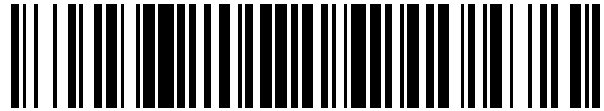


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 548 283**

51 Int. Cl.:

G01V 1/46

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.05.2011 E 11727347 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.09.2015 EP 2577357**

54 Título: **Dispositivo y método para generar un haz colimado de energía acústica en un pozo de perforación**

30 Prioridad:

03.06.2010 US 793414

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

15.10.2015

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 T.;

SCHMITT, DENIS P. y

SKELT, CHRISTOPHER

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 548 283 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 colimado de energía acústica en un pozo de perforación

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

Campo

La presente invención se refiere en general a la investigación acústica de formaciones de roca alrededor de un pozo de perforación y más particularmente al uso de la combinación de una fuente acústica que incluye un único transductor o una serie de transductores en el pozo de perforación junto a un material no lineal para producir un haz acústico como una herramienta de sondeo de un pozo de perforación para investigar las propiedades de las formaciones de roca y los materiales que rodean el pozo de perforación.

Antecedentes

La investigación acústica de las características del subsuelo tiende a ser limitada por el tamaño y la potencia de las fuentes prácticas, y en la práctica, la salida de transductores acústicos del fondo del pozo está limitada por las capacidades de transmisión de potencia del cable alámbrico. Señales de alta frecuencia tienen una distancia de penetración relativamente corta, mientras que las señales de baja frecuencia generalmente requieren fuentes grandes, sujetas a la pared del pozo de perforación, para maximizar la transferencia de energía a la formación y minimizar las señales no deseadas dentro del pozo de perforación. Es difícil generar una señal de haz colimado acústico en el rango de 10 kHz - 100 kHz desde el pozo de perforación para sondear la formación de roca que rodea un pozo de perforación, o cualquier otro material en el medio ambiente, tales como la carcasa o cemento, con transductores de baja frecuencia convencionales. Las fuentes acústicas de baja frecuencia convencionales en este rango de frecuencia tienen ancho de banda bajo, menos del 30% de la frecuencia central, y una dispersión del haz muy grande que depende de la frecuencia, de tal manera que como la frecuencia disminuye, aumenta la propagación del haz. La generación de un haz colimado requiere una serie de condiciones que deben cumplirse, incluyendo una larga serie de fuente, acoplamientos uniformes de todos los transductores a la formación rocosa alrededor del pozo de perforación y el conocimiento de las velocidades acústicas de la formación rocosa. En el entorno del pozo de perforación, estas condiciones no suelen ser alcanzables debido a las limitaciones físicas subyacentes, la factibilidad de ingeniería o las condiciones de funcionamiento.

Se han propuesto fuentes de haz acústico basados en una mezcla no lineal de ondas acústicas para aplicaciones generales en medios de fluidos, tales como sonar bajo el agua, desde los años 1950. Para aplicaciones del subsuelo, la patente de los Estados Unidos No. 3, 974,476 de Cowles revela una fuente acústica para reconocimientos del pozo de perforación. La divulgación de Cowles describe un dispositivo de generación de fuente acústica, por ejemplo, un dispositivo que es capaz de generar un haz de frecuencia de 1 kHz mediante la mezcla de dos frecuencias de alrededor de 5 MHz en un entorno de pozo de perforación que infringe los principios básicos de la física. Una herramienta de registro por cable típica tiene un diámetro de 3 5/8 pulgadas (9.2 cm), mientras que la longitud de onda de una onda de 1 kHz en un fluido típico de 1500 m/s es 1.5 m. Esto representa cerca de 10 veces el diámetro del pozo de perforación. Esta onda acústica de 1 kHz no puede permanecer colimada sin infringir el principio de incertidumbre básica de la física de difracción de onda. Por otra parte, la mezcla de frecuencias de 5 MHz para generar una onda de 1 kHz representa una relación de reducción de frecuencia de 5000: 1, que no ha sido demostrado que sea realizable en la práctica.

El documento 2010/0002540 de Estados Unidos revela una fuente de haz acústico basada en una mezcla no lineal de ondas acústicas utilizando un medio no lineal compuesto de un líquido, una mezcla de líquidos, un sólido, un material granular embebido en una carcasa sólida, microesferas incrustadas, o una emulsión.

Resumen

De acuerdo con algunos aspectos de la presente divulgación, se revela un método para generar un haz de energía acústica en un pozo de perforación. El método incluye generar de una primera onda acústica en una primera frecuencia; generar una segunda onda acústica en una segunda frecuencia diferente de la primera frecuencia, en donde la primera onda acústica y segunda onda acústica son generadas por al menos un transductor realizado por una herramienta situada dentro del pozo de perforación; transmitir la primera y la segunda ondas acústicas en un medio acústicamente no lineal, en donde la composición del medio no lineal produce un haz colimado por una mezcla no lineal de la primera y la segunda ondas acústicas, en el que el haz colimado tiene una frecuencia sobre la base de una diferencia entre la primera frecuencia y la segunda frecuencia; y transmite el haz colimado a través de una lente acústica divergente para compensar un efecto de refracción causado por la curvatura de la pozo de perforación.

De acuerdo con el método, el método puede incluir, además, reflejar y guiar el haz acústico colimado por un espejo acústico móvil. Por otra parte, el medio no lineal puede incluir una mezcla de líquidos, un sólido, un material granular,

- 5 las microesferas incrustadas, o una emulsión, o una combinación de los mismos. Además, el haz colimado puede tener un rango de frecuencia que está entre 15 kHz y 120 kHz. Además, la primera onda acústica y / o la segunda onda acústica pueden tener un rango de frecuencias. Todavía adicionalmente, el método puede incluir transmitir el haz colimado en un material alrededor del pozo de perforación, en el que el material puede ser la formación de roca, cemento, o la carcasa, o una combinación de los mismos. Además, la lente acústica divergente puede ser un espejo o puede ser transmisora. El método puede incluir además transmitir el haz colimado a través de una segunda lente acústica dispuesta a lo largo de un trayecto de transmisión que está entre la lente divergente y el medio no lineal. La segunda lente acústica puede ser una lente convergente y el medio no lineal puede tener una velocidad del sonido entre 100 m/s y 800 m/s.
- 10 De acuerdo con algunos aspectos de la presente divulgación, se revela una herramienta de registro transportado por cable o tubo que se puede colocar dentro de un pozo de perforación. La herramienta puede incluir una cubierta; al menos un transductor, llevado por la cubierta, y configurado para producir una primera onda acústica en una primera frecuencia y una segunda onda acústica en una segunda frecuencia diferente de la primera frecuencia; un medio no lineal transportado por la cubierta, en donde la composición del medio no lineal está configurada para producir un haz colimado por una mezcla no lineal de la primera y la segunda ondas acústicas, en donde el haz colimado tiene una frecuencia basada en una diferencia entre la primera frecuencia y la segunda frecuencia; y una lente divergente acústica configurada para transmitir el haz colimado y para compensar un efecto de refracción causado por la curvatura del pozo de perforación.
- 15 De acuerdo con la herramienta, la herramienta puede incluir además un espejo acústico móvil que puede estar dispuesto para reflejar y guiar el haz acústico colimado. Por otra parte, el medio no lineal puede incluir una mezcla de líquidos, un sólido, un material granular, las microesferas incrustadas, o una emulsión, o una combinación de los mismos. Además, el haz colimado puede tener un rango de frecuencia que está entre 15 kHz y 120 kHz. Además, la primera onda acústica y/o la segunda onda acústica pueden tener un rango de frecuencias. Todavía adicionalmente, la herramienta puede estar dispuesta para transmitir el haz colimado en un material alrededor del pozo de perforación, en el que el material puede incluir la formación de roca, cemento, o la carcasa, o una combinación de los mismos. Además, la lente acústica divergente puede ser un espejo o puede ser transmisora. La herramienta puede además estar dispuesta para transmitir el haz colimado a través de una segunda lente acústica dispuesta a lo largo de un trayecto de transmisión que está entre la lente divergente y el medio no lineal. La segunda lente acústica puede ser una lente convergente y el medio no lineal puede tener una velocidad del sonido entre 100 m/s y 800 m/s.
- 20 De acuerdo con un aspecto de la invención, se revela un dispositivo muy compacto, colocado dentro del pozo de perforación, configurado para generar y dirigir un haz colimado acústico en los materiales y la formación de roca alrededor de un pozo de perforación. El dispositivo incluye un transductor dispuesto dentro de una herramienta de registro en el pozo de perforación y configurado para recibir una primera señal electrónica en una primera frecuencia y una segunda señal electrónica en una segunda frecuencia generada por una o más fuentes electrónicas y producir ondas acústicas primarias en la primera frecuencia y la segunda frecuencia; y un material no-lineal de baja velocidad acústica dispuesto en una trayectoria de transmisión de estas ondas acústicas primarias en la herramienta de registro y configurado para generar un haz colimado acústico secundario con una frecuencia igual a una diferencia de frecuencias entre la primera frecuencia y la segunda frecuencia por un proceso de mezcla serie paramétrico no lineal. El material no lineal puede incluir una mezcla de líquidos, un sólido, un material granular, microesferas embebidas, y/o una emulsión con propiedades apropiadas: velocidad acústica baja, atenuación acústica baja y alta resistencia a la formación de choque.
- 25 El dispositivo puede incluir además un espejo acústico configurado para reflejar el haz colimado acústico y para dirigir el haz acústico en una dirección dada en los materiales y la formación que rodean el pozo de perforación.
- 30 El dispositivo puede incluir además una primera lente acústica o conjunto de lente dispuestos a lo largo de una trayectoria de propagación del haz acústico, configurado para alterar una geometría de haz del haz acústico para controlar la colimación del haz y/o un segundo conjunto de lentes o la lente acústica dispuesta para compensar una alteración del patrón de radiación del haz debido a la geometría de las diferencias de interfaz y de propiedad acústica entre el pozo de perforación y el material que rodea el pozo de perforación. Además, el primer conjunto de lente acústica puede ser una lente convergente para mejorar la colimación del haz y el segundo conjunto de lentes acústicas puede ser una lente divergente, en donde la lente divergente puede estar dispuesta para compensar el efecto sobre el haz de propagación de una interfaz de formación de pozo de perforación cilíndrico.
- 35 El dispositivo puede incluir además un receptor o un conjunto de receptores dispuesto en el pozo de perforación y configurado para recibir el haz acústico después de que el haz acústico se ha alterado como resultado de una característica de la formación, en donde el haz acústico ha sido alterado por que se refleja, refracta y/o retrodispersa por los materiales y la formación que rodea el pozo de perforación.
- 40 El dispositivo puede incluir, además, una cubierta configurada para alojar el transductor y el material no lineal. La cubierta puede incluir además cualquier combinación del espejo acústico y uno o más conjuntos de lentes. El transductor y el material no lineal pueden ser montados axialmente dentro de la herramienta de registro.

El dispositivo puede incluir además un codificador de señal configurado para codificar el haz acústico con un código variable en el tiempo mediante la introducción de un componente variable en el tiempo, incluyendo uno o más sistemas de frecuencia modulada pulsada o alcance de frecuencia a una de la primera y la segunda señales.

5 El dispositivo puede incluir además un generador de impulsos electrónicos configurado para alimentar al transductor con dos pulsos eléctricos de la primera y la segunda frecuencias para generar dos pulsos de haz acústicos en un medio de mezcla no lineal con el fin de producir un pulso acústico de corta duración secundario que se propaga desde el dispositivo como un haz colimado.

10 De acuerdo con un aspecto de la invención, se revela un método para generar un haz colimado acústico de baja frecuencia y ancho de banda amplio en un volumen espacial muy pequeño, que se encuentra dentro de una herramienta de registro en un pozo de perforación, y dirigiendo el haz en los materiales y formación de roca que rodea el pozo de perforación. El método incluye la producción de una primera onda acústica en una primera frecuencia de ancho de banda y una segunda onda acústica en una segunda frecuencia de ancho de banda por un transductor ubicado dentro de la herramienta de registro y la transmisión de la primera y la segunda ondas acústicas primarias en un medio no lineal con baja velocidad acústica que está dispuesto dentro de la herramienta de registro a lo largo de una trayectoria de propagación de las ondas acústicas primarias y configurado para producir un haz colimado acústico secundario por un proceso de mezcla no lineal, en donde el haz colimado acústico secundario 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 de ancho de banda igual a una diferencia de frecuencias entre las frecuencias de la primera y la segunda ondas acústicas primarias.

15 El método puede incluir además la alteración de la geometría del haz para mejorar la colimación del haz acústico dentro de la herramienta de registro por una primera lente acústica dispuesta a lo largo de una trayectoria de transmisión del haz acústico y/o compensar una alternancia de la geometría del haz atribuible a una característica del pozo de perforación y mantener un haz colimado aproximadamente dentro de la tierra por una segunda lente acústica. Por otra parte, el método puede incluir, además, reflejar y guiar el haz acústico en una dirección dada por un espejo acústico. Adicionalmente, el método puede incluir recibir el haz acústico en el pozo de perforación por un receptor después de que el haz acústico se ha alterado como resultado de una característica de la formación.

20 El método puede incluir además estimular el transductor con una señal de frecuencia alta, fija y una señal de frecuencia modulada pulsada; producir uno o más haces acústicos de alta frecuencia; recibir el uno o más haces acústicos de alta frecuencia; generar una ráfaga de tono de frecuencia fija y una frecuencia modulada pulsada que tiene una misma duración que la ráfaga de tono de frecuencia fija, en donde la ráfaga de tono de frecuencia fija es igual a la diferencia de frecuencia entre la señal de alta frecuencia y la señal de frecuencia modulada pulsada por el proceso de mezcla no lineal en el material no lineal. La señal de alta frecuencia, fija puede estar entre 250 kHz y 1.5 MHz y la señal de frecuencia modulada pulsada puede ser modulada o pulsada de tal manera que la diferencia entre la frecuencia fija y frecuencia modulada pulsada es entre 3% a 20%.

25 El método puede incluir además producir un primer pulso que tiene una primera frecuencia central y una primera propagación de ancho de banda y un segundo pulso que tiene una segunda frecuencia central y una segunda propagación de ancho de banda por el transductor; transmitir el primer pulso y el segundo pulso en el material no lineal; y generar un pulso del haz acústico con una frecuencia central igual a la diferencia en frecuencia entre la primera frecuencia central y la segunda frecuencia central y una propagación de ancho de banda igual a la suma de la primera propagación de ancho de banda y la segunda propagación de ancho de banda por el material no lineal por el proceso de mezcla no lineal.

30 De acuerdo con un aspecto de la invención, se revela un sistema de propiedades de imágenes de los materiales de formación y otros materiales que rodean un pozo de perforación. El sistema incluye un conjunto de fuente acústica compacta de baja frecuencia y el dispositivo de acondicionado de haz dentro de una herramienta de registro transportado en un pozo de perforación que dirige un haz colimado acústico fuera de la herramienta de registro en los alrededores del pozo de perforación y de allí a la formación o la carcasa y el cemento, de tal manera que algo de la energía radiada vuelve al pozo de perforación por una combinación de reflexión, refracción y dispersión, una serie de receptores, y el software y el hardware necesario para controlar la dirección del haz y optimizar sus propiedades, registrar las señales recibidas, y transformar los datos registrados para crear imágenes de la formación y otros materiales que rodean un pozo de perforación que puede ser interpretado para dar información sobre el volumen que rodea el pozo de perforación.

35 El sistema incluye además la generación de señales de transmisión optimizadas en duración y frecuencia de contenido para los requisitos de formación de imágenes de la aplicación en cuestión y la selección de las dimensiones y configuración de la generación de haz y el conjunto de acondicionado y la serie de receptores para optimizar el rendimiento del sistema de acuerdo con la aplicación requerida, y en particular la profundidad radial de investigación.

40 De acuerdo con un aspecto de la invención, el sistema en el párrafo 21 y 22 registra datos para ser procesados con algoritmos de imágenes para generar imágenes 2D de propiedades de la formación y otros materiales que rodean a lo

- largo del eje del pozo de perforación para cada dirección del azimut similar a la sismología superficie de reflexión 2D. El sistema puede proveer además un barrido de las imágenes 2D para la dirección del azimut de 360 grados. El conjunto de imágenes 2D de azimut escaneadas posteriormente puede ser apilado y/o procesado con algoritmos avanzados de imágenes para proporcionar una imagen completa en 3D de las propiedades de la formación y otros materiales que rodean a lo largo del eje del pozo de perforación.
- El sistema puede incluir, además, la optimización de los algoritmos de procesamiento y la visualización de las imágenes resultantes de tal manera que la información que contienen acerca de las propiedades de todo el pozo es fácilmente evidente para el usuario de los datos.
- De acuerdo con algunos aspectos de la divulgación, se revela herramienta de registro transportado por cable o tubo que se puede colocar dentro de un pozo. La herramienta incluye (a) un transductor ultrasónico construido y dispuesto para ser colocado en un pozo de perforación, el transductor está configurado para ser estimulado por dos señales eléctricas transitorias simultáneas pero no idénticas de duración entre 20-200 microsegundos, con una primera señal en una primera frecuencia entre 250 kHz y 1.5 MHz y una segunda señal en una segunda frecuencia entre 300 kHz y 1.5 MHz, que producen la primera y la segunda ondas acústicas en la primera frecuencia y la segunda frecuencia, respectivamente; (b) un material no lineal acústicamente que tiene una longitud entre 3 y 12 pulgadas (76-305 mm) dispuestos a lo largo de una trayectoria de transmisión del transductor que permite la mezcla no lineal de las dos ondas acústicas generadas por el transductor para producir un haz acústico transitorio de la misma duración que las señales de estimulación originales con una frecuencia correspondiente a la diferencia en las frecuencias instantáneas entre la primera frecuencia y la segunda frecuencia, el haz acústico que tiene una frecuencia entre 15 y 120 kHz.
- La herramienta se puede configurar de tal manera que las señales eléctricas se codifican mediante la introducción de un componente variable en el tiempo, incluyendo uno o más de frecuencia modulada pulsada o frecuencia de barrido con una o ambas señales. Además, la herramienta puede ser configurada de tal manera que el haz acústico tiene la frecuencia entre 15 y 120 kHz. Además, la herramienta se puede configurar de tal manera que la herramienta está dispuesta para mantener un nivel de colimación del haz acústico que depende de una longitud de mezcla en el material no lineal y producir el haz acústico de tal manera que el haz acústico sale del material no lineal, y continúa para propagarse a través del medio en el cual se encuentra inmersa la herramienta.
- Estos y otros objetos, rasgos, y características de la presente invención, así como los métodos de funcionamiento y funciones de los elementos relacionados de la estructura y la combinación de partes y economías de fabricación, se harán más evidentes tras la consideración de la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas con referencia a los dibujos acompañantes, todos los cuales forman una parte de esta especificación, en donde los números de referencia designan las partes correspondientes en las diversas figuras. Se debe entender expresamente, sin embargo, que los dibujos son para fines de ilustración y descripción solamente y no están destinados como una definición de los límites de la invención. Tal como se utiliza en la descripción y en las reivindicaciones, la forma singular de "un", "una" y "el" incluyen referentes plurales a menos que el contexto indique claramente lo contrario.
- Breve descripción de los dibujos
- La figura 1 muestra un diagrama generalizado de un dispositivo de ejemplo para producir el haz colimado de acuerdo con un aspecto de la divulgación.
- 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 divulgación.
- 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 de la posición axial (dirección z).
- 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 en varias frecuencias estimuladas y posiciones laterales (dirección x) y axial (dirección z).
- Las Figuras 5a y 5b muestran un aspecto de la divulgación donde el haz colimado se produce por una ráfaga de frecuencia modulada pulsada.
- Las figuras 6a, 6b y 6c muestran un aspecto de la divulgación donde el haz colimado se produce por una ráfaga de frecuencia modulada pulsada.
- Las figuras 7a, 7b y 7c muestran un aspecto de la divulgación donde el haz colimado producido por el proceso de mezcla no lineal utilizando un bloque de espuma CNC.
- La figura 8 muestra un aspecto de la divulgación donde el haz colimado producido por el proceso de mezcla no lineal utilizando un bloque de espuma CNC transmitido a través de un tubo de aluminio cerrado.

