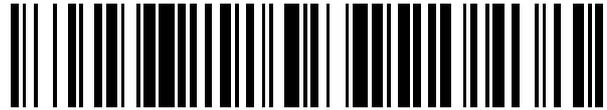


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 493 690**

51 Int. Cl.:

**G01V 1/46**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.06.2009 E 09774059 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.05.2014 EP 2297595**

54 Título: **Dispositivo y método para generar un haz de energía acústica desde un orificio de perforación y aplicaciones del mismo**

30 Prioridad:

**02.07.2008 US 166842**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**12.09.2014**

73 Titular/es:

**CHEVRON U.S.A. INC. (50.0%)  
6001 Bollinger Canyon Road  
San Ramon, CA 94583, US y  
LOS ALAMOS NATIONAL SECURITY, LLC  
(50.0%)**

72 Inventor/es:

**VU, CUNG KHAC;  
SINHA, DIPEN N.;  
PANTEA, CRISTIAN;  
NIHEI, KURT;  
SCHMITT, DENIS P. y  
SKELT, CHRISTOPHER**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 493 690 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Dispositivo y método para generar un haz de energía acústica desde un orificio de perforación y aplicaciones del mismo.

Derechos del gobierno

- 5 Esta invención se realizó con el apoyo del Gobierno en virtud del Acuerdo de Investigación y Desarrollo en Colaboración (CRADA) Contrato número DE-AC52-06NA25396 otorgado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos. El Gobierno puede tener ciertos derechos en esta invención.

Campo de la invención

- 10 La presente invención se refiere en general a la verificación acústica de formaciones rocosas alrededor de un orificio de perforación y más particularmente a la utilización de la combinación de una fuente acústica que incluye un solo transductor o un arreglo de transductores en la perforación acoplado a un material no lineal para producir un haz acústico como herramienta de ingreso desde un orificio de perforación para verificar las propiedades de las formaciones rocosas y de los materiales que rodean al orificio de perforación.

Antecedentes de la Invención

- 15 La verificación acústica de las características del subsuelo tiende a estar limitada por el tamaño y la potencia de las fuentes prácticas, y en la práctica, la salida de los transductores acústicos del fondo del pozo está limitada por las capacidades de transmisión de la energía del cable de la línea alámbrica. Las señales de alta frecuencia tienen una distancia de penetración relativamente corta, mientras que las señales de baja frecuencia generalmente requieren de fuentes grandes, afianzadas a la pared del orificio de perforación, para maximizar la transferencia de la energía a la formación y minimizar las señales indeseables dentro de la perforación. Es difícil generar una señal del haz acústico colimado en el intervalo de 10 kHz - 100 kHz desde el orificio de perforación para sondear la formación rocosa que rodea un orificio de perforación con transductores convencionales de baja frecuencia. Las fuentes acústicas convencionales de baja frecuencia en este intervalo de frecuencia tienen un ancho de banda bajo, menor al 30 % de la frecuencia central, y una dispersión del haz muy grande que depende de la frecuencia, de tal forma que a medida que la frecuencia disminuye, se incrementa la dispersión del haz. Un enfoque nítido requiere que se satisfagan una cantidad de condiciones, incluyendo un arreglo de una fuente larga, el acoplamiento uniforme de todos los transductores a la formación rocosa alrededor del orificio de perforación y el conocimiento de las velocidades acústicas de la formación rocosa. En el medio ambiente del orificio de perforación, estas condiciones frecuentemente no se pueden lograr a causa de las restricciones físicas subyacentes, la factibilidad del diseño o las condiciones operativas.

- 35 Las fuentes de los haces acústicos basadas en una mezcla no lineal de las ondas acústicas han sido propuestas para aplicaciones generales en un medio fluido, tal como un sonar submarino, desde los años 1950. Para las aplicaciones en el subsuelo, la patente de los Estados Unidos No. 3.974.476 a favor de Cowles describe una fuente acústica para la inspección de los orificios de perforación. La divulgación de Cowles describe un dispositivo para la generación de una fuente acústica que no es físicamente posible en un orificio de perforación del tamaño típico utilizado por la industria del petróleo y del gas. Por ejemplo, la generación de un haz de frecuencia de 1 kHz mezclando dos frecuencias de alrededor de 5 MHz en el medio ambiente del orificio de perforación viola principios físicos básicos. Una herramienta típica de ingreso por cable tiene un diámetro de 3 5/8 pulgadas (9,2 cm), por consiguiente la longitud de onda de una onda de 1 kHz en un fluido típico de 1500 m/s será de 1,5 m. Esto representa cerca de 10 veces el diámetro del orificio de perforación. Esta onda acústica de 1 kHz no puede permanecer colimada sin violar el principio de incertidumbre básico de la física de difracción de ondas. Además, la mezcla de frecuencias de 5 MHz para generar una onda de 1 kHz representa una disminución de la relación de frecuencia de 5000:1, que no se ha demostrado que se pueda lograr en la práctica. Las dimensiones de la longitud de la herramienta propuesta por Cowles de 4,5 m es demasiado larga e impráctica para que se ajuste a las fibras de ingreso actuales.

- 45 La patente de los Estados Unidos No. 5.521.882 describe el uso de una herramienta acústica en un orificio de perforación para medir una característica de una formación terrestre alrededor del orificio de perforación. La herramienta acústica se utiliza para generar la primera y segunda señales de frecuencias diferentes que se mezclan para dar como resultado una tercera señal que tiene una frecuencia igual a la diferencia de la primera y segunda señales.

- 50

Resumen de la Invención

De acuerdo con un aspecto de la invención, se divulgan un dispositivo y un método de acuerdo con las reivindicaciones independientes.

5 Estos y otros objetos, particularidades y características de la presente invención, así como los métodos de operación y las funciones de los elementos de estructura relacionados y la combinación de partes y la economía de la fabricación, se harán más evidentes después de la consideración de la siguiente descripción y de las reivindicaciones anexas con referencia a las figuras que se acompañan, todo lo cual forma parte de esta especificación, en donde los números de referencia similares designan las partes correspondientes en las diversas figuras. Se debe entender expresamente, sin embargo, que las figuras son para propósitos de ilustración y descripción solamente y no pretenden definir los límites de la invención. Cuando se utilice en la especificación y en las reivindicaciones, la forma singular de "un", "uno, una", y "el, la" incluyen las formas plurales a menos que el contexto lo exprese claramente de otra manera.

Breve descripción de las figuras

La figura 1 muestra un diagrama generalizado del dispositivo para producir el haz colimado de acuerdo con un aspecto de la invención.

15 Las figuras 2a, 2b y 2c muestran diferentes modos de generar una diferencia de frecuencia a través de un proceso no lineal de acuerdo con aspectos de la invención.

Las figuras 3a y 3b muestran comparaciones de los resultados experimentales y las predicciones teóricas de la mezcla no lineal en agua en términos de la amplitud del haz colimado y la posición axial (dirección z).

20 Las figuras 4a y 4b muestran los resultados experimentales de la mezcla no lineal en agua como el medio no lineal en términos de la amplitud del haz colimado a varias frecuencias excitadas y en las posiciones axial (dirección z) y lateral (dirección x).

Las figuras 5a y 5b muestran un aspecto de la invención en donde el haz colimado es producido por un incremento repentino de modulación.

25 Las figuras 6a, 6b y 6c muestra un aspecto de la invención en donde el haz colimado es producido por un incremento repentino de modulación.

Las figuras 7a, 7b, y 7c muestran un aspecto de la invención en donde el haz colimado es producido por el proceso de mezclado no lineal utilizando un bloque de espuma de CNC.

La figura 8 muestra un aspecto de la invención en donde el haz colimado es producido por el proceso de mezclado no lineal que utiliza un bloque de espuma de CNC transmitido a través de un tubo de aluminio encerrado.

30 La figura 9 muestra un aspecto de la invención en donde el haz colimado producido por el proceso de mezclado no lineal utiliza el bloque cerámico 310M como el material no lineal.

La figura 10 muestra un aspecto de la invención en donde el dispositivo es utilizado para caracterizar las formaciones y/o los materiales cercanos al orificio de perforación.

35 La figura 11 muestra los ejes de rotación correspondientes de la guía del haz acústico de acuerdo con un aspecto de la invención.

La figura 12 muestra un aspecto de la invención en donde el haz colimado, producido por el proceso de mezclado no lineal que utiliza el bloque cerámico 310M como el material no lineal, penetra una cubierta del tubo metálico.

Las figuras 13a y 13b muestran un aspecto de la invención en donde el haz colimado después del direccionamiento con un espejo acústico sale de la cubierta del tubo metálico.

40 La figura 14 muestra un aspecto de la invención en donde el dispositivo es utilizado con o sin un sistema de enfoque acústico para observar directamente hacia abajo un orificio de perforación.

Las figuras 15a, 15b y 15c muestran una distribución experimental y los resultados de la formación de imágenes de un objeto fuera del tubo de acuerdo con un aspecto de la invención.

## Descripción detallada de la invención

La figura 1 muestra un diagrama generalizado del dispositivo para producir el haz colimado de acuerdo con un aspecto de la invención. En algunas modalidades, se utilizan una o más fuentes 110 para producir una primera señal a una primera frecuencia y una segunda señal a una segunda frecuencia. A manera de ejemplo no limitante, las señales pueden ser producidas por un generador de señales de 2 canales. Se pueden utilizar generadores de función o de señal similares. Las señales de las fuentes son recibidas por uno o más amplificadores de la señal 120 y son transmitidas a uno o más transductores 130 que son utilizados para generar ondas acústicas en la primera y segunda frecuencias. Los transductores piezoeléctricos son de un tipo adecuado para esta aplicación. Si se utiliza más de un transductor, los mismos pueden disponerse en una configuración ordenada. A manera de ejemplos no limitantes, la configuración ordenada puede ser un arreglo lineal, circular, un círculo lleno o un cuadrado. Los transductores dentro del arreglo se dividen en dos grupos, en donde el primer grupo de transductores es controlado por una fuente a la primera frecuencia y el segundo grupo de transductores es controlado por la fuente o por una fuente diferente a la segunda frecuencia. En algunos aspectos de la invención, la fuente configurada para generar la primera frecuencia y la fuente configurada para generar la segunda frecuencia, controlan todos los transductores simultáneamente. A manera de ejemplo no limitante, la primera frecuencia es de 1,036 MHz y la segunda frecuencia es de 0,953 MHz. En algunas modalidades, la primera frecuencia y la segunda frecuencia están entre 300 kHz y 2 MHz.

La señal acústica es transmitida en un material no lineal 140 para generar un haz acústico colimado por medio de un proceso de mezcla no lineal. El material no lineal puede ser líquido, una mezcla de líquidos, un sólido, un material granulado incrustado en una cubierta sólida, microesferas incrustadas, o una emulsión. A manera de ejemplo no limitante de tal material no lineal se puede mencionar la espuma cerámica 310M vendida por Cotronics de Brooklyn, New York, que está compuesta de cerámica de sílice fundida con más del 99 % de pureza y proporciona una baja expansión térmica y de conductividad, alta resistencia al choque térmico y alta reflectancia térmica. La espuma cerámica 310M tiene una densidad de 0,80 g/cm<sup>3</sup> y una velocidad del sonido de 1060 m/s. Otro ejemplo no limitante de un material no lineal es un material tipo placa de espuma de uretano. Este tipo de espuma es utilizado típicamente para maquinado controlado numéricamente por ordenador (en lo sucesivo denominado "CNC"). La espuma CNC tiene una densidad de 0,48 g/cm<sup>3</sup> y una velocidad del sonido de 1200 m/s. Dependiendo de las condiciones operativas en el orificio de perforación, se pueden utilizar otros materiales no lineales como medio de mezcla no lineal con una velocidad del sonido adecuadamente baja, un acoplamiento no lineal elevado, longitud de absorción, longitud de onda de choque, intervalos de operación de temperatura y presión, así como otros requerimientos necesarios para las especificaciones de operatividad. Además, la longitud del material no lineal puede ser muy compacta y puede estar en el intervalo entre 5 cm a 2 metros dependiendo del tipo de materiales que son utilizados.

Este comportamiento no lineal puede ser caracterizado por medio del análisis de las propiedades de las ondas P que resultan del fenómeno de mezcla no lineal en el cual dos ondas incidentes a dos frecuencias diferentes,  $f_1$  y  $f_2$ , se mezclan para generar componentes de una tercera frecuencia a las frecuencias armónicas y de intermodulación  $f_2 - f_1$ ,  $f_2 + f_1$ ,  $2f_1$  y  $2f_2$ , etc. En un aspecto de la invención, el fenómeno de mezcla colineal no lineal está diseñado para que ocurra en el material no lineal dentro de la perforación. En general, solamente la tercera onda resultante de la diferencia de frecuencias  $f_2 - f_1$  es de interés para esta aplicación. Las frecuencias más elevadas solamente se propagan a una distancia corta y tienden a ser absorbidas en el propio material no lineal. En algunas modalidades, la tercera onda o haz colimado tiene una frecuencia entre 10 kHz y 100 kHz.

El haz colimado es recibido por uno o más receptores 150 localizados ya sea en el mismo orificio de perforación en donde el haz colimado es producido o en otro orificio de perforación. Por ejemplo, los receptores pueden ser un transductor acústico, un hidrófono u otro tipo de receptor adecuado para el intervalo de frecuencia de interés. La señal recibida puede ser filtrada por un filtro de paso de banda 160 y amplificada por un amplificador previo 170. La señal filtrada y amplificada puede ser desplegada sobre un digitalizador, tal como un osciloscopio digital 180. El osciloscopio digital 180 puede ser controlado por un ordenador 190. El ordenador 190 también puede ser utilizado para controlar el generador de la señal 110.

Las figuras 2a, 2b y 2c muestran diferentes modos de generar la diferencia de frecuencia en un material no lineal. Las notaciones  $f$ ,  $f_1$  y  $f_2$  se refieren a señales de alta frecuencia. Las señales recibidas de la fuente 110 y el amplificador de potencia 120 por un transductor 110 entran a un material no lineal 220. Después de una cierta longitud de propagación, se genera la diferencia de frecuencia en el material no lineal 220. La figura 2a muestra la generación de la diferencia de frecuencias  $f_2 - f_1$  mediante la aplicación de dos diferentes señales que tienen dos diferentes frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  al mismo transductor 210. La figura 2b muestra la generación de una diferencia de frecuencia  $\Delta f$  mediante la aplicación de una señal de amplitud modulada de frecuencia  $f$  y una modulación de  $\Delta f$ . La figura 2c muestra la generación de una diferencia de frecuencias  $f_2 - f_1$  mediante la aplicación de dos diferentes señales que tienen una primera frecuencia  $f_1$  a un primer transductor 230 y una segunda frecuencia  $f_2$  a un segundo transductor 240. Los haces de alta frecuencia se superponen en el material no lineal y producen la diferencia de frecuencias  $f_2 - f_1$ .

