(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 553 139**

(51) Int. Cl.:

G01N 29/26 (2006.01)
G10K 11/34 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.05.2009** **E 09761629 (6)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.10.2015** **EP 2281189**

(54) Título: **Procedimiento para el ensayo no destructivo de objetos por medio de ultrasonidos**

(30) Prioridad:

28.05.2008 DE 102008002860

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.12.2015

(73) Titular/es:

GE INSPECTION TECHNOLOGIES GMBH (100.0%)
Robert-Bosch-Strasse 3
50354 Hürth, DE

(72) Inventor/es:

KOCH, ROMAN;
FALTER, STEPHAN;
DE ODORICO, WALTER;
FINGER, GERHARD y
BUSCH, KLAUS-PETER

(74) Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 553 139 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

Procedimiento para el ensayo no destructivo de objetos por medio de ultrasonidos

La invención se refiere a un procedimiento para el procesamiento de señales que se generan en un ensayo no destructivo de objetos como tubos, barras, planchas o componentes planos y así como de formas complejas de componentes de fibras de carbono mediante reflexión de ondas ultrasónicas en lugares defectuosos de la estructura del objeto.

Un procedimiento del tipo mencionado al principio está descrito en el documento DE-A- 10 2005 051 781 que se refiere a un procedimiento para la inspección no destructiva de una muestra por medio de ultrasonido. En el caso de este procedimiento se acoplan ondas ultrasónicas con uno o un gran número de transductores ultrasónicos a la muestra, y dentro de la muestra se reciben ondas ultrasónicas reflejadas por un gran número de transductores ultrasónicos y se transforman en señales ultrasónicas. Se prevé y se activa un transductor ultrasónico en una superficie de la muestra, de tal manera que las ondas ultrasónicas acopladas a la muestra se propagan repartidas en gran medida de igual manera en el espacio dentro de la muestra. A continuación las ondas ultrasónicas reflejadas dentro de la muestra se reciben con un gran número m de transductores ultrasónicos previstos en la superficie, y se generan m señales de tiempo ultrasónicas en las que están contenidas informaciones de amplitud resueltas en el tiempo.

Las m señales de tiempo ultrasónicas se almacenan. A continuación se reconstruye una imagen de volumen tridimensional, una imagen de sector en forma de una imagen por ultrasonido bidimensional a través de la muestra o una imagen A en forma de una señal ultrasónica de resolución temporal y espacial unidimensional a lo largo de un ángulo de sonorización predefinible exclusivamente empleando al menos una parte de las m señales de tiempo ultrasónicas.

El documento DE-A-10 2006 003 978 se refiere a un procedimiento para el ensayo no destructivo por medio de ultrasonido de una muestra que presenta al menos una zona de material acústicamente anisótropa. En este caso se determinan o facilitan propiedades de propagación de sonido que describen la zona de material acústicamente anisótropa, específicas según la dirección. Además se realiza un acoplamiento de ondas ultrasónicas en la zona de material acústicamente anisótropa de la muestra y una recepción de ondas ultrasónicas reflejadas en el interior de la muestra con un gran número de transductores ultrasónicos.

Las señales ultrasónicas generadas por medio del gran número de transductores ultrasónicos se evalúan de tal manera que la evaluación se realiza seleccionando la dirección considerando las propiedades de propagación de propagación de sonido específicas según la dirección.

En el procedimiento se emplea un palpador con n transductores ultrasónicos de los cuales se fija un número i de emisores de ultrasonido que se activan simultáneamente. A través del número i de los emisores de ultrasonido y la composición concreta del grupo de emisores, especialmente su disposición sobre la superficie de muestra, se determina además la característica de irradiación total (apertura) del grupo de emisores y además la sensibilidad y el poder de resolución de las mediciones. No obstante el número i es menor que el número total de los emisores de ultrasonidos de la muestra. La característica de irradiación total se determina exclusivamente por el número i de los emisores de ultrasonido.

El documento US-B-4.989.143 se refiere a una representación de radiación de energía coherente y especialmente a un nuevo procedimiento para la formación adaptativa mejorada de un rayo coherente empleando conjugación de fases interactiva para contrarrestar efectos de la desviación de ondas no homogénea. No se pueden deducir de este documento indicaciones para la mejora de la energía de señales y lectura para aplicaciones de disposición en fases para diferentes profundidades de irregularidades.

Un procedimiento adicional está descrito en el documento EP-B-1 649 301. En este procedimiento se emite un frente de ondas completo a al menos una sección del objeto que va a examinarse por medio de una gran número de elementos de emisión independientes. A continuación se recibe una onda reflejada por la estructura del objeto por medio de un gran número de elementos de recepción independientes entre sí. Las señales recibidas por los elementos de recepción se digitalizan en etapas de digitalización y continúan procesándose. Un enfoque de profundidad o bien una adaptación de apertura no se mencionan en el documento EP-B-1 649 301.

En el documento US-B-7.263.888 se describe una disposición en fases bidimensional para el ensayo ultrasónico volumétrico así como un procedimiento para el uso de la disposición en fases. La disposición en fases se compone de un gran número de transductores ultrasónicos que están dispuestos en un patrón en ángulo recto. La disposición bidimensional posibilita el ajuste electrónico de propiedades focales y tamaño de la apertura/apertura de diafragma tanto en las direcciones laterales como en altura de manera que pueden alcanzarse características de campo sonoro uniformes y/o especificadas en cada o en todas las posiciones en los componentes examinados.

En cada uno de los elementos ultrasónicos puede aplicarse una modulación para formar un haz explorador y explorar al menos una zona del material de ensayo con un haz explorador.

La disposición en fases bidimensional ofrece la ventaja con respecto a una disposición lineal unidimensional de que esta está separada y/o dividida en un gran número de transductores ultrasónicos discretos que se extienden tanto en la dirección X como en la dirección Z. Por consiguiente la formación de un haz explorador puede tener lugar tanto en el plano X-Y como en el plano Z-Y. Esto posibilita una dirección/control tridimensional del haz explorador con respecto a la profundidad de distancia focal, ángulo de retraso de mando y geometría de distancia focal. La dirección de la apertura contribuye también a la formación del haz explorador. La apertura de la disposición puede seleccionarse mediante multiplexores del haz explorador mediante la conexión de canales sincrónicos con transductores ultrasónicos individuales de la disposición. También puede dirigirse y/o ajustarse el tamaño de la apertura tanto en la dirección X como en la dirección Z.

Un procedimiento y un dispositivo para el ensayo ultrasónico de diferentes zonas de una pieza de trabajo se describen en el documento US-A-5.533.401. En este caso se dispone un gran número de transductores ultrasónicos con zonas focales de profundidades de diferente tamaño para examinar un cuerpo de titanio en forma de barra por su grosor. Las zonas focales solapan parcialmente las zonas focales adyacentes, de manera que se garantiza una comprobación completa por el espesor de toda la sección de barra. Las señales reflejadas de los receptores de transductor se procesan en forma digital para generar una imagen de la sección de barra.

No obstante, un procedimiento de este tipo es costoso dado que el palpador debe ajustarse individualmente y una adaptación a las irregularidades de superficie es complicada.

En el documento US-A-5.235.982 se describe un procedimiento para la focalización de emisión de un haz de ultrasonido dirigido. Se propone emitir sucesivamente un haz de emisión de ultrasonido retrasado en el tiempo y componer una señal de recepción a partir de las señales individuales recibidas. La focalización de emisión dinámica se realiza ya tras la recepción de las señales de recepción en el ámbito analógico sin digitalizarlas previamente.

En el documento US-A-5.014.712 se describe un procedimiento para la emisión codificada para la focalización de emisión dinámica de un haz de ultrasonido. También en este procedimiento se retrasan en el tiempo señales de emisión ultrasónicas, estando previsto un retraso solamente en el emisor de las señales ultrasónicas.

En el documento US-A-5.846.201 se describe un sistema para la representación de señales ultrasónicas con un procedimiento para la ampliación del plano de focalización. Las señales emitidas por medio de la disposición de transductores se registran, se alimentan a un formador de señales y a continuación se someten a un procesamiento de señales. Las señales procesadas de esta manera se digitalizan se reprocesan y por tanto se visualizan. Mediante el sistema se optimiza la distribución de canales para mejorar la focalización electrónica en el plano de exploración.

Con respeto a los procedimientos de acuerdo con los documentos US-A-5.235.982, US-A-5.014.712 así como el US-A-5.846.201 ha de señalarse que estos procedimientos de ultrasonido se relacionan con el ámbito de la medicina, es decir para el ensayo de las características anatómicas de un paciente, es decir, son adecuados para materiales con un factor de atenuación elevado.

Partiendo de todo esto la presente invención se basa en el objetivo de perfeccionar un procedimiento y un dispositivo del tipo mencionado al principio mejorando la energía y resolución de señales para aplicaciones de disposición en fases para diferentes profundidades de irregularidades.

El objetivo se resuelve de acuerdo con la invención, entre otros, mediante las características de la reivindicación 1. Mediante la invención se consigue que, ya durante la recepción se realice una modificación continua de valores de retardo y/o del número de elementos de recepción para cada etapa de digitalización. Con ello se alcanza una mejora de la energía sonora y de la resolución para las aplicaciones de disposiciones en fases para diferentes profundidades de defectos sobre la marcha (*on the fly*) con una toma/ciclo de emisión en el caso de una ley focal continua, es decir modificación de valores de retardo y número de los elementos de emisión/recepción u opcionalmente mediante combinación de diferentes leyes focales.

