



10	ES	11	458842	10	A1
		21			
		22	FECHA DE PRESENTACIÓN		
			16-5-77		

PATENTE DE INVENCION

50 PRIORIDADES:		
51 NUMERO	52 FECHA	53 PAIS
687.471	17-5-76	EE.UU.
47 FECHA DE PUBLICIDAD	54 CLASIFICACION INTERNACIONAL	55 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	E21B	
56 TITULO DE LA INVENCION		
"UN METODO DE PRODUCCION DE MEDICIONES ADAPTADAS PARA DETERMINAR UNA MEDICION COMPENSADA DE CARACTERISTICAS FISICAS DE MEDICIONES SUBTERRANEAS PROXIMAS A UN POZO DE SONDEO"		
71 SOLICITANTE (S)		
SOCIETE DE PROSPECTION ELECTRIQUE SCHLUMBERGER		
DOMICILIO DEL SOLICITANTE		
42 Rue Saint Dominique, 75340 Paris Cedex 07, Francia.		
72 INVENTOR (ES)		
Nick A. Schuster		
73 TITULAR (ES)		
74 REPRESENTANTE		
DON ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ		P.- 65.748

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

5 JUL 1976

P.65748

-2-

La presente invención se refiere a métodos de registro del perfil de sondeo de pozos y a aparatos para ponerlos en práctica, y más particularmente a métodos y aparatos para producir mediciones a partir de múltiples conjuntos de transductores y combinarlas para proporcionar una compensación para las variaciones en las condiciones de instrumentación y de pozo de sondeo.

Es conocidos en el arte del registro de perfil acústico que se puede proporcionar cierto grado de compensación para las variaciones en el tiempo de recorrido introducidas por cambios en el diámetro del pozo de sondeo por medio de una herramienta de pozo de sondeo que incluye dos receptores y un transmisor. (Tales conjuntos se abreviarán en adelante usando una "T" para representar un transmisor y una "R" para representar un receptor indicando las posiciones relativas de las T y R mediante su secuencia, indicando el guión "-" que separa a los transductores un trayecto de señal común. De este modo, un conjunto T-RR especifica un transmisor a un lado de dos receptores, teniendo los receptores en común el trayecto de señal entre el transmisor y su receptor más próximo). Desafortunadamente, este tipo de disposición T-RR no compensa la inclinación de la herramienta con respecto al eje de simetría del pozo de sondeo. Para superar el problema de la inclinación se puede proveer un transmisor adicional para formar una herramienta con un conjunto T-RR-T. Según lo descrito en la

patente estadounidense No. 3.257.639, emitida a nombre de P. P. Kokesh el 21 de junio de 1966, se puede operar selectivamente cada uno de los dos transmisores y medir el tiempo de recorrido hasta cada uno de los dos receptores. Entonces se pueden combinar las mediciones individuales de los tiempos de recorrido para producir un tiempo de recorrido promedio para el intervalo entre los dos receptores. Este tiempo promedio tiene la ventaja de ser compensado tanto para los cambios en el diámetro del pozo de sondeo como para la inclinación de la herramienta.

Como ocurre con muchos tipos diferentes de mediciones bajo condiciones que varían no homogéneamente en dirección radial al pozo de sondeo, las mediciones acústicas parecen variar con la distancia entre transmisor y receptor o, más apropiadamente para los conjuntos de dos receptores, con la distancia entre el transmisor y un punto a media distancia entre los receptores. Es por este motivo que las herramientas del tipo de compensación de pozo de sondeo tienen dos transmisores ubicados a equidistancia de ese punto medio.

Como se reconoce en la patente estadounidense número 3.312.934 emitida el 4 de abril de 1967 a nombre de A. A. Stripling, una razón por la cual la velocidad acústica puede variar con las diferentes distancias T-R es que pueden resultar diferentes trayectos de señal con la mayor distancia al tener un trayecto algo más alejado del pozo de sondeo y más

profundo dentro de la formación. Este trayecto más profundo puede ser menos afectado por factores que alteran radialmente las propiedades acústicas cuando son perforados o expuestos al fluido del pozo de sondeo, tal como esquistos hidrófilos que tienden a hincharse. Esta zona alterada puede existir con suficiente profundidad en la formación como para hacer que una corta distancia T-R dé en la medición, por lo menos en parte, propiedades representativas de esta zona alterada, en lugar de la formación no alterada deseada. Se prefieren distancias T-R más largas, tal como 2,4 a 3 metros, para superar este particular problema de alteración de la formación.

Las mayores distancias T-R requieren herramientas más largas, y en los conjuntos más antiguos del tipo de dos receptores, es decir, aquellos del tipo T-RR, un aumento de 0,9 a 2,4 metros en la distancia T-R requiere una herramienta 1,5 metros más larga. No obstante, en las herramientas de compensación de pozo de sondeo T-RR-T, un aumento sustancial tal en la distancia T-R da como resultado herramientas inconvenientemente largas, dado que la distancia T-R ocurre por dos veces. Las herramientas más largas son inconvenientes porque su longitud las vuelve más costosas y difíciles de transportar y aumenta el problema asociado con su descenso por los pozos de sondeo tortuosos o inclinados.

Es por lo tanto un objeto de la presente invención

proveer un método y aparato que retengalas ventajas de las largas distancias T-R y de compensación de pozo de sondeo sin necesitar herramientas de pozo de sondeo excesivamente largas.

Los conjuntos del tipo de compensación de pozo de sondeo también se emplean en los dispositivos de pared lateral tales como los revelados en la patente estadounidense No. 3.849.721, emitida a nombre de T. J. Calvert el 19 de noviembre de 1974. En este caso las mayores distancias T-R en el conjunto T-RR-T del arte anterior aumentan la longitud del patín, lo que desafortunadamente disminuye las posibilidades de mantener al patín en contacto continuo con la pared del pozo de sondeo.

Es un objeto adicional de la presente invención proporcionar métodos y aparatos que retengan las características de compensación de pozo de sondeo provistas por un conjunto T-RR-T en un patín de pared lateral, y que sin embargo permitan el aumento de la distancia T-R sin aumentar la longitud del patín.

Los enfoques previos para proveer por lo menos un dispositivo de compensación parcial sin excesivas longitudes de la herramienta, tal como se describe en la patente estadounidense No. 3.207.256 emitida a nombre de R. B. Blizard el 2 de septiembre de 1965 o la patente estadounidense 3.330.374, emitida a nombre de D. E. Broussard y otros el 11 de julio de 1967, requieren la memorización de por lo menos dos diferentes

mediciones para por lo menos dos distancias diferentes. Este requerimiento conduce a costos adicionales para la memoria y más vulnerabilidad a los problemas de posicionamiento en profundidad tal como los introducidos por el movimiento de "yo-yo" de la herramienta. Además, la compensación de la inclinación de la herramienta no siempre es completa.

Por lo tanto, es un objeto ulterior de la presente invención proveer métodos y aparatos que provean una compensación más completa del pozo de sondes incluyendo la inclinación de la herramienta y que sin embargo requiera un mínimo de diferentes posiciones en profundidad y distancias de memorización.

Un problema ulterior con el T-RR-T o su recíproce, el conjunto R-TT-R, es que a causa de las grandes distancias entre los T en el conjunto T-RR-T o los R en el conjunto R-TT-R, las condiciones operativas de los transductores ubicados en los extremos del conjunto pueden ser muy diferentes, con el resultado de diferencias significativas en las señales recibidas que se supone que son iguales. Por ejemplo, si una grave inclinación coloca a uno de los transductores externos en una posición sustancialmente descentrada mientras el correspondiente transductor igual en el otro extremo de la herramienta permanece más centrado, las señales asociadas con estos transductores externos podrían variar considerablemente y, a su vez, podrían afectar al tiempo de recorrido y a las mediciones de

la amplitud.

Por consiguiente es un objeto de la presente invención proveer métodos y aparatos que tienen todos transductores iguales agrupados conjuntamente a la vez que sin embargo proporcionan mediciones compensadas del pozo de sondeo.

Cuando un T se halla entre un par de R o un R entre un par de T, con frecuencia existe un problema con el ruido eléctrico, como por ejemplo con la diafonía eléctrica de un circuito transmisor eléctricamente ruidoso en conductores de receptor que deben pasar próximos al transmisor o aun peor, desde un conductor de activación de transmisor que tiene transitorios de alto voltaje y corriente, como en el caso de las herramientas acústicas, que pasan junto a uno de los receptores o amplificadores de señales recibidas. Por ejemplo, los conductores de impulsos de activación que van al transmisor inferior en el conjunto T-RR-T deben pasar por ambos receptores. Una ulterior apreciación de los problemas eléctricos y mecánicos introducidos por los conductores de transmisor que pasan por receptores se pueden encontrar en las patentes estadounidenses Nos. 3.734.233 y 3.712.410. Sería altamente conveniente tener un conjunto compensador en el cual todos los receptores pudieran ser aislados de todos los transmisores y además, donde ningún conductor de impulsos de alto voltaje pasaran por ningún punto próximo a un receptor, su amplificador asociado ni las líneas de señales de receptor.

Por consiguiente, es otro objeto de la presente invención proveer un conjunto del tipo compensador de pozo de sondeo en el cual todos los receptores y los circuitos de señales de receptor asociados se puedan aislar fácilmente de los transmisores y sus circuitos de disparo asociados.

En los conjuntos del tipo compensador del arte anterior y en algunos conjuntos de dos receptores, no era posible obtener mediciones en ciertas partes del pozo de sondeo. Por ejemplo, en el conjunto T-RR-T, la herramienta no podía funcionar correctamente con el transmisor superior dentro de la tubería de revestimiento y el transmisor restante y ambos receptores todavía en el sondeo no entubado. Igualmente, no se podían tomar mediciones de la formación en la parte inferior crítica del pozo en un espacio correspondiente a por lo menos una distancia transmisor-receptor. Sería conveniente poder efectuar el registro de perfil lo más próximo posible a la base, aun si se necesita prescindir temporarily de la característica de compensación para este espacio.

Es pues un objeto adicional de la presente invención proveer métodos y aparatos que puedan efectuar mediciones en toda su longitud de conjunto.

En las herramientas acústicas que se pueden necesitar para funcionar a cierta distancia de la pared del pozo, las señales acústicas llegadas a un receptor dado, realmente salen de la pared del pozo en un punto por delante del receptor, variando el desplazamiento del punto con la direc-

ción de aproximación. Esto origina lo conocido por error de refracción. Este error y una técnica de corrección para conjuntos de tipo compensador, según lo descrito en la patente estadounidense No. 3.304.536, emitida el 14-2-1967 a nombre de F.P.Kokesh, y la patente estadounidense No. 3.524.162, emitida el 11-8-1970 a nombre de F. W. Zill, comprenden el uso de un receptor adicional con cada receptor de los dos existentes. Cada receptor adicional está espaciado de cada uno existente en una corta distancia que corresponde a alrededor del doble del desplazamiento causado por el error de refracción; un desplazamiento para cada dirección de las dos de recepción diferentes. Así se usan cuatro receptores, dos para cada dirección de recepción.

Además, en el conjunto T-RR-T se requieren receptores omnidireccionales pues cada receptor debe anticipar señales llegadas del transmisor superior o el inferior. No es posible usar receptores direccionales, muy convenientes, excepto empleando cuatro receptores como en el enfoque de corrección de refracción precedente; o sea, dos receptores hacia cada uno de los transmisores. Otro enfoque sería emplear el conjunto del tipo R-TT-R, pero así no se podrían usar los convenientes transmisores direccionales a menos que, como con el enfoque de cuatro receptores, haya cuatro transmisores. Es innecesario mencionar que estos transmisores extra aumentan considerablemente la complejidad y los gastos del control.

Por consiguiente, es un objeto de la presente invención proveer un conjunto del tipo de compensación que permita que todos los receptores y transmisores sean direccionales, y que sin embargo necesite solamente cuatro transductores para producir las mediciones necesarias para proporcionar la compensación.

Son convenientes dos diferentes investigaciones de distancia T-R y, como se describe en la patente antes estudiada No. 3.312.934, es posible la estrecha comparación de las diferentes investigaciones podrá llegar hasta a conducir a una indicación directa de la presencia de hidrocarburos cuando se presenta en forma de gas, o en ciertos casos, a estimar el grado de esquistosidad como lo sugiere la patente estadounidense No. 3.096.502, emitida a nombre de C. B. Vogel el 2 de julio de 1963. Debe resultar evidente que a fin de que las mediciones que tienen diferentes distancias T-R sean útiles en estas aplicaciones, las mediciones deben ser lo más exactas posibles. La exactitud del tipo T-RR de mediciones ilustrada en las patentes precedentes con frecuencia es tal que las diferencias observadas en estas diferentes investigaciones pueden ser realmente debidas a inclinación no compensada o errores de medición del sistema, en lugar de diferencias radiales en las propiedades acústicas de las formaciones. Se requieren por lo menos dos mediciones para esta aplicación y es importantes que estas dos mediciones sean compensadas respecto al pozo de sondeo.

Por consiguiente es un objeto adicional de la presente invención proveer métodos y aparatos para obtener dos investigaciones espaciadas diferentemente, es decir con distancias T-R larga y corta, que sean ambas compensadas con respecto al pozo de sondeo y a los errores de medición del sistema.

Cuando se usan conjuntos del tipo de compensación de la técnica anterior para obtener las diferentes investigaciones de distancia T-R, serían necesarios dos transductores exteriores adicionales a una distancia adicional más allá de las proporcionadas habitualmente y un gran número de subciclos de medición adicionales más allá de los cuatro empleados normalmente. Además, la longitud de la herramienta sería aumentada por el doble de la diferencia de distancia deseada. Tales requerimientos de transductores y longitud de herramienta adicionales convertirían en impráctica la segunda medición bajo muchas circunstancias, dado que la segunda medición es habitualmente redundante de la primera medición. No obstante, si pudiera ser provista sin tales complicaciones costosas, esta segunda medición aumentaría el valor de la medición primaria proveyendo seguridad sustancial de que por lo menos la distancia T-R más larga era adecuada para las formaciones alteradas y cuando se encuentran condiciones favorables, proporcionaría una indicación directa de la presencia de gas.

Por consiguiente es otro objeto más de la presente

invención proveer métodos y aparatos para obtener simultáneamente dos diferentes mediciones compensadas respecto al pozo de sondeo con diferentes distancias de investigación T-R y sin requerir transductores adicionales, aumentos sustanciales de la longitud de la herramienta ni un número significativo de subciclos adicionales de medición.

Por consiguiente, se proveen métodos y aparatos para usar una herramienta de pozo de sondeo para producir mediciones de características físicas de medios subterráneos próximos a un pozo de sondeo que penetra en el suelo y para obtener mediciones mejoradas que son compensadas respecto a cambios en el diámetro del pozo de sondeo y la desalineación de la herramienta del pozo de sondeo respecto al pozo de sondeo. Una cantidad de transductores son posicionados a lo largo de la herramienta o de un miembro de soporte incluido dentro de la herramienta y son sostenidos en una línea generalmente paralela al movimiento de la herramienta cuando está dentro del pozo de sondeo.

Según se emplea en esta memoria, el término "transductor" significa un dispositivo que es capaz de transmitir o de recibir un tipo particular de señal. Por ejemplo, en las mediciones acústicas el transductor puede ser un transmisor acústico o un receptor acústico, sirviendo el transmisor para convertir la energía eléctrica en energía mecánica o acústica y el receptor para convertir energía acústica en energía

eléctrica. De modo similar, en las mediciones de ondas electromagnética, el transductor puede ser una antena o radiador de ondas electromagnéticas mientras que el receptor puede ser una antena para detectar ondas electromagnéticas transmitidas

Un número de transductores de un primer tipo, tal como transmisores, están separados entre sí a lo largo de la herramienta por una separación preseleccionada, y un número de transductores de un segundo tipo, tal como receptores, están separados entre sí por la misma separación y posicionados en una distancia preseleccionada sobre la herramienta desde los transductores del primer tipo.

La distancia entre los dos grupos de transductores del mismo tipo puede tener la longitud deseada. Un conjunto construido según lo precedente en que se usa transductores del primer tipo capaces de operar como T y del segundo tipo como R puede ser descripto como un conjunto TT-RR. Las mediciones producidas en profundidades de pozo de sondeo seleccionadas entre diferentes combinaciones transmisor-receptor al ser desplazado el conjunto de transductores a través del pozo de sondeo pueden ser combinadas para producir mediciones compensadas.

Por ejemplo, con el novedoso conjunto TT-RR precedente, son posibles dos mediciones con el mismo espaciado T-R que usen diferentes combinaciones T-R, dado que la separación entre cada par de receptores iguala la separación entre cada

par de transmisores. Se efectúa una medición con un primer par T-R a una profundidad de pozo de sondeo seleccionada y una segunda medición cuando se ha movido un segundo par T-R hasta la misma profundidad, las dos mediciones pueden ser combinadas para proveer una medición que es compensada por las variaciones entre las características de los transductores y otros errores sistemáticos.

Además, las mediciones diferenciales entre un transmisor y dos receptores, cuando los dos receptores se hallan juntos a un intervalo seleccionado en el pozo de sondeo y a una profundidad seleccionada se pueden repetir cuando los dos transmisores se hallan juntos en ese intervalo y todas las mediciones se pueden combinar para producir una medición compensada del pozo de sondeo respecto a ese intervalo; es decir, una medición que es compensada respecto a la inclinación de la herramienta, excentricidad del pozo de sondeo, etc.

Aun más, debido a la disposición de los transductores en el conjunto, se pueden obtener mediciones diferentes que están compensadas respecto a errores de pozo de sondeo para dos distancias diferentes de investigación T-R; es decir, una medición T-R larga y una medición T-R corta. En cada una de las mediciones de T-R larga y corta, cada transductor en un grupo se usa espaciado respectivamente a la distancia más larga y más corta del otro grupo, y en un uso tal, se puede considerar separadamente como el transductor a espaciado lar-

go y corto en cada grupo, es decir, los transductores en cada grupo que están, respectivamente, a la distancia más larga y más corta del otro grupo.

Dado que los grupos de transductores del mismo tipo están posicionados próximamente en la herramienta, el ambiente operativo, la dirección de la propagación de la señal y el error de refracción son esencialmente iguales para cualquiera de los transductores en un grupo dado durante una medición dada. Como resultado, se pueden usar receptores y transmisores direccionales, por lo cual se mejora la calidad de las mediciones obtenidas.

Si bien se ilustran transductores acústicos y electromagnéticos en las configuraciones centralizadas y de patín de pared lateral, esta invención se aplica igualmente a otros tipos de mediciones que utilizan por lo menos cuatro transductores, que funcionan en modalidad pulsada o continua mientras efectúan una o más mediciones tales como tiempo de recorrido, ángulo de fase, relación de amplitud o mediciones del tipo de atenuación.

Otras características y ventajas de la presente invención resultarán más fácilmente evidentes por la siguiente descripción detallada al tomarla en conjunto con los dibujos que se acompañan.