De acuerdo con lo anterior, y a manera de ejemplo no limitante, la primera frecuencia es de 1,036 MHz y la segunda frecuencia es de 0,953 MHz. El haz acústico colimado generado por la interacción con el material no lineal tendrá una frecuencia igual a la diferencia entre la primera frecuencia y la segunda frecuencia. En este ejemplo, el haz acústico colimado tiene una banda de frecuencia estrecha con una frecuencia dominante clara de 83 kHz. En algunas modalidades, el haz acústico colimado puede tener un intervalo de frecuencia relativamente amplio, en donde la primera frecuencia es una frecuencia de banda estrecha única, y la segunda frecuencia es barrida a través de un intervalo más amplio de frecuencias. La primera frecuencia también puede ser barrida a través de un intervalo amplio de frecuencias así como la segunda frecuencia. En cualquier caso, la primera frecuencia, la segunda frecuencia o ambas, pueden ser una señal codificada o una modulación no codificada. Un beneficio de la codificación de la señal es una mejora de la relación de la señal con respecto al ruido.

En algunas modalidades, el haz colimado es codificado con un código variable en el tiempo, que puede ser introducido ya sea en la primera o en la segunda señal, o en ambas. El código variable en el tiempo puede incluir una o más entre una variación en amplitud, una variación en la frecuencia, y/o una variación en la fase de la primera, la segunda, o tanto la primera como la segunda señales. El código variable en el tiempo recibido del haz colimado puede ser utilizado para la medición de un tiempo de propagación del haz. Adicionalmente, en algunas modalidades, el haz colimado puede ser de banda ancha si una de las frecuencias primarias es barrida a través de un intervalo de frecuencias mientras que la otra está fija. Por lo tanto, el tercer haz resultante  $f_2 - f_1$  será barrido a través de un intervalo de frecuencias amplio.

La figura 3 muestran los resultados de las mediciones de laboratorio con relación con las predicciones teóricas basadas en la mezcla no lineal y la teoría de propagación de las ondas. Las ondas acústicas son distorsionadas por las características no lineales del medio a través del cual se propagan las mismas. La propagación no lineal de las ondas acústicas puede ser modelada por medio de la ecuación de Khokhov - Zabolotskaya - Kuznetsov (KZK), que puede ser resuelta por medio de un esquema aproximado de diferencias finitas. La ecuación de KZK explica varias características no lineales tales como la difracción de la presión del sonido, la atenuación de la presión del sonido (es decir, la absorción), y la generación de un componente de frecuencia armónica (es decir, no lineal), y modela la forma de una señal acústica como una presión del sonido dados parámetros tales como la presión inicial de transmisión del sonido, el diámetro del transductor y la geometría del arreglo del transductor, la distancia propagada, y el medio. La ecuación parabólica no lineal de KZK toma en cuenta los efectos combinados de la difracción, absorción, y la no linealidad en los haces del sonido directivos. La ecuación de KZK para un haz del sonido axisimétrico que se propaga en la dirección z positiva puede ser expresada en términos de una presión acústica  $p$  como sigue:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial z \partial t'} = \frac{c_0}{2} \left( \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{D}{2c_0^3} \frac{\partial^3 p}{\partial t'^3} + \frac{\beta}{2\rho_0 c_0^3} \frac{\partial^2 p^2}{\partial t'^2} \quad (1)$$

en donde  $t' = t - z/c_0$  es una variable de retardo de tiempo,  $t$  es el tiempo,  $c_0$  es una velocidad del sonido de una señal pequeña,  $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$  es una distancia radial desde el eje z (es decir, desde el centro del haz),  $\partial^2/\partial r^2 + (1/r)\partial/\partial r$  es el operador Laplaciano transversal y  $\rho_0$  es la densidad ambiental del fluido. Además,

$D = \rho_0^{-1} \left[ \left( \zeta + \frac{4\eta}{3} \right) + \kappa \left( \frac{1}{c_v} - \frac{1}{c_p} \right) \right]$  es la difusividad del sonido de un medio termoviscoso, en donde  $\zeta$  es la viscosidad aparente,  $\eta$  la viscosidad de cizallamiento,  $\kappa$  la conductividad térmica, y  $c_v$  y  $c_p$  los calores específicos a volumen y presión constantes, respectivamente. El coeficiente de no linealidad está definido por  $\beta = 1 + B/2A$  en donde  $B/A$  es el parámetro de no linealidad del medio. El primer término a la derecha de la ecuación (1) toma en cuenta los efectos de la difracción (enfoque), el segundo término la absorción, y el tercer término la no linealidad del medio de atenuación. Los detalles adicionales sobre la forma y el uso del modelo de KZK se pueden encontrar en Y. -S. Lee, "Numerical solution of the KZK equation for pulsed finite amplitude sound beams in thermoviscous fluids", Ph. D. Dissertation, The University of Texas en Austin (1993).

Para la medición de laboratorio, se excitó el transductor a 0,953 MHz y 1,036 MHz conduciendo a un haz colimado que tiene una frecuencia igual a la diferencia de 1,036 MHz - 0,953 MHz = 83 kHz. El haz colimado fue producido por el proceso de mezcla no lineal utilizando agua como el material no lineal. La figura 3a muestra la amplitud del haz generado para un intervalo de las porciones z y x de un receptor del hidrófono. La figura 3b muestra una gráfica de un perfil de intensidad axial observado, de acuerdo con la teoría.

La figura 4a muestra los resultados obtenidos por la excitación de los transductores a una variedad de frecuencias diferentes, y produciendo así el haz colimado que tiene una frecuencia diferente. Los resultados se muestran como una gráfica de la amplitud medida por un voltaje, versus una posición a lo largo de la dirección del eje z medida en

milímetros. En esta prueba de laboratorio, se produjeron los haces colimados con frecuencias de 10 kHz, 37 kHz, 65 kHz, 83 kHz y 100 kHz. Como se puede observar en la figura, los haces colimados tienen perfiles de haces similares a lo largo de la dirección del eje z. La figura 4b muestra la sección transversal del haz a una distancia de 110 mm desde el emisor. En esta figura, la amplitud del haz como la representada por un voltaje es graficada contra la dirección del eje z como medida en milímetros. Los resultados indican que el haz colimado a una variedad de frecuencias muestra secciones transversales del haz altamente concentradas similares, en la dirección x, a diferencia de las ondas de la misma frecuencia que estarían más dispersadas en la dirección x.

Como se describió anteriormente, el haz colimado puede tener un intervalo de frecuencia relativamente estrecho, en donde uno o más transductores son excitados por una fuente que produce una frecuencia particular, o el haz colimado puede tener un intervalo de frecuencias relativamente amplio. Un ejemplo de la producción del haz colimado que tiene un intervalo de frecuencia relativamente amplio es mostrado en las figuras 5a y 5b. A manera de ejemplo no limitante, la figura 5a muestra una modulación de duración finita que tiene una frecuencia que varía desde 900 kHz hasta 1 MHz y una andanada repentina de una frecuencia de 1 MHz. La figura 5b muestra la andanada resultante graficada como una amplitud como la representada en el voltaje contra el tiempo en microsegundos.

La figura 6a muestra una serie de escaneos laterales a distancias seleccionadas en la dirección z desde el transmisor del haz mostrado en la figura 6b. Las distancias seleccionadas son 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm y 60 cm. La gráfica de la amplitud como se determinó por el voltaje contra la distancia del eje x muestra que la dispersión de haz es pequeña y relativamente constante e independiente de la distancia en la dirección z desde el transductor. En la figura 6c se muestra un espectro de frecuencia del haz colimado. La figura muestra que el intervalo de frecuencia utilizable para este arreglo particular es de 20 kHz hasta 120 kHz. El extremo inferior del intervalo de la frecuencia en uso puede ser tan bajo como 5 kHz y solamente está limitado por el tamaño del orificio de perforación. Otras bandas de la frecuencia pueden ser utilizadas para el haz colimado incluyendo las frecuencias de sondeo acústico que están típicamente en el intervalo de kHz y la banda del tipo de televisualizador del orificio de perforación, están típicamente en los intervalos de cientos de kHz hasta MHz. Un beneficio de tal arreglo es que el uso de una fuente de modulación de ancho de banda amplio en un orificio de perforación tendería a dar como resultado una relación mejorada de la señal con respecto al ruido en comparación con una fuente no modulada. La señal modulada puede permitir además una estimación mejorada del retardo de tiempo que sería benéfica en aplicaciones de formación de imágenes.

La figura 7a muestra el haz colimado producido por el proceso de mezcla utilizando el bloque de espuma de CNC como el material no lineal. Un arreglo de transductores 710 está configurado para producir una onda acústica a frecuencias de 1,000 MHz y 1,087 MHz. El arreglo de transductores 710 está acoplado a la espuma de CNC 720 en donde las dos señales acústicas se mezclan para formar un haz colimado 730 que tiene una frecuencia de 87 kHz. El bloque de espuma de CNC tiene una abertura de 80 mm desde la cual se propaga el haz colimado. La figura 7b muestra la amplitud del haz colimado en el dominio de tiempo a una distancia lateral de 90 mm (eje x) y una distancia axial de 20 mm (eje z). La figura 7c muestra el haz colimado en el dominio de la frecuencia que tiene un pico fuerte a 87 kHz.

La figura 8 es similar a la figura 7a, pero muestra el haz colimado 810 generado por el arreglo de transductores 820 y el bloque de espuma CNC 830 dispuesto dentro de un receptáculo 840. Como se muestra, el receptáculo 840 es un tubo de aluminio que tiene una longitud total de 323 mm, un diámetro interno de 140 mm y un diámetro externo de 153 mm.

La figura 9 es semejante a la figura 7a y muestra el haz colimado producido por el proceso de mezcla no lineal utilizando el bloque cerámico 310M como el material no lineal. Se configura un arreglo de transductores 910 para producir señales acústicas a las frecuencias de 1,353 MHz y 1,440 MHz. El arreglo de transductores 910 está acoplado al bloque cerámico 310M 920 en donde las dos señales acústicas se mezclan formando un haz colimado 930 que tiene una frecuencia de 87 kHz. El bloque cerámico 310M 920 tiene una abertura de 110 mm desde la cual se propaga el haz colimado. Como se puede observar en la figura, el haz colimado tiene lóbulos laterales que se extienden dentro de la región del campo cercano alrededor de unos cuantos centímetros desde la abertura del bloque cerámico; sin embargo, estos lóbulos laterales no se extienden en la región del campo alejada del haz.

La figura 10 muestra un aspecto de la invención en donde el dispositivo es utilizado para caracterizar las formaciones y/o los materiales cerca del orificio de perforación. Una o más fuentes 1005 producen señales a una primera y una segunda frecuencias. Las señales son transmitidas a un amplificador o amplificadores de señal 1010 que están configurados para incrementar la potencia de las señales. Las señales modificadas por el amplificador 1010 son transmitidas a uno o más transductores 1015 que están configurados para generar ondas acústicas a la primera y segunda frecuencias. Las ondas acústicas son transmitidas a un material no lineal 1020, que mezcla las ondas por medio del proceso de mezcla para producir un haz acústico colimado 1025.

El haz acústico colimado 1025 puede ser dirigido en una dirección particular por medio de una guía del haz acústico 1030. La guía del haz acústico 1030 puede ser un reflector acústico o una lente acústica. El reflector acústico puede ser un material con diferente impedancia acústica del medio circundante en el cual se propaga el haz. Un ejemplo no limitante de tal reflector acústico es una placa metálica. La lente acústica está configurada para enfocar el haz acústico colimado en un punto focal particular y en una dirección particular y puede tener una forma cóncava. Un arreglo de espejo del tipo de Fresnel también puede ser utilizado para guiar el haz acústico. La guía del haz acústico puede ser girada en una dirección particular por medio del uso de uno o más activadores 1035 acoplados a la guía, como se muestra con mayor detalle en la figura 11. En algunas modalidades, la guía del haz acústico 1030 puede no ser utilizada, y el haz colimado se propagaría a lo largo del eje del orificio de perforación.

El haz colimado 1040 puede ser reflejado fuera de la guía 1030 y dirigido a una dirección particular hacia un objeto de interés 1045 cerca del orificio de perforación. Las inhomogeneidades de las formaciones, tales como el objeto 1045 o un lecho adyacente localizado a lo largo del haz generaran la reflexión o la dispersión del haz acústico. Las ondas reflejadas y dispersadas 1050 son recibidas por uno o más receptores 1055 en el mismo orificio de perforación (para el caso de la formación de imágenes de un solo pozo) o en otro orificio de perforación (para el caso de la formación de imágenes de pozos cruzados). Los receptores 1055 pueden acoplarse a la guía 1030, de modo que los receptores estén configurados para recibir las ondas reflejadas 1050 a medida que la guía 1030 se mueve. Las señales recibidas por los receptores 1055 pueden ser transmitidas a los dispositivos electrónicos de procesamiento 1060 para el análisis. Los dispositivos electrónicos de procesamiento 1060 pueden incluir un ordenador con un software apropiado para la caracterización de la formación rocosa, incluyendo la producción de imágenes bidimensionales o tridimensionales de la formación. La instrumentación del fondo de la perforación está alojada en un receptáculo 1065 para permitir las operaciones estándar de sondeo del pozo.

En algunos aspectos de la invención, el dispositivo completo que incluye los transductores 1015, el material no lineal 1020 y los receptores 1055 puede ser movido hacia arriba y hacia abajo a lo largo de la longitud del orificio de perforación para formar una imagen de una formación particular cerca del orificio de perforación. Además, el dispositivo completo con o sin los receptores 1055 puede ser girado alrededor del eje del orificio de perforación para obtener imágenes de las formaciones en cualquier dirección azimutal alrededor del orificio de perforación.