La modificación continua de los valores de retardo y/o el número de los elementos de emisión/recepción para un palpador virtual se realiza durante la recepción de la señal de alta frecuencia (HF) mediante un programa de firmware adecuado sobre la marcha ("*on the fly*").

En conjunto se alcanza un rendimiento más elevado y una detección de errores mejorada con respecto al estado de la técnica con costes de ensayo reducidos.

Mediante el procedimiento de acuerdo con la invención puede realizarse una focalización de profundidad dinámica (focalización controlada por tiempo de ejecución) y adaptación de apertura dinámica (apertura de recepción controlada por tiempo de ejecución) de la parte de recepción de una aplicación de disposición en fases. La ley focal o bien los valores de retardo y el número de elementos de emisión/recepción del palpador virtual se modifican de una etapa de digitalización a la siguiente.

De acuerdo con un modo de procedimiento preferido, los valores de retardo de un retardo inicial almacenado (ley focal para la posición de superficie) hasta un retardo final (ley focal para la posición de pared posterior) se calculan por medio de una función de distancia I/R con r= radio.

Opcionalmente los valores de retardo se almacenan en una tabla de referencia, especialmente en el caso de coherencia compleja.

Otro modo de procedimiento se caracteriza por que una adaptación de apertura se realiza mediante la modificación lineal de los elementos de inicio del palpador virtual respecto al número de los elementos finales.

El inicio de la modificación de apertura puede desencadenarse con la posición “tiempo de vuelo” (*time of flight)* del eco de interfaz de superficie.

Otra etapa de procedimiento adicional se caracteriza por que la suma de los diferentes disparos de transmisor focalizados para dar lugar a una señal se realiza mediante el empleo de una función digital TGC (compensación tiempo-ganancia). En este caso está previsto que las diferencias de sensibilidad que aparecen durante la composición de diferentes disparos de transmisor focalizados en diferentes profundidades para dar lugar a una señal en la transición de zonas se compensen mediante el empleo de una función digital TGC.

De acuerdo con un concepto de la invención propio, la invención se refiere además a un procedimiento y un dispositivo para definir retardos en el tiempo para palpadores de disposición en fases mediante dependencias funcionales, como por ejemplo, por medio de una función de BEZIER, una función polinominal u otro tipo de funciones. La función asume los índices de los elementos de transductor ultrasónico como argumento y emite el retardo como resultado, mientras que los parámetros se establecen en función de la aplicación.

Otra propiedad de la invención consiste en que todos los procedimiento de acuerdo con la invención mencionados anteriormente pueden combinarse entre sí de cualquier forma o realizarse sucesivamente.

Además es objeto de la invención el hecho de que las señales digitalizadas captadas por los transductores supersónicos se almacenen en un módulo electrónico apropiado. Para la ampliación de la evaluación, por ejemplo en la forma anteriormente mencionada, pueden consultarse los datos almacenados.

En el estado de la técnica existe el problema de que el número de conjuntos de retardo que pueden aplicarse está limitado para las disposiciones a fin de cuentas mediante la capacidad del hardware y de los tiempos de procesamiento para la transferencia de datos. Con un número mayor de elementos y zonas adicionales que han de examinarse aumenta la demanda de espacio de almacenamiento.

Adicionalmente la zona para las leyes de retardo variantes requiere un tratamiento especial para que dentro de las imágenes producidas por el dispositivo ultrasónico no aparezca ninguna discontinuidad. Para superar esto los instrumentos modernos calculan el retardo basándose en un algoritmo de distancia para zonas muy pequeñas o para cada punto explorado. Este algoritmo de distancia es adecuado solamente para medios suficientemente homogéneos sin fuertes discontinuidades, tal como son habituales en el ensayo no destructivo. En el cálculo de la distancia se emplearon ya relaciones fijas aunque se necesitó un número de parámetros significativamente más alto.

De acuerdo con el concepto descrito según la invención este problema se resuelve mediante la aplicación de descripciones funcionales para los circuitos generadores de retardo. Los retardos, que se emplean por lo general para problemas de ultrasonido, pueden definirse mediante una función estática y diferencial entre el primer elemento de la disposición y el último elemento de la disposición. Las descripciones funcionales permiten la generación de una curva para los retardos de todos los elementos, siendo el valor de retardo una función del número de disposición. Para disposiciones unidimensionales esto es una función con una variable, para disposiciones bidimensionales es una función de al menos dos variables, etc.

La descripción funcional contiene además un número limitado de parámetros. Estos parámetros varían para cada una de las zonas de retardo seleccionadas y han de adaptarse individualmente.

Un palpador virtual unidimensional con 32 elementos de transmisor/receptor, por ejemplo, necesita para una segunda zona 64 valores de retardo. Si se aplica una descripción funcional en forma de una función BEZIER cúbica el número de los parámetros necesarios para una segunda zona puede reducirse a 8 valores: 4 valores para la emisión y 4 valores para la recepción.

Para alisar la transición entre las zonas de retardo pueden realizarse interpolaciones lineales entre los valores descritos funcionalmente de dos zonas en función de la diferencia de tiempo entre la exploración contemplada actualmente y dos posiciones referencia-tiempo. El mismo esquema puede aplicarse para la apodización o bien la ponderación de solapado. En este caso el resultado de la descripción funcional es la amplitud para el elemento de la disposición. El argumento es el elemento mismo y los parámetros se transmiten dentro del sistema de ultrasonido o bien se calculan previamente para casos de dimensiones más altas y se depositan en una tabla para la transmisión.

Mediante la solución de acuerdo con la invención se alcanzan las ventajas con respecto al estado de la técnica de que han de transmitirse considerablemente menos parámetros, de manera que se requiere menos espacio de almacenamiento. También el número de los ciclos puede ampliarse, una adaptación a las situaciones geométricas altamente complejas es también posible.

Resumiendo, el procedimiento de acuerdo con la invención se caracteriza por que se emplean funciones parametrizables para las zonas de retardo en lugar de fórmulas fijas o conjuntos de retardos.

De acuerdo con un concepto de la invención adicional, la invención se refiere a un uso de un palpador de disposición en fases bidimensional y a un soporte de palpador para el ensayo de material en forma de placas como planchas finas o gruesas. Para ello se emplea una disposición en fases bidimensional utilizando focalización de profundidad dinámica y apertura de profundidad dinámica para la mejora de la calidad de señal y resolución.

En el estado de la técnica se emplean palpadores de contacto dual con acoplamiento de capa de agua e interfaz de plástico. Cada uno de hasta los 100 palpadores debe depositarse individualmente lo que requiere un elevado gasto de técnica de control. Adicionalmente debe comprobarse rutinariamente una adecuada calidad de acoplamiento de ultrasonido de las palpadores.

Dado que cada palpador puede trabajar solamente cuando este está totalmente cubierto por la placa que va a examinarse los bordes de placa tienen un mínimo de zona no examinada que es tan ancho como el ancho del palpador individual. Este ancho se sitúa momentáneamente en el intervalo de 50 mm.

Partiendo de esto el concepto adicional de la invención se basa en el objetivo de perfeccionar un dispositivo para el ensayo de material plano como chapa fina o gruesa, de tal manera que se alcanza una sensibilidad homogénea por una zona de espesor amplia. Además el dispositivo debe mejorarse en el sentido de que no sean necesarias partes móviles y este sea adecuado para examinar sin equipamiento adicional los materiales planos cerca del borde. Se propone un nuevo e inventivo uso de una disposición en fases.

Para resolver el objetivo está previsto que se utilice un palpador de disposición en fases bidimensional usando focalización de profundidad dinámica y adaptación de apertura dinámica para la mejora de la calidad de señal y resolución. El diseño mecánico del palpador y soporte de palpador se simplifica mediante un acoplamiento de ultrasonido mediante la técnica de inmersión de segmento.

Mediante el empleo de sondas de disposición de matriz que pueden programarse individualmente en zonas de espesor individuales puede superarse la mala resolución de sondas por la técnica de inmersión convencionales.

La técnica de inmersión permite, frente a la técnica de la hendidura de agua convencional, una solución mecánica mucho más sencilla y no requiere ninguna sonda adicional que sigue los bordes para posibilitar una comprobación cerca de los bordes de las placas.

Frente al estado de la técnica se alcanza una intensa simplificación mecánica y una resolución más alta de irregularidades. Adicionalmente la técnica de inmersión local es menos sensible frente a desigualdades en la superficie del material que va a examinarse.

El procedimiento y el dispositivo son adecuados para examinar planchas finas o gruesas en el intervalo de espesor de 4 a 400 mm.

La división por pixeles por un ancho de placa está situada habitualmente entre 12 y 17 mm, mientras que con la tecnología de acuerdo con la invención pueden alcanzarse de 4 a 8 mm.

Muestran:

la figura 1	un diagrama de bloques de una unidad de control para palpadores de disposición en fases,
las figuras 2a) a 2d)	una representación esquemática de una proyección horizontal de un palpador en el estado de emisión y recepción,
la figura 3	una representación esquemática de un palpador con diferentes ciclos de ensayo
las figuras 4a), b)	una representación esquemática de un palpador por encima de una geometría de puesta en marcha no ideal, así como una reproducción de un B Scan paralelo,
la figura 5	una representación esquemática de una primera forma de realización de una disposición de palpadores en inmersión local para examinar un material plano desde abajo,
la figura 6	una proyección horizontal de la disposición de palpadores de acuerdo con la figura 5,
la figura 7a) a e)	una representación esquemática de una proyección horizontal de un palpador en el estado de emisión y recepción,

la figura 8	una representación esquemática de un palpador con diferentes ciclos de ensayo,
las figuras 9a), b)	una vista lateral de un listón de palpadores así como una proyección horizontal de un listón de palpadores,
la figura 10	una vista frontal de una segunda forma de realización de una disposición de palpadores en forma de una barra de palpadores,
la figura 11	una vista lateral de la barra de palpadores de acuerdo con la figura 7 y
la figura 12	una vista lateral de una forma de realización adicional de una barra de palpadores.

