 BASES DE DISEÑO	5
3.1.0 Sonda de medicion	11
3.2.0 SISTEMA DE MOVIMIENTO	12
3.3.0 SISTEMA ELECTRONICO	13
4.0.0 CONSIDERACIONES FINALES	16

NOTA: Ilustraciones y gráficos al final del texto.

RESUMEN

La CNEA ha diseñado y tiene en construcción un sistema de telemetría para la lectura conjunta o individual del nivel, densidad media y peso de líquidos almacenados en grandes tanques, como los utilizados en la industria del petróleo, del gas y de la petroquímica.

El equipo se caracteriza por utilizar para todas las mediciones una sola y única sonda móvil basada en la atenuación de rayos gamma, la cual al explorar una columna líquida de espesor constante, posibilita obtener las lecturas sin contacto físico con el fluido almacenado.

Dicha sonda opera en combinación con:

- un dispositivo que genera pulsos eléctricos a una frecuencia sincronizada con su velocidad de traslación vertical, para la lectura del nivel;
- un reloj digital para medir la frecuencia media de acumulación de impulsos correspondientes a la radiación detectada a través del líquido, y relacionada por tanto con su densidad media;
- medios electromecánicos para la ejecución y programación de su movimiento, y,
- circuitos electrónicos y una fuente radiactiva auxiliar para la transmisión, control y recepción de la información a distancia.

El equipo funciona en base a un sistema interrogativo y por lo tanto discontinuo, que ofrece las siguientes ventajas.

- a) todas las mediciones se ejecutan con una sola y única sonda, exterior al tanque, y sin contacto con el líquido;
- b) la determinación directa del peso del líquido almacenado, elimina correcciones por temperatura;
- c) los mismos equipos se pueden aplicar a tanques de diferente forma, siendo el error absoluto de medición del nivel (estimado en unos 3 mm para este prototipo), independiente de la altura del tanque;
- d) el sistema de telemetría es simple y confiable, siendo el costo del equipo competitivo con respecto a otros sistemas convencionales de similares funciones operativas.

En el presente informe se describen el principio de funcionamiento, las bases de diseño y las unidades componentes del sistema, estas últimas referidas al prototipo actualmente en construcción.

1.0.0 INTRODUCCION

En los procesos industriales, particularmente en aquellos vinculados al petróleo, al gas y a la petroquímica, se plantea a menudo la necesidad de conocer a distancia y en un instante cualquiera, ya sea en forma aislada o conjunta, el nivel, la densidad o el peso de fluidos almacenados en grandes tanques.

Estos datos pueden requerirse para determinar la cantidad de líquido transferido a otro recipiente o proceso, ó, simplemente, para evaluar las existencias de material en un momento dado.

El problema adquiere especial importancia, cuando se trata de grandes masas de líquido sujetas a cambios apreciables de densidad, con las variaciones de temperatura.

En estos casos, la sola determinación del nivel no basta para calcular el peso del fluido almacenado. Las mediciones volumétricas deben acompañarse con el dato de la temperatura media del líquido al momento en que dichas mediciones fueron efectuadas, a fin de poder realizar las correspondientes correcciones de la densidad.

La situación se complica en la faz operativa, cuando tales mediciones y cálculos deben hacerse en un gran número de tanques, de diámetros y alturas diferentes, distanciados entre sí, y también con respecto al lugar donde se requiere la información.

Por tales motivos, resultaría interesante para la industria química en general, disponer de instrumentos de medición capaces de transmitir a distancia, -y con la suficiente precisión-, las lecturas del nivel y densidad media de líquidos almacenados en tanques.

Con miras a resolver este problema, en la CNEA se ha desarrollado un equipo, actualmente en construcción, que permitirá medir los parámetros mencionados, sin contacto físico con el líquido, mediante la atenuación de rayos gamma.

El equipo se caracteriza por utilizar una sola y única sonda para ambas mediciones y por transmitir las lecturas a distancia en forma digital, operando en base a un sistema interrogativo y por tanto discontinuo.

2.0.0 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Previo a la descripción detallada de las diferentes partes que componen el equipo, conviene analizar el principio de funcionamiento del sistema en su conjunto, tal como ha sido representado en la Fig. 1.

En ella, una sonda de medición tipo "C" abraza un tubo (1) de comunicación lateral del tanque, de modo que una fuente radiactiva gamma (2) y un detector G.M. (3), quedan diametralmente opuestos respecto a dicho tubo. Al ser accionado un comando a distancia, la sonda, partiendo de su posición de reposo (4)-(4), inspecciona la columna líquida con velocidad uniforme, utilizando el mismo tubo "by-pass" como guía de su recorrido.

El movimiento de la sonda se obtiene mediante un cable de acero, poleas, un tambor de arrollamiento del cable, y un electromotor. Al girar el tambor de arrollamiento, un sistema fotoeléctrico (Sección 3.2.0) genera pulsos sincronizados con la traslación vertical de la sonda.

A su vez salen pulsos del detector a una frecuencia N_1 (cuentas/s) que depende, a igualdad de otros factores, de la densidad del líquido en la zona atravesada por las radiaciones, de acuerdo a la ley de atenuación exponencial:

$$N_1 = N_0 e^{-\mu p \varnothing} \quad \text{cuentas/s} \quad (1)$$

donde

N_0 , frecuencia de cómputo a través del tubo sin líquido (cuentas/s)
 μ , coeficiente másico de atenuación para la radiación, en el líquido considerado (cm^2/g)
 p , densidad local del líquido (g/cm^3)
 $\varnothing$, diámetro interior del tubo de comunicación lateral (cm).

En el circuito electrónico auxiliar, hay también un oscilador que actúa como reloj digital, a razón de 10 ciclos por segundo.

El pasaje de estas tres clases de pulsos, -relacionados uno con el movimiento de la sonda, otro con la densidad del líquido y con el tiempo de medición el restante-, a sus respectivos instrumentos contadores, está controlado por tres compuertas electrónicas que se abren o cierran en función de las variaciones de señal a la salida del detector de radiaciones de la sonda.

Segundos después de la puesta en marcha del motor, cuando el sistema móvil alcanza velocidad uniforme, la sonda en su recorrido ascendente, pasa frente a una fuente radiactiva de disparo (5), focalizada hacia el detector.

Se produce así un brusco aumento en la señal detectada, el cual, en virtud del movimiento de la sonda y la colimación del haz de radiación emergente de la fuente de disparo, afecta la forma de un pulso de corta duración, que tiene, sin embargo, suficiente amplitud como para provocar la apertura de las compuertas electrónicas, permitiendo a partir de entonces, la transmisión y registro a distancia de las tres categorías de pulsos antes mencionadas.

En el mismo instante en que la sonda sobrepase la superficie de nivel del líquido en el tubo "by-pass", ocurrirá otro brusco aumento de la intensidad de radiación, debido a que los rayos gamma provenientes de la fuente, llegarán al detector sin ser atenuados por la masa del fluido.

Esta segunda variación de la señal cierra las compuertas, quedando así indicados los siguientes datos:

1) cantidad de impulsos derivados del movimiento de la sonda, al trasladarse desde la posición de la fuente de disparo, hasta el nivel del líquido en el tanque;

2) cantidad de pulsos correspondientes a la radiación detectada por la sonda (función de la densidad del líquido), durante el recorrido anterior;

3) cantidad de pulsos de tiempo correspondientes al período de las mediciones mencionadas precedentemente.

La información 1) permite conocer inmediatamente el nivel, ya que cada impulso de movimiento corresponde a un determinado recorrido de la sonda (por ejemplo, un milímetro por cada impulso).

En consecuencia, sumando a este primer registro un valor constante dado por la altura de la fuente de disparo, se obtiene el nivel del líquido en el tubo de comunicación lateral.

Dividiendo la información 2) por la información 3), se tiene la frecuencia media (en cuentas/s) de acumulación de los pulsos correspondientes a la radiación detectada por la sonda, a través de la misma columna líquida donde se midió el nivel. Dicha frecuencia media, por la ec. 1, es función de la densidad media del líquido en el perfil vertical inspeccionado.

Para evitar la influencia de errores instrumentales en el cálculo de la densidad media, el equipo provee la normalización automática con respecto a un valor de referencia, de la lectura dependiente de la densidad. Esto se logra de la siguiente forma:

Sobrepasado el nivel del líquido, la sonda continúa su carrera ascendente hasta la posición de normalización (6)-(6) en el extremo superior del tubo, donde, por

accionamiento mecánico de un micro-contacto, queda transitoriamente detenida.

A continuación, y durante 100 segundos controlados según se explica en la Sección 3.3.1.4, los pulsos provenientes del detector se acumulan en un escalímetro "ad-hoc". La frecuencia de cómputo de estos pulsos, N_r , es el valor de referencia utilizado para la normalización de las lecturas.

Con la sonda en la posición de normalización, al no existir líquido interpuesto entre fuente radiactiva y detector, el producto $\mu p \varnothing$ es igual a cero. Manteniendo la constancia de los demás factores que intervienen en el proceso de medición, el valor de referencia N_r valdrá (ec. 1):

$$N_r = N_0 \quad \text{cuentas/s} \quad (2)$$

La lectura normalizada correspondiente a la densidad media será:

$$N_n = \frac{N_l}{N_r} = e^{-\mu p \varnothing} \quad (3)$$

la cual como se observa, es independiente de N_0 y, por lo tanto, de fluctuaciones de mediano y largo término en la eficiencia de detección.

El nivel y la densidad media permiten calcular fácilmente el peso de líquido almacenado en el tanque.

Todos los cálculos se pueden hacer manualmente con la ayuda de gráficos, tablas o nomogramas, o bien por medio de una computadora simple.