La figura 11 muestra los ejes de rotación correspondientes de una guía del haz acústico 1105. La dirección del haz colimado es dirigida por el control selectivo del azimut de la guía por la rotación alrededor del eje guía 1110, y la inclinación 1115, el ángulo entre el plano del frente de la guía y el eje guía. Mediante el uso de los activadores (no mostrados) el plano de la guía puede ser controlado de manera efectiva en azimut y en inclinación. Los activadores pueden ser utilizados así para dirigir o cambiar la dirección del haz colimado.

La figura 12 muestra el haz colimado, producido por el proceso de mezcla no lineal utilizando los bloques cerámicos 310M como el material no lineal, que penetran una cubierta del tubo metálico. Un arreglo de transductores 1205 está configurado para producir señales acústicas que tienen frecuencias de 1,000 MHz y 1,087 MHz, por ejemplo. El arreglo de transductores 1205 está acoplado al bloque cerámico 310M 1210 en donde la mezcla de las dos señales acústicas forman un haz colimado 1215 que tiene una frecuencia de 87 kHz, que se propaga a través de la cubierta del tubo metálico 1220. El arreglo de transductores 1205 puede ser girado alrededor del eje longitudinal del orificio de perforación para obtener una imagen de una formación alrededor del orificio de perforación. El haz reflejado o retrodispersado desde la formación puede ser recibido por uno o más receptores (no ilustrados) en el orificio de perforación o en otro orificio de perforación. Los receptores pueden ser acoplados al arreglo de transductores 1205 para girar de una forma similar de tal modo que el haz reflejado o retrodispersado sea recibido por los receptores. Como se puede observar en la figura, el haz mantiene su colimación después de salir de la cubierta del tubo metálico 1220.

Las figuras 13a y 13b muestran el haz colimado después de direccionarlo con un espejo acústico y que sale de la cubierta del tubo metálico. Las figuras 13a y 13b son similares a la figura 12, con la diferencia de que el material no lineal (agua en este caso) está produciendo el haz no lineal a lo largo del tubo y el haz es direccionado fuera del tubo en forma perpendicular a la dirección de propagación inicial con la ayuda de una placa de espejo acústico. Un arreglo de transductores 1305 está configurado para producir señales acústicas que tienen una frecuencia de 0,953 MHz y 1,036 MHz, por ejemplo. El arreglo de transductores 1305 está acoplado a un material no lineal (agua) 1310 en donde la mezcla de las dos señales acústicas forma un haz colimado 1315 que tiene una frecuencia de 83 kHz, que se refleja desde el espejo acústico 1320 y se propaga a través de la cubierta de la tubería metálica 1325. Como se puede observar en la figura, el haz mantiene su colimación después de salir de la cubierta del tubo metálico 1325, y puede ser dirigido fácilmente mediante la rotación del espejo acústico de tal manera que se cambia el ángulo de incidencia del haz colimado. La figura 13b muestra la dirección del haz que resulta cuando el espejo 1320 ha sido girado.

La figura 14 muestra un aspecto de la invención en donde el dispositivo es utilizado con un sistema de enfoque acústico. Una o más fuentes 1405 producen señales a una primera y una segunda frecuencias. Las señales son transmitidas a un amplificador o amplificadores de la señal 1410 que están configurados para incrementar la

potencia de las señales. Las señales modificadas por el amplificador 1410 son transmitidas a uno o más transductores 1415 que están configurados para generar señales acústicas a la primera y segunda frecuencias. Las señales acústicas se propagan a un material no lineal 1420, que mezcla las señales por medio del proceso de mezcla para producir un haz acústico colimado 1425.

5

En algunas modalidades, el haz acústico colimado 1425 está incidiendo sobre un sistema de enfoque acústico 1430. El haz colimado tiende a tener una cierta dispersión del haz, que se incrementa a medida que el haz se propaga a través del receptáculo (es decir, el tubo). Esta dispersión del haz significa que a una cierta distancia desde el origen del haz, el haz interactuará con las paredes del receptáculo, lo que tiende a producir efectos indeseables. El sistema de enfoque acústico 1430 reduce esta interacción del haz y las paredes del receptáculo por medio del enfoque del haz, y por consiguiente reduciendo la dispersión del haz. El enfoque no necesita reducir el perfil del haz hasta un punto, sino solamente producir un haz bien definido que no sea distorsionado o atenuado debido a las reflexiones desde las paredes del receptáculo, de tal modo que el perfil del haz no se disperse demasiado de forma angular. Un ejemplo no limitante del sistema de enfoque acústico 1430 es una lente de Fresnel hecha de plexiglás o de otros materiales que cuando están conformados apropiadamente reduzcan la dispersión de haz. El sistema de enfoque acústico 1430 puede incluir una variedad de materiales incluyendo una cámara rellena con un líquido de diferente velocidad de sonido que el material no lineal en el receptáculo, en donde la cámara está conformada apropiadamente, ya sea de forma cóncava o convexa dependiendo de las velocidades del sonido en el líquido. En general, cualquier material que coincida razonablemente en impedancia acústica con aquel del material no lineal en el receptáculo puede ser utilizado como el sistema de enfoque acústico 1430.

10

15

20

En algunas modalidades, no se utiliza el sistema de enfoque acústico 1430 cuando el haz 1425 producido por la mezcla no lineal en el material 1420 está suficientemente bien definido y no se dispersa mucho de manera angular. En este caso, el haz 1425 sale del material 1420 sin haber sido modificado adicionalmente.

25

30

La carcasa o receptáculo 1435 está configurado para alojar y soportar los transductores 1415, el material no lineal 1420, el sistema de enfoque acústico 1430, y uno o más receptores 1440. El haz acústico enfocado es dirigido a lo largo del eje de la carcasa 1435 y es reflejado o dispersado desde un objeto de interés 1445. El objeto 1445 puede incluir inhomogeneidades en la formación rocosa tales como zonas invadidas, la unión de cemento con la cubierta, zonas dañadas, zonas fracturadas, capas estratigráficas (particularmente con una pendiente muy evidente, es decir, para pozos muy inclinados en formaciones relativamente poco pendientes). Los receptores 1440 están configurados para recibir la señal reflejada o dispersada 1455 y la señal es procesada por dispositivos electrónicos de procesamiento 1450.

35

40

45

Las figuras 15a, 15b y 15c muestran una disposición experimental y los resultados de la formación de imágenes de un objeto fuera del tubo de acuerdo con un aspecto de la invención. La figura 15a muestra la disposición experimental que es similar en diseño a la figura 10, en donde un transductor de la fuente 1505 está configurado para generar señales acústicas y está acoplado a un material no lineal 1510 que está configurado para producir un haz acústico colimado 1515 mediante un proceso de mezcla no lineal. El transductor de la fuente 1505 puede ser propulsado por un generador de la fuente y un amplificador de potencia (ninguno mostrado). Un receptáculo 1520, tal como un tubo, está configurado para alojar el transductor 1505, el material no lineal 1510, así como, una guía del haz acústico 1525, y uno o más receptores 1530. El haz acústico colimado 1515 es dirigido fuera del receptáculo 1520 mediante la guía del haz acústico 1525. A manera de ejemplo no limitante, en este arreglo, la guía del haz acústico 1525 es un reflector acústico. El haz colimado reflejado 1530 está incidiendo sobre un objeto 1535 fuera del receptáculo 1520. El objeto 1535 puede incluir inhomogeneidades en las formaciones rocosas tales como zonas invadidas, la unión del cemento con la cubierta, zonas dañadas, zonas fracturadas, capas estratigráficas (particularmente con pendiente muy evidente, es decir, para pozos muy inclinados en formaciones relativamente poco pendientes). El haz colimado 1540 es recibido por uno o más receptores 1550 (ya sea localizados en el mismo orificio de perforación o en otro orificio de perforación) después que ha sido reflejado o retrodispersado desde el objeto 1535.

50

55

En la disposición experimental de la figura 15a, el objeto fue girado 360° alrededor de un eje 1545 y se hicieron mediciones de intensidad de sonido de acuerdo a lo registrado por los receptores 1550. En esta disposición, el objeto 1535 era un bloque sólido de aluminio con una forma ligeramente irregular, colocado aproximadamente a 61 cm de la pared del tubo. Tanto el tubo como el bloque estaban sumergidos en agua. La figura 15b muestra un diagrama polar de la intensidad reflejada medida y la figura 15c muestra un diagrama polar del tiempo de reflexión medido. En ambas figuras 15a y 15c, la sección transversal del bloque de aluminio es mostrada para la comparación con los datos medidos. Como se muestra en la figura 15b, existe una señal grande cuando la cara del bloque está en una posición que maximiza la señal reflejada en el receptor. Por consiguiente, cada pico representa una cara del bloque. La figura 15c muestra el tiempo de propagación. A medida que el bloque es girado, se presentan las caras y retroceden, cambiando la distancia total que el haz de sonido tiene que propagar. Se entiende que en la configuración del orificio de perforación, se obtendrá la imagen de intensidad por la rotación del dispositivo. Por

consiguiente, la amplitud de la señal reflejada representa las reflexiones desde las inhomogeneidades alrededor del perímetro del orificio de perforación.

- 5 Los registros de las formas de las ondas recibidas son procesados para generar una imagen de las características de reflexión o transmisión de la formación. La dirección de propagación del haz y el tiempo de propagación pueden fijar los sitios en donde las sondas dispersadas son generadas, distinguiendo este dispositivo entre las técnicas de formación de imágenes sónicas normales utilizando fuentes monopolares y bipolares no direccionales, convencionales. Un efecto asociado con el uso de un haz comparado con las fuentes convencionales es que el cálculo de una imagen de las propiedades acústicas de la formación puede no requerir una especificación detallada del campo de velocidad de la formación rocosa. La dirección de propagación del haz y la medición del tiempo de propagación simplifican y mejoran la capacidad para identificar el sitio en donde las ondas son reflejadas o dispersadas. En particular, el conocimiento de la orientación del haz que sale de la herramienta localiza las fuentes de las ondas dispersadas registradas a lo largo de la dirección del haz, y el retardo del tiempo localiza la posición de las fuentes dispersadas alrededor de la trayectoria del haz. Por consiguiente, la formación de una imagen del orificio de perforación con una fuente del haz representa una simplificación y la reducción en la incertidumbre de la imagen final de tiempo en contraste con las fuentes convencionales (sin haz) que requieren un modelo de velocidad detallada exacta para el cálculo de la imagen tridimensional. Además, debido a que el haz es enfocado y puede ser dirigido, en azimut e inclinación con respecto al orificio de perforación, la formación de imágenes tendería a tener una resolución más elevada que la obtenida con una fuente convencional (sin haz). El método permite la formación de imágenes detalladas de las características incluyendo zonas invadidas, la unión del cemento con la cubierta, zonas dañadas, zonas fracturadas, capas estratigráficas particularmente con una pendiente muy evidente (el ángulo entre el plano de la estratificación y el plano perpendicular con respecto al eje de la herramienta). La diferencia de ancho de banda de la frecuencia del haz para la invención varía de 1 kHz hasta 100 kHz. El extremo inferior de este intervalo de frecuencia, también utilizado por algunas herramientas de registro sísmico convencionales, logran una profundidad de penetración de hasta cien pies. Es importante señalar que, puesto que el haz es de banda ancha y puede ser codificado, la relación de la señal con respecto al ruido de la señal detectada, mejoraría considerablemente después del procesamiento y la decodificación. Debido a las características del haz de banda ancha con una mayor profundidad de penetración y una relación de la señal con respecto al ruido más elevada debido a la codificación, el método también permite la formación de imágenes detalladas y/o la caracterización de propiedades no lineales de la formación rocosa y sus contenidos de fluido alrededor del orificio de perforación.
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30 Las diversas configuraciones descritas en forma detallada anteriormente son solamente para propósitos de ilustración. Se pueden hacer modificaciones a las configuraciones para otras aplicaciones sin apartarse de la invención. Por ejemplo, en las configuraciones del transporte por tubería y de sondeo mientras se está perforando (LWD), utilizando la tecnología que permita que la herramienta pase a través del fondo de la cadena de perforación, el dispositivo de generación del haz acústico compacto hará posible una fijación eficiente de la barrena conduciendo a la detección de zonas sobrepresurizadas o a cambios significativos en la reología de la formación antes que las mismas sean alcanzadas por la barrena de perforación. El direccionamiento del haz también hace posible la medición indirecta de la inclinación y el azimut de los cuerpos reflejantes al frente de la barrena. Otra aplicación es la detección de la geometría de la falla al frente de la barrena.
- 35
- 40 Aunque se haga referencia aquí a un ordenador, este puede ser un ordenador de propósito general, un ordenador construido especialmente para ese propósito, un ASIC que incluye instrucciones ejecutables por la máquina y programado para ejecutar los métodos, un arreglo o red de ordenadores, u otro dispositivo de computación apropiado. Como se muestra en las figuras 10 y 14, los datos recolectados por los receptores serían sometidos a algún procesamiento y son o bien almacenados en la memoria de la herramienta, o transmitidos a la parte superior de la perforación para procesamiento y almacenamiento adicional. Como un ejemplo adicional, se debe entender que la presente invención contempla que, hasta donde sea posible, se pueden combinar una o más características de cualquier modalidad con una o más características de cualquier otra modalidad.
- 45

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo, colocado dentro de un orificio de perforación, configurado para generar y dirigir un haz acústico en una formación rocosa alrededor del orificio de perforación, comprendiendo el dispositivo:
- 5 una fuente (110) configurada para generar una primera señal ( $f_1$ ) a una primera frecuencia y una segunda señal ( $f_2$ ) a una segunda frecuencia diferente de la primera frecuencia;
- 10 un arreglo de transductores (130, 210, 710, 820, 910, 1015, 1205, 1305, 1415, 1505) localizado dentro del orificio de perforación y configurado para recibir la primera señal generada y la segunda señal generada, en donde se configura el primer grupo de transductores del arreglo de transductores para generar una onda acústica a la primera frecuencia y un segundo grupo de transductores del arreglo de transductores para generar una onda acústica a la segunda frecuencia; y
- 15 un material no lineal (140, 220, 720, 830, 920, 1020, 1210, 1310, 1420, 1510) acoplado a los transductores (130, 210), configurado para generar un haz colimado (730, 810, 930, 1025, 1215, 1315, 1425, 1515) con una frecuencia igual a la diferencia entre la primera frecuencia y la segunda frecuencia mediante un proceso de mezcla no lineal, en donde el material no lineal incluye uno o más de una mezcla de líquidos, un sólido, un material granulado, microesferas incrustadas, o una emulsión, y en donde el haz colimado tiene una frecuencia de 20 kHz a 120 kHz.
2. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además:
- una guía del haz acústico (1030, 1320, 1525) configurada para guiar el haz colimado en una dirección dada.
3. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la guía del haz acústico (1030, 1320, 1525) incluye un reflector acústico, una lente acústica, o ambos.
- 20 4. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además:
- un receptor (150, 1055, 1440, 1530) configurado para recibir el haz colimado después de haber sido reflejado o retrodispersado desde una inhomogeneidad en la formación.
5. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el receptor incluye más de un receptor dispuesto a lo largo de una dirección axial del dispositivo dentro del orificio de perforación.
- 25 6. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el receptor incluye más de un receptor dispuesto en un orificio de perforación diferente.
7. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el arreglo de transductores está dispuesto en una configuración lineal, circular, un círculo relleno, o cuadrada.
8. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 2, que comprende además:
- 30 una carcasa (1065, 1325, 1520) configurada para alojar el arreglo de transductores, el material no lineal y la guía del haz acústico dentro del orificio de perforación.
9. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además:
- 35 un codificador configurado para codificar el haz colimado con un código variable en el tiempo mediante la introducción de un componente variable en el tiempo que incluye uno o más de una modulación de frecuencia o barrido de frecuencia para una de la primera y la segunda señales.
10. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 9, en donde los componentes que varían con el tiempo incluyen una variación de la amplitud, la frecuencia, y/o la fase.
11. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 3, en donde el reflector acústico está configurado para controlar la dirección de propagación del haz colimado o la lente acústica está configurada para enfocar el haz colimado.
- 40 12. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el haz colimado es analizado por un procesador (1060) para crear una imagen, que puede ser una imagen tridimensional, de la formación rocosa alrededor del orificio de perforación.

13. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el haz colimado tiene una frecuencia entre 20 kHz y 100 kHz.
14. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las frecuencias de la primera y segunda señales están entre 300 kHz y 2 MHz.
- 5 15. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la longitud del material no lineal está entre 5 cm y 2 m.
16. Un método para la generación de un haz de energía acústica en una formación rocosa penetrada por un orificio de perforación, comprendiendo el método:
- generar una primera onda acústica ( $f_1$ ) a una primera frecuencia;
- 10 generar una segunda onda acústica ( $f_2$ ) a una segunda frecuencia diferente a la primera frecuencia, en donde la primera onda acústica y la segunda onda acústica son generadas por un arreglo de transductores (130, 210, 710, 820, 910, 1015, 1205, 1305, 1415, 1505) localizado dentro del orificio de perforación, la primera onda acústica siendo generada por un primer grupo de transductores del arreglo de transductores y la segunda onda acústica siendo generada por un segundo grupo de transductores del arreglo de transductores;
- 15 transmitir la primera y segunda ondas acústicas en un medio acústicamente no lineal (140, 220, 720, 830, 920, 1020, 1210, 1310, 1420, 1510) para producir un haz colimado (730, 810, 930, 1025, 1215, 1315, 1425, 1515) mediante una mezcla no lineal de la primera y la segunda ondas acústicas, en donde el haz colimado se propaga a través del medio no lineal en una misma dirección que una dirección inicial de la primera y la segunda ondas acústicas y tiene una frecuencia igual a una diferencia de la primera y la segunda ondas acústicas, en donde el haz colimado tiene
- 20 una frecuencia de 20 kHz a 120 kHz, y en donde el medio no lineal incluye uno o más de una mezcla de líquidos, un sólido, un material granulado, microesferas incrustadas o una emulsión; y
- dirigir el haz colimado, usando una guía del haz acústico (1030, 1320, 1525), en una dirección dada lejos del orificio de perforación en la formación rocosa.
17. Un método de acuerdo con la reivindicación 16, que comprende además:
- 25 recibir el haz colimado en uno o más receptores (150, 1055, 1440, 1530) después de que ha sido reflejado o retrodispersado desde una inhomogeneidad en la formación, los materiales cerca del orificio de perforación, o ambos.
18. Un método de acuerdo con la reivindicación 16, en donde uno o más receptores están localizados en el orificio de perforación.
- 30 19. Un método de acuerdo con la reivindicación 16, en donde uno o más receptores están localizados en otro orificio de perforación.
20. Un método de acuerdo con la reivindicación 17, en donde la guía del haz acústico incluye un reflector acústico, una lente acústica o ambos.
21. Un método de acuerdo con la reivindicación 20, en donde el arreglo de transductores, el medio acústicamente no lineal, la guía del haz acústico, y los receptores están dispuestos dentro de un receptáculo (1065, 1325, 1520).
- 35 22. Un método de acuerdo con la reivindicación 18, que comprende además:
- analizar el haz colimado después de que ha sido reflejado o retrodispersado desde una inhomogeneidad en la formación para generar una imagen de la formación rocosa, los materiales cerca del orificio de perforación, o ambos.
23. Un método de acuerdo con la reivindicación 19, que comprende además:
- 40 analizar el haz colimado después de que ha sido reflejado o retrodispersado desde una inhomogeneidad en la formación para generar una imagen de la formación rocosa entre los orificios de perforación y para generar información para caracterizar las propiedades lineales y no lineales de la formación rocosa y los contenidos del fluido que rodean el orificio de perforación, o para generar imágenes de zonas invadidas, la unión de cemento, las zonas dañadas, las zonas fracturadas, las capas estratigráficas, y las fuentes de dispersión.

24. Un método de acuerdo con la reivindicación 20 o 21, que comprende además:

5 codificar el haz colimado con un código variable con el tiempo mediante la introducción de un componente variable con el tiempo que incluye uno o más de barrido de frecuencia o modulación para una de la primera y la segunda señales acústicas, en donde el análisis comprende utilizar la codificación para medir un tiempo de propagación de la tercera señal.

25. Un método de acuerdo con la reivindicación 24, en donde los componentes variables con el tiempo comprenden una variación en la amplitud, la frecuencia, y/o la fase.

26. Un método de acuerdo con la reivindicación 16, en donde:

10 el haz colimado es dirigido controlando selectivamente el azimut de la guía acústica del haz (1105) mediante rotación alrededor de un eje guía (1110) y la inclinación (1115) entre el plano de la guía y el eje de guía (1110);

y en donde el método comprende además

recibir el haz colimado en uno o más receptores localizados en el orificio de perforación después de que ha sido reflejado o retrodispersado desde una inhomogeneidad en la formación, los materiales cerca del orificio de perforación, o ambos.

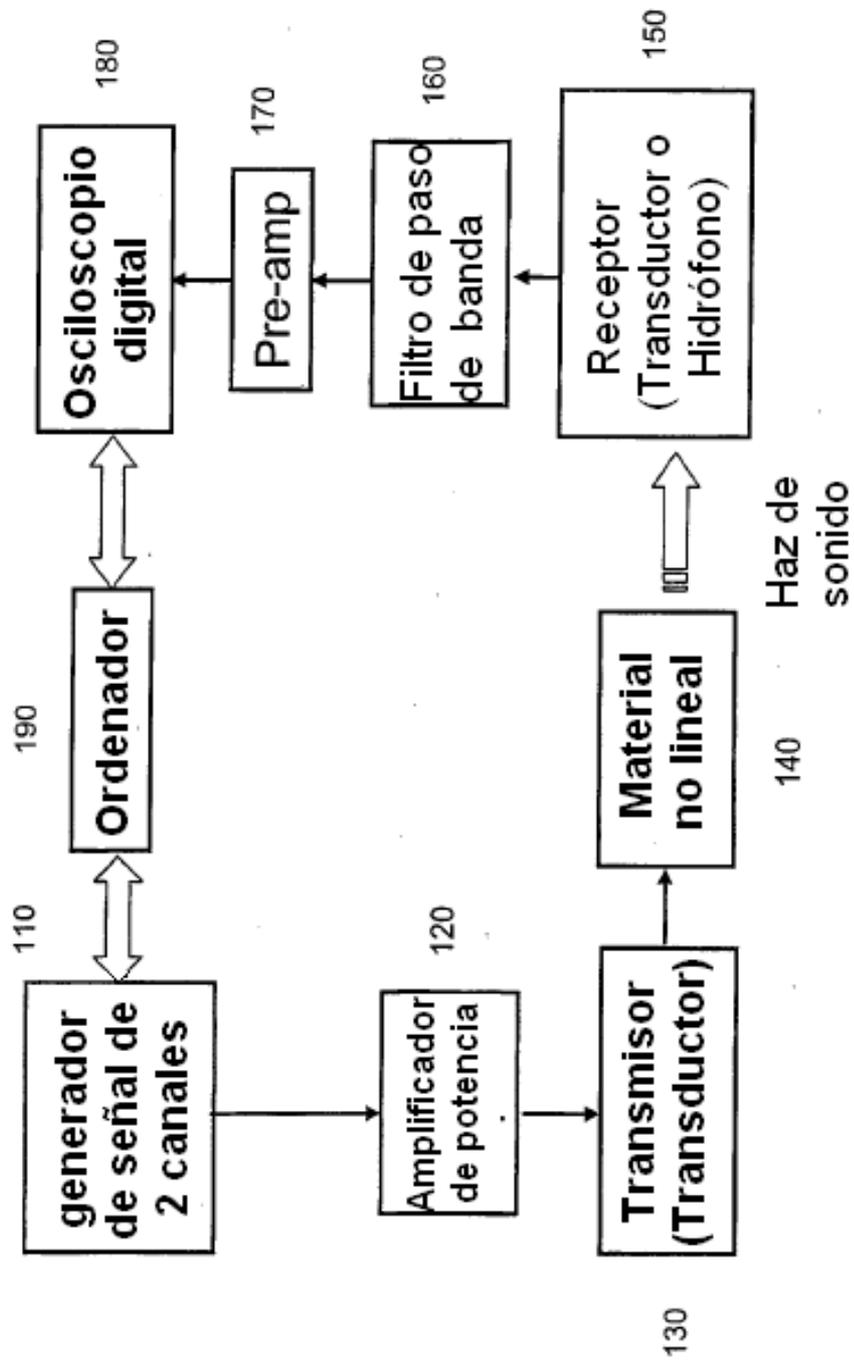


Fig. 1

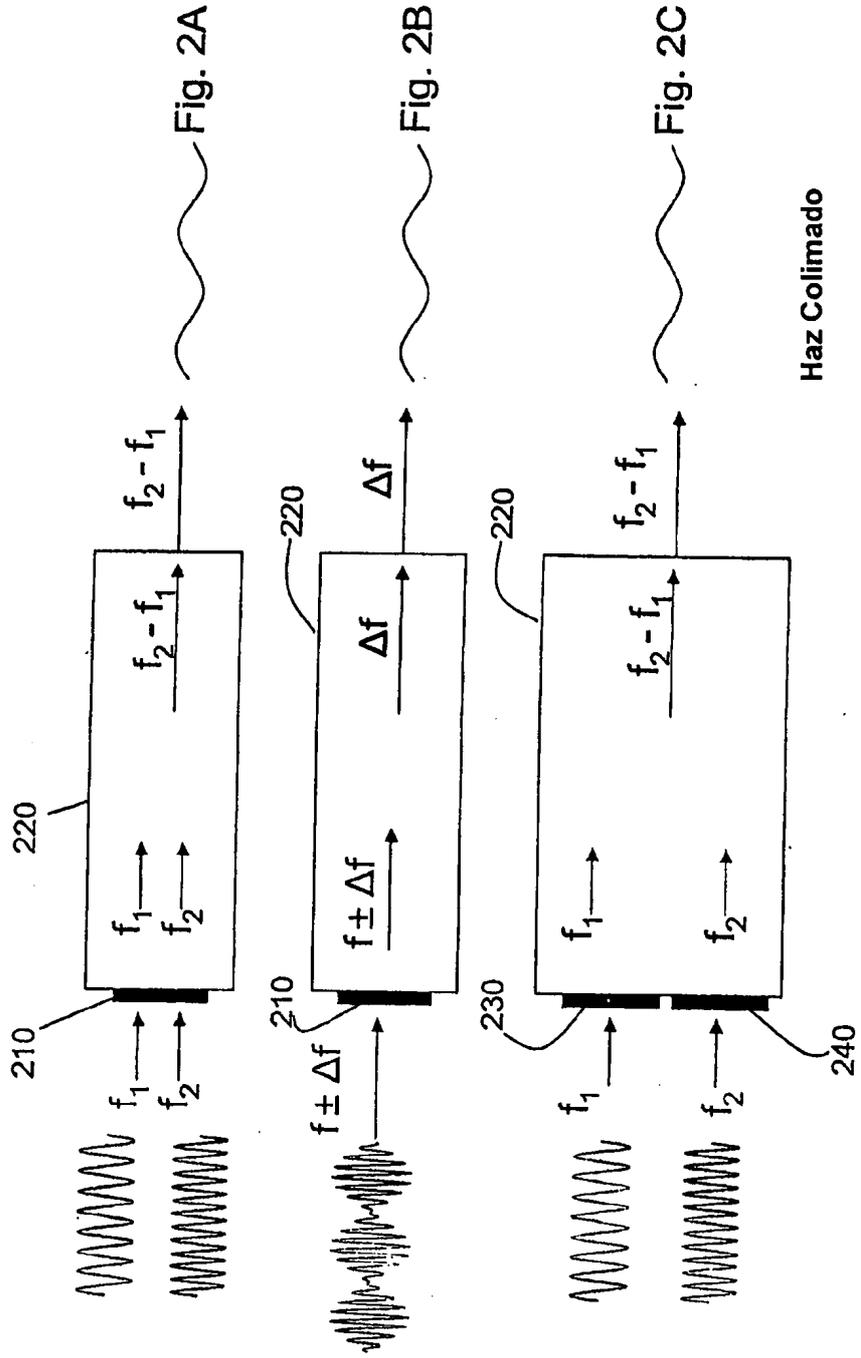
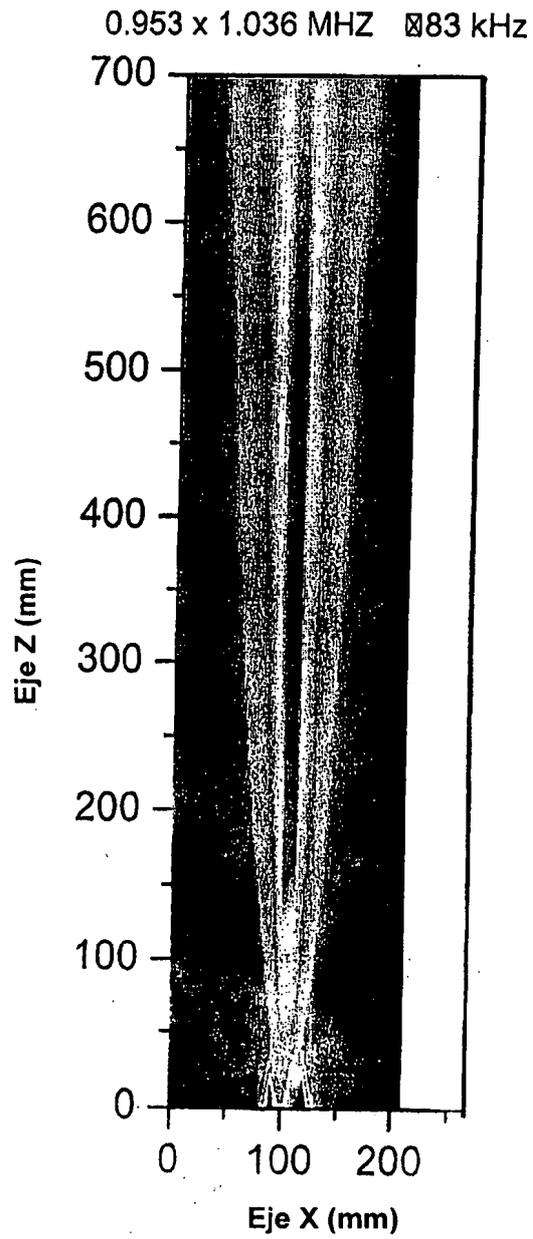