La figura 1 muestra un diagrama de bloques de una unidad de control que comprende preferiblemente N = 128 canales. Para cada uno de los elementos 10 de transductor ultrasónico de hasta N = 128 está previsto un transmisor 12 de impulsos que puede accionarse a través de una entrada 14. A través de una entrada 16 adicional puede conectarse o desconectarse un tiempo de retardo de por ejemplo 5 ns. Las señales recibidas por los elementos 10 de transductor ultrasónico se registran por dos canales, comprendiendo cada canal un amplificador 18, 20 de operación, un filtro 22, 24 de paso bajo así como un transductor 26, 28 A/D. Los amplificadores 18, 20 de operación de los canales individuales presentan diferente amplificación. Los transductores A/D están conectados con su salida digital, es decir con un circuito 30 integrado programable. La salida digital de los transductores 26, 28 A/D está conectada con una entrada de un módulo 32, 34 De-Serial. Una salida del módulo De-Serial está conectada con la entrada del módulo 36, 38 de corrección de desplazamiento cuyas salidas están conectadas con un multiplexor 40. El multiplexor 40 está conectado en el lado de la salida con un módulo 42 de almacenamiento externo como RAM y con una unidad 44 de procesamiento.

En la unidad 44 de procesamiento se realizan una selección de canal y asimismo una focalización de profundidad dinámica, así como una adaptación de apertura dinámica. Como tiempo de retardo está previsto por ejemplo 5 ns. Una salida del módulo 42 de almacenamiento externo está conectada con la unidad 44 de procesamiento de apertura. Además está previsto un módulo 46 de almacenamiento interno que asimismo está conectado con la unidad 44 de procesamiento de apertura.

Una salida de la unidad 44 que presenta un miembro de suma está conectada con un procesador 48 en el que se realiza de manera digital la amplificación, filtrado, amplificación de control de tiempo una escalada de amplitud HF en tiempo real. En la salida del procesador 48 se transmite una señal que se coloca en una primera entrada 52.1 de un multiplexor 50. En una segunda entrada 52.2 del multiplexor puede colocarse una cabecera, un número de secuencia o un comando. A través de una tercera entrada 52.3 puede seleccionarse la entrada respectiva. En la salida del multiplexor 50 se encuentra por ejemplo una señal de 17 bit que se facilita a través de un enlace 54 rápido en serie (*fast serial link*) para el procesamiento adicional. Un componente adicional de la conmutación es un módulo 53 de entrada para la entrada de señales a diferentes unidades del circuito 30.

El procedimiento de acuerdo con la invención se realiza como sigue. En primer lugar se emite a través de los generadores 12 de impulsos un frente de ondas completo mediante la excitación simultánea (de rigidez de fase) de todos los elementos de transductor ultrasónico en vertical sobre al menos una sección de un objeto que va a examinarse. A continuación se recibe una onda reflejada por la estructura del objeto por medio de un gran número de elementos 10 de transductor ultrasónico independientes entre sí. Las señales recibidas por los elementos 10 de transductor ultrasónico se digitalizan en una unidad 30 de procesamiento de señales digital en etapas de digitalización, se procesan electrónicamente y se almacenan en el módulo 44 o 46 de almacenamiento.

En este caso se realiza una modificación continua de valores de retardo y/o del número de elementos de transductor supersónico de un palpador virtual para cada etapa de digitalización sobre la marcha, dado que para cada etapa de digitalización sobre la marcha, se adaptan los valores de retardo y/o el número de elementos de transductor ultrasónico. Los valores de retardo se calculan desde un retardo inicial almacenado (ley focal para la posición de superficie) hasta un retardo final (ley focal para una posición de pared posterior) por medio de una función de distancia, como por ejemplo 1/R con R= radio. Los valores de retardo pueden estar almacenados en una tabla de referencia, especialmente en el caso de coherencia compleja. En el presente caso los valores de retardo se depositan en forma de una curva.

La adaptación de apertura se realiza mediante modificación lineal del número de elementos de recepción, preferiblemente en el elemento 44 de suma.

Habitualmente se desencadena una variación intensa de los valores de retardo y/o adaptación de apertura mediante la posición “tiempo de vuelo” (posición de tiempo de ejecución) del eco de interfaz de superficie. En el módulo 44 de suma se realiza una suma de diferentes disparos de transmisor focalizados para dar lugar a una señal mediante el uso de una función digital TGC. De manera complementaria los valores de retardo pueden definirse mediante dependencias funcionales por medio de, por ejemplo, una función BEZIER, función polinominal u otro tipo de funciones, empleándose los índices de función de los elementos de transductor ultrasónico como argumento y emitiéndose los valores de retardo como resultados, mientras que los parámetros se establecen en función de la aplicación.

En las figuras 2a a 2d están representadas vistas en planta de modo meramente esquemático de un palpador 62 en forma de un palpador de disposición en fases de matriz. Este se compone de un gran número de elementos 10 de transductor ultrasónico que pueden excitarse individualmente.

Tal como ya se ha mencionado anteriormente, todos los elementos 10 de transductor ultrasónico se excitan simultáneamente para la emisión, tal como está representado en la figura 2a.

Según el principio de la focalización controlada por tiempo de ejecución (*dynamic depth focussing*) así como la apertura de recepción controlada por tiempo de ejecución (*dynamic aperture*) en las figuras 2b a 2d para las zonas focales que van a interesar se conecta para la recepción un elemento, como en la figura 2b, cinco elementos, como en la figura 2c, o nueve elementos como en la figura 2d, para focalizar zonas de diferente profundidad.

Cada palpador 62 puede presentar por ejemplo 128 elementos 10 de transductor ultrasónico. Preferiblemente se emplean palpadores con 5 x 25 = 125 elementos, por lo que se alcanza una superficie activa, por ejemplo, en el intervalo de 35 mm x 175 mm.

Para cubrir anchos de plancha en el intervalo de 1000 mm hasta 5300 mm son necesarios aproximadamente 36 palpadores 62.

Un palpador 64 de equipo con 24 elementos se representa en la figura 3, en la que de acuerdo con el ciclo T1….Tn de ensayo de equipo se encienden en cada caso nueve elementos 10 de transductor supersónico por etapas y se conectan para la recepción.

Mediante el procedimiento de acuerdo con la invención se alcanza una seguridad de acoplamiento mayor en superficies rugosas frente a la técnica de aditamento convencional. Además todos los palpadores pueden disponerse ininterrumpidamente por todo el ancho de plancha, en una división por pixeles de ancho de por ejemplo 6 mm. El ensayo de bordes y parte superior/parte inferior están integrados en el concepto. También pueden integrarse procedimientos de reconstrucción de mejor calidad mediante la digitalización temprana de todos los datos de ensayo. Además se posibilita el principio de B-Scan paralelo, es decir emisión y recepción simultánea de todos los elementos de transductor supersónico.

Mediante el procedimiento de B-Scan paralelo se posibilita una comprobación robusta también en geometrías 66 de puesta en marcha no ideales, como se representa en la figura 4a. La geometría 66 de puesta en marcha no ideal puede presentar, por ejemplo, una pared anterior curvada y/o pared posterior curvada, tal como se muestra en la figura 4b.

Una primera forma de realización de una disposición 68 de ensayo se representa en la figura 5 en vista lateral. Un objeto 70 que va a examinarse en forma de un material plano como plancha fina o plancha gruesa está alojado sobre rodillos 72, 74 de transporte y puede transportarse en la dirección de la flecha 76. En un lado 78 inferior del material 70 que va a examinarse, está prevista una disposición 80 de palpadores por medio de la cual los palpadores PK1-PLn individuales se acoplan mediante una técnica de segmentos al material 70 que va a examinarse. La disposición 80 de palpadores está configurada como cámara de agua abierta hacia arriba que compensa a través de una admisión de agua continua la pérdida de agua que se origina en la hendidura del objeto 70 que va a examinarse, y por tanto garantiza un acoplamiento sin problemas del ultrasonido. La disposición 80 de palpadores está obturada preferiblemente con un retén labial hacia el lado 78 inferior del material que va a examinarse para reducir la pérdida de agua. Alternativamente pueden también preverse un patín guía de arranque y uno de salida en la dirección 76 de movimiento de la pieza 70 de ensayo para, en el caso de una desigualdad demasiado grande de la pieza de ensayo, proteger la disposición 80 de palpadores de daños. La disposición 80 de palpadores puede depositarse por medio de un elemento 84 de ajuste y reajustarse dinámicamente con elementos 86, 88, 90 de ajuste adicionales para la adaptación de ondulación. Una limpieza previa o humectación 92 previa así como un sensor 94 de seguridad, que en caso de error se ocupa de un apagado, están situados aguas arriba de la disposición 80 de palpadores.