La figura 1 ilustra, en forma de bloques representativos, un aparato de acuerdo con la presente invención para

obtener, almacenar y combinar mediciones de características físicas de medios subsuperficiales próximos a un pozo de sondeo;

Las figuras 2A a 2C ilustran la secuencia de obtención de mediciones con el uso de los transductores incluidos en el aparato de la figura 1;

Las figuras 3A y 3B ilustran los circuitos superficiales y del pozo de sondeo de acuerdo con una modalidad de realización de la presente invención; y la figura 3C ilustra el correspondiente diagrama de temporización;

Las figuras 4A a 4D ilustran el efecto de las condiciones del pozo de sondeo tales como la desalineación y la inclinación de un soporte de transductor sobre las técnicas de la presente invención;

Las figuras 5A y 5B ilustran diferentes ambientes operativos del pozo de sondeo que son compensados de acuerdo con la presente invención;

La figura 6A ilustra un conjunto de compensación respecto al pozo de sondeo montado en patín del arte anterior y la figura 6B ilustra el conjunto del arte anterior modificado de acuerdo con la presente invención;

Las figuras 7A y 7B ilustran ulteriores ventajas de un conjunto de transductores modificado de acuerdo con la presente invención;

Las figuras 8A y 8B ilustran circuitos alternativos

para ser empleados con el circuito 24 de la figura 3A;

Las figuras 9A y 9B ilustran la relación entre diferentes mediciones de características físicas de los medios subterráneos; y

Las figuras 10 y 11 ilustran modalidades ulteriores de realización de aparatos de acuerdo con la presente invención.

Haciendo ahora referencia a la figura 1, se presenta en la misma en forma de bloques representativos un aparato apropiado para obtener, almacenar, registrar y combinar mediciones de características físicas de medios subterráneos próximos a un pozo de sondeo que penetra en una formación terrestre. El aparato comprende una herramienta de pozo de sondeo 10 con un conjunto de transductores que tiene cuatro transductores numerados de 1 a 4. El conjunto puede ser incluido en una herramienta que es del tipo de mandril adaptada para operación descentralizada o centralizada o en un miembro de patín, estando los transductores ubicados sobre el patín para funcionar en estrecho contacto con la pared del pozo de sondeo.

La explicación que sigue supone que la herramienta ha sido llevada hasta la base del pozo de sondeo de modo que entonces puede ser recobrada lentamente hacia la superficie bajo el control mecánico de un cable de acero de registro de perfil 12 enrollado sobre un guinche 14 en la superfi-

cie, el cual proporciona comunicación de señales y control entre la herramienta y el controlador de superficie 20. De este modo, el movimiento de la herramienta se puede relacionar directamente con el movimiento del cable en la superficie.

El controlador de superficie 20 actúa como un selector transmisor y receptor programado, que se comunica por medio de un anillo colector 16 en el guinche 14 con el cable de registro 12 y dentro del pozo con el control subterráneo 11 en la herramienta 10. Sincrónicamente con el movimiento del cable, se proveen impulsos de profundidad por incrementos al controlador 20 y al aparato de almacenamiento de mediciones 22 por medio de cualquier conexión mecánica o eléctrica 19 y, si está presente en el sitio del pozo de modo que se pueda realizar el procesamiento de las mediciones simultáneamente, al aparato de selección y combinación de mediciones 24. De esta manera, la selección de transductoras y las mediciones correspondientes son sincronizadas según se describirá más adelante.

Queda entendido que la selección y combinación de mediciones real no necesita ser efectuada en conjunto con la obtención de las mediciones individuales, dado que estas mediciones se pueden proveer en cualquier momento posterior desde las instalaciones de almacenamiento analógico o digital convencionales para su procesamiento en un sitio a distancia del pozo de sondeo. No obstante, tiene importancia que se re

gistran las profundidades por incrementos correspondientes al movimiento de la herramienta dentro del pozo de sondeo en conjunto con las mediciones, puesto que es necesario, como se describirá más adelante, relacionar exactamente las mediciones entre sí sobre una base de profundidad.

Al ser movida hacia arriba la herramienta 10 que contiene el conjunto de cuatro transductores a través de las posiciones de profundidad I, J, K y L, se seleccionan diversos transductores de manera sistemática de modo tal que se realiza una secuencia de mediciones a incrementos regulares de profundidad. Es habitual que se seleccione un punto particular en la herramienta como punto de referencia de manera que las mediciones efectuadas con diversos transductores se puedan relacionar una con otra y con la profundidad de la herramienta en el pozo de sondeo registrada en la superficie. Aunque se puede seleccionar cualquier punto, la figura 1 muestra, y la descripción siguiente se basa sobre, la selección del punto de referencia de profundidad que consiste en la ubicación sobre la herramienta 10 en el transductor más alto; es decir, el transductor que está más próximo a la superficie terrestre al avanzar la herramienta a través del pozo.

A fin de describir la secuencia de las mediciones, se hace referencia a las figuras 2A a 2C, que ilustran el conjunto de cuatro transductores de la herramienta 10 como T_1 a T_4 . Con fines descriptivos, la letra T con un subíndi-

ce se utilizará para indicar a los transductores, ya sea receptores o transmisores. Además, se supondrá que los dos transductores más altos, T_1 y T_2 , funcionan como receptores y los dos transductores más bajos, T_3 y T_4 , funcionan como transmisores.

Es conveniente que los transductores de un tipo particular, tales como los que funcionan como receptores, es tén agrupados o apareados conjuntamente en la herramienta y que los grupos de transductores se muevan lateralmente y verticalmente en el pozo de sondeo en forma coordinada. Además, por razones que resultarán evidentes en adelante, la separación preseleccionada entre los transductores de cada grupo debe ser la misma; es decir, la separación entre T_1 y T_2 a lo largo de la extensión del miembro de soporte de transductores de la herramienta debe ser igual que la separación entre los transmisores T_3 y T_4 . Las distancias entre los grupos de diferentes tipos de transductores, por ejemplo, la distancia entre el receptor T_2 y el transmisor T_3 , puede ser o no igual que la separación entre los transductores del mismo tipo dependiendo de las características físicas de la formación terrestre que se está midiendo, la profundidad de investigación dentro de la formación terrestre deseada, y de otros factores.

Las figuras 2A, 2B y 2C ilustran cada una al conjunto de transductores T_1 , T_2 , T_3 y T_4 en dos posiciones sepa

redas indicadas por los índices de nivel de profundidad en la parte superior de cada conjunto de transductores. Estos índices, I a L, están en referencia con el transductor superior T_1 . En las figuras 2A y 2B, estas posiciones son I y L; es decir, el transductor más alto T_1 en los niveles de profundidad d_I y d_L , respectivamente. En la figura 2C, las dos posiciones están rotuladas I y J porque el transductor superior T_1 esté en los niveles de profundidad d_I y d_J , respectivamente.

Al hacerse avanzar al conjunto desde la posición I a la L en las figuras 2A y 2B y de la I a la J en la figura 2C, el conjunto asciende en el pozo de sondeo desde la profundidad d_I hasta la d_L , usando al T_1 como punto de referencia de profundidad. Una señal es generada por el transmisor T_3 , que se propaga pozo de sondeo arriba hacia los receptores T_2 y T_1 . Cada uno de estos receptores convertirá la señal recibida en una correspondiente señal eléctrica que se puede procesar en una medición m . Dado que normalmente se espera que una señal que recorre desde T_3 hacia T_2 y T_1 llegará primero a T_2 y luego a T_1 , la medición $T_3 - T_2$ será denominada m_1 y $T_3 - T_1$ como m_2 . Las mediciones m_1 y m_2 pueden entonces ser combinadas para obtener una medición de una característica subterránea física de una manera que dependerá de la característica que se está midiendo.

Por ejemplo, si T_3 transmite un impulso acústico,

las mediciones m_1 y m_2 representarán el tiempo de recorrido a través de la formación y los medios que rodean al pozo de sondeo desde T_3 a T_2 y T_1 , respectivamente, y luego pueden ser combinadas para determinar el tiempo de recorrido del intervalo o espacio entre T_2 y T_1 , denominado Δt .

En una corta separación de tiempo desde la generación de una señal por el transmisor T_3 , se genera una señal por el transmisor T_4 , como lo ilustra la figura 2B, que es recibida por los receptores T_2 y T_1 y convertida en las mediciones m_3 y m_4 , respectivamente.

Una secuencia completa de mediciones en la profundidad d_I incluiría, por consiguiente, todas las mediciones m_1 , m_2 , m_3 y m_4 . En adelante, m designará mediciones individuales en general, sin tener en cuenta al tipo; siendo efectuada m_1 mientras se opera T_3 con T_2 y m_2 con T_1 ; y m_3 operando T_4 con T_2 y m_4 con T_1 .

Dado que las cuatro mediciones se pueden obtener en un período de tiempo muy corto en relación con el movimiento de la herramienta, se pueden considerar como obtenidas esencialmente a la misma profundidad. Por ejemplo, los transmisores acústicos pueden ser pulsados en el orden de 20 veces por segundo. Este régimen proporciona por lo menos cinco secuencias completas por segundo durante las cuales tendría lugar un desplazamiento muy reducido de la herramienta a las velocidades normales de registro de perfil. Las cuatro medi-

ciones son transmitidas pozo arriba y almacenadas para su posterior empleo como se ilustra en 22A de la figura 1 y como se describirá en mayor detalle más adelante.

En un momento posterior, cuando la herramienta ha avanzado a través del pozo de sondeo hasta la profundidad d_L , como se ilustra en las figuras 2A y 2B, se puede tomar una segunda secuencia de mediciones m_1 , m_2 , m_3 y m_4 y se pueden utilizar de acuerdo con la presente invención para compensar los efectos del pozo de sondeo sobre las mediciones individuales.

Por ejemplo, cuando T_3 es un transmisor de pulsos acústicos, el tiempo de recorrido del intervalo, Δt , entre T_2 y T_1 será erróneo si las porciones de los trayectos de propagación de la señal que están ubicadas en el pozo de sondeo son de diferentes longitudes en los dos receptores. Esta diferencia ocurriría en el caso de inclinación de la herramienta.

Las técnicas de compensación del pozo de sondeo del arte anterior en las herramientas de registro de perfil acústico utilizan transmisores separados ubicados en lados opuestos de los receptores en un conjunto T-RR-T para obtener dos Δt 's con relaciones invertidas de receptores próximos y alejados.

De acuerdo con la presente invención, es posible ese tipo de compensación de pozo de sondeo con un conjunto

que tenga una longitud total significativamente menor. Combinando un primer conjunto de mediciones, m_1 y m_2 , tomadas a una profundidad d_I (véase figura 2A en I) con mediciones m_1 y m_3 tomadas en la profundidad d_L (véase figura 2A en L) se obtiene una novedosa combinación de mediciones desde transductores que tienen una relación próxima y alejada invertida que proporciona la deseada compensación de pozo de sondeo.

Además, se puede efectuar una segunda medición compensada de pozo de sondeo simultáneamente con, y durante el mismo intervalo en el pozo de sondeo, que la medición compensada de pozo de sondeo descrita precedentemente. Esta segunda medición no se puede obtener con el conjunto T-RR-T de la técnica anterior. Haciendo referencia a la figura 2B, al combinar un segundo conjunto de mediciones, m_3 y m_4 tomadas en la profundidad d_I (véase figura 2B en I) con las mediciones m_2 y m_4 tomadas en la profundidad d_L (véase la figura 2B en L), se obtiene una segunda medición compensada de pozo de sondeo, pero teniendo aquí una mayor distancia T-R que la medición primera. Esto se debe a que este segundo conjunto de mediciones se refiere a transductores más alejados que en el primer conjunto.

Una ventaja adicional del conjunto de transductores de la presente invención se refiere al uso del conjunto para compensar los errores estadísticos o sistemáticos en las mediciones tomadas y que se pueden describir en relación con

la figura 2C.

Obsérvese que la medición m_2 en la profundidad d_I es repetida esencialmente por m_3 en d_J , en donde T_2 reemplaza a T_1 y T_4 reemplaza a T_3 al avanzar la herramienta a través del pozo de sondeo. Bajo condiciones perfectas de medición, por lo tanto, m_2 debe ser igual a m_3 . Sin embargo, en condiciones típicas de medición del pozo de sondeo existen varias razones conocidas por lo cual esto no puede ocurrir. Aun si es posible esperar variaciones estadísticas menores, por ejemplo cuando se realizan mediciones de tiempo de tránsito del intervalo acústico, se obtiene una medición mejorada tomando el promedio de m_2 en d_I y m_3 en d_J para proporcionar una medición que es compensada por sus variaciones estadísticas. Si bien se podrían realizar una compensación estadística comparable repitiendo la medición en d_I , tales mediciones repetidas cortan el ciclo de trabajo de la herramienta por la mitad. Por lo contrario, no se necesita un aumento en el ciclo de trabajo para obtener este resultado combinando m_2 y m_3 ya disponibles. Además, como se explicará más adelante, hay otras razones por las cuales se prefiere usar diferentes transductores y hasta diferentes posiciones de herramienta para obtener mediciones para tales combinaciones.

Si bien no se indica en la figura 2C, se observará que también se pueden combinar otras mediciones ventajosamente para compensar al ruido casual o a diferentes efectos

de transductor y sus posiciones relativas en el pozo de sondeo. Por ejemplo, se puede usar m_2 en la profundidad d_K con m_3 en d_L .

En algunos casos también se pueden comparar mediciones tales como m_2 y m_3 para detectar distorsiones del pozo de sondeo, tal como la inclinación de la herramienta. Una comparación de tales mediciones puede dar una indicación de la compensación de pozo de sondeo que se aplica a las mediciones básicas y, por ello, una indicación de la confiabilidad de las mediciones compensadas respecto al pozo de sondeo.

Como se describe precedentemente, las cuatro mediciones de cada secuencia no son todas esenciales para proporcionar una medición compensada, ni es necesario efectuar cada medición después de los disparos de transmisor individuales. Sin embargo, como se ilustra en las figuras 2A - 2C, y se continúa a continuación, cada medición individual se empleará por lo menos dos veces en diferentes combinaciones para proporcionar dos mediciones compensadas respecto al pozo de sondeo diferentes de un intervalo de pozo de sondeo seleccionado, correspondientes a dos diferentes distancias de investigación transmisor-receptor:

TABLA I

- 1) m_2 y m_1 en d_I (intervalo T_2 a T_1 operando T_3)
- 2) m_3 y m_1 en d_I (intervalo T_3 a T_4 operando T_2)
- 3) m_4 y m_3 en d_I (intervalo T_2 a T_1 operando T_4)
- 4) m_4 y m_2 en d_I (intervalo T_3 a T_4 operando T_1)
- 5) m_2 en d_I (T_3 a T_1) y m_3 en d_J (T_4 a T_2)
- 6) m_2 en d_I (T_3 a T_1) y m_3 en d_J (T_4 a T_2)

Como se ilustra en la figura 1, cada medición m_1 , m_2 , m_3 y m_4 , es almacenada en el aparato de almacenamiento de mediciones 22 para cada incremento de profundidad d_I , $d_I + 1$, ... etc.; siendo cada incremento del orden de quince centímetros o menos.

Si la capacidad de almacenamiento de mediciones es limitada, resulta ventajoso combinar algunas de las mediciones para minimizar la capacidad necesaria. Por ejemplo, las mediciones m_1 y m_2 para el mismo incremento de profundidad (véase la figura 2A en la posición I y el incremento de profundidad d_I) se puede sustraer en el aparato de selección y combinación de mediciones 24 para formar una nueva medición $m_5 = m_2 - m_1$, que a su vez puede ser almacenada, reemplazando m_1 y m_2 o, si existe suficiente capacidad de almacenamiento, como una medición adicional.

Al ir avanzando el conjunto a través del pozo de sondeo desde d_I a d_J , se pueden combinar otras mediciones para formar mediciones de reemplazo o adicionales. Al ir avan-

zando el conjunto hasta la profundidad d_L (véase la posición L en la figura 2), se producirá un conjunto completo de mediciones. Las obtenidas previamente se hallan ahora disponibles del almacenamiento 22A y aquellas obtenidas en la profundidad d_L están ahora disponibles como mediciones actuales. Así, es entonces posible combinar estas mediciones producidas para proveer mediciones compensadas respecto al intervalo de pozo de sondeo ilustrado en la figura 2 debajo de d_I .

Por ejemplo, restando m_1 de m_3 producida en d_L , la profundidad actual en la posición L ilustrada en la figura 2A y combinando este resultado con las mediciones m_2 y m_1 en d_I previamente producidas en la posición I, o su combinación previa m_5 en d_I , la medición compensada por pozo de sondeo para el intervalo del pozo de sondeo ilustrado en la figura 2 correspondiente a la investigación de la corta distancia T-R resulta obtenida.

Las combinaciones precedentes dan como resultado, para una modalidad de realización de registro de perfil acústico, al sumar dos mediciones Δt para el mismo intervalo de pozo de sondeo, una correspondiente a una medición de dos receptores y la otra a una medición de dos transmisores, proporcionar la deseada compensación respecto al pozo de sondeo. Dependiendo de la separación entre los pares de transductores iguales, el resultado puede necesitar sustitución de la escala. Por ejemplo, si la separación es de 30 centímetros, el

Δt correcto, como lo indica la salida A, se obtendrá dividiendo la combinación final por dos.

Además de combinar estas dos mediciones Δt como se describió precedentemente, se podrían comparar diversas mediciones a diversos niveles de profundidad para indicar las condiciones del pozo de sondeo que requieren compensación, o se podrían combinar en una manera que proporcione las mediciones promedio. Por ejemplo, m_2 en d_T (véase la figura 2C en I) y m_3 en d_J (véase la figura 2C en J) se pueden sumar o promediar para formar m_6 . Estas mediciones promedio podrían ser entonces combinadas para proporcionar mediciones Δt o para otras finalidades.

En las figuras 3A y 3B, se ilustran circuitos típicos para aparatos de superficie y de pozo de sondeo para realizar la selección de transmisor y receptor, la obtención y la combinación de mediciones individuales de acuerdo con la presente invención. Si bien estos circuitos están ilustrados para proveer mediciones de tiempo de recorrido acústico compensado, se pueden emplear circuitos similares para mediciones de relación de amplitud compensadas, por ejemplo, modificando los circuitos de las figuras 3A y 3B para obtener también la amplitud de señal o información de ajuste de ganancia junto con la información de medición del tiempo. La información de amplitud puede ser procesada de acuerdo con las enseñanzas de la patente de Zill previamente analizada.

Se dará ahora una descripción general del funcionamiento del aparato de las figuras 3A y 3B seguida de una descripción detallada.

En general, la secuencia de medición comienza con un pulso de profundidad correspondiente a un incremento de profundidad y luego cronometrando los ciclos de selección de transmisor y receptor individuales para completar la secuencia. En la tabla II siguiente se ilustran cuatro ciclos y las modalidades lógicas correspondientes para seleccionar al transmisor T_3 o al transmisor más alejado T_4 , y al receptor T_2 o al receptor más alejado T_1 .

Estas modalidades lógicas, señaladas M y \bar{M} o N y \bar{N} se emplean para seleccionar respectivamente al transmisor o receptor apropiado como se describirá más adelante. Las porciones de trayecto de recorrido dadas en la tabla II para cada una de las mediciones se ilustran en la figura 4A (a ser analizada más adelante) y se aplican igualmente a la modalidad de patín de contacto ilustrada o a una modalidad de realización de mandril.

