(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 380 519**

(51) Int. CI.:
G01N 29/26 (2006.01)
G01N 29/28 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Número de solicitud europea: **09761630 .4**
(96) Fecha de presentación: **28.05.2009**
(97) Número de publicación de la solicitud: **2294400**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **16.03.2011**

(54) Título: **Dispositivo y procedimiento para el ensayo no destructivo de objetos mediante ultrasonidos así como utilización de palpadores PHASED ARRAY matriciales**

(30) Prioridad:
28.05.2008 DE 102008002859

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.05.2012

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.05.2012

(73) Titular/es:
GE Sensing & Inspection Technologies GmbH
Robert-Bosch-Str. 3
50354 Hürth, DT

(72) Inventor/es:
KOCH, Roman;
MAURER, Albrecht;
WAEDT, Ioana y
DE ODORICO, Walter

(74) Agente/Representante:
Carvajal y Urquijo, Isabel

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

DESCRIPCIÓN

Dispositivo y procedimiento para el ensayo no destructivo de objetos mediante ultrasonidos así como utilización de palpadores phased array matriciales

La invención se refiere a un dispositivo según el preámbulo de la reivindicación 1.

En el documento DE-A-34 42 751 se describe un dispositivo de la clase citada al comienzo. El dispositivo presenta palpadores aplicables a la chapa, que están previstos transversalmente a la dirección de transporte y consecutivamente en varias filas con solapamiento, en la dirección de transporte, y presentan en cada caso un emisor. Cada palpador está equipado con una instalación para aplicar una película de agua entre el palpador y la chapa. Los palpadores dentro de cada fila están dispuestos transversalmente a la dirección de transporte, de forma que pueden trasladarse o graduarse mediante el ajuste de una misma distancia respectiva entre palpador y palpador.

En el documento US-B-7,263,888 se describe un phased array bidimensional para el ensayo volumétrico mediante ultrasonidos así como un procedimiento para utilizar el phased array. El phased array se compone de varios convertidores de ultrasonidos, que están dispuestos en un esquema en ángulo recto. El array bidimensional hace posible el ajuste electrónico de características de foco virtual y magnitud de apertura/diafragma, en direcciones tanto laterales como en altura, de tal modo que pueden alcanzarse características de campo acústico de brazos iguales y/o especificados en cada posición o en todas las posiciones, en los componentes ensayados.

A cada uno de los elementos ultrasónicos puede aplicarse una modulación, para conformar un haz explorador y explorar al menos una región del material a ensayar con el haz explorador.

El phased array bidimensional ofrece, frente a un array lineal unidimensional, la ventaja de que éste está separado y/o dividido en varios convertidores de ultrasonidos discretos, que se extienden en dirección tanto X como Z. En consecuencia, la formación de un haz explorador puede tener lugar tanto en el plano X-Y como en el Z-Y. Esto hace posible un mando/control tridimensional del haz explorador con relación a la profundidad de distancia focal, al ángulo de control y a la geometría de distancia focal. El control de la apertura contribuye también a la formación del haz explorador. La apertura del array puede elegirse mediante multiplexado del haz explorador, mediante la unión de canales sincrónicos a transductores individuales del array. También puede controlarse y/o ajustarse la magnitud de la apertura en dirección tanto X como Z.

En el documento DE-A-10 2004 059 856 se describe un procedimiento para el análisis no destructivo de un cuerpo a ensayar mediante ultrasonidos. En este procedimiento se acoplan ondas ultrasónicas al cuerpo a ensayar, con uno o varios convertidores de ultrasonidos, y las ondas ultrasónicas reflejadas dentro del cuerpo a ensayar son recibidas por varios convertidores de ultrasonidos y se transforman en señales ultrasónicas. Las señales ultrasónicas detectadas en ciclos de medición individuales se archivan individualmente y, después de finalizar la medición, son accesibles para una valoración offline. Mediante la aplicación de algoritmos de reconstrucción correspondientes es de este modo posible, a posteriori, sintetizar cualquier ángulo de sonorización y focalización en el margen volumétrico materializable físicamente del cuerpo a ensayar a partir de las señales ultrasónicas archivadas, sin que sean necesarias mediciones ultrasónicas adicionales. Bajo la premisa de que todos los emisores emiten simultáneamente el número i de emisores de ultrasonidos y la composición concreta del grupo de emisores, en especial su disposición sobre la superficie del cuerpo a ensayar, determinan además la característica de radiación total (apertura) del grupo de emisores y, aparte de esto, la sensibilidad y la capacidad de resolución de las mediciones. La activación de todos los convertidores de ultrasonidos de un array para la emisión de un frente de ondas completo no se hace patente en este documento.

El documento DE-C-34 42 751 se refiere a una instalación de pruebas que trabaja con ultrasonidos para chapas situadas en plano, transportadas sobre una vía de rodillos, de diferente anchura. La instalación comprende palpadores aplicables a la chapa, que están previstos transversalmente a la dirección de transporte por filas y consecutivamente en varias filas con solapamiento de sus pistas de ensayo, en la dirección de transporte, y que presentan en cada caso un emisor así como un receptor. Aparte de esto, está prevista una instalación para aplicar una película de agua entre cada palpador y la chapa. Los palpadores están dispuestos de forma que pueden trasladarse o graduarse dentro de cada fila transversalmente a la dirección de transporte, mediante el ajuste de una misma distancia respectiva entre palpador y palpador, y mediante el mantenimiento de pistas de ensayo solapantes. Además de esto está prevista una instalación para medir la anchura de chapa. Los palpadores de una fila de palpadores se ajustan de forma correspondiente a la anchura de chapa medida entre las aristas longitudinales de la chapa, de tal modo que se ajustan sobre la chapa dos palpadores de esta fila de forma adyacente por sus aristas.