La figura 6 muestra una vista desde arriba de la disposición 80 de palpadores, en la que los palpadores PK1-PK6 o bien PKn individuales están dispuestos dentro de una pila 96. La pila está obturada por medio de un elemento 98 de obturación preferiblemente circundante como retén labial hacia el lado 78 inferior del material 70 que va a examinarse. En este caso los palpadores PK1, PK3, PK5 están dispuestos a lo largo de un primer eje 98 longitudinal con una separación entre así, estando dispuestos a lo largo de un segundo eje 100 que discurre paralelo al primer eje los palpadores PK2, PK4, PK6, de tal manera que estos discurren desplazados con respecto a los palpadores PK1, PK3, PK5. De esta manera se cubre un ancho B total de la zona que va comprobarse mediante elementos de transductor ultrasónico. A este respecto cada una de las cabezas Pk i ultrasónicas está conectada en cada caso con una de las unidades i de control ultrasónicas (de acuerdo con la figura 1). De esta manera el ensayo puede realizarse en paralelo con cada uno de los palpadores y por tanto el rendimiento de ensayo puede aumentarse. Dentro de un palpador, según el requisito de ensayo un grupo de preferiblemente 5 x 5 elementos del palpador de matriz se envía focalizado a la pared posterior de la pieza de ensayo. La evaluación del mismo grupo de recepción se realiza entonces según la zona de profundidad a través de la adaptación de apertura dinámica descrita mediante la selección de los elementos de recepción correspondientes y/o una focalización de profundidad dinámica a través

de la adaptación de los tiempos de retardo. Para cubrir toda la superficie de palpador, entonces el grupo descrito se sincroniza en el siguiente disparo de ultrasonido, un elemento de matriz sigue en la dirección longitudinal de palpador hasta que se exploró toda la apertura de palpador. Alternativamente a esto, en un modo de ensayo adicional también puede excitarse la apertura en el lado de la emisión (por ejemplo solamente el elemento central o un grupo de elementos 3 x 3) con focalización correspondiente y la señal de ultrasonido recibida almacenada compuesta de los disparos de emisión diferentes de acuerdo con la zona de profundidad puede evaluarse de nuevo con adaptación de apertura y adaptación de focalización. Un modo de ensayo adicional consiste en un disparo de emisión de toda la apertura del palpador (por ejemplo 5 x 25 elementos de matriz) con una focalización lineal sobre la pared posterior de la pieza de ensayo y una evaluación de las señales de recepción almacenadas de acuerdo con el procedimiento descrito al principio del ciclo completo de un grupo de elementos 5 x 5.

La disposición 80 de palpadores es capaz de realizar un ensayo de superficie al 100 % de chapas rectangulares laminadas sin cantear en el flujo de producción. En este caso pueden tratarse o comprobarse dimensiones de chapa de ensayo con longitudes de hasta 30000 mm, anchos de desde 1000 hasta 5300 mm, y espesores en el intervalo de 4 mm hasta 300 mm.

El ensayo puede realizarse en un paso, especialmente ensayo de superficies y de bordes, pudiendo realizarse estos longitudinal y transversalmente. La velocidad de ensayo asciende a aproximadamente 0,5 m/s, en 1000 disparos de ultrasonido por segundo. El acoplamiento se realiza, tal como se explicó anteriormente mediante hendiduras de agua por suministro de agua de circuito.

El procedimiento de acuerdo con la invención permite una detección segura en función del espesor de material, detectándose de manera segura en el caso de un espesor de 8 mm hasta 240 mm ERG Ø3 hasta una distancia de 3 mm con respecto a las superficies, y en un intervalo de espesor de 240 mm hasta 400 mm ERG Ø5 hasta una distancia de 5 mm con respecto a las superficies.

En conjunto se pretende una estructura modular para el aumento de la seguridad de funcionamiento, de la disponibilidad y de la facilidad de mantenimiento.

El procedimiento puede verificarse a modo de ejemplo bajo las siguientes condiciones. Procedimiento de ensayo: eco de pulso- procedimiento en una distancia de agua de 80 mm.

<u>Muestra 1:</u>

Material:	acero al carbono
Dimensión:	longitud = 200 mm, ancho = 100 mm
Espesor:	280 mm
Defectos de ensayo:	orificios en forma de silla planos, diámetro de 3 o 5 mm.

<u>Muestra 2:</u>

Material:	acero al carbono
Dimensión:	longitud = 100 mm, ancho = 100 mm
Espesor:	20 mm
Defectos de ensayo:	orificios ciegos, diámetro de 3 o 5 mm

Transductor (palpador 1):

Tipo:	transductor de disposición en fases 2D (18 elementos)
Frecuencia:	4 MHz
Tamaño de elemento:	7 x 7 mm^2.

Transductor (palpador 2):

Tipo:	transductor de disposición en fases 2D (24 elementos)
Frecuencia:	5 MHz
Tamaño de elemento:	6 x 6 mm^2.

El esquema de palpador de matriz corresponde al representado en la figura 3.

Otro esquema de un palpador de matriz está representado en la figura 7. De acuerdo con la figura 7a el palpador PK 5 x 5 = 25 comprende elementos 10 de emisión/recepción individuales. El principio de la focalización controlada por tiempo de ejecución (*dynamic deep focussing*) de la apertura de recepción controlada por tiempo de ejecución (*dynamic aperture*) puede desprenderse de las figuras 7b) a 7d). De acuerdo con la evaluación del número de señales ultrasónicas recibidas de un palpador PK pueden comprobarse diferentes zonas (zona 1, zona 2, zona 3 zona 3) de un objeto sometido a ensayo, tal como se representa de manera meramente esquemática en la figura 7 e).

La figura 8 muestra a modo de ejemplo una secuencia ininterrumpida de palpadores PK1…PKn para dar lugar a un palpador APK de equipo o bien un listón PKL de palpadores que se produce a su vez mediante una secuencia

ininterrumpida de palpadores APK de equipo.

Después de la emisión del frente de ondas a través de todos los palpadores PK1...PKn todos los receptores 10 de ultrasonidos de los palpadores PK1… PKn se conectan para la recepción, de manera que las señales ultrasónicas entrantes pueden digitalizarse en etapas de digitalización y almacenarse. Debido a la digitalización de entrada temporal en la que las señales se digitalizan en cada momento, las señales reciben una información de profundidad que puede evaluarse. En un primer ciclo T1 de ensayo se evalúan en cada caso las 25 señales individuales de cada palpador PK1…PKn “sobre la marcha”, es decir todavía durante la recepción de las señales. En los ciclos T2…T5 de ensayo adicionales se realiza una evaluación de señales ultrasónicas ya almacenadas al sincronizarse adicionalmente en un “palpador virtual” considerando una variación continua de valores de retardo y/o el número de elementos de recepción para cada etapa de digitalización. Debido a la digitalización de las señales recibidas por los elementos de recepción en etapas de digitalización, cada valor almacenado recibe también una información de profundidad que puede evaluarse. En el ejemplo de realización mostrado con palpadores PK con 25 elementos de emisión/recepción puede realizarse por tanto una evaluación dentro de 5 ciclos de ensayo.

Un palpador PK1…PKn individual se compone en este caso de, por ejemplo, 5 x 5 = 25 elementos de emisión/recepción individuales con una dimensión en cada caso de por ejemplo 6 x 6 mm. Por tanto se producen dimensiones para una carcasa PKG de palpador representada en la figura 9a en el intervalo de aproximadamente 35 mm x 34,8 mm en 25 elementos de emisión/recepción. En la figura 9b se representa un listón PKL de palpadores.

En el caso de un ancho de plancha de, por ejemplo, 5350 mm como máximo, y un supuesto ancho de carcasa de palpador en el caso de 25 elementos de emisión/recepción de 35 mm, se produce un número de palpadores necesario para la cubierta del ancho de chapa de 5350/35 = 153.

Suponiendo que para cada unidad SE de control se disponen 125 canales, se produce un número de palpadores de 5 por cada unidad electrónica. Para un número de palpadores necesario de 153 se necesitan 31 unidades electrónicas.

Mediante la utilización de 31 unidades electrónicas que pueden procesar en cada caso 5 palpadores, se produce un número de palpadores máximo de 155, de lo que resulta que es posible una cubierta de ancho de 155 x 35 mm = 5425 mm. Esto corresponde en el caso de un ancho de chapa de 5350 mm a un solapado de 75 mm.

La figura 10 muestra una vista frontal de una segunda forma de realización de una disposición 102 de ensayo en forma de una barra de palpadores. En esta disposición los palpadores PK1...PKn de acuerdo con la figura 9 están dispuestos en fila ininterrumpidamente como listón PK1 de palpadores para posibilitar el ensayo completo de un material plano, como por ejemplo una chapa 104.

Una vista lateral de una primera forma de realización de la barra 102 de palpadores se representa en la figura 11. La barra 102 de palpadores está dispuesta sobre un apoyo 106 estacionario o desplazable no descrito con más detalle. Sobre este apoyo discurren soportes 108, 110 que están configurados como admisión de agua. Sobre los soportes 108, 110 está previsto un dispositivo 112 de elevación a través del cual la barra 102 de palpadores puede acceder a la chapa 104 que va examinarse. El dispositivo de elevación puede estar configurado neumáticamente y presentar una carrera de aproximadamente 20 mm en el estado extendido. El dispositivo 112 de elevación comprende una plataforma 114 que puede regularse en altura bajo la cual están dispuestos canales 116, 118 para la admisión de aire.

En la forma de realización preferida, la barra 102 de palpadores está configurada con un dispositivo 120 de ajuste angular que comprende una tina 122 en forma de arco que está alojada de manera oscilante sobre rodillos 124, 126 y puede regularse mediante un mecanismo 128 de regulación. El ángulo puede ajustarse en el intervalo de +/-5º.