Tabla II

<u>No.Ciclo</u>	<u>Modalidad</u>	<u>Trans.</u>	<u>Recep.</u>	<u>Trayecto</u>		<u>Medic.</u>
1	M N	T_3	T_2	A + B	+ D	m_1
2	\bar{M} \bar{N}	T_3	T_1	A + B + C + E		m_2
3	\bar{M} N	T_4	T_2	F + G	+ H	m_3
4	\bar{M} \bar{N}	T_4	T_1	F + G + I + J		m_4

El transmisor seleccionado es activado y la señal propagada es recibida en el receptor seleccionado, amplificada con un ajuste de ganancia apropiado para el ciclo T-R particular y transmitida hacia arriba por el pozo. Un impulso de temporización de referencia es generado, en una relación de tiempo fija con el tiempo de activación del transmisor y se usa como una base para las pérdidas de señal de compensación en el cable y como un punto de referencia de tiempo para habilitar los circuitos de detección de señal utilizados para detectar el tiempo de llegada de la señal recibida. Se realizan mediciones de tiempo habilitando impulsos de reloj en un contador a partir del pulso de referencia que activa al transmisor y terminando con la detección. Los contenidos del contador se convierten entonces en mediciones individuales m, que ya fueron estudiadas con respecto a las figuras anteriores. Estas mediciones son almacenadas o registradas de acuerdo con su posición en el ciclo para su posterior procesamiento.

Para realizar una descripción detallada, hágase referencia ahora a la figura 3A. La secuencia comienza con un pulso de profundidad del generador de pulsos de profundidad 305 que arranca a un control oscilador de régimen 310 y el reloj 324. El oscilador 310 y el reloj 324 cooperan para generar señales de control a un régimen tal que varias secuencias completas de cuatro ciclos cada una serán realizadas por

segundo. Los impulsos de reloj son alimentados al manipulador de ciclos 330, que genera cuatro pulsos de control de ciclo utilizados como estados binarios de M y N; es decir, M, \bar{M} , N y \bar{N} por lógica de orientación para producir señales de modalidad que representan las modalidades de la tabla II.

Los impulsos de control de ciclo se utilizan para sincronizar la lógica de orientación 331 y 332 para seleccionar una nueva combinación T-R, y para sincronizar el dispositivo de ganancia dentro del pozo 334 para establecer las ganancias apropiadas para las señales recibidas de cada ciclo.

Haciendo referencia a la figura 3C, se ilustra un diagrama de temporización para ilustrar las relaciones de tiempo entre impulsos de reloj (sobre la línea 1) desde el reloj 324, las señales de modalidad binarias M y N (2 y 3) de la lógica de orientación 331, los pulsos de control de ciclo (4, 6, 8 y 10) y sus contrapartes demoradas (5, 7, 9 y 11, respectivamente) del manipulador de ciclos 330 y los pulsos de reposición de contador y control de orientación de ascenso/descenso (12, 13 y 14 para los contadores No. 1, 2 y 3, respectivamente) de la lógica de orientación 332, utilizadas en los circuitos de superficie ilustrados en la figura 3A para sincronizar los circuitos dentro del pozo de sondeo ilustrados en la figura 3B.

Si bien los circuitos reales, tales como generadores de onda cuadrada, por ejemplo, que se pueden utilizar

para generar estas señales e impulsos y sus contrapartes demoradas no se ilustran por razones de simplificación de los diagramas de circuito, quienes son expertos en esta técnica conocen cómo realizar estos circuitos. De manera similar, para claridad de estos diagramas, no se ilustran todas las conexiones entre los diversos componentes de circuito que emplean estas señales e impulsos para habilitar compuertas, seleccionar códigos, reponer contadores y lo similar. La identidad de cada señal y pulso, o su alternativa, es ilustrada cuando corresponde.

Por la figura 3C puede observarse que un pulso de profundidad hace arrancar una serie de impulsos de reloj 1-9 (ilustrados en la línea 1) para definir una secuencia completa de medición como se describió previamente con respecto a la figura 2 y las tablas I y II. Ante el impulso inicial de reloj, la señal de modalidad M selecciona T_3 (línea 2) y N selecciona T_2 (línea 3) para comenzar el ciclo C1 para producir m_1 . El contador No. 1 (ilustrado en 391 en la figura 3A) puede ser repuesto (RS) (como se ilustra en la línea 12 de la figura 3C) sobre el borde ascendente del pulso de orientación de la lógica de orientación 332. Posteriormente, el contador No. 2 arrancará contando los impulsos de reloj del reloj de alta frecuencia 389 cuando son habilitados hacia el mismo por medio de la compuerta de reloj 390 durante la porción inicial del ciclo C1 (línea 4). Normalmente, el contador No. 1

es detenido por la detección de señal del receptor antes del fin de esta porción en el impulso de reloj 2, y si no, este impulso o un impulso demorado $C1'$ se pueden utilizar para detener al contador No. 1, pero en este caso su contenido no sería válido.

Los contadores de ascenso/descenso No. 2 y No. 3 se ilustran en 394 y 394A en los circuitos ilustrados como 24A y 24B respectivamente en la figura 3A, y son utilizados en conjunto con memorias No. 1 y No. 2 también ilustradas allí para combinar las mediciones particulares para cada contador en la modalidad de ascenso (+) o descenso (-) indicada en las líneas 13 y 14 respectivamente de la figura 3C. Se ilustran contadores similares No. 2A, No. 2B, No. 3A y No. 3B en líneas de rayas en los circuitos 24A y 24B de la figura 3A.

Por ejemplo, el contador No. 2 del circuito 24A de la figura 3A se ilustra (línea 13) en una modalidad de cuenta descendente en el impulso de reloj 1 y, como se describirá en detalle más adelante, cuenta en descenso durante la parte inicial del ciclo 1 cuando m_1^* , indicando el * que la medición fue demora de profundidad o memorizada de una medición m_1 previa a una profundidad mayor, por ejemplo, es entrada de la memoria No. 1, luego en el impulso de reloj 2, mientras está aún en la modalidad de descenso, la medición m_1 actual es entrada al contador No. 2 directamente del contador No. 1; es decir, sin demora ni memorización dado que el contador No. 1

contiene la medición actual después de la parte inicial de cada ciclo. Así, en el impulso de reloj 3, el contador No. 2 ha acumulado $-m_1^* - m_1$ y es entonces conmutado a una modalidad de cuenta ascendente (+). Luego durante la parte inicial del ciclo 2, m_2^* es entrada desde la memoria No. 1 para sumar $+m_2^*$ y, durante la última parte del ciclo 3 (en el impulso de reloj 6) la m_3 actual contado durante la parte inicial del ciclo 3 es entrada desde el contador No. 1 para sumar $+m_2$ a la acumulación previa en el contador No. 2.

Al final del ciclo 3, el contador No. 2 contiene $-m_1^* - m_1 + m_2^* + m_3$, que han sido entradas en ese orden. Subsiguientemente, en un momento conveniente (ilustrado durante el ciclo 4 en la línea 13 en la figura 3C), el contador No. 2 puede ser puesto en salida y repuesto (RS) para comenzar en siguiente pulso de profundidad, como otra secuencia según la descrita precedentemente en el impulso de reloj 1. Como se explicará más adelante, y se ilustra en las figuras 1 y 3A en A, esta combinación de mediciones corresponde a una de las mediciones compensadas por el pozo de sondeo proporcionadas por las técnicas de la presente invención.

El contador de ascenso/descenso No. 3 ilustrado en 394A en el circuito 24B de la figura 3A está diagramado de manera similar en la figura 3C en la línea 14. Sin embargo, su secuencia comienza después del impulso de reloj 3 en lugar del impulso de reloj 1, como para el contador No. 2 analizado

precedentemente. Al comienzo del ciclo 2 con el impulso de reloj 3, comienza el contador No. 3, conmutándose a la modalidad descendente. Luego durante la última parte del ciclo 2, y durante la parte inicial del ciclo 3, se da entrada a $-m_2$ y $-m_3^*$. Luego en el impulso de reloj 7, el contador No. 3 es conmutado a la modalidad ascendente y se da entrada a $+m_4^* + m_4$ desde la memoria No. 2 y directamente desde el contador No. 1, respectivamente durante el ciclo 4. Así, al final del ciclo 4, el contador No. 3 contiene $-m_2 -m_3^* + m_4^* + m_4$. Como se ilustra en la figura 3C en la línea 14, el contenido del contador No. 3 puede ser dado en salida durante el siguiente ciclo 1 y el contador No. 3 ser entonces repuesto (RS) y conmutado a la modalidad descendente para comenzar nuevamente su secuencia en el impulso de reloj 3. Como se describirá más adelante, y se ilustra en la figura 3A en B, esta combinación de mediciones corresponde a otra de las mediciones compensadas respecto al pozo de sondeo provistas por las técnicas de la presente invención.

Los ciclos 1 a 4 ilustrados en la figura 3C son resumidos en la tabla III y se analizará ulteriormente en esta descripción más adelante. Con el uso general y la temporización de las señales de control, los pulsos de modalidad, los contadores y memorias descriptos, se describirán los circuitos particulares de las figuras 3A y 3B. Las señales de selección de modalidad M y N generadas para cada ciclo por la

lógica de orientación 331 serán utilizadas como los primeros dos bits de una señal de código.

Al comienzo de cada ciclo, una señal de código es transmitida desde el transmisor de código 336 en la figura 3A dentro del pozo hasta el receptor de código 340 en la figura 3B. La señal de código puede contener apenas seis bits de información señalando cuál de los dos transmisores (un bit), cuál de los dos receptores (un bit) y cuál de los 16 ajustes de ganancia (cuatro bits) se deben utilizar. Los bit adicionales para ajustes adicionales de ganancia o atenuación pueden ser convenientes para aumentar la resolución de ganancia cuando también se efectúan mediciones de amplitud/atenuación.

Con respecto ahora a la operación de los circuitos dentro del pozo de sondeo, se hace referencia a la figura 3B. En general, la transmisión de código da como resultado la conexión de transmisores y receptores seleccionados a los circuitos apropiados del pozo de sondeo y el ajuste de la ganancia dentro del pozo. Luego, se activa el transmisor seleccionado y comienza la cuenta de temporización. Se usa un dispositivo de control automático de ganancia para estandarizar las amplitudes de señal variando las ganancias para cada ciclo T-R diferente.

Estudiando ahora la operación detallada de los circuitos dentro del pozo de sondeo de la figura 3B, las se-

Señales de código del transmisor de código 336 son recibidas por el receptor de código del pozo de sondeo 340 en la sección de circuito 11B ilustrada en la figura 3B, y un bit de código representando la modalidad M o \bar{M} es encaminado al selector de transmisor 344 que conecta al circuito de activación 352 ó 354 a T_3 para M o T_4 para \bar{M} , respectivamente. De modo similar, el bit N ó \bar{N} es encaminado al selector de receptor 350 y es conectado el receptor T_2 para N o T_1 para \bar{N} por medio del selector de receptor 350 al amplificador de ganancia variable 348.

Los bits de ganancia en el código de señales (se ilustran cuatro) son encaminados al selector de ganancia dentro del pozo 346 que utiliza estos bits para conectar atenuadores fijos y amplificadores de ganancia seleccionados para proporcionar la ganancia deseada representada por el código. Las 16 variaciones posibles de ganancia resultantes se ilustran para mayor simplificación como si estuvieran representadas por el amplificador de ganancia variable 348 controlado desde el selector de ganancia 346. La ganancia será determinada automáticamente por análisis de las señales recibidas como se explicará más adelante pero por el momento será suficiente observar que se da a las distancias T-R mayores, como por ejemplo T_4 a T_1 , ganancias relativamente más altas que las distancias menores T-R como $T_2 - T_3$.

La recepción dentro del pozo de sondeo de un có-

digo dado por el receptor de código 340 también causa el condicionamiento de la compuerta de receptor de pulsos de activación 360 para interpretar la siguiente transmisión al pozo de sondeo como un comando de pulso de activación. Por medio de una demora apropiada proporcionada por el dispositivo de retardo 341, la recepción del código también permite a la compuerta de salida del pozo de sondeo previamente inhabilitada 342 a permitir entonces la transmisión pozo arriba de la salida del amplificador de potencia 368, que podría haber interferido previamente con la transmisión del código. Así, puede observarse que los circuitos dentro del pozo de la figura 3B utilizan el código para acondicionar la instalación electrónica asociada para conectar los transmisores y receptores apropiados y fijar la ganancia deseada y las compuertas deseadas en espera de un comando de pulso de activación subsiguiente.

Volviendo a la figura 3A, los circuitos pozo arriba son habilitados sincrónicamente con la operación de la lógica dentro del pozo, para proporcionar el pulso de activación y recibir el pulso de referencia asociado y la señal de receptor subsiguiente. El manipulador de ciclo 330 ilustrado en la figura 3A genera, para cada ciclo, una señal que es enviada a la lógica de orientación 332 que a su vez genera señales para reponer a cero un primer contador 391 y, dependiendo del ciclo en particular, C_1 a C_4 , para proveer diversas señales de habilitación a compuertas, contadores y circuitos de procesamiento.

de señales, la mayor parte de los cuales ya han sido descritos en relación con la figura 3C.

Los pulsos de control retardados del manipulador de ciclos 330 dividen cada ciclo en subciclos para detección y determinación automática de ganancia, y las mediciones actuales o las mediciones previamente almacenadas completadas son habilitadas al aparato de procesamiento de señales 24 de la figura 3B, como corresponda para el ciclo en particular. Por ejemplo, cuando se utilizan los circuitos de procesamiento de señales 24A y 24B, estas señales de orientación se pueden emplear para despejar el contador 394 y 394A y acondicionarlos para procesar la entrada siguiente contando en descenso o, si la entrada es una transferencia de palabra digital, combinar la palabra con un signo negativo. Las señales de orientación subsiguientes hacen que estos contadores acepten entrada adicional contando en ascenso o sumando a los contenidos previos.

Además de proveer impulsos de reloj que comienzan cada ciclo al manipulador de ciclos 330, el reloj 324 también provee, después de un retardo apropiado, un impulso de control para activar el circuito de pulso 320. Esta demora, proporcionada por circuitos internos al reloj 324, es tal como para otorgar tiempo para los circuitos, tanto dentro del pozo como en la superficie, para que se acondicionen, como ya se describió, para recibir al pulso de activación. Estando

preparados los circuitos dentro del pozo y en la superficie, este impulso de reloj retardado hace que los circuitos de pulso de activación 320 inicien un comando de pulso de activación (FP) que es transmitido dentro del pozo y es interpretado correctamente por la compuerta del receptor de pulso de activación, previamente condicionada 360, ilustrada en la figura 3B.

Volviendo a la figura 3B, el comando de pulso de activación es habilitado a través del detector de pulso de activación 362 y ante la detección hace iniciar al generador T_0 364 un pulso de activación dentro del pozo. Esto hace que el selector de transmisor 344, conectado previamente a circuitos de activación de transmisor seleccionados, 352 para T_3 en modalidad M ó 354 para T_4 en modalidad \bar{M} (véase la tabla II) active al transmisor seleccionado, T_3 ó T_4 . El generador T_0 364 también inicia un pulso T_0 para utilizarlo como señal de referencia por los circuitos dentro del pozo y en superficie. A fin de aplicarlo en la superficie, el pulso T_0 es transmitido pozo arriba, por medio del amplificador de potencia 368 y a través de la compuerta de salida 342, ahora habilitada, al receptor de señal 370 y al control de ganancia automática del dispositivo 372 ubicado en la superficie (véase la figura 3A)

En la superficie, el pulso T_0 es utilizado como una referencia de amplitud. Dado que es establecido dentro

del pozo por el generador T_0 364 con una amplitud de referencia convencional, el control de ganancia automático del dispositivo 372, la compuerta T_0 374, el circuito lector de pico 376 y el control de ajuste de ganancia T_0 378 (ilustrado en la figura 3A) son utilizados para reestablecer en la superficie esta referencia de amplitud convencional. Así, este control interno del dispositivo provee compensación por las pérdidas de cable, distorsión de fase, desplazamiento, etcétera.

El impulso T_0 es habilitado por medio de la compuerta T_0 374, que ha sido condicionada previamente para permitir el paso de T_0 a través del lector de pico 376 por medio de la línea 374A. Este condicionamiento es sincronizado con el funcionamiento del circuito de pulso de activación 320. La amplitud pico del pulso T_0 recibido en la superficie es leída por el lector de pico 376 y comparada con una amplitud de referencia por los circuitos de ajuste de ganancia T_0 378 que ajustan, si es necesario, al circuito de control automático de ganancia 372 para reestablecer la amplitud para señales T_0 subsiguientes al nivel de amplitud de referencia. Los circuitos de acondicionamiento de señal adicionales se pueden incluir para pérdidas de cable usando esta norma de señal T_0 conocida.

La amplitud de pico T_0 leída en el lector de pico 376 también es provista a un detector de amplitud 380 como

una referencia de amplitud para su empleo en detectar la señal de receptor que seguirá a T_0 , como se explicará.

El pulso T_0 proporciona una exacta referencia de tiempo relacionada con la activación de los transmisores. Esta referencia de tiempo es determinada por un circuito detector de cruce por cero 375 conectado por medio de la compuerta T_0 374 para detectar constantemente el punto de cruce por cero T_0 . Este punto de detección T_0 es utilizado como un comienzo para la medición de tiempo al proveer una señal de detección T_0 relacionada con el tiempo como un control de compuerta de reloj de señal de arranque 388 de la figura 3B que habilita a una compuerta de reloj 390 para dejar pasar pulsos de reloj de alta frecuencia desde el reloj 389 al contador N° 1 que, habiendo sido ajustado previamente a cero, comienza a contar los impulsos de reloj. Los impulsos de reloj deben tener una frecuencia suficientemente alta, por ejemplo, 2,5 megaciclos, para proporcionar la deseada resolución de tiempo. El uso de la señal de detección T_0 es a la vez para bloquear la compuerta T_0 374 y desbloquear una compuerta de detección de señal recibida 379 de manera que las señales subsiguientes serán interpretadas como la siguiente señal de receptor esperada. Con el aparato de superficie de la figura 3A comenzando ya la medición del tiempo en el arranque de la cuenta de impulsos de reloj, hágase ahora referencia a los circuitos del pozo de sondeo ilustrados en la figura 3B.

La señal T_0 generada por el generador T_0 364 es

demorada por los retardos D1 y D2 provistos por el circuito de demora 365, como se ilustra en la figura 3B, y empleados para abrir y cerrar respectivamente una compuerta de receptor 366 durante un intervalo de tiempo correspondiente al tiempo de llegada esperado de la señal recibida. Estos retardos comprensiblemente variarán con la distancia de diseño entre el transmisor y el receptor y se pueden determinar de modo bien conocido.

Después de propagarse en la formación, el pulso acústico transmitido desde el transmisor seleccionado es propagado a través del pozo de sondeo y la formación y recibido por el receptor seleccionado, que ha sido conectado previamente mediante el selector receptor 350 a un amplificador de ganancia variable ya ajustado 348. El selector y el ajuste de ganancia fueron estudiados anteriormente con respecto a la operación del receptor de código 340. La señal recibida se deja pasar por la compuerta de receptor 366 ahora habilitada como se describe precedentemente hacia el amplificador de potencia 368 previamente descrito y la compuerta de salida todavía abierta 342 donde es transmitido a los circuitos de superficie ilustrados en la figura 34.

Volviendo nuevamente a la figura 3A, la señal de receptor amplificada señalada aquí como R_x , es recibida en la superficie y reacondicionada en el receptor de señal 370 y amplificada por el dispositivo AGC 372, ya descrito, para

proporcionar una amplitud compensada por el cable. Es entonces habilitada a través de una compuerta detectora de receptor 379, previamente acondicionada por una señal de detección T_0 generada por el detector de cruce por cero 375 para dejar pasar la señal a los circuitos de detección 380 a través de 384.