En el documento US-B-4, 989,143 se describe un procedimiento para representar un haz de energía coherente y en especial un nuevo procedimiento para una mejor formación adaptativa de un haz coherente, mediante la utilización de conjugación de fases interactiva, para contrarrestar extensiones de ondas no homogéneas.

En el artículo de SUNG-JIN SONK y otros “Development of an Ultrasonic Phased Array System For Non-distructive Tests of Nuclear Power plant Components”, Nuclear Engineering and Design 214 (2002); páginas 151-161, 2002, se describe un sistema de ensayo por ultrasonidos – phased array, el cual se ha obtenido de la modificación de un sistema que ofrece una imagen ultrasónica médica, que presenta 64 canales de transceptor independientes. En el documento se describe la activación retardada de elementos emisores de ultrasonidos.

En el documento AT-B-307 088 se describe un dispositivo para el ensayo continua de banda, compuesto por al menos una sonda de ensayo. Un bastidor que aloja la sonda de ensayo y hace contacto con la banda está suspendido de forma pendular en un soporte, alrededor de un eje horizontal que se extiende en la dirección de desplazamiento de la banda. El soporte está montado de forma pendular en un bastidor base, alrededor de un eje horizontal que se extiende transversalmente a la dirección de desplazamiento de la banda.

El documento DE-U-72 40 684 describe un palpador para instalaciones, para el ensayo continuo por ultrasonidos de banda laminada. El palpador se compone de una carcasa de palpador y al menos una cabeza ultrasónica dispuesta dentro de la misma, en donde la carcasa de palpador está configurada como cámara de acoplamiento por la que puede circular fluido de acoplamiento y está conectada de forma móvil a un carro de pruebas. A la cámara de acoplamiento está preconectada una cámara de riego previo. Debajo de la carcasa de palpador están aplicados rodillos de guiado y a la cámara de acoplamiento está post-conectado un rascador.

En el documento US-A-5,533,401 se describen un procedimiento y un dispositivo para el ensayo por ultrasonidos de diferentes zonas de una pieza de trabajo. Con ello se disponen varios convertidores de ultrasonidos con zonas focales con profundidades de diferente magnitud, para comprobar el grosor de un cuerpo de titanio en forma de barra. Las zonas focales se solapan parcialmente con las zonas focales adyacentes, de tal modo que se garantiza una comprobación completa del grosor de todo el segmento de barra. Las señales reflejadas de los receptores de transductor se tratan de forma digital, para generar una imagen del segmento de barra.

Un procedimiento de este tipo es evidentemente complicado, ya que cada palpador tiene que regularse individualmente y es difícil una adaptación a las irregularidades de la superficie.

En el documento DE-A- 10 2005 051 781 se describe un procedimiento para el análisis no destructivo de un cuerpo a ensayar mediante ultrasonidos. En este procedimiento se acoplan al cuerpo a ensayar ondas ultrasónicas, con uno o varios convertidores de ultrasonidos, y las ondas ultrasónicas reflejadas dentro del cuerpo a ensayar son recibidas por varios convertidores de ultrasonidos y transformadas en señales ultrasónicas. Se prevé y activa un convertidor de ultrasonidos sobre una superficie del cuerpo a ensayar, de tal modo que las ondas ultrasónicas acopladas al cuerpo a ensayar se propagan dentro del cuerpo a ensayar con una distribución tridimensional en gran medida igual.

A continuación se reciben las ondas ultrasónicas reflejadas dentro del cuerpo a ensayar en un gran número m de convertidores de ultrasonidos, previstos sobre la superficie, y se generan m señales de tiempo ultrasónicas que contienen informaciones sobre amplitud con resolución de tiempo.

Las m señales de tiempo ultrasónicas se archivan. A continuación se reconstruye una imagen volumétrica tridimensional, una imagen sectorial en forma de una imagen ultrasónica bidimensional a través del cuerpo a ensayar o una imagen A en forma de una señal ultrasónica unidimensional con resolución de tiempo y lugar, a lo largo de un ángulo de sonorización prefijable, exclusivamente con la utilización de al menos una parte de las m señales de tiempo ultrasónicas.

En el documento EP-B-1 649 301 se describe otro procedimiento. En este procedimiento se emite un frente de ondas completo sobre al menos un segmento a ensayar del objeto, mediante varios elementos sensoriales independientes. A continuación varios elementos receptores independientes entre sí reciben una onda reflejada por la estructura del objeto. Las señales recibidas por los elementos receptores se digitalizan y tratan posteriormente en sombras de digitalización. En el documento EP-B-1 649 301 no se reivindica una focalización dinámica en profundidad ni una adaptación de apertura.

