



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 768**

51 Int. Cl.:
G01F 23/296 (2006.01)
G01F 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06711242 .5**
96 Fecha de presentación : **27.02.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1853881**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.11.2007**

54 Título: **Sistema y procedimiento para medir la altura de un recipiente.**

30 Prioridad: **28.02.2005 US 656373 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
13.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
13.04.2011

73 Titular/es: **A.P.M. AUTOMATION SOLUTIONS Ltd.**
16, Lessin
62997 Tel Aviv, IL

72 Inventor/es: **Zlotnick, Yossi y**
Perl, Ofir

74 Agente: **Díaz de Bustamante Terminel, Isidro**

ES 2 356 768 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

Sistema y procedimiento para medir la altura de un recipiente.

AREA Y ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- 5 [0001] La presente invención se refiere al monitoreo de inventario y a procesos de medición, y más concretamente, a un sistema y un procedimiento para medir el contenido de un recipiente.
- 10 [0002] El monitoreo de inventario líquido en general es directo. En cambio, el monitoreo de inventario de masa sólida que consisten en partículas apiladas dentro de un recipiente como un silo muchas veces es muy difícil. Ejemplos para tales inventarios de masa sólida incluyen cemento y arena para construcciones, cereales, fertilizantes etc. La medición del nivel de materias sólidas dentro de un recipiente es un problema que no ha sudi resuelto todavía de una manera adecuada. Las condiciones dentro de un recipiente son típicamente desfavorables (polvo, temperaturas extremas etc.) y los contenidos de material sólido amenazado dentro de los recipientes no tienen una superficie plana y no siempre son isotrópicos. Otras dificultades surgen de la gran variedad de formas de recipientes usadas y de la atmósfera explosiva dentro de unos recipientes.
- 15 [0003] El alcance del término "recipiente" como usado aquí incluye cualquier contenedor de almacenamiento para partículas de masa sólida cuya estructura define un volumen interior para recibir y almacenar los sólidos. Tal recipiente puede ser cerrado por arriba, por debajo y por todos lados, como es el caso si el recipiente es un silo, un envase o tanque, o puede ser abierto arriba o en uno o más lados. El ejemplo para un "recipiente" usado más abajo en la descripción detallada de la presente invención es un silo; pero es obvio para cualquier experto en la materia como aplicar los principios de la presente invención a cualquier tipo de recipiente.
- 20 [0004] Cinco procedimientos principales están conocidos para la medición continua del contenido de un recipiente tal como un silo.
- 25 [0005] Un sensor electromecánico de nivel (yo-yo) consiste esencialmente de un peso en un extremo de un rollo de cinta. Al peso se permite de descender en el silo hacia la profundidad en la que se situa la superficie superior del contenido. Cuando el peso reposa encima del contenido la tensión en la cinta afloja. El peso es retirado entonces hacia el punto superior de referencia. La altura del contenido es entonces inferida del tiempo requerido para retraer el peso o de la medida longitud de la cinta.
- 30 [0006] Dispositivos mecánicos como sensores yo-yo no son confiables. Tienden a ser obstruidos por polvo o quedan atrapados en obstáculos como bombas y barras en el interior de los silos.
- 30 [0007] Sensores de nivel ultrasónicos trabajan con el principio de transmisión y recepción de ondas sonoras. Ondas sonoras de alta frecuencia emitidas de un transmisor se reflejan en la superficie superior del contenido hacia el receptor. La altura del contenido se infiere del tiempo del viaje ida y vuelta. Tales sensores tienen un alcance limitado y trabajan mal en la presencia de polvo. Además tales dispositivos tienen que ser diseñados específicamente para diferentes tipos de silo.
- 35 [0008] Sensores de nivel por radar trabajan con el principio de transmisión y recepción de ondas electromagnéticas. Ondas electromagnéticas de alta frecuencia emitidas de un transmisor se reflejan en la superficie superior del contenido hacia el receptor. La altura del contenido se infiere del tiempo del viaje ida y vuelta. Tales sensores son complejos y caros.
- 40 [0009] Sensores capacitivos miden la capacitancia entre dos barras metálicas o entre una barra metálica y el suelo. Porque el contenido del silo tiene una constante dieléctrica diferente del aire la capacitancia cambia de acuerdo con el nivel de la superficie superior del contenido entre las dos barras o entre una barra y el suelo. Tales sensores tienden a ser imprecisos y son sensitivos a humedad y al tipo de material almacenado en el silo.
- 45 [0010] Todos los sensores del estado de la técnica discutidos anteriormente son insensitivos a la forma de los contenidos y así son imprecisos en la presencia de un fenómeno llamado "coneamiento" que ocurre cuando partículas sólidas de masa son retiradas hacia la base del recipiente: un orificio cónico invertido cuyo ápice está directamente sobre el punto de la retirada tiende a aparecer en las partículas sólidas de masa. Un fenómeno similar ocurre cuando partículas sólidas de masa son introducidas al recipiente desde arriba: los sólidos tienden a apilar en un cono cuyo ápice está directamente debajo del punto de inserción de los sólidos. Estos sensores trabajan mal también en recipientes con una geometrías complicadas y en la presencia de obstáculos.
- 50 [0011] Un medidor de peso mide el peso de un silo móvil y de su contenido midiendo la tensión de las barras que sostenienen el silo. La instalación de tales medidores es compleja, y son convenientes solamente para silos móviles con piernas metálicas.
- [0012] Existe entonces una necesidad ampliamente reconocida, y sería altamente ventajoso de tener, de un procedimiento para medir el contenido de un recipiente tal como un silo que superaría las desventajas de los métodos actualmente conocidos descritos anteriormente.