Como se ilustra en la figura 3A, la llegada de la señal recibida R_x es detectada por la comparación simultánea de la amplitud de R_x en el detector de amplitud 380 con una amplitud de referencia T_0 suministrada por la lectora de pico 376 y el examen de R_x con un detector de cruce por cero 382 y un detector de pico 384. En la figura 9A se ilustra una señal R_x típica y tiene medios ciclos positivo y negativo que aumentan en amplitud durante los primeros medios ciclos. Como se ilustra en los circuitos de la figura 3A, se requieren tres condiciones para la detección: 1) se debe detectar un cruce por cero mediante el detector de cruce por cero 382, siendo demorada esta detección internamente por un retardo correspondiente aproximadamente a medio ciclo; 2) la amplitud subsiguiente de R_x en comparación por el detector de amplitud 380 debe exceder una pequeña fracción de la amplitud de referencia T_0 ; y 3) en R_x el pico de amplitud debe ser detectado por el detector de pico 384 dentro de la demora de medio ciclo siguiente a la detección de cruce por cero. Las tres indicaciones de detección son provistas a la compuerta AND (Y) 385,

de modo tal que la primera vez que ocurra una amplitud que exceda una amplitud de umbral referida a la amplitud T_0 que es precedida por un cruce por cero en la polaridad apropiada, y que es seguida por un pico de amplitud de la misma polaridad dentro de la demora de medio ciclo, se completa la detección.

Una indicación de detección de R_x es dada como salida desde la compuerta AND (Y) 385 y hace que el circuito de retención 386 retenga la amplitud de pico detectada por el detector de pico 384 para emplearla en ajustar la ganancia dentro del pozo para una subsiguiente recepción con la combinación transmisor-receptor en cooperación con el circuito de ajuste de ganancia dentro del pozo 334. Los ajustes de ganancia independientes se efectúan y almacenan en el circuito de ajuste de ganancia dentro del pozo 334 para su uso subsiguiente con los ciclos correspondientes. Además, estas ganancias son determinadas sobre la misma parte de la señal usada para la medición. Una ulterior descripción de esta técnica de ajuste automático de ganancia es provista en las solicitudes de patente estadounidenses Nos. 528.693, presentada el 2 de diciembre de 1974 y 528.694, continuada como 678.643, presentada el 20 de abril de 1976.

La salida de señal de detección R_x desde la compuerta AND (Y) 385 se usa para reponer la compuerta de señal de receptor 379, descripta previamente y, lo que es más im-

portante, para hacer que el control de compuerta de reloj 388 bloquee los impulsos de reloj provenientes del reloj 389. Estos impulsos habían sido habilitados antes hacia el contador 391 por medio de la compuerta de reloj 390 mediante la detección T_0 como se describió previamente. Así, la detección T_0 y R_x se emplean para causar la determinación de una cuenta de impulso de reloj correspondiente a la medición de tiempo para este ciclo dado. De este modo, el contador No. 1 ahora contiene el número de impulsos de reloj de 2,5 megaciclos correspondiente al tiempo de recorrido relativo a las detecciones de T_0 y de señal recibida. Las cuentas contenidas en el contador No. 1 pueden a su vez ser consideradas como la medición de tiempo individual correspondiente al ciclo de medición particular tal como m_1 para el ciclo 1, m_2 para el ciclo 2, etc. Los contenidos del contador No. 1 al completarse la cuenta pueden entonces ser transferidos a través de diversas compuertas a los dispositivos de utilización en los momentos ilustrados en la figura 3C, según lo provisto por los pulsos de control apropiadamente retardados C' del manipulador de ciclo 330.

Por ejemplo, cuando se deben registrar mediciones individuales para ser registradas para un procesamiento posterior, los pulsos de control retardados C'_1 a C'_4 hacen cada uno que el contenido del contador, correspondiente a m_1 a m_4 , respectivamente, sean habilitados por la compuerta 392B a un dispositivo grabador apropiado conectado en el punto C

tal como un grabador de cinta digital, no ilustrado.

Alternativamente, se usan pulsos de control de ciclo particulares para habilitar selectivamente el contenido del contador en la memoria y los circuitos de contador 24A para proveer una señal compensada, a circuitos similares en 24B si se desean dos señales compensadas de espaciado diferente. Estos circuitos efectúan las relaciones para combinar mediciones individuales ilustradas en la tabla III siguiente:

TABLA III

PULSO	MEDIC.	CONEXION		CONTENIDO DE LOS CONTADORES			
		CONT.	COMP.	DE	A	C No. 1	C No. 2
C1	m_1^*	M. 1	C. 2			$-m_1^*$	B
C1'	m_1	C. 1	M. 1 C. 2	m_1	$-m_1$	$-m_1^*$	SALIDA
C2	m_2^*	M. 1	C. 2			$+m_2^*$ $-m_1 - m_1^*$	
C2'	m_2	C. 1	M. 1 C. 3	m_2			$-m_2$
C3	m_3^*	M. 2	C. 3				$-m_3^* - m_2$
C3'	m_3	C. 1	M. 2 C. 2	m_3	$+m_3$	$+m_2^*$ $-m_1 - m_1^*$	
C4	m_4^*	M. 2	C. 3		A		$+m_4^*$ $-m_3 - m_2$
C4'	m_4	C. 1	M. 2 C. 3	m_4	SALIDA	REPOSICION	$+m_4^* + m_4$ $-m_3^* - m_2$

*medición de posición previa.

La tabla III precedente ilustra el ciclo general para cada medición m . Durante la porción primaria del ciclo, señalada aquí como subciclo C, los impulsos de reloj son acumulados en el contador No. 1 (C-No. 1) para la nueva medición a la profundidad actual d_j , por ejemplo, según se ilustra en la figura 2A y la 2B. La medición correspondiente m^* realizada en la posición d_I en el ejemplo ilustrativo, es transferida desde la memoria M a un segundo contador que ha sido condicionado previamente para este ciclo para contar en descenso o restar; o contar en ascenso o sumar; por ejemplo. Esto da lugar en la memoria para la medición actual de modo que la memoria solamente necesita tener una capacidad para el número de mediciones obtenidas entre d_I y d_j porque la medición actual m (en d_j) puede reemplazar a la medición m^* (almacenada en d_I).

El siguiente subciclo C' comienza después que se ha dispuesto un retardo lo suficientemente prolongado para permitir que se complete la medición actual; es decir, después que se ha recibido la señal esperada desde el pozo y detectado que C-No.1 ha dejado de contar. Entonces m es habilitado desde C-No.1 a la memoria M, reemplazando a la medición previa correspondiente m^* . Durante el subciclo C', m también es habilitada al segundo contador particular C-No.2 o C-No.3 para este ciclo. Como se ilustra para las dos mediciones compensadas A y B, cada m va en turno a una memoria

M y un contador adicional; por ejemplo, m_1 va a M-No.1 y C-No.2; m_2 a M-No.1 y C-No.3; m_3 a M-No.2 y C-No.2 y m_4 a M-No.2 y C-No.3. Así, cada M almacena dos m diferentes y los contadores C-No.2 y C-No.3 combinan dos m actuales y dos m^* almacenadas previamente.

Por el examen de las figuras 3A y 3B y la tabla III precedente, se observa fácilmente que las mediciones y los componentes del aparato sirven a usos múltiples. Para cada medición individual se emplean el mismo control, amplificadores, compensación de cable, dispositivo de ganancia automático, referencia de tiempo, circuitos de detección, reloj de alta frecuencia y contador de impulsos de reloj. Esto no solamente proporciona un aparato de menor costo sino que provee compensación para los errores sistemáticos de medición, como se explicará con más detalle en adelante. Por el momento, solamente se necesita apreciar que si una inexactitud de un componente hace que m_1 sea errónea, también serán erróneas m_2 , m_3 y m_4 por la misma magnitud y en la misma dirección. No obstante, de acuerdo con las ventajas de la presente invención, cuando se combinan estas mediciones sistemáticamente erróneas, estos errores quedarán compensados simplemente como un error sistemático inducido por inclinación de sonda, por ejemplo, es compensado.

Como se analizó previamente y se ilustra en la tabla III, diversas mediciones se usan típicamente dos veces,

primero con referencia a los receptores y luego a los transmisores. La lógica de orientación 132 provee las señales de modalidad de pulso de control que permiten transferir el contenido del contador No. 1 a las memorias o contadores con compuerta para realizar las combinaciones de las mediciones. Por ejemplo, al completarse el primer ciclo de medición m_1 que corresponde, como lo indica la tabla II, a la medición $T_3 - T_2$, según se ilustra en la figura 3A, el pulso de control de reloj Cl o, preferiblemente, una versión retardada del mismo, Cl', como en la tabla III precedente, se puede utilizar para habilitar el contenido del contador a la memoria en el circuito 24. Preferiblemente el pulso Cl anterior es usado para habilitar la salida de una medición previamente almacenada desde la memoria. Las relaciones de temporización para diversos estados (retardados de M, N, C y C', y combinaciones para las mediciones asociadas m_1 a m_4 ya han sido descritas con respecto a la figura 3C. Estas relaciones serán detalladas ahora con respecto a los componentes particulares del circuito.

La memoria es utilizada para retardar las mediciones m^* realizadas en una posición anterior tal como en d_I ilustrada en la figura 2, de modo que se pueden combinar con mediciones actuales que están en el contador No. 1. En la disposición preferida, el contenido del contador No. 1 es habilitado por la compuerta 392 a la memoria No. 1, al comple-

tarse el ciclo No.1 y el ciclo No.2, para almacenar las mediciones m_1 y m_2 . Después de haberse almacenado el número de ciclos completos correspondientes al movimiento del conjunto de transductores desde la posición ilustrada como d_1 a la posición ilustrada como d_2 en la figura 2A, estas mediciones están disponibles desde la salida de la memoria No.1 de manera que los pulsos de control provistos a la compuerta 396 habilitan la salida de estas mediciones previamente almacenadas para su utilización en el contador No.2. De esta manera, C1' haría que m_1 en d_1 y C2' de manera similar haría que m_2 en d_2 fueran habilitadas a través de la compuerta 392 a la memoria No.1 en disposición seriada. Este procedimiento de memorización de m_1 y m_2 en la memoria No.1 continúa hasta que por ejemplo en d_2 , las mediciones previamente memorizadas se hacen disponibles como salida de la memoria. En este momento el pulso de control C1' continuaría para proveer nuevas mediciones m_1 a la memoria, así como al contador No.2 a través de la compuerta 393.

Como ya se explicó, el contador No. 2 ha sido previamente acondicionado antes de C1 para interpretar la entrada subsiguiente en un sentido de cuenta descendente o negativo. Así, cuando C1 es suministrado a la memoria 1, en la compuerta de salida 396, m_1^* correspondiente a la medición m_1^* previamente almacenada en d_1 es habilitada al contador No. 2. Entonces, en una versión retardada de C1 señalada C1', la m_1 actual también es habilitada al contador No. 2 y a la

memoria. De esta manera, m_1^* en d_I y m_1 en d_L , son habilitados a, y combinados en, el contador No.2 en el mismo sentido; es decir, continuando la cuenta descendente para su cuenta combinada o sumados con signos negativos. Así, en el contador No. 2 en el final del ciclo C1 es $-m_1$ en $d_L - m_1^*$ en d_I . El siguiente ciclo de reloj C2 sumaría m_2^* en d_I por medio de la compuerta 396 al contador No.2, pero condicionado ahora a considerar la entrada en un sentido positivo o de cuenta ascendente. Entonces se almacenaría m_2 en d_L . Así, al final de un ciclo C2, el contador No. 2 contendría m_2^* en $d_I - m_1$ en $d_L - m_1^*$ en d_I . Durante el siguiente ciclo de reloj, la medición m_3 en la profundidad actual d_L sería habilitada por la compuerta 393 al contador No.2 todavía en su modalidad de suma de modo que el resultado se convierte en m_3 en $d_L + m_2^*$ en $d_I - m_1$ en $d_L - m_2^*$ en d_I . Luego, en un impulso de reloj sub siguiente conveniente, ilustrado aquí como C^* , el contenido del contador No.2 es habilitado en salida a través de la compuerta 397 al punto A como la señal compensada. Cuando la selección transmisor-receptor ha estado de acuerdo con la tabla II, la señal A compensada corresponde a una investigación de distancia T-R corta. El contador No.2 es subsiguientemente repuesto y se comienza el procesamiento de otra muestra de señal compensada correspondiente al siguiente incremento secuencial de profundidad, de la manera descripta precedentemente.

Para una investigación de distancia T-R larga B,

se puede utilizar los circuitos correspondientes 24B, ilustrados en la figura 3A con la memoria separada No.2 y el contador No.3 y las compuertas correspondientes. En 24B, estos componentes han sido señalados con los mismos números utilizados en 24A pero incluyen ahora una denominación adicional "A". Por supuesto, estas compuertas "A" son controladas por pulsos de control diferentes según se indica en la misma, dado que comprenden diferentes mediciones obtenidas en momentos diferentes. Como el diagrama de temporización de la figura 3C para la temporización de los circuitos ilustrados en la figura 3A, la tabla III compendia las operaciones de ambos circuitos 24A y 24B en términos de los pulsos de control, sentidos y contenidos de los diversos contadores y memorias ilustrados en la figura 3A y empleados para derivar las dos señales compensadas, A y B.

Se comprenderá que cuando se desean A y B a la vez, las memorias 1 y 2 se pueden combinar fácilmente dado que sus funciones de entrada y salida se producen en pulsos de control separados y las mediciones m_1 a m_4 se pueden almacenar en ese orden y recuperar en ese mismo orden. Una memoria apropiada se describe en la solicitud de patente estadounidense No. Serie 571.497 por Y. Durand, presentada el 25 de abril de 1975 (una continuación de la solicitud No. 384.228 presentada el 31 de julio de 1973). Cada vez que una nueva medición, como por ejemplo, m_1 está pronta, la medición más

antigua correspondiente es recuperada del almacenamiento de manera que la medición más nueva pueda reemplazar a la medición más antigua y la memoria pueda ser manejada en una base de reemplazos, por lo cual se conserva la capacidad de la memoria.

Se reconocerá fácilmente la manera en que las mediciones adicionales m_2 a m_4 se pueden obtener y utilizar conforme a la descripción de m_1 precedente, siendo provistas la lógica de control y las definiciones para obtener estas mediciones por la tabla II y siendo provista la lógica de procesamiento por la tabla III. Debe comprenderse que la invención puede ponerse en práctica proveyendo una única medición compensada, ilustrada aquí como A ó B, empleando por lo tanto solamente una única memoria o contador adicional aparte del contador No. 1. En este caso, se pueden combinar dos mediciones tal como fueron obtenidas y solamente almacenar el resultado. Las dos mediciones actuales no se necesitarían almacenar.

También debe comprenderse que el procesamiento provisto por los circuitos 24A y 24B se pueden proveer por un microprocesador digital con su memoria normalmente asociada en reemplazo de las memorias 395 y 395A y sus registros aritméticos en reemplazo de los contadores 394 y 394A, utilizando su programa de control los impulsos de control para la realización de las transferencias indicadas hacia y desde la memoria y los registros. Como se manifestó previamente, es-

tos procedimientos se pueden proveer también utilizando la salida C grabada en un grabador de cinta digital que es subsiguientemente producida como una entrada a una computadora digital de propósito general y procesada con un programa de control equivalente.

Haciendo ahora referencia a la figura 4A, se ilustra en la misma un soporte de patín de transductores que está inclinado en relación con la posición deseada de contacto con la pared paralela a la pared del pozo de sondeo. Tal inclinación puede deberse a una variedad de problemas mecánicos asociados con la vinculación entre patín y mandril, insuficiente presión de pared lateral, etc. Desafortunadamente, cuando se produce este problema de inclinación, puede no reflejarse en las mediciones de pinzas de vinculación o de presión. Sin embargo, de acuerdo con una modalidad característica de esta invención, no solamente se puede detectar la inclinación, sino que se puede compensar su efecto.

El conjunto de transductores ilustrado en la figura 4A está dispuesto como se supuso para su ilustración en las figuras 2A y 2B; es decir, el par de receptores T_1 y T_2 está en la parte superior y el par transmisor T_3 y T_4 está en la base del patín.

Como se señala en la tabla I ya descripta, se realizan cuatro mediciones entre diferentes combinaciones de estos transductores. Se emplean dos modalidades binarias M y

N para codificar la selección de transmisores y receptores que controla los trayectos de señales. De acuerdo con una ventaja del novedoso conjunto de transductores, la compensación por las diferencias de longitud del trayecto en el pozo de sondeo debidas a inclinación o socavones por la acción del agua en el pozo de sondeo entre los transductores próximos y los alejados en el par, es provista invirtiendo el sentido de las mediciones de los transductores próximos y los alejados; es decir, el transductor alejado se convierte en el transductor próximo y vice versa. Esta capacidad es provista utilizando un par de transmisores en el mismo sentido que un par de receptores se emplea para proveer uno de dos conjuntos de mediciones de transductores. Las figuras 4A y 4B ilustran la manera de obtener esta compensación para el tipo de patín y las figuras 4C y 4D para los conjuntos del tipo que no son de patín.

Considérense los trayectos ilustrados en la figura 4A y la tabla II. Las señales salientes de T_3 recorren el trayecto A a través del pozo de sondeo hasta la formación y luego hacia los receptores a lo largo del trayecto B, llegando a T_2 por el trayecto del pozo de sondeo D y a T_1 por el trayecto adicional de la formación C y el trayecto del pozo de sondeo E. Si los trayectos del pozo de sondeo E y D son iguales, las diferencias entre las señales de T_2 y T_1 serán esencialmente una medición del recorrido a través del trayecto de la formación C, correspondiente al intervalo entre T_2 y T_1 .

Sin embargo, si el trayecto D es sustancialmente diferente del trayecto E, esto distorsiona la medición T-RR corta que se cree corresponde al trayecto de formación C como en el caso ilustrado en el cual D es más grande que E. La medición del tiempo de recorrido de corto espacio m_8 iguala a $m_2 - m_1 = C + (E - D)$ porque los trayectos comunes A y B se sustraen. Idealmente, $E = D$ y no habría error. Sin embargo, en el caso ilustrado precedentemente, el error iguala a su diferencia, $E - D$, que es negativa, indicando que el tiempo de recorrido será demasiado corto.

También estaría presente un error para la medición m_9 efectuada en relación con T_4 , dado que las longitudes de trayecto de pozo de sondeo H y J también son desiguales. Aquí, $m_9 = m_4 - m_3 = I + (J - H)$, dado que los trayectos comunes F y G se restan. Como se ilustra, H es más grande que J, haciendo que el error debido a su diferencia sea también negativo, e indicando este tiempo de recorrido también como demasiado corto.

A pesar de la separación en trayectos ilustrada en la figura 4A, los trayectos de formación C e I para el intervalo de formación entre T_2 y T_1 y los trayectos del pozo de sondeo D y H en T_2 son respectivamente casi iguales, como lo son E y J en T_1 . Aún las formaciones que varían regularmente en propiedades abústicas radialmente desde la pared del pozo de sondeo puede suponerse que siguen teniendo trayectos en

el pozo de sondeo al receptor casi idénticos para las señales recibidas en las distancias T-RR largas o cortas. Por consiguiente, tanto la distancia corta m_s con el uso de T_3 como la distancia larga m_l con el uso de T_4 puede esperarse que tengan el mismo error.

