

- 5 DIC. 1978

ES 11  
21  
22

NUMERO	464,761
FECHA DE PRESENTACION	5-11-77

10 A1



ESPAÑA

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

PATENTE DE INVENCION

50 PRIORIDADES: 51 NUMERO	52 FECHA	53 PAIS
748,258	6-12-76	ESTADOS UNIDOS

54 FECHA DE PUBLICIDAD	55 CLASIFICACION INTERNACIONAL	56 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	G01K	

57 TITULO DE LA INVENCION

METODO Y SU CORRESPONDIENTE APARATO PARA DETERMINAR ACUSTICAMENTE LA ENTALPIA DE UN FLUIDO.

58 SOLICITANTE (ES)

WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION.

DOMICILIO DEL SOLICITANTE

Westinghouse Building, Gateway Center - Pittsburgh, Pennsylvania  
15222 ESTADOS UNIDOS.

59 INVENTOR (ES)

HERBERT ESTRADA, Jr., DWIGHT HARWOOD HARRISON y LAURENCE EUGENE DEMICK, todos de nacionalidad estadounidense.

60 TITULAR (ES)

61 REPRESENTANTE

D. BERNARDO UNGRIA GOIBURU.

El presente invento se refiere de manera general a mediciones de entalpia y, más particularmente, a mediciones de entalpia en fluidos.

5 En una central termoeléctrica, la energía térmica del circuito primario es la energía que el reactor nuclear produce, y esta energía se mide bajo la forma de energía térmica por unidad de tiempo. La energía térmica del circuito secundario es la energía que proporciona el generador de vapor y esta energía ha de ser igual a la energía térmica del circuito primario. Las  
10 normas aplicables a las instalaciones nucleares exigen que la central funcione con ciertas características nominales prescritas, y el conocimiento de la energía térmica permite satisfacer estos requisitos. Además, se necesitan mediciones para tener en cuenta el índice de combustión del combustible nuclear y para  
15 calibrar los sistemas de control de energía. De igual importancia es el hecho de que la medición de la energía térmica proporciona una indicación del rendimiento de la instalación.

Además de las centrales nucleares, es igualmente conveniente conocer la energía térmica en centrales termoeléctricas  
20 alimentadas con combustible fósil, así como en otros sistemas de circuito cerrado, tales como cambiadores térmicos y reactores químicos. Sin embargo, no se dispone de ningún sistema capaz de proporcionar una medición de potencia térmica con un elevado grado de precisión, del orden de 1% o menos. Para efectuar  
25 la medición de la potencia térmica, es preciso conocer la velocidad de circulación del fluido, así como sus demás propiedades, tales como densidad y entalpia, la cual es una cantidad establecida por definición arbitraria y es la suma de la energía interna y de la energía potencial del fluido. Se han utilizado otros  
30 términos tales como calor total, contenido de calor, y poten-

cial térmico, aunque se prefiere el término entalpia.

Actualmente, para determinar la entalpia, se necesitan mediciones de la presión y de la temperatura del fluido. Respecto a las mediciones de temperatura cuando el fluido en circulación es un líquido, existen gradientes de temperatura a través del fluido en el conducto y una sola medición de temperatura, tal como la que se obtiene por medio de un termopar situado cerca de la superficie de separación entre fluido y conducto no puede representar con precisión la temperatura media del fluido en el conducto y que pasa por este termopar. Situando múltiples termopares alrededor del conducto no se soluciona este problema. Para obtener una indicación valiosa de la temperatura a través del fluido, sería preciso situar una variedad de termopares en varios puntos en el interior del conducto; sin embargo, esto es molesto ya que constituye un obstáculo para la circulación del fluido. Igualmente, en caso de rotura de un termopar o de un aparato de medición de temperatura, podrían producirse desperfectos importantes.

El objeto principal del invento consiste en determinar la entalpia de un fluido utilizando tan solo la determinación acústica de la velocidad del sonido y correlacionando esta velocidad con la entalpia.

El invento consiste por tanto, en términos generales, en un aparato para determinar acústicamente la entalpia en un fluido, constituido por un primer dispositivo que incluye un primer circuito transductor para propagar energía acústica a través del fluido; un primer circuito de medición de velocidad de la energía acústica conectado con dicho primer circuito transductor para obtener una indicación de la velocidad de la energía acústica en dicho fluido; y un circuito de correlación

conectado con un circuito de medición de velocidad de la energía acústica con el objeto de correlacionar la velocidad acústica con la entalpia.

5 Se describirá ahora solamente a título de referencia, un modo de realización preferido del invento, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

la figura 1 es un diagrama en bloques de un sistema de transporte de calor por medio del fluido en circulación;

10 la figura 2 ilustra una parte de un conducto de transporte de fluido en la cual está situado un transductor acústico de trayectoria múltiple;

la figura 2A es una vista de la representación de la figura 2 tomada a lo largo del eje central del conducto;

15 la figura 3 es una curva de la densidad en función de la velocidad del sonido;

la figura 4 es una curva de la entalpia en función de la velocidad del sonido;

20 la figura 5 ilustra una parte de un conducto de transporte del fluido en la cual está situado un transductor acústico de trayectoria múltiple para obtener la velocidad del sonido en el conducto;

la figura 5A es una vista de la figura 5 mirando a lo largo del eje central del conducto;

25 la figura 6 es un diagrama en bloques del circuito electrónico que permite obtener el caudal volumétrico y la velocidad del sonido en un ramal del circuito;

la figura 7 es un diagrama en bloques del circuito electrónico que permite obtener la velocidad del sonido en el otro ramal del circuito;

30 la figura 8 es un diagrama en bloques del circuito elec

trónico que permite obtener una indicación de la potencia térmica; y

la figura 9 es un diagrama en bloques de una variante de circuito electrónico para obtener indicaciones de potencia térmica.

5 Haciendo ahora referencia a la figura 1, se ilustra en ella un sistema representativo que emplea un fluido en circulación para transporte de calor. El sistema incluye una fuente de calor 10 y una carga 12, circulando el fluido alrededor del circuito 14. A título de ejemplo, se describirá el invento con relación a una central de energía nuclear en la cual la fuente de calor 10 es un reactor nuclear de agua a presión. La carga 12 es un generador de vapor, el cual a su vez constituye una fuente de calor para una carga 16 constituida por una turbina que acciona un generador 18, circulando el fluido alrededor del circuito 20. El circuito 14 es conocido generalmente bajo el nombre de circuito primario y el circuito 20 es conocido bajo el nombre de circuito secundario.

10 El fluido en circulación es conducido desde el reactor 10 hasta el generador de vapor 12 por medio del ramal de salida o ramal caliente 24, mientras que el fluido vuelve desde el generador de vapor 12 hasta el reactor 10 por medio del ramal de entrada o ramal frío 26 que incluye también una bomba de circulación de fluido 28.

15 En el lado secundario, el fluido en circulación, es de vapor, se suministra a la turbina 16 por medio del ramal de salida o ramal caliente 30 a partir del generador de vapor 12, y el fluido en forma de agua vuelve al generador de vapor 12 por medio del ramal de entrada o ramal frío 32 que incluye una bomba de circulación 34 y un condensador 36.

30

En el presente invento, un medidor de caudal , y preferentemente un medidor de caudal acústico de trayectoria múltiple está situado en uno de los ramales de un circuito para obtener una indicación del caudal másico de fluido en circulación. En estas condiciones, a título de ejemplo, el medidor de caudal 40 se sitúa en el ramal frío del circuito primario 14. La potencia térmica del reactor se calcula obteniendo además una indicación de la diferencia de entalpia entre el fluido situado en los ramales caliente y frío, y éste se obtiene utilizando medidores acústicos y preferentemente medidores acústicos de trayectoria múltiple para obtener la velocidad del sonido tanto en el ramal caliente 24 como en el ramal frío 26. Por tanto, un medidor acústico de trayectoria múltiple 42 se sitúa en el ramal caliente 24 y si se desea, un medidor idéntico puede situarse en el ramal frío 26. Sin embargo, para economizar equipos y gastos de instalación, el mismo medidor de caudal 40 puede ser modificado para proporcionar además la indicación de velocidad del sonido en el ramal frío.