La figura 9 muestra un aspecto de la divulgación donde el haz colimado se produce por el proceso de mezcla no lineal utilizando el bloque cerámico 310M como el material no lineal.

La figura 10 muestra un aspecto de la divulgación, donde se utiliza el dispositivo para caracterizar formaciones y/o materiales cerca del pozo de perforación.

5 La figura 11 muestra los ejes correspondientes de rotación de la guía de haz acústico de acuerdo con un aspecto de la divulgación.

La figura 12 muestra un aspecto de la divulgación, donde el haz colimado, producido por el proceso de mezcla no lineal utilizando el bloque cerámico 310M como el material no lineal, penetra en una carcasa de tubo de metal.

10 Las figuras 13a y 13b muestran un aspecto de la divulgación, donde el haz colimado después de dirigir con un espejo acústico sale de la carcasa de tubo de metal.

La figura 14 muestra un aspecto de la divulgación, cuando se utiliza el dispositivo con o sin un sistema acústico de enfoque para mirar directamente debajo de un pozo de perforación.

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

15 La figura 16 muestra las dimensiones de un dispositivo de fuente muy compacto, con transductores y una cámara del fluido de mezcla no lineal de velocidad acústica baja (646 m/s) tal como Flourinert FC-43, capaz de generar un haz colimado acústico con ancho de banda de 20 -120 KHz de acuerdo con un aspecto de la divulgación.

20 La figura 17 muestra la comparación de radiación colimada característica del haz acústico generado por el dispositivo muy compacto en la Fig. 16 frente a la radiación difusa característica de las ondas acústicas generadas a partir de un transductor convencional.

La figura 18 muestra el espectro de frecuencia, de la serie de ondas de impulso de 50 a 150 kHz y la radiación característica del pulso del haz acústico generado por el dispositivo compacto en la fig. 16.

25 Las figuras 19a y 19b muestran una vista esquemática de la fuente montada axialmente, la lente acústica y el espejo sub-ensamblado que muestra la orientación del haz y el enfoque por el espejo y la lente sub-ensamblada para mantener la colimación del haz acústico en el interior del dispositivo y en los materiales y la formación que rodea el pozo de perforación.

La figura 20 muestra el esquema de un dispositivo prototipo que incorpora la fuente, espejo acústico y lente, y la serie receptora.

30 Las figuras 21a y 21b muestran un ejemplo de un sistema en el cual se realizaron los experimentos de laboratorio para el funcionamiento de la disposición de la figura 20.

La figura 22 muestra una señal detectada por cada uno de los receptores en la serie para la ubicación de origen fijo con el haz orientado en dirección de azimut constante y de inclinación de la disposición de la figura 21.

La figura 23 muestra una pantalla de panel multi-azimut que cubre 35 a 145 grados de azimut para la disposición de la figura 21

35 La figura 24 muestra una imagen creada por el trazado de la señal desde el mismo receptor en incrementos de cinco grados en un rango de 110 grados de azimut.

Descripción detallada

40 La figura 1 muestra un diagrama generalizado del dispositivo para producir el haz colimado de acuerdo con un aspecto de la invención. En algunas realizaciones, una o más fuentes 110 se utilizan para producir una primera señal en una primera frecuencia y una segunda señal en una segunda frecuencia. A modo de un ejemplo no limitante, las señales pueden ser producidas por un generador de señales de 2 canales. Se pueden utilizar señales o generadores de funciones similares. Las señales procedentes de las fuentes son recibidas por uno o más amplificadores 120 de señal y se transmiten con uno o más transductores 130, que se utilizan para generar ondas acústicas en la primera y la segunda frecuencias. La primera y segunda frecuencias pueden ser de banda ancha teniendo un rango de frecuencia que incluye una frecuencia central con alguna dispersión de frecuencia respecto de la frecuencia central. Los transductores piezoeléctricos son un tipo apropiado para esta aplicación. Si se utilizan más de un transductor, pueden estar dispuestos en una configuración de serie. A modo de ejemplos no limitantes, la configuración de la serie puede ser lineal, circular, un círculo relleno o una serie cuadrada. Los transductores dentro de la serie se dividen en dos grupos, en

- 5 donde el primer grupo de transductores es impulsado por una fuente de la primera frecuencia y el segundo grupo de transductores es impulsado por la fuente o por una fuente diferente en la segunda frecuencia. En algunos aspectos de la invención, la fuente está configurada para generar la primera frecuencia y la fuente configurada para generar la segunda frecuencia conduce todos los transductores simultáneamente. A modo de un ejemplo no limitante, la primera frecuencia es 1.036 MHz y la segunda frecuencia es 0.953 MHz
- 10 La señal acústica se transmite a través de un material 140 no lineal, para generar un haz colimado acústico por medio de un proceso de mezcla no lineal. El material no-lineal puede ser un líquido, una mezcla de líquidos, un sólido, un material granular embebido en una carcasa sólida, microesferas incrustadas, o una emulsión. A modo de un ejemplo no limitante de dicho material no lineal es la espuma cerámica 310M vendida por Cotronics of Brooklyn, New York., que se compone de cerámica de sílice fundida de más del 99% de pureza y proporciona baja expansión y conductividad térmica, alto resistencia al choque térmico y alta reflectancia térmica. 310M tiene una densidad de 0.80 g/cm³ y una velocidad de sonido de 1060 m/s. Otro ejemplo no limitante del material no lineal es un material laminado de espuma de uretano. Este tipo de espuma por lo general se utiliza por mecanizado por control numérico computarizado (en lo sucesivo, "CNC"). La espuma CNC tiene una densidad de 0.48 g/cm³ y una velocidad de sonido de 1200 m/s.
- 15 El material 140 no lineal, puede ser además un material con una alta no linealidad, velocidad acústica baja, atenuación acústica baja y alta resistencia a la formación de choque de tal manera que un haz altamente colimado puede ser generado a partir de una fuente muy compacta. Dependiendo de las condiciones de operación en el pozo de perforación, otros materiales no lineales con baja velocidad de sonido apropiados, acoplamiento no lineal alto, longitud de absorción, longitud de onda de choque, los rangos de operación de temperatura y presión se pueden seleccionar para reducir al mínimo el tamaño del volumen de mezcla, así como para cumplir con otros requisitos requeridos por las especificaciones de viabilidad de operación.
- 20 Las dimensiones y el rendimiento de la fuente de haz colimado dependen, *inter alia*, de ciertas propiedades del material no lineal, y algunos límites en estos pueden ser definidos. El parámetro beta no lineal puede estar entre 2 y 50. A modo de ejemplo, beta para la mayoría de líquidos oscila entre 2 y 10. El beta superior se puede obtener a partir de otros materiales sólidos. En algunos aspectos, el beta puede ser 200 o superior para materiales no lineales no fluidos. La velocidad del sonido para líquidos no lineales puede ser entre 450 m/s y 1700 m/s en condiciones ambientales. En algunos aspectos, la velocidad del sonido de los materiales no lineales puede ser entre 100 m/s y 800 m/s. Los valores Q o factor de calidad tienden a no ser un factor limitante en los líquidos y pueden variar de 280 para el Aceite de silicona Dow a decenas de miles para líquidos comunes. En algunas realizaciones, Q puede ser al menos 30.
- 25 Este comportamiento no lineal se puede caracterizar mediante el análisis de las propiedades de las ondas P resultantes del fenómeno de mezcla no lineal en donde dos ondas incidentes en dos frecuencias diferentes, f1 y f2, se mezclan para generar una tercera frecuencia de componentes en las frecuencias armónicas y de intermodulación f2 - f1, f2 + f1, 2f1 y 2f2, etc. En un aspecto de la invención, el fenómeno de mezclas colineales no lineal está diseñado para tener lugar en el material no lineal en el interior del pozo de perforación. En general, sólo la tercera onda resultante de la diferencia de frecuencia f2-f1 es de interés para esta aplicación. Las frecuencias más altas propagan solamente una distancia corta y tienden a ser absorbidas en el material no lineal en sí.
- 30 La energía acústica reflejada, refractada y dispersada es recibida por uno o más receptores 150 situados ya sea en el mismo pozo de perforación donde se produce el haz colimado u otro pozo de perforación. Por ejemplo, uno o más receptores pueden incluir uno o más transductores acústicos, uno o más hidrófonos u otro tipo de receptor o receptores apropiados para el rango de frecuencias de interés. La señal recibida puede ser filtrada por el filtro 160 de paso de banda y amplificada por un pre-amplificador 170. La señal amplificada se filtra y se puede visualizar en un digitalizador, tal como un osciloscopio 180, digital. El osciloscopio 180, digital se puede controlar por un ordenador 190. El ordenador 190 también se puede utilizar para controlar el generador 110 de señal.
- 35 Las figuras 2a, 2b y 2c muestran diferentes modos de generar la diferencia de frecuencia en un material no lineal. Las notaciones f, f1 y f2 se refieren a las señales de alta frecuencia. Las señales recibidas desde la fuente 110 y el amplificador 120 de potencia, por un transductor 210, entran en un material 220 no lineal. Después de una cierta longitud de propagación, la diferencia de frecuencia se genera en el material 220 no lineal. La figura 2a muestra la generación de una diferencia de frecuencia f2 - f1, aplicando dos señales diferentes que tienen dos frecuencias diferentes f1 y f2 al mismo transductor 210. La figura 2b muestra la generación de una diferencia de frecuencia Δf aplicando una señal modulada en amplitud de frecuencia f y una modulación de Δf. La figura 2c muestra la generación de una diferencia de frecuencia f2 - f1, aplicando dos señales diferentes que tienen una primera frecuencia f1 a un primer transductor 230 y una segunda frecuencia f2 a un segundo transductor 240. Los haces de alta frecuencia se solapan en el material no lineal y producen la diferencia de frecuencias f2 - f1.
- 40 De acuerdo con lo anterior, y por medio de un ejemplo no limitante, la primera frecuencia es 1.036 MHz y la segunda frecuencia es 0.953 MHz. El haz colimado acústico 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 colimado acústico tiene banda de frecuencia estrecha con una frecuencia dominante clara de 83 kHz. En algunas realizaciones, el haz colimado acústico puede tener un rango de frecuencia relativamente amplio, en donde la primera frecuencia es de

una sola, frecuencia de banda estrecha y la segunda frecuencia se pasa rápidamente por encima de un rango más amplio de frecuencias. La primera frecuencia también se puede pasar rápidamente por encima de un amplio rango 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 frecuencia modulada pulsada no codificada. Uno de los beneficios de la codificación de la señal es la mejora ruido en señal.

En algunas realizaciones, el haz colimado se codifica con un código variable en el tiempo, que puede ser introducido en ya sea la primera o la segunda señal, o ambas. El código variable en el tiempo puede incluir una o más variaciones en amplitud, una variación en la frecuencia, y/o una variación en la fase de la primera, la segunda, o ambas la primera y la segunda señales. El código variable en el tiempo recibido del haz colimado se puede utilizar para medir un tiempo de vuelo del haz. Además, en algunas realizaciones, el haz colimado puede ser de banda ancha si una de las frecuencias primarias se propaga en un rango de frecuencias mientras que la otra es fija. Así, el tercer haz f2-f1 resultante será pasado rápidamente por encima de un amplio rango de frecuencias.

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

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

Donde $t' = t - z/c_0$ es una variable de tiempo retardado, t es el tiempo, c_0 es una pequeña señal de la velocidad del sonido, $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$ es una distancia radial desde el eje z (i.e., desde el centro del haz), $\frac{\partial^2}{\partial r^2} + (1/r) \frac{\partial}{\partial r}$ es el

operador laplaciano transversal, y ρ_0 es la densidad ambiente 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 termo viscoso, donde ζ es la viscosidad mayor, η la viscosidad de cizallamiento, κ la conductividad térmica, y c_v y c_p los calores específicos a presión y volumen constante, respectivamente. El coeficiente de no linealidad se define por $\beta = 1 + B/2A$, donde B/A es el parámetro de no linealidad del medio. El primer término del lado derecho de la ecuación (1) representa los efectos de la difracción (enfoque), el segundo término para la absorción y el tercer término para la no linealidad del medio de atenuación. Para más detalles sobre la forma y el uso del modelo KZK se puede 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 at Austin (1993).

Para la medición de laboratorio, el transductor se excita a 0.953 MHz y 1.036 MHz que conduce 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 usando agua como el material no lineal. La figura 3a muestra la amplitud del haz generado para un rango de posiciones z y x de un receptor de hidrófono. La figura 3b muestra un gráfico del perfil de intensidad axial observado, en buen acuerdo con la teoría.

La figura 4a muestra los resultados obtenidos por estimulaciones de los transductores en una variedad de diferentes frecuencias, y produciendo así el haz colimado tiene una frecuencia diferente. Los resultados se muestran como un gráfico de amplitud medido por un voltaje, frente a una posición a lo largo de la dirección del eje z medido en milímetros. En esta prueba de laboratorio, se produjeron haces colimados que tienen en las frecuencias de 10 kHz, 37 kHz, 65 kHz, 83 kHz y 100 kHz. Como puede verse en la figura, los haces colimados tienen perfiles de haz 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 según se representa por un voltaje se representa en función a la dirección del eje x medida en milímetros. Los resultados indican que el haz colimado en una variedad de frecuencias muestra secciones transversales de los haces altamente concentrados similares en la dirección x, a diferencia de las ondas de la misma frecuencia que sería más extendida en la dirección x.

Como se discutió anteriormente, el haz colimado puede tener un rango de frecuencias relativamente estrecho, en donde el uno o más transductores son estimulados por una fuente de producción de una frecuencia particular, o el haz colimado puede tener un rango de frecuencias relativamente amplio. Un ejemplo de la producción del haz colimado que tiene un rango de frecuencias relativamente amplio se muestra en las figuras 5a y 5b. A modo de un ejemplo no limitante, la figura 5a muestra una señal frecuencia modulada pulsada de duración finita que tiene una frecuencia que va

desde 900 kHz a 1 MHz y una ráfaga de una frecuencia de 1 MHz. La figura 5b muestra la ráfaga resultante representada como una amplitud tal como se representa en el voltaje frente al tiempo en microsegundos.

5 La figura 6a muestra una serie de barridos 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. El registro de amplitud como se determina por el voltaje frente a la distancia del eje x, muestra que la dispersión del haz es pequeña y relativamente constante e independiente de la distancia en la dirección z desde el transductor. Un espectro de frecuencia del haz colimado se muestra en la figura 6c. La figura muestra que el rango de frecuencias utilizable para esta disposición particular es de 20 kHz a 120 kHz. El extremo inferior del rango de frecuencia de uso puede ser tan bajo como 5 kHz y sólo está limitado por el tamaño del pozo de perforación. Otras bandas de frecuencia se pueden usar para el haz colimado incluyendo las frecuencias acústicas de registro que son por lo general en el rango de kHz y la banda de tipo telespectador del pozo de perforación que están por lo general en el rango de cientos kHz a MHz. Una ventaja de tal disposición es que el uso de una fuente de señal frecuencia modulada pulsada de ancho de banda amplia en un pozo de perforación tendería a resultar en una señal mejorada a una proporción de ruido en comparación con una fuente de frecuencia modulada no pulsada. La señal de frecuencia modulada pulsada adicional puede permitir una mejor estimación del tiempo de retardo que sería beneficioso en aplicaciones de formación de imágenes.

20 La figura 7a muestra el haz colimado producido por el proceso de mezcla mediante el bloque de espuma CNC como el material no lineal. Una serie de transductor 710 está configurado para producir ondas acústicas en las frecuencias de 1.000 MHz y 1.087 MHz. La serie de transductores 710 se acopla a la espuma CNC 720 donde la mezcla de dos señales acústicas formando un haz 730 colimado, que tiene una frecuencia de 87 kHz. El bloque de espuma CNC tiene una abertura de 80 mm desde la que propaga el haz colimado. La figura 7b muestra la amplitud del haz colimado en el dominio del 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 frecuencia que tiene un fuerte pico a 87 kHz.

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

30 La figura 9 es similar 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. Una serie 910 de transductores está configurada para producir señales acústicas en las frecuencias de 1.353 MHz y 1.440 MHz. La serie 910 de transductores está acoplada al bloque 920 cerámico 310M, donde la mezcla de dos señales acústicas forman un haz colimado 930 que tiene una frecuencia de 87 kHz. El bloque 920 cerámico 310M tiene una abertura de 110 mm desde la que propaga el haz colimado. Como puede verse en la figura, el haz colimado tiene lóbulos laterales que se extienden en la región de campo cercano en torno a unos pocos centímetros de la abertura del bloque cerámico; sin embargo, estos lóbulos laterales no se extienden en la región de campo lejano del haz.