Haciendo referencia a la figura 4C, considérese la naturaleza del error cuando se mueve el conjunto de transductores desde la posición (a), cuando el par de receptores está adyacente al intervalo I, hasta la posición (b), en la que el par transmisor está adyacente al intervalo I. Los trayectos del pozo de sondeo para la posición (a) están señalados en la figura 4A y para la posición (b) por la misma letra pero con un signo prima; es decir A y A' en T_3 , respectivamente. Con el intervalo de interés I entre T_3 y T_4 , la medición de la distancia corta para la posición (b) es $m'_s = m'_3 - m'_1$ empleando T_2 y la medición de distancia larga es $m'_l = m'_4 - m'_2$ empleando T_1 . Haciendo referencia a la tabla I, se puede observar que el error para m'_s y m'_l es $F' - A'$. Si F' es mayor que A' , el error es positivo y así en el sentido opuesto a partir de los errores en la posición (a). Como lo demostrarán las figuras 4B y 4D, el error es también de la misma magnitud.

Considérese la figura 4B para el caso de patín ilustrado en la figura 4A, y recuérdese que los errores de la posición (a) fueron (E-D) o (J-H); se puede ver fácilmente

que dado que el ángulo de inclinación es el mismo, los trayectos E o J en T_1 para la posición (a) tomada en relación con el trayecto A' en T_3 para la posición (b) es proporcional a los trayectos D o H en T_2 para la posición (a) tomada en relación con F' en T_4 para la posición (b) debido a la similitud geométrica. Así, $(E - D) = (F' - A')$ y en efecto, el ángulo de inclinación χ , puede ser computado. Si m_g (om_g) es menor que m'_g (o m'_g), el caso de inclinación ilustrado se presenta cuando el par superior de los transductores del mismo tipo está más próximo a la pared que el par inferior. Si m_g es mayor que m'_g , se indicaría el caso inverso. Esto será apreciado más en detalle por la figura 4D.

En la figura 4D, los trayectos están ilustrados con los transductores superpuestos para indicar las diferencias en los trayectos paralelos A' y F' y los trayectos E (o J) y D (o H). Se puede observar que cada trayecto está relacionado con el ángulo de inclinación χ , la distancia desde el punto de contacto con la pared del conjunto de transductores, y el ángulo de refracción θ . Dado que λ y β son constantes y la distancia que separa a los transductores iguales es la misma (ilustrada aquí como I) se puede demostrar que la diferencia entre las longitudes de trayectos para transductores iguales también es la misma, tal es así que $D - E$ (o $H - J$) = $F' - A'$.

Por lo que antecede, se puede observar que las

mediciones entre, primero, el par de receptores y luego el par de transmisores invierte el sentido del error de inclinación introducido en estas mediciones. Los efectos de la forma del pozo de sondeo en lugar de la inclinación se ilustra en las figuras 5A y 5B. En la figura 5A se ilustra en sección horizontal la posición ideal de un transductor T; es decir, centrado en un pozo redondo. El trayecto 1 desde un transmisor y el trayecto 2 a un receptor son de igual longitud como lo son los trayectos alrededor de la circunferencia del transductor. Esto hace que las energías transmitidas irradiadas en diferentes direcciones sean recibidas esencialmente al mismo tiempo y así refuerzan una a la otra para proporcionar la mejor amplitud y estabilidad de fase de la señal.

La figura 5B ilustra al mismo transductor T paralelo a la pared del pozo de sondeo como en la figura 5A (no inclinada) pero ahora el pozo de sondeo no es circular, pareciendo su forma a la de dos cilindros con diferentes diámetros y centros no coincidentes que se intersectan. Esta forma se encuentra típicamente en los pozos direccionales. Puede observarse fácilmente que los trayectos de pozo de sondeo 5 desde un transmisor y 6 hasta un receptor no solamente varían en longitud sino frecuentemente ni siquiera intersectan al transductor. Esto da como resultado una notable reducción de la energía transmitida acoplada a la formación y una destructiva

relación fuera de fase para las señales que llegan al receptor, dado que una señal que recorre por el trayecto 7 llegará mucho antes que por el trayecto 8, por ejemplo. Por consiguiente, se experimentan grandes reducciones en las amplitudes bajo estas condiciones.

En grado menor, también ocurre el problema de la señal precedente en los casos de inclinación, dado que en esas situaciones es imposible que todos los transductores estén en la posición ideal. Por ejemplo, como se ilustra en la figura 4C, habría presentes diversos grados de excentricidad aun en un pozo redondo, para cada uno de los cuatro transductores. De este modo, las mediciones m_2 y m_3 serían iguales bajo las condiciones ideales de la figura 5A, pero desiguales bajo el pozo fuera de redondez en las condiciones de la figura 5B o en la excentricidad asociada con la inclinación de la sonda. De esta manera, esta comparación de diferentes mediciones en diferentes profundidades puede realmente detectar diferentes condiciones de ambiente operativo para el transductor tal como las causadas por la inclinación de la sonda.

En los conjuntos T-RR-T del arte anterior, los transmisores están ubicados en los extremos del conjunto. Así, si la inclinación hace descentrar un extremo, los dos transmisores muy separados funcionan bajo posiciones sustancialmente diferentes, aún en un pozo redondo.

Por comparación, los mismos transductores en el conjunto TT-RR aquí descrito están espaciados estrechamente y funcionan ventajosamente en casi las mismas posiciones con respecto a la pared del pozo de sondeo.

Como se mencionó previamente, es conveniente, particularmente en las investigaciones acústicas, tener distancias T-R largas para superar los efectos, por ejemplo, de la alteración de los esquistos. Se desea lo mismo en los dispositivos de patín y en otros tipos de mediciones tales como alta frecuencia, investigaciones electromagnéticas, etc.

La figura 6A ilustra un conjunto compensador del pozo de sondeo del arte anterior. Se muestra que la distancia T-R ocurre dos veces, primero desde T_1 y segundo desde T_2 al punto medio del conjunto entre R_1 y R_2 . Para comparar, la figura 6B ilustra el conjunto compensador de acuerdo con la presente invención, aplicado al patín de pared lateral. Se emplean el mismo espacio o intervalo de investigación al receptor y longitud de patín en ambas figuras, 6A y 6B. Sin embargo, para la misma longitud de conjunto de transductores, el novedoso conjunto ilustrado en la figura 6B provee un aumento sustancial en la distancia T-R aun para la más corta investigación T-R. Para la investigación T-R más larga, esta distancia es toda la longitud del conjunto, menos solamente la mitad del vano. En contraste, la distancia T-R máxima del conjunto del arte anterior es solamente la mitad de toda la

longitud del conjunto. Por la novedosa superposición de las distancias T-R larga y corta, el conjunto ilustrado en la figura 6B, construido de acuerdo con esta invención, provee no solamente distancias T-R más largas para la misma longitud de conjunto, sino que proporciona dos distancias T-R contenidas dentro de esta longitud. El vano típico entre transductores iguales para las mediciones de tiempo acústicas es de 30 ó 60 centímetros, mientras que las distancias T-R más cortas son por lo menos de 1,20 metros, pero preferiblemente de 1,80 ó 2,40 metros. Así, la reducción en longitud obtenida con el conjunto TT-RR de acuerdo con la presente invención está en el orden de 1,80 metros o más tal como lo ilustra gráficamente la figura 7A o la 7B.

Haciendo referencia a las figuras 7A y 7B, se ilustran características adicionales de la invención. En la figura 7A, se ilustran conexiones de circuito y el uso de los transductores direccionales en el conjunto compensador del tipo del arte anterior. A fin de emplear receptores direccionales, se debe recurrir a dos conjuntos separados de pares de receptores, R_n y R_f para recibir señales desde la dirección T_u , el transmisor superior, y R'_n y R'_f para las señales desde T_l , el transmisor inferior. Se agrega a la complejidad obligada por los dos receptores extra el problema de ruido electrónico acostumbrado asociado con las conexiones entre los circuitos pozo arriba por sobre los transductores hasta los

transductores del fondo. Para el transmisor inferior, por ejemplo estas conexiones deben tendidas a través o alrededor de los transductores superiores. Generalmente hay un generador de alta tensión ubicado próximo a uno de los transmisores que aquí no se ilustra pero que está por sobre T_u . En cualquier caso se debe tender un conductor de alta tensión, aquí T_l , pasando por los receptores hasta el transmisor más alejado. Los pulsos de alta tensión empleados típicamente para activar tales transductores deben estar blindados a fin de impedir la diafonía eléctrica en los receptores o conductores de receptores R_n , R'_n , R_f , y R'_f , y aun así la diafonía puede hacerse grave.

Al comparar la figura 7B que ilustra el conjunto de acuerdo con la presente invención con el conjunto de la técnica anterior de la figura 7A descripto precedentemente, es fácilmente evidente la forma en que se pueden utilizar las ventajas del conjunto inventivo para superar esta conexión eléctrica y el problema de la diafonía. Dado que ambos transmisores están juntos y pueden ser ubicados ventajosamente sobre el mismo lado del par de receptores, no es necesario que pasen conductores de alta tensión próximos a los receptores o a los componentes electrónicos de los receptores. El generador de alta tensión puede estar ubicado debajo de los receptores y sus componentes electrónicos asociados. De este modo, solamente se necesita conectar desde arriba alimentación de corrien

te continua de baja tensión relativamente. Esta disposición provee buena aislación de la señal eléctrica y libertad de diafonía en las señales de receptor de nivel mucho más bajo.

Además, la novedosa disposición de transductores permitirá el empleo de transmisores y receptores direccionales sin la necesidad de agregar un par extra de transductores para proveer la necesaria directividad. Dado que ambos receptores están sobre el mismo lado de ambos transmisores, cada receptor y transmisor tiene un requerimiento de directividad único, no necesitando transductores adicionales como en el conjunto del arte anterior. Aun más, dado que se emplean siempre los mismos pares de transductores, no se producirán diferencias en pares adicionales de los transductores que de otro modo se necesitan para obtener directividad en ambas direcciones, que puedan afectar la medición.

Una ventaja adicional del conjunto del tipo TT-RR es su capacidad de compensar los efectos de refracción. Como es evidente por el conjunto compensador del arte anterior ilustrado en la figura 7A, las señales se aproximan a los receptores desde diferentes direcciones e inclinaciones. Esta inclinación es debida al bien conocido efecto de refracción que da el aspecto de que el trayecto de la señal del pozo de sondeo intersecta la formación a un ángulo algo menor de 90° , dependiendo el ángulo real del contraste de la velocidad de la formación/fluido de pozo de sondeo.

En la figura 7A se ilustran dos pares de receptores R_n y R_p y R'_n y R'_p respectivamente, para dar lugar al efecto de refracción. Cada receptor está apuntado con su dirección más sensible a lo largo de un trayecto inclinado del pozo de sondeo en particular. Cada par está desplazado para coincidir más eficazmente con la posición del intervalo de la formación simultáneamente bajo investigación entre los dos pares. Este desplazamiento se puede denominar un desplazamiento de refracción y determina el reducido espaciado entre los dos receptores ilustrado en la misma que se utiliza para tomar el lugar del acostumbrado receptor único para recepción dirigida desde arriba y desde abajo; es decir entre cualquiera de R_n y R'_p o R'_n y R_p . Desafortunadamente, el desplazamiento de la refracción varía no solamente con el tamaño del pozo sino con la velocidad de la formación, de modo tal que un espaciado fijo entre estos dos receptores se puede diseñar sólo para un desplazamiento correspondiente cuando más a un tamaño de pozo de sondeo, velocidad de la formación, etc. nominal.

Sin embargo, de acuerdo con esta invención, las variaciones en el desplazamiento de la refracción se pueden compensar variando la distancia de retardo o número de incrementos de profundidad entre mediciones realizadas entre los diferentes pares de transductores del mismo tipo. Como se puede observar con respecto a la figura 7B, el par inferior de transductores del mismo tipo observa al intervalo de la

formación ligeramente por sobre las profundidades reales del pozo de sondeo para estos transductores mientras que el par superior observa los intervalos ligeramente por debajo de sus profundidades reales. Así, se podrá proveer fácilmente la compensación del desplazamiento por refracción ajustando simplemente el retardo entre mediciones realizadas entre estos pares antes de su combinación, como por ejemplo, disminuir el retardo para desplazamientos más grandes entre la posición real y la posición efectiva de un transductor causados por un mayor tamaño del pozo de sondeo, superiores velocidades de las formaciones, etc.

Una característica adicional de la presente invención se puede observar comparando los intervalos de formación investigados, tal como se ilustran en las figuras 7A y 7B. En los conjuntos compensadores del arte anterior ilustrados en la figura 7A solamente se investiga el intervalo I centrado aproximadamente su punto medio. Así, esto excluye toda posibilidad de investigar el intervalo crítico entre este punto y el fondo del pozo. Sin embargo, como se puede observar en la figura 7B, el intervalo inferior I_{ℓ} sobre el conjunto TT-RR yace muy próximo al fondo del pozo y se puede investigar mediante mediciones efectuadas entre el par de transductores del fondo. Si bien no compensadas, se pueden efectuar investigaciones de T-R corta y larga.

Los circuitos para proveer la medición Δt des-

de los intervalos superior e inferior, Δt_u para I_u y Δt_l para I_l se ilustran mediante líneas de rayas en la figura 3A. Por ejemplo, las mediciones m_1 y m_2 habilitadas a la memoria No. 1 por vía de la compuerta 392 también se pueden habilitar al contador ascendente/descendente No.2A ilustrado en 398 en el circuito 24A. Este contador, como el contador ascendente/descendente No. 2 ilustrado en 394, está dirigido por pulsos de orientación desde la lógica de orientación 332 para contar en descenso o cargar con un signi negativo a m_1 durante $C1'$ y contar en ascenso o sumar con un signo positivo a m_2 durante $C2'$. Así, al final de $C2'$, el contenido del contador No. 2A es $m_2 - m_1$ para el intervalo actualmente entre T_2 y T_1 o Δt_u . Dado que m_2 y m_1 se referencian ambos al transmisor de corta distancia T_3 , éste es un Δt_u de corta distancia T-R como se puede observar en la figura 2A en la posición I. La temporización y la orientación se pueden observar en la figura 3C.

Una distancia T-R larga Δt_u es provista de modo similar con el uso de las mediciones restantes en otro contador ascendente/descendente No.3A ilustrado en 398A de la figura 3A. Este contador, orientado como el contador ascendente/descendente No.3, con entrada m_3 y m_4 desde la compuerta 392A en el circuito 24B provee $m_4 - m_3$ para el intervalo actualmente entre T_2 y T_1 o Δt_u como se puede observar en la figura 2B en la posición I.

Para la posición L, y el intervalo inferior I_l ,

la distancia T-R corta Δt_c está provista por el contador ascendente/descendente No.2B en 399, orientado como el contador No.2 con entrada m_1 y m_3 desde la compuerta 393 para proveer m_3-m_1 ; y para el Δt_l de larga distancia T-R, por el contador ascendente/descendente No. 3B en 399A orientado como el contador No. 3 con entrada m_2 y m_4 desde la compuerta 393A en el circuito 24B. Así, se pueden proveer investigaciones Δt de distancias T-R corta y larga para los intervalos superior e inferior ilustrados en la figura 7B.

Aunque ni Δt_u ni Δt_l es compensado por el pozo de sondeo, obviamente son útiles para registrar los intervalos de pozo de sondeo respectivamente presentes exactamente debajo de la tubería de revestimiento y en el fondo del pozo de sondeo. Cuando se usan en conjunto, son útiles como indicadores de compensación de pozo de sondeo, dado que su diferencia indica el grado de inclinación de la herramienta; por ejemplo, $\Delta t_u < \Delta t_l$ corresponde a la ilustración de la figura 4C.

Haciendo referencia a las figuras 8A y 8B se ilustran en ellas circuitos alternativos para una sección de circuito de compensación de señales 24, descrito previamente en relación con la figura 3A. Como se mencionó anteriormente en ocasiones es ventajoso comparar, así como combinar, las mediciones. Comparando diferentes mediciones que deben ser sustancialmente iguales, por ejemplo, mediciones entre diferen-

tes pares de transmisor-receptor en el mismo intervalo del pozo de sondeo, se pueden detectar determinadas condiciones operativas del pozo de sondeo que hacen variar las mediciones. Si las mediciones son comparables en un grado razonable, sus diferencias se pueden atribuir a variaciones estadísticas de tal modo que se pueden combinar para producir una medición mejorada o compensada. Sin embargo, si la comparación revelara una diferencia no razonable, puede ser una indicación de una condición operativa que causa el error.

Por consiguiente, un circuito ilustrado en la figura 8A permite, al ocurrir un pulso de profundidad, habilitar en 181 la medición retardada m^* correspondiente a una combinación de posición y transductor previos disponible en la salida de la memoria, como se ilustra en la figura 3A, para ser pasada al comparador 182. De manera similar, la medición actual m directamente comparable a la medición memorizada m^* también es entrada al comparador 182.

Si, por ejemplo, la entrada retardada corresponde a m_2 en d_j y la entrada directa corresponde a la medición m_3 en d_j , como se ilustra en la figura 2C, es de esperar que bajo condiciones normales las mediciones serían sustancialmente iguales. Sin embargo, si ha ocurrido un error de detección en una de las mediciones, se observará una diferencia sustancial.

Como se ilustra en la figura 8A, una diferencia

no razonable proporciona una señal de no comparación, que se puede utilizar para indicar un problema de detección, tal como un salto de ciclo. Sin embargo, si la comparación es razonable, dicha indicación se emplea para habilitar las mediciones m_2 y m_3 al sumador 183 para combinación para producir una medición promedio compensada a partir de las mediciones.

Los circuitos alternativos ilustrados en la figura 8B son más apropiados para indicar la compensación de pozo de sondeo requerida para compensar mediciones de tiempo o amplitud. La memoria retardada y las mediciones directas (actuales) son habilitadas a, y comparadas en, 182A. Si la comparación es razonable, se pueden entonces combinar las dos mediciones según lo descrito precedentemente. Sin embargo, si la comparación no es razonable, esta indicación puede ser utilizada para habilitar, por medio de las compuertas 181C y 181D las mediciones al amplificador de diferencia 183A, cuya salida es sumada en 184 y empleada para indicar el error relativo en las dos mediciones.

Los circuitos ilustrados en las figuras 8A y 8B también se pueden usar para otros fines compensatorios. Como se describió previamente con respecto a las figuras 4C y 5B, la condición de inclinación de la herramienta produce diferentes grados de excentricidad para diversos transductores y las correspondientes diferencias en los tiempos de llegada y las mediciones de amplitud, que serán indicadas por el indicador

de medición relativa 184A. Si la inclinación da como resulta do un par de transductores superior que está más descentrado que el par inferior, sería de esperar que la más alta o sea la retardada por la memoria de las mediciones fuera más corta en el tiempo y con menor amplitud en relación con la medición directa. Así, la diferencia entre las mediciones retardada y directa proveerá una indicación negativa. Recíprocamente, si el par de transductores inferior está más descentrado, la indicación sería positiva. Esto se observará por los siguientes ejemplos.

Considérense las mediciones m_2 y m_3 , definidas como se ilustra en la tabla II, tomada s cuando sus posiciones conocidas a lo largo del pozo de sondeo corresponden al mismo intervalo de la formación. Esto tiene lugar cuando el conjunto de transductores es movido, por ejemplo, de la posición d_I a la d_J en la figura 2C. En efecto, el transductor T_2 reemplaza a T y T reemplaza a T . Los trayectos de formación B y C para m_2 en d_I (aquí m_2^*) son sustancialmente iguales al trayecto G para m_3 en d_J (aquí m_3), y cualesquiera errores entre m_2^* y m_3 se deberán a diferencias en los trayectos comparables A y F en combinación con E y H, como se puede observar por las figuras 4A ó 4C. Así, la diferencia $m_2^* - m_3$ equivale a $A + (B + C) + E - F - G - H = (A - F) + (E - H)$, suponiendo que $B + C = G$.