En el estado de la técnica se utilizan palpadores de contacto doble con acoplamiento de película de agua e interfaz de material sintético. Cada uno de hasta 100 palpadores tiene que depositarse individualmente, lo que exige una eleva complejidad de técnica de control. Además de esto es necesario comprobar rutinariamente la adecuada calidad de acoplamiento ultrasónico de los palpadores.

Debido a que cada palpador sólo puede trabajar cuando éste está cubierto por completo por la placa a ensayar, los bordes de placa tienen una zona mínima no comprobada, que es igual de ancha que la anchura de cada palpador. Esta anchura es momentáneamente de 50 mm.

El documento US-B-5,490,512 se refiere a un array de transductores, que comprende varios elementos transductores, que están dispuestos bidimensionalmente en un array y presentan extensión transversal y

longitudinal. Además de esto, está previsto un dispositivo para generar y alimentar señales eléctricas de excitación para los elementos transductores. Para detectar las señales recibidas por los elementos transductores, éstas se interconectan para formar grupos.

Partiendo de aquí, la invención se ha impuesto la tarea de perfeccionar un dispositivo para ensayar material plano como chapa fina o gruesa, de tal modo que se consiga una sensibilidad uniforme dentro de un amplio margen de grosores. Además de esto, se pretende mejorar el dispositivo con la finalidad de que no sea necesaria ninguna pieza móvil y de que éste sea apropiado para, sin un equipo adicional, ensayar los materiales planos cerca del borde. Se propone una utilización nueva y según la invención de un phased array.

La tarea es resuelta conforme a la invención mediante las particularidades de la reivindicación 1.

El diseño mecánico del palpador y del soporte de palpador se simplifica mediante un acoplamiento ultrasónico a través de técnica de inmersión por segmentos.

Mediante el uso de cabezas exploradoras de array matricial, que pueden programarse individualmente para diferentes zonas de grosor, puede superarse la mala resolución de las cabezas exploradoras habituales de la técnica de inmersión.

La técnica de inmersión por segmentos permite, con respecto a la técnica habitual de rendija de agua, una solución mecánica mucho más sencilla y no exige ninguna cabeza exploradora adicional que siga las aristas, para hacer posible una comprobación cerca de las aristas de placa.

Frente al estado de la técnica se consigue una gran simplificación mecánica y una mayor resolución de puntos defectuosos. Además de esto, la técnica local de inmersión por segmentos es menos sensible a las irregularidades sobre la superficie del material a ensayar.

El dispositivo es apropiado para ensayar chapas finas o gruesas en un margen de grosores de 4 a 400 mm.

El pixelado sobre un ancho de placa es habitualmente de entre 12 y 17 mm, mientras que con la tecnología conforme a la invención pueden conseguirse 4 a 8 mm.

Los palpadores están dispuestos de forma preferida en un depósito de agua, el cual puede graduarse mediante elementos de ajuste con el fin de adaptar la ondulación con relación a un lado inferior del material a ensayar. El depósito de agua está obturado conforme a una forma de ejecución preferida, mediante un elemento obturador preferiblemente periférico como un collarín de obturación, con respecto al lado inferior del material a ensayar. Aparte de esto, el depósito de agua puede presentar elementos de deslizamiento como patines de deslizamiento en la dirección de ensayo hacia el lado inferior del material a ensayar, para prevenir daños al depósito de agua causados por irregularidades excesivamente grandes de la pieza a ensayar.

Para mejorar ulteriormente la energía y la resolución de señal para aplicaciones de phased array para diferentes profundidades de puntos defectuosos, a la hora de ensayar materiales planos, conforme a una idea propia de la invención se propone que durante la recepción se produzca una variación continua de valores de retardo y/o del número de elementos receptores para cada paso de digitalización. Por medio de esto se consigue una mejora de la energía acústica y de la resolución para aplicaciones de phased array para diferentes profundidades de defecto “on-the-fly” con una recepción/un ciclo de emisión en el caso de una ley focal continua, es decir, modificación de valores de retardo y del número de elementos emisores/receptores u, opcionalmente, mediante la combinación de diferentes leyes focales.

La modificación continua de los valores de retardo y/o del número de elementos emisores/receptores para un palpador virtual se realiza durante la recepción de la señal HF mediante un programa de firmware adecuado “on-the-fly”.

En resumen se consigue respecto al estado de la técnica un mayor rendimiento y un mejor reconocimiento de defectos, con unos menores costes de ensayo. Con el dispositivo conforme a la invención pueden llevarse a cabo una focalización dinámica en profundidad (focalización con control de tiempo de funcionamiento) y una adaptación dinámica de apertura (apertura de recepción con control de tiempo de funcionamiento) de la parte receptora de una aplicación de phased array. La ley focal, respectivamente los valores de retardo, y el número de elementos emisores/receptores del palpador virtual se modifican de un paso de digitalización al otro.

De forma preferida se calculan los valores de retardo, desde un retardo inicial archivado (ley focal para posición superficial) hasta un retardo final (ley focal para posición de pared trasera), mediante una función distanciadora 1/R con R = radio.

Opcionalmente pueden archivarse los valores de retardo en una tabla de referencia, en especial en el caso de coherencia compleja.

Otra forma de ejecución preferida destaca porque se realiza una adaptación de apertura mediante modificación lineal de los elementos iniciales del palpador virtual al número de elementos finales.