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

45 El haz 1025 colimado acústico se puede dirigir en una dirección particular por un dispositivo de dirección, tal como una guía 1030 de haces acústicos. La guía 1030 de haces acústicos puede ser un reflector acústico o una lente acústica. El reflector acústico puede ser de un material con una impedancia acústica diferente del medio circundante en donde el haz se propaga. Un ejemplo no limitante de tal reflector acústico es la placa de metal. La lente acústica está configurada para enfocar el haz colimado acústico en un punto focal y dirección particular y puede tener una forma cóncava. Una disposición de espejo de tipo Fresnel también se puede utilizar para la guía de haces acústicos. La guía de haces acústicos se puede girar en una orientación particular mediante el uso de uno o más accionadores 1035 acoplados a la guía, como se muestra en más detalle en la figura 11. En algunas realizaciones, la guía 1030 de haces acústicos no puede ser utilizado, y el haz colimado se propagaría a lo largo del eje del pozo de perforación.

50 El haz 1040 colimado se puede reflejar por la guía 1030 de y conducido a una dirección en particular hacia un objeto 1045 de interés cerca del pozo de perforación. Las heterogeneidades de las formaciones, tales como el objeto 1045 o una capa contigua situada a lo largo del haz generarán reflexión o dispersión del haz acústico. En particular, la impedancia acústica contrasta debido a la falta de homogeneidad local, fracturas planas etc. fuera del pozo de perforación causa la reflexión o la dispersión del haz acústico, algunos de los cuales volverán al pozo de perforación. En un pozo encajado, la energía se refleja de la pared interior de la carcasa, la pared exterior de la carcasa que puede o no puede estar unida al cemento, cualquiera de los espacios en el cemento, la interfaz del cemento o de fluido con la formación, y cualquier veta de carcasa concéntrica adicional. En una aplicación de pozo abierto, la energía se refleja de los límites de impedancia debida (por ejemplo) a la perforación inducida por la formación de alteración mecánica, la

- invasión de fluidos, las fracturas naturales, nódulos de minerales secundarios y los límites de la capa. Las ondas 1050 reflejadas y dispersas son recibidas por uno o más receptores 1055 en el mismo pozo de perforación (para el caso de formación de imágenes de pozo individual) o en otro pozo de perforación (para el caso de formación de imágenes de pozo transversal). Los receptores 1055 pueden estar acoplados a la guía 1030, de modo que los receptores están configurados para recibir las ondas 1050 reflejadas como una guía 1030 en movimiento. Las señales recibidas por los receptores 1055 pueden ser transmitidas a la unidad electrónica 1060 de procesamiento para el análisis. La unidad electrónica 1060 de procesamiento puede incluir un ordenador con el software apropiado para la caracterización de la formación de roca, incluyendo la producción de imágenes en 2D o 3D de la formación. La instrumentación del fondo del pozo se encuentra en un recinto 1065 para permitir las operaciones estándar de registro del pozo.
- 5
- 10 En algunos aspectos de la invención, el dispositivo completo incluyendo los transductores 1015, el material 1020 no lineal y los receptores 1055 se pueden mover arriba y abajo de la longitud del pozo de perforación con la imagen de una formación particular, cerca del pozo de perforación. Además, todo el dispositivo con o sin los receptores 1055 se puede girar alrededor del eje del pozo de perforación para la formación de imágenes en cualquier dirección azimutal alrededor del pozo de perforación.
- 15 La figura 11 muestra los ejes correspondientes de rotación de una guía 1105 de haz acústico. La dirección del haz colimado es dirigida para controlar selectivamente el azimut de la guía por la rotación alrededor del eje 1110 de la guía, y la inclinación 1115, el ángulo entre el plano de la parte delantera de la guía y el eje guía. Mediante el uso de accionadores (no mostrados) del plano de la guía puede ser controlada eficazmente en azimut e inclinación. Los accionadores por lo tanto se pueden utilizar para la dirección o el cambio de la dirección del haz colimado.
- 20 La figura 12 muestra el haz colimado, producido por el proceso de mezcla no lineal utilizando el bloque cerámico 310M como el material no lineal, penetrando una carcasa de tubo de metal. Una serie 1205 de transductor está configurada para producir señales acústicas que tienen frecuencias de 1.000 MHz y 1.087 MHz, por ejemplo. La serie 1205 de transductor está acoplada al bloque 1210 de cerámica 310M, donde la mezcla de dos señales acústicas forma un haz 1215 colimado que tiene una frecuencia de 87 kHz, que se propaga a través de la carcasa 1220 del tubo de metal. La serie 1205 de transductor puede girar alrededor del eje longitudinal del pozo de perforación a la formación de una imagen alrededor del pozo de perforación. El haz reflejado o retrodispersión de la formación se puede recibir por uno o varios receptores (no ilustrados) en el pozo de perforación o en otro pozo de perforación. Los receptores pueden estar acoplados a la serie 1205 de transductor, para girar de una manera similar de tal manera que el haz reflejado o retrodispersado es recibido por los receptores. Como puede verse en la figura, el haz mantiene su colimación después de salir de la carcasa 1220 del tubo de metal.
- 25
- 30
- Las Figuras 13A y 13B muestran el haz colimado después de orientar con un espejo acústico y de salir de la carcasa de tubo de metal. 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 se dirige fuera del tubo perpendicular a la dirección inicial de propagación con la ayuda de una placa de espejo acústico. Una serie 1305 de transductores está configurada para producir señales acústicas que tienen una frecuencia de 0.953 MHz y 1.036 MHz, por ejemplo. La serie 1305 de transductores está acoplada a un material 1310 no lineal (agua), donde la mezcla de dos señales acústicas forman un haz 1315 colimado, que tiene una frecuencia de 83 kHz, que refleja desde el espejo 1320 acústico y se propaga a través de la carcasa 1325 del tubo de metal. Como puede verse en la figura, el haz mantiene su colimación después de salir de la carcasa 1325 del tubo de metal, y puede ser fácilmente dirigido por girar el espejo acústico de una manera tal que se cambia el ángulo de incidencia del haz colimado. La figura 13b muestra la orientación de haz que se produce cuando el espejo 1320 se ha girado.
- 35
- 40
- La figura 14 muestra un aspecto de la invención, donde se utiliza el dispositivo con un sistema acústico de enfoque. Una o más fuentes 1405 producen señales en una primera y una segunda frecuencia. Las señales se transmiten a un amplificador 1410 o amplificadores de señal, que están configurados para aumentar la potencia de las señales. Las señales modificadas por el amplificador 1410 se transmiten a uno o más transductores 1415 que están configurados para generar señales acústicas en la primera y la segunda frecuencias. Las señales acústicas se propagan a un material 1420 no lineal, que mezcla las señales por medio del proceso de mezcla para producir un haz 1425 colimado acústico.
- 45
- 50 En algunas realizaciones, el haz 1425 colimado acústico es incidente en un sistema 1430 acústico de enfoque. El haz colimado tiende a tener una cierta dispersión del haz, que aumenta a medida que el haz se propaga a través del recinto (es decir, el tubo). Esta dispersión del haz significa que a una cierta distancia desde el origen del haz, el haz va a interactuar con las paredes del recinto, que tiende a producir efectos no deseados. El sistema 1430 acústico de enfoque reduce esta interacción del haz y las paredes del recinto al enfocar el haz, y reduciendo así la dispersión del haz. La necesidad de enfocarse no reduce el perfil del haz a un punto, sino que se limita a producir un haz bien definido que no está distorsionado o atenuado debido a las reflexiones de las paredes del recinto, de manera que el perfil del haz no se dispersa demasiado angularmente. Un ejemplo no limitante del sistema 1430 acústico de enfoque es una lente Fresnel hecha de plexiglás u otros materiales que con la forma apropiada reducen la dispersión del haz. El sistema 1430 acústico de enfoque puede incluir una variedad de materiales, incluyendo una cámara llena con un líquido de diferente velocidad del sonido que la del material no lineal en el recinto, donde la cámara está conformada adecuadamente, ya
- 55

sea convexa o cóncava, dependiendo de las velocidades de sonido de los líquidos. En general, cualquier material que se corresponde razonablemente en la impedancia acústica con la del material no lineal en el recinto se puede utilizar como el sistema 1430 acústico de enfoque.

5 En algunas realizaciones, el sistema 1430 acústico de enfoque no se utiliza cuando el haz 1425 de producido por la mezcla no lineal en el material 1420 es suficientemente bien definido y no se dispersa demasiado angularmente. En este caso, el haz 1425 sale del material 1420 sin haber sido modificado aún más.

10 Una cubierta o recinto 1435 está configurada para alojar y apoyar los transductores 1415, el material 1420 no lineal, el sistema 1430 acústico de enfoque, y uno o más receptores 1440. El haz acústico de enfoque se dirige a lo largo del eje de la cubierta 1435 y está reflejado o dispersado a partir de un objeto 1445 de interés. El objeto 1445 puede incluir falta de homogeneidad en la formación rocosa como las zonas invadidas, la adherencia del cemento con la carcasa, zonas dañadas, zonas fracturadas, capas estratigráficas (sobre todo a alta inmersión aparente, i.e., para los pozos de alto ángulo en formaciones relativamente de inmersión baja). Los receptores 1440 están configurados para recibir la señal 1455 reflejada o dispersada y la señal se procesa mediante la unidad electrónica 1450 de procesamiento.

15 Las figuras 15a, 15b y 15c muestran un configuración experimental y los resultados de la formación de imagen de un objeto exterior del tubo, de acuerdo con un aspecto de la invención. La figura 15a muestra el configuración experimental que es similar en diseño a la Figura 10, en donde un transductor 1505 de fuente está configurado para generar señales acústicas y está acoplado a un material 1510 no lineal, que está configurado para producir un haz 1515 colimado acústico por medio de un proceso de mezcla no lineal. El transductor 1505 fuente puede ser impulsado por un generador de fuente y un amplificador de potencia (ambos no se muestran). Un recinto 1520, tal como una cubierta cilíndrico, está configurado para alojar el transductor 1505, el material 1510 no lineal, así como una guía 1525 de haz acústico, y uno o más receptores 1530. El haz 1515 colimado acústico se dirige fuera de del recinto 1520 por la guía 1525 de haz acústico. A modo de ejemplo no limitante, en esta disposición, la guía 1525 de haz acústico es un reflector acústico. El haz 1530 colimado reflejado incide sobre un objeto 1535 fuera del recinto 1520. El objeto 1535 puede incluir falta de homogeneidad en las formaciones rocosas como las zonas invadidas, la adherencia del cemento con la cubierta, zonas dañadas, zonas fracturadas, capas estratigráficas (sobre todo a alta inmersión aparente es decir, para los pozos de alto ángulo en formaciones relativamente de inmersión baja). El haz 1540 colimado es recibido por el o los receptores 1550 (ambos situados en el mismo pozo de perforación o en otro pozo de perforación) después de que se ha reflejado o retrodispersado a partir del objeto 1535.

30 En el configuración experimental de la figura 15a, el objeto se gira 360° alrededor de un eje 1545 y se hicieron mediciones de la intensidad del sonido según lo registrado por los receptores 1550. En esta configuración, el objeto 1535 fue 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 se sumergieron en agua. La figura 15b muestra un gráfico polar de la intensidad reflejada medida y la figura 15c muestra un gráfico polar del tiempo de reflexión medido. En ambas figuras 15b y 15c, se muestra la sección transversal del bloque de aluminio para la comparación con los datos medidos. Como se muestra en la figura 15b, existe una gran señal cuando la cara del bloque está en una posición que maximiza la señal reflejada en el receptor. Así, cada pico representa una cara del bloque. La figura 15c muestra el tiempo-de-vuelo. Al girar el bloque, las caras se presentan y se alejan, cambiando la distancia total del haz de sonido que tiene que propagar. Se entiende que en la configuración en el pozo de perforación, la imagen de intensidad se obtiene por la rotación del dispositivo. Por lo tanto la amplitud de la señal reflejada representa las reflexiones de heterogeneidades alrededor del perímetro del pozo de perforación.

45 El dispositivo puede ser hecho para ser muy compacto, mientras que la generación de haz colimado de baja frecuencia con un amplio ancho de banda entre 20 y 120 KHz por la elección de un material 140 no lineal con velocidad acústica baja, no linealidad alta, atenuación baja y alta resistencia a la formación de choque. Dependiendo de las condiciones de funcionamiento en el pozo de perforación, otros materiales no lineales con velocidad de sonido bajo apropiada, acoplamiento no lineal alto, longitud de absorción, longitud de onda de choque, rangos de operación de presión y temperatura se pueden seleccionar para minimizar el tamaño del volumen de mezcla, así como para cumplir con otros requisitos requeridos por las especificaciones de operatividad. A modo de otro ejemplo no limitante, el material no lineal puede ser FLUORINERT FC-43, que es una marca comercial para un líquido inerte utilizado para aplicaciones en electrónica vendidos por 3M Corporation of St. Paul, Minnesota. FLUORINERT FC-43 es un fluido apropiado para la mezcla no lineal acústica debido a su baja velocidad del sonido (646 m/s) y su alta parámetro β no lineal acústica de 7.6. Otros fluidos de la familia Fluorinert también pueden ser utilizados ya que todos tienen propiedades físicas similares. Fluorinert es estable desde un punto de vista químico y térmico, compatible con materiales sensibles y prácticamente no tóxicos. Su resistencia dieléctrica es aproximadamente 10 veces mayor que el aire, lo que resulta en su uso seguro en altas potencias de estimulación requeridas en aplicaciones acústicas no lineales. Su uso habitual es en refrigeración térmica de inmersión para componentes electrónicos susceptibles a los daños a alta temperatura.

55 En algunos aspectos, el dispositivo incluye un transmisor, un transductor de alta frecuencia, por lo general diseñados para funcionar a alrededor de 1 MHz, que se adjunta a un recipiente llenado de fluido, o volumen de mezcla, que contiene un material no lineal, por ejemplo un cilindro relleno con Fluorinert FC-43 o un líquido inerte similar con baja velocidad del sonido. La longitud y anchura de la cámara de mezcla del material no lineal puede ser muy compacta y

5 puede ser tan pequeña como de 12 cm por 6 cm como se muestra en la Fig. 16 para el rango de frecuencia del haz de 20-120 kHz. La cámara se puede reducir a las dimensiones de 5 cm por 3 cm si el extremo inferior del rango de frecuencia del haz se incrementa a 50 kHz. El transductor de alta frecuencia puede ser estimulado por una frecuencia fija y una señal de frecuencia modulada pulsada, por ejemplo 1.03 MHz y una frecuencia modulada pulsada de 0.91-1.01 MHz (primaria) que generan haces acústicos de alta frecuencia que se propagan en el fluido de mezclado, para ejemplo FC-43. Debido a las propiedades no lineales acústicas del fluido, los haces de alta frecuencia interactúan para producir la diferencia de frecuencia y altos armónicos de las primarias. Los armónicos primarios y más altos se pueden atenuar en el líquido de mezcla (una propiedad del fluido no lineal acústico), y sólo la diferencia de frecuencia se propagará más. El haz de diferencia de frecuencia resultante de la interacción de frecuencias primarias citadas anteriormente está en un rango de 20 - 120 kHz. La combinación de baja frecuencia y haz de anchura estrecha producida por la mezcla no lineal acústica hace del dispositivo un candidato apropiado para la formación de imagen acústica fuera del pozo de perforación. El haz acústico de baja frecuencia de ancho de banda amplio tiende a producir una menor atenuación en comparación con las altas frecuencias, mientras que la colimación estrecha puede proporcionar una buena resolución de formación de imagen acústica.

15 La piezoeléctrica típica convencional y otras fuentes de sonido tienen un máximo de ancho de banda estrecha de un de 30%. Por lo tanto, un dispositivo con una frecuencia central de 70 kHz tendría un rango de frecuencia de aproximadamente 60 a 80 kHz. Para obtener este con una losa o un disco piezoeléctrico a modo de espesor, el espesor y el diámetro del material tienen que ser bastante grandes para impedir la generación de diversos modos radiales y otros modos. La dispersión del haz también sería muy grande como se muestra en la pantalla a mano derecha de la figura 17. Claramente, dicha fuente no produce un haz como patrón de radiación. Una fuente tal como la mostrada en la figura 16, utilizando la mezcla no lineal de dos frecuencias podría emitir (por ejemplo) una ráfaga de tono de frecuencia fija (f_1) y una frecuencia modulada pulsada (f_2) con la misma duración y una frecuencia que va desde 0.89 hasta 0.98 de f_1 . Este rango no es en absoluto el extremo inferior del rango f_2 es limitado debido a que la eficiencia de mezcla se deteriora cuando la diferencia de frecuencia ΔF aumenta con respecto a f_1 , y al extremo superior porque la colimación requiere una longitud del contenedor de llenado de fluido de un mínimo de unas cuatro longitudes de onda de frecuencia diferentes. Una de frecuencia fija f_1 en el rango de 250 kHz a 1.5 MHz es apropiada para aplicaciones de pozo de perforación. Una frecuencia fija f_1 de 1.03 MHz y f_2 en el rango descrito anteriormente de aproximadamente 0.91 a 1.01 MHz generaría un haz colimado con frecuencia central de 70 kHz y un rango de 20 kHz a 120 kHz. La pantalla del lado izquierdo de la figura 17 muestra los haces generados por dos transductores de dimensiones similares (38 y 28 mm de diámetro, respectivamente), uno optimizado para 100 kHz que funciona a 83 kHz, y el otro optimizado para 1MHz que emiten señales mixtas electrónicamente de 0.953 y 1.036 MHz, generando un haz de diferencia de frecuencia de 83 kHz. Las mediciones se realizaron en agua. El haz de diferencia de frecuencia permanece colimado a un metro de la fuente.

35 En algunos aspectos, una fuente compacta como se muestra en la fig. 16 se puede utilizar para generar un pulso acústico con un ancho de banda amplio que viaja a lo largo de una trayectoria de haz colimado. Por ejemplo, cuando dos pulsos gaussianos primarios, uno con frecuencia central f_1 y ancho de banda disperso de σ_1 y el otro con una frecuencia central f_2 y un ancho de banda disperso de σ_2 , se mezclan en la cámara que contiene un material no lineal, se produce un pulso acústico secundario con una frecuencia central ($f_1 - f_2$) y ancho de banda de aproximadamente ($\sigma_1 + \sigma_2$). Por ejemplo, dos pulsos gaussianos con frecuencia central 1.025MHz y 1.075MHz tanto con el ancho de banda disperso de 40 KHz, se mezclaron en la cámara para producir un pulso acústico y su correspondiente espectro de frecuencia de 25 a 150 kHz y que tiene una trayectoria colimada como se muestra en la fig. 18. Generando el pulso acústico a lo largo de una dirección colimada fija con el dispositivo compacto a través del mecanismo de mezcla de serie paramétrica puede ser muy flexible. Las frecuencias f_1 y f_2 y ancho de banda dispersa σ_1 y σ_2 pueden ser controladas electrónicamente permitiendo el diseño flexible y el cambio de la frecuencia y el ancho de banda del pulso acústico secundario durante la operación de medición en el pozo de perforación y otros lugares.