En este último caso, los datos pueden ser inscriptos y almacenados junto con otra información adicional, como código del tanque y fecha y hora de la medición.

3.0.0 BASES DE DISEÑO

En el proyecto de las unidades que componen el sistema, intervienen los siguientes parámetros:

- v_0 , velocidad de traslación de la sonda (mm/s),
- f , frecuencia de los impulsos sincronizados con el movimiento de la sonda (pulsos/s),
- RC , constante de tiempo del medidor de la frecuencia de pulsos del G.M. (s),
- $\varnothing$, diámetro interno del tubo de comunicación lateral del tanque (cm),
- N_0 , velocidad promedio de cómputo de los pulsos correspondientes a la radiación detectada a través del tubo sin líquido (cuentas/s),

μ , coeficiente másico de atenuación de la radiación en el líquido (cm^2/g),
 p , densidad del líquido (g/cm^3),
 $\frac{\Delta p}{p}$, error relativo de densidad admitido para el volumen inspeccionado por la sonda en un tiempo $t = 1$ s,
 Δe , máximo error absoluto admisible en la medición del nivel (mm).

La densidad p viene determinada por la naturaleza del líquido a medir; las posibilidades de elección del resto de los parámetros están limitadas por las condiciones que debe cumplir el sistema de medición, para satisfacer los requerimientos de un dado proceso.

Así por ejemplo, la rapidez con que se necesita la información, junto con la cantidad y altura de los tanques, imponen un valor mínimo a la velocidad v_0 de traslación de la sonda.

Establecida v_0 en base a esas consideraciones, la frecuencia f de los pulsos sincronizados con el movimiento de la sonda, resulta de la condición de que la distancia d (mm) recorrida por la sonda en un tiempo T (s) tiene que ser numéricamente igual a los pulsos acumulados durante el mismo lapso:

$$\begin{aligned} |d| &= |v_0| \times |T| = |f| \times |T| \\ |v_0| &= |f| \end{aligned} \quad (4)$$

En cuanto a los parámetros que faltan, es posible establecer una interrelación para el cálculo, partiendo de los errores admisibles para la densidad y el nivel.

En efecto: dado que la frecuencia promedio N_1 a la que se suceden los pulsos del G.M. correspondientes a la radiación detectada a través del líquido, es función de la densidad del mismo, el error $\frac{\Delta p}{p}$ admitido, impone (por la ec. 1) la condición:

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta N_1}{N_1} \cdot \frac{1}{\mu \varnothing p} \quad (5)$$

(para ΔN_1 y Δp suficientemente pequeños).

Adoptando para ΔN_1 el valor de la desviación standard de N_1 :

$$\Delta N_1 = \pm \sqrt{\frac{N_1}{t}} \quad \text{cuentas/s} \quad (6)$$

donde:

t , tiempo de medición en (s), para computar la frecuencia

Como $t = 1$ s, la ec. 5 queda:

$$\left| \frac{\Delta p}{p} \right| = \left| \frac{1}{\sqrt{N_1} \mu \theta p} \right|$$

de donde

$$N_0 = \frac{e \mu \theta p}{\left(\frac{\Delta p}{p} \right)^2 \cdot (\mu \theta p)^2} \quad \frac{\text{cuentas}}{\text{s}} \quad (7)$$

Esta es la condición impuesta por el error relativo de la densidad. Veamos ahora la restricción que resulta al considerar el error en la lectura de nivel.

Mientras la sonda asciende inspeccionando la columna líquida, la frecuencia estadística de pulsos a la salida del G.M. oscilará el 68,3 % del tiempo, entre:

$$N_1 \pm \sqrt{\frac{N_1}{2 RC}} \quad \text{cuentas/s}$$

Cuando la sonda sobrepasa el nivel del líquido en el tubo de comunicación lateral, el número promedio N de cuentas por segundo, crecerá según la ley:

$$N = N_1 + (N_0 - N_1) (1 - e^{-\Delta T/RC}) \quad \frac{\text{cuentas}}{\text{s}} \quad (8)$$

siendo

ΔT , tiempo transcurrido, (s), desde que el haz de radiaciones de la sonda sobrepasó el nivel del líquido.

El valor de ΔT resulta de la relación entre el error Δe admisible en la lectura del nivel, y la velocidad v_0 de traslación de la sonda:

$$\Delta T = \frac{\Delta e}{v_0} \quad (\text{s}) \quad (9)$$

Para que la señal del promediador de la frecuencia de conteo sea inequívocamente discernible de las fluctuaciones estadísticas propias de N y N_1 , y pueda por lo tanto usarse con seguridad para el control de las compuertas electrónicas, se requiere que (Fig. 2):

$$|\Delta N| = |N - N_1| \geq |2,5 \sigma(N) + 2,5 \sigma(N_1)| \quad (10)$$

$$N - N_1 \geq 2,5 \left| \sqrt{\frac{N}{2 RC}} + \sqrt{\frac{N_1}{2 RC}} \right| \quad \frac{\text{cuentas}}{\text{s}} \quad (11)$$

En una primera aproximación podemos suponer que:

$$\sqrt{N} \approx \sqrt{N_1}$$

pero como en realidad:

$$\sqrt{N} > \sqrt{N_1}$$

adoptamos, en lugar de la (11):

$$N - N_1 = 6 \sqrt{\frac{N_1}{2RC}} \quad (12)$$

Combinando la (9), (1) y (12) con la (8), resulta finalmente:

$$N_0 = \frac{18 e^{-\mu \varnothing p}}{RC (1 - e^{-\mu \varnothing p})^2 (1 - e^{-\Delta e/v_0 RC})^2} \quad \frac{\text{cuentas}}{s} \quad (13)$$

De la (7) y la (13) se obtiene la interrelación buscada:

$$\frac{e^{\mu \varnothing p} - 1}{\mu \varnothing p} = \frac{\Delta p/p}{1 - e^{-\Delta e/v_0 RC}} \times \sqrt{\frac{18}{RC}} \quad (14)$$

En la (14) intervienen, además de las constantes $\Delta p/p$, v_0 y Δe , las variables $(\mu \varnothing p)$ y (RC) . Prefijar una de esas variables equivale a determinar la otra.

El criterio para seleccionar dichas variables, es que el valor N_0 resultante sea mínimo, pues ello equivale a reducir la actividad de la fuente radiactiva incorporada a la sonda.

La solución la da la ec. 7, donde N_0 depende sólo de $\mu \varnothing p$ ($\Delta p/p$ es una constante del problema) y es mínimo solamente cuando: $\mu \varnothing p = 2$

$$\mu \varnothing p = 2 \quad (15)$$

Este valor, sustituido en la ec. (14) nos permite calcular gráficamente el correspondiente valor de RC .

En realidad existe cierta flexibilidad en la elección del producto $\mu \varnothing p$ pues en ec. 7 N_0 se mantiene prácticamente en el mínimo para

$$1,0 \leq \mu \varnothing p \leq 3 \quad (16)$$

Establecido así el valor del producto $\mu \varnothing p$, faltaría determinar en base a aquellos parámetros μ y $\varnothing$.

En general, convendrá optar por prefijar el coeficiente másico de atenuación μ , en correspondencia con la energía del ^{137}Cs ó del ^{60}Co , por ser éstas las fuentes más adecuadas para la medición simultánea del nivel y la densidad.

Conocido μ , el diámetro $\varnothing$ del tubo de comunicación lateral resulta por simple cálculo. En condiciones óptimas:

$$\varnothing = \frac{2}{\mu p} \quad \text{cm} \quad (17)$$

Finalmente, una vez conocido N_0 (reemplazando valores en la ec. 7) la actividad A_0 de la fuente, en mc, se calcula por:

$$A_0 = \frac{4 \pi d^2 N_0}{3,7 \times 10^7 \cdot n_f \cdot s_d \cdot n_d \cdot \eta \cdot e^{-\mu_0 x_0}} \quad \text{mc} \quad (18)$$

donde:

d , distancia fuente-detector (cm)

n_f , cantidad de fotones por desintegración (fotón/desintegración)

s_d , superficie útil de detección por tubo G.M. ($\text{cm}^2/\text{tubo G.M.}$)

n_d , cantidad de tubos G.M. (tubos G.M.)

η , eficiencia de detección (cuentas/fotón)

μ_0 , coeficiente de atenuación lineal de la radiación en el material del tubo "by-pass" (cm^{-1})

x_0 , espesor de paredes del tubo "by-pass", atravesado por la radiación (cm).

La distancia "d" se calcula teniendo en cuenta que además del tubo "by-pass", es necesario intercalar entre fuente y detector un blindaje para colimar el haz de radiaciones de la sonda.

Es conveniente que una parte substancial del blindaje sea adyacente a los detectores. De esta manera se evita la influencia de la radiación eventualmente dispersada por la masa de líquido y las paredes del tubo "by-pass", obteniéndose así un haz de rayos prácticamente paralelos al plano horizontal.

Imponiendo la condición de que el blindaje debe reducir la radiación directa en por lo menos un factor 1000, el espesor x del colimador resulta:

$$x = \frac{7}{\mu} \quad \text{cm} \quad (19)$$

siendo μ (cm^{-1}) el coeficiente de atenuación lineal de la radiación en el material del blindaje.

Si se usan dos colimadores, uno para la fuente y otro para el detector, la dis-

tancia "d" resulta finalmente:

$$d \simeq \varnothing + \frac{14}{\mu} \quad \text{cm} \quad (20)$$

Para el caso en que sólo interesara la medición del nivel, con prescindencia de la densidad, bastaría con la ec. 13 para el cálculo de N_0 en función de $\mu \varnothing p$ y RC.