El lado secundario del sistema incluye igualmente un medidor de caudal acústico de trayectoria múltiple 40 para obtener el caudal volumétrico y la velocidad del sonido en el ramal frío 32, y un detector 46 puede situarse en el ramal caliente o ramal de vapor 30 para obtener ciertos parámetros, como se explicará más adelante.

Se ha desarrollado un medidor de caudal acústico de trayectoria múltiple 40 que proporciona una indicación extremadamente precisa del caudal volumétrico. El sistema utiliza pares de transductores opuestos instalados en las paredes de un dispositivo de transporte de fluido de modo que se formen trayectorias acústicas paralelas situadas con precisión con rela-

ción a la pared de acuerdo con una técnica de integración numé-  
rica, tal como la técnica gaussiana. Los transductores proyec-  
tan simultáneamente un impulso acústico hacia un transductor  
opuesto y el tiempo de transmisión de los impulsos que se des-  
plazan hacia arriba y hacia abajo en cada trayectoria hacia el  
5 transductor opuesto, se utiliza con los factores de ponderación  
gaussianos adecuados para facilitar una indicación del caudal  
volumétrico. La técnica gaussiana conjuntamente con sus facto-  
res de posicionamiento y de ponderación, se describe en la pa-  
10 tente de los Estados Unidos, número 3.564.912, y sus variacio-  
nes en la patente de los Estados Unidos, número 3.940.985, y  
en la solicitud de patente número de serie 599.209 del 25 de  
julio de 1975, todas las cuales se incorporan aquí a título de  
referencia.

15 En la figura 2 se ilustra una sección de conducto 50,  
la cual, en el presente ejemplo es una porción del ramal frío  
26 que conduce el fluido en circulación en la dirección río  
arriba y en la dirección río abajo, según se indica por las  
flechas 52. En el sistema de trayectoria múltiple, se ha pre-  
20 visto una pluralidad de pares de transductores y cada transduc-  
tor de cada par constituye un transductor río arriba, mientras  
que el otro constituye un transductor río abajo, estando ambos  
transductores en comunicación acústica con el fluido contenido  
en el conducto, y definiendo los dos transductores una trayec-  
25 toria acústica entre ellos.

Por ejemplo, el transductor río arriba 1U conjuntamen-  
te con sus transductor río abajo 1D define una trayectoria  
acústica entre ellos y esta trayectoria tiene una longitud  $L_1$ .  
El segundo par de transductores 2U y 2D definen una segunda  
30 trayectoria de longitud  $L_2$ . Los transductores opuestos 3U y 3D

definen otra trayectoria acústica de longitud  $L_3$  y los transduc-  
tores 4U y 4D definen una trayectoria acústica de longitud  $L_4$ .  
En el sistema de cuatro trayectorias que se representa, y en el  
caso de un conducto circular, los transductores se sitúan gene-  
ralmente de tal manera que  $L_1$  sea igual a  $L_4$  y  $L_2$  sea igual a  
 $L_3$ .

La figura 2A es una vista de la disposición mirando  
hacia abajo a lo largo del eje del conducto en la dirección de  
circulación del fluido.

Debido a la ausencia de protuberancias en el circuito  
hidráulico, la utilización de esta disposición reduce la posi-  
bilidad de fallos mecánicos en el equipo de medición que serían  
capaces de deteriorar otros componentes del circuito. Además,  
esta disposición no da lugar a ninguna pérdida de carga y la  
pérdida de energía en el sistema de medición de potencia pro-  
piamente dicho es nula.

Antes de realizar la descripción detallada del inven-  
to, es interesante entender como se efectúan las mediciones de  
circulación de fluido utilizando tiempos de desplazamiento de  
impulsos acústicos. En un sistema de trayectoria única, el cau-  
dal volumétrico puede ser determinado mediante la energización  
simultánea de un transductor situado río arriba y de un trans-  
ductor situado río abajo y midiendo el tiempo de desplazamiento  
río abajo del impulso acústico, así como el tiempo de despla-  
zamiento río arriba del impulso acústico. Si  $t_1$  es el tiempo de  
desplazamiento río abajo y  $t_2$  el tiempo de desplazamiento río  
arriba, el caudal de circulación volumétrico  $Q$  puede ser deter-  
minado por la siguiente expresión:

$$Q = K \frac{t_2 - t_1}{t_1 t_2} \quad (1)$$

en la cual  $K$  es una constante que depende de factores tales

como  $L$ , es decir la longitud de la trayectoria entre los transductores,  $\theta$ , es decir el ángulo que forma la trayectoria con relación a la circulación del fluido, y las unidades de conversión. La diferencia que existe entre los tiempos de desplazamiento de los impulsos acústicos dirigidos en sentidos opuestos a lo largo de la trayectoria es  $\Delta t$  y

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (2)$$

Ya que  $t_2 = t_1 + \Delta t$

$$Q = K \frac{\Delta t}{t_1(t_1 + \Delta t)} \quad (3)$$

La ecuación (3) puede ser realizada utilizando dos contadores, un contador de  $t_1$  que se activa en el momento de la transmisión acústica y que se desactiva cuando el transductor río abajo recibe el impulso acústico. Un segundo contador, es decir un contador de  $\Delta t$  se activa cuando el impulso río abajo es recibido y se desactiva cuando el impulso río arriba es recibido, indicando la cuenta resultante la diferencia entre los tiempos de desplazamiento.

Una determinación mucho más precisa de los caudales volumétricos puede obtenerse con el sistema de trayectoria múltiple utilizando técnicas de integración numérica, tal como la técnica gaussiana en la cual:

$$Q = \sum_{i=1}^n (W_i L_i^2 \tan \theta \frac{D}{2}) \frac{\Delta t_i}{t_{1i}(t_{1i} + \Delta t_i)} \quad (4)$$

Se utilizan las siguientes definiciones suplementarias:

$Q$  es el caudal volumétrico.

$D$  es el diámetro del conducto.

$n$  es el número de trayectorias.

$i$  es un número de trayectoria particular.

$W_i$  es el factor de ponderación gaussiano para la trayectoria de rango  $i$ .

El cálculo de la potencia está basado sobre el producto del caudal de circulación másica y el cambio de entalpia, y en el presente ejemplo presenta la siguiente forma:

$$P = Q \rho (h_H - h_C) \quad (5)$$

Estando el medidor de caudal situado en el ramal frío, a título de ejemplo,

$Q$  es el caudal volumétrico en el ramal frío expresado en pies cúbicos por segundo (1 pie<sup>3</sup>/segundo = 28,317 l/segundo).

$\rho$  es la densidad media del fluido en el ramal frío en libras/pie cúbico (1 libra/pie<sup>3</sup> = 16,01 g/l).

$h_H$  es la entalpia media del fluido en el ramal caliente, en BTU/libra (1 BTU/libra = 0,555 Kilocaloría/Kg).

$h_C$  es la entalpia media del fluido en el ramal frío en BTU/libra.

Ya que  $Q \rho$  es el caudal de circulación másica y  $Q$  es proporcionado por el medidor de caudal de acuerdo con la ecuación (4) es necesario obtener la densidad  $\rho$  del fluido en el ramal frío. Esto se obtiene en el presente invento calculando la velocidad del sonido  $C_C$  del fluido en el ramal frío. Por ejemplo, haciendo referencia a la figura 3, la curva 54 representa la relación entre la densidad del fluido en circulación con relación a la velocidad del sonido a través del fluido en el sistema sometido a presión en los cuales las variaciones de presión son pequeñas. Por ejemplo, en un sistema típico que funciona con una presión del orden de millares de libras/pulgada<sup>2</sup> (1 libra/pulgada<sup>2</sup> = 0,07 Kg/cm<sup>2</sup>), la variación de presión puede ser típicamente de  $\pm 20$  libras/pulgada<sup>2</sup> ( $\pm 1,4$  Kg/cm<sup>2</sup>).