El haz colimado que emana desde el dispositivo fuente puede tender a divergir, y la colimación del haz puede ser mejorada mediante la colocación de una lente acústica o conjunto de lentes más allá del volumen donde las frecuencias primarias se mezclan para generar el haz de diferencia de frecuencia. Se ha utilizado Plexiglas®, pero cualquier material con baja atenuación del sonido y la impedancia acústica apropiada puede ser utilizado.

50 En algunos casos, un contraste de impedancia entre el fluido del pozo de perforación y la formación y la superficie de perforación del pozo cilíndrico pueden causar una alternancia de la geometría del haz de tal manera que el haz puede tender a converger a un foco y luego divergir dentro de la formación. En esta situación, la transformación de las señales recibidas en imágenes puede llegar a ser complicada. Para compensar este efecto, un segundo conjunto de lentes o lente acústica, tal como una lente divergente, se puede colocar entre el espejo acústico y la pared del pozo de perforación, de tal manera que el haz se mantiene más colimado fuera del pozo de perforación. El propósito del segundo conjunto de lente o la lente acústica es anticipar el efecto convergente de la interfaz formación de pozo perforación, que actúa como una lente cilíndrica para enfocar el haz en una ubicación en la formación más allá del cual diverge. El efecto de enfoque de la interfaz depende de la curvatura del pozo de perforación y el contraste de impedancia entre el barro y la formación. La funcionalidad del primer y el segundo conjuntos de lentes para mantener el haz colimado se ilustra en las figuras 19a y 19b.

Las figuras 19a y 19b muestran un aspecto de la divulgación, donde se utiliza el dispositivo con un conjunto de dos lentes. En particular, la figura 19a muestra tanto una vista lateral y superior de un dispositivo que incluye el recinto 1601 y el espejo 1625 situado dentro del pozo de perforación 1605. La figura 19b muestra tanto una vista lateral como superior de un dispositivo que incluye el recinto 1601, la lente 1610 convergente, el espejo 1625 y la lente 1630 divergente, situada dentro del recinto 1601 en el pozo de perforación 1605. Como se describió anteriormente, una o más fuentes (no se muestran) están configuradas para producir señales en una primera y una segunda frecuencia. Las señales se transmiten a un amplificador de señal (no se muestra) y luego se transmiten a uno o más transductores (no se muestran) que están configurados para generar señales acústicas en la primera y la segunda frecuencias. Las señales acústicas se propagan a un material no lineal (no se muestra), como se describe anteriormente, que mezcla las señales por medio del proceso de mezcla para producir un haz acústico. Los componentes anteriores pueden estar dispuestos en un recinto 1601, dentro del pozo de perforación 1605. Una lente 1610 acústica, tal como una lente convergente, se puede disponer a lo largo de una trayectoria de transmisión del haz acústico, i.e., pero no limitando a, cerca de la cara de salida del recinto 1601, y/o en comunicación con el volumen de mezcla/material no lineal, ya sea directa o indirectamente a través de una interfaz, para alterar una geometría de haz del haz acústico. Por ejemplo, la geometría de haz del haz acústico producido por las fuentes puede ser alterada de modo que el haz 1620 refractado por la lente 1610 acústica, es más colimado que el haz que sale del recinto 1601. El haz 1620 se puede reflejar por un reflector acústico o espejo 1625 acústico y dirigir a una segunda lente 1630 acústica, tal como una lente divergente. La segunda lente 1630 acústica se puede configurar para compensar la alternancia de la geometría del haz producida por la interacción entre el haz acústico y la interfaz entre la superficie de la pared del pozo de perforación y el material que rodea el pozo de perforación. Los espejos acústicos o lentes pueden estar dispuestos para girar por uno o más actuadores o motores 1635. Por ejemplo, la lente divergente puede ser una lente cilíndrica que está configurada para contrarrestar los efectos convergentes sobre el haz causado por la curvatura del pozo de perforación. A continuación, el haz acústico puede ser refractado por la segunda lente 1630 acústica y dirigido fuera del pozo 1605 de perforación. La primera y la segunda lentes acústicas 1610 y 1630 pueden ser una lente de Fresnel hecha de plexiglás u otros materiales apropiados que tienen una baja atenuación del sonido y apropiada impedancia acústica y que cuando la forma apropiada modifica el haz por cualquiera de las convergencias o divergencias del haz en función de la disposición particular de la lente.

El reflector acústico o espejo 1625 acústico y la segunda lente 1630 acústica, se pueden girar alrededor de un eje longitudinal del pozo de perforación 1605 para generar una o más imágenes circunferenciales de las formaciones fuera del pozo de perforación. Además, la inclinación del espejo con respecto al eje del pozo de perforación se puede controlar para alterar el ángulo de incidencia del haz en la pared del pozo de perforación.

Las dimensiones externas de las herramientas de registro determinan el rango de tamaños de pozos en las que pueden operar. Un dispositivo con un rango de frecuencia de funcionamiento de 20 a 120 kHz, utilizando FC43 como el material no lineal, podría ser construido con un diámetro de cerca de cuatro pulgadas (102 mm) haciéndolo utilizable en pozos de perforación con diámetro de seis pulgadas (152 mm) y por encima. Los dispositivos más grandes que generan haces colimados más potentes, y que funcionan a frecuencias más bajas podrían utilizarse en pozos de perforación de mayor diámetro. Un dispositivo a escala reducida que funcione a frecuencias más altas se podría reducir a través del tubo de producción para servicio en pozos terminados.

La impedancia acústica contrasta debido a la falta de homogeneidad local, fracturas planas etc. fuera del pozo de perforación causa reflexión o dispersión del haz acústico, algunos de los cuales volverá al pozo de perforación. En un pozo revestido, la energía se refleja desde la pared interior de la carcasa, la pared exterior de la carcasa puede o no estar unida al cemento, cualquier hueco en el cemento, el cemento o la interfaz de fluido a la formación, y cualquier veta de carcasa adicional concéntrica. En una aplicación de pozo abierto, la energía es reflejada desde los límites de impedancia debida (por ejemplo) a la alteración mecánica en la formación inducida por la perforación, la invasión de fluido, fracturas naturales, nódulos de minerales secundarios y los límites del cauce.

Un sistema que utiliza el dispositivo de la fuente descrita anteriormente y receptores para detectar la energía de dispersión desde fuera del pozo de perforación para reflexión 3D del pozo de perforación sísmológica para crear una imagen tridimensional 3D de la tierra que rodea el pozo de perforación se muestra en las Figuras 19a, 19b y 20. El sistema comprende la fuente acústica con espejos giratorios, tales como un reflector 1625, y lentes, tales como lentes 1610 y/o 1630, que pueden girar a través de uno o más activadores/motores 1635 y que se pueden montar dentro de la herramienta de registro y una serie 1640 de receptores, que están montados a lo largo de la herramienta colocada en el pozo de perforación para detectar la señal de reflexión. Todo el sistema se puede mover arriba y abajo del pozo de perforación como en sísmología superficie de reflexión 2D. La rotación del espejo hace que el haz de la fuente de serie paramétrica escanee la circunferencia del pozo de perforación en azimut para obtener una imagen 3D completa alrededor del pozo de perforación. La inclinación del espejo altera la inclinación del haz de la fuente de serie paramétrica y la repetición del barrido de azimut creará otra imagen 3D completa. El conjunto de múltiples imágenes en 3D proporciona redundancia. El conjunto de múltiples imágenes en 3D se puede combinar adecuadamente para mejorar la definición de la definición de la imagen 3D en general con técnicas de procesamiento de señales.

Un aparato para experimentos de laboratorio para demostrar el funcionamiento del sistema de medición descrito anteriormente se muestra en las figuras 21a y 21b. En particular, la figura 21a muestra una vista en planta de un corte

vertical propuesto en un barril y la figura 21b muestra una sección transversal que muestra los componentes y dimensiones de los diversos componentes del aparato. En la figura 21a, un tubo 2105 de plexiglás de 146 mm de diámetro se centró en un barril 2110 de plástico y el anillo intermedio lleno de cemento. A continuación, el caparazón del barril se retiró y se excavó un canal de 45 grados de ancho, de 50 mm profundidad a lo largo de la longitud del cilindro. Un pozo circular de 180 mm de diámetro con una profundidad similar fue cortado en el lado opuesto. En la Figura 21b un conjunto 2115 transmisor montado axialmente, espejo 2120 acústico y la serie de 12 receptores 2130 se dispone a lo largo de la longitud del barril 2110. La señal del transmisor se registró primero en una bandeja de agua.

Los datos de reflexión se registraron por varios receptores en la serie de una fuente con un azimut y una inclinación en una ubicación del transmisor con el aparato mostrado en las figuras 21a y 21b. Estos datos se conocen comúnmente como datos multi-compensados en la industria sísmica. Las señales recibidas se correlacionaron con la señal del haz de frecuencia modulada pulsada y una deconvolución de la señal de la fuente se realizó posteriormente de conformidad con la teoría estándar de procesamiento de señal. La señal deconvolucionada resultante se muestra en la Figura 22. Esto correspondería a una pantalla del panel de compensación en la sismología de superficie. Varias llegadas lineales directas de propagación a lo largo de las paredes del pozo de perforación y reflexiones de las paredes exteriores son visibles.

El experimento se repitió para múltiples azimuts en cinco grados de incremento y los resultados del ejemplo se muestran en las pantallas de compensación para múltiples azimuts en la figura 23. La figura muestra una secuencia de las pantallas de múltiples paneles de azimut compensados que cubren 35 a 145 grados de azimut. El eje x está reducido en número de trazas y cada panel de compensación tiene 12 trazas con paneles consecutivos corresponden a cinco grados de incremento. Las señales de reflexión desde fuera del pozo de perforación son visibles en varias secciones de azimut. El tiempo de viaje de las señales de reflexión muestra claramente la variación en los tiempos de llegada correspondientes a la variabilidad de la dimensión de la pared exterior.

Los mismos datos pueden ser reordenados para mostrar la señal detectada para un solo receptor fuente de espaciado, comúnmente conocido en la industria sísmica como el espaciado compensado, frente al azimut como se muestra en la figura 24. La imagen geométrica de la ranura es muy evidente en la figura. El experimento se puede repetir con diferente inclinación del haz de fuente para proporcionar la exploración más direccional y redundancia para mejorar la imagen.

Los datos de reflexión sísmica 3D del pozo de perforación recolectados por el sistema descrito pueden ser procesados a través de diversos algoritmos de imagen adaptados de imágenes en 3D estándar. Por ejemplo cada vez que la fuente irradia energía en una orientación del espejo, el campo de ondas que ilumina se caracteriza por la directividad del sistema de fuente/espejo y la función de Green entre la fuente y cualquier punto en el interior del pozo de perforación y/o formación. La trayectoria recíproca desde el receptor a cualquier punto dentro del pozo de perforación/formación se puede considerar de manera similar como la combinación de una función de directividad y una función de Green. La respuesta modelada a partir de cualquier punto en el medio debido a una fuente y el receptor en particular es la convolución de las funciones de fuente y receptor. En cualquier punto en el medio, la contribución imagen de cada par fuente/receptor se toma como el valor del zero-lag a partir de la correlación cruzada de la función de respuesta modelada con los datos registrados. Este sistema particular tiene ciertas características geométricas que pueden ser explotadas, tales como la sustitución de la fuente y el espejo con una fuente virtual que irradia a través de una abertura en forma de espejo y la explotación de simetría cilíndrica.

Los registros de las formas de onda recibidas son procesados para generar una imagen de la reflexión o de transmisión características de la formación. La dirección de propagación del haz y el tiempo de vuelo pueden fijar los lugares donde se generan las ondas dispersas, distinguiendo este dispositivo de técnicas de imágenes sísmicas normales que utilizan fuentes convencionales monopolo y dipolo no direccionales. Un efecto asociado de la utilización de un haz en comparación con las fuentes convencionales es que el cálculo de una imagen de las propiedades acústicas de formación puede no requerir una especificación detallada del campo de velocidad de la formación de roca. La dirección de propagación del haz y la medición del tiempo de vuelo simplifican y mejoran la capacidad para identificar la ubicación donde las ondas se reflejan o dispersan. En particular, el conocimiento de la orientación del haz que sale la herramienta localiza las fuentes de ondas dispersadas registradas a lo largo del haz, la dirección y el tiempo de retraso localiza la posición de las fuentes dispersas a lo largo de la trayectoria del haz. Por lo tanto, la formación de imágenes del pozo de perforación con una fuente de haz puede presentar una simplificación y reducción de la incertidumbre de la imagen en tiempo final en contraste con las fuentes convencionales (no haz) que requieren un modelo de velocidad detallada preciso para el cálculo de la imagen 3D. Además, debido a que el haz es centrado y orientable, en azimut y la inclinación con respecto al pozo de perforación, la imagen tiende a tener mayor resolución que la se obtiene con una fuente convencional (no haz). El método permite obtener imágenes detalladas de características que incluyen zonas invadidas, adherencia del cemento con la carcasa, zonas dañadas, zonas de fractura, capas estratigráficas particularmente a alta inmersión aparente (el ángulo entre el plano del lecho y el plano perpendicular al eje de la herramienta). La diferencia de banda ancha de la frecuencia del haz para la invención varía de 1 kHz a 100 kHz. El extremo inferior de este rango de frecuencia, también utilizado por algunas herramientas de registro sísmicas convencionales, alcanza una profundidad de penetración de hasta cien pies (30.5m). Es importante observar que, debido a que el haz es de banda ancha y puede ser codificado, la relación de la señal con el ruido de la señal detectada

se puede mejorar considerablemente después del procesamiento y la decodificación. Debido a las características del haz de banda ancha con generalmente mayor profundidad de penetración y una mayor relación de la señal con el ruido debido a la codificación, el método también puede permitir la formación de imágenes y/o caracterización detallada de las propiedades no lineales de la formación de rocas y su contenido de líquido que rodea el pozo de perforación.

- 5 Las diversas fuentes de haces acústicos descritas en detalle anteriormente se pueden utilizar en muchas aplicaciones derivadas de formación de imágenes alrededor del pozo de perforación. Por ejemplo, las fuentes de haces acústicos descritos anteriormente se pueden utilizar para diversas evaluaciones de las fracturas naturales, mapeo de cavidades, nódulos u otras faltas de homogeneidad, evaluación de la presencia y las propiedades de la envoltura de cemento entre una o más vetas de carcasa y la formación en torno a un pozo revestido, el mapeo de la invasión del fluido desde el
- 10 pozo de perforación y la evaluación de la integridad mecánica de la formación alrededor del pozo, en particular, cualquier alteración provocada por la concentración de tensión cercana al pozo de perforación. Hay aplicaciones adicionales para la fuente compacta en campos tales como ensayos no-destructivos.

- 15 Las diversas configuraciones descritas en detalle anteriormente son solamente para fines ilustrativos. Las modificaciones de las configuraciones se pueden hacer para otras aplicaciones sin apartarse de la invención. Por ejemplo, en las configuraciones transportadas por tubo y registro de datos durante la perforación (LWD), usando tecnología que permite que la herramienta pase a través de la parte inferior de la veta de perforación, el dispositivo de generación de haz acústico compacto permitirá ver eficientemente hacia adelante de la broca lo que resulta en la detección de zonas sobre presión o cambios significativos en la reología de la formación antes de que se alcancen por
- 20 la broca de perforación. La dirección del haz también permite la medición indirecta de la inmersión y el azimut al reflejar cuerpos por delante de la broca. Otra aplicación es la detección de la geometría de fallo por delante de la broca.

El término "lente", como se usa en el presente documento, se debe entender que incluye ambas estructuras y materiales de refracción y reflectantes como será apreciado por los expertos en la técnica.

- 25 Aunque la invención se ha descrito en detalle con el propósito de ilustración basado en lo que se considera actualmente como una variedad de realizaciones útiles, se debe entender que tal detalle es solamente para ese fin y que la invención no se limita a las realizaciones reveladas, sino que, por el contrario, está destinada a cubrir modificaciones y disposiciones equivalentes que están dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, aunque se hace referencia en este documento a un ordenador, esto puede incluir un ordenador de propósito general, un ordenador construido para este fin, un ASIC que incluye instrucciones ejecutables por máquina y programado para ejecutar los métodos, una serie o red de ordenadores, u otro dispositivo informático apropiado. Como se muestra en la Figura 10 y
- 30 14, los datos recolectados por los receptores podrían someterse a algún tipo de procesamiento y se almacenan en la memoria de la herramienta, o se transmiten hasta el pozo para su posterior procesamiento y almacenamiento. Como un ejemplo adicional, se debe entender que la presente invención contempla que, en la medida de lo posible, una o más características de cualquier realización se pueden combinar con una o más características de cualquier otra realización.