Un análisis de la ec. 13 nos muestra que N_0 decrece continuamente para valores crecientes del producto $\mu \varnothing p$. Además, para cualquier valor de $\mu \varnothing p$, N_0 será mínimo cuando

$$e^{-\Delta e/v_0 RC} = \frac{RC}{RC + 2 \quad e/v_0} \quad (21)$$

Por lo tanto, tratándose de la sola medida del nivel, convendrá seleccionar RC en función de la ec. 21 y calcular el valor de $\mu \varnothing p$ para obtener un dado régimen de N_0 cuentas por segundo.

Para el prototipo desarrollado y construido en la CNEA se adoptaron los siguientes valores

$$\begin{aligned} v_0 &= 50 \text{ mm/s} \\ f &= 50 \text{ pulsos/s} \\ p &= 0,87 \text{ g/cm}^3 \\ \Delta p/p &= 0,05 \\ \mu &= 0,072 \text{ cm}^2/\text{g} \quad ({}^{137}\text{Cs y benceno}) \\ \Delta e &= 3 \text{ mm} \end{aligned}$$

A partir de estos datos se calcularon los parámetros restantes, de acuerdo a las fórmulas anteriores.

De la ec. 16, haciendo $\mu \varnothing p = 1$, resultó:

$$\varnothing = 16 \text{ cm} \simeq 6''$$

De la ec. 7, sustituyendo $\mu \varnothing p = 1$ y $\Delta p/p = 0,05$, se obtiene:

$$N_0 \simeq 1.100 \text{ cuentas/s}$$

y de la ec. 1:

$$N_1 \simeq 400 \text{ cuentas/s}$$

Resolviendo gráficamente o por tanteos la ec. 14:

$$RC \simeq 0,2 \text{ s}$$

Los valores de N_0 , N_1 y RC , junto con la relación $\Delta e/v_0 = \Delta T$, permiten hallar por la ec. 8, el valor de la señal de disparo N :

$$N \simeq 580 \text{ cuentas/s}$$

Se puede verificar ahora la condición impuesta por la ec. 11, para que la señal N sea verdaderamente discernible de las fluctuaciones estadísticas. En efecto:

$$N - N_1 = 180 > 2,5 \left(\sqrt{\frac{580}{0,4}} + \sqrt{\frac{400}{0,4}} \right) = 175 \text{ cuentas/s}$$

Para el cálculo de la actividad A_0 , adoptamos los siguientes valores

$$\begin{aligned} d &= 30 \text{ cm} \\ n_f &= 1 \text{ fotón/desintegración } (^{137}\text{Cs}) \\ s_d &= 3 \text{ cm}^2/\text{tubo GM} \\ n_d &= 2 \text{ tubos GM Amperex, type 90 NB 4} \\ \eta &= 0,0025 \text{ cuentas/fotón incidente en GM} \\ \mu_0 &= 0,56 \text{ cm}^{-1} \text{ (atenuación en hierro para } ^{137}\text{Cs)} \\ x_0 &= 1 \text{ cm} \end{aligned}$$

Reemplazando en ec. 18 se obtiene:

$$A_0 \simeq 40 \text{ mc } ^{137}\text{Cs}.$$

Con los datos prefijados y los valores calculados a partir de ellos, se pueden dimensionar las siguientes unidades funcionales del sistema

- sonda de medición
- mecanismo de movimiento
- circuito electrónico.

3.1.0 SONDA DE MEDICION

La sonda de medición, Fig. 3 a, consiste en una caja de fundición de aluminio con forma de herradura, que abraza al tubo de comunicación lateral del tanque, y con tiene en su interior la fuente radiactiva y los detectores.

La fuente de ^{137}Cs , -una perla de 3 mm de diámetro encapsulada en acero inoxidable-, se aloja en un portafuente cilíndrico que actúa también de colimador de la radiación emergente hacia los detectores, y está rodeada, salvo la apertura de dicho colimador, por un blindaje de plomo de unos 7 cm de espesor, que evita la sobre-exposición en el exterior de la sonda.

Los detectores, dos tubos GM Amperex type 90 NB 4, van ubicados en el mismo plano horizontal de la fuente, pero en forma diametralmente opuesta con respecto al tubo "by-pass".

Un blindaje y colimador de plomo rodea a los detectores, limitando la radiación incidente a un haz de sección rectangular (de 70 mm de largo y 4 mm de alto), paralelo al plano horizontal.

Cuanto más angosto sea el haz, tanto mayor precisión es dable esperar en la determinación del nivel, dado que en la zona de interfase líquido-aire, aumenta el gradiente de la intensidad de radiación transmitida a través del líquido en función de la altura de la sonda.

En la caja de la sonda se ha previsto suficiente espacio disponible como para montar, en caso necesario, circuitos electrónicos auxiliares (preamplificador, por ej).

El acceso al interior de la sonda para el armado o reemplazo de sus distintos componentes, se facilita mediante una tapa atornillada, según puede apreciarse en la Fig. 3 b.

Unidos rígidamente a la estructura y tapa de la sonda, hay tres soportes verticales, ubicados a 120 grados el uno del otro con respecto al centro del tubo "by-pass", en el plano transversal. Estos soportes tienen en sus extremos rodillos que apoyan sobre la superficie exterior del tubo "by-pass", y sirven para guiar y posibilitar el movimiento vertical de la sonda. El giro de esta última, alrededor del eje del tubo, está impedido por una guía vertical que se extiende a todo lo largo del tubo (Fig. 3 c).

En ambas caras de la guía vertical apoyan sendos rodillos fijos a uno de los soportes de la sonda.

3.2.0 SISTEMA DE MOVIMIENTO

El movimiento de la sonda se consigue mediante un cable, una polea, y un tambor de arrollamiento del cable, este último accionado por un electro motor trifásico y dos reductores de velocidad.

El mecanismo de movimiento de la sonda, está claramente ilustrado en las Figs. 4 a y 4 b.

La rotación del tambor de arrollamiento se transmite por fricción (en este prototipo), a un disco delgado de aluminio, el cual tiene una serie de agujeros igualmente espaciados entre sí, distribuidos sobre una circunferencia perimetral. A la altura de dicha circunferencia el disco intercepta un haz de luz proveniente de un foco y dirigido hacia un fototransistor.

Con la rotación del disco perforado, el pasaje del haz luminoso al fototransistor es alternada y sucesivamente abierto por los agujeros y bloqueado por los espaciamentos entre los mismos.

De esta forma el foto-transistor recibe una señal de luz pulsante, y entrega por consiguiente, a la salida, pulsos de la misma frecuencia.

Si w (revoluciones/segundo) es la velocidad angular de rotación del disco perforado, y Z el número total de agujeros en la circunferencia perimetral, la frecuencia f , en pulsos por segundo, resultará:

$$f = Z \cdot w \text{ pulsos/s} \quad (22)$$

Como:

$$\begin{aligned} |f| &= |\text{velocidad de la sonda}| = |v_o| \\ w &= \frac{v_o}{Z} \text{ revoluciones/s} \end{aligned} \quad (23)$$

La ec. 23 permite calcular la relación entre el radio de la rueda de fricción que mueve al disco perforado, y el radio de la pista de rodamiento sobre la cara del tambor.

En el prototipo construido en la CNEA, este radio puede variarse dentro de ciertos límites, para permitir el ajuste de f al valor v_o .

El equipo se proyectó para $v_o = 50 \text{ mm/s}$ de modo que f debe corresponder a 50 pulsos/s.

El movimiento de la sonda se inicia por accionamiento manual o automático de un contactor de avance.

Cuando la sonda llega al extremo superior de su carrera vertical (posición de normalización), actúa sobre un regulador de carrera que detiene la marcha del motor y pone en funcionamiento un contador con disparo preseleccionado (Sección 3.3.1.4).

Al cabo de 100 segundos, el contador restablece la marcha del motor mediante un contactor de retroceso. La sonda regresa así a la posición inicial de reposo donde, por accionamiento mecánico de otro microcontacto, queda detenida hasta que le sea requerido otro ciclo de medición.

3.3.0 SISTEMA ELECTRONICO

3.3.1 Descripción general

Las diferentes unidades funcionales que integran el circuito electrónico, y sus interconexiones, se ilustran en el diagrama en bloques de la Fig. 5.

3.3.1.1 Conformador: constituye un circuito típico de disparo. Está alimentado por los pulsos provenientes del detector G.M., y presenta a su salida pulsos positivos de duración y amplitud prefijadas. Los pulsos de salida del conformador son dirigidos al sistema lógico y a la compuerta D.

Esta última sólo se abre cuando la sonda llega a la posición de normalización (por accionamiento mecánico de un microcontacto) y es cerrada, al cabo de 100 segundos, por la operación de un contador con disparo preseleccionado.

De esta manera el escalímetro D registra la lectura de normalización para el cálculo de la densidad media del líquido, según se explicó en la Sección 2.0.0.

3.3.1.2 Sistema lógico: tiene por función controlar las compuertas A, B y C, para que permanezcan abiertas el tiempo T (s) mientras la sonda recorre la distancia d comprendida entre la posición de la fuente radiactiva de disparo, y la superficie de nivel del líquido.

La compuerta A permite el paso de los pulsos conformados que vienen del transductor luminoso, al escalímetro A.