[0013] El patente estadounidense no. 5,337,289 de Faching et al., el patente estadounidense no. 6,634,234 de Haas y no. DE 198 60 901 enseñan todos como mapear la superficie superior de contenidos de recipiente usando transmisores direccionales. No se conoce en el estado de la técnica el uso de la formación de haz de ecos recibidos para determinar las direcciones de llegada de los ecos para mapear la superficie superior de contenidos de recipiente.

RESUMEN DE LA INVENCVIÓN

[0014] De acuerdo con la presente invención está proporcionado un sistema para medir la altura de un contenido de un recipiente, incluyendo: (a) al menos un transmisor para transmitir un impulso de energía acústica hacia una superficie superior del contenido; (b) un conjunto de al menos tres receptores no-colineares para recibir un eco del impulso, cada receptor produciendo una señal respectiva en repuesta al eco, y (c) un aparato de procesamiento para transformar juntamente las señales en al menos una distancia medida desde el conjunto hacia la superficie superior que incluye: (i) para cada receptor un correlador para correlacionar una forma de onda del impulso con la señal respectiva, así generando una señal correlacionada, y (ii) un moldeador de haz para computar al menos una dirección de llegada de las señales correlacionadas desde la superficie superior hacia el conjunto.

[0015] De acuerdo con la presente invención está proporcionado un sistema para medir la altura de un contenido de un recipiente, incluyendo: (a) un transmisor para transmitir un impulso de energía acústica hacia una superficie superior del contenido; (b) al menos un receptor para recibir un eco de los impulsos, cada uno del al menos un receptor produciendo una señal respectiva en repuesta a cada eco, y (c) un aparato de procesamiento para transformar la al menos una señal en coordenadas estimadas de una pluralidad de puntos de la superficie superior.

[0016] De acuerdo con la presente invención está proporcionado un sistema para medir la altura de un contenido de un recipiente, incluyendo: (a) un transmisor para transmitir un impulso de energía acústica hacia una superficie superior del contenido; (b) al menos un receptor para recibir un eco de los impulsos, cada uno del al menos un receptor produciendo una señal respectiva en repuesta a cada eco, y (c) un conformador y repetidor de impulsos operativo para transmitir repetidamente el impulso por uso del transmisor mientras ajusta al menos un parámetro de la forma del impulso, seleccionado del grupo consistiendo de una longitud del impulso y una frecuencia del impulso, en respuesta a la al menos una señal, hasta que la al menos una señal sea conveniente para computar de ella coordenadas estimadas de al menos un punto de la superficie superior.

[0017] De acuerdo con la presente invención está proporcionado un procedimiento para medir la altura de un contenido de un recipiente, incluyendo los pasos de: (a) transmitir un impulso de energía acústica hacia una superficie superior del contenido; (b) recibir un eco del impulso, usando un conjunto de al menos tres receptores no-colineares, cada receptor produciendo una señal respectiva en repuesta al eco, y (c) transformando las señales en al menos una distancia medida desde el conjunto hacia la superficie superior por pasos que incluyen: (i) correlacionar para cada receptor una forma de impulso con la señal respectiva para generar una señal correlacionada, (ii) computando al menos una dirección de llegada de las señales correlacionadas desde la superficie superior hacia el conjunto, y (iii) computando para cada dirección de llegada la distancia medida correspondiente.

[0018] De acuerdo con la presente invención está proporcionado un procedimiento para medir la altura de un contenido de un recipiente, incluyendo los pasos de: (a) transmitir un impulso de energía acústica hacia una superficie superior del contenido; (b) recibir un eco del impulso, usando al menos un receptor, cada uno del al menos un receptor generando una señal respectiva en respuesta al eco, y (c) transformar las señales en coordenadas estimadas de una pluralidad de puntos de la superficie superior.

[0019] De acuerdo con la presente invención está proporcionado un procedimiento para medir la altura de un contenido de un recipiente, incluyendo los pasos de: (a) transmitir un impulso de energía acústica hacia una superficie superior del contenido; (b) recibir un eco del impulso, usando al menos un receptor, cada uno del al menos un receptor generando una señal respectiva en respuesta al eco, y (c) repetir la transmisión y la recepción mientras se ajusta al menos un parámetro de la forma del impulso, seleccionado del grupo consistiendo de una longitud del impulso y una frecuencia del impulso, en respuesta a la al menos una señal, hasta que la al menos una señal sea conveniente para computar de ella coordenadas estimadas de al menos un punto de la superficie superior.

[0020] El sistema de la presente invención es un sistema y un procedimiento para medir la altura del contenido de un recipiente y para estimar el volumen y la masa del contenido a partir de la altura medida. Aunque la presente invención esté descrita abajo en términos de medir el contenido de un silo, es de decir de un recipiente delimitado de paredes y un techo la presente invención se aplica también para medir el contenido de un recipiente abierto. Un sistema básico de la presente invención incluye un transmisor para transmitir un impulso de energía acústica hacia la superficie superior del contenido, un conjunto de al menos tres receptores no-colineares que reciben un eco del impulso y generan señales respectivas en respuesta al eco, y un aparato de procesamiento para transformar juntamente las señales en una o más distancias medidas desde el conjunto a la superficie superior. El aparato de procesamiento incluye para cada receptor un correlador para correlacionar una forma de onda del impulso con la señal respectiva del receptor, así generando una señal correlacionada, y también un moldeador de haz para computar una o más direcciones de llegada de las señales correlacionadas desde la superficie superior al

conjunto. El aparato de procesamiento computa entonces una/las distancia(s) medida(s) que corresponde(n) a cada/la dirección de llegada.