REIVINDICACIONES

1. Un método para generar un haz de energía acústica en un pozo de perforación, el método comprende:
generar una primera onda acústica en una primera frecuencia;
5 generar una segunda onda acústica en una segunda frecuencia diferente de la primera frecuencia, en donde la primera y la segunda ondas acústicas son generadas por al menos un transductor (130, 1415, 1505) realizado por una herramienta situada en el pozo de perforación; y
10 la transmisión de la primera y la segunda ondas acústicas en un medio acústicamente no lineal (140, 1420, 1510), en el que la composición del medio no lineal (140, 1420, 1510) produce un haz (1425, 1515) colimado por una mezcla no lineal de la primera y la segunda ondas acústicas, en donde el haz (1425, 1515) colimado tiene una frecuencia basada en una diferencia entre la primera frecuencia y la segunda frecuencia,
caracterizado porque el método comprende además la transmisión de haz (1425, 1515) colimado a través de una lente acústica divergente (1630) para compensar un efecto de refracción causado por la curvatura del pozo de perforación.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además reflejar y guiar el haz (1425, 1515) acústico colimado por un espejo acústico móvil (1320).
- 15 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además transmitir el haz (1425, 1 515) colimado en un material alrededor del pozo.
4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además transmitir el haz (1425, 1515) colimado a través de una segunda lente (1610) acústica dispuesta a lo largo de un trayecto de transmisión que está entre la lente (1630) divergente y el medio (140, 1420, 1510) no lineal.
- 20 5. Una línea de alambre o tubo que transporta la herramienta de registro que se puede colocar dentro de un pozo de perforación, comprendiendo la herramienta:
una cubierta;
al menos un transductor, llevado por la cubierta, y configurado para producir una primera onda acústica a una primera frecuencia y una segunda onda acústica a una segunda frecuencia diferente de la primera frecuencia; y
25 un medio (140, 1420, 1510) no lineal llevado por la cubierta, en el que la composición del medio (140, 1420, 1510) no lineal está configurado para producir un haz (1425, 1515) colimado por una mezcla no lineal de la primera y segunda ondas acústicas, en el que el haz (1425, 1.515) colimado tiene una frecuencia basada en una diferencia entre la primera frecuencia y la segunda frecuencia;
30 caracterizado porque la herramienta comprende además una lente (1630) acústica divergente configurada para transmitir el haz (1425, 1515) colimado y para compensar un efecto de refracción causado por la curvatura del pozo de perforación.
6. La herramienta según la reivindicación 5, que comprende además un espejo (1320) acústico configurado para reflejar y guiar el haz (1425, 1515) acústico colimado en una dirección dada.
- 35 7. El método de la reivindicación 1 o la herramienta según la reivindicación 5, en el que el medio (140, 1420, 1510) no lineal se selecciona del grupo que consiste en: una mezcla de líquidos, un sólido, un material granular, las microesferas incrustadas, una emulsión, y una combinación de los mismos.
8. El método de la reivindicación 1 o la herramienta de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el haz (1425, 1515) colimado tiene un rango de frecuencia.
- 40 9. El método o herramienta según la reivindicación 8, en el que el rango de frecuencia del haz (1425, 1515) colimado está entre 15 kHz y 120 kHz.
10. El método de la reivindicación 1 o la herramienta de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la primera onda acústica tiene un rango de frecuencias.
11. El método de la reivindicación 1 o la herramienta de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la segunda onda acústica tiene un rango de frecuencias.

12. La herramienta según la reivindicación 5, en el que la lente acústica divergente está configurada para transmitir el haz (1425, 1515) colimado en un material alrededor del pozo de perforación.
13. El método de la reivindicación 3 o la herramienta de acuerdo con la reivindicación 12, en el que el material es la formación de roca, cemento, o la carcasa, o una combinación de los mismos.
- 5 14. El método de la reivindicación 1 o la herramienta de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la lente acústica divergente es un espejo.
15. El método de la reivindicación 1 o la herramienta de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la lente (1630) acústico divergente es transmisora.
- 10 16. La herramienta según la reivindicación 5, que comprende además una segunda lente (1610) acústica configurada dispuesta a lo largo de una vía de transmisión que está entre la lente (1630) divergente y el medio (140, 1420, 1510) no lineal.
17. El método de la reivindicación 4 o la herramienta de acuerdo con la reivindicación 16, en el que la segunda lente (1610) acústica es una lente convergente.
- 15 18. El método de la reivindicación 1 o la herramienta de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el medio (140, 1420, 1510) no lineal tiene una velocidad del sonido entre 100 m/s y 800 m/s.

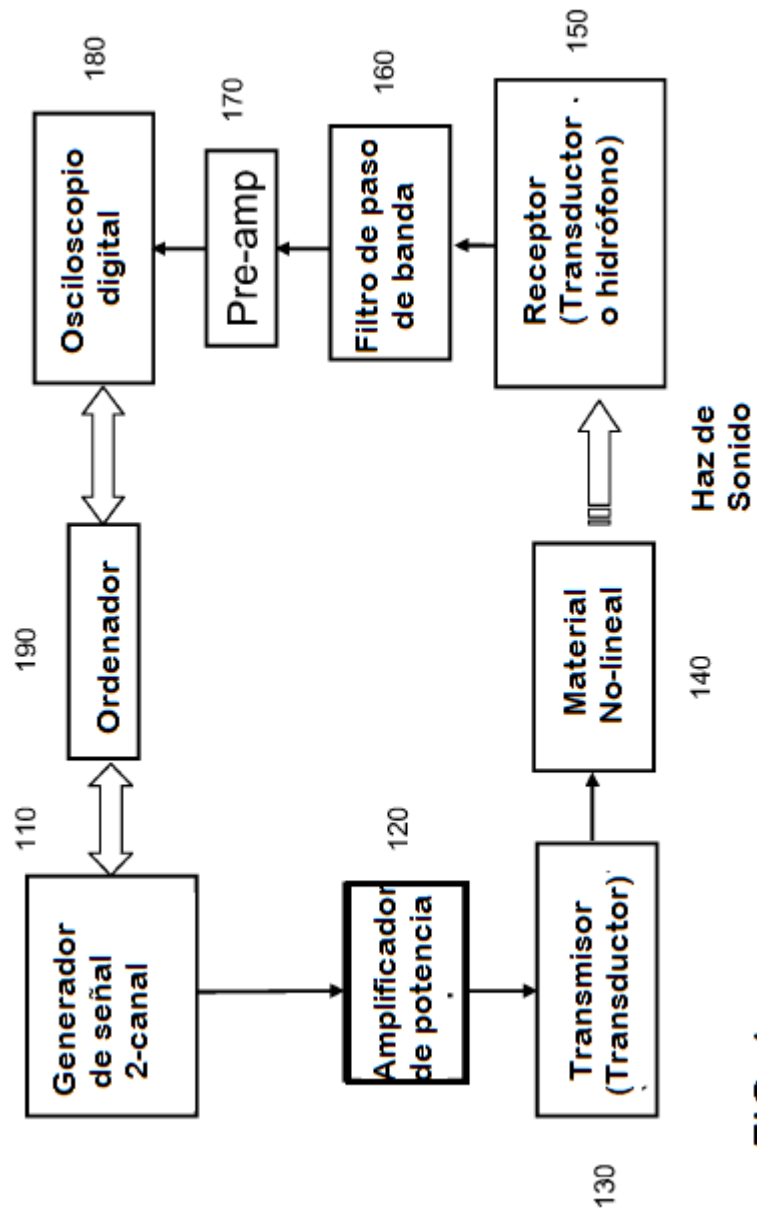


FIG.1

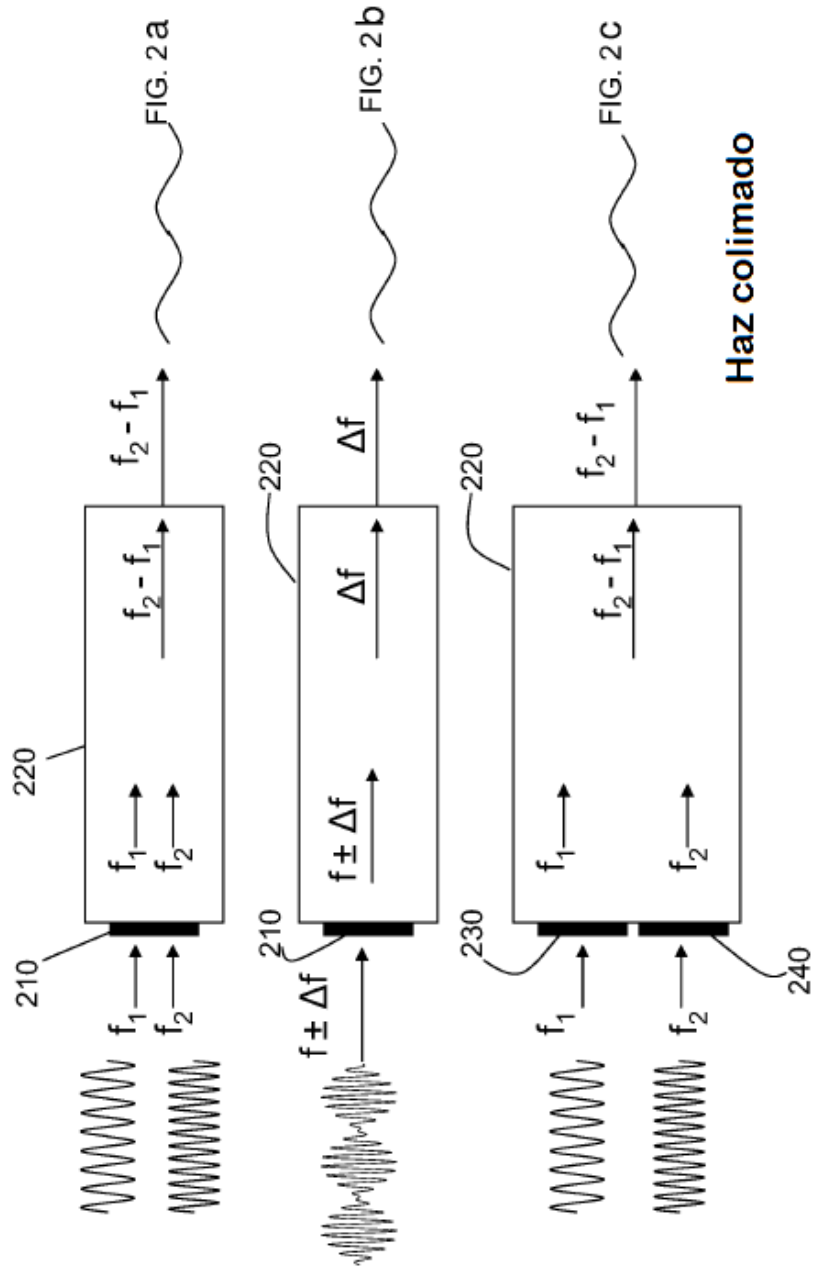
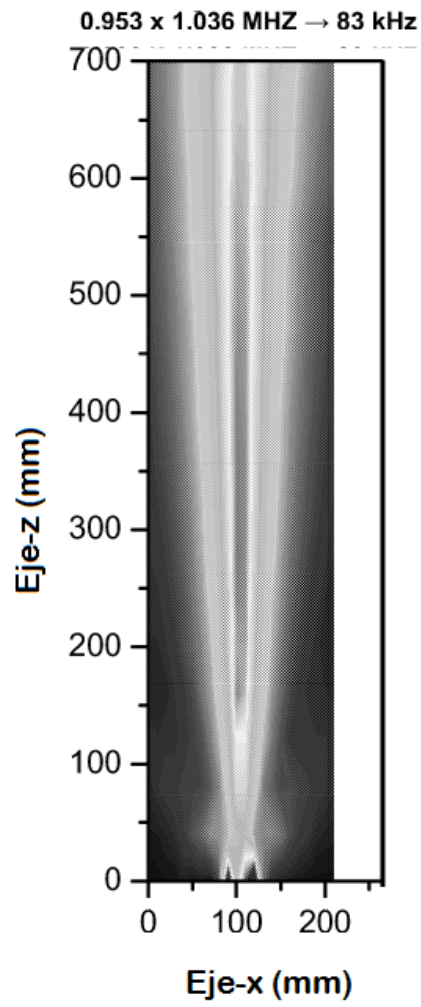