Si f (pulsos/s) es la frecuencia de dichos pulsos, el total acumulado durante el tiempo T en que la compuerta permanece abierta, será:

$$\text{Lectura Esc. A} = f \times T \text{ pulsos}$$

y dado que la frecuencia es numéricamente igual a la velocidad v_0 de traslación de la sonda, en mm/s, resulta:

$$\text{Lectura Esc. A} = v_0 \times T \text{ mm} = d \text{ mm}$$

La compuerta B permite que el escalímetro B acumule las cuentas provenientes de los detectores G.M. a una frecuencia estadística dada por la ec. 1, por lo que su lectura resultará:

$$\text{Lectura Esc. B} = I_0 e^{-\mu \rho p} \cdot T \text{ cuentas}$$

Por último, la compuerta C deja pasar al escalímetro C, los pulsos que entrega el reloj a una frecuencia constante de 10 ciclos/s. De esta forma:

$$\text{Lectura Esc. C} = 10 \times T \text{ unidades}$$

es decir, indica el tiempo durante el cual se efectuaron las mediciones, en décimas de segundo.

El funcionamiento del sistema lógico en sí, se explica con más detalle en la Sección 3.3.2.

3.3.1.3 Transductor luminoso: consiste simplemente en un fototransistor y un conformador de pulsos. El fototransistor recibe la señal pulsante de luz generada por la rotación del disco perforado, y entrega pulsos eléctricos a la compuerta A.

La frecuencia f (s^{-1}) de dichos pulsos, es numéricamente igual a la velocidad v_0 (mm/s) de traslación de la sonda.

3.3.1.4 Reloj: es un oscilador que genera pulsos positivos de 6 V, a una frecuencia constante de 10 ciclos/s. Estos pulsos van a las compuertas E y C.

La compuerta C como ya se explicó en 3.3.1.2 está gobernada por el sistema lógico.

La compuerta E, en cambio, y al igual que la compuerta D-, es abierta por accionamiento de un microcontacto del regulador superior de carrera de la sonda. Dicho regulador detiene el motor cuando la sonda llega a la posición de normalización.

Con la apertura de la compuerta, los pulsos del reloj pasan a un contador con disparo preseleccionado, que se dispara al recibir el pulso número mil, es decir, exactamente a los 100 segundos de la apertura.

Al dispararse, el contador cierra las compuertas E y D y acciona un contactor que pone nuevamente en marcha al motor pero con sentido inverso, con lo cual la sonda desciende, mientras queda indicada en el escalímetro D la lectura de referencia para la normalización. Otro contacto exterior desexcita el contador durante el descenso de la sonda.

3.3.2 Operación del sistema lógico

El circuito del sistema lógico ha sido representado en la Fig. 6.

Los pulsos que provienen del conformador entran a un conversor de frecuencia en amplitud.

A la salida del conversor existirá una tensión continua, de magnitud proporcional a la frecuencia estadística con que se presentan los pulsos a la entrada.

Los diagramas de la Fig. 7 sirven para explicar la secuencia de operaciones de los elementos que componen el sistema lógico.

El gráfico a) representa la tensión e de salida del integrador, en función del tiempo.

En él se observan las variaciones bruscas de tensión debidas al aumento de

la intensidad de radiación detectada por la sonda, al pasar frente a la fuente de disparo primero, (tiempo t_1) y sobrepasar la superficie de nivel del líquido después (tiempo t_2).

Los diagramas b) y c) muestran los estados de los discriminadores D_1 y D_2 , en función de las variaciones de la señal e . Estos dos discriminadores funcionan con niveles de disparo, e_1 y e_2 , muy próximos entre sí. Al igual que el biestable B y que el divisor binario F (diagramas d) y e)- los discriminadores sólo pueden adoptar uno u otro de dos estados, que definiremos como "estado activo" y "estado pasivo" respectivamente.

En el estado activo la salida es positiva, y el elemento actúa sobre el que le sigue en el sistema lógico. En el estado pasivo, en cambio, la salida es negativa, y el elemento no actúa sobre el resto del circuito.

Al producirse la primera variación brusca de la señal e , cuando ésta llega al nivel e_1 , el discriminador D_1 cambia de su estado normal activo, al estado pasivo. Transcurrido un tiempo ΔT a partir de entonces, la señal alcanza el nivel e_2 , y actúa sobre D_2 llevándolo a su estado activo.

En estas condiciones el biestable B pasa también al estado activo, excitado al divisor binario F, el cual abre así las compuertas A, B y C.

Inmediatamente después del instante t_1 , la señal e retorna a su valor anterior pasando por los niveles e_2 y e_1 , con lo cual D_2 , D_1 y B vuelven a sus respectivos estados iniciales, mientras permanece F excitado y las compuertas abiertas.

Con la variación subsiguiente de la señal, al aproximarse el instante t_2 , -cuando la sonda sobrepasa el nivel del líquido-, se repite la secuencia anterior, produciéndose un nuevo disparo del biestable B. Este último cambia así el estado del divisor binario F, el cual, a su vez, cierra entonces las compuertas A, B y C.

El divisor binario es vuelto a su estado pasivo mediante un contacto de puesta a cero, accionado automáticamente desde el exterior, durante el descenso de la sonda.

4.0.0 CONSIDERACIONES FINALES

Además del prototipo descripto, existen otros diseños posibles, basados en el mismo principio de funcionamiento.

Dos de estas variantes se muestran esquemáticamente en las Figs. 8 y 9.

La Fig. 8 ilustra una sonda para medición en el interior del tanque. En este caso la estructura (1) mantiene una distancia fija entre fuente radiactiva (2) y detector (3) y provee la necesaria rigidez del sistema de medición. El espacio entre fuente y detector es ocupado por el fluido cuando la sonda está por debajo del nivel.

La estructura (1) está suspendida de un cable (4) que sirve como elemento de tracción para el movimiento de la sonda y puede además actuar como conductor eléctrico para la alimentación eléctrica de los detectores y la transmisión de los pulsos que salen de dichos detectores. En este último caso se podría utilizar un cable similar a los que se emplean en los aparatos de perfilaje de pozos petrolíferos.

La columna (5) actúa como guía de la sonda en su recorrido vertical, y puede adoptar diversas formas constructivas (perfiles de hierro, o caños, etc).

Lo que resta del funcionamiento y operación de esta sonda, es similar a lo ya explicado para el prototipo descrito anteriormente.

La Fig. 9 muestra la sección transversal de otro tipo de sonda para medición externa al tanque. En esta disposición, fuente radiactiva (1) y detector (2), constituyen unidades móviles independientes, pero que se desplazan en forma sincronizada mediante un mecanismo de elevación apropiado para mantener invariable la geometría de medición durante el movimiento de la sonda.

La apropiada elección de uno u otro diseño vendrá condicionada por las características particulares de cada caso, pero, en opinión de los autores, será preferible en general, un diseño similar al adoptado para el presente prototipo.

Si bien por hallarse el equipo en construcción, todavía no se tienen resultados sobre su desempeño en una aplicación práctica, los ensayos parciales que se vienen realizando con las unidades ya terminadas, permiten prever el correcto funcionamiento de todo el conjunto.

Las ventajas que se espera obtener con la utilización de este sistema, son:

a) los mismos equipos se pueden aplicar, con escasas modificaciones, a tanques de diferente forma, siendo el error absoluto de medición del nivel (estimado en unos 3 mm para este prototipo), independiente de la altura del tanque;

b) la determinación directa del peso del líquido almacenado, elimina correcciones por temperatura;

c) todas las mediciones se ejecutan con una sola y única sonda, que puede ser exterior al tanque, y no tener contacto físico con el líquido;

d) el sistema de telemetría es simple y confiable, siendo el costo del equipo competitivo, con respecto a otros sistemas convencionales de similares funciones operativas.

En la Fig. 10 puede observarse el prototipo durante su instalación para los ensayos experimentales.

BIBLIOGRAFIA

Holzbok, W.G. "Instrumentos para medición y control", Cía. Editorial Continental S.A., Mexico (1956) Caps. 5 y 6, pags. 209-246.

Perry, J.H., "Manual del Ingeniero Químico", Tomo II, UTEHA, Mexico (1959), pags. 2006-2009 y 2018-2019.

VAREC Inc. (EE.UU. de América) "Application of pulse code signals to industrial telemetering", Bulletin CP-3014 A.

Kohl, J. et al., "Radioisotope Applications Engineering", D. van Nostrand Co. N. York.

Shumilovskii, N.N. y Mel'tser, L.V., McMillan, N. York (1964), Cap. 7, pags. 56-64.