5 **[0021]** Preferencialmente el sistema incluye también un termómetro para medir la temperatura interior del recipiente. La transformación de las señales a la distancia(s) medida(s) está basada en la temperatura interior medida.

10 **[0022]** Preferencialmente los receptores son transductores acústicos que también funcionen como transmisores. Más preferencialmente el aparato de procesamiento calibra los transductores por la transmisión de impulsos de calibración entre los transductores. En diferentes realizaciones más preferenciales del sistema los transductores acústicos transmiten el impulso o simultáneamente o secuencialmente. La transmisión secuencial por transceptores extiende el tamaño efectivo del conjunto de receptores y el número virtual de los receptores.

15 **[0023]** Preferencialmente el aparato de procesamiento transforma las señales en una pluralidad de distancias medidas desde el conjunto de receptores a la superficie superior del contenido del recipiente. La pluralidad de las distancias medidas constituye un mapa de la superficie superior del contenido del recipiente. Más preferencialmente el aparato de procesamiento es operativo para transformar el mapa en una estimación de la cantidad (por ejemplo el volumen o la masa) del contenido del recipiente.

20 **[0024]** Preferencialmente el sistema incluye un conformador y repetidor de impulsos que es operativo para transmitir repetidamente el impulso por uso del al menos un transmisor mientras se ajusta la forma del impulso en respuesta a las señales hasta que las señales sean convenientes para ser transformadas por el aparato de procesamiento en una o más distancias medidas. Más preferencialmente el conformador y repetidor de impulsos ajusta la forma del impulso ajustando un parámetro de la forma del impulso que está seleccionado del grupo que consiste de la longitud del impulso y de la frecuencia del impulso. La frecuencia a ajustar puede ser cualquiera frecuencia que define el impulso tal como la frecuencia de paso bajo del impulso, la frecuencia de paso alto del impulso o la frecuencia de modulación del impulso.

25 **[0025]** Preferencialmente el moldeador de haz computa la(s) dirección(es) de llegada de una manera independiente en cada una de la pluralidad de ranuras de tiempo que posiblemente están sobrepuestas. Todas las ranuras de tiempo tienen la misma duración. La duración de las ranuras de tiempo está relacionada con el ancho de banda del impulso.

[0026] La presente invención incluye al menos tres avances innovativos sobre el estado de la técnica.

30 **[0027]** La primera innovación es el cálculo de direcciones de llegada de señales recibidas por un conjunto de dos o más receptores desde la superficie superior del contenido y la derivación a partir de esas direcciones de llegada de distancias medidas desde el conjunto a la superficie superior del contenido. Está conocido del estado de la técnica el uso de más de un receptor acústico. Está conocido incluso en el estado de la técnica la suma de todas las señales recibidas para elevar la relación señal-ruido y para estrechar el ancho de haz. No se conoce el procesamiento de las señales recibidas de una manera coherente para medir distancias que corresponden a direcciones específicas.

[0028] La segunda innovación es el mapeo de la superficie superior del contenido del recipiente. En el estado de la técnica de mediciones acústicas se mide una sola distancia del (de los) receptor(es) a la superficie superior del contenido del recipiente.

40 **[0029]** La tercera innovación es la conformación del impulso acústico a través de optimizar la longitud y/o el contenido de frecuencia del impulso acústico. El único parámetro de la forma del impulso que se optimiza en el estado de la técnica es la potencia del impulso que se optimiza relativo a la distancia medida.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DISEÑOS

[0030] La invención está descrita aquí por medio de ejemplos solamente, con referencia a los diseños anexos, en que:

45 FIG. 1 es un diagrama de bloques funcional esquemático de alto nivel de un sistema de la presente invención;

FIG. 2 es un diagrama de bloques esquemático de una realización física preferencial del sistema de la FIG. 1;

FIG. 3 es una vista en corte parcial de un silo con el sistema de la FIG. 1 montado en el techo del silo;

50 FIG. 4 muestra una conformación ejemplar de un impulso;

FIG. 5 es una gráfica polar de la superdirectividad de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERENCIALES

- [0031]** La presente invención es un sistema para medir la cantidad de material almacenado en un recipiente tal como un silo. Específicamente se puede usar la presente invención para monitorear el inventario en un silo.
- 5 **[0032]** Se puede comprender mejor los principios y la operación de la medición de contenido de acuerdo con la presente invención con referencia a los diseños y la descripción anexos.
- [0033]** Refiriéndose ahora a los diseños, la figura 1 es un diagrama de bloques funcional esquemático de alto nivel de un sistema **10** de la presente invención. Las flechas en la FIG. 1 indican la dirección del flujo de la señal. El sistema **10** incluye un transmisor acústico (altoparlante) **12** y tres receptores acústicos (micrófonos) **14**. Un conformador de impulsos **26** sintetiza formas digitales de impulsos como descrito abajo. Las formas digitales de impulsos son convertidos en impulsos eléctricos análogos por un convertidor DA **22** y amplificadas por un amplificador **16**. Los impulsos eléctricos amplificados de manera análoga son convertidos en impulsos acústicos por el transmisor **12**. Los ecos de estos impulsos acústicos se reciben y convierten en señales eléctricas análogas por los receptores **14**, se filtran por filtros pasabanda **20** que preferencialmente corresponden a la forma de los impulsos acústicos, se amplifican por los amplificadores **18** y se muestrean por los convertidores AD **24** para proporcionar las señales digitales correspondientes. Las señales digitales son correlacionadas con las formas digitales correspondientes de impulso por los correladores **28**. Las direcciones de llegada de las señales correlacionadas son computadas por un moldeador de haz **30**. Un procesor **32** convierte las señales correlacionadas en los correspondientes tiempos de viaje ida y vuelta acústico y después convierte esos tiempos de viaje con la ayuda de la medición de temperatura obtenida por un termómetro digital **34** en distancias de viaje estimadas a lo largo de las direcciones de llegada.
- 10
15
20
- [0034]** La figura 2 es un diagrama de bloques esquemático de una realización física preferencial del sistema **10**. En la realización ilustrada en figura 2 las funciones del transmisor **12** y de los receptores **14** son compartidas por los transceptores **36**. Cada transceptor **36** opera o como transmisor **12** o como uno de los receptores **14**, dependiendo del ajuste de un respectivo conmutador **38**. La funcionalidad digital del sistema **10** (conformador de impulsos **26**, correladores **28**, moldeador de haz **30**, preprocesor **32**) se implementa por un código ejecutivo de un procesor de señales digitales (DSP) **40** que está guardado en una memoria flash **46**. Los resultados del procesamiento se visualizan en un display en un interfaz de usuario **48**.
- 25
- [0035]** El PC **40** secuencía la función del transmisor **12** entre los transceptores **36** por ajuste de los conmutadores **38** de manera que uno o más de los transceptores **36** funciona como transmisor **12** y los otros transceptores **36** funcionan como receptores **14**. Este ciclo está hecho separadamente por dos motivos diferentes. Uno de los motivos es de medir un conjunto de distancias desde los transceptores **36** a la superficie del contenido de un silo en dirección del haz sintetizado por el moldeador de haz **30**, tal como descrito abajo. El otro motivo es de calibrar los transceptores **36** que funcionan como receptores **14** relativo al impulso de calibración emitido por los transceptores **36** que funcionan como transmisor **12**.
- 30
35
- [0036]** Hay dos modos preferenciales para usar los transceptores **36** como transmisores y receptores a la vez para medir las distancias a la superficie de los contenidos. En el primer modo todos los transceptores **36** transmiten el mismo impulso de manera coherente y simultánea. En el segundo modo los transceptores **36** se alternan en la transmisión del impulso. Después de la transmisión de un impulso todos los conmutadores **38** están ajustados en sus posiciones bajas en los dos modos, de manera que todos los transceptores **36** funcionan como receptores. En el segundo modo esto permite al conjunto de n transceptores de funcionar como un conjunto virtual de $(n^2+n)/2$ receptores virtuales. (Usando alternadamente M transmisores y N receptores como transmisores y receptores reduce el número de señales independientes a $(n^2+n)/2$ a causa de la simetría de transmitir y recibir con cada par de transceptores.)
- 40
- [0037]** El segundo modo duplica también el tamaño geométrico efectivo del conjunto. La direccionalidad de un conjunto de receptores está basada en los atrasos relativos de las señales llegando a los receptores. Cuando se transmite desde un solo transmisor a un conjunto de receptores los atrasos relevantes son las diferencias en el tiempo de viaje desde el blanco a los receptores. Cuando un conjunto de transceptores transmite y recibe alternadamente los atrasos relevantes son las diferencias en el tiempo de viaje ida y vuelta que es el doble del tiempo de viaje desde el blanco al receptor. Alcanzando una direccionalidad equivalente con el uso de un solo transmisor requeriría el doble tamaño del conjunto de receptores.
- 45
50
- [0038]** En otras presentaciones del sistema **10** una funcionalidad de aplicación específica tal como la funcionalidad del conformador de impulsos **26**, correladores **28** y moldeador de haz **30** está implementada en circuitos integrados de aplicación específica en lugar de por un procesador digital de señal. En todavía otras presentaciones del sistema **10** un sistema computacional de propósito general se usa en vez del DSP **40**, memoria flash **46** y interfaz de usuario **48**.
- 55
- [0039]** La figura 3 es una vista en corte parcial de un silo **50** con el sistema **10** montado en el techo **52** del silo **50**. Cuatro transductores **36** están montados en una configuración cuadrada, de manera que no importa cual

transductor **36** sirve como transmisor **12** los otros tres transductores **36** que sirven como receptores **14** están en una configuración no-colinear. Los componentes restantes del sistema **10** están encerrados en una carcasa **42** que está montada en el techo **52** también. Los transceptores **36** están operacionalmente conectados con el resto del sistema **10** por hilos **44**. El/los transceptor(es) **36** que funciona(n) como transmisor(es) **12** emite(n) un impulso acústico **56** hacia la superficie superior **55** del contenido **54** del silo **50**. El impulso acústico **56** está simbólicamente representado en la figura 3 como una forma de onda emergiendo de uno de los transceptores **36**. Un eco del impulso acústico **56** que se refleja desde la superficie superior **55** de vuelta hacia los transceptores **36** está representado en la figura 3 por flechas **58**.

[0040] En la configuración específica ilustrada en la figura 3 solamente una parte del interfaz de usuario **48** está dentro de la carcasa **42** y incluye un transceptor inalámbrico para comunicar con el resto del interfaz de usuario **48** en un lugar más conveniente. En una configuración alternativa la carcasa **42** está montada en un lugar que es más accesible para el usuario que el techo **52**.