Una gama de funcionamiento típica que se ilustra en la

figura 3 está entre los puntos 56 y 57, representando el punto 56 una densidad de fluido de  $\rho_1$  con una velocidad de sonido de  $C_1$  mientras que el punto 57 representa una densidad de fluido de  $\rho_2$  con una velocidad de sonido de  $C_2$ . La curva de funcionamiento entre los puntos 56 y 57 es esencialmente lineal y una extrapolación de esta porción lineal corta el eje  $\rho$  en el punto donde  $C$  es igual a 0, es decir en el punto  $\rho_{C_0}$ .

De acuerdo con la fórmula para una línea recta,

$$y = mx + b \quad (6)$$

siendo  $m$  la pendiente de la línea y  $b$  la interceptación en el eje  $y$ . Aplicando esta fórmula a la curva de la figura 3:

$$\rho = \left( \frac{\partial \rho}{\partial C} \right)_P C + \rho_{C_0} \quad (7)$$

representando el término  $\left( \frac{\partial \rho}{\partial C} \right)_P$  la pendiente ( $m$ ) de la curva y tiene la forma de la derivada  $\frac{\partial \rho}{\partial C}$  de una función con respecto a otra variable, tratándose todas las demás variables en este caso como constantes, según se representa por el índice  $P$ .

Por tanto, conociendo  $Q$  y  $\rho$ , puede obtenerse el caudal de circulación  $Q \times \rho$ . Para la medición de la potencia térmica, es igualmente necesario obtener la diferencia de entalpía entre los ramales caliente y frío y con esta finalidad se hará referencia ahora a la figura 4 que representa una curva de la entalpía en función de la velocidad del sonido.

La curva 60 tiene una pendiente negativa, y la parte de la curva incluida entre los puntos 62 y 63, que representa una gama de funcionamiento es lineal con una buena aproximación, y la extrapolación de esta porción lineal intercepta el eje de entalpía en algún valor  $h_{C_0}$ .

Suponiendo que el punto 62 representa la entalpía en el ramal caliente y que el punto 63 representa la entalpía en

el ramal frío, puede deducirse de la ecuación de línea recta de la figura 6:

$$h_H = \left( \frac{\partial h}{\partial C} \right)_P C_H + h_{C_0} \quad (8)$$

y

$$h_C = \left( \frac{\partial h}{\partial C} \right)_P C_C + h_{C_0} \quad (9)$$

Sustrayendo la ecuación (9) de la ecuación (8) se obtiene

$$h_H - h_C = \left( \frac{\partial h}{\partial C} \right)_P (C_H - C_C) \quad (10)$$

Por consiguiente, la diferencia de entalpia, necesaria para el cálculo de la potencia puede derivarse obteniendo una indicación de la velocidad del sonido en el fluido contenido en el ramal caliente ( $C_H$ ) y de la velocidad del sonido en el fluido contenido en el ramal frío ( $C_C$ ) siendo  $\left( \frac{\partial h}{\partial C} \right)_P$  una constante igual a la pendiente de la curva de la figura 4 dentro de la gama de funcionamiento.

Para mayor sencillez, considerando un sistema de trayectoria única, el tiempo de transmisión del impulso acústico que se desplaza río abajo es el siguiente:

$$t_1 = \frac{L}{C + V} \quad (11)$$

y el tiempo de desplazamiento del impulso acústico que se desplaza en la dirección opuesta, es decir río arriba, es el siguiente:

$$t_2 = \frac{L}{C - V} \quad (12)$$

siendo  $V$  la componente de velocidad del fluido a lo largo de la trayectoria entre los transductores y siendo  $L$  la longitud de la trayectoria entre los transductores. Ya que

$$\frac{1}{t_1} = \frac{C + V}{L} \quad (13)$$

y

$$\frac{1}{t_2} = \frac{C - V}{L} \quad (14)$$

sumando estas dos ecuaciones se obtiene:

5

$$\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} = \frac{C + V + C - V}{L} = \frac{2C}{L} \quad (15)$$

por tanto C es igual a

$$C = \frac{L}{2} \left( \frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right) \quad (16)$$

Ya que, de acuerdo con la ecuación (2),  $t_2 = t_1 + \Delta t$

10

$$C = \frac{L}{2} \left( \frac{1}{t_1} + \frac{1}{(t_1 + \Delta t)} \right) \quad (17)$$

Todas las cantidades de la ecuación (17) con conocidas o se obtienen por medio del medidor de caudal y, por consiguiente, la relación puede utilizarse en un sistema de trayectoria múltiple, con la modificación gaussiana adecuada para derivar la velocidad del sonido en el ramal frío. Si las trayectorias acústicas son perpendiculares a la dirección de circulación, los impulsos acústicos no son afectados por la velocidad del sonido. Por ejemplo, haciendo referencia a la figura 5, se ve que el conducto 68 que representa en el presente ejemplo una parte del ramal caliente, incluye una pluralidad de transductores T1 a T4, conjuntamente con los respectivos transductores opuestos T1' a T4'. Las trayectorias acústicas entre los pares de transductores están todas situadas en el mismo plano, y este plano es perpendicular a la dirección de circulación del fluido como se indica por la flecha. En la figura 5A se ilustra igualmente la disposición mirando en el sentido del eje.

Ya que los impulsos acústicos no son afectados por la velocidad del fluido,

$$t_1 = t_2 \quad (18)$$

30

y

$$C = \frac{L}{2} \left( \frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_1} \right) \quad (19)$$

$$C = \frac{L}{t_1} \quad (20)$$

5 Por tanto, si la instalación nuclear incluye ya un  
medidor de caudal acústico de trayectoria múltiple montado en  
un ramal, solamente es necesario añadir una pluralidad de pa-  
res de transistores en el otro ramal situándolos como se ilus-  
tra en la figura 5. En variante, si fuese posible desarrollar  
un medidor de caudal másico altamente preciso, la disposición  
10 de la figura 5 podría ser añadida a ambos ramales caliente y  
frío para obtener indicaciones de velocidad del sonido que per-  
mitirían calcular la potencia. Con esta disposición de trayec-  
torias acústicas múltiples en el ramal caliente y de trayecto-  
rias acústicas múltiples en el ramal frío, si las longitudes  
15 correspondientes de las trayectorias de un ramal son iguales  
a las longitudes correspondientes de las trayectorias del otro  
ramal, un transmisor común puede energizar simultáneamente los  
transductores de ambos ramales y en lugar de obtener dos medi-  
ciones relacionadas con  $L/t_1$  en cada ramal, pueden obtenerse  
20 mediciones únicas relacionadas con  $\Delta t_{AB}$ , siendo  $\Delta t_{AB}$  la di-  
ferencia entre los tiempos de llegada de los impulsos en un ra-  
mal con relación a los impulsos del otro ramal.