La tina está provista de soportes 130, 132 que discurren longitudinalmente por los cuales el listón 134 de palpadores se soporta de manera segura. Para la orientación del listón 134 de palpadores, especialmente en el montaje inicial están previstos elementos 136, 138 de ajuste que se apoyan sobre un lado superior de los soportes 130, 132. A los lados del listón 134 de palpadores están dispuestos tubos 140, 142 colectores para agua de acoplamiento de desagüe o rascada. Por encima del listón de palpadores está prevista una ranura 144 para el acoplamiento de agua al material que va a examinase que está limitada lateralmente por obturadores 146, 158 de caucho que son adyacentes a un lado inferior del material que va a examinarse.

La figura 12 muestra una forma de realización adicional de una barra 150 de palpadores en vista lateral que corresponde fundamentalmente a la forma de realización de acuerdo con la figura 11, de manera que los mismos elementos están señalados con los mismos números de referencia.

En esta forma de realización el listón 134 de palpadores desemboca en un depósito 152 para ensayo que está limitado lateralmente por faldas 154, 156 de obturación y de rascad. Paralelo al depósito para ensayo o así como la falda 154 de obturación y de rascado está prevista una acanaladura 158 de humectación previa por medio de la cual el material que va a examinarse se humecta previamente. La acanaladura está limitada lateralmente por una falda 160 de obturación y de rascado así como por la falda 154 de obturación y de rascado.

En el sentido de la marcha de la chapa discurre paralelo al depósito 152 para ensayo un tubo 162 colector en el que se aloja agua que sale del depósito para ensayo. El tubo colector está limitado lateralmente por una falda 164 de obturación y de rascado, así como por la falda 154 de obturación y de rascado.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el procesamiento de señales que se generan en el ensayo no destructivo de objetos tales como tubos, barras, planchas o componentes planos como también de formas complejas, de componentes de fibras de carbono mediante reflexión de ondas ultrasónicas en lugares defectuosos de la estructura del objeto, que comprende las etapas de procedimiento:

- emisión de un frente de ondas completo sobre al menos una sección del objeto que va a examinarse mediante la excitación con rigidez de fase de un gran número de elementos (10) de emisión independientes de un palpador (62) de disposición en fases de matriz
- recepción de una onda reflejada por la estructura del objeto por medio de un gran número de elementos (10) de recepción independientes entre sí con una toma,
- digitalización y almacenamiento de las señales recibidas por los elementos (10) de recepción durante una toma en etapas de digitalización en un módulo (42, 46) de almacenamiento,
- lectura de los valores de señales almacenados para cada etapa de digitalización de una toma desde el módulo (42, 46) de almacenamiento durante la recepción adicional (sobre la marcha) y modificación continua de valores de retardo y/o del número de elementos (10) de recepción para cada etapa de digitalización de los valores de señales leídos.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** los valores de retardo de un retardo inicial almacenado (ley focal para la posición de superficies) hasta un retardo final (ley focal para la posición de pared posterior) se calculan por medio de una función de distancia 1/R con R = radio.

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** los valores de retardo están almacenados en una tabla de referencia, especialmente en el caso de coherencia compleja.

4. Procedimiento de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se realiza una adaptación de apertura a través de la modificación lineal del número de los elementos (10) de recepción.

5. Procedimiento de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se desencadena un inicio de la modificación de los valores de retardo y/o de la adaptación de apertura mediante la posición “tiempo de vuelo” (*time of flight*) del eco de interfaz de superficies.

6. Procedimiento de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se realiza una suma de diferentes disparos de transmisor focalizados para dar lugar a una señal mediante el empleo de una función TGC digital.

7. Procedimiento de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los valores de retardo se definen mediante dependencias funcionales como términos de una función de Bezier, funciones polinominales u otro tipo de función, empleando la función índices de elementos como argumento y emitiendo los valores de retardo como resultado, mientras que se establecen parámetros en función de la aplicación.

8. Procedimiento de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los valores de retardo se generan mediante combinación lineal de una o varias instancias de un método, o mediante combinación lineal de diferentes instancias de varios de los métodos mencionados.

9. Procedimiento de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los datos se almacenan temporalmente en un módulo (42, 46) de almacenamiento electrónico y entonces se procesan de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.

Diagrama de bloques Mapa de fases de canales 128

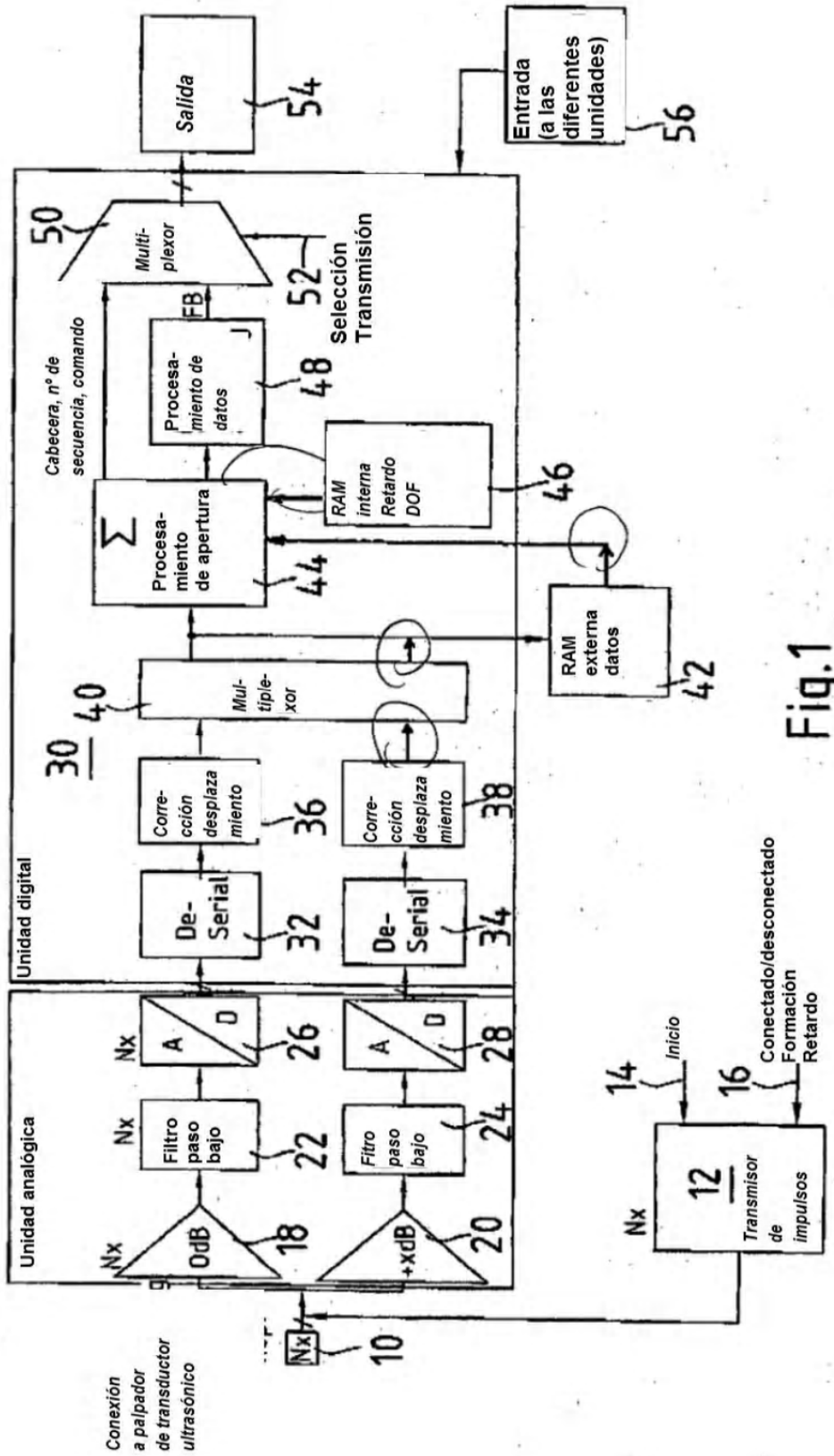
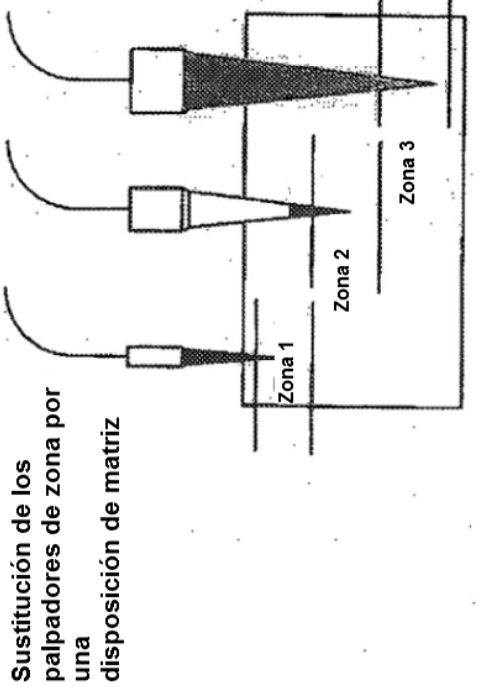


Fig.1


Palpadores
Sustitución de los palpadores de zona por una disposición de matriz
"Dynamic Depth Focusing"
Focalización controlada por tiempo de ejecución
"Dynamic aperture"
Apertura de recepción controlada por tiempo de ejecución
Zona 1
Zona 2
Zona 3