[0041] El eco **58** recibido por los transceptores **36** que funcionan como receptores **14** es transformado en las respectivas señales eléctricas análogas correspondientes por los transceptores **36**. Las señales eléctricas análogas son filtradas por filtros pasabanda **20**, amplificadas por los amplificadores **18** y convertidas en las correspondientes señales digitales por convertidores AD **24**. Los correladores **28** correlacionan estas señales digitales con la forma de onda del impulso **56**. El moldeador de haz **30** usa algoritmos conocidos para computar las direcciones de llegada de las señales digitales correlacionadas y para distinguir las señales que llegan directamente de la superficie superior **55** de señales que llegan a lo largo de otros caminos (las últimas señales constituyen un ruido determinista en el presente contexto). Que los transceptores **36** no son colineares permite al moldeador de haz **30** de escanear la superficie superior **55** en dos dimensiones para obtener un mapa tridimensional de la superficie superior **55**. La diferencia en el tiempo entre el comienzo de la transmisión del impulso **56** y la onda de frente de una forma de onda que llega directamente de la superficie superior **55** es el tiempo del viaje ida y vuelta entre el conjunto de transductores **36** y un pedazo en la superficie superior **55** que es muestreado por esa forma de onda. El procesor **32** multiplica la mitad de este tiempo de viaje con la velocidad del sonido en el aire encima de la superficie superior **55** para obtener la distancia desde el conjunto de transductores **36** al pedazo muestreado en la superficie superior **55**. El procesor **32** obtiene la velocidad del sonido c en metros por segundo usando la relación

$$C = 331,5 \sqrt{1 + \frac{T}{273}}$$

en que T es la temperatura dentro del silo **50** en grados celsius como medida por el termómetro **34**.

[0042] La manera más simple para el moldeador de haz **30** de computar las direcciones de llegada de las señales de entrada es de sintetizar haces sumando las señales correlacionadas mientras se varia las fases relativas (o, equivalente, los atrasos relativos) de las señales correlacionadas, como conocido en el estado de la técnica. Es por esto que se refiere al moldeador de haz **30** aquí como "moldeador de haz". Resultados muchos mejores se obtienen al usar algoritmos adaptivos de dirección de llegada (DOA) más sofisticados, tales como Clasificación Multiple de Señales (MUSIC), Semejanza Máxima Estocástica (SML), Semejanza Máxima Determinista (DML) o Estimación de Parámetros de Señales via Técnicas des Invariancias Rotacionales (ESPRIT). Para superar la capacidad limitada de estos algoritmos para estimar varias fuentes simultáneamente, y en particular para ayudar estos algoritmos a distinguir ecos coherentes del impulso **56** que llegan al conjunto de transductores **36** desde direcciones diferentes las señales recibidas son procesadas separadamente en ranuras de tiempo sobrepuestas cuya longitud se selecciona de acuerdo con el ancho de banda del impulso **56**. El ancho de banda del impulso **56** se selecciona a su vez para alcanzar la resolución deseada de la distancia del conjunto de transductores **36** a la superficie superior **55**. Por ejemplo, si el impulso **56** tiene un ancho de banda de 3,5 KHz a 4,5 KHz la resolución de la distancia es aproximadamente $340 \text{ m/sec} \div 1000 \text{ sec}^{-1} \div 2 = 17 \text{ cm}$. Las correspondientes ranuras de tiempo son aproximadamente 1 milisegundo (el reciproco del ancho de banda del impulso). La precisión de la medición de distancia depende también de la tasa de digitalización de los convertidores AD **24** y de la relación señal-ruido, y por esto puede ser mucho mejor que la resolución. Con una relación señal-ruido alta la frecuencia de muestreo preferencial de 44 KHz da una precisión potencial de $340 \text{ m/sec} \div 44.000 \text{ sec}^{-1} \div 2 = 3,8 \text{ mm}$.

[0043] La distancia desde el conjunto de transductores **36** a varios pedazos en la superficie superior **55** constituye un mapa de la superficie superior **55**. Dada la geometría interior del silo **50** se estima directamente de este mapa el volumen del contenido **54**. La multiplicación del volumen del contenido **54** con la densidad del contenido **54** da la masa del contenido **54**.

[0044] Se puede usar cualquier forma conveniente de impulso para el impulso **56**. La figura 4 muestra un tal impulso **56**: un impulso Kaiser de 5 milisegundos modulado con 3 KHz. (La abscisa en la figura 4 es el número de muestreo y la forma de onda del impulso está muestreada a 44,1 muestreos por milisegundo). Se puede formar los impulsos con técnicas de codificación de fase binaria tal como la codificación Barker que se conoce desde el área de radar. La banda de frecuencia preferencial del impulso **56** para mapear la superficie superior **55** en la presencia de polvo sobre la superficie superior **55** está entre 3 KHz y 6 KHz.