Volviendo al presente ejemplo, todas las cantidades  
necesarias para el cálculo de la potencia han sido obtenidas y  
25 se efectúan de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P = \left( \sum_{i=1}^n k_{A_i} \left\{ \frac{\Delta t_i}{t_{1_i} (t_{1_i} + \Delta t_i)} \right\} \right) \times$$

$$\left( k_B \left( \sum_{i=1}^n k_{C_i} \left\{ \frac{1}{t_{1_i}} + \frac{1}{t_{1_i} + \Delta t_i} \right\} \right) + K_D \right) \times K_F \times$$

$$\left( \left( \sum_{j=1}^n K_{E_j} \left\{ \frac{1}{t_{1_j}} \right\} \right) - \left( \sum_{i=1}^n K_{C_i} \left\{ \frac{1}{t_{1_i}} + \frac{1}{t_{1_i} + \Delta t_i} \right\} \right) \right) \quad (21)$$

en la cual:

$$K_{A_i} = W_i L_i^2 \text{ tang. } \theta_i \frac{D}{2}$$

$$K_B = \left( \frac{\partial \rho}{\partial C} \right)_P$$

$$K_{C_i} = \frac{W_i L_i}{2}$$

$$K_D = \rho_{C_0}$$

$$K_{E_j} = W_j L_j$$

$$K_F = \left( \frac{\partial h}{\partial C} \right)_P$$

Respecto a la ecuación (21), el primer término entre paréntesis es el caudal volumétrico Q determinado por el medidor de caudal e introducido en la ecuación (4). El segundo término entre paréntesis es la densidad del fluido en el ramal frío introducido en la ecuación (7) determinándose la velocidad del sonido por medio de la ecuación (17) con factores gaussianos adecuados. El último término entre paréntesis es simplemente la velocidad del sonido en el ramal caliente, procedente de la ecuación (20) menos la velocidad del sonido en el ramal frío, según se ha determinado para el cálculo de densidad. La diferencia entre estas dos cantidades  $C_H - C_C$  multiplicada por la constante  $k_F$  corresponde a la ejecución de la ecuación (10).

Las figuras 6, 7 y 8 ilustran un circuito eléctrico pa

ra realizar prácticamente la ecuación de potencia en una disposición de medidor de caudal acústico de  $n$  trayectorias en un ramal designado por ramal A y de un sistema acústico de  $n$  trayectorias para obtener la velocidad del sonido en el otro ramal, designado como ramal B. La figura 6 ilustra en forma de diagrama en bloques varios circuito electrónicos conectados con una trayectoria  $i$ . Un transmisor 70 energiza simultáneamente los transductores río arriba y río abajo de la trayectoria  $i$  para proyectar impulsos acústico en direcciones opuestas a lo largo de la trayectoria. Simultáneamente, el transmisor inicia el funcionamiento de un contador de  $t_1$ , 72.

El impulso proyectado río abajo llega en primer lugar y el receptor 74 situado río abajo proporciona una indicación de esta llegada del impulso para desconectar el contador de  $t_1$ , 72, y para iniciar el funcionamiento del contador de  $\Delta t$  76.

Cuando el impulso proyectado río arriba llega, el receptor río arriba 78 proporciona una señal de salida para desconectar el contador de  $\Delta t$ .

Por tanto se obtienen dos valores  $t_1$  y  $\Delta t$ , y el circuito 80 realiza la operación indicada sobre estos dos valores. El valor resultante se multiplica en el circuito 82 por el valor indicado, que es la constante  $k_A$  de la ecuación (21) y sus resultados se promedian durante un periodo de tiempo elegido y se suman en el circuito 84 con los datos procedentes de las demás trayectorias. Por consiguiente, la salida del circuito 84 es el caudal volumétrico  $Q$  y, si se desea, su valor numérico puede ser presentado visualmente en el dispositivo de visualización 86.

A partir de esta disposición de medidor de caudal básica, la velocidad del sonido en el ramal A puede obtenerse por

medio del circuito 86, el cual responde a la salida del contador de  $t_1$ , 72 y del contador de  $\Delta t$  76 para efectuar la operación indicada, multiplicándose los resultados por la constante indicada en el circuito 88, siendo dicha constante equivalente a  $k_{C_i}$  de la ecuación (21). Su salida se promedia durante un período de tiempo elegido y se suma con los datos procedentes de las demás trayectorias en el circuito 90, cuya señal de salida es la velocidad del sonido  $C_A$ . Si se desea, puede obtenerse una indicación visual de esta velocidad en el dispositivo de visualización 92.

El aparato para obtener  $t_1$  y  $\Delta t$  con la subsiguiente modificación de estos valores para obtener el caudal volumétrico, se representa funcionalmente en la figura 6 para una trayectoria. Aunque pueden utilizarse  $n$  reproducciones de esta disposición (una por cada trayectoria) un sistema práctico puede emplear un solo transmisor con una sección calculadora única con diferentes registros para almacenar diferentes constantes, con el dispositivo estando compartido el tiempo entre las varias trayectorias. Una disposición que puede adaptarse para esta rectificación se ilustra en la patente de los Estados Unidos, número 3.918.304, la cual se incorpora aquí a título de referencia. Además, el aparato para obtener el caudal volumétrico que se describe puede obtenerse en el comercio bajo la designación LEFM, modelo 601 de la Westinghouse Electric Corporation y funciona corrientemente en varias instalaciones de tratamiento de agua, centrales hidroeléctricas, oleoductos, y centrales térmicas accionadas por reactores nucleares.

La determinación de la velocidad del sonido  $C_B$  en el ramal B se realiza con la disposición ilustrada en la figura 7 que se representa para una trayectoria,  $j$ , de un sistema de

n trayectorias. El transmisor 100 da lugar a la proyección de un impulso acústico a través del conducto a lo largo de la trayectoria  $j$  a partir del transductor  $T_j'$  hasta un transductor opuesto  $T_j$  y al mismo tiempo inicia el funcionamiento del contador de  $t_1$  102. Cuando el impulso es recibido por el transductor opuesto  $T_j$ , el receptor 104 proporciona una señal de salida que desconecta el contador de  $t_1$  102.

El circuito 104 toma la recíproca de la salida del contador de  $t_1$  102 y este valor es multiplicado por la cantidad indicada del circuito 106, siendo dicha cantidad equivalente a  $k_E$  de la ecuación (21). El valor así obtenido se promedia en un periodo de tiempo elegido y se suma con los datos procedentes de las demás trayectorias en el circuito 108, cuya salida es indicativa de la velocidad del sonido en el fluido, dentro del ramal B. Si se desea, puede obtenerse una indicación visual de esta velocidad por medio del dispositivo de visualización 110.

La figura 8 ilustra otras modificaciones de estas cantidades  $Q$ ,  $C_A$  y  $C_B$  para obtener un valor de la potencia térmica. El circuito 112 multiplica el valor de  $C_A$  por la constante  $k_B$  (equivalente a  $(\frac{\partial \rho}{\partial C})$ ) y añade la constante  $k_D$  (equivalente a  $\rho_C$ ). La salida del circuito 112 representa por tanto la densidad  $\rho$  que se combina con el caudal volumétrico  $Q$  en el multiplicador 114, cuya salida es una indicación del caudal másico, el cual, si se desea, puede presentarse visualmente por medio del dispositivo de visualización 116.

Como se recordará, el caudal másico se multiplica por el cambio de entalpia, el cual a su vez está relacionado con la diferencia entre las velocidades de sonido de los dos ramales. Por tanto, las dos velocidades de sonido  $C_A$  y  $C_B$  están sometidas

al tratamiento del restador 108 y a continuación se multiplican, en el circuito 120, por el valor indicado, equivalente a  $k_F$  de la ecuación (21).

5 Los dos valores, caudal másico y cambio de entalpia se aplican al multiplicador 122 cuya señal de salida es indicativa de la potencia térmica total, la cual se visualiza en la unidad 124 después de realizar cualquier conversión de unidades necesaria en el circuito 126.