Fig. 3A



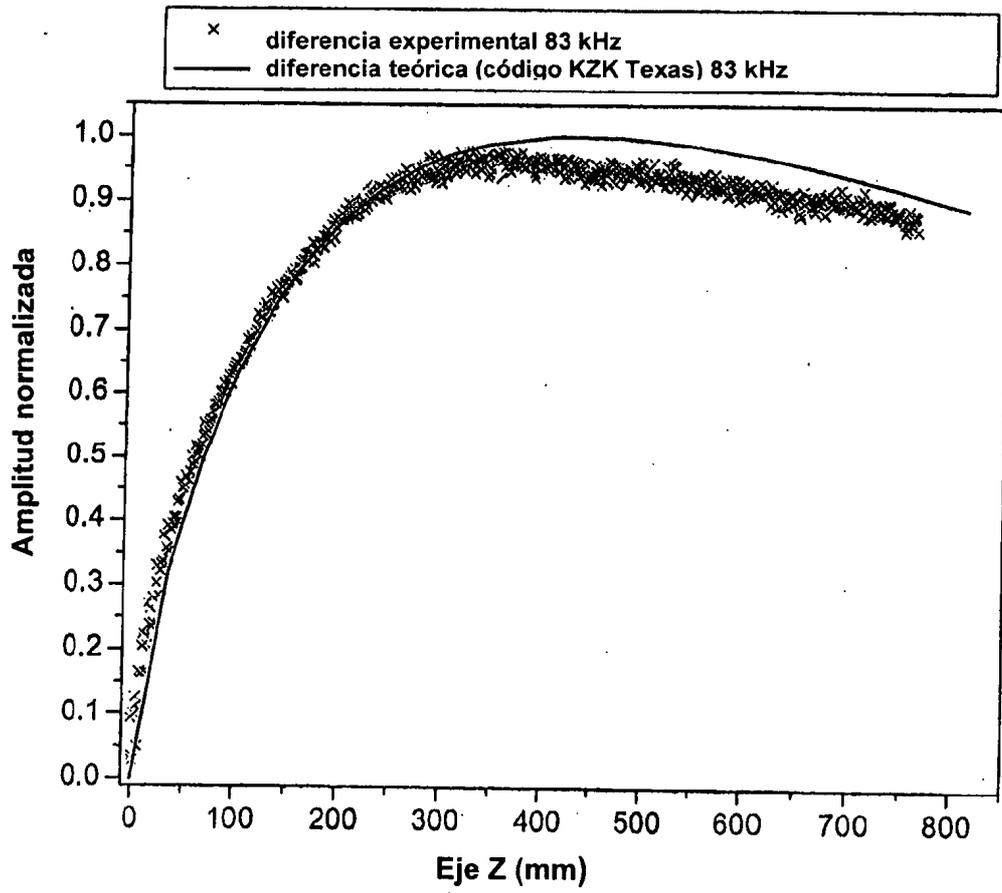


Fig. 3B

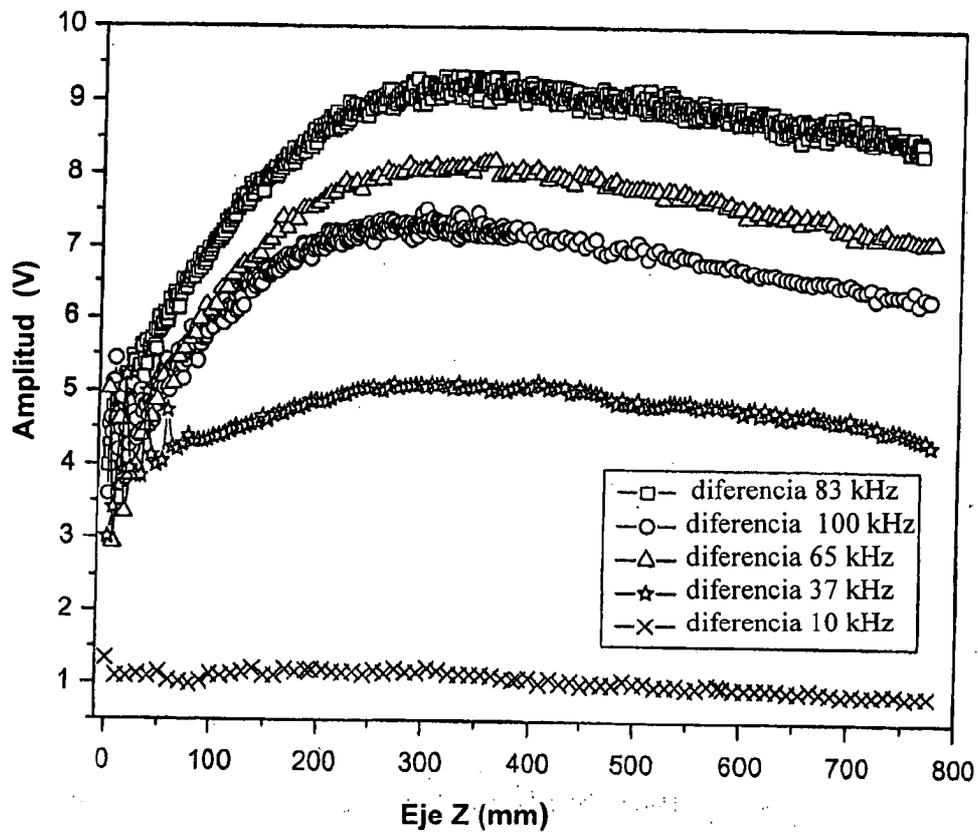


Fig. 4A

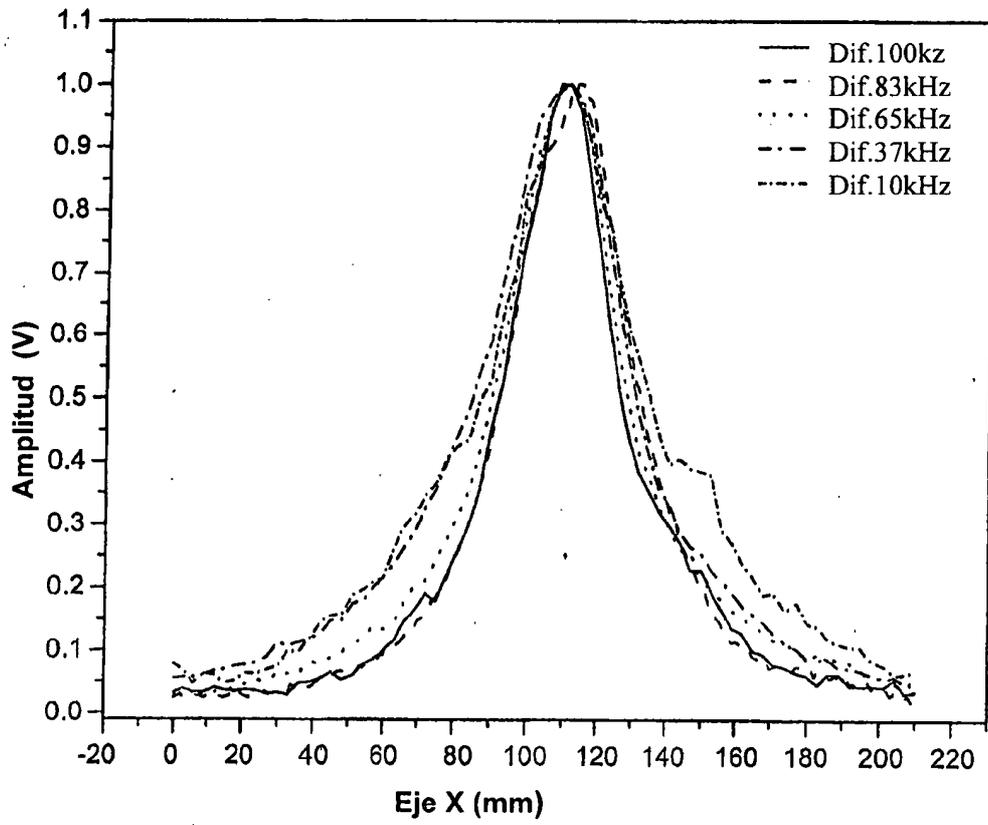


Fig. 4B

Fig. 5A

Ráfaga de una sola frecuencia

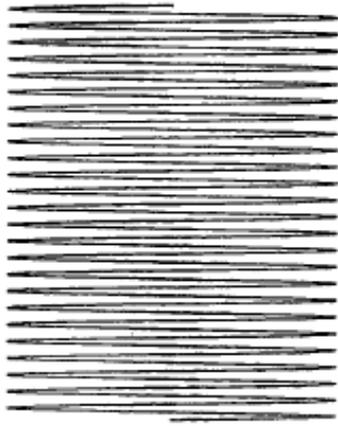
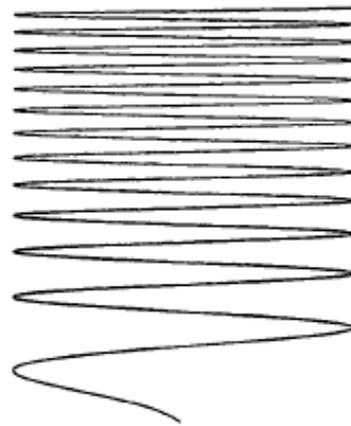
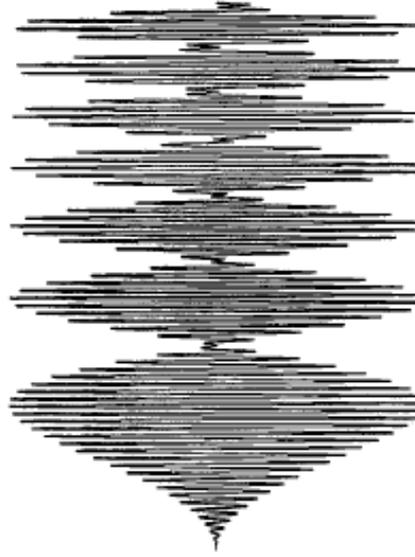


Fig. 5B

Señal combinada al transductor



Modulación de frecuencia (banda ancha)

Fig. 6A

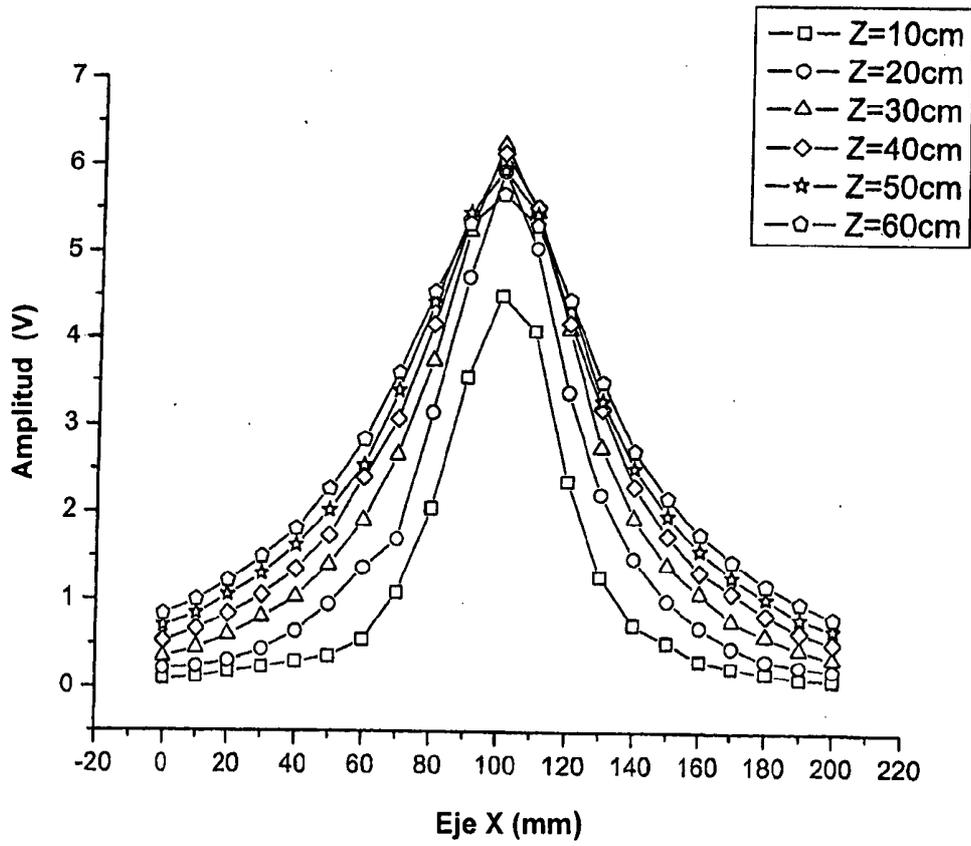
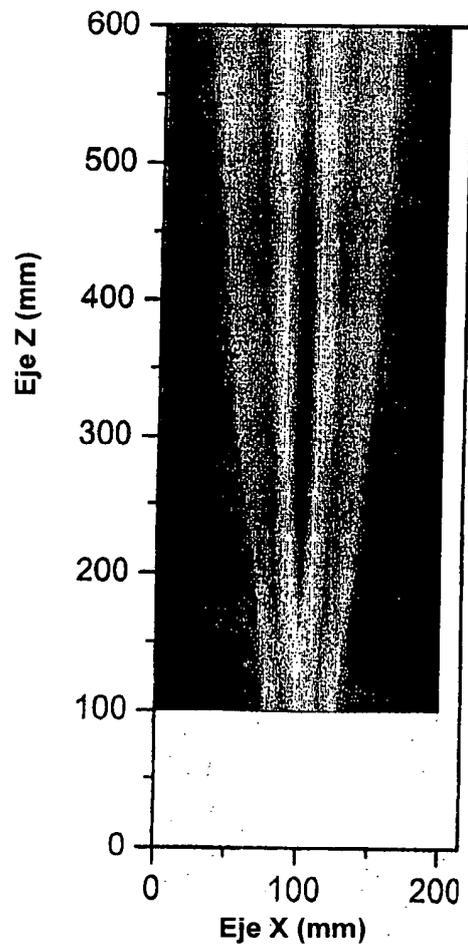