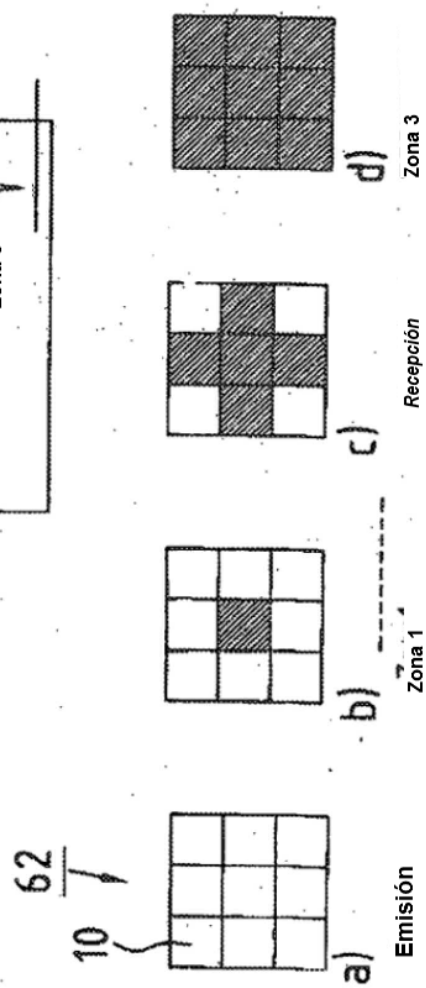

62
10
a)
Emisión
b)
Zona 1
c)
Recepción
Zona 2
d)
Zona 3

Fig.2

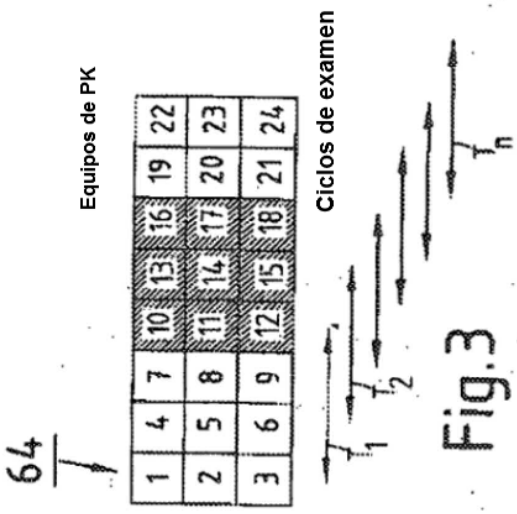

64
Equipos de PK
1 4 7 10 13 16 19 22
2 5 8 11 14 17 20 23
3 6 9 12 15 18 21 24
Ciclos de examen
T_1
T_2
T_n

Fig.3

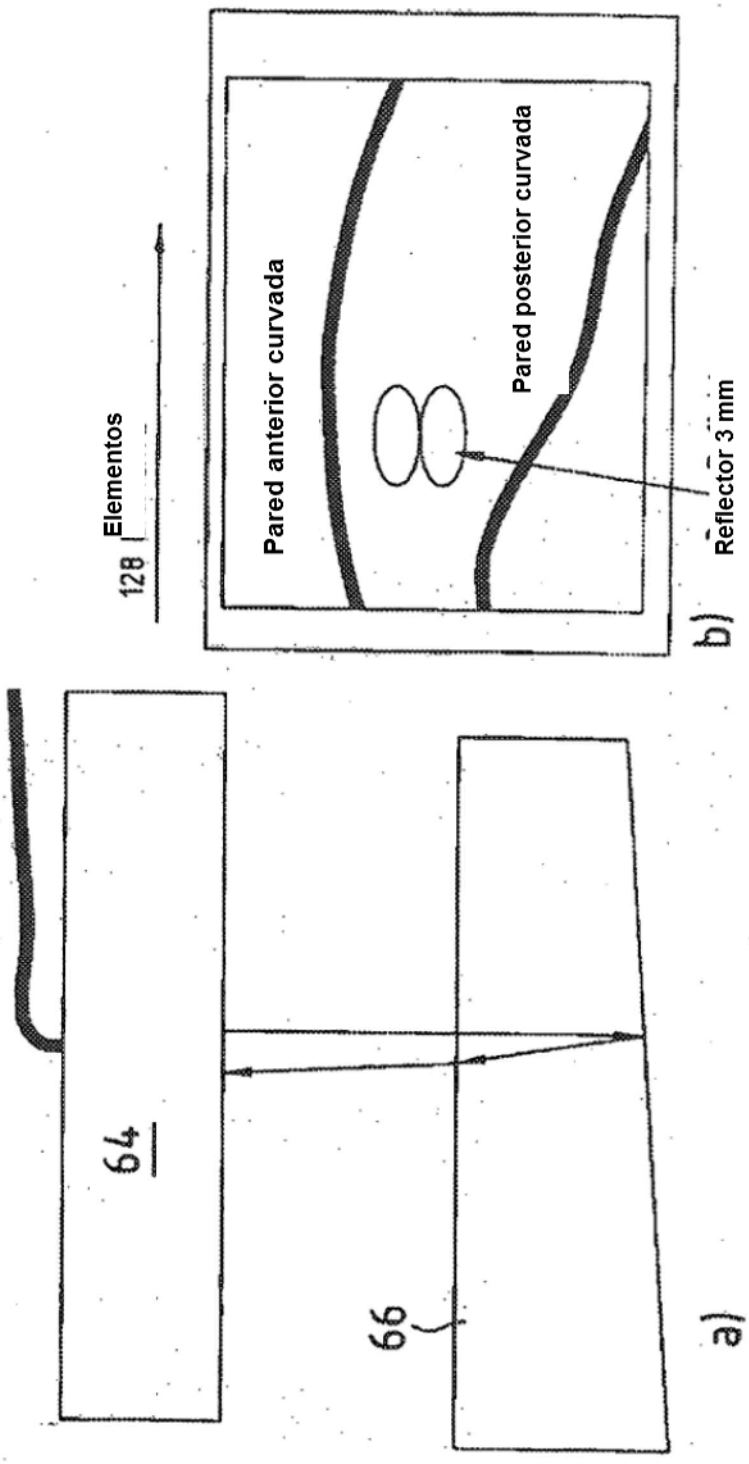

64
66
a)
128
Elementos
Pared anterior curvada
Pared posterior curvada
Reflector 3 mm
b)

Fig.4

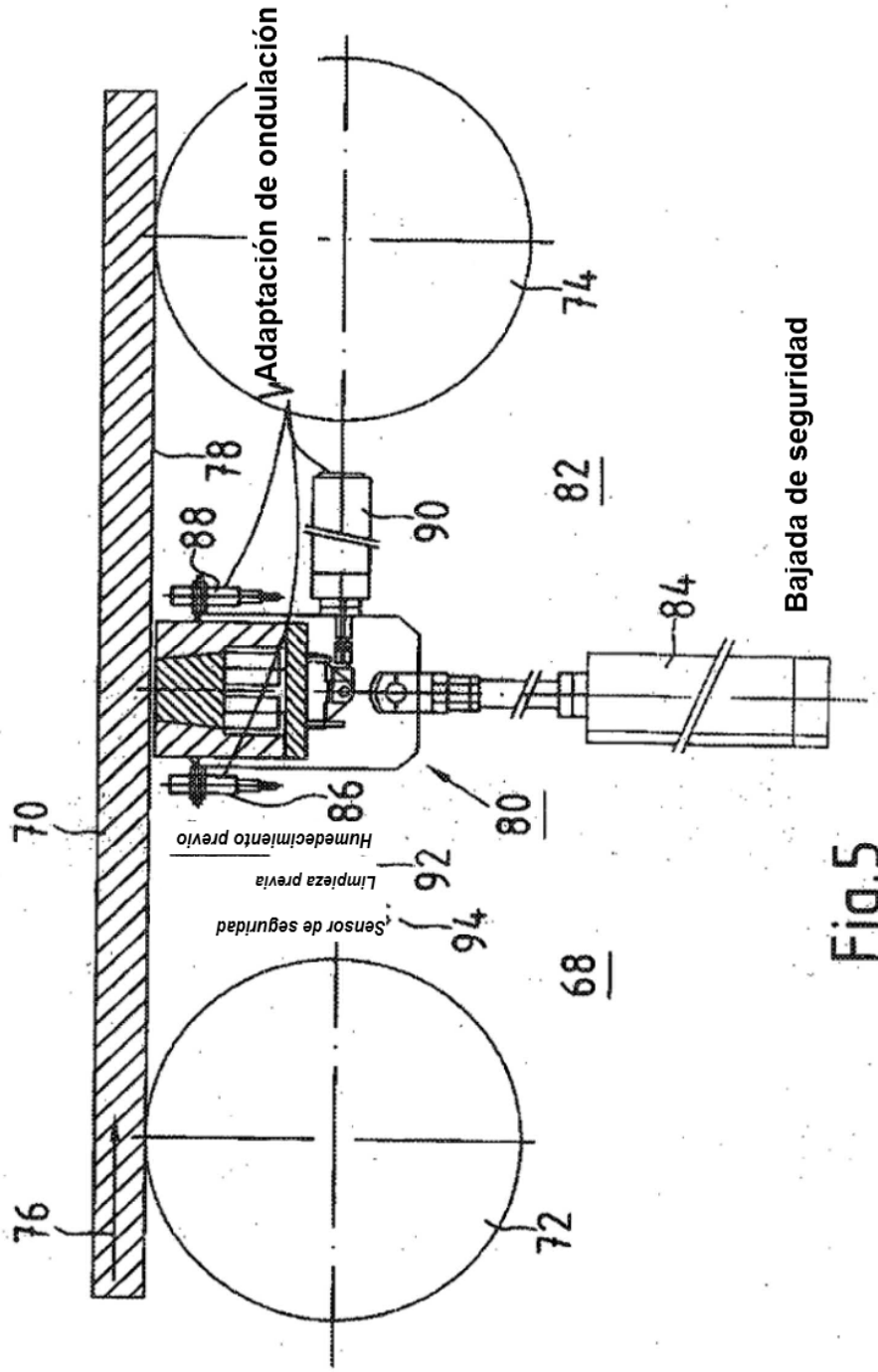

Adaptación de ondulación
Bajada de seguridad
Humedecimiento previo
Limpieza previa
Sensor de seguridad
70
72
74
76
78
80
82
84
86
88
90
92
94
68