10 En el dispositivo de cálculo que se acaba de describir, las varias constantes pueden ser almacenadas en registros separados de un ordenador o de memorias fijas en las cuales se sitúan los valores constantes impuestos por el sistema de transporte de fluido particular. En variante, la potencia térmica puede ser determinada por el aparato de la figura 9 que utiliza  
15 secciones de almacenamiento de datos 130 y 132 para almacenar respectivamente los puntos de información de la curva 3, la densidad en función de la velocidad del sonido, y los puntos de información de la curva 4, la entalpia en función de la velocidad. El aparato de la figura 9 puede ser realizado por un ordenador digital típico siendo las memorias 130 y 132 memorias fijas programables o memorias en forma de cinta o de disco, a título de ejemplo. El ordenador se programa de modo que cuando  
20  $C_A$  y  $C_B$  son disponibles, un valor particular de  $\rho_A$  y los valores particulares  $h_A$  y  $h_B$  sean extraídos de las memorias de datos respectivos 130 y 132. Estas operaciones de introducción de  $C_A$  y  $C_B$  de consulta de tabla, y de extracción de los valores particulares se ilustra en la figura 9 por medio de los bloques de "software" 136, 138 y 140.

30 El circuito multiplicador 142 multiplica el caudal volumétrico por la densidad con el objeto de obtener una salida

5       indicativa del caudal másico que puede, si se desea, ser aplicada a un dispositivo de visualización 144. Las entalpías de los ramales A y B se tratan en un circuito de sustracción 144 para obtener la diferencia de entalpia que se multiplica en el circuito 146 por el caudal másico con el objeto de obtener una salida indicativa de la potencia térmica. Esta salida, después de conversión en la unidad 148, se aplica al dispositivo de visualización 150.

10       El cálculo de la potencia térmica ha sido descrito hasta aquí con relación al circuito primario 14 de la figura 1 en el cual un líquido no compresible a una presión sustancialmente constante circula alrededor del circuito. En el circuito secundario 20, el ramal frío 32 conduce un líquido, pero sin embargo el generador 12 proporciona vapor en el ramal caliente 30.

15       El circuito secundario por si mismo constituye igualmente un sistema de circuito único en el cual el generador 12 es, de hecho, la fuente de calor del sistema y podría ser, por ejemplo, un quemador de combustible fósil. Según el aparato, 20 el vapor en el ramal caliente 30 puede ser vapor saturado o vapor sobrecalentado. En el caso de vapor saturado, el aparato medidor de caudal 40 situado en el ramal frío 32 será idéntico al que ha sido descrito ya, para calcular el caudal volumétrico  $Q$  y la velocidad del sonido  $C_0$ . El aparato y el cálculo de la potencia térmica se simplifican sin embargo debido 25 al hecho de que la entalpia del ramal caliente en el caso de un sistema de vapor saturado es casi constante y es conocida en una gama de funcionamiento típica y por tanto no se necesita realizar mediciones acústicas en el ramal caliente para la determinación de la entalpia. 30

Sin embargo, en el caso de vapor sobrecalentado, el caudal volumétrico en el ramal frío y la entalpia deben determinarse como se ha descrito anteriormente, pero la entalpia en el ramal caliente debe determinarse por una medición de presión y de temperatura del vapor recalentado en el ramal caliente, por ejemplo utilizando el dispositivo detector 46 de la figura 1. Un aparato similar al que se describe en la figura 1 podría utilizarse con una memoria de datos de entalpia en función de la temperatura y de la presión en lugar de la velocidad del sonido.

Por consiguiente, se ha descrito un aparato de medición de potencia térmica para obtener una indicación de la generación de potencia térmica o de consumo de cualquier aparato, utilizando un fluido en circulación para transporte de calor. El aparato utiliza mediciones relacionadas con el tiempo de desplazamiento de impulsos acústicos proyectados a través del fluido en circulación y con una ubicación precisa de los transductores, un ordenador digital y aparatos electrónicos de estado sólido, el error introducido en las mediciones de potencia por las imprecisiones de medición de tiempo y de geometría, se combinan para alcanzar un valor máximo de aproximadamente 0,67% en el caso de una sola medición. En la práctica real, las mediciones se efectuarán numerosas veces por segundo y durante periodos de promediado en el tiempo del orden de un minuto. El promediado en el tiempo reduce los errores de medición de tiempo a menos de 0,1% para Q y C. La combinación de integración de curvatura, gradientes térmicos, errores de tiempo y de geometría, así como conversión de medición en densidad y entalpia resulta en un error aproximado igual o inferior a  $\pm 1/2\%$  de la potencia promediada en el tiempo.

po.

En el ejemplo de una central termoeléctrica accionada por reactor nuclear, se ha ilustrado solamente un circuito primario. En realidad, la central puede incluir un cierto número de circuitos primarios y pueden obtenerse no solamente indicaciones de lectura y de rendimiento, sino que es posible comparar las potencias térmicas de los circuitos individuales para detectar cualquier desequilibrio en el sistema.

En resumen, la presente patente de invención que se solicita deberá recaer en las siguientes:

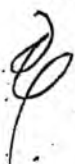
REIVINDICACIONES

1. - Método y su correspondiente aparato para determinar acústicamente la entalpia en un fluido, cuyo aparato incluye un primer dispositivo que incluye un primer circuito de transductores para propagar energía acústica a través del fluido; un primer circuito de medición de velocidad de la energía acústica conectado con dicho primer circuito de transductores para obtener una indicación de la velocidad de la energía acústica en dicho fluido;

un circuito de correlación conectado con el circuito de medición de velocidad de la energía acústica para correlacionar la energía acústica con la entalpia.

2. - Aparato según la reivindicación 1, caracterizado porque incluye un circuito de velocidad de medición de fluido conectado con el circuito de transductores con el objeto de determinar la velocidad de dicho fluido.

3. - Aparato según la reivindicación 1, caracterizado porque incluye un circuito de medición de caudal másico de fluido conectado con dicho circuito de transductores para determinar el caudal másico de dicho fluido.



4. - Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicho circuito de transductores incluye unos transductores que pueden situarse para constituir por lo menos una trayectoria que atraviesa dicho fluido.

5

5. - Aparato según la reivindicación 4, caracterizado porque dichos transductores pueden situarse para constituir una pluralidad de trayectorias.

10

6. - Aparato según la reivindicación 4 ó 5, caracterizado porque dicho circuito de transductores proyecta impulsos acústicos en direcciones opuestas a lo largo de dicha trayectoria.

15

7. - Aparato según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, caracterizado porque incluye un circuito para determinar la densidad del fluido y un circuito para obtener una indicación del caudal volumétrico; y un circuito para multiplicar la indicación de densidad y la indicación de caudal volumétrico; por medio del cual se indica el caudal másico del fluido.

20

8. - Aparato según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones caracterizado porque incluye un segundo dispositivo para obtener una indicación de un parámetro térmico en un emplazamiento alejado de dicho primer dispositivo.


25

9. - Aparato según la reivindicación 8, caracterizado porque dicho primer dispositivo puede ser conectado con un ramal y dicho segundo dispositivo puede ser conectado con otro ramal de un circuito de circulación de fluido.

30

10.- Aparato según la reivindicación 9, caracterizado porque dicho segundo dispositivo incluye un circuito análogo a dicho primer dispositivo, según se define en cualquiera de las reivindicaciones 1-7.

11. - Aparato según la reivindicación 10, caracteriza



1 do porque el circuito de transductores de dicho segundo dis-  
positivo es perpendicular a la dirección de circulación del  
fluido.

5 12. - Aparato según la reivindicación 8 o 9, caracte-  
terizado porque dicho segundo dispositivo incluye un circui-  
to de entalpia de vapor para determinar la entalpia del va-  
por.


10 13. - Aparato según la reivindicación 12, caracte-  
rizado porque dicho circuito de entalpia de vapor incluye un  
circuito de determinación de temperatura y presión para de-  
terminar la entalpia de un vapor sobrecalentado.

15 14. - Método y su correspondiente aparato para de-  
terminar acústicamente la entalpia en un fluido, según la  
reivindicación 1, cuyo método incluye las operaciones que  
consisten en:

transmitir energía acústica en dicho fluido;  
recibir la energía acústica transmitida;  
determinar la velocidad del sonido en dicho fluido  
a partir de la energía acústica recibida; y  
20 correlacionar la velocidad del sonido con la ental-  
pia.