El inicio de la modificación de apertura puede activarse con la posición “time-of-flight” del eco de interfaz superficial.

Otra particularidad opcional destaca porque la suma de diferentes disparos de transmisor focalizados para formar una señal se realiza mediante la utilización de una función TGC digital. Con ello está previsto que se compensen las diferencias de sensibilidad, que se producen durante la transición de zona a la hora de componer disparos de transmisor focalizados en diferentes profundidades para formar una señal, mediante la utilización de una función TGC digital.

Conforme a otra forma de ejecución preferida pueden definirse retardos de tiempo para palpadores phased array mediante dependencias funcionales, como por ejemplo mediante una función de BEZIER, una función polinómica o de otro tipo. La función asume los índices del elemento de convertidor de ultrasonidos como argumento y ofrece como resultado el retardo, mientras que los parámetros se establecen en función de la aplicación.

En el estado de la técnica existe el problema de que el número de juegos de retardo aplicables para las disposiciones está limitado, en último término, por la capacidad del hardware y los tiempos de tratamiento para la transferencia de datos. Conforme aumenta el número de elementos y zonas adicionales, que deben ensayarse, aumenta la necesidad de espacio de memoria.

Además de esto, la zona necesita un tratamiento especial para leyes de retardo variables, para que dentro de las imágenes producidas mediante el dispositivo ultrasónico no se produzca ninguna discontinuidad. Para superar esto los instrumentos modernos calculan el retardo con base en un algoritmo de distancia para zonas muy pequeñas o para cada punto explorado. Este algoritmo de distancia sólo es apropiado para medios suficientemente homogéneos sin fuertes discontinuidades, como las que son habituales en el caso de un ensayo no destructivo. Para el cálculo de la distancia ya se han utilizado relaciones fijas, en donde sin embargo se ha necesitado un número significativamente mayor de parámetros.

Conforme a las ideas aquí descritas, este problema es resuelto mediante la aplicación de descripciones funcionales para los circuitos de conmutación que generan retardos. Los retardos, que en general pueden utilizarse para problemas de ultrasonidos, 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, en donde el valor de retardo es una función del número de disposición. Para una disposición unidimensional se trata de una función con una variable, para disposiciones bidimensionales se trata de una función con al menos dos variables, etc.

La descripción funcional contiene asimismo un número limitado de parámetros. Estos parámetros varían para cada una de las zonas elegidas y deben adaptarse individualmente.

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

Para nivelar 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 referencias de tiempo de referencia. El mismo esquema puede utilizarse para la apodización o la ponderación de solapamiento. Aquí el resultado de la descripción funcional es la amplitud para el elemento de la disposición. El argumento es el propio elemento y los parámetros se transmiten dentro del sistema ultrasónico, respectivamente se calculan previamente para casos de mayores dimensiones, y se archivan en una tabla para su transmisión.

Mediante la solución conforme a la invención se consiguen con relación al estado de la técnica las ventajas de que es necesario transmitir considerablemente menos parámetros, de tal modo que se necesita menos espacio de memoria. También puede aumentarse el número de ciclos y es asimismo posible una adaptación a situaciones geométricas muy complejas.

Resumiendo, el dispositivo conforme a la invención destaca porque se usan funciones parametrizables para las zonas de retardo, en lugar de fórmulas fijas o juegos de retardos.

Aquí muestran:

la figura 1 un esquema de conexiones en bloques para palpadores phased array,

las figuras 2a) – d) una representación esquemática de una vista en planta sobre un palpador en estado de emisión y recepción,

la figura 3 una representación esquemática de un palpador con diferentes ciclos de ensayo de instalaciones,

las figuras 4a), b) una representación esquemática de un palpador por encima de una geometría de conexión no ideal, así como la reproducción de un escaneado B paralelo,

la figura 5 una representación esquemática de una disposición de palpadores en inmersión local, para comprobar un material plano desde abajo,

la figura 6 una vista en planta de la disposición de palpadores conforme a la figura 5,

las figuras 7a) - e) una representación esquemática de una vista en planta sobre un palpador en 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 una regleta de palpadores así como una vista en planta de una regleta de palpadores,

la figura 10 una vista delantera de una segunda forma de ejecución de una disposición de palpadores en forma de una viga de palpadores,

la figura 11 una vista lateral de la viga de palpadores conforme a la figura 7 y

la figura 12 una vista lateral de otra forma de ejecución de una viga de palpadores.

La figura 1 muestra un esquema de conexiones en bloques de una unidad de control que comprende de forma preferida N = 128 canales. Para cada uno de los hasta N = 128 elementos de convertidor de ultrasonidos 10 está previsto un transmisor de impulsos 12, el cual puede activarse a través de una entrada. A través de otra entrada 16 puede conectarse o desconectarse un tiempo de retardo de por ejemplo 5 ns. Las señales recibidas por los elementos de convertidor de ultrasonidos 10 se detectan en dos canales, en donde cada canal comprende un amplificador operacional 18, 20, un filtro paso bajo 22, 24 así como un convertidor A/D 26, 28. Los amplificadores operacionales 18, 20 de los diferentes canales presentan diferente amplificación. Los convertidores A/D están unidos a su salida digital, es decir a un circuito de conmutación integrado 30 programable. La salida digital de los convertidores A/D 26, 28 está unida a una entrada de un módulo De-serial 32, 34. La salida digital del módulo está unida a la entrada de un módulo de corrección offset 36, 38, cuyas salidas están unidas a un multiplexor 40. El multiplexor 40 está unido en el lado de salida a un módulo de memoria externo 42 con RAM y con una unidad de tratamiento 44.