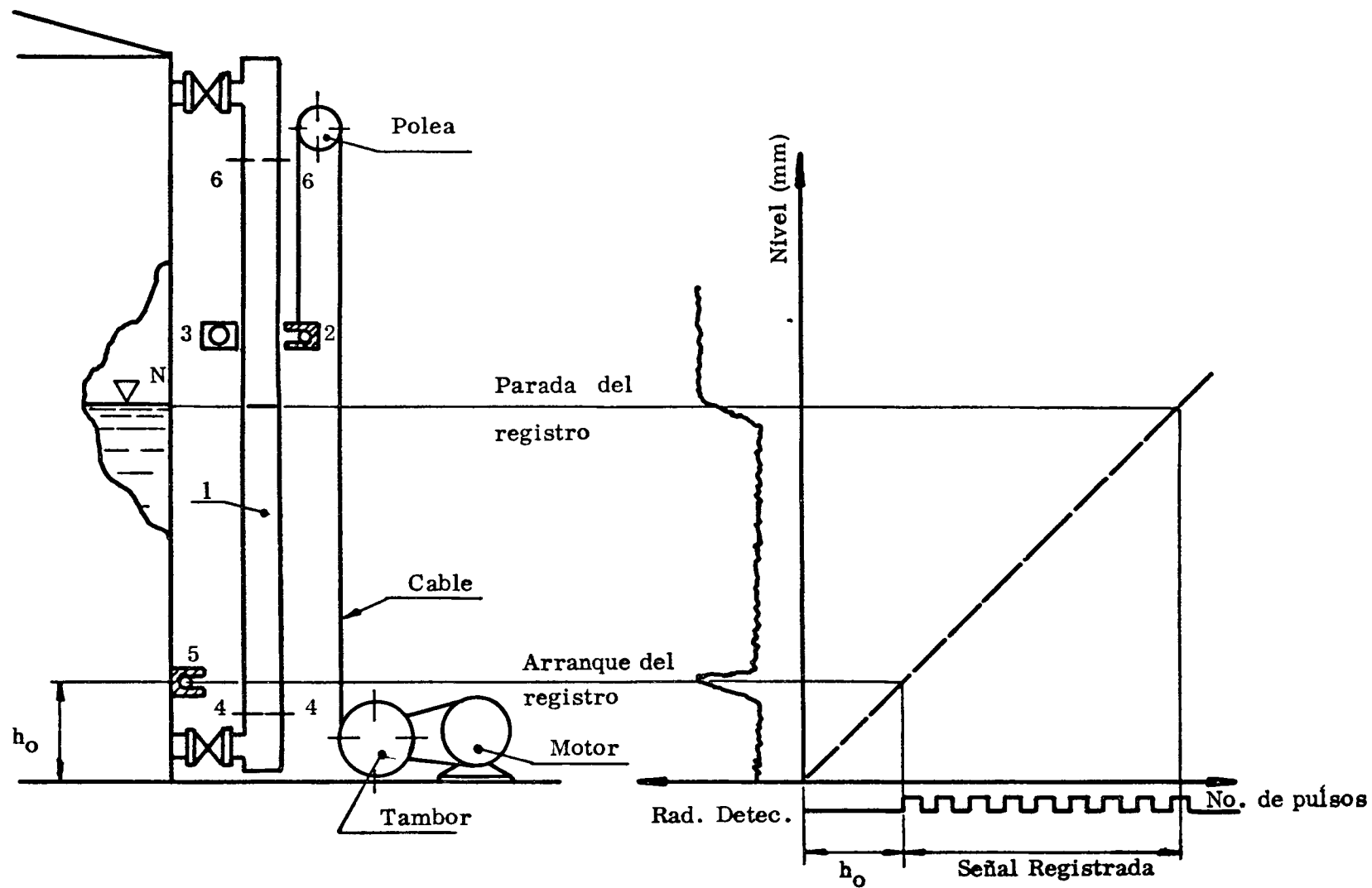


Fig. 1 TELEMEDIDOR DE NIVEL Y DENSIDAD DESARROLLADO EN LA CNEA.

(1) Tubo de comunicación lateral; (2) fuente; (3) detector; (4-4) posición de reposo; (5) fuente auxiliar.

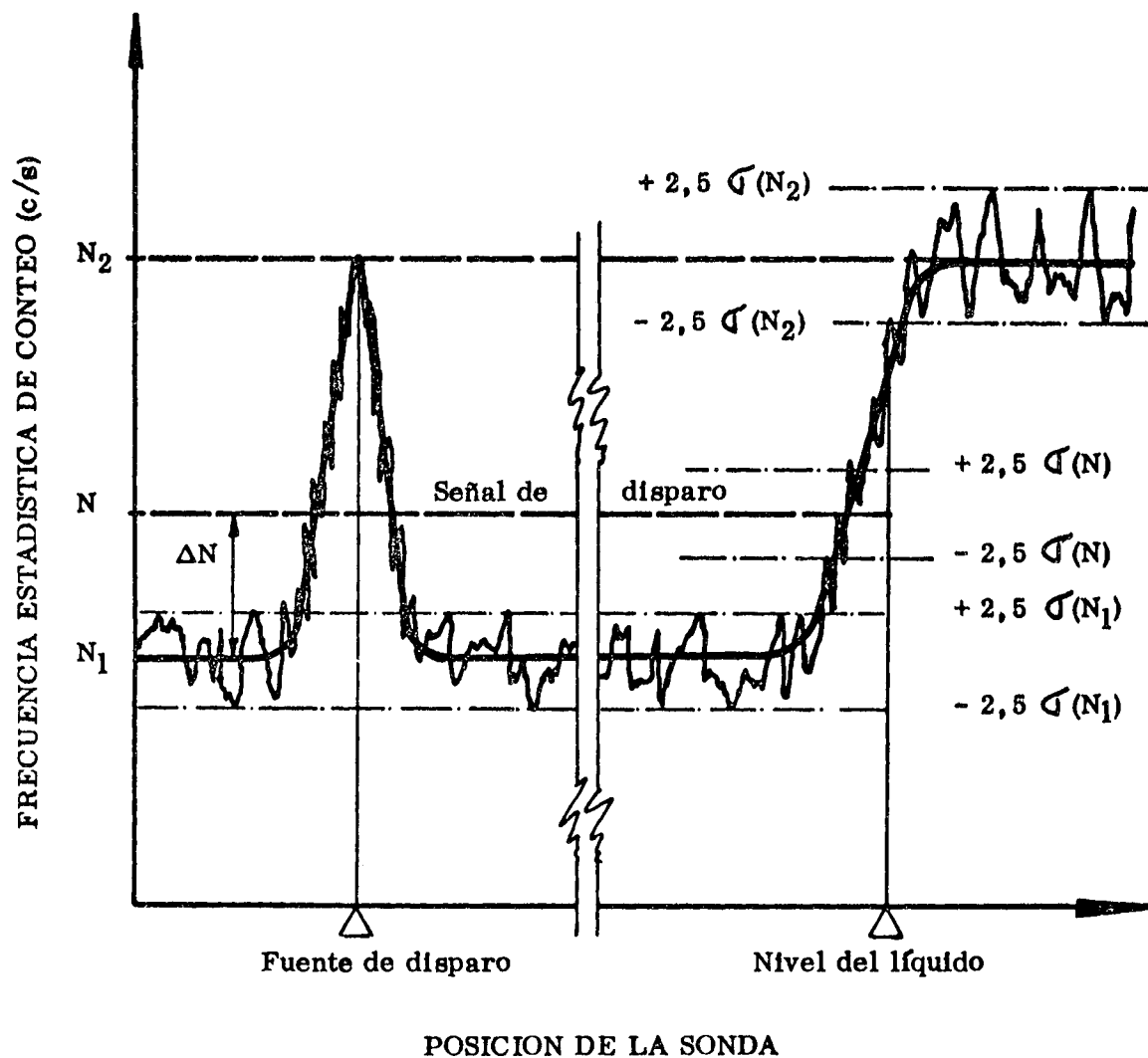


Fig. 2 Influencia de las fluctuaciones estadísticas en la elección de la señal de disparo. La diferencia $N - N_1$ debe ser mayor que $2,5 [\sigma(N_1) + \sigma(N)]$ para tener una señal independiente de las fluctuaciones estadísticas.