Como se ilustra en las figuras 4A ó 4C, A es

menos que F y E es menos que H, de modo que las diferencias (A - F) y (E - H) no se anulan, sino que son de signo igual (ambas negativas aquí) y se combinan para indicar la naturaleza del error entre estas dos mediciones y su magnitud.

Si bien la discusión precedente se ha dirigido a las mediciones acústicas, son posibles métodos y aparatos adicionales dirigidos a otros tipos de mediciones, tales como mediciones de alta frecuencia, electromagnéticas, etc. y serán descriptos. Primeramente se examinarán algunas diferencias inherentes a las técnicas de medición utilizadas en estas aplicaciones adicionales.

La figura 9A ilustra el tipo de detecciones empleado típicamente en las mediciones del tiempo de recorrido acústico u otras mediciones, donde el período de señal o longitud de onda es largo en comparación con la resolución requerida. La señal se propaga normalmente como un pulso que tiene oscilaciones positivas y negativas comenzando con su llegada y una señal relativamente reducida antes de ese momento. Así, como se ilustra en I y II, correspondiente a las señales de recepción que se podrían esperar respectivamente en los receptores próximos y alejados, hay una señal relativamente reducida antes de su llegada. A propósito, se proveerá al medio ciclo primero y relativamente más débil una polaridad opuesta a la usada para la detección. Se emplea una amplitud de umbral de detección diferente de cero para evitar ruido y

en la polaridad opuesta a la del primer medio ciclo. La detección corresponde al punto T_x cuando la amplitud oscila primero más allá de este umbral.

Así, para I en la figura 9A, la detección en el primer receptor ocurre, como se ilustra, en T_{x1} y la detección correspondiente para II en T_{x2} . Estos puntos de detección están relacionados en el tiempo entre sí como por ejemplo cuando T_{x1} comienza en un intervalo de tiempo, y T_{x2} se detiene en el intervalo de tiempo para el caso de mediciones diferenciales, o en el caso de mediciones secuenciales individuales, T_x se puede hacer relativo a algún tiempo anterior tal como T_0 . De esta manera, la medición m_1 en III, correspondiente a la señal recibida en T_2 , comenzaría en T_0 y se detendría en T_{x1} mientras que, para T_3 y m_2 en IV, la medición comenzaría en el tiempo de referencia T_0 y se detendría en T_{x2} . De esta manera, la diferencia $m_2 - m_1$ provee la medición de intervalo Δt según se ilustra en V.

En las mediciones electromagnéticas, las señales recorren las distancias a velocidades significativamente más elevadas y sus períodos son muy cortos en comparación con la resolución de tiempo requerida. Por consiguiente, la detección de fase se emplea habitualmente en lugar del método de cruce por cero o de umbral ilustrado en la figura 9A. La relación de fase se puede medir entre señales recibidas de los receptores próximos y alejados para obtener una medición dife

rencial o si se prefieren mediciones individuales, a una señal de referencia conocida de la misma frecuencia. Como se ilustra en I y II de la figura 9B, las dos señales son ligeramente desplazadas como se observará comparando los puntos de detección de cruce por cero en III para la señal en la línea I con IV para la señal en la línea II. Así, como se ilustra en la línea V, el desplazamiento de fase ϕ entre los puntos de cruce por cero ilustrados corresponde en forma muy parecida a la medición Δt ilustrada en la figura 9A. Los circuitos particulares para realizar las mediciones de fase diferenciales ilustradas precedentemente se encontrarán en la patente estadounidense No. 3.849.721 a nombre de Calvert ya mencionada y en la patente estadounidense No. 3.944.910 emitida el 16 de marzo de 1976 a nombre de Rama Rau.

Para una ilustración de una aplicación del novedoso conjunto de transductores a una medición electromagnética, hágase ahora referencia a la figura 10. El novedoso conjunto de compensación TT-RR adopta la forma de antenas de transmisor T y receptor R sostenidas sobre el patón de la pared lateral 37. Como en el caso de la modalidad de realización acústica ya descrita, se identifican dos separaciones entre los grupos de transductores del mismo tipo, aquí I_u entre receptores T_1 y T_2 y I_r entre los transmisores T_3 y T_4 . Para mediciones electromagnéticas, I_u y I_r serán del orden de algunos centímetros. Se pueden proporcionar dos distancias T-R respectiva-

mente 2 y 4 veces I sobre patines de longitud razonable. Las distancias reales varían, como lo indica la división entre T y T , dependiendo de la frecuencia empleada en la medición. Esta relación frecuencia-distancia es descripta ulteriormente en las patentes precitadas. Cuando se emplea la detección de fase, debe adoptarse cuidado de que las distancias proporcionen la base correcta para la comparación de fase. Por ejemplo, las combinaciones de frecuencias y distancias que dan como resultado diferencias de fase de cruce por cero se deben evitar.

Gran parte de los circuitos ilustrados en la figura 10 se describe en las patentes de Calvert y Rau ya mencionadas, y no se detallarán aquí. Se han agregado disposiciones para permitir la realización de mediciones T-R individuales en lugar de las acostumbradas mediciones diferenciales R-R. Esto se realiza proveyendo una señal relacionada con el transmisor para usarla como una señal de referencia en lugar de una señal de receptor perdido. Las señales de control de modalidad M y N ya descriptas en conjunto con la modalidad de realización acústica son igualmente utilizadas en la figura 10, en este caso para orientar las señales de transmisor y receptor y los circuitos de procesamiento. Estas señales de control pueden estar provistas por generadores de onda cuadrada diseñados convencionalmente 60A y 60B.

Como se ilustra en la figura 10, las señales de transmisor con conmutadas desde el oscilador de alta frecuen-

cia 45 mediante el conmutador 47 controlado por la modalidad M a cualquiera de los conductores 47A o 47B y transmitidas respectivamente a T₃ o T₄. Simultáneamente, las señales también son retardadas y atenuadas para simular las condiciones de la formación para distancias T-R cortas y largas mediante retardos D_S en 40A' y D_λ en 40B y conmutadas por el conmutador 41 para servir como entrada de referencia 41A al mezclador 50.

Las señales transmitidas se propagan a través de la formación y son recibidas en T₂ y T₁, pero solamente es conmutada una de estas señales al mezclador 51 dependiendo del conmutador 43 controlado por N. La medición de diferencia de fase se realiza usando circuitos mezcladores 48 y 49, detectores de cruce por cero 71 y 72 y flip-flop de inversión de signo 77 con el integrador 78 para producir en 78A la medición de fase o de tiempo de recorrido para la combinación T-R en particular. Los cambios ulteriores en las modalidades M y N dan como resultado una secuencia de tales mediciones, realizada cada una en la manera precedente utilizando los retardos D_S y D_λ para proporcionar las gamas preferidas de diferencias de fase para la correspondiente distancia T-R. Las cuatro combinaciones T-R ya han sido descriptas en conjunto con M y N en relación a la tabla II.

En lugar de utilizar el enfoque de señal de referencia de transmisor como una forma de comparación de fase, como lo ilustran los circuitos 40, 41 y 48, se pueden emplear

circuitos alternativos 44 a 44E. Como lo ilustran las líneas de rayas en la figura 10, se puede utilizar un oscilador de 100 kHz 44 en conjunto con el oscilador de alta frecuencia 52 para proveer pulsos de reloj de 100 kHz sincrónicos 44A que son entonces retardados por el retardo D_g para proveer la señal 44B o por el retardo D_e para proveer la señal 44C. Estas señales retardadas selectivamente son entonces encaminadas por el conmutador 44D según lo determina el pulso de control M de manera que se puede utilizar la salida 44E para reemplazar los pulsos similares salidos normalmente en 71A desde el detector de cruce por cero 71.

Como lo revelan las patentes de Calvert y Rau, es beneficioso también medir, junto con la diferencia de fase o el tiempo de recorrido, la amplitud o atenuación de las señales electromagnéticas. Así, es conveniente un segundo conjunto de mediciones correspondientes a las amplitudes pico. Estas se obtienen simultáneamente con las mediciones de fase individuales mediante los circuitos 80 a 90 ilustrados en la figura 10 de modo que se provee en 90A una secuencia continua correspondiente de las mediciones de amplitud para cada combinación T-R.

Dado que las mediciones de combinación T-R son obtenidas a diferentes profundidades, se puede emplear una memoria y circuito de compuerta similar a lo ilustrado en la figura 3A. Dado que la compensación proporcionada por el empleo

del conjunto TT-RR se aplica a las mediciones del tipo de tiempo o de fase y a las mediciones del tipo de amplitud o atenuación, es deseable que estas mediciones de diferente tipo, teniendo cada tipo dos distancias T-R diferentes, sean provistas de compensación.

Puesto que las señales provistas en 78A y 90A pueden aparecer como secuencias de niveles de tensión analógicos, pueden ser convertidas de secuencias de mediciones analógicas a digitales mediante un convertidor A/D 94 sincronizado para multiplexar la secuencia de entrada usando el multiplexor 93. La sincronización de profundidad es provista para los fines de retardo de memoria mediante pulsos de profundidad 92, y la sincronización de secuencia de medición es controlada por pulsos de control M y N. La salida digital resultante es entonces habilitada desde el convertidor A/D a los circuitos de compuerta, memoria y contador individuales 24C a 24F, cada uno construido como se ilustra en la figura 3A para los circuitos 24A y 24B. Estos circuitos de compensación dan salida respectivamente a investigaciones primera y segunda que representan diferentes distancias transmisor a receptor correspondientes a la salida A y la salida B ya descritas con respecto a los circuitos 24A y 24B. No obstante, en este caso, las investigaciones representan mediciones de fase y atenuación separadas como se ilustra en 96 a 99 de la figura 10.

Haciendo ahora referencia a la figura 11, se

ilustra en ella una modalidad adicional de la presente invención correspondiente al tipo de medición en que un transductor dado se puede hacer funcionar como un transmisor o como un receptor, tal como una antena capaz de transmitir o recibir ondas electromagnéticas. Así, en la figura 11, los pares de transductores se señalan como antena A_s y A_c para las antenas de distancia larga y corta en un par, respectivamente, y A'_s y A'_c para el otro par.

La capacidad de conmutar un transductor dado de un tipo a otro proporciona la ventaja de mediciones diferenciales y un mejor ciclo de trabajo. Así, una transmisión dada puede ser recibida simultáneamente por ambos receptores y medida como medición diferencial, o individualmente en relación con la misma señal de referencia. Dado que en efecto se realizan dos mediciones al mismo tiempo, cada medición puede ser promediada sobre un período más largo.

Las modificaciones ilustradas en la figura 11 a los circuitos en la figura 10 ya descrita proporcionan la conmutación de la señal de transmisión generada por el oscilador 45 a 47A ó 47B. El conmutador 41A, que está controlado separadamente pero sincrónicamente por el pulso de orientación N, aplica la señal de transmisor de corta distancia a A_s o A'_s y la señal de transmisor de larga distancia a A_c o A'_c . De modo similar, el conmutador 42A selecciona dos antenas adyacentes para utilizarlas como pares de receptores y encamina

las señales detectadas a los circuitos mezcladores separados 48 y 49 previamente descriptos.

De esta manera, se pueden obtener investigaciones de receptor diferenciales alternativamente desde el intervalo superior I_u usando A_s y A_l como receptores próximo y lejano mientras que al mismo tiempo se alterna entre A'_s y A'_l como transmisores de corta y larga distancia. Entonces, sin movimiento de la herramienta se pueden obtener investigaciones diferenciales de receptor desde el intervalo inferior I_l empleando A'_s y A'_l como el par de receptores mientras que se alterna entre A_s y A_l como los transmisores. Posteriormente, de acuerdo con la presente invención, se desplaza el conjunto de modo que A'_l y A'_s estén adyacentes al intervalo I_u previamente investigado por A_s y A_l . El circuito de procesamiento 95 sincroniza en profundidad las mediciones y las combina para producir las mediciones de fase y atenuación de la investigación primera y la segunda ya descriptas e ilustradas en la figura 10.

Se han ilustrado el método y el aparato para maximizar el uso de un conjunto de cuatro transductores y las medidas tomadas entre diferentes combinaciones de los transductores. Utilizando en una novedosa disposición los mismos cuatro transductores empleados normalmente para proveer mediciones de compensación de pozo de sondeo, estos transductores se pueden aplicar a la provisión de mediciones para determinar

no una, sino dos mediciones compensadas por pozo de sondeo, investigando cada una a ~~el~~ mismo intervalo de la formación con una diferente distancia transmisor-receptor. Dado que ambas investigaciones son compensadas de la misma manera, esta compensación agrega significatividad a cualesquiera diferencias que ocurran entre estas investigaciones diferentes y la significación de interpretación atribuida a las mismas, tal como, por ejemplo, indicar la presencia de gas en una formación subterránea.

En general, el novedoso conjunto de transductores permiten un empleo doble de las mediciones derivadas del mismo. Las mediciones de dos receptores se utilizan dos veces en cada incremento de profundidad, una vez cada una en relación con transmisores próximos y alejados. Luego, a su vez, las mediciones de dos transmisores son usadas dos veces, una vez en relación con el receptor próximo y otra con el receptor alejado. Aun la distancia receptor-transmisor en efecto es usada por dos veces al superponer esta distancia, lo que permite aumentos convenientes en las distancias T-R sin los inconvenientes aumentos en la longitud del conjunto asociados con los conjuntos del arte anterior.

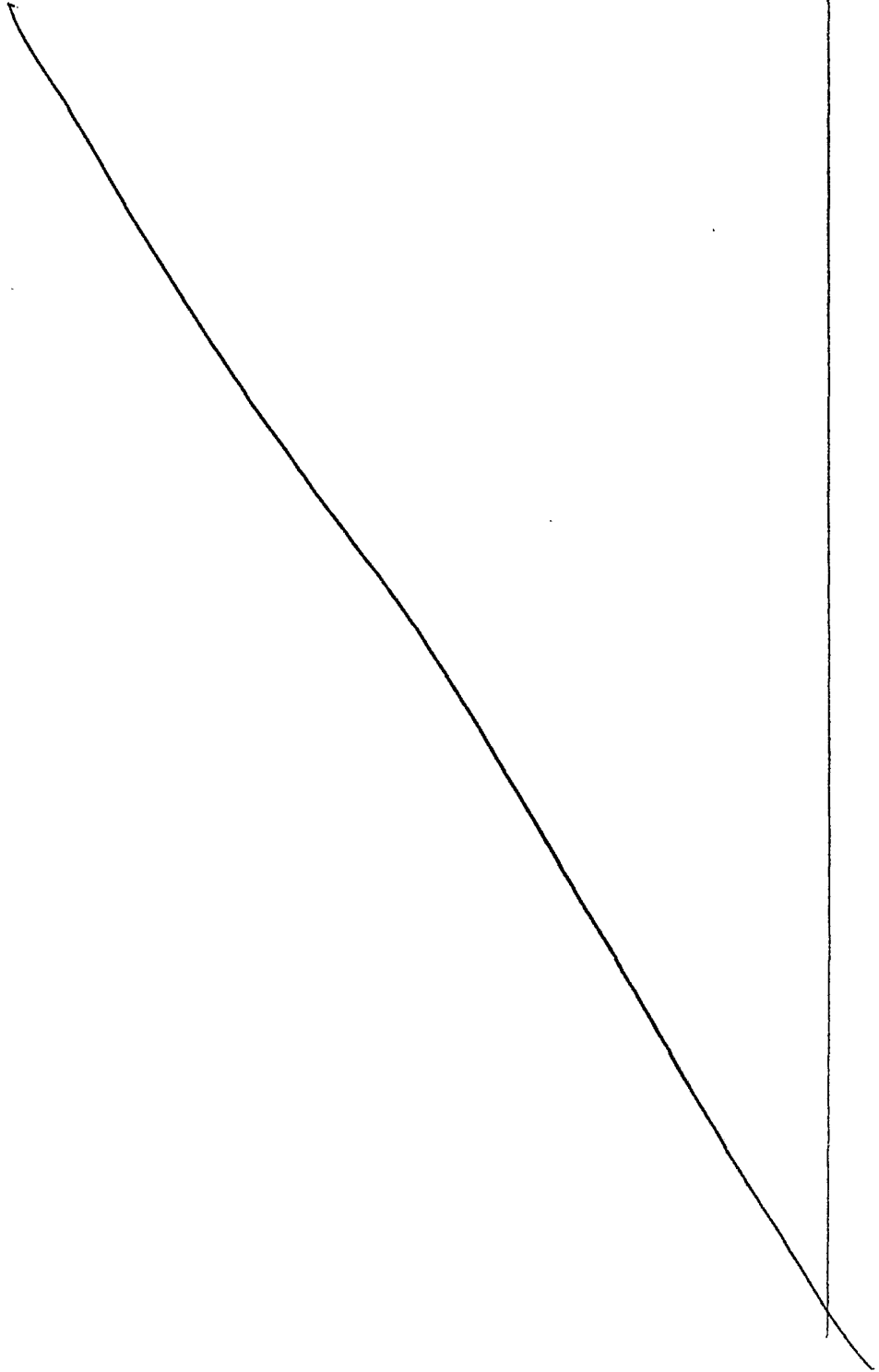
Además, dado que todos los transductores del tipo transmisor están ubicados en el mismo lado de los transductores del tipo receptor, la propagación de las señales tiene lugar en la misma dirección para todas las mediciones, lo que

prontamente facilita el empleo de transductores direccionales. Además, dado que los transductores del mismo tipo están agrupados en conjunto, funcionan en ambientes de pozo de sondeo sustancialmente similares, lo que permite la combinación y la comparación de mediciones individuales realizadas con diferentes combinaciones de transductores.

Si bien las modalidades ilustrativas de realización comprendieron mediciones acústicas y electromagnéticas, las novedosas características de la invención se aplican igualmente a otros tipos de mediciones. Además, aunque el par de receptores se ilustró generalmente como el par superior de transductores y el par transmisor como el par inferior de los transductores, se apreciará que las características de la invención serán provistas por la disposición inversa. De modo similar, la obtención de mediciones se pueden realizar al desplazar el conjunto de transductores, sea hacia arriba, como se ilustra, o hacia abajo dentro del pozo de sondeo. Aunque las modalidades de realización descritas proporcionan las combinaciones de las mediciones según son obtenidas en el sitio del pozo, se apreciará que las mediciones individuales se pueden grabar y combinar en un tiempo y lugar diferente.

Las modalidades de realización descritas precedentemente, por lo tanto, se ha propuesto que sean simplemente ejemplificativas y todas las variaciones y modificaciones que se deban incluir dentro del alcance de la invención

según se define en las reivindicaciones adjuntas.



REIVINDICACIONES

1. Un método de producción de mediciones adaptadas para determinar una medición compensada de características físicas de medios subterráneos próximos a un pozo de sondeo que penetra en la tierra empleando transductores del tipo de transmisores y receptores múltiples sostenidos sobre un miembro de soporte alargado en dirección generalmente paralela a dicho pozo de sondeo para su movimiento a través de dicho pozo de sondeo, caracterizado por los pasos de:

a) proveer un primer par de transductores de un primer tipo posicionados a una separación preseleccionada a lo largo de dicho miembro;

b) proveer un segundo par de transductores de un segundo tipo posicionados a dicha separación preseleccionada a lo largo de dicho miembro y ubicados sobre un lado de dicho primer par de transductores en dirección de dicha elongación;

c) producir una primera medición de dichas características de medios subterráneos cuando dos de dichos transductores están posicionados en una posición seleccionada en dicho pozo de sondeo;

d) almacenar dicha primera medición para su combinación con una medición posterior de dichas características físicas de medios subterráneos; y

e) producir dicha medición posterior cuando

otros dos de dichos transductores de los tipos primero y segundo están efectivamente posicionados en dicho pozo de sondeo en dicha posición seleccionada para combinar con dicha primera medición para producir una medición compensada.