En la unidad de tratamiento 44 se realizan una selección de canales y también una focalización dinámica en profundidad, así como una adaptación dinámica de apertura. Como tiempo de retardo está previstos por ejemplo 5 ns. Una salida del módulo de memoria externo 42 está unida a la unidad de tratamiento de apertura 44. Además de esto está previsto un módulo de memoria interno 46, que también está unido a la unidad de tratamiento de apertura 44.

Una salida de una unidad 44 que presenta un elemento sumador está unida a un procesador 48, en el que se llevan a cabo de forma digital la amplificación, el filtrado, la amplificación del control de tiempo y una escalada en amplitud HF en tiempo real. A la salida del procesador 48 se transmite una señal que se aplica a una primera entrada 52.1 de un multiplexor 50. A una segunda entrada 52.2 del multiplexor puede aplicarse una cabecera, un número secuencial o una palabra de control. A través de una tercera entrada 52.3 puede seleccionarse la entrada respectiva. A la salida del multiplexor 50 se obtiene por ejemplo una señal de 17 bits, que se pone a disposición para un tratamiento ulterior a través de una conexión en serie rápida (fast serial link) 54. Otro componente del circuito es un módulo de introducción de datos 56 para introducir señales en diferentes unidades del circuito de conmutación 30.

El procedimiento se ejecuta de la forma siguiente. En primer lugar se emite a través de los generadores de impulsos 12 un frente de ondas completo, mediante la activación simultánea (con rigidez de fase) de todos los elementos de convertidor de ultrasonidos, en perpendicular sobre al menos un segmento a ensayar de un objeto. A continuación

se recibe una onda reflejada por la estructura del objeto mediante varios elementos de convertidor de ultrasonidos 10 independientes entre sí. Las señales recibidas por los elementos de convertidor de ultrasonidos 10 se digitalizan en pasos de digitalización en una unidad de tratamiento de señales digital 30, se tratan electrónicamente y se archivan en el módulo de memoria 44 ó 46.

Con ello se realiza una modificación continua de valores de retardo y/o del número de elementos de convertidor de ultrasonidos de un palpador virtual para cada paso de procedimiento on-the-fly, ya que para cada paso de digitalización on-the-fly se adaptan los valores de retardo y/o el número de elementos de convertidor de ultrasonidos. Los valores de retardo se calculan desde un retardo inicial archivado (ley focal para la posición superficial) hasta un retardo final (ley focal para una posición de pared trasera) mediante una función de distancia, como por ejemplo 1/R con R = radio. Los valores de retardo pueden estar archivados en una tabla de referencia, en especial en el caso de coherencia compleja. En el caso presente se archivan los valores de retardo en forma de una curva.

La adaptación de apertura se realiza mediante la modificación lineal de los elementos receptores, de forma preferida en el elemento sumador 44.

Normalmente se activa una fuerte modificación de los valores de retardo y/o adaptación de apertura mediante la posición “time-of-flight” (posición de tiempo de funcionamiento) del eco de interfaz superficial. En el módulo sumador 44 se realiza una suma de diferentes disparos de transmisor, para formar una señal, mediante la utilización de una función TGC digital. De forma complementaria, los valores de retardo pueden definirse mediante dependencias funcionales, por ejemplo mediante una función de BEZIER, una función polinómica o de otra clase, en donde los índices funcionales de los elementos de convertidor de ultrasonidos se utilizan como argumento y los valores de retardo como resultados, mientras que los parámetros se establecen en función de la aplicación.

En las figuras 2a a 2d se han representado, de forma puramente esquemática, vistas en planta de un palpador 62 en forma de un palpador phased array matricial. Éste se compone de varios elementos de convertidor de ultrasonidos 10, que pueden activarse individualmente.

Como ya se ha explicado anteriormente, para la emisión se activan simultáneamente todos los elementos de convertidor de ultrasonidos 10 simultáneamente, como se ha representado en la figura 2a.

Según el principio de la focalización con control de tiempo de funcionamiento (dynamic depth focussing) así como de la apertura de recepción con control de tiempo de funcionamiento (dynamic aperture) se conectan en las figuras 2b a 2d, para zonas focales de interés, un elemento como en la figura 2, cinco elementos como en la figura 2c o nueve elementos como en la figura 2d tras su recepción, para focalizar zonas de diferente profundidad.

Cada palpador 62 puede presentar por ejemplo 128 elementos de convertidor de ultrasonidos 10. De forma preferida se usan palpadores con 5 x 25 = 125 elementos, con lo que se consigue una superficie activa a modo de ejemplo en un margen de 35 mm x 175 mm.

Para cubrir anchuras de chapa en un margen de 1.000 mm a 5.300 mm se necesitan aproximadamente 36 palpadores 62.