Fig. 3a



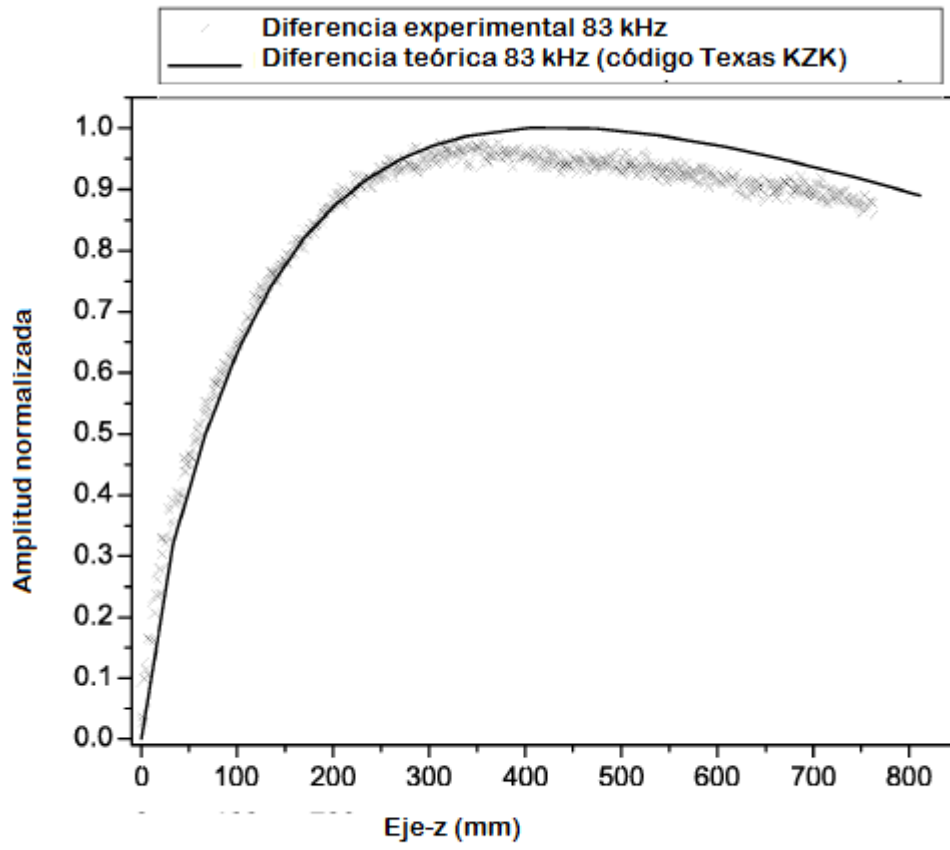


Fig. 3B

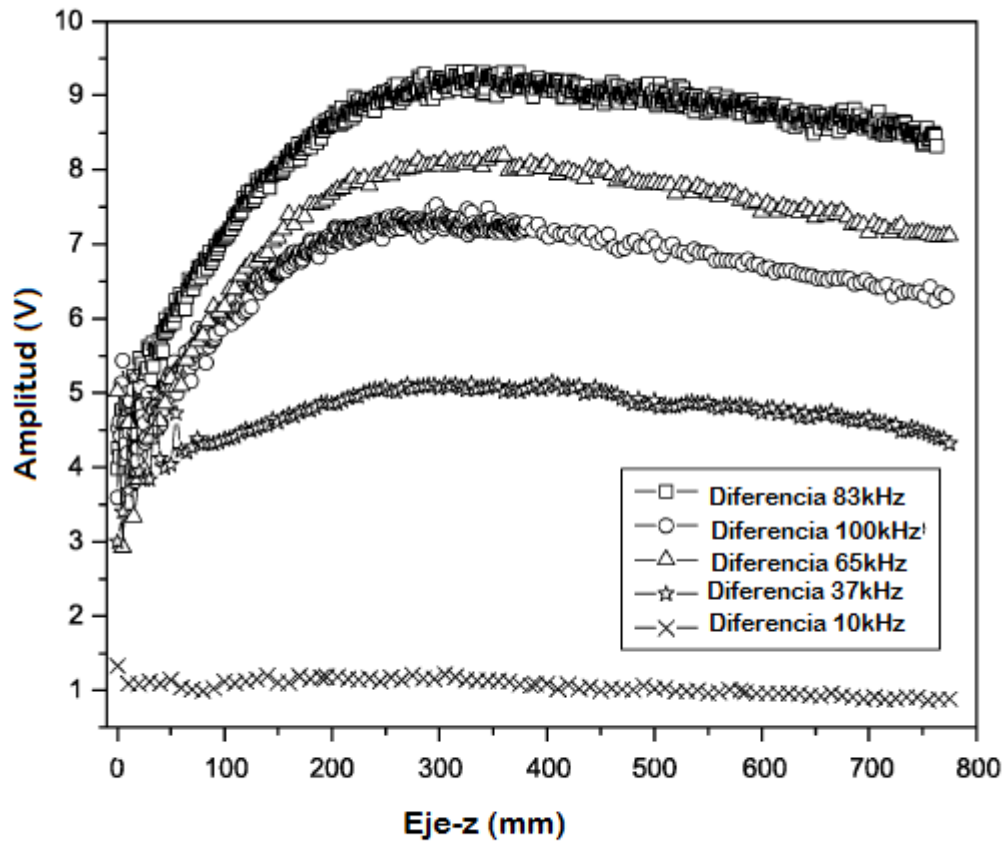


Fig. 4A

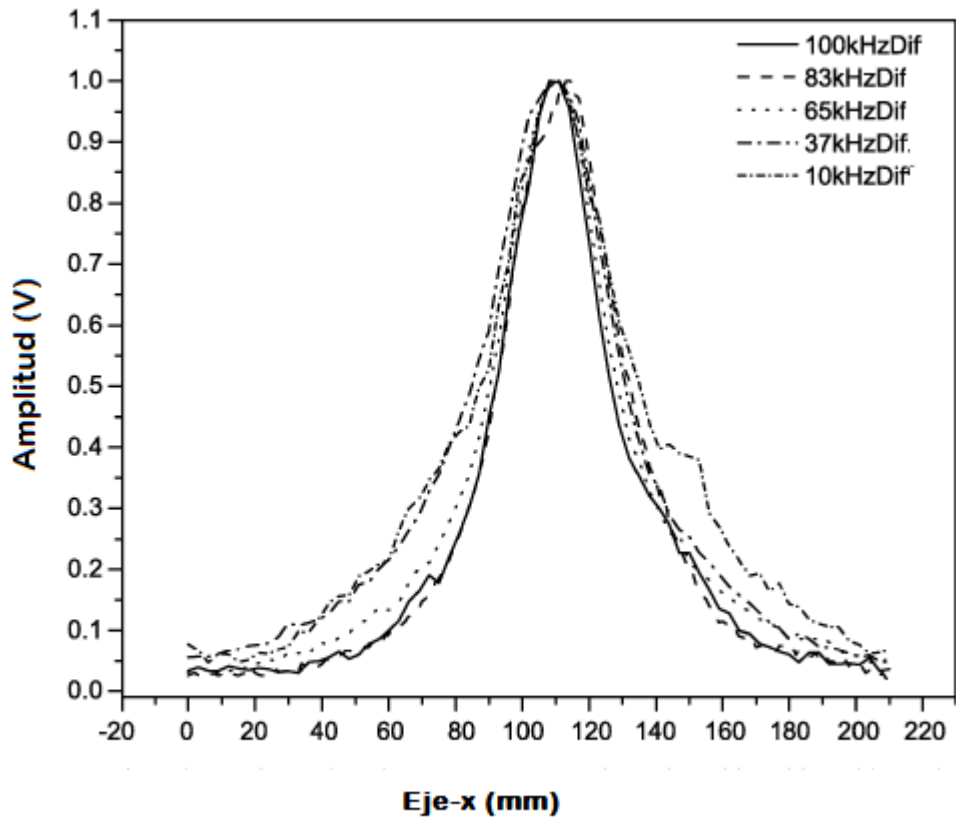


Fig. 4B

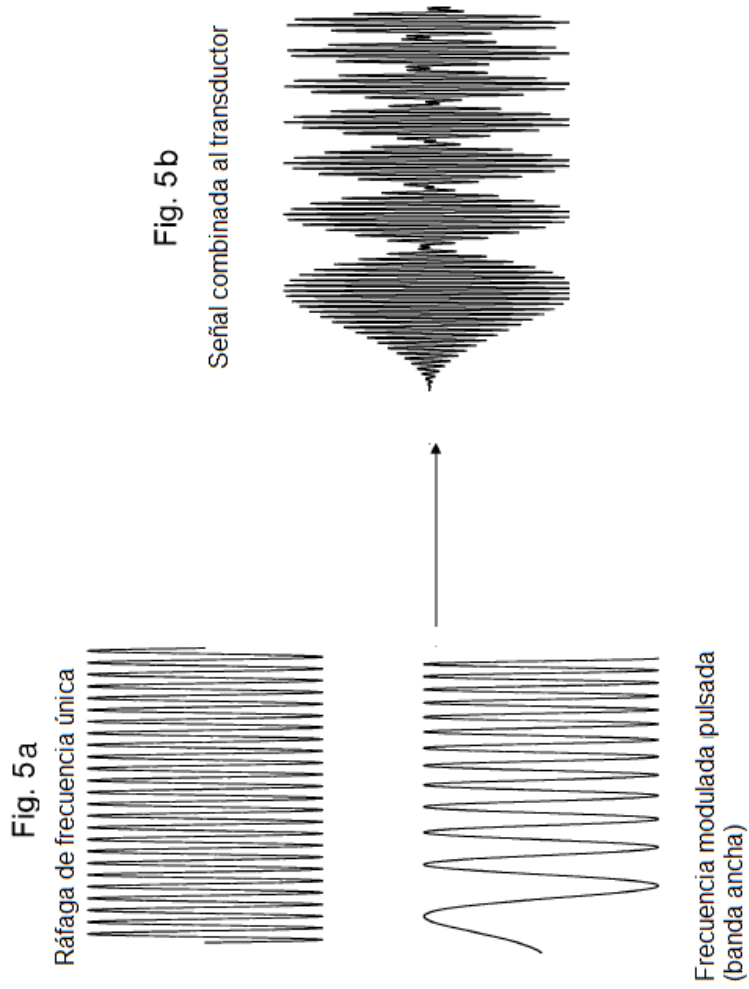


Fig. 6A

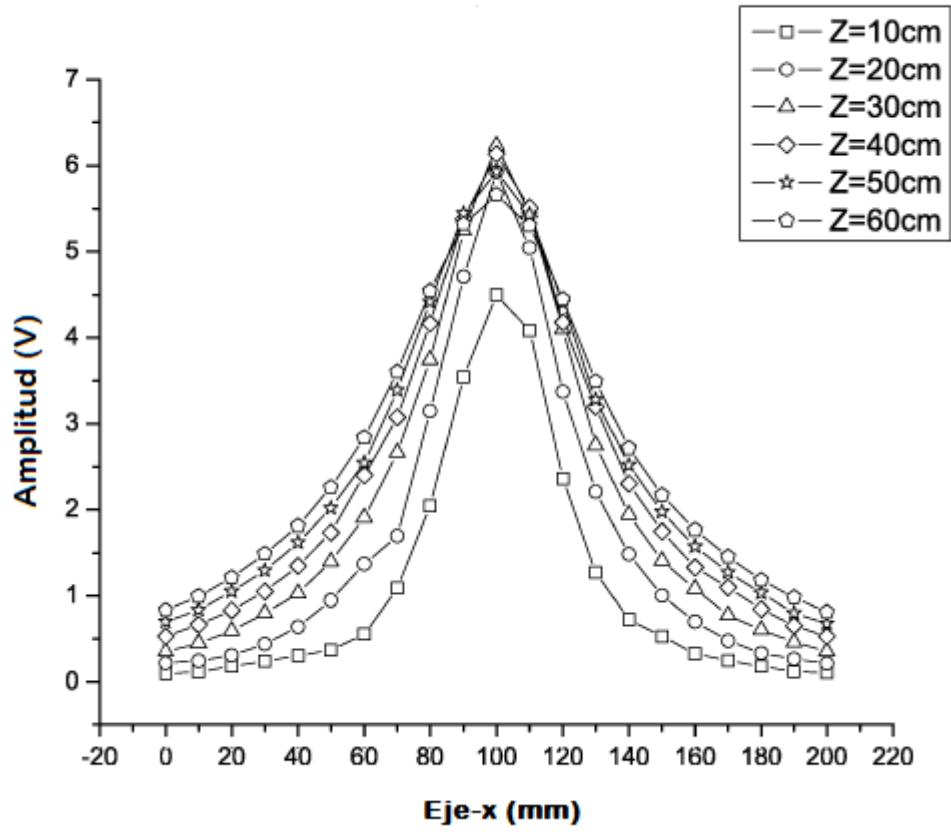
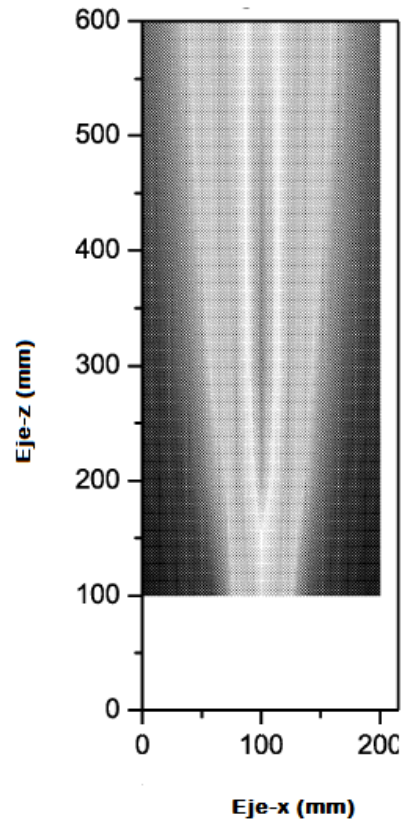


Fig. 6B



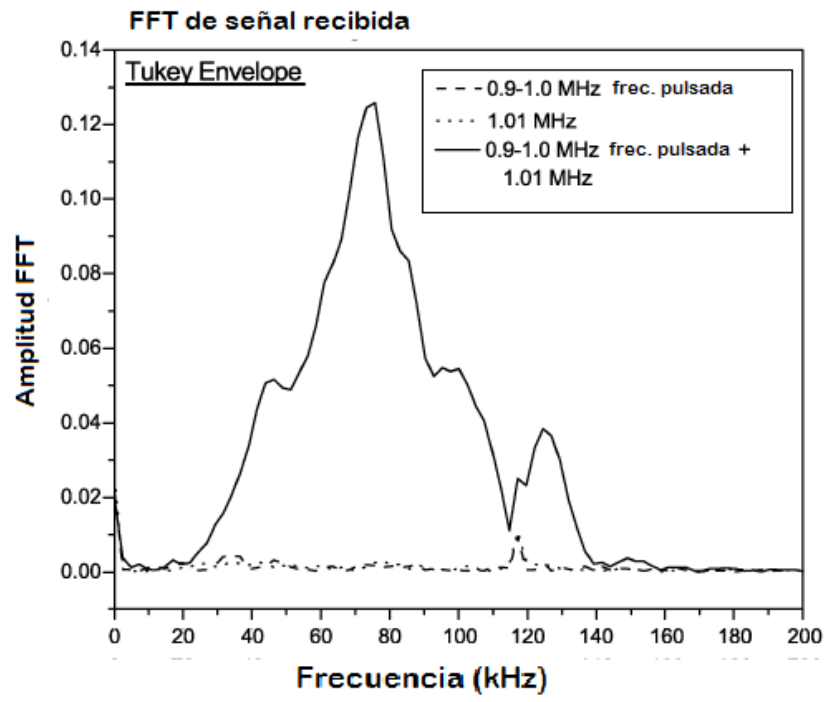


Fig. 6C

Fig. 7A

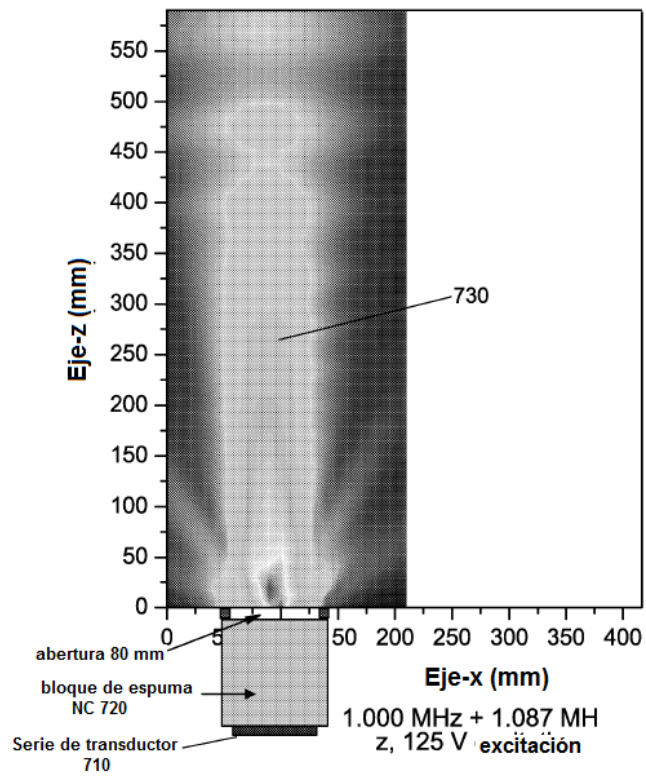


Fig. 7B
Señal diferencia

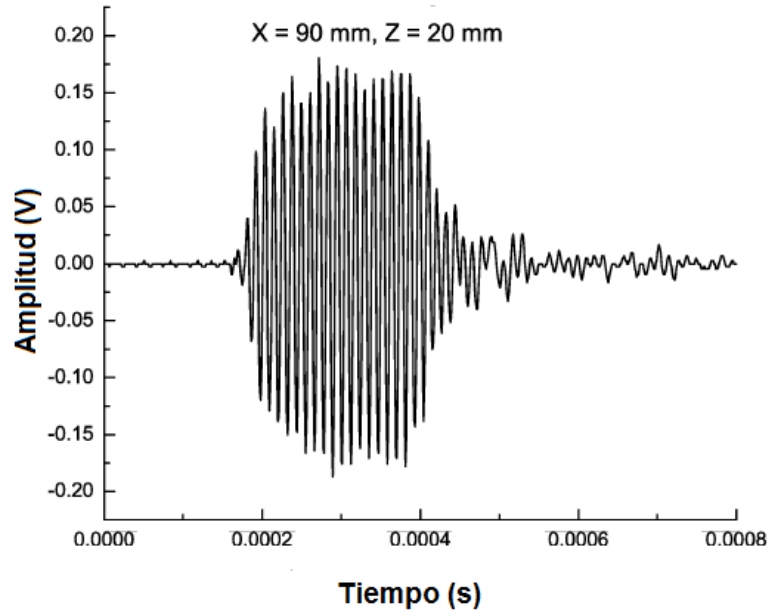
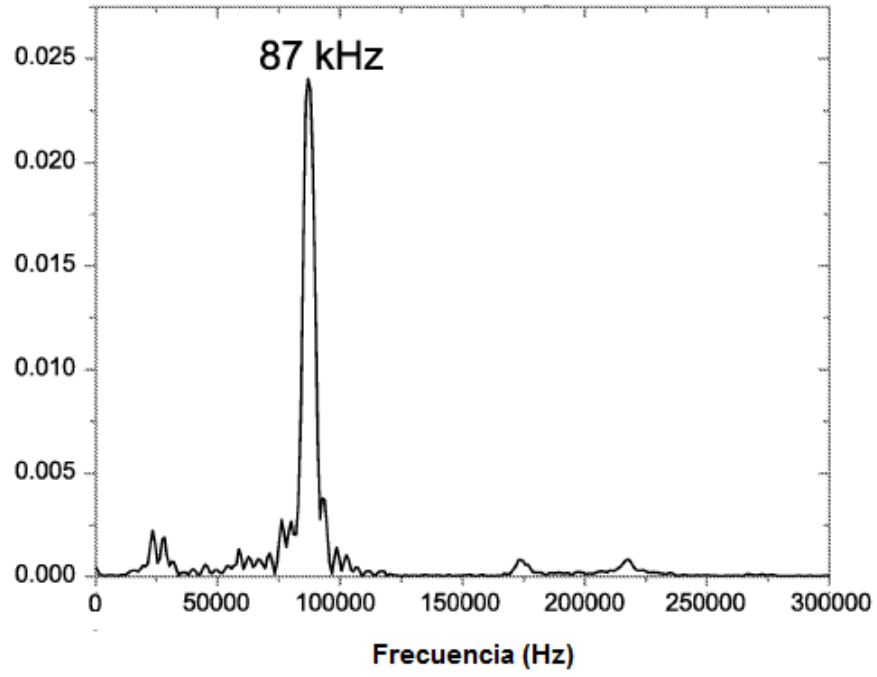


Fig. 7C
FFT de señal de diferencia



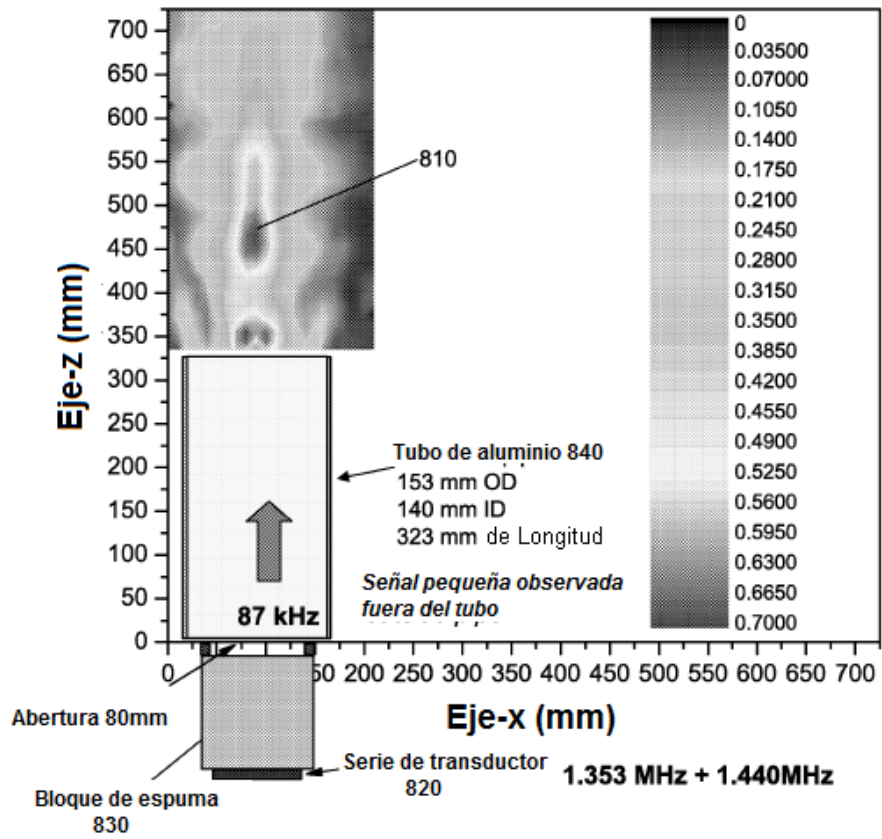
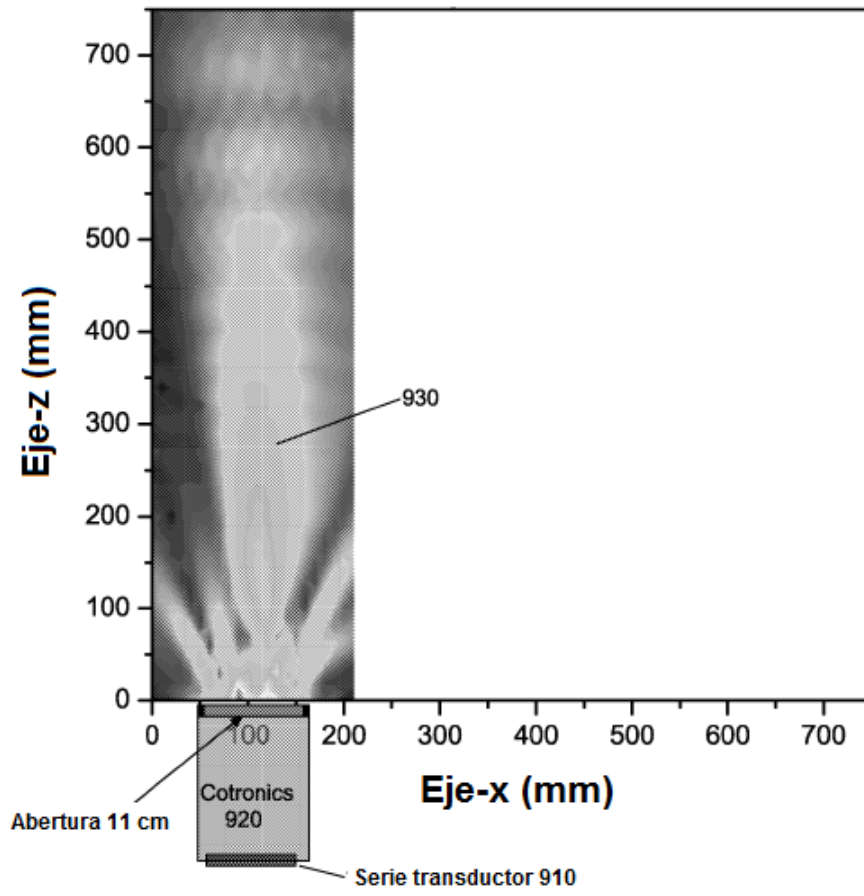