25 15. - Método según la reivindicación 14, caracte-  
rizado porque incluye la operación que consiste en:  
simultáneamente con la determinación de la veloci-  
dad del sonido, determinar la velocidad y el caudal mási-  
co del fluido.

16. - Se reivindica por último como objeto sobre el  
que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita: ME-  
TODO Y SU CORRESPONDIENTE APARATO PARA DETERMINAR ACUSTICA-  
MENTE LA ENTALPIA DE UN FLUIDO.



Todo conforme queda descrito y reivindicado en la presente memoria descriptiva que consta de veinticinco páginas mecanografiadas y dibujos que se acompañan.

Madrid 5 de diciembre de 1977  
BERNARDO UNGRIA  
p.p.

5



10

15

20

25

30



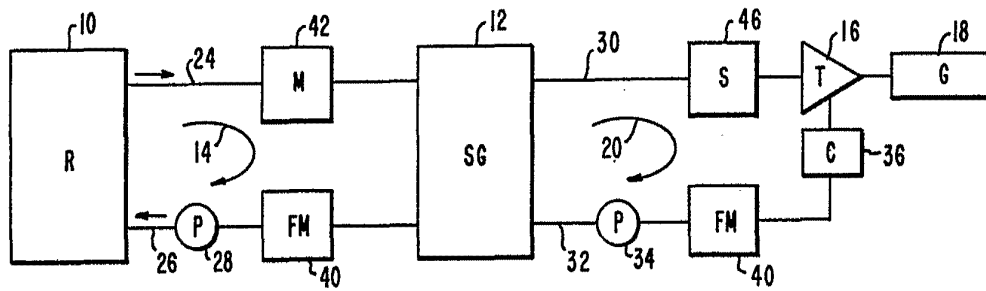


FIG. 1

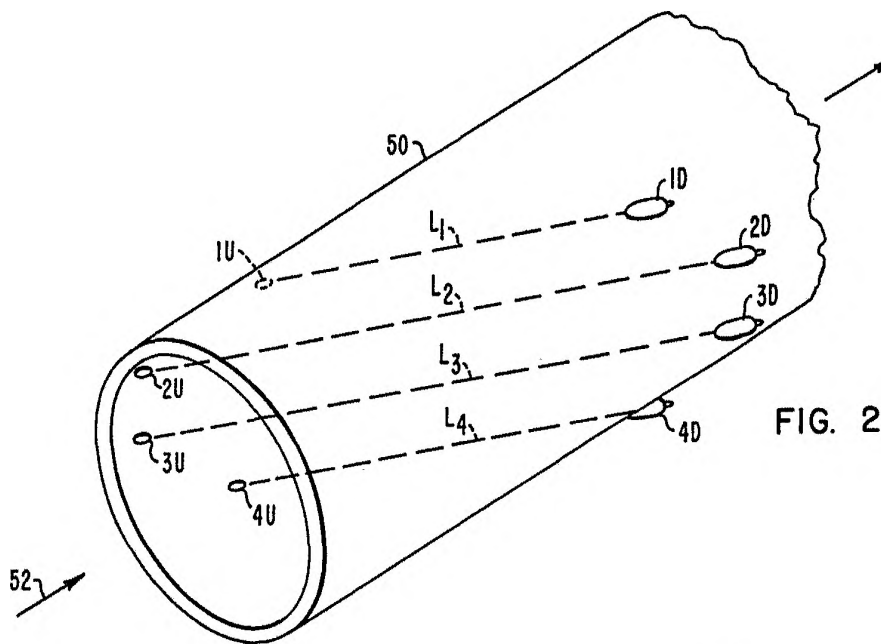


FIG. 2

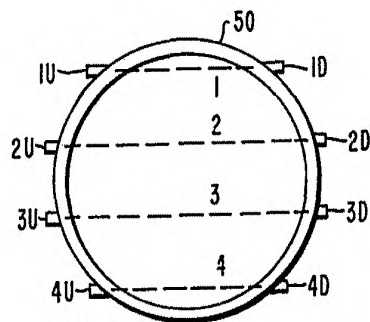


FIG. 2A

ESCALA VARIABLE  
 Madrid, 5 Diciembre 1977  
 BERNARDO UNGRIA  
 P.P.

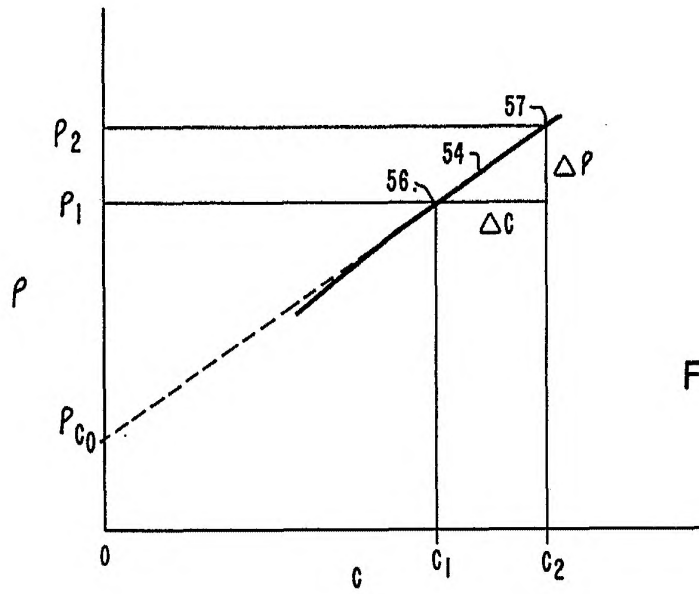


FIG. 3

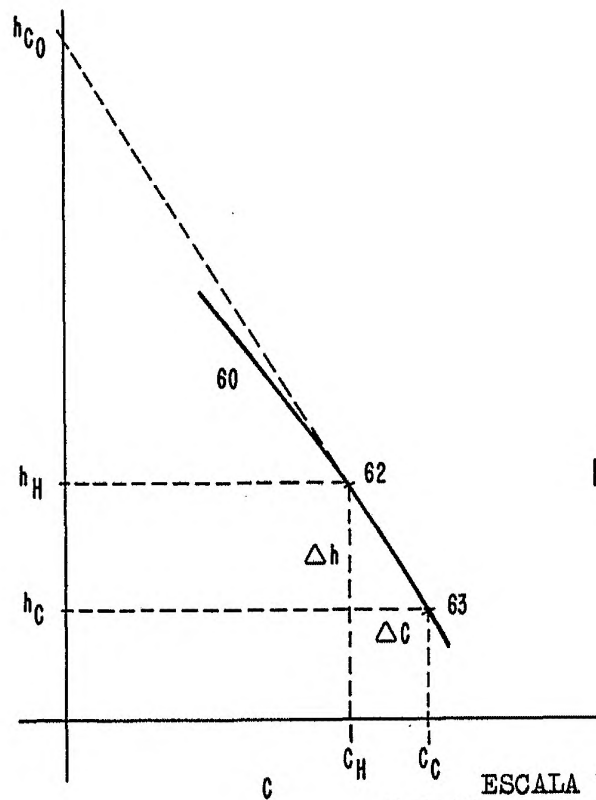


FIG. 4

ESCALA VARIABLE  
 Madrid, 5 Diciembre 1977  
 BERNARDO UNGRIA  
 p-p.