En la figura 3 se ha representado un palpador de instalación 64 con 24 elementos, en donde de forma correspondiente al ciclo de ensayo de instalación TI…Tn en cada caso se conectan paso a paso nueve elementos de convertidor de ultrasonidos 10 y se conmutan tras su recepción.

Con el dispositivo conforme a la invención se consigue una mayor seguridad de acoplamiento, en el caso de superficies rugosas, con relación a la técnica de superposición habitual. Aparte de esto pueden disponerse todos los palpadores, sin huecos, por toda la anchura de la chapa, en el caso de un pixelado en anchura de por ejemplo 6 mm. En el concepto están integrados los ensayos de arista y cabeza/pie. También pueden integrarse procedimientos reconstructivos de mayor valor mediante una digitalización oportuna de todos los datos de pruebas. Además de esto se hace posible el principio de escaneado B paralelo, es decir, la emisión y recepción de todos los elementos de convertidor de ultrasonidos simultáneamente.

Mediante el procedimiento de escaneado B paralelo se hace posible un ensayo robusto incluso con geometrías de conexión 66 no ideales, como la representada en la figura 4a. La geometría de conexión 66 no ideal puede presentar por ejemplo una pared delantera curvada y/o una pared trasera curvada, como se ha representado en la figura 4b.

En la figura 5 se ha representado en una vista lateral una primera forma de ejecución de una disposición de ensayo 68. Un objeto 70 a ensayar en forma de un material plano, como chapa fina o chapa gruesa, se ha montado sobre rodillos de transporte 72, 74 y puede transportarse en el sentido de la flecha 76. En un lado inferior 78 del material 70 a ensayar está prevista una disposición de palpadores 80, mediante la cual los diferentes palpadores PK1 – PKn se acoplan al material 70 a ensayar a través de una técnica por segmentos. La disposición de palpadores 80 está

configurada como cámara de agua abierta hacia arriba, que compensa a través de una afluencia de agua constante la pérdida de agua que se produce en la rendija hacia el objeto 70 a ensayar y, de este modo, garantiza un acoplamiento impecable del ultrasonido. La disposición de palpadores 80 está obturada de forma preferida con un collarín de obturación hacia el lado inferior 78 del material a ensayar, para reducir la pérdida de agua. Alternativamente pueden preverse también patines de deslizamiento de inicio/fin de funcionamiento en la dirección de movimiento 76 de la pieza a ensayar 70, para proteger la disposición de palpadores 80 contra daños en el caso de una irregularidad excesivamente grande de la pieza a ensayar. La disposición de palpadores 80 puede bajarse a través de un elemento de ajuste 84 y regularse dinámicamente a posteriori, con otros elementos de ajuste 86, 88, 90, para adaptarse a la ondulación. Delante de la disposición de palpadores 80 está montada una limpieza previa o un riego previo 92, así como un sensor de seguridad 94 que en caso de fallo se ocupa de una desconexión.

La figura 6 muestra una vista en planta de la disposición de palpadores 80, en donde están dispuestos palpadores independientes PK1-PK6, respectivamente PKn, dentro de un depósito de agua 96. El depósito de agua está obturado mediante un elemento obturador 98 preferiblemente periférico, como un collarín de obturación, con relación al lado inferior 78 del material 70 a ensayar. Con ello los palpadores PK1, PK3, PK5 están dispuestos con una separación mutua a lo largo de un primer eje longitudinal 98, en donde a lo largo de un segundo eje que discurre en paralelo al primer eje los palpadores PK2, PK4, PK6 están dispuestos de tal modo, que discurren alternadamente respecto a los palpadores PK1, PK3, PK5. De este modo se cubre una anchura total B de la región a ensayar mediante elementos de convertidor de ultrasonidos. Cada uno de los palpadores ultrasónicos Pk está unido aquí en cada caso a una de las unidades de control de ultrasonidos i (conforme a la figura 1). De este modo el ensayo puede llevarse a cabo simultáneamente en paralelo con cada palpador independiente y, de este modo, aumentarse el rendimiento del ensayo. Dentro de un palpador se emite de forma focalizada según el requisito del ensayo, con un grupo de preferiblemente 5 x 5 elementos del palpador matricial, sobre la pared trasera de la pieza a ensayar. La valoración del mismo grupo receptor se realiza después, según la zona en profundidad, a través de la adaptación de apertura dinámica descrita, mediante la selección de los correspondientes elementos receptores y/o una focalización dinámica en profundidad a través de la adaptación de los tiempos de retardo. Para cubrir toda la superficie de palpadores se sincroniza después el grupo descrito en el siguiente disparo ultrasónico un elemento matricial más allá, en la dirección longitudinal de cabezal, hasta que se haya explorado toda la apertura de palpador. Alternativamente a esto puede activarse también en otro modo de ensayo la apertura en el lado de emisión (por ejemplo sólo el elemento central o un grupo de 3 x 3 elementos) con una focalización correspondiente y valorarse la señal ultrasónica recibida archivada, compuesta por los diferentes disparos de emisión de forma correspondiente a la zona en profundidad, a su vez con adaptación de apertura y focalización. Otro modo de ensayo consiste en un disparo de emisión de toda la apertura del palpador (por ejemplo 5 x 25 elementos matriciales) con una focalización lineal sobre la pared trasera de la pieza a ensayar y una valoración de las señales de recepción archivadas, de forma correspondiente al procedimiento descrito al comienzo de la sincronización completa de un grupo de 5 x 5 elementos.