Fig.5

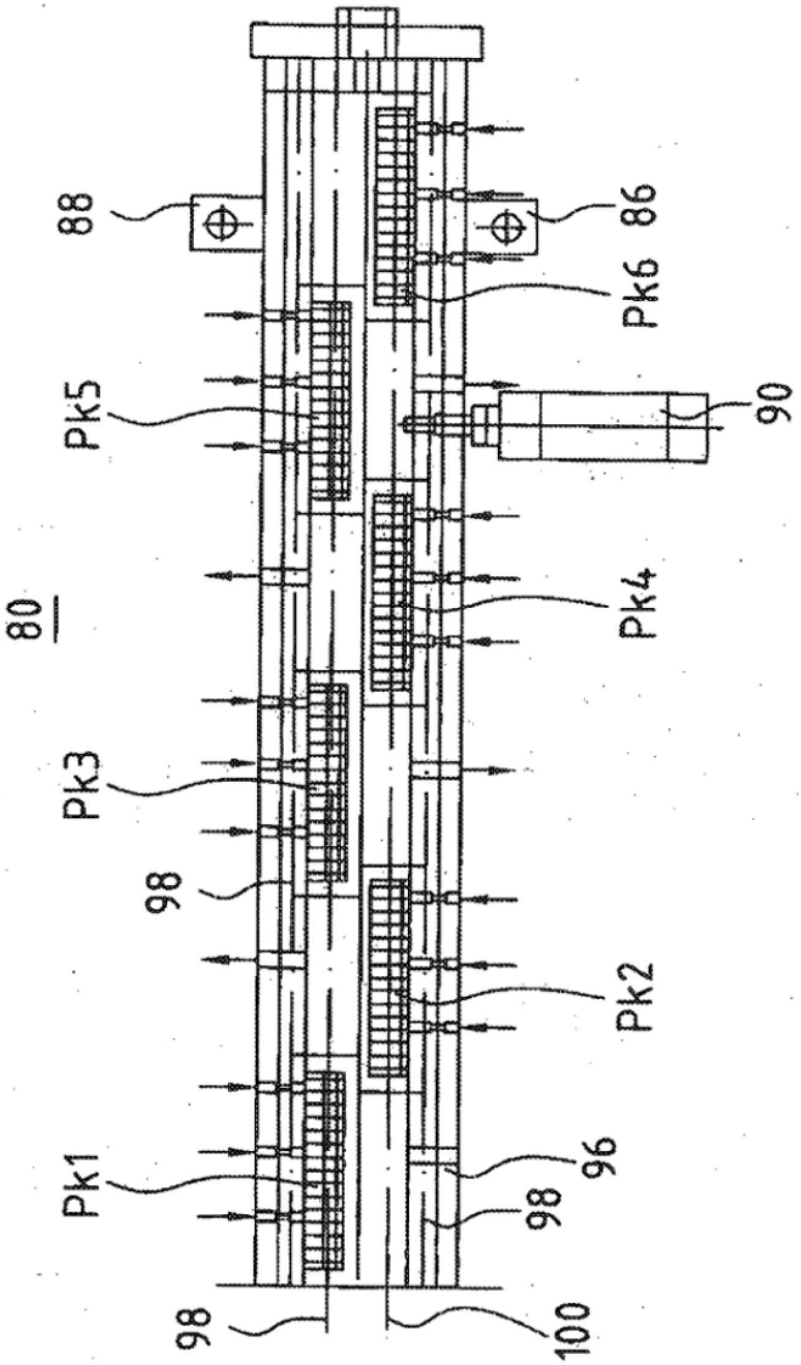
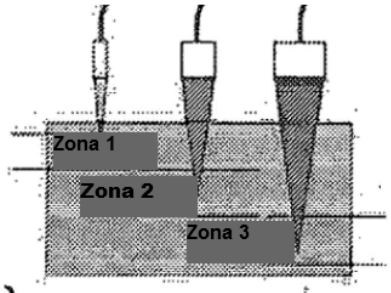


Fig.6

Sustitución de los palpadores de zona por una disposición de matriz



Zona 1: 3 mm cerca de la superficie
Zona 2: centro
Zona 3: 3 mm cerca de la pared posterior

e)

Proyección horizontal (Principio)

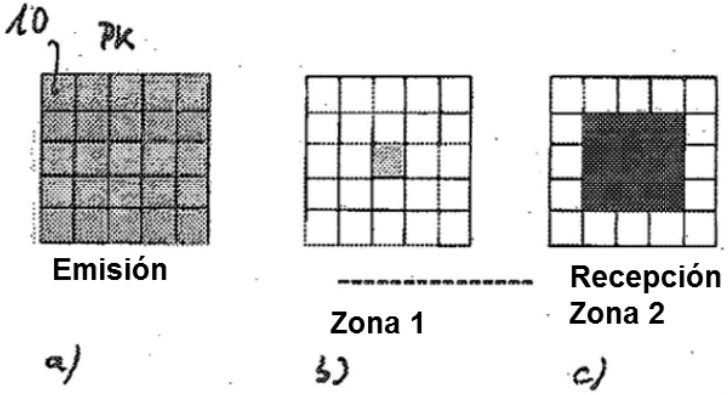
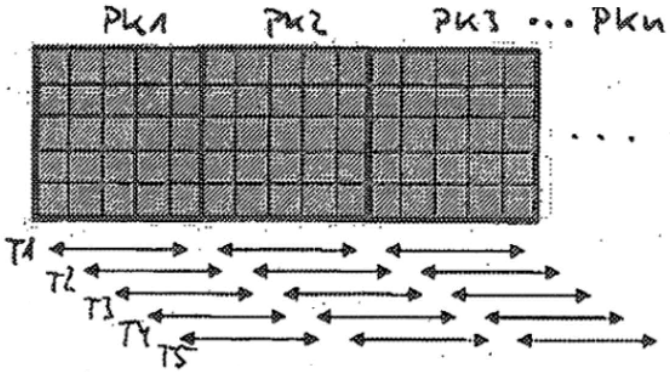