Fig. 8

Fig. 9



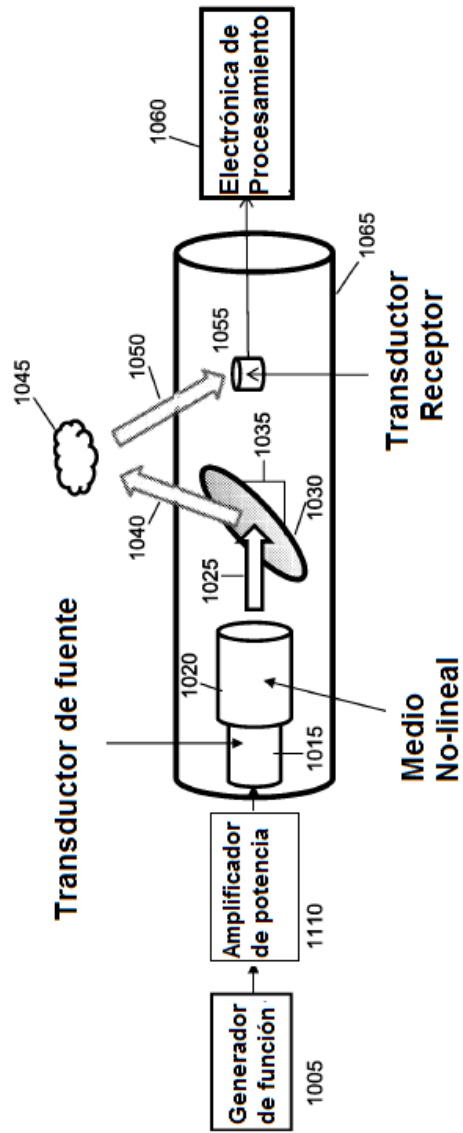
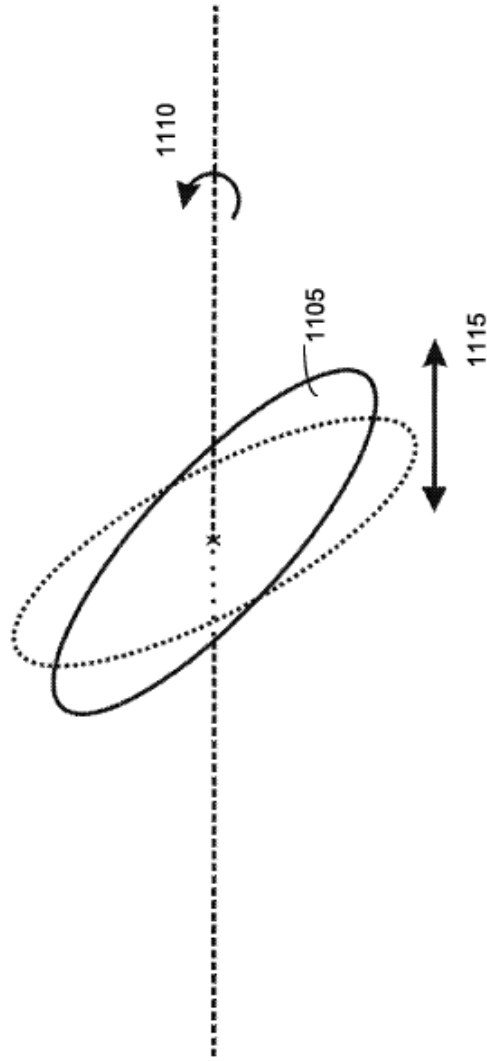


Fig. 10

Fig. 11



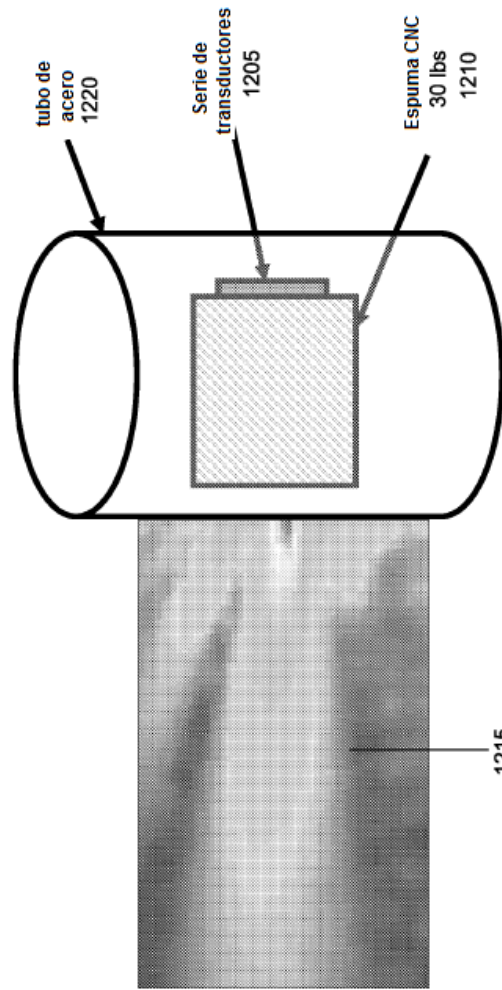


Fig. 12

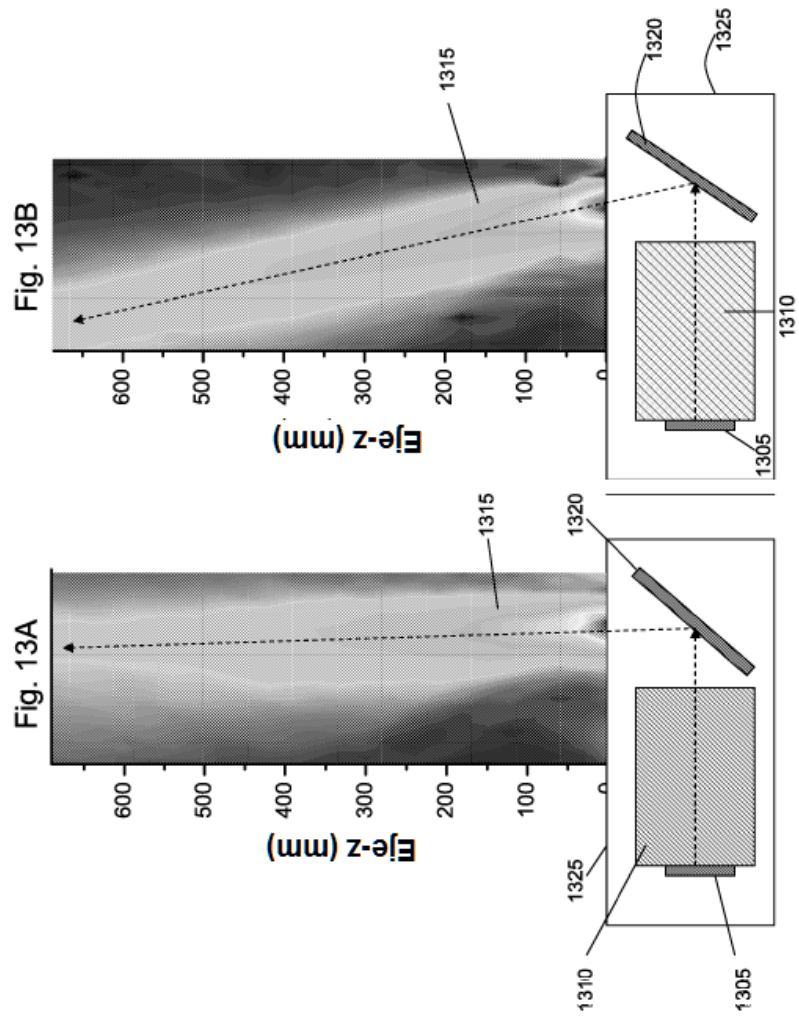
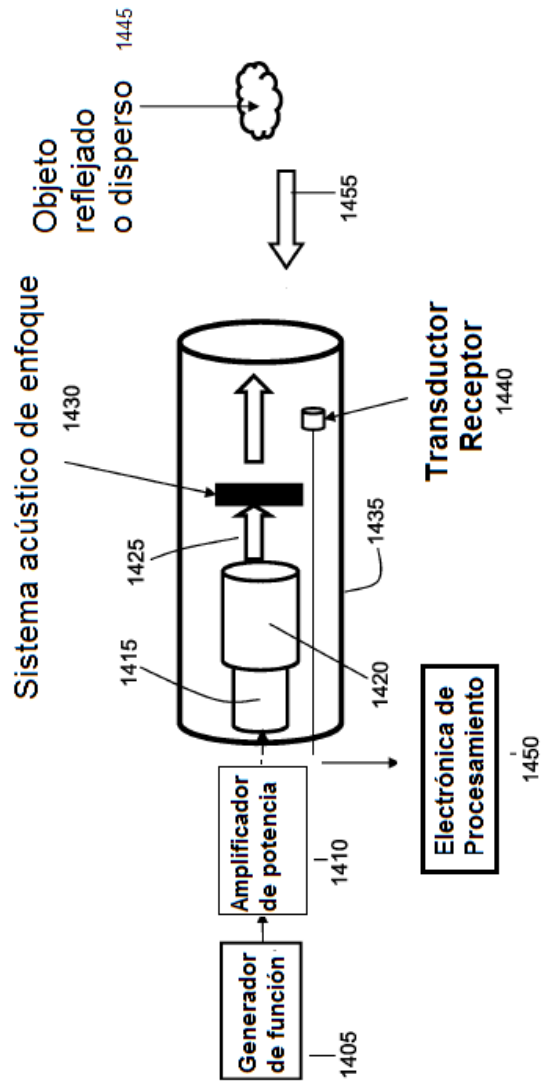


Fig. 14



Formación de imágenes de un objeto fuera del tubo

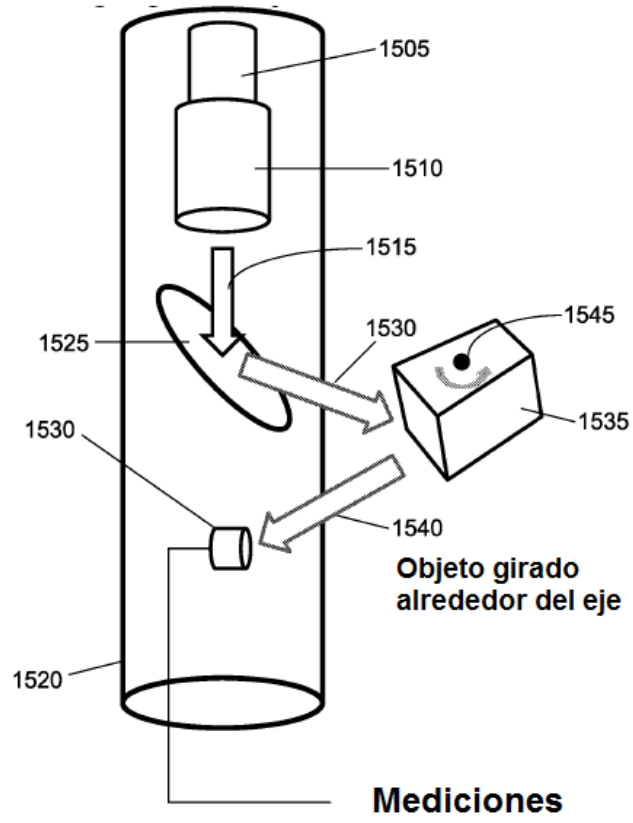
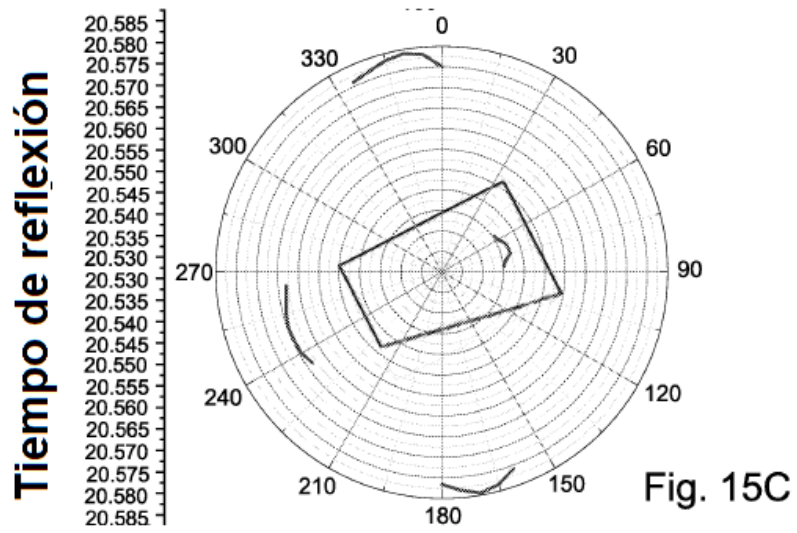
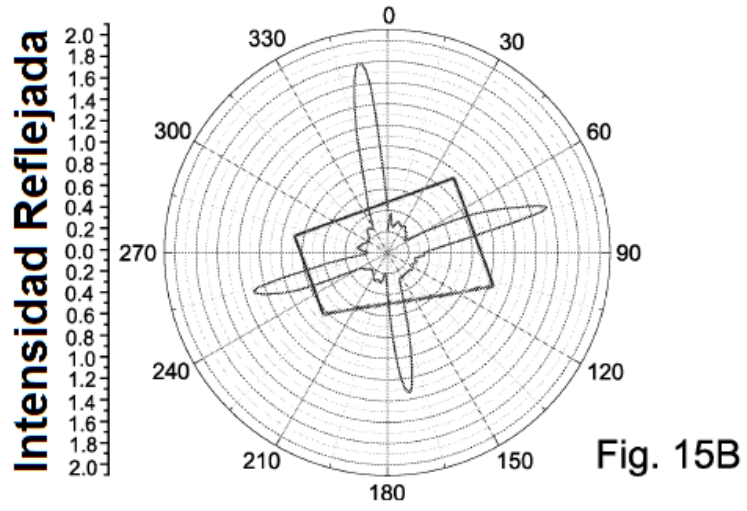


Fig. 15A



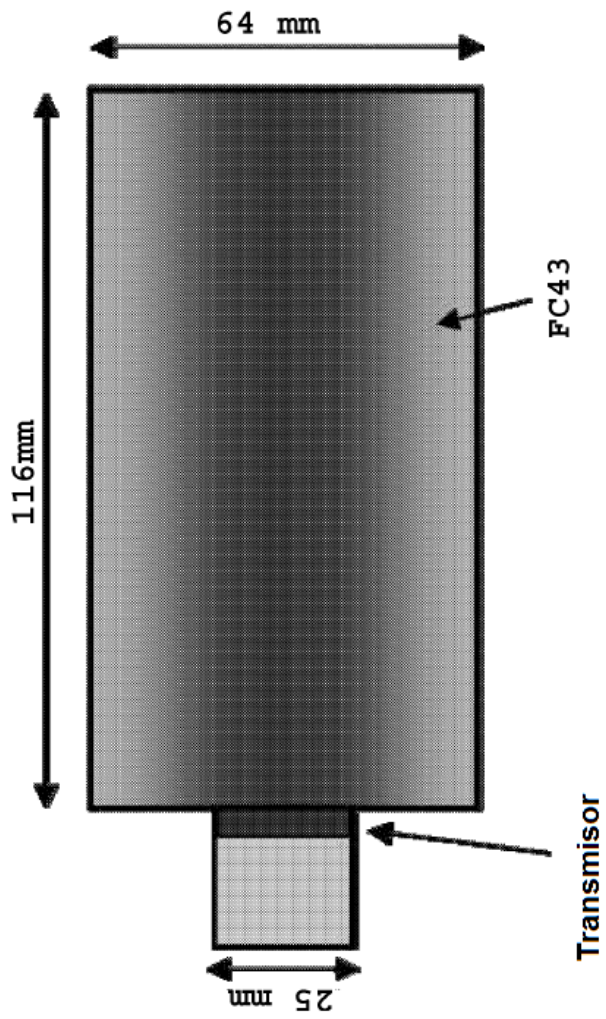


Figura 16

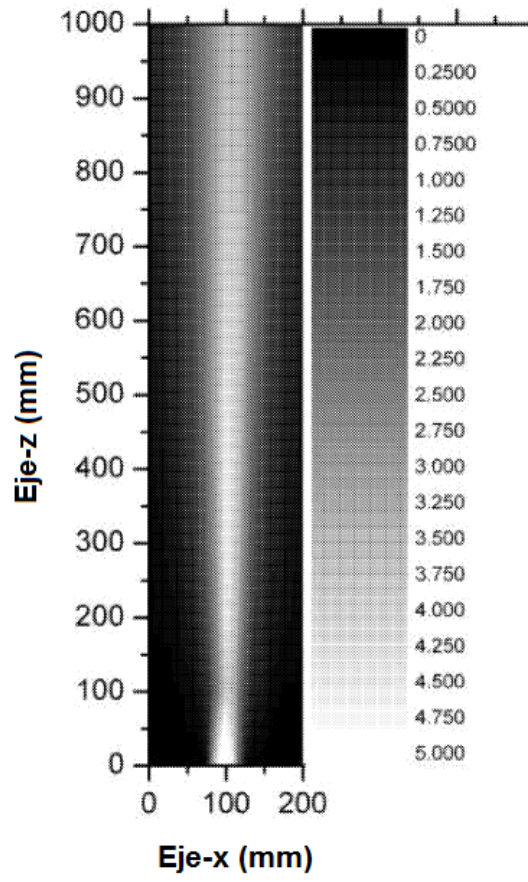


Figura 17

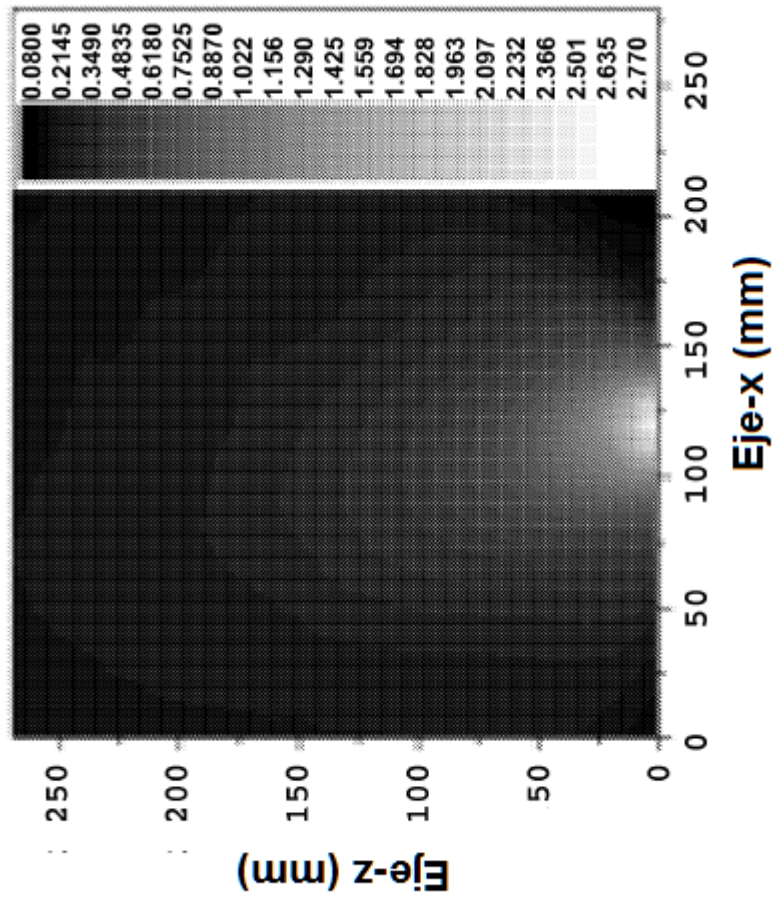


Figura 17 cont.