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicho paso de producir dicha medición posterior comprende almacenar dicha medición posterior para subsiguiente combinación con dicha primera medición para producir una medición compensada.

3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque dicho primer par de transductores son un par de transmisores y dicho segundo par es un par de receptores; y

dichos pasos de medición que se producen comprenden el empleo de combinaciones de diferentes transmisores y receptores para producir una medición cuando una combinación de dichos transmisores y receptores tiene una posición seleccionada a lo largo de dicho pozo de sondeo y otra medición cuando otra combinación se ha movido efectivamente a dicha posición seleccionada; y

dicho paso de producir dicha medición posterior comprende combinar dicha primera y dicha otra medición para proveer una medición compensada por el pozo de sondeo de las características físicas de los medios subterráneos próximos al pozo de sondeo para dicha posición seleccionada.

ko

4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicho primer tipo de transductores son transmisores y dicho segundo tipo son receptores; y

dichos pasos de producción de mediciones comprenden el empleo de combinaciones de transmisores y receptores diferentes para producir un conjunto de mediciones cuando dichos receptores tienen una posición seleccionada a lo largo de dicho pozo de sondeo y otro conjunto de mediciones cuando dichos transmisores tienen dicha posición seleccionada; y

dicho paso de producir dicha medición posterior incluye el paso de combinar dicho conjunto primero y dicho otro conjunto de mediciones para proveer una medición compensada por pozo de sondeo de las características físicas de los medios subterráneos próximos al pozo de sondeo para dicha posición seleccionada.

5. Un método de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque dicho primer conjunto de mediciones incluye mediciones referenciadas separadamente a cada transmisor, cada una respectivamente menos y más distante de dichos receptores, y dicho otro conjunto de mediciones incluye mediciones referenciadas separadamente a cada receptor, cada una respectivamente menos y más distante de dichos transmisores, y dicho paso de combinación de mediciones comprende:

combinar mediciones de dicho primer conjunto referenciadas a dicho transmisor menos distante de dichos recep-

46

tores y desde dicho otro conjunto referenciado a dicho receptor menos distante de dichos transmisores para proveer una medición compensada por el pozo de sondeo; y

combinar mediciones desde dicho primer conjunto referenciado a dicho transmisor más distante de dichos receptores y desde dicho otro conjunto referenciado a dicho receptor más distante de dichos transmisores para proveer otra medición compensada por el pozo de sondeo, correspondiendo dichas mediciones compensadas por el pozo de sondeo primera y otra a dos investigaciones separadas en dicha posición seleccionada con dos diferentes distancias transmisor-receptor.

6. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dichos tipos diferentes de transductores son receptores y transmisores, respectivamente, caracterizado porque el paso de producción de mediciones comprende:

activar un primer transmisor en una posición de pozo de sondeo y medir en un primer receptor la señal resultante después del pasaje en una dirección seleccionada a través de un intervalo del pozo de sondeo y medios subterráneos, estando dicho primer transmisor ubicado a lo largo de un soporte alargado sobre dicha herramienta de pozo de sondeo desde dicho primer receptor a una distancia preseleccionada;

mover un segundo transmisor y receptor a dicha posición de pozo de sondeo de manera que dicho segundo transmisor y dicho segundo receptor tengan posiciones en dicho po-

6

zo de sondeo que generalmente corresponden respectivamente a las posiciones de dicho primer transmisor y dicho primer receptor en dicha primera posición de pozo de sondeo, estando ubicado dicho segundo transmisor a lo largo de dicho miembro de soporte alargado sobre dicha herramienta de pozo de sondeo desde dicho segundo receptor en dicha distancia preseleccionada; y

activar dicho segundo transmisor y medir en dicho segundo receptor la señal resultante después del pasaje en dicha dirección seleccionada a través de dicho intervalo de pozo de sondeo y medios subterráneos; y dicho paso de combinación comprende

combinar dichas señales medidas para proveer una señal que indica desalineación de la herramienta del pozo de sondeo con el pozo de sondeo y variaciones en la forma de sección transversal del pozo de sondeo.

7. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual dichos grupos primero y segundo de transductores comprende cada uno un par de transductores, caracterizado porque el paso de producción de mediciones comprende:

producir un conjunto de mediciones entre un transductor en dicho primer par de transductores y los transductores en dicho segundo par con un intervalo de pozo de sondeo seleccionado entre dicho segundo par; y

producir un conjunto de mediciones entre un trans

20

ductor en dicho segundo par y los transductores en dicho primer par con dicho intervalo seleccionado del pozo de sondeo entre dicho primer par; y el paso de combinación comprende

combinar dichos conjuntos de mediciones producidas para proveer una medición mejorada compensada por las condiciones de medición del pozo de sondeo en dicho intervalo de pozo de sondeo seleccionado.

8. Un método de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado porque dicho paso de producción de mediciones comprende además:

producir conjuntos adicionales de mediciones entre el otro transductor en dicho primer par de transductores y los transductores en dicho segundo par con dicho intervalo seleccionado del pozo de sondeo entre dicho segundo par y entre el otro transductor en dicho segundo par y los transductores en dicho primer par con dicho intervalo seleccionado del pozo de sondeo entre dicho primer par; y

dicho paso de combinación comprende además combinar dichos conjuntos adicionales de mediciones producidas para proveer una medición adicional mejorada compensada por las condiciones de medición del pozo de sondeo en dicho intervalo seleccionado del pozo de sondeo.

9. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el paso de producción de mediciones comprende:

20

producir primeras mediciones realizadas a diferentes profundidades del pozo de sondeo desplazando el miembro de soporte a través de dicho pozo de sondeo mientras se hace funcionar un transmisor y un par de receptores;

producir segundas mediciones realizadas a dichas profundidades mientras se hace funcionar un receptor en dicho par de receptores y un par de transmisores incluso dicho primer transmisor; y dicho paso de combinación comprende:

combinar aquellas de dichas mediciones primera y segunda representativas de sustancialmente el mismo intervalo de pozo de sondeo para proveer una medición representativa de una característica física del medio subterráneo compensado por las variaciones en el ambiente de medición del pozo de sondeo que estaban presentes próximas a dichos transmisores y receptores cuando dicho aparato del pozo de sondeo se movió a través de dicho intervalo del pozo de sondeo.

10. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por el paso de registrar o grabar dichas mediciones y dichas posiciones a lo largo de dicho pozo de sondeo.

11. Un método de acuerdo con las reivindicaciones 4 y 10 en donde dichos conjuntos uno y otro de mediciones son producidos, respectivamente, a profundidades primera y segunda del miembro de soporte en el pozo de sondeo, caracterizado porque el paso de combinación comprende retardar la re-

16

1 -cuperación de mediciones grabadas producidas en una prime-
ra profundidad para un intervalo de profundidad que corres-
ponde generalmente a la diferencia entre dichas profundida-
des primera y segunda.

5 12a.- "UN METODO DE PRODUCCION DE MEDICIONES ADAP-
TADAS PARA DETERMINAR UNA MEDICION COMPENSADA DE CARACTERIS-
TICAS FISICAS DE MEDIOS SUBTERRANEOS PROXIMOS A UN POZO DE
SONDEO!"

10 Tal y como se ha descrito en la Memoria que antece-
de representado en los dibujos que se acompañan y para los
fines que se han especificado.

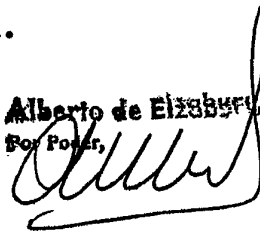
Esta Memoria consta de noventa y tres hojas escri-
tas a máquina por una sola cara.

15

Madrid, 10. ABR. 1978

P.A.

Alberto de Elizburu
For Power,



20

25

30

MCS/.

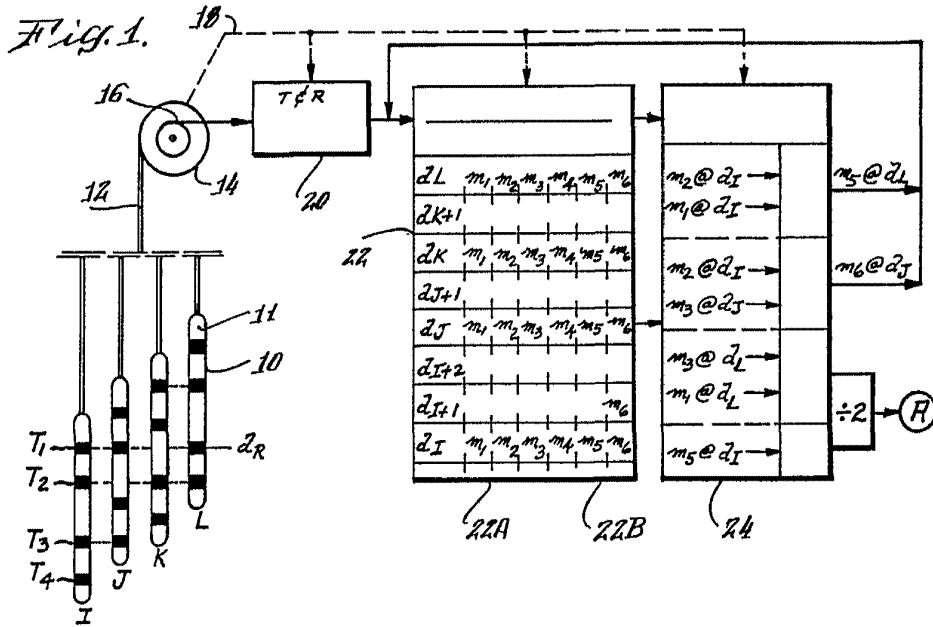
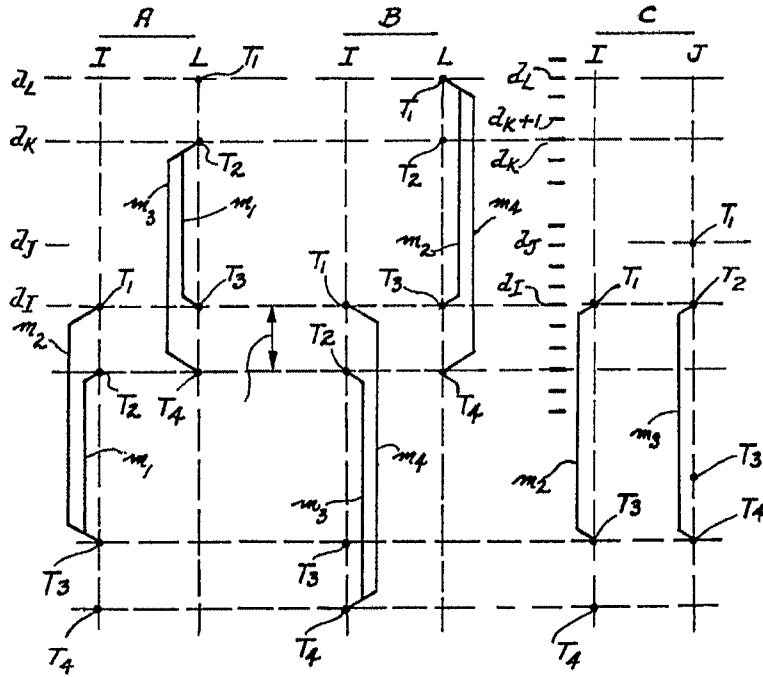
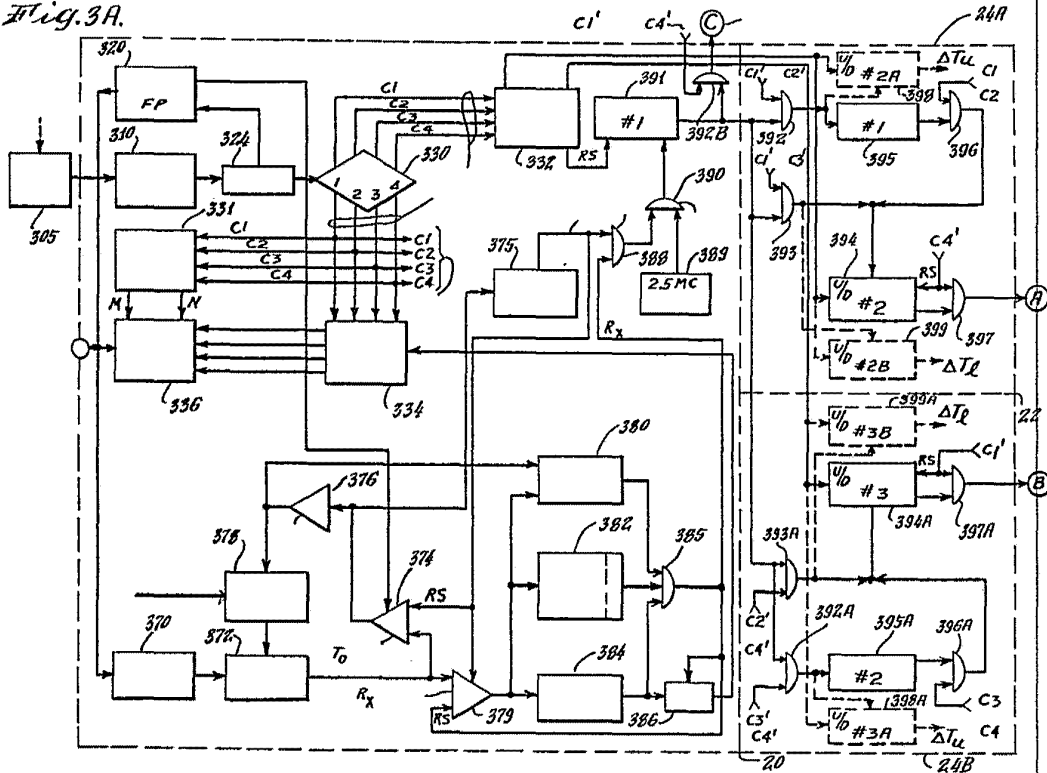



Fig. 2.



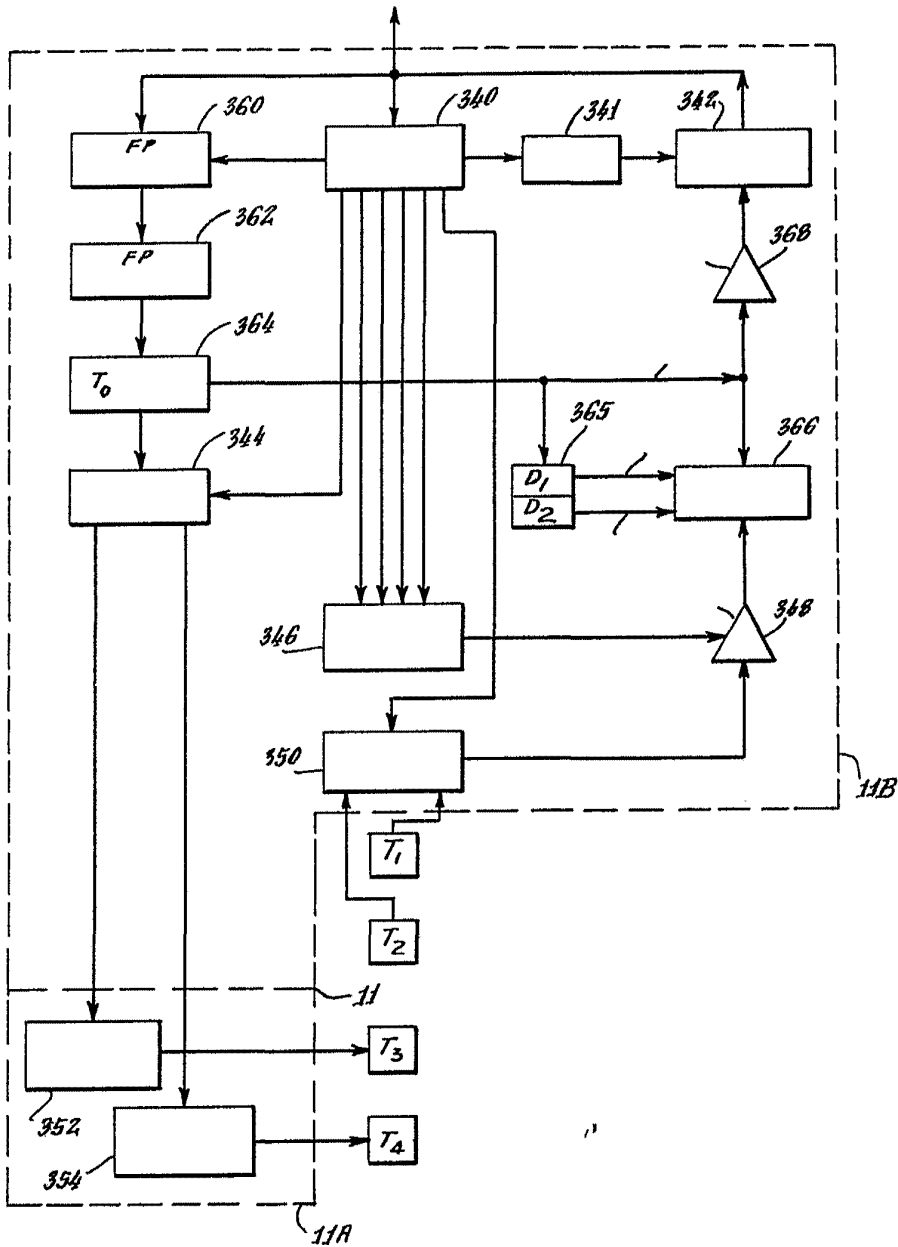
Alberto de Almeida
 Por Poder,

Fig. 3A.