Fig. 6B



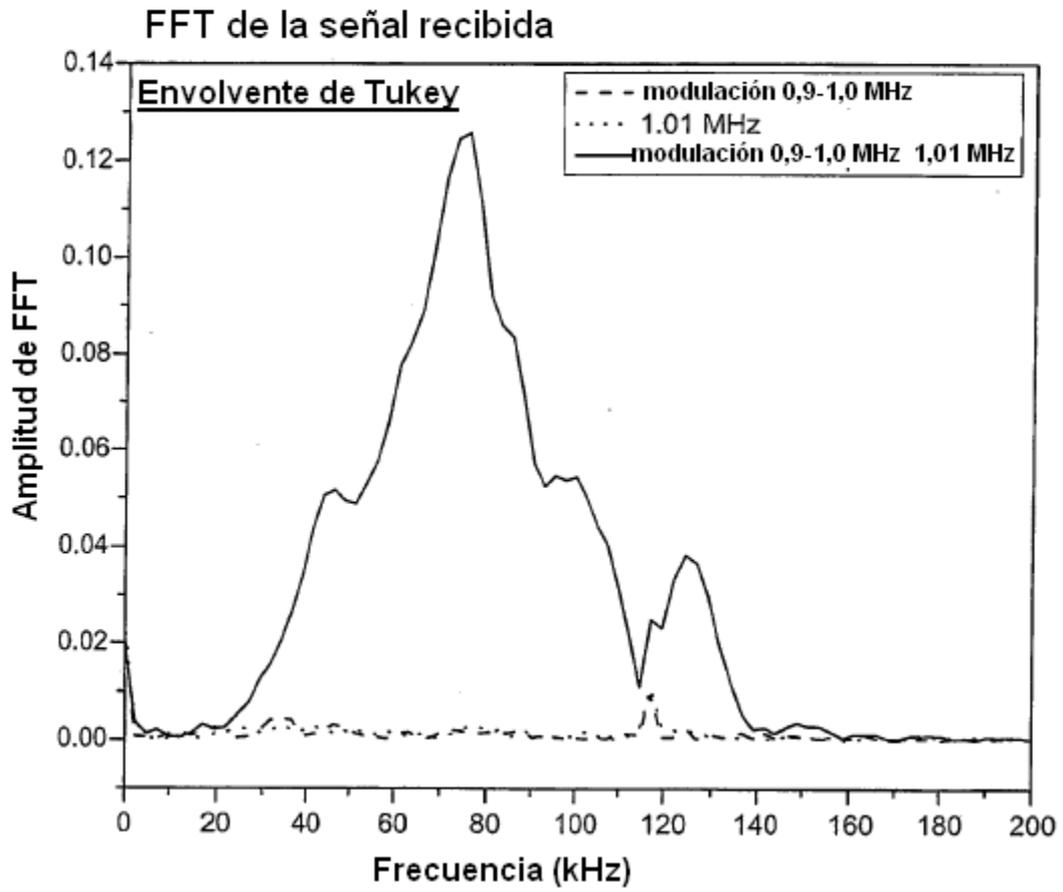


Fig. 6C

Fig. 7A

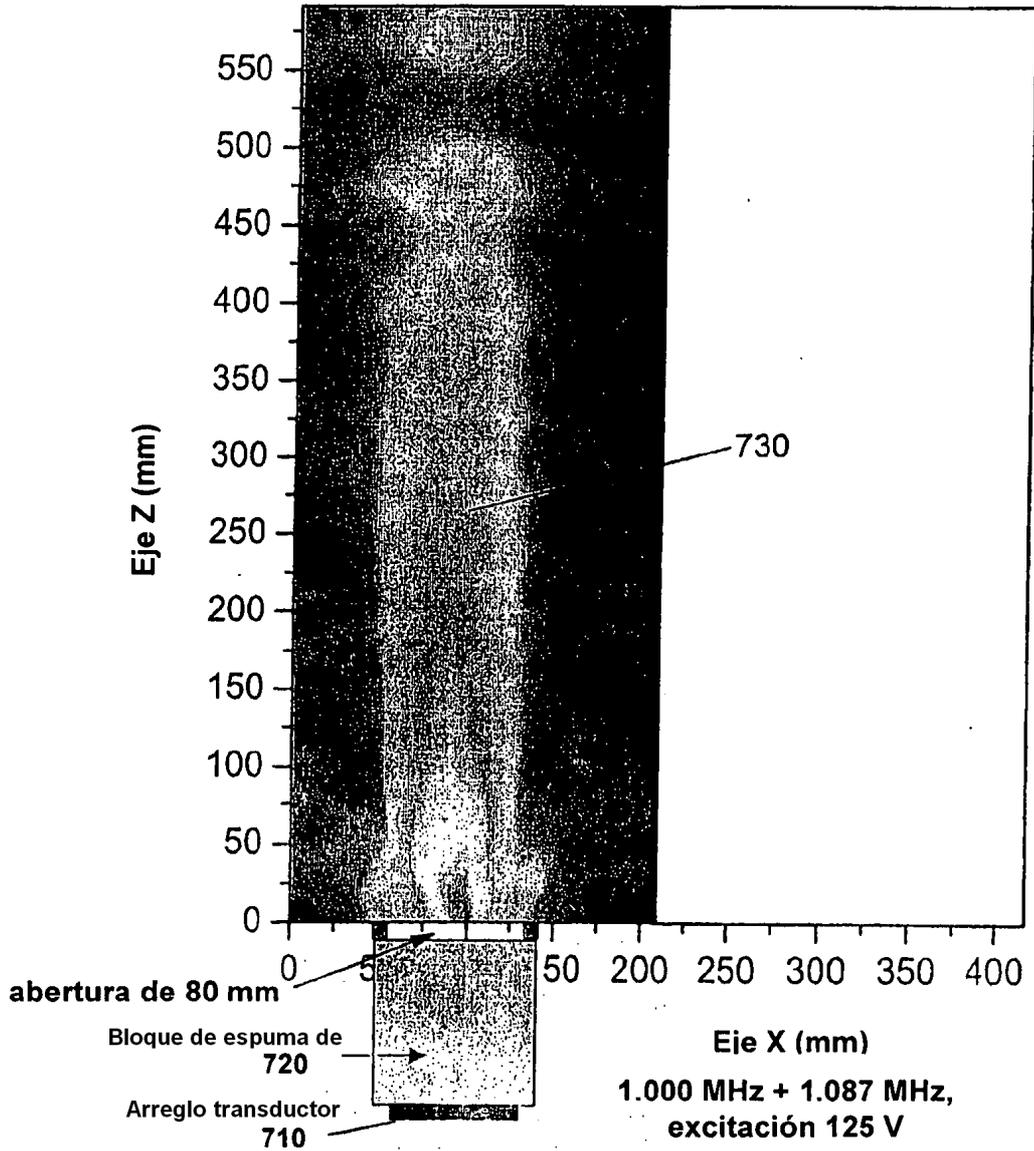


Fig. 7B

Señal diferencial

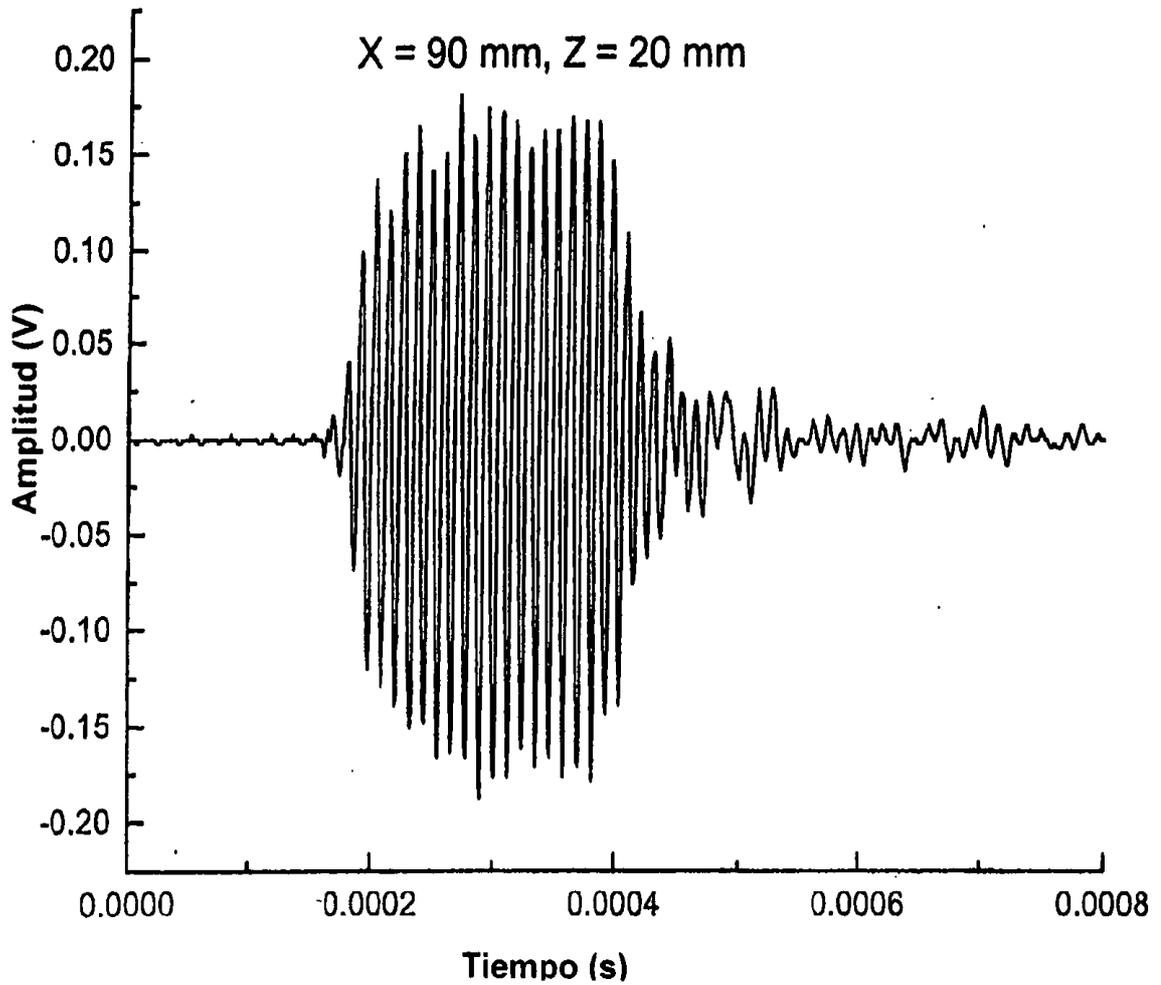
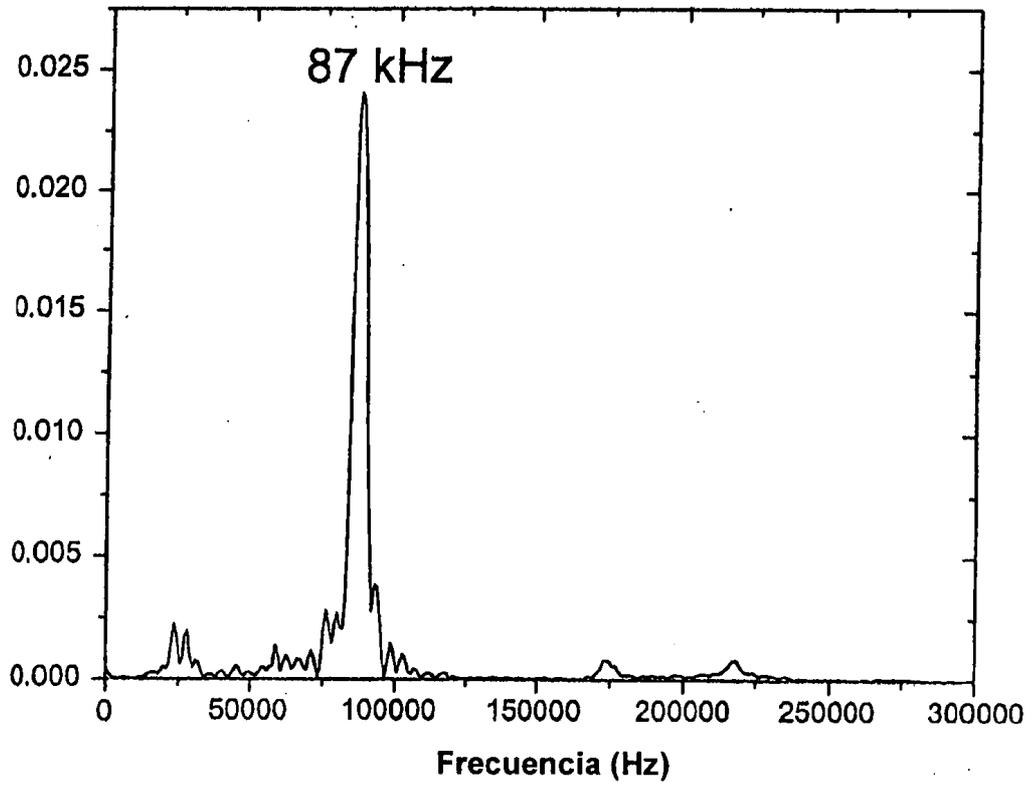