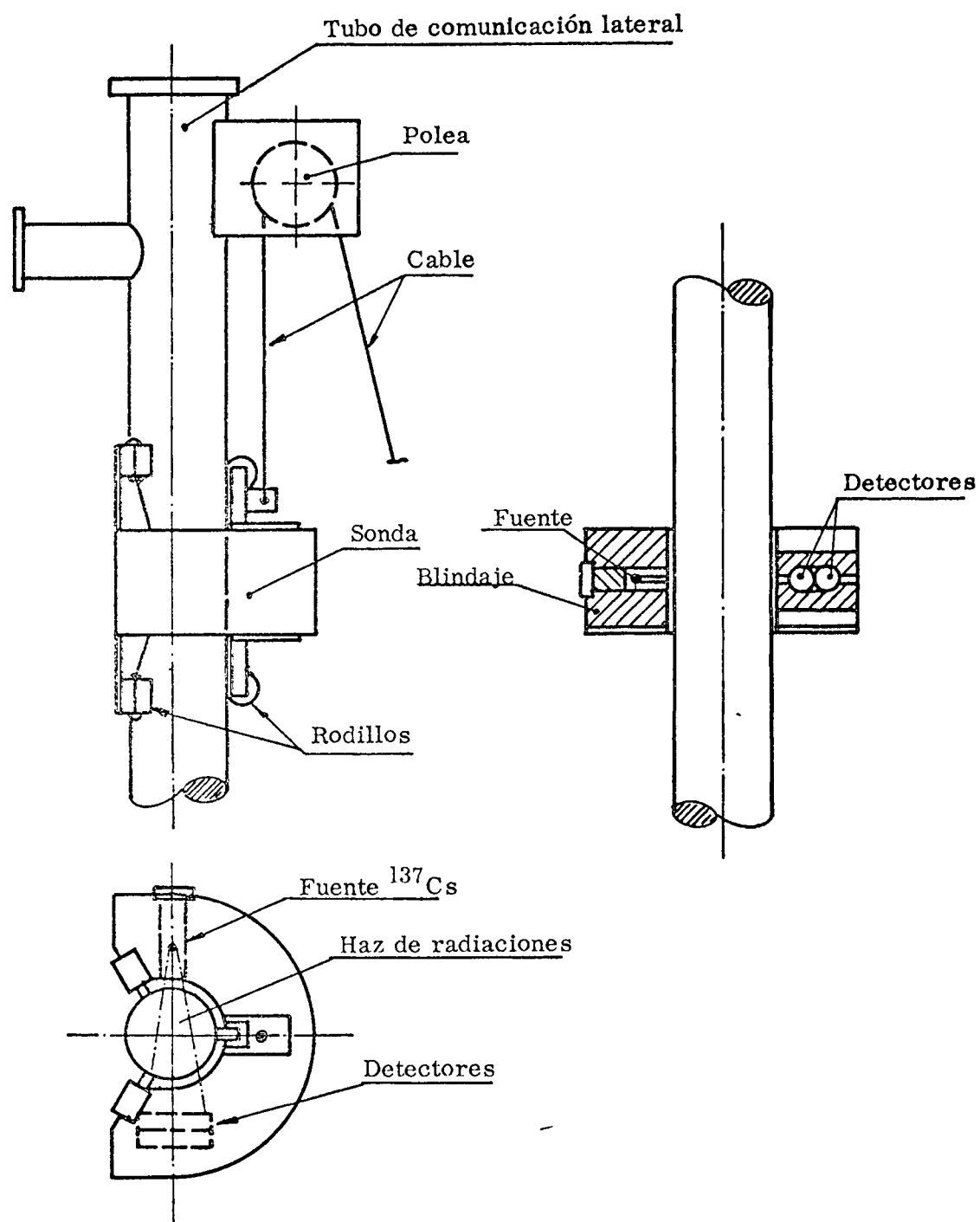


Fig. 3 a. ESQUEMA DE LA Sonda DE MEDICION

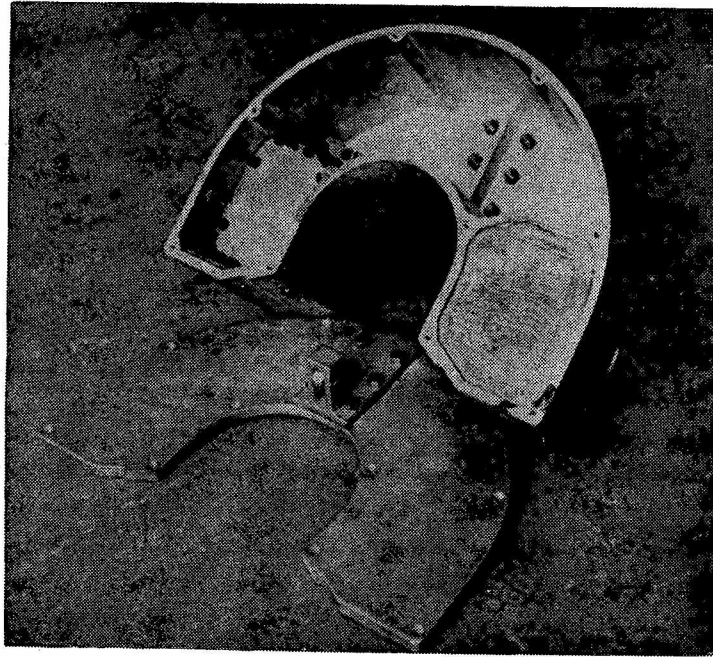
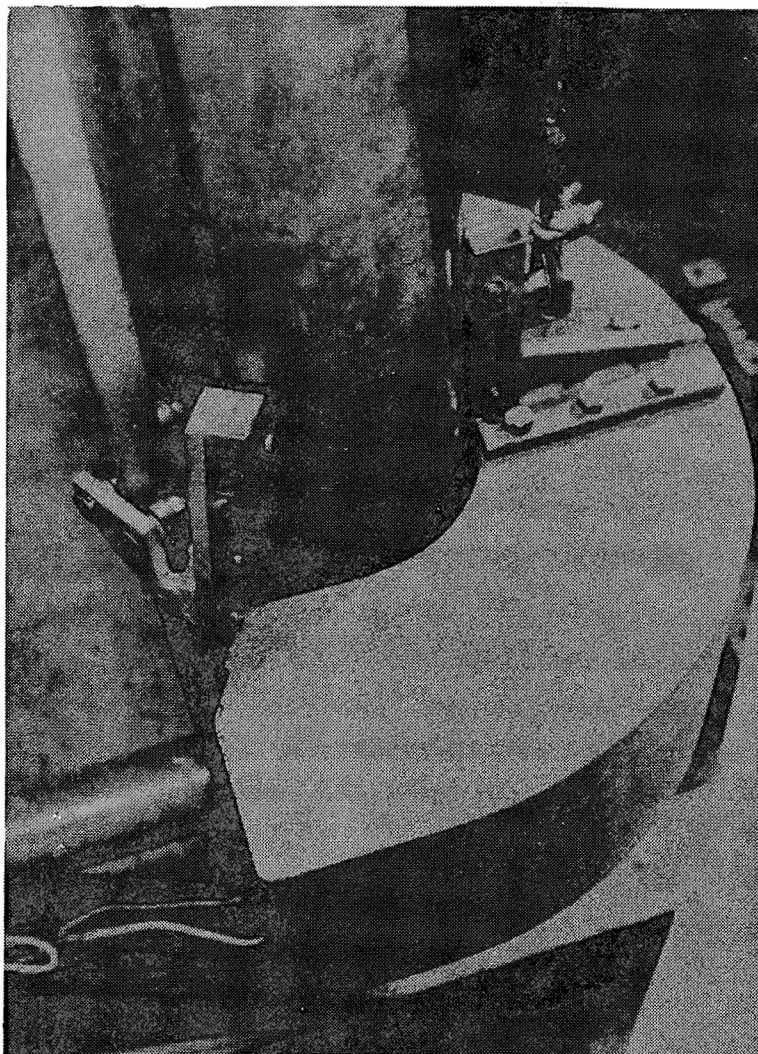


Fig. 3 b. Detalles constructivos de la sonda de medición.



**Fig. 3 c. Sonda de medición montada sobre el tubo "by-pass".
La guía lateral impide el giro de la sonda alrededor del tubo.**

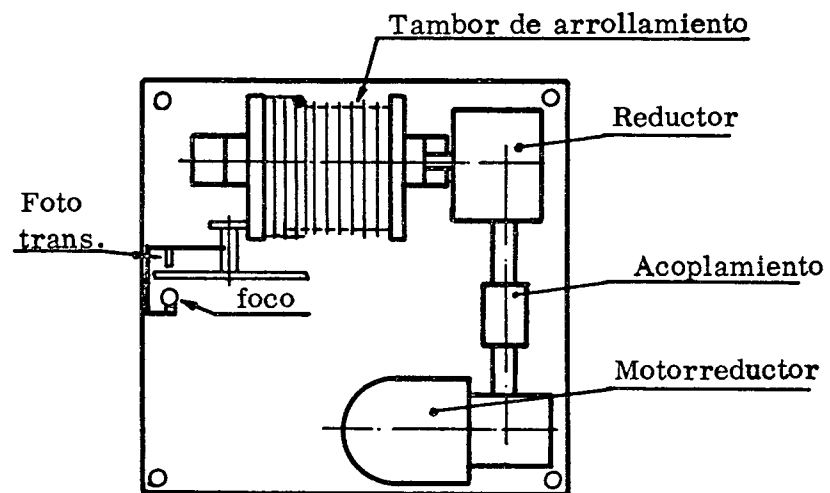
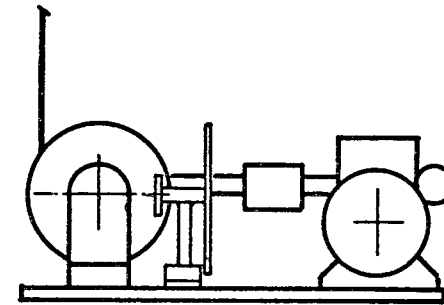
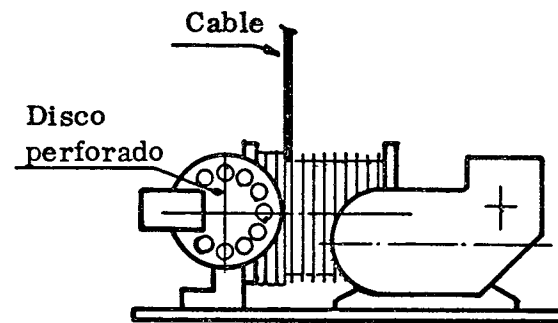