La disposición de palpadores 80 es capaz de llevar a cabo un ensayo superficial al 100% de tableros laminados sin rematar en flujo de producción. Con ello pueden tratarse o ensayarse dimensiones de chapa de pruebas con longitudes de hasta 30.000 mm, anchuras de 1.000 a 5.300 mm y grosores en un margen de 4 mm a 300 mm.

El ensayo puede realizarse en una pasada, en especial un ensayo de zonas superficiales o marginales, en donde éste puede realizarse longitudinal y transversalmente. La velocidad de ensayo es de aproximadamente 0,5 m/s con 1.000 disparos ultrasónicos/s. El acoplamiento se realiza – como se ha explicado anteriormente – a través de rendija de agua por cada alimentación de agua de circuito.

El dispositivo conforme a la invención permite una detección segura en función del grosor del material, en donde con un grosor de 8 mm a 24 mm se detectan con seguridad ERG Ø3 hasta una distancia de 3 mm a las superficies y, en un margen de grosores de 240 mm a 400 mm, ERG 05 hasta una distancia de 5 mm a las superficies.

En total se busca una estructura modular para aumentar la seguridad funcional, disponibilidad y facilidad de mantenimiento.

El procedimiento puede verificarse a modo de ejemplo en las siguientes condiciones. Procedimiento de ensayo: procedimiento de eco pulsatorio con una distancia al agua de 80 mm

Cuerpo a ensayar 1:

Material.:	acero al carbono
Dimensiones:	longitud = 200 mm, anchura = 100 mm,
Grosor:	280 mm

Defectos a ensayar: orificios lisos de sillín, diámetro 3 ó 5 mm

Cuerpo a ensayar 2:

Material.: acero al carbono

Dimensiones: longitud = 100 mm, anchura = 100 mm,

Grosor: 20 mm

Defectos a ensayar: taladros ciegos, diámetro 3 ó 5 mm

Transductor (palpador 1)

Tipo: Transductor 2D-face array (18 elementos)

Frecuencia: 4 MHz

Tamaño de elemento: 7 x 7 mm²

Transductor (palpador 2)

Tipo: Transductor 2D-face array (24 elementos)

Frecuencia: 5 MHz

Tamaño de elemento: 6 x 6 mm^2.

El esquema del palpador matricial se corresponde con el representado en la figura 3.

El la figura 7 se ha representado otro esquema de un palpador matricial. Conforme a la figura 7a, el palpador PK comprende 5 x 5 = 25 elementos emisores/receptores independientes 10. El principio de la focalización con control de tiempo de funcionamiento (dynamic deep focusing) de la apertura de recepción con control de tiempo de funcionamiento (dynamic aperture) puede deducirse de las figuras 7b) a 7d). De forma correspondiente a la valoración del número de señales ultrasónicas recibidas de un palpadpr PK pueden ensayarse diferentes zonas (zona 1, zona 2, zona 3) de un objeto a ensayar, como se ha representado de forma puramente esquemática en la figura 7 e).

La figura 8 muestra a modo de ejemplo una yuxtaposición sin huecos de palpadores independientes PK1 … PKn para formar un palpador de instalación APk o una regleta de palpadores PKL, que se obtiene a su vez mediante una yuxtaposición sin huecos de palpadores de instalación APK.

Después de la emisión del frente de ondas mediante todos los palpadores PK1 … PKn se conmutan a recepción todos los receptores de ultrasonidos 10 de los palpadores PK1 … PKn, de tal modo que las señales ultrasónicas entrantes pueden digitalizarse en pasos de digitalización y archivarse. A causa de la digitalización oportuna en el tiempo, en donde las señales se digitalizan en cada momento, las señales adquieren una información sobre profundidad que puede valorarse. En un primer ciclo de ensayo T1 se valoran en cada caso las 25 señales aisladas de cada palpador PK1 … PKn “on the fly”, es decir, todavía durante la recepción de las señales. En los otros ciclos de ensayo T2 … T5 se realiza una valoración de señales ultrasónicas ya archivadas, por medio de que se sigue sincronizando en un “palpador virtual”, teniendo en cuenta una modificación continua de valores de retardo y/o el número de elementos receptores para cada paso de digitalización. A causa de la digitalización de las señales recibidas por los elementos receptores en pasos de digitalización, cada valor archivado recibe también una información sobre profundidad que puede valorarse. En el ejemplo de ejecución representado con palpadores PK con 25 elementos emisores/receptores puede realizarse de este modo una valoración dentro de 5 ciclos de ensayo.

Un palpador independiente PK1 … PKn se compone con ello de por ejemplo 5 x 5 = 25 elementos emisores/receptores independientes 10, en cada caso con una dimensión de por ejemplo 6 x 6 mm. De este modo se obtienen dimensiones para una carcasa de palpador PKG representada en la figura 9 en un margen de aproximadamente 35 mm x 34,8 mm, en el caso de 25 elementos emisores/receptores. En la figura 9b se ha representado una regleta de palpadores PKL.