- 5 **[0045]** La resolución angular del mapeo de la superficie superior **55** se mejora con el procesamiento superdirectivo de las señales correlacionadas. Vea, por ejemplo, M. Brandstein y D. Wards (eds), *Microphone Arrays Signal Processing Techniques and Applications* (Springer, 2001). La figura 5 es una gráfica polar de la superdirectividad de dos receptores separados por una distancia de la mitad de la longitud de onda de la señal recibida, con una relación señal-ruido de 20 dB.
- Es obvio de esta gráfica que la presente invención tiene una resolución angular suficiente para mapear la superficie superior **55** incluso en el caso de “coneamiento”.
- 10 **[0046]** La forma del impulso **56** es ajustada por el conformador de impulsos **26**. Preferencialmente el procesor **32** optimiza esta forma iterativamente manipulando los parámetros de la forma del impulso **56**. Un parámetro importante es la longitud (es de decir, la duración) del impulso **56**. Cuanto más largo el impulso **56**, más alta la relación señal-ruido; pero el impulso **56** no debe ser tan largo de que el margen posterior del impulso **56** se sobreponga en tiempo con la llegada de los ecos **58** a los receptores **14**, a fin que los transceptores **36** que transmiten el impulso **56** sirvan también como receptores **14**, como descrito anteriormente. Empezando con una longitud de impulso de test basada en una estimación inicial de la distancia regular desde el conjunto de transceptores **36** a la superficie superior **55** el procesor **32** varía la longitud de impulso iterativamente para optimizar la longitud de impulso. Cuando la longitud de impulso esté optimizada el contenido de frecuencia del impulso **56** está optimizado relativo a la atenuación observada y el ruido ambiental observado.
- 15 **[0047]** Aunque los transceptores **36** se muestren en la figura 3 como dispuestos en el techo **52** del silo **50** los transceptores **36** pueden ser dispuestos en cualquier lugar conveniente sobre la superficie superior **55**, por ejemplo en la pared del silo **50**.
- 20 **[0048]** En principio usando solamente un transceptor **36** como transmisor **12** es suficiente para mapear la superficie superior **55** porque el moldeador de haz **30** puede escanear la superficie superior **55** por manipulación apropiada de señales de cualquier conjunto no-colinear de receptores **14**. Sin embargo se prefiere de obtener mediciones usando todos los transceptores **36** alternadamente como transmisor **12**, por cuestión de redundancia.
- 25 **[0049]** En cuanto la invención ha sido descrita con respeto a un número limitado de presentaciones se apreciará que se puede hacer muchas variaciones, modificaciones y otras aplicaciones de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (10) para medir una altura de un contenido (54) de un recipiente (50), comprendiendo:
 - (a) al menos un transmisor (12) para transmitir un impulso (56) de energía acústica hacia la superficie superior (55) del contenido (54);
 - 5 (b) un conjunto de al menos tres receptores (14) no-colineares para recibir un eco (58) de dicho impulso (56), cada dicho receptor (14) generando una señal respectiva en respuesta a dicho eco (58); y
 - 10 (c) un aparato de procesamiento (40) para transformar juntamente dichas señales en al menos una distancia medida de dicho conjunto a dicha superficie superior (55) que incluye, para cada dicho receptor (14), un correlador (28) para correlacionar una forma de onda de dicho impulso (56) con dicha señal respectiva, así generando una señal correlacionada; y caracterizado en que dicho aparato de procesamiento (40) incluye también un moldeador de haz (30) para computar al menos una dirección de llegada de dichas señales correlacionadas desde dicha superficie superior (55) a dicho conjunto.
2. El sistema (10) de la reivindicación 1, en que dicho aparato de procesamiento (40) es operativo de computar para cada de dichas direcciones de llegada una dicha distancia medida correspondiente.
3. El sistema (10) de la reivindicación 1, comprendiendo adicionalmente:
 - 15 (d) un termómetro (34) para medir una temperatura interior del recipiente (50) en que dicho aparato de procesamiento (40) basa dicha transformación de dichas señales en dicha al menos una distancia medida sobre dicha temperatura interior medida.
4. El sistema (10) de la reivindicación 1, en que dichos receptores (14) son transductores acústicos (36) que funcionan también como transmisores (17).
- 20 5. El sistema (10) de la reivindicación 4, en que dicho aparato de procesamiento (40) es operativo para calibrar dichos transductores (36) transmitiendo impulsos (56) de calibración entre dichos transductores (36).
6. El sistema (10) de la reivindicación 4, en que dichos transductores acústicos (36) transmiten dicho impulso (56) simultáneamente.
- 25 7. El sistema (10) de la reivindicación 4, en que dichos transductores acústicos (36) transmiten dicho impulso (56) secuencialmente.
8. El sistema (10) de la reivindicación 1, en que dicho aparato de procesamiento (40) transforma dichas señales en una pluralidad de dichas distancias medidas.
9. El sistema (10) de la reivindicación 5, en que dicho aparato de procesamiento (40) es operativo para transformar dichas distancias medidas en una estimación de la cantidad del contenido (54).
- 30 10. El sistema (10) de la reivindicación 1, comprendiendo adicionalmente:
 - 35 (d) un conformador y repetidor de impulsos (26), operativo para transmitir repetidamente dicho impulso (56) usando dicho al menos un transmisor (12) mientras ajusta la forma de dicho impulso (56), que responde a dichas señales hasta que dichas señales sean apropiadas para dicha transformación de dichas señales por dicho aparato de procesamiento (40) en dicha al menos una distancia medida.
11. El sistema (10) de la reivindicación 10, en que dicho conformador y repetidor de impulsos (26) ajusta dicha forma de dicho impulso (56) ajustando un parámetro de dicha forma seleccionado del grupo que consiste de la longitud de dicho impulso (56) y la frecuencia de dicho impulso (56).
- 40 12. El sistema (10) de la reivindicación 1, en que dicho moldeador de haz (30) computa dicha al menos una dirección de llegada independientemente en cada una de una pluralidad de ranuras de tiempo con una duración común que está relacionada con un ancho de banda de dicho impulso (56).
13. Un procedimiento para medir una altura de un contenido (54) de un recipiente (50), comprendiendo los pasos de:
 - 45 (a) transmitir un impulso (56) de energía acústica hacia la superficie superior (55) del contenido (54);
 - (b) recibir un eco (58) del impulso (56), usando un conjunto de al menos tres receptores (14) no-colineares, cada dicho receptor (14) generando una señal respectiva en respuesta a dicho eco (58); y
 - (c) transformar dichas señales en al menos una distancia medida de dicho conjunto a dicha superficie superior (55), incluyendo:

- (i) correlacionar para cada receptor (14) una forma de onda de dicho impulso (56) con dicha señal respectiva para generar una señal correlacionada;
- y caracterizado en que dicha transformación incluye también los pasos de:
- 5 (ii) computar al menos una dirección de llegada de dichas señales correlacionadas desde dicha superficie superior (55) a dicho conjunto, y
- (iii) computar para cada dirección de llegada la correspondiente distancia medida.
14. El procedimiento de la reivindicación 13, comprendiendo adicionalmente los pasos de:
- (d) medir una temperatura interior en el recipiente, dicha transformación de dichas señales en dicha al menos una distancia medida estando basada en dicha temperatura interior medida.
- 10 15. El procedimiento de la reivindicación 13, en que dichas señales son transformadas en una pluralidad de dichas distancias medidas, el procedimiento comprendiendo adicionalmente el paso de:
- (d) transformar dichas distancias medidas en una estimación de la cantidad del contenido (54).
16. El procedimiento de la reivindicación 13, comprendiendo adicionalmente los pasos de:
- 15 (d) repetir dicha transmisión de dicho impulso (56) mientras se ajusta una forma de dicho impulso (56) en respuesta a dichas señales hasta que dichas señales estén apropiadas para dicha transformación de dichas señales en dicha al menos una distancia medida.
17. El procedimiento de la reivindicación 13, en que dichos receptores (14) son transceptores (36) que ser usan también para transmitir dicho impulso (56).
- 20 18. El procedimiento de la reivindicación 17, en que dichos transceptores (36) transmiten dicho impulso (56) simultáneamente.
19. El procedimiento de la reivindicación 17, en que dichos transceptores (36) transmiten dicho impulso (56) secuencialmente.
- 25 20. El procedimiento de la reivindicación 13, en que dicha al menos una dirección de llegada es computada independientemente en cada una de una pluralidad de ranuras de tiempo con una duración común que está relacionada con un ancho de banda de dicho impulso (56).

Figuras:

Fig. 1: - D/A: DA

- A/D: AD

- pulse shaper: conformador de impulsos

- correlator: correlador

5

- beamformer: moldeador de haz

- processor: procesor

- thermometer: termómetro

Fig. 2: - D/A: DA

- A/D: AD

10

- thermometer: termómetro

- flash: flash

- User I/F: interfaz de usuario

Fig. 4: - sample: ejemplo

- normalized amplitude: amplitud normalizada

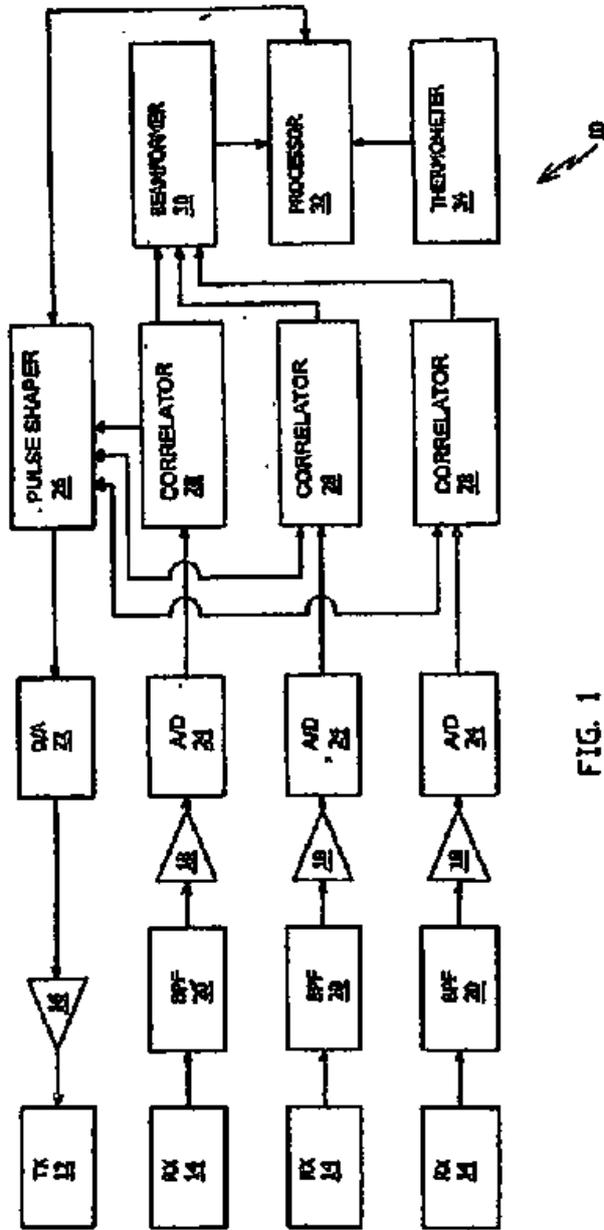


FIG. 1

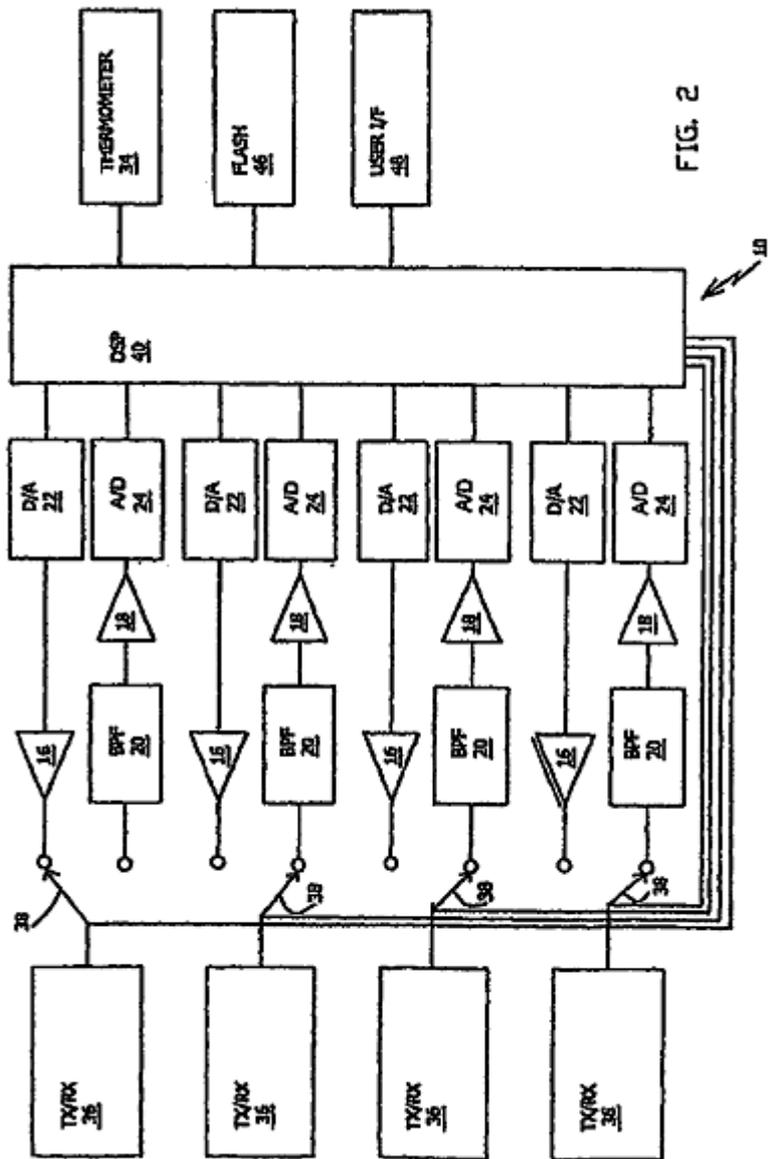
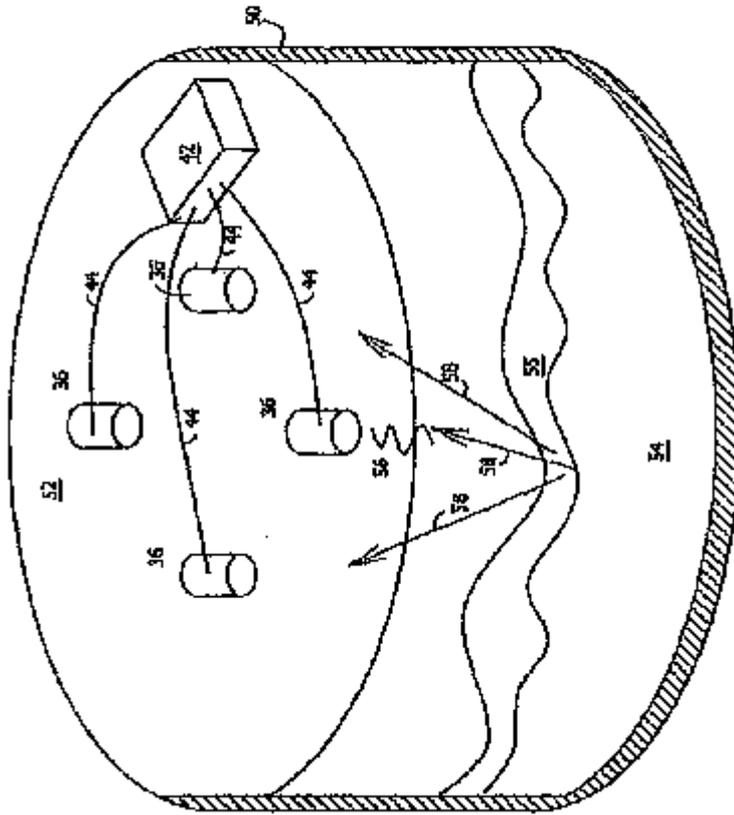


FIG. 2

FIG. 3



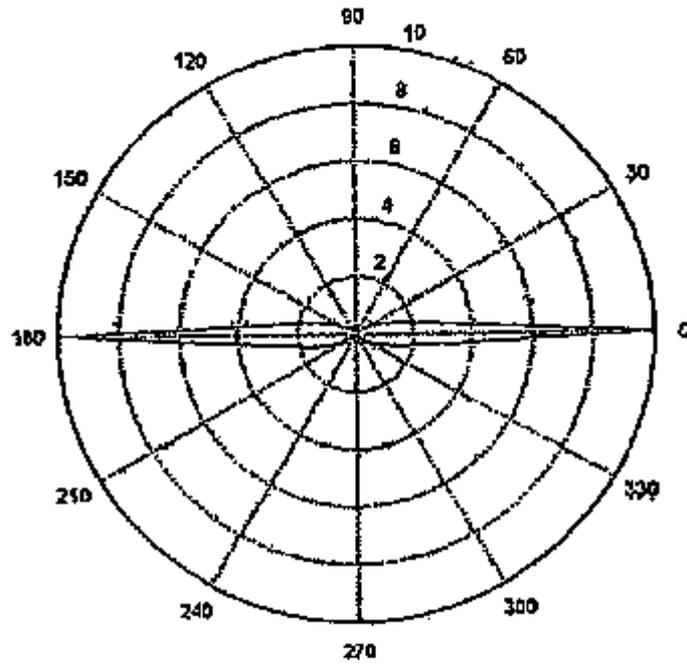


FIG. 5