Fig. 7C

FFT de señal diferencial



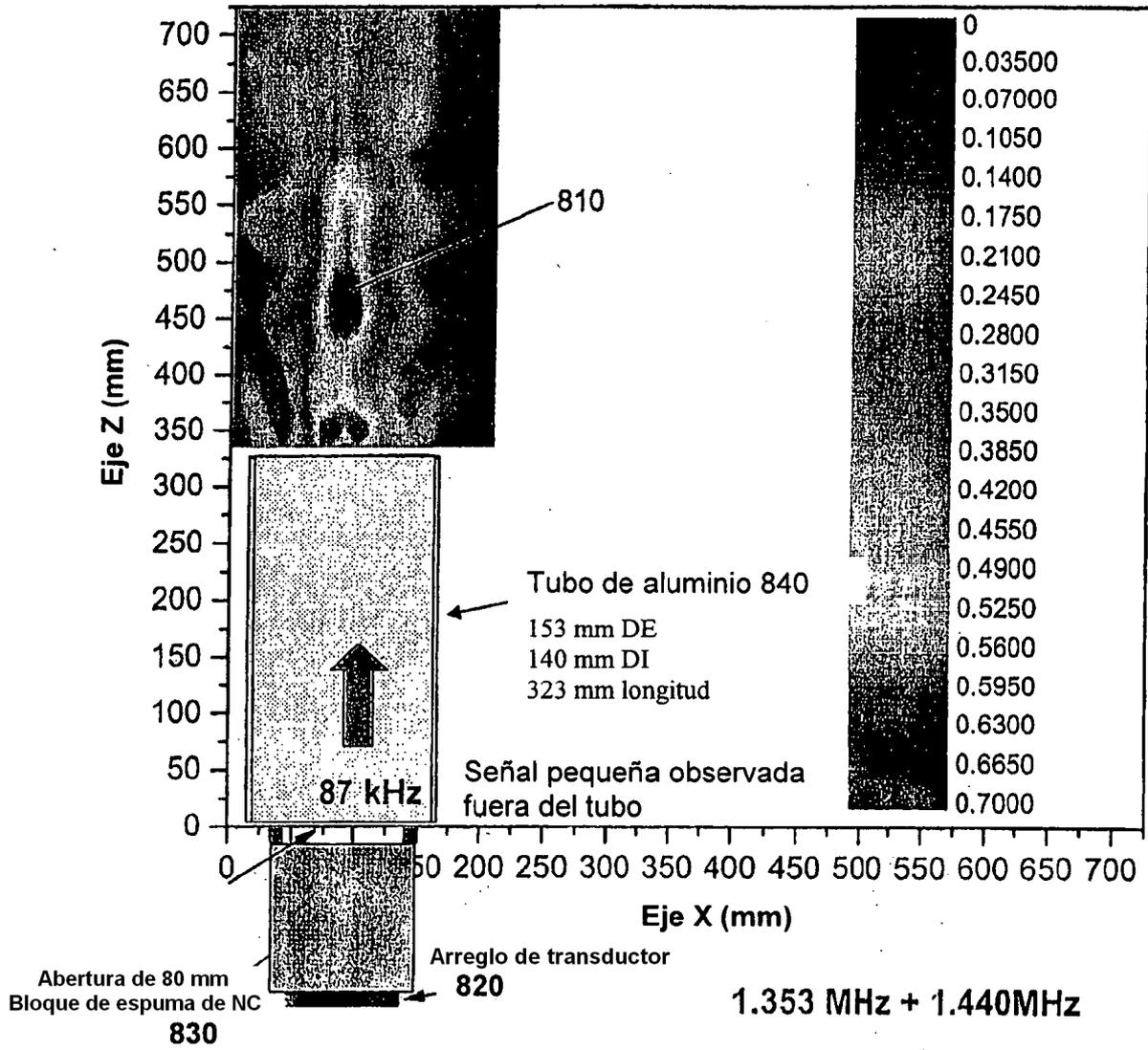
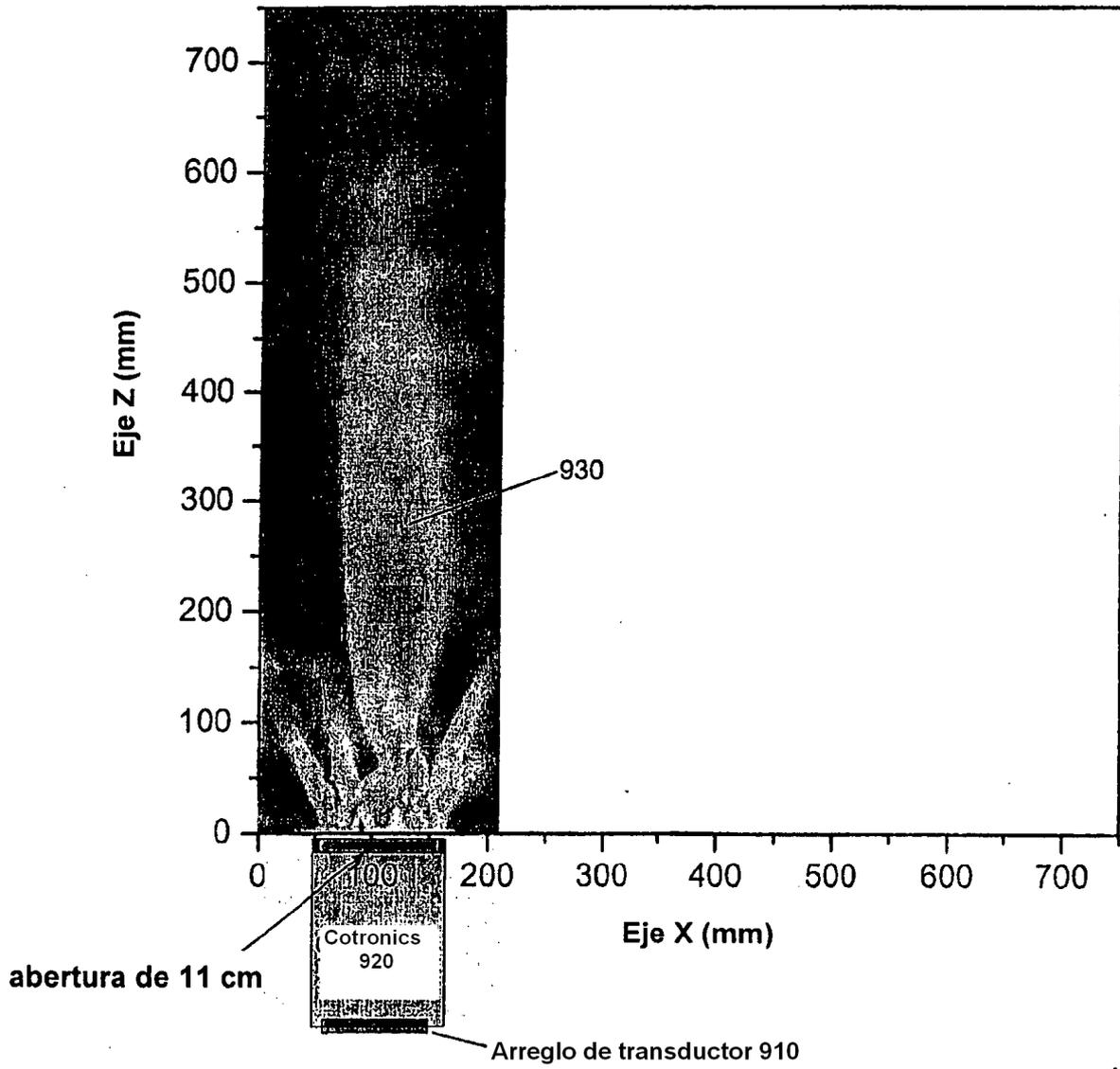


Fig. 8

Fig. 9



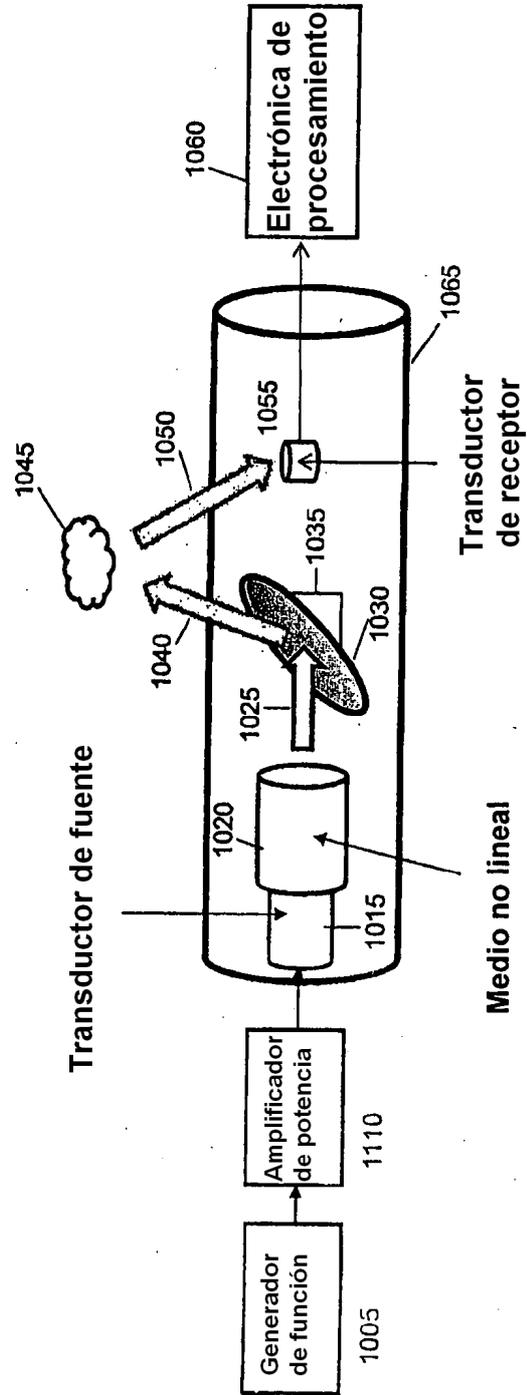
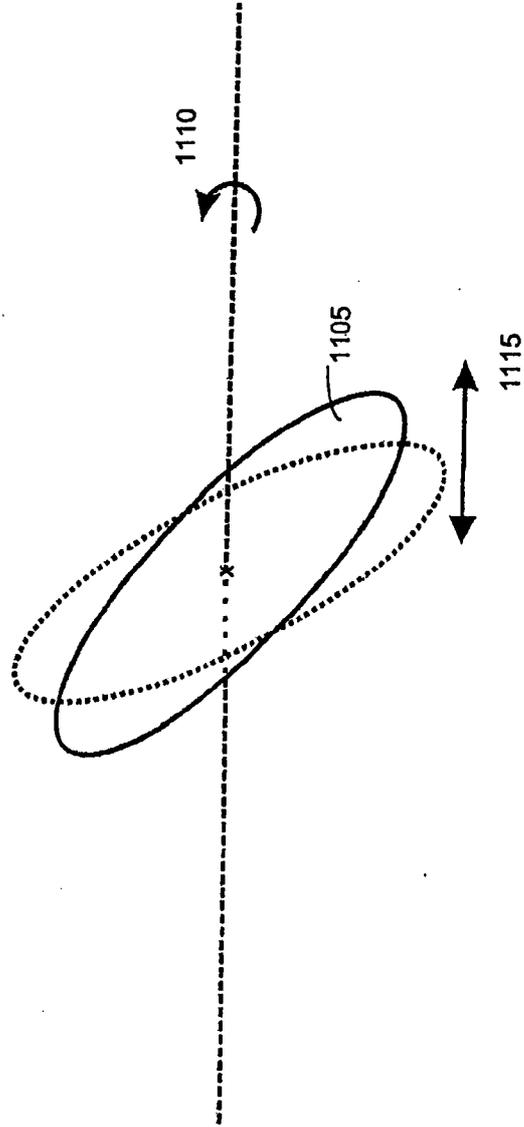