Fig. 4 a. MECANISMO DEL MOVIMIENTO DE LA SONDA

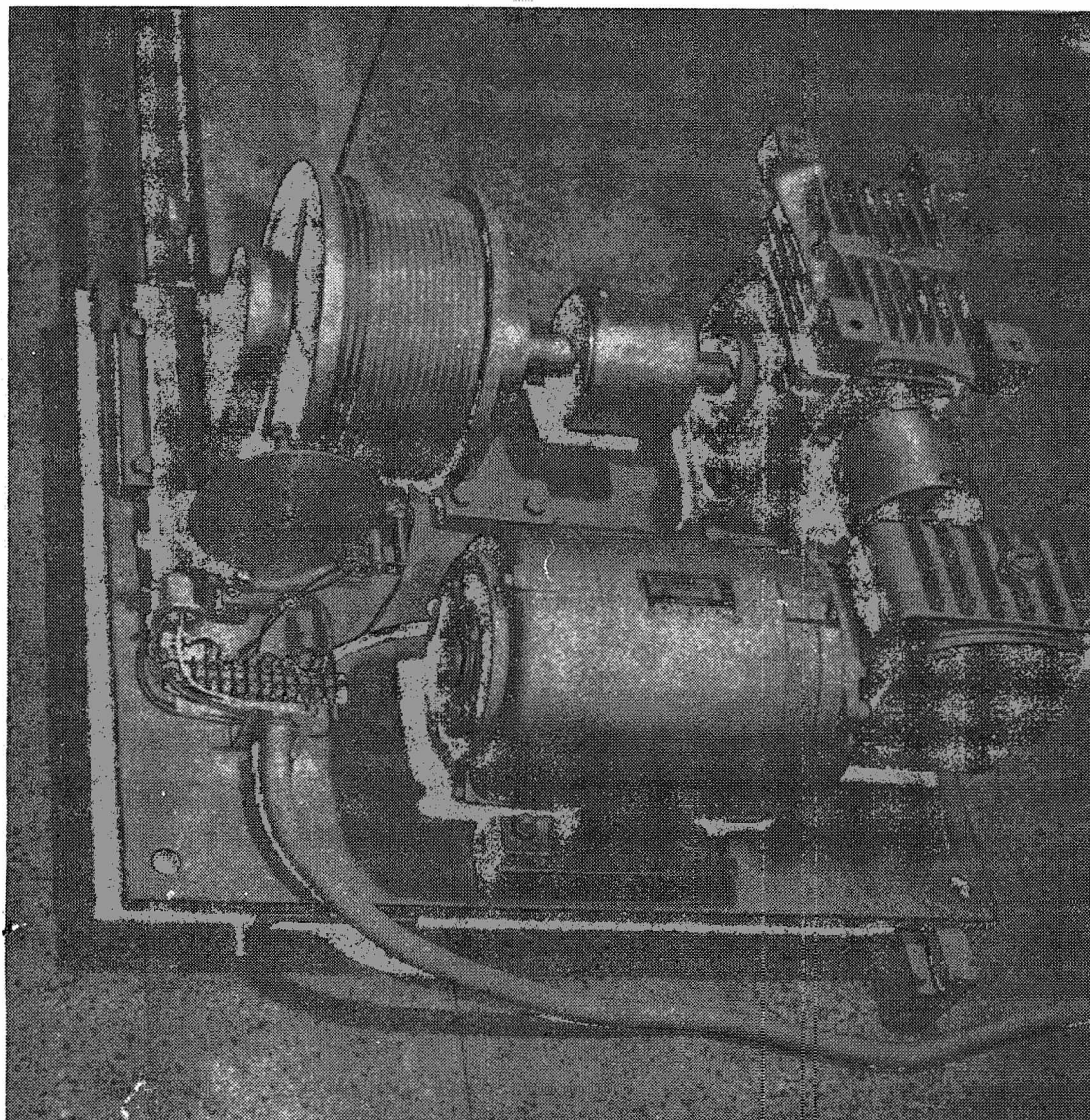


Fig. 4 b. Mecanismo de movimiento de la sonda.