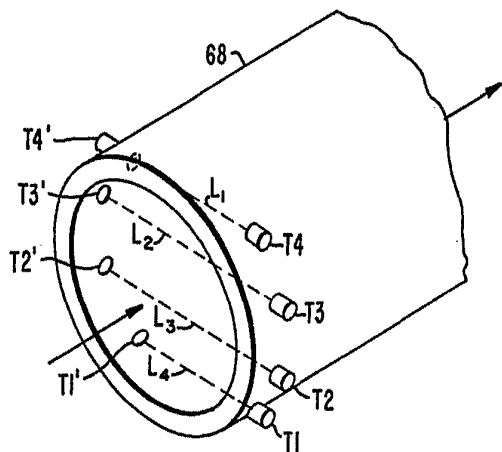


FIG. 5

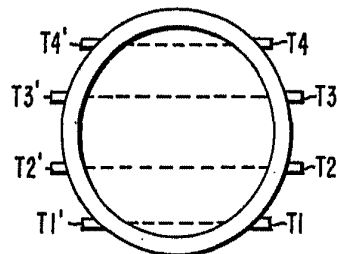


FIG. 5A

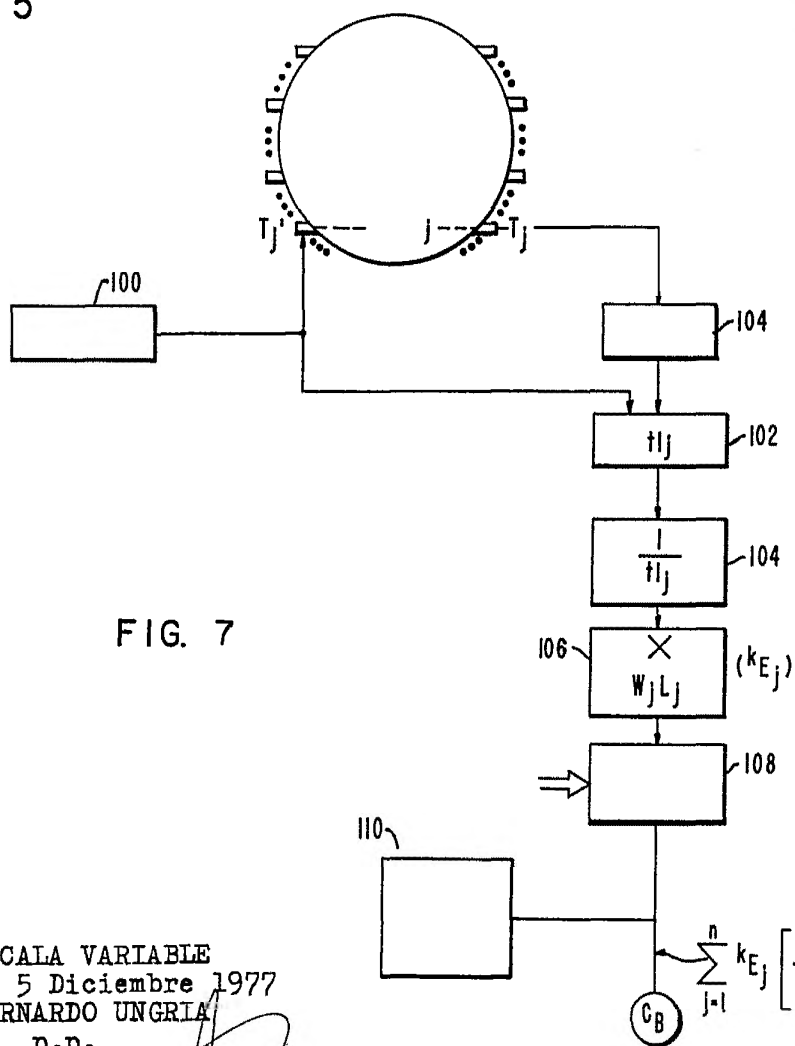


FIG. 7

ESCALA VARIABLE  
 Madrid, 5 Diciembre 1977  
 BERNARDO UNGRIA  
 p.p.

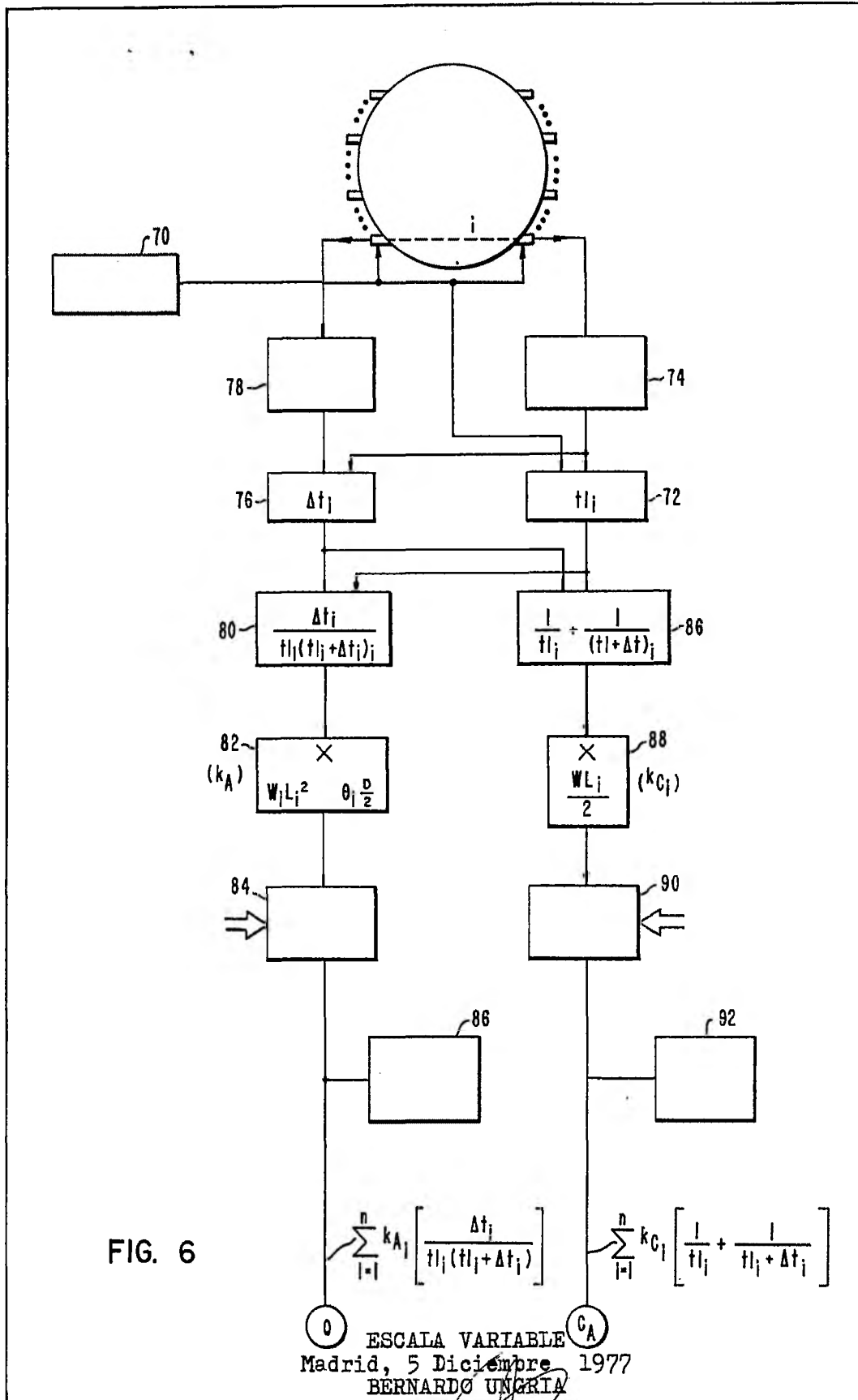


FIG. 6

ESCALA VARIABLE  
 Madrid, 5 Diciembre 1977  
 BERNARDO UNGRIA

P.D.