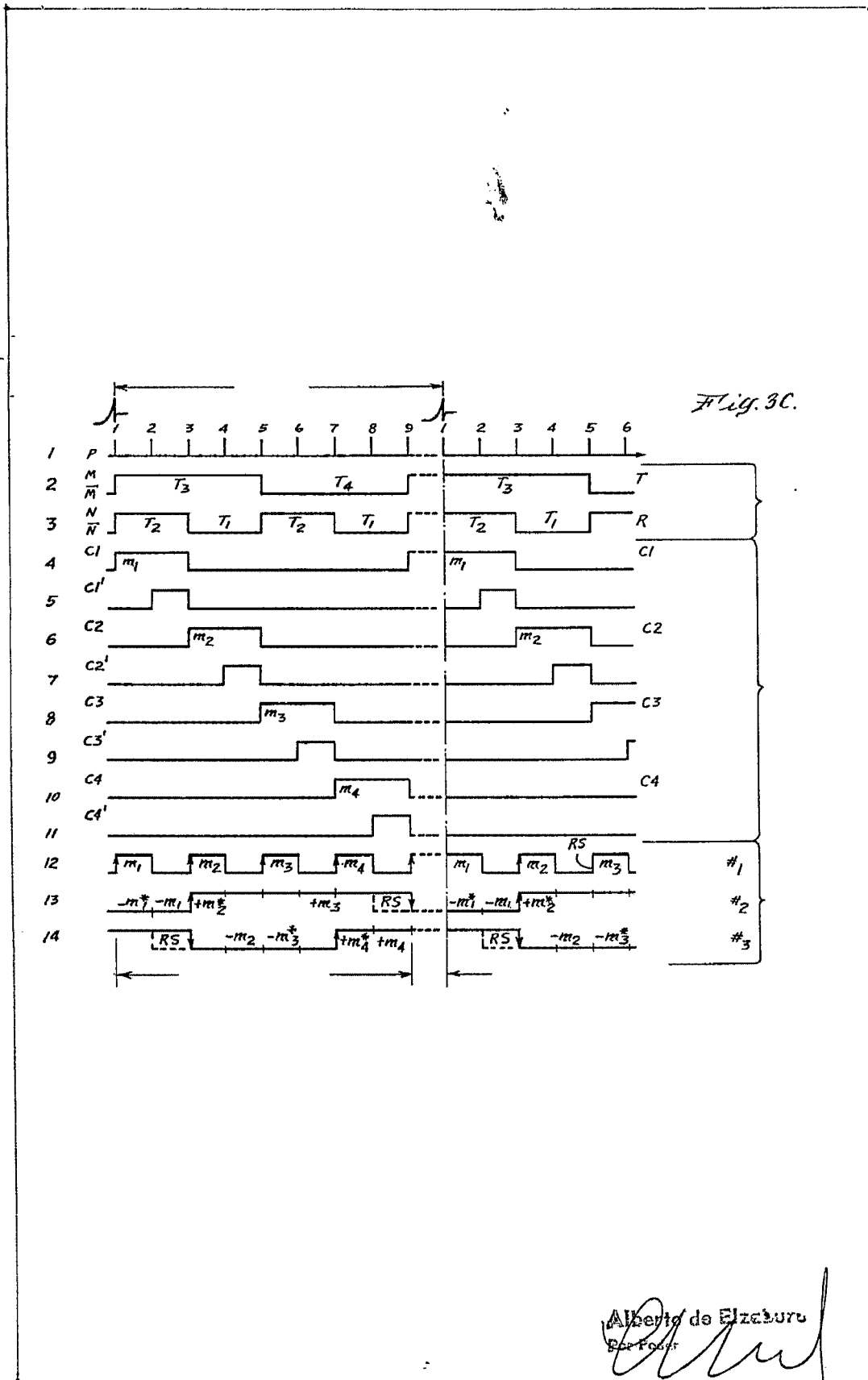


Alberto de Vizcarra
 For Inven.

Fig. 3B



Alberto de Elzaburu
 Por Poder,



Alberto de Elzaburu
 Ing. Electr.

Fig. 4A.

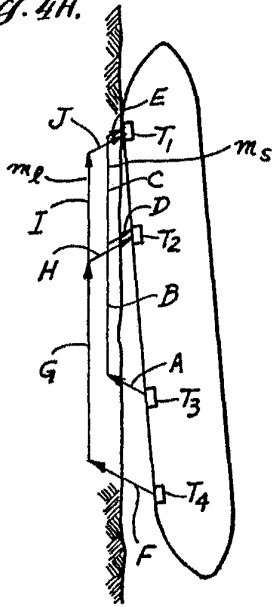


Fig. 4B.

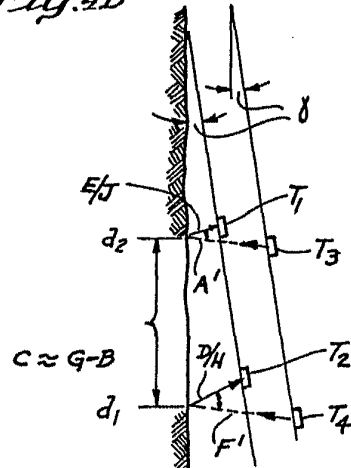


Fig. 4C.

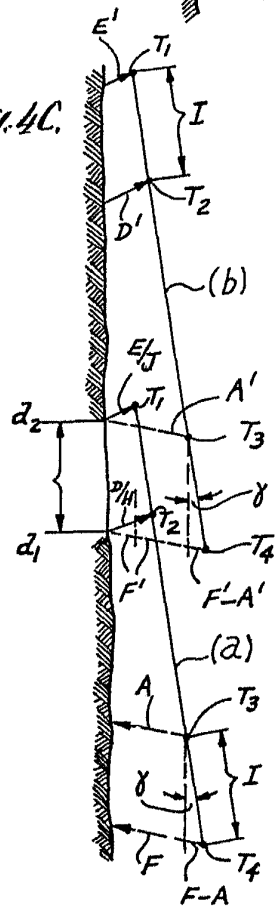
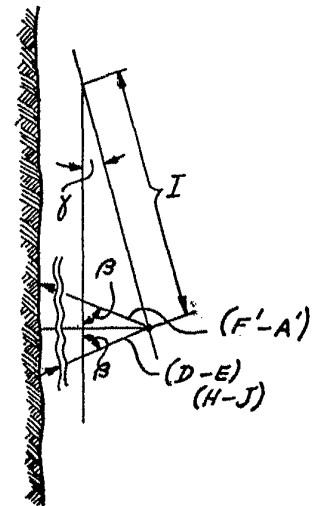


Fig. 4D.



Ateliers de Elizabeth

Fig. 5A.

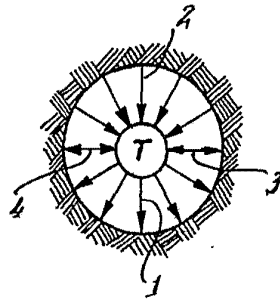


Fig. 5B.

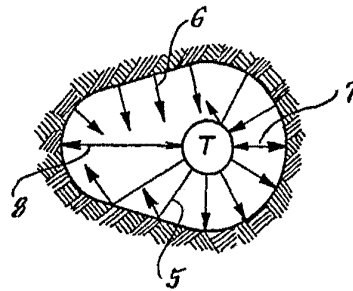


Fig. 6A.

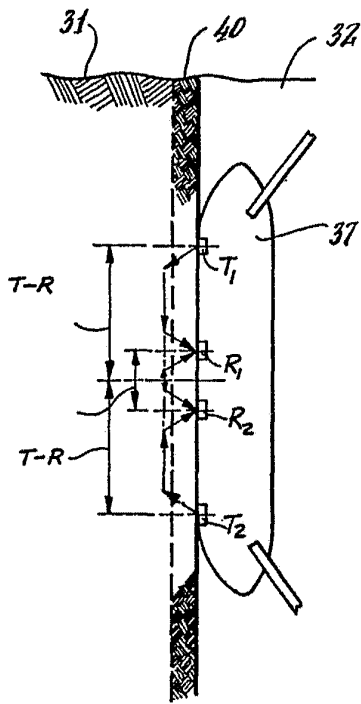
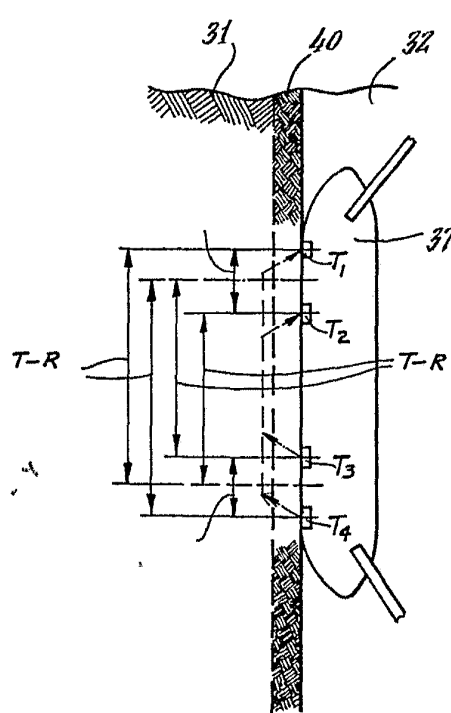
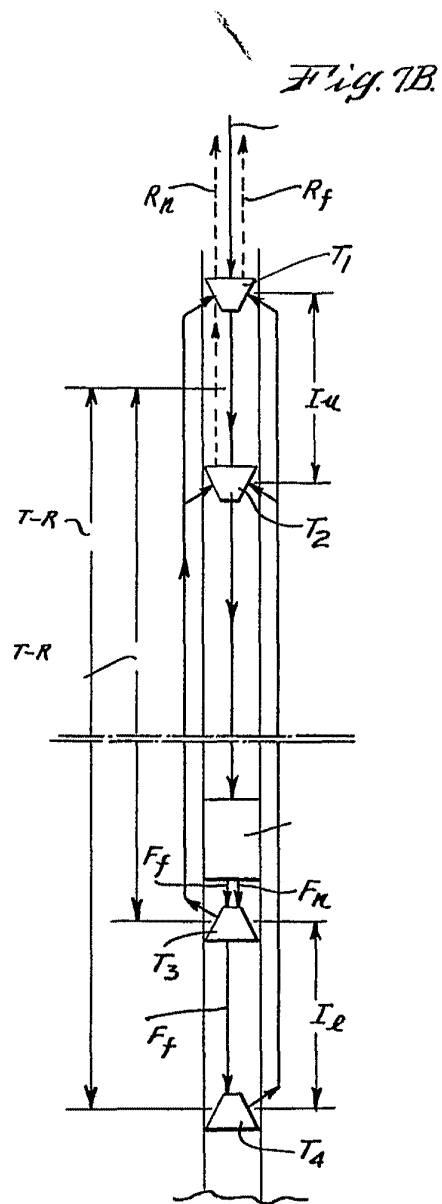
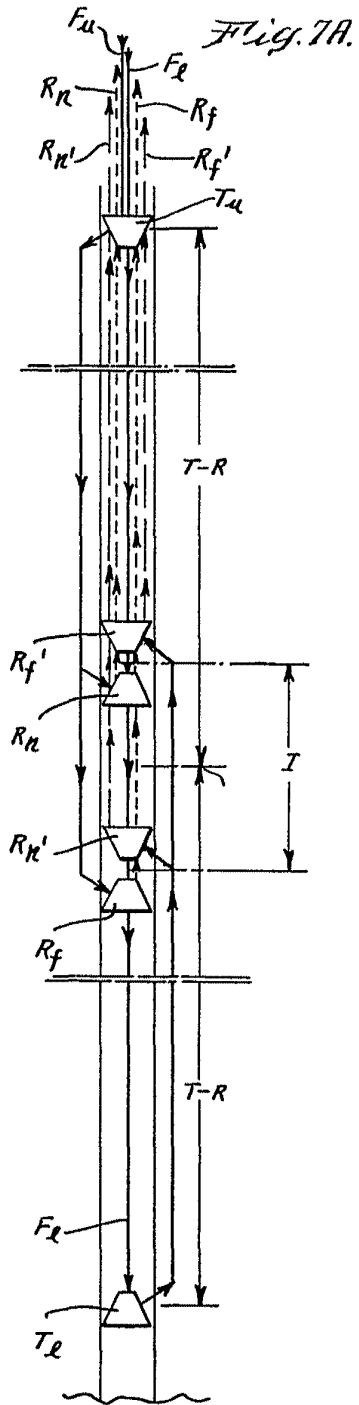


Fig. 6B.



Alberto de Elzaburu
For Pater,



Alberto de Elzeburu
For Proser,

SOCIETE DE PROSPECTION..... VIII/X

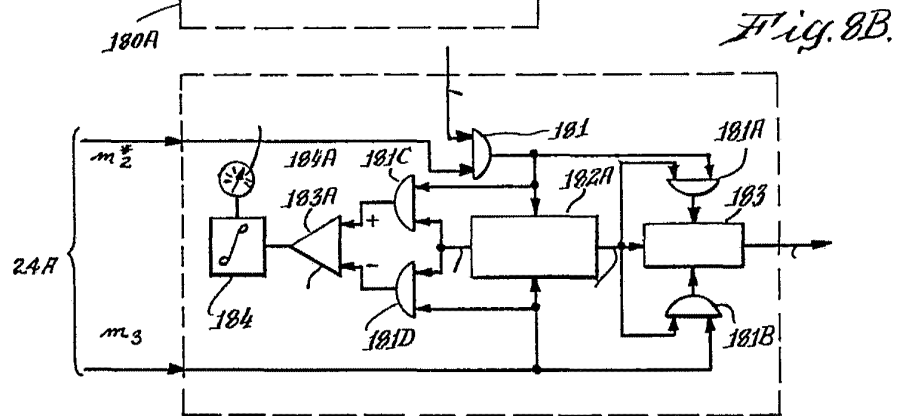
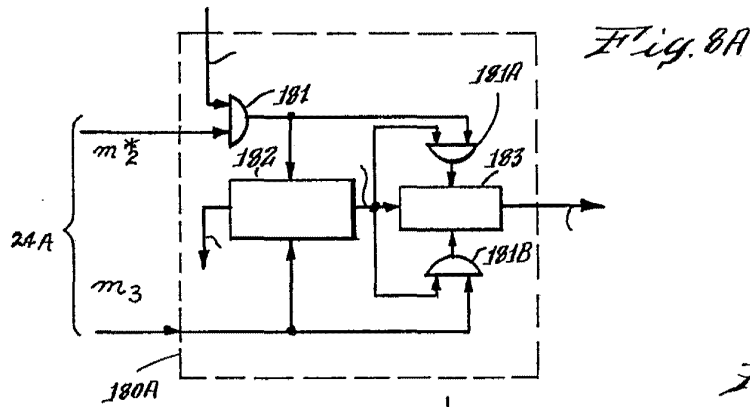


Fig. 9A.

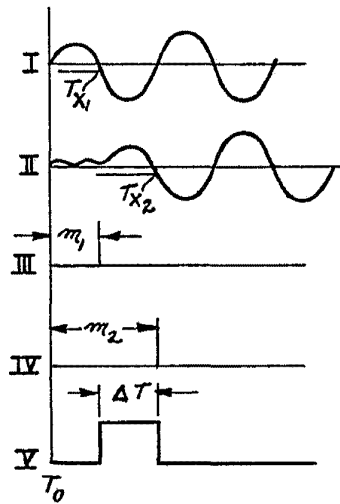
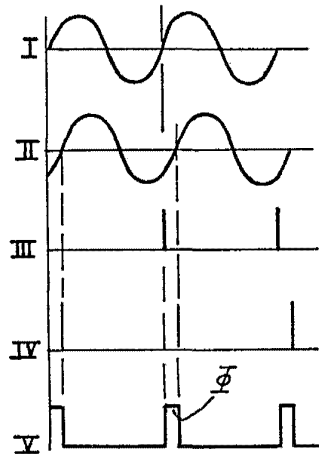
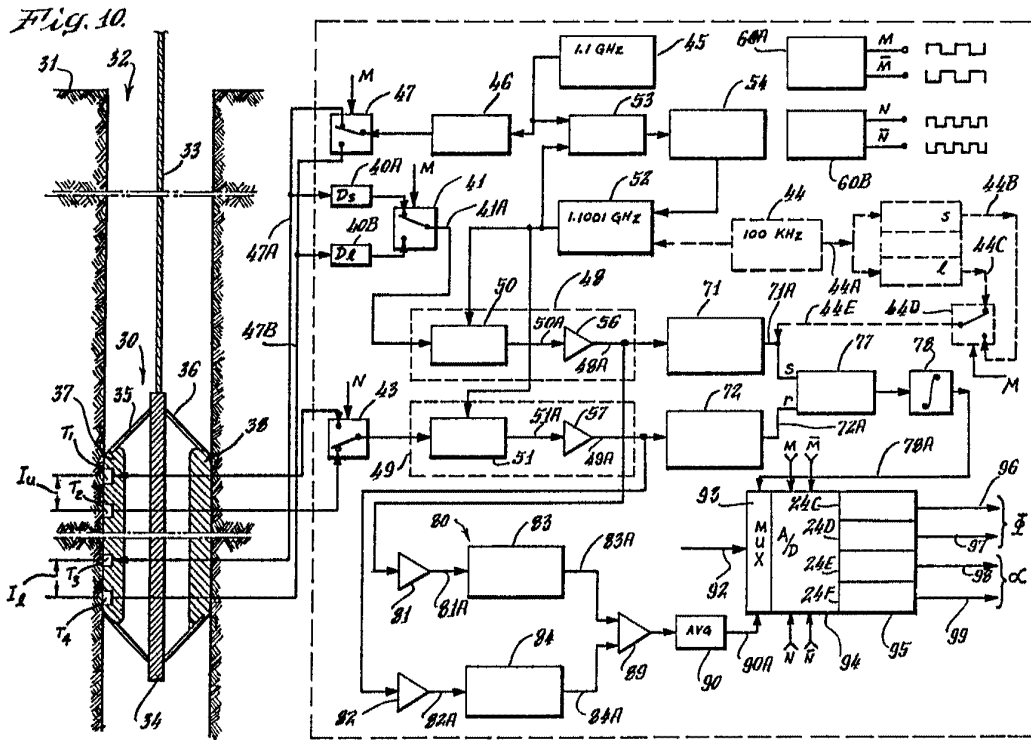


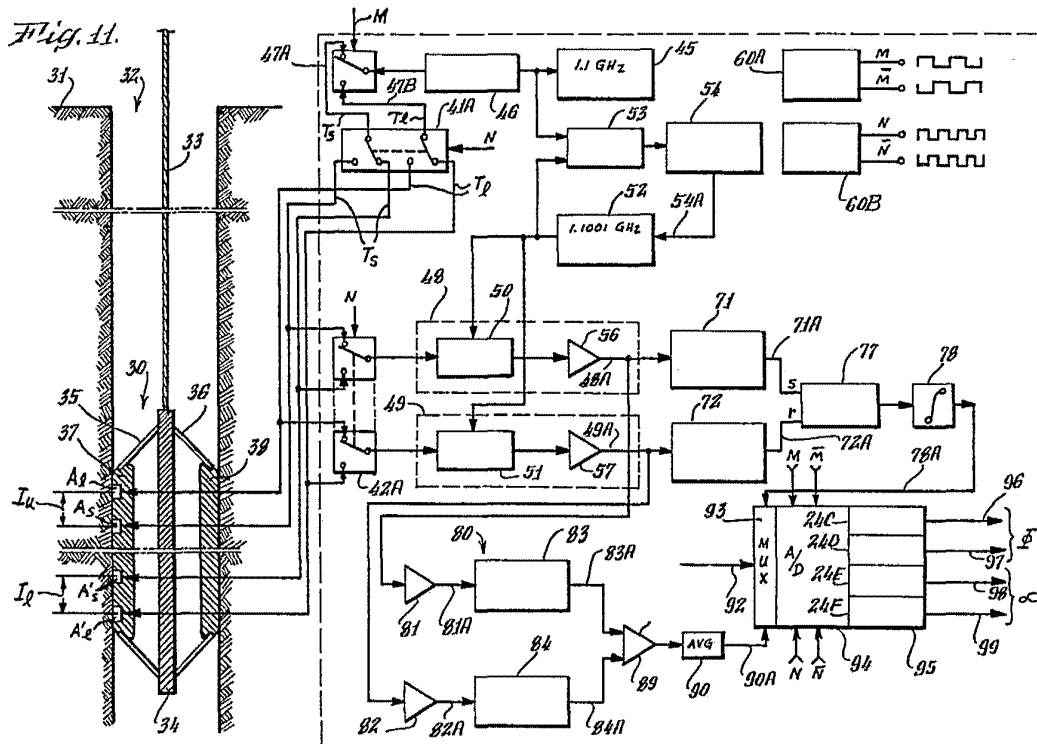
Fig. 9B.



Alvaro de E. E. E.
 G. E. E.



Alberto de Elzaburu
Por Poder



Alberto de Elizaburu
Por Poder,