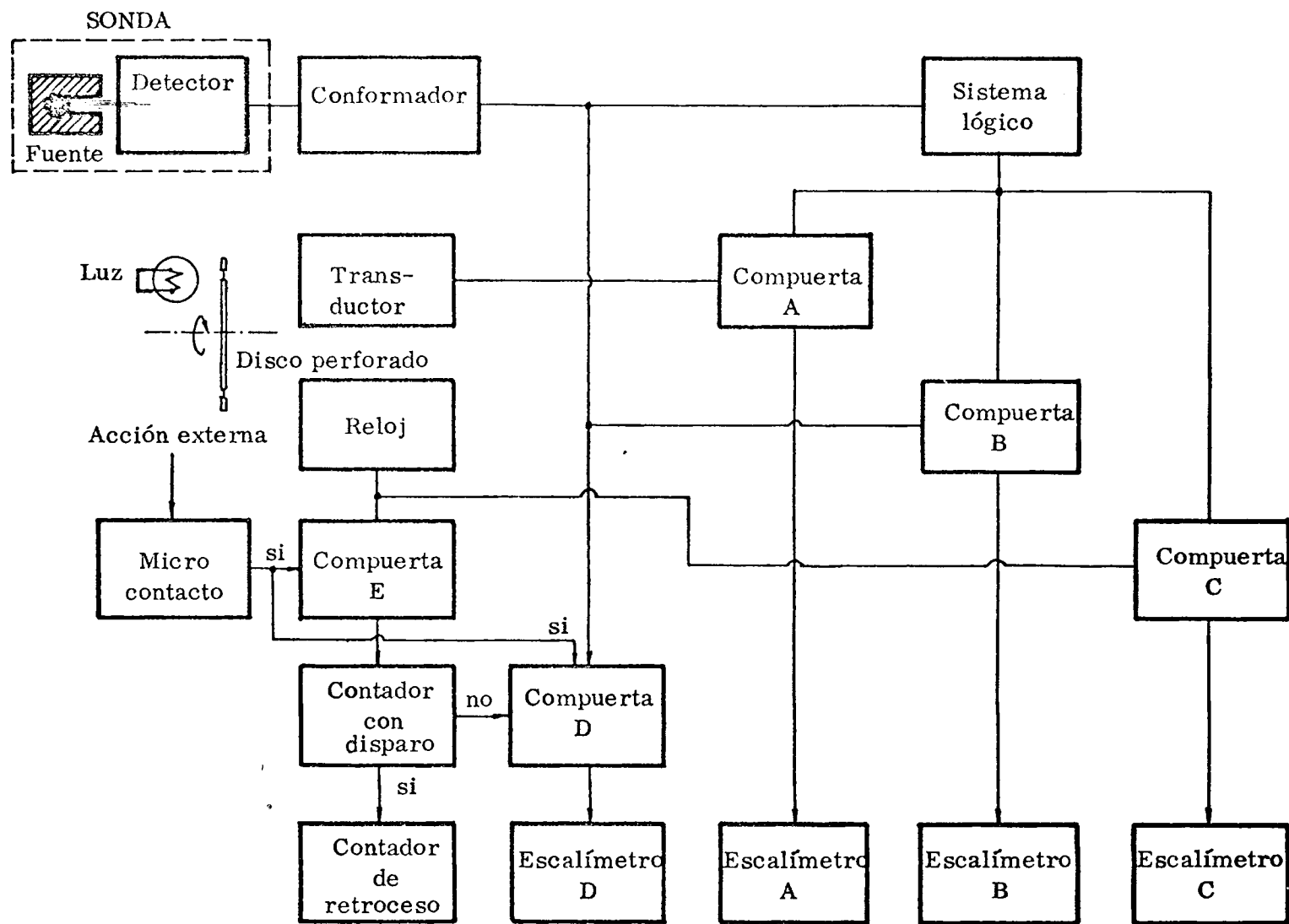


Fig. 5 DIAGRAMA EN BLOQUES DEL CIRCUITO ELECTRONICO

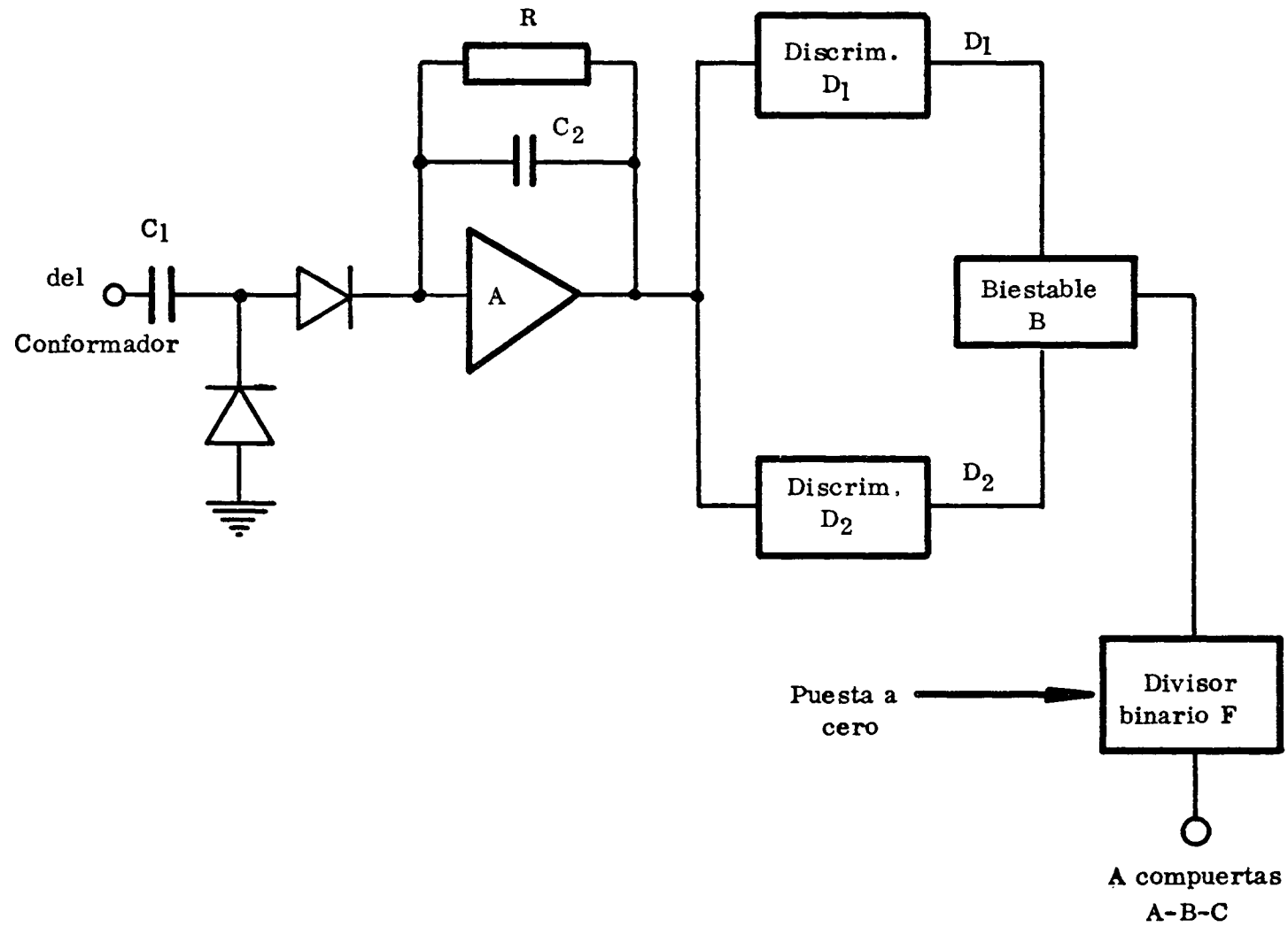


Fig. 6 CIRCUITO DEL SISTEMA LOGICO

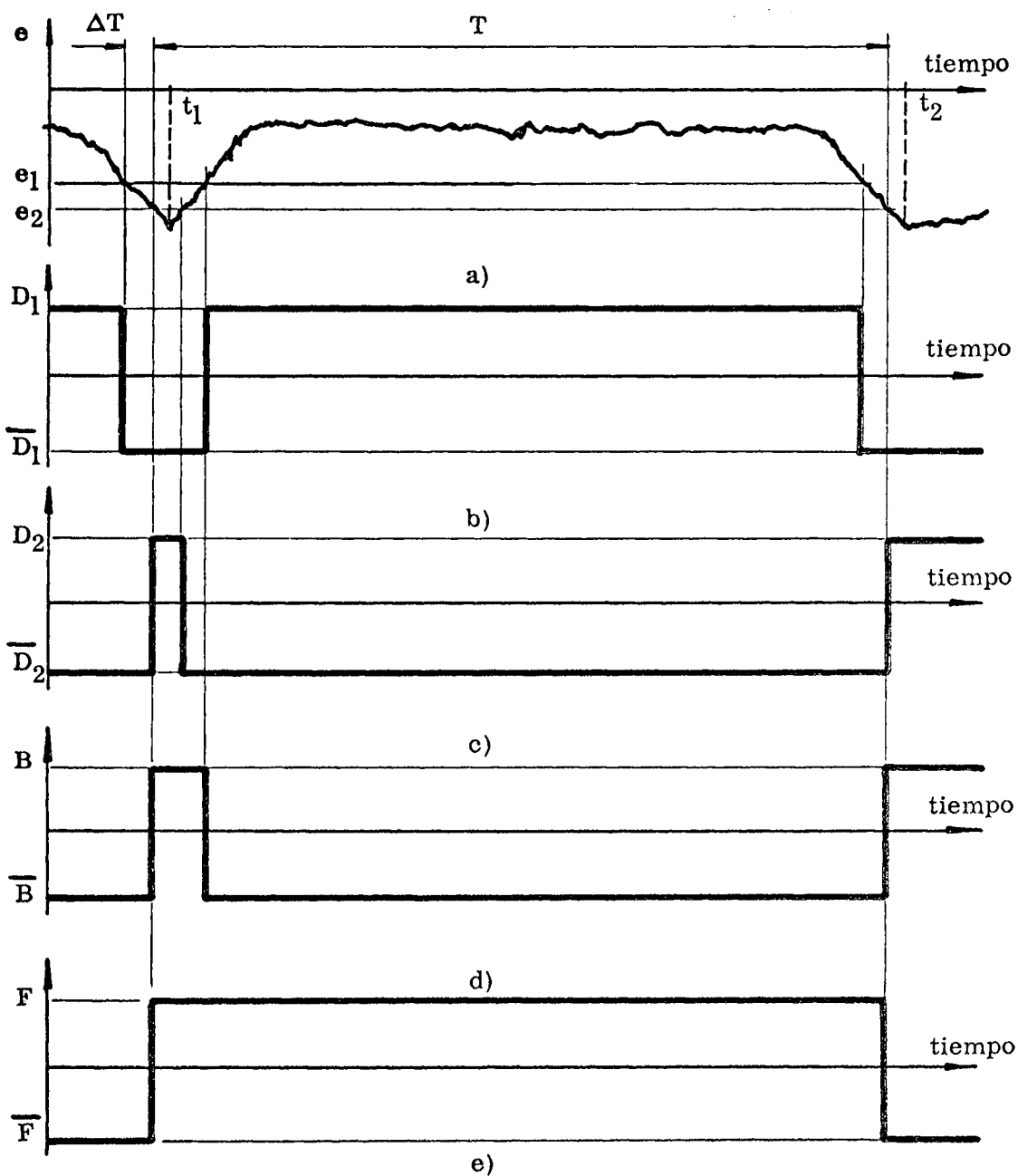


Fig. 7 DIAGRAMA DE SECUENCIAS DEL SISTEMA LOGICO

a) Tensión de salida del integrador en función del tiempo; b) y c) Respuesta de los discriminadores D_1 y D_2 a las variaciones de señal e ; d) Estados del biestable B ; e) Estados del divisor binario F .

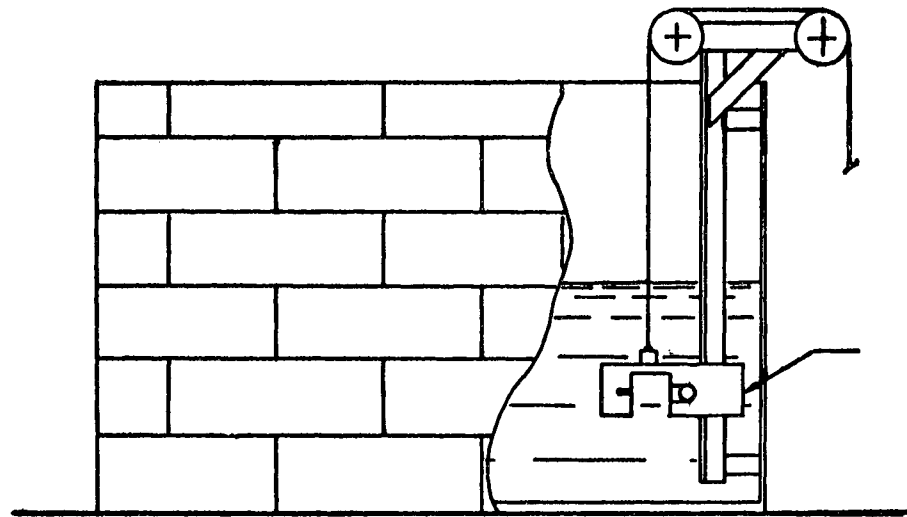


Fig. 8 Variante de diseño con una sonda para medición en el interior del tanque.

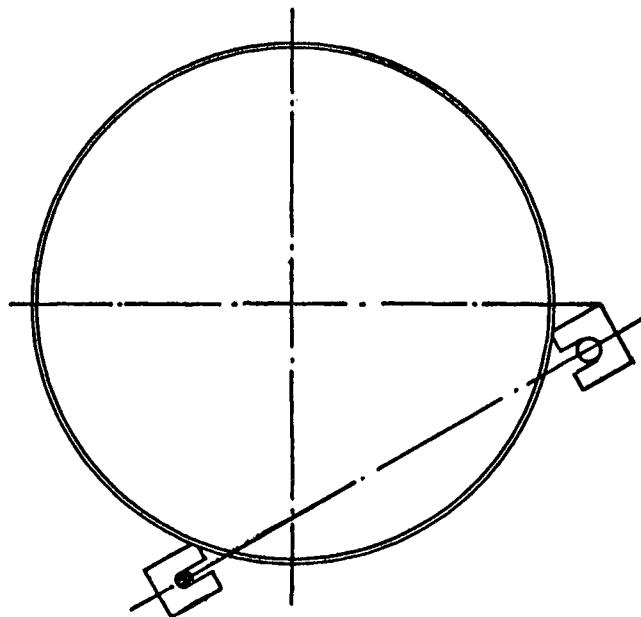


Fig. 9 Sección transversal de otro tipo de sonda para medición externa al tanque.

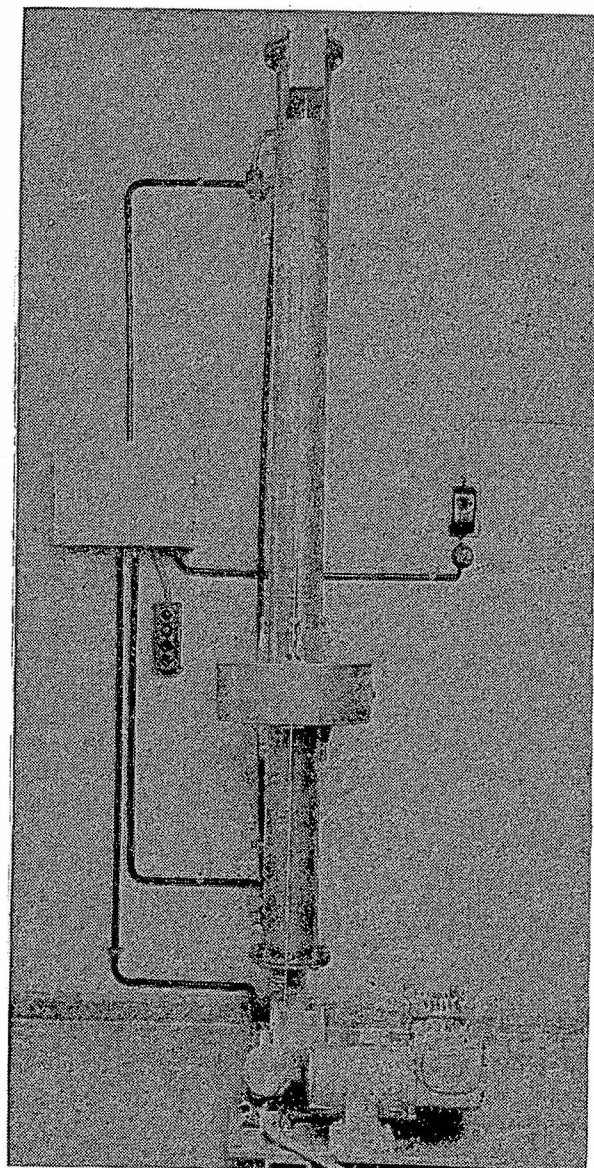


Fig. 10. Prototipo instalado para los ensayos experimentales

Comisión Nacional de Energía Atómica
BIBLIOTECA