Fig. 10

Fig. 11



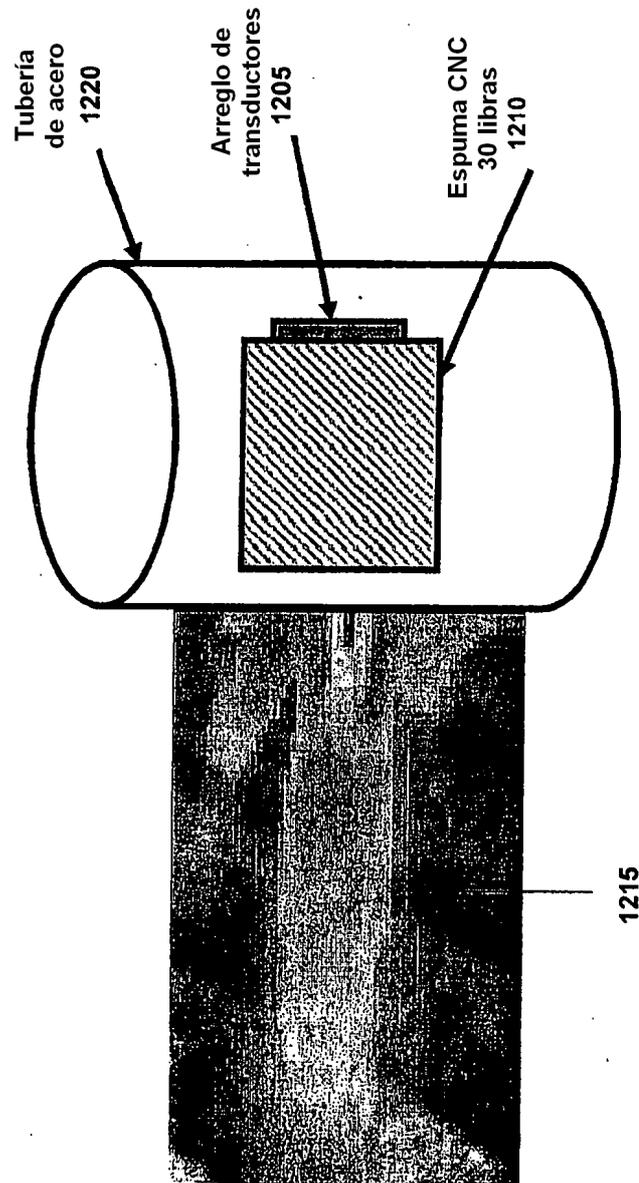


Fig. 12

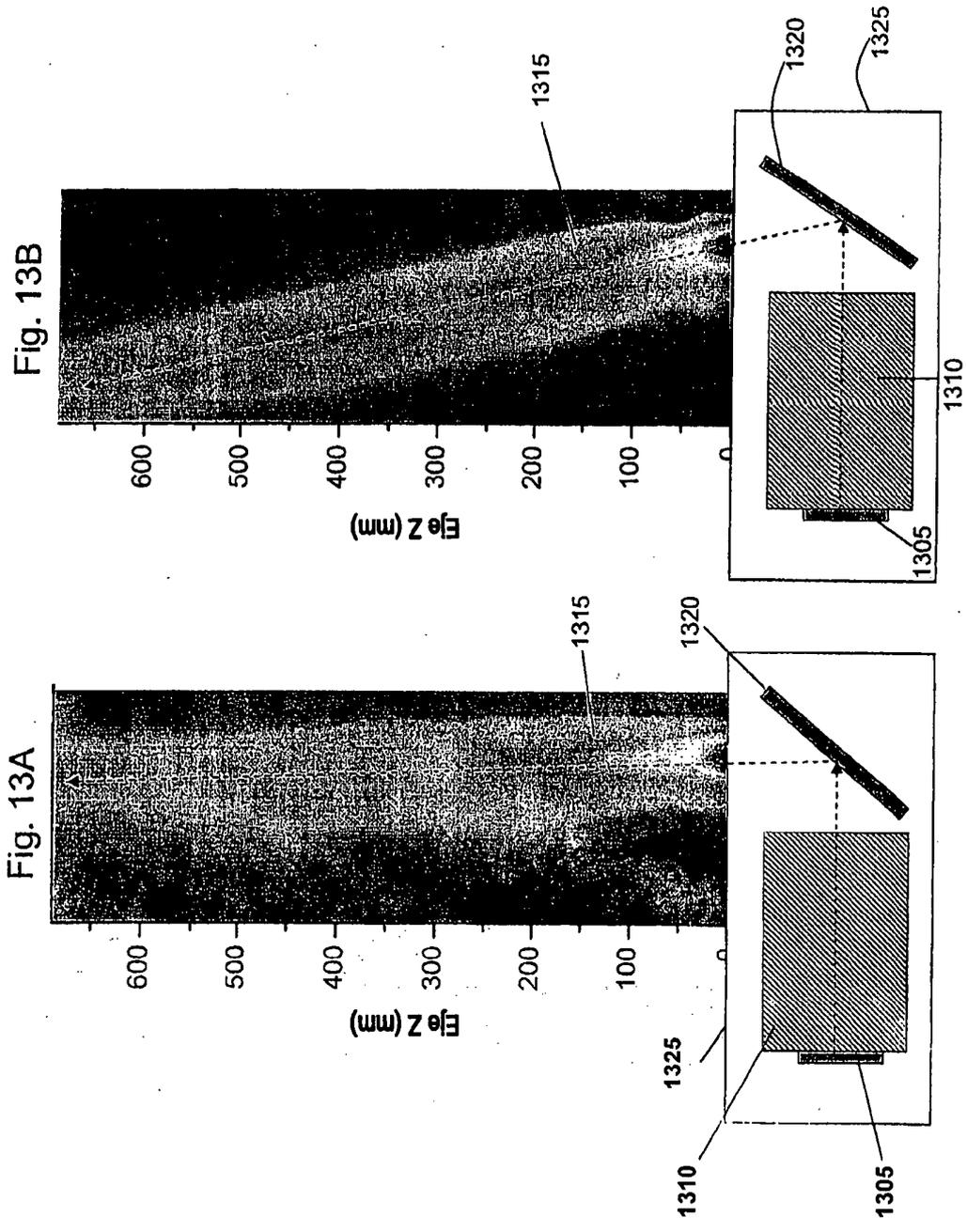
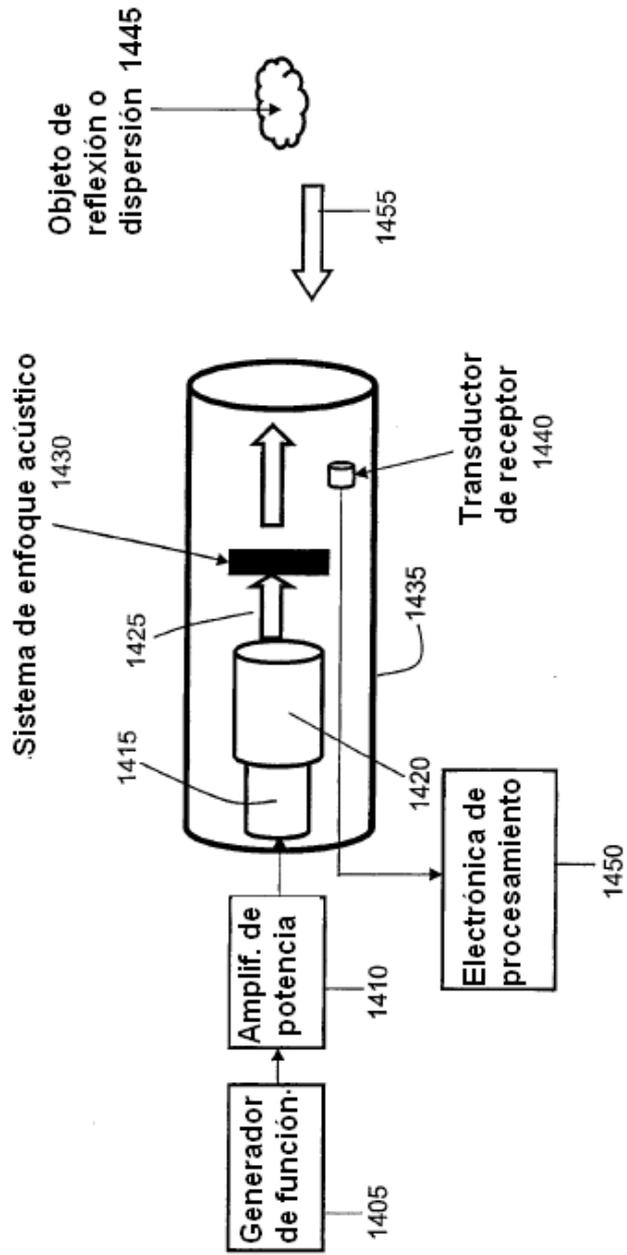


Fig. 14



### Formación de imagen del objeto fuera del tubo

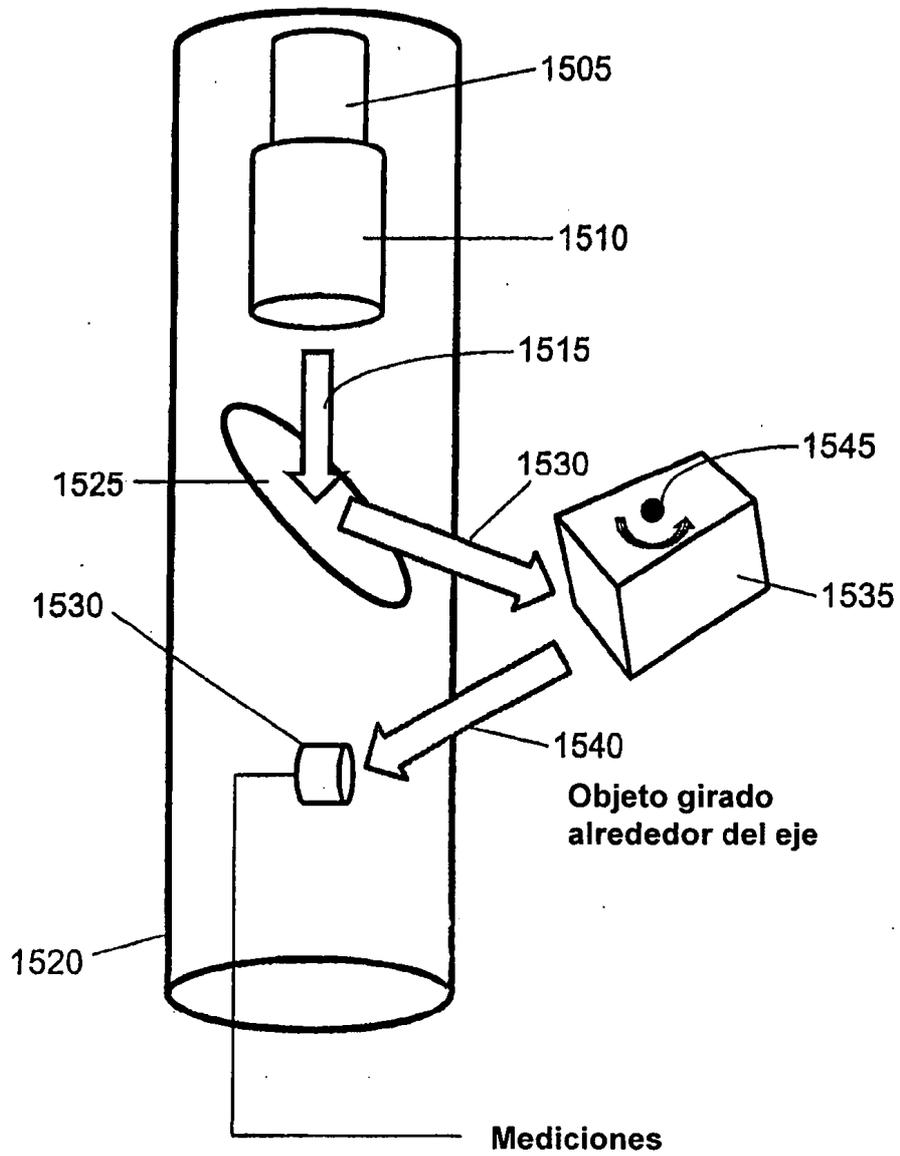


Fig. 15A

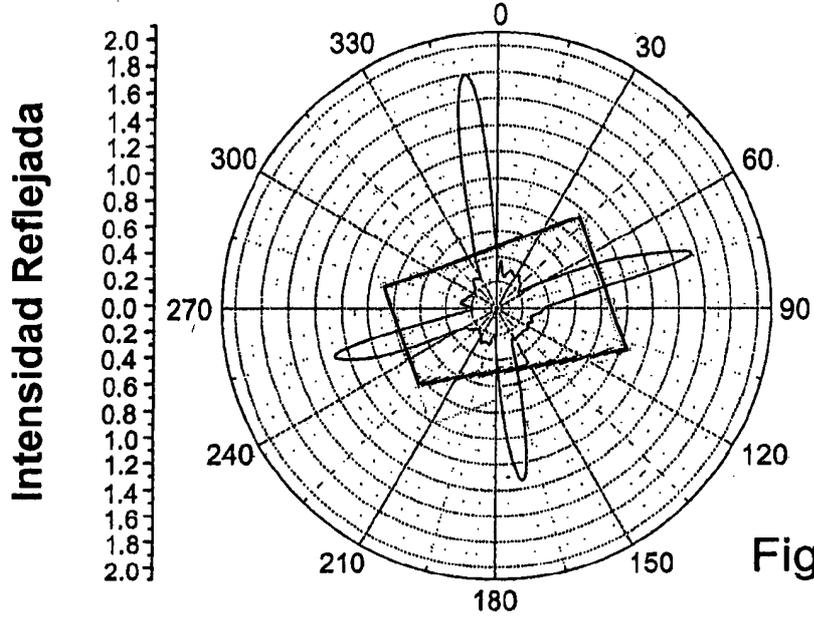


Fig. 15B

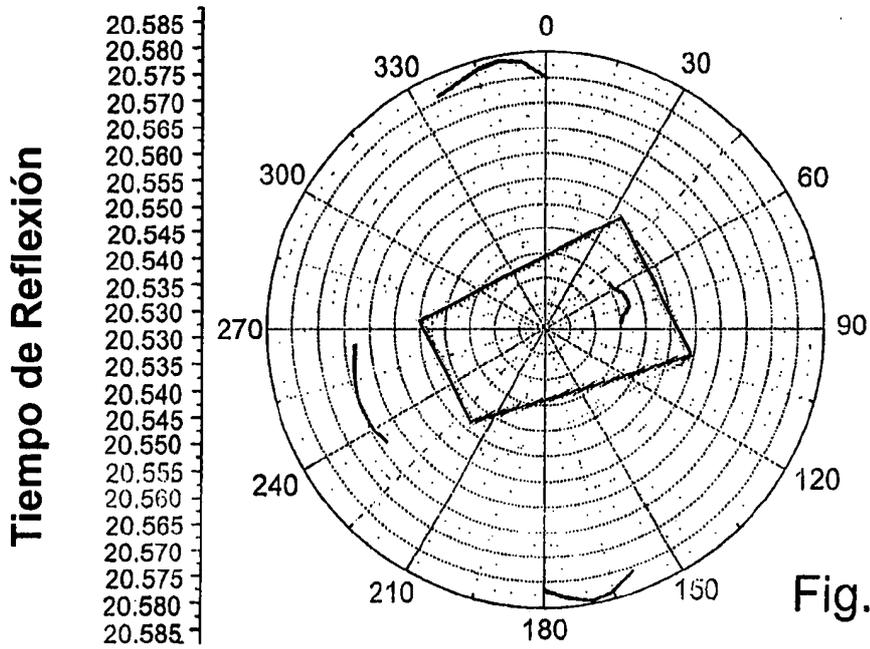


Fig. 15C