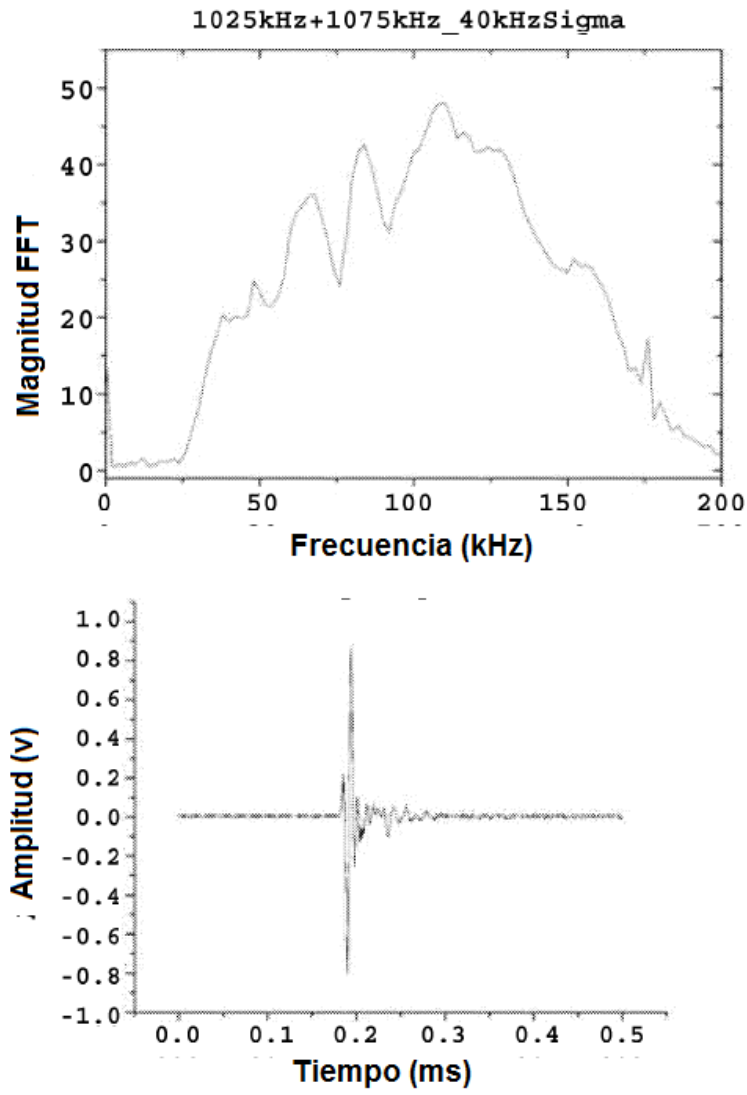


Figura 18

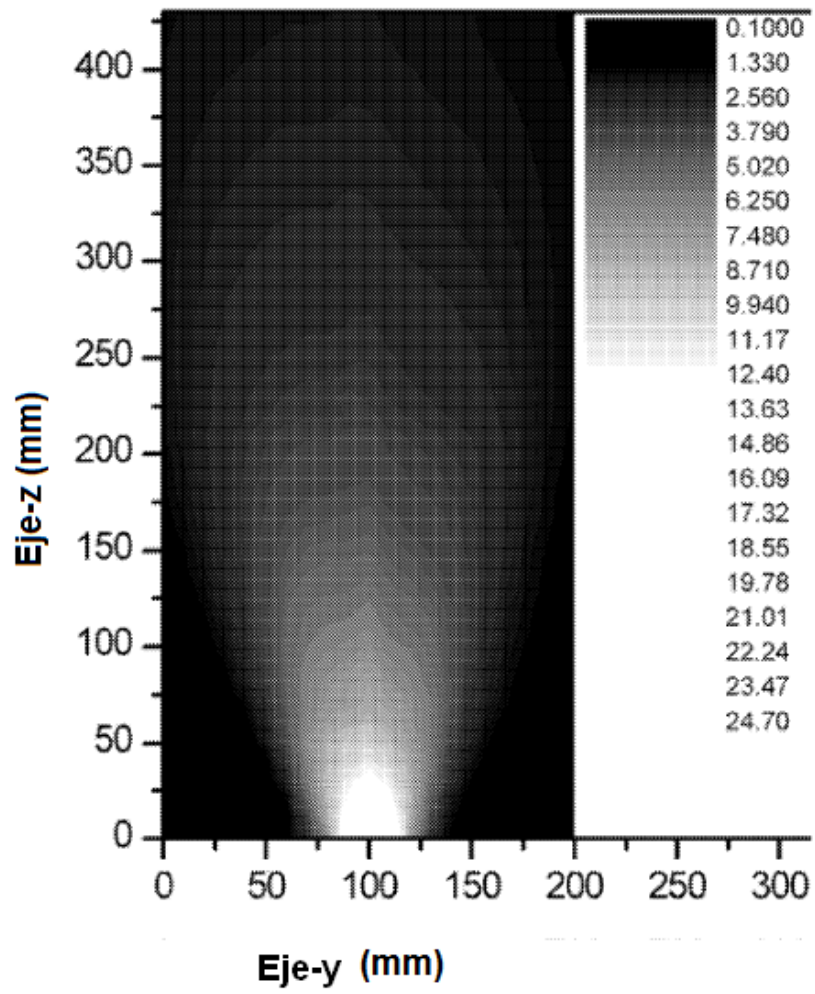


Figura 18 cont.

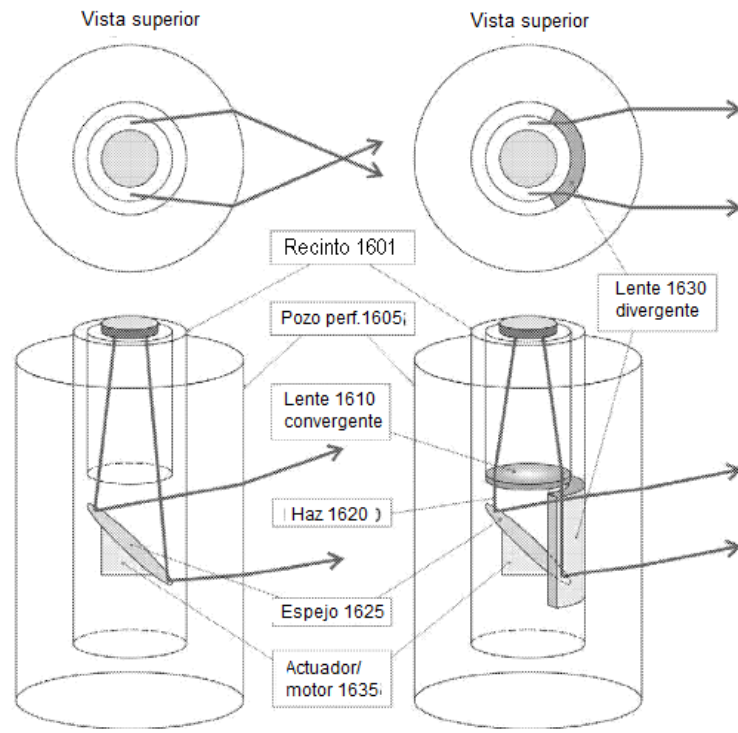


Figura 19a

Figura 19b

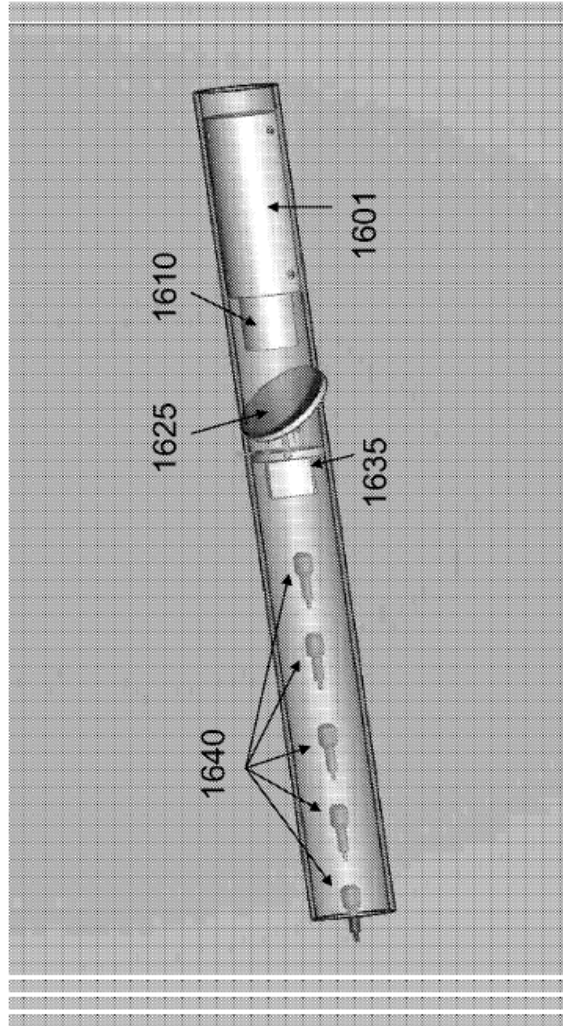


Figura 20



Figura 21a

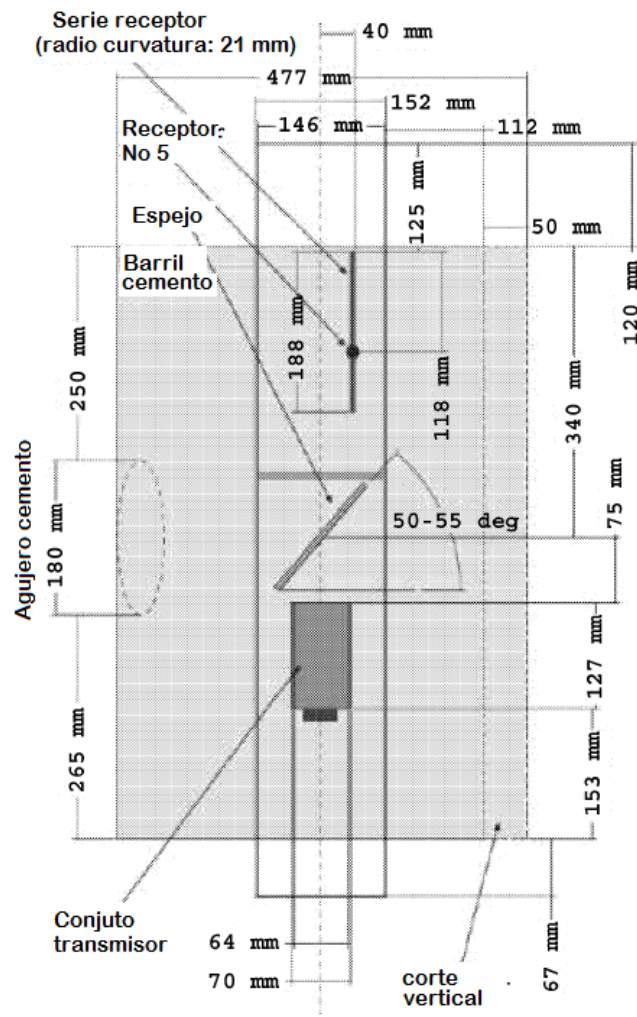
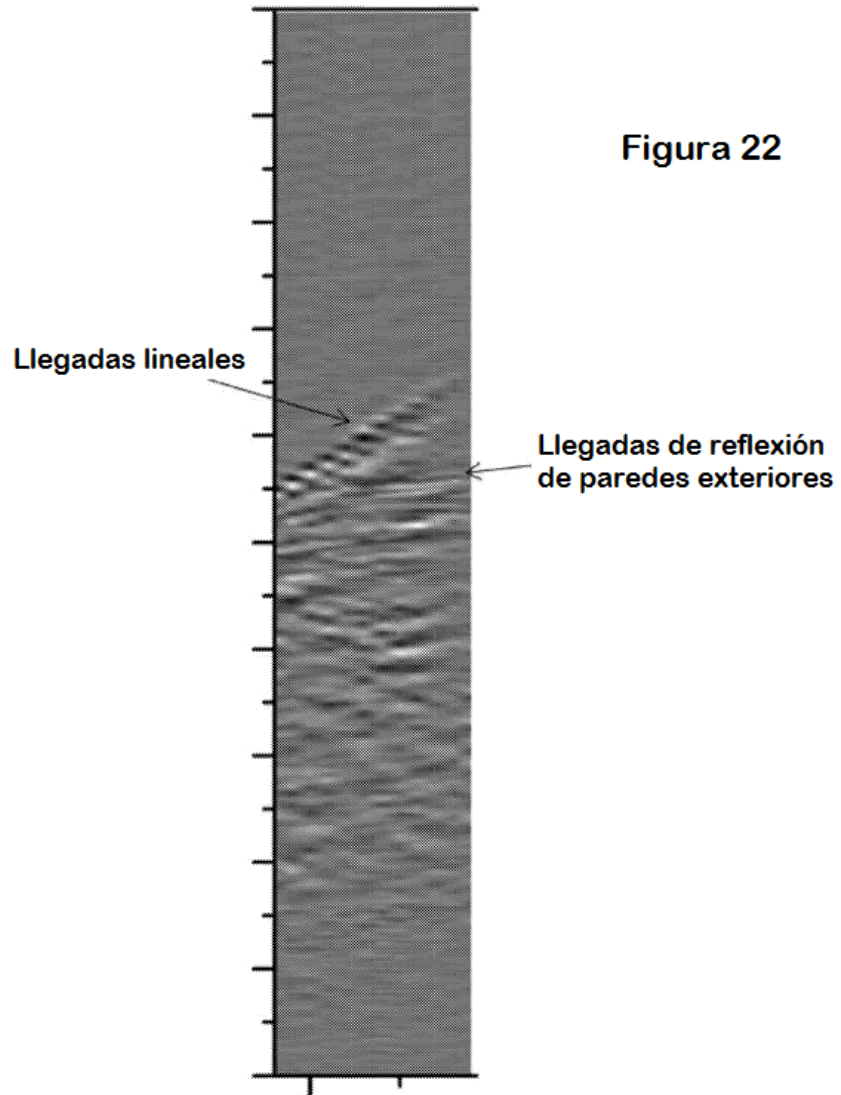
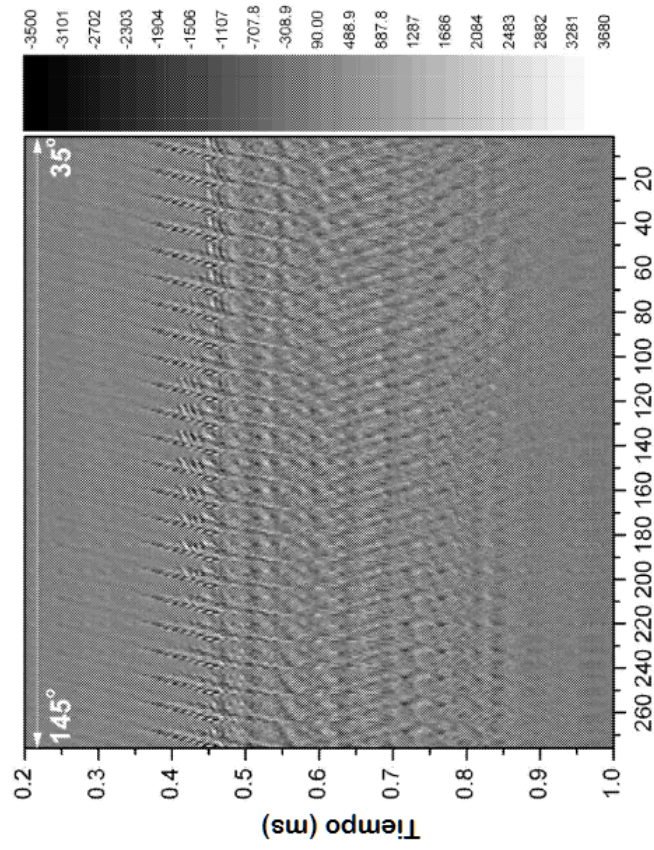


Figura 21b





Forma de onda No. **Figura 23**

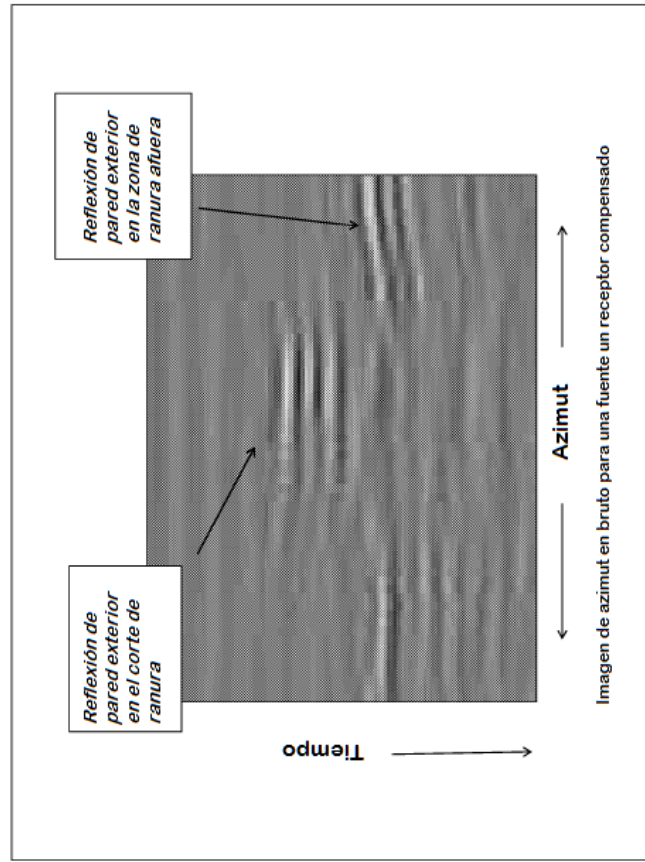


Figura 24