En el caso de una anchura de chapa máxima de por ejemplo 5.350 mm y de una supuesta anchura de carcasa de palpador de 35 mm, con 25 elementos emisores/receptores, se obtiene un número requerido de palpadores para cubrir la anchura de chapa de 5.350/35 = 153.

Bajo la suposición de que cada unidad de control SE dispone de 125 canales, se obtiene un número de palpadores de 5 por cada unidad electrónica. Para un número requerido de palpadores de 153 se necesitan 31 unidades electrónicas.

Si se utilizan 31 unidades electrónicas, de las que cada una puede tratar 5 palpadores, se obtiene un número máximo de palpadores de 155, de lo que resulta que es posible una cobertura de anchura de 155 x 35 mm = 5.425 mm. Esto se corresponde con un solapamiento de 75 mm en el caso de una anchura de chapa de 5.350 mm.

La figura 10 muestra una vista delantera de una segunda forma de ejecución de una disposición de ensayo 102 en forma de una viga de palpadores. En esta disposición están yuxtapuestos los palpadores PK1 … PKn conforme a la figura 9 sin huecos, como regleta de palpadores PK1, para hacer posible el ensayo completo de un material plano como por ejemplo una chapa 104.

En la figura 11 se ha representado una vista lateral de una primera forma de ejecución de la viga de palpadores 102. La viga de palpadores 102 está dispuesta sobre un apoyo 106 estacionario o desplazable, no descrito con más detalle. Sobre este apoyo discurren soportes 108, 110, que están dispuestos como alimentación de agua. Sobre los soportes 108, 110 está prevista una instalación elevadora 112, a través de la cual puede aproximarse la viga de palpadores 102 a la chapa a ensayar 104. La instalación elevadora puede estar configurada neumáticamente y presentar una carrera de aproximadamente 20 mm en estado de extensión. La instalación elevadora 112 comprende una plataforma 114 graduable en altura, debajo de la cual están dispuestos canales 116, 118 para la alimentación de aire.

En una forma de ejecución preferida la viga de palpadores 102 está configurada con una instalación de graduación angular 120, que comprende una artesa arqueada 122, la cual está montada de forma basculante sobre rodillos 124, 126 y puede ajustarse a través de un mecanismo de graduación 128. El ángulo puede ajustarse en un margen de +/- 5º.

La artesa está dotada de soportes 130, 132 que discurren longitudinalmente, de los que la regleta de palpadores 134 está soportada con seguridad. Para la orientación de la regleta de palpadores 134, en especial para el primer montaje, están previstos elementos de regulación 136, 138, que están apoyados en un lado superior de los soportes 130, 132. A los lados de la regleta de palpadores 134 están dispuestas canaletas colectoras 140, 142 para agua de acoplamiento que desagua o se ha descargado. Por encima de la regleta de palpadores está prevista una ranura 144 para acoplar agua al material a ensayar, que está limitada lateralmente por cercos de goma 146, 158 que hacen contacto con el lado inferior del material a ensayar.

La figura 12 muestra otra forma de ejecución de una viga de palpadores 150 en una vista lateral, que se corresponde fundamentalmente con la forma de ejecución conforme a la figura 11, de tal modo que los elementos iguales están designados con los mismos símbolos de referencia.

En esta forma de ejecución la regleta de palpadores 134 desemboca en una artesa de pruebas 152, que está limitada lateralmente por labios separadores y labios obturadores 154, 156. En paralelo a la artesa de pruebas está prevista una canaleta de riego previo 158 en sentido contrario a la dirección de desplazamiento de chapa, mediante la cual se riega previamente el material a ensayar. La canaleta está limitada lateralmente por un labio separador obturador 160 así como por el labio separador y obturador 154.

En la dirección de desplazamiento de chapa discurre en paralelo a la artesa de pruebas 152 una canaleta colectora 162, en la que se recoge el agua que sale de la artesa de pruebas. La canaleta colectora está limitada lateralmente por un labio separador y obturador 164 así como del labio separador y obturador 156.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (68) para el ensayo no destructivo de chapas (70) transportadas sobre rodillos de transporte (72, 74) como chapas gruesas o finas mediante ultrasonidos, que comprende uno o varios palpadores (PK1 – PKn) que pueden activarse por separado y aplicarse a la chapa (70), que están dispuestos sin huecos en una fila transversalmente a la dirección de transporte (76) o transversalmente a la dirección de transporte (76) por filas y en la dirección de transporte (76) consecutivamente en dos filas con solapamiento, en donde está cubierta una anchura B de la chapa (70) mediante los palpadores (PK1 – PKn), caracterizado porque los palpadores (PK1 – PKn) están configurados como palpadores dimensionales de array matricial (PK1 – PKn), que comprenden una matriz formada por diferentes elementos de convertidor de ultrasonidos (10) con una superficie de 6 x 6 mm² o 7 x 7 mm², y porque cada elemento de convertidor de ultrasonidos (10) está conectado a un transmisor de impulsos (12) así como a un canal de una unidad analógica/digital y puede controlarse y valorarse individualmente, para una focalización dinámica en profundidad y/o una adaptación dinámica de apertura.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque los palpadores (PK1 – PKn) están dispuestos en un depósito de agua (96), el cual puede graduarse mediante elementos de ajuste (86, 88, 90) con el fin de adaptar la ondulación con relación a