*[Handwritten signature]*

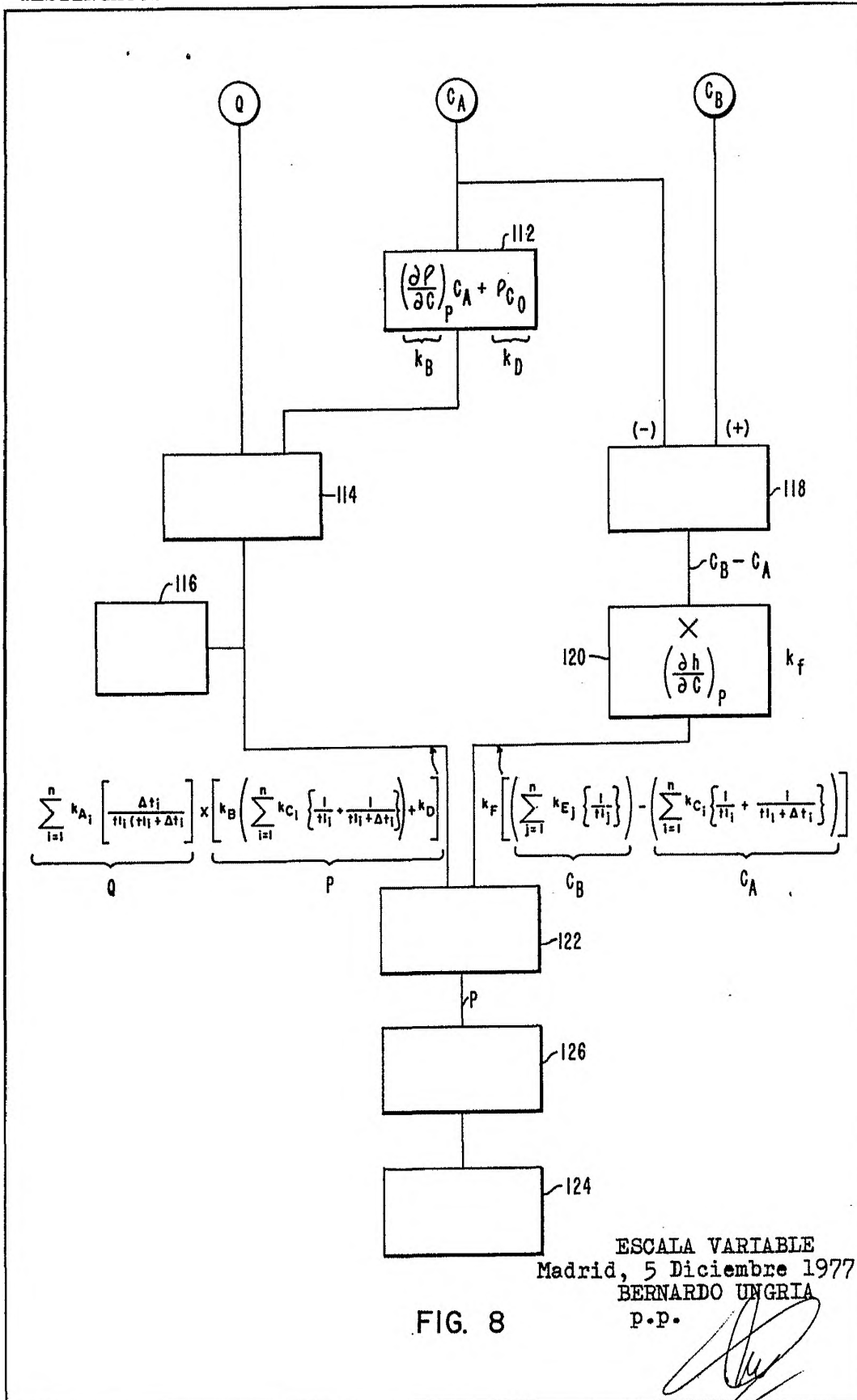


FIG. 8

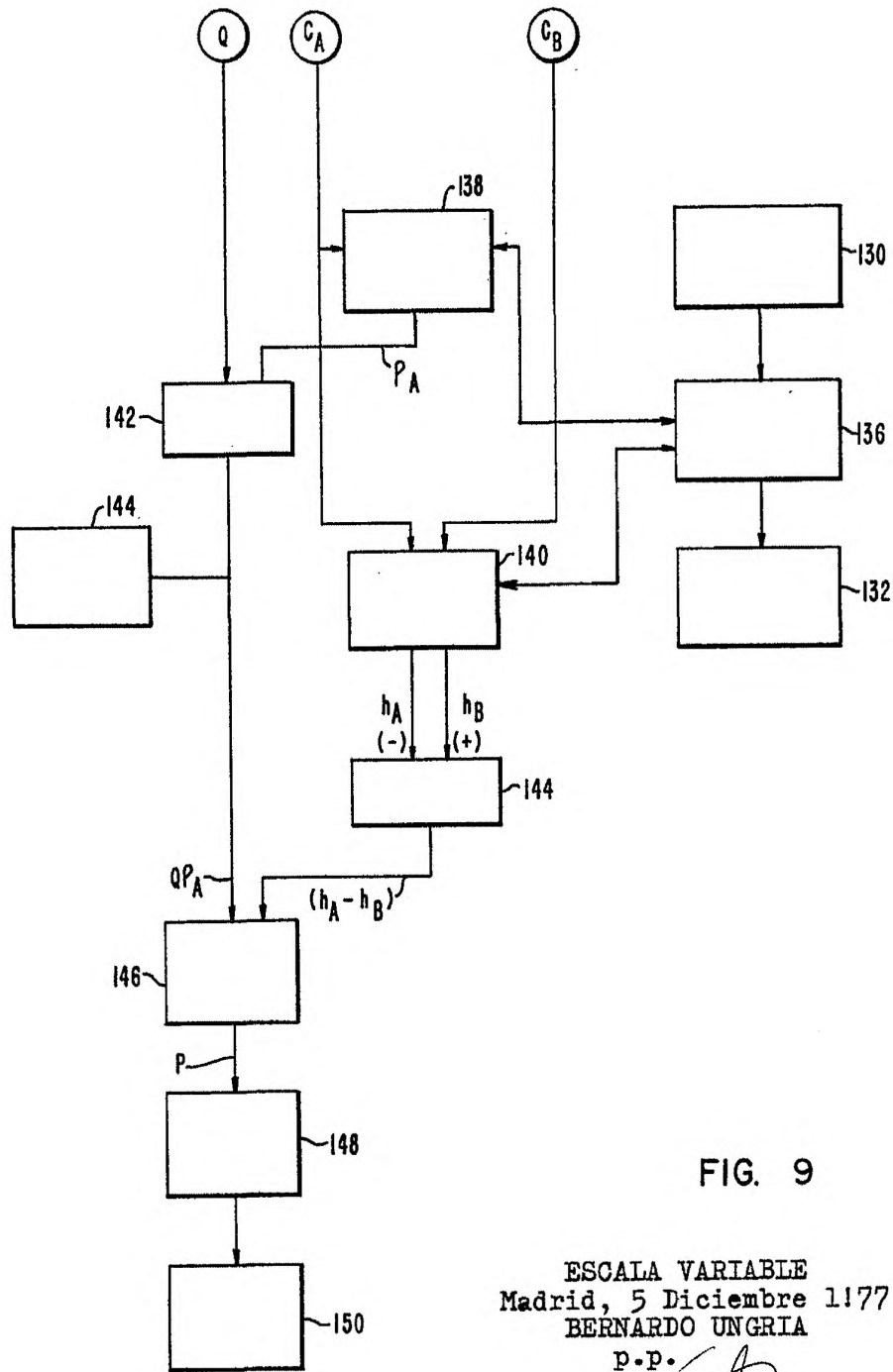


FIG. 9

ESCALA VARIABLE  
 Madrid, 5 Diciembre 1977  
 BERNARDO UNGRIA  
 p.p.