Fig. 7

APK / PKL

Equipos de PK



Ciclos de ensayo

Fig. 8

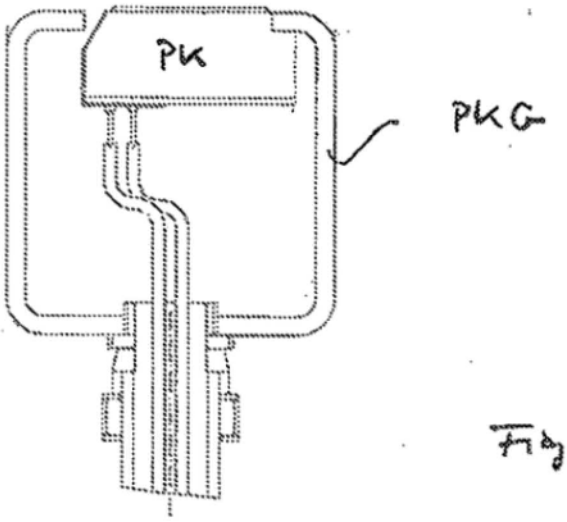


Fig. 9a

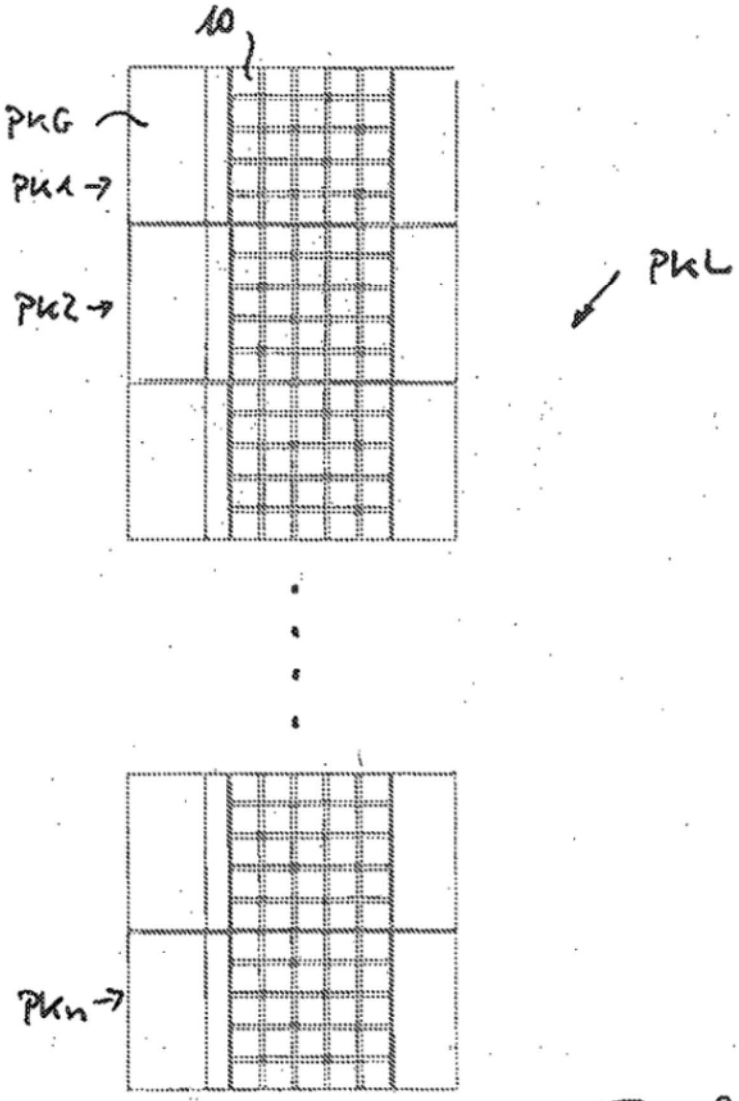


Fig. 9b

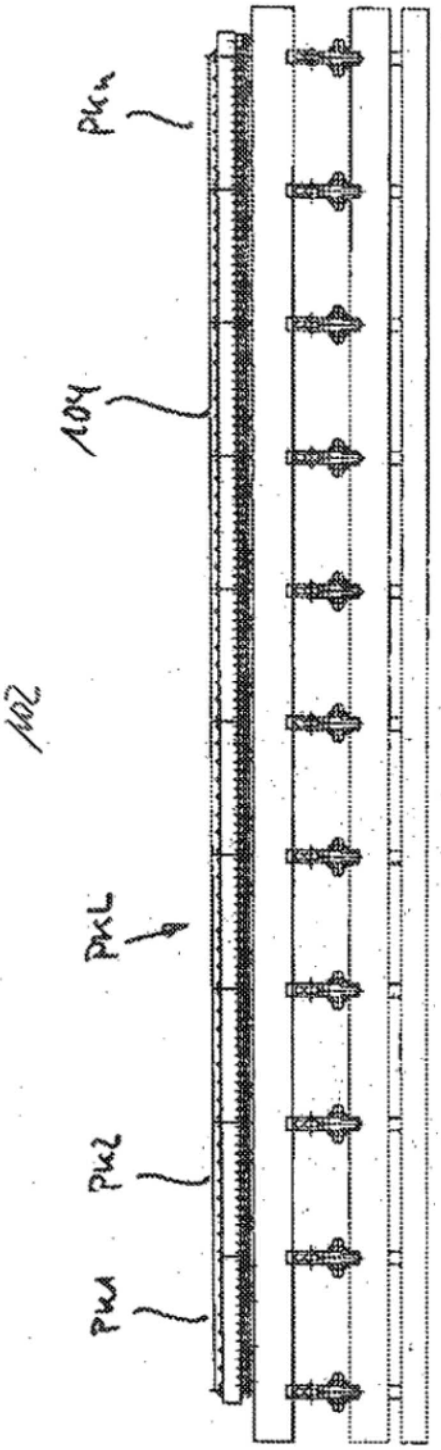


Fig. 10

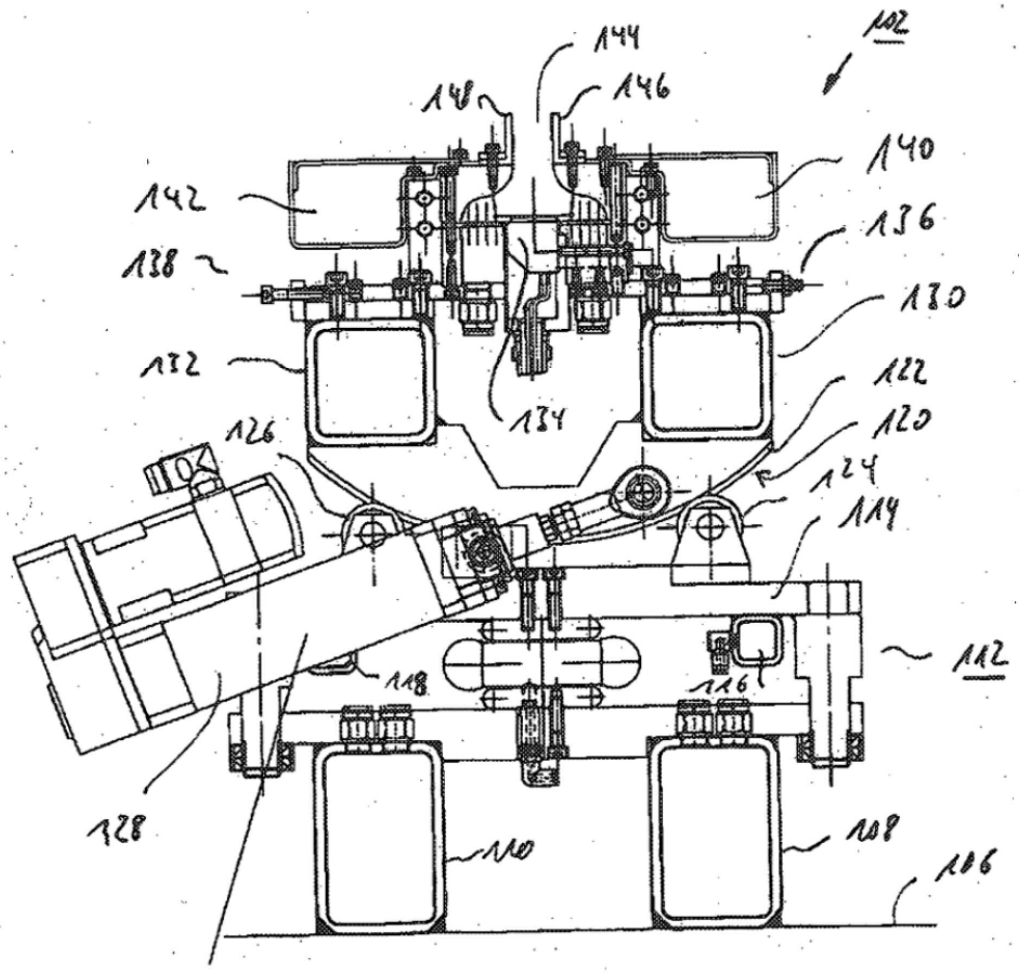

102
144
148
146
140
142
136
138
130
132
134
122
120
126
124
114
112
118
116
128
110
108
106

Fig.11

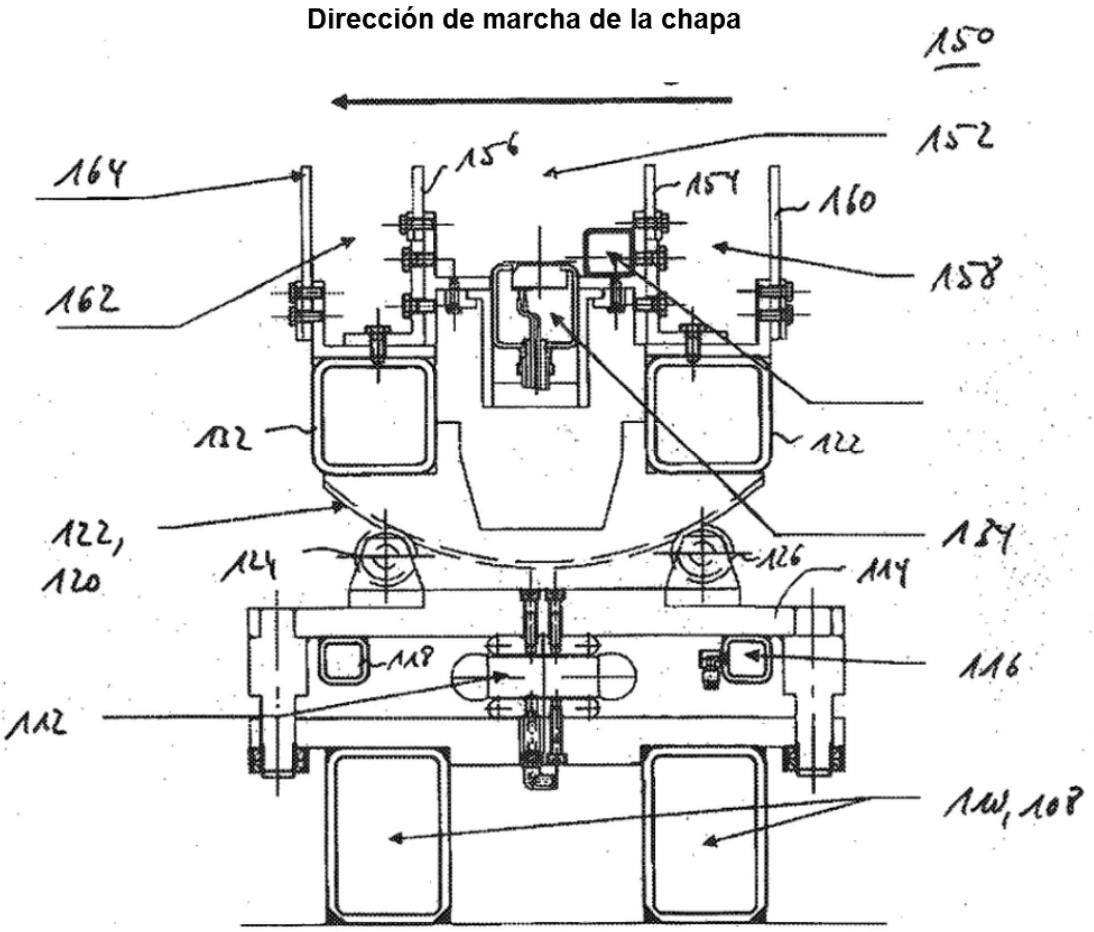

Dirección de marcha de la chapa
150
152
156
154
160
164
162
158
132
122
122,
120
134
124
126
114
118
116
112
110, 108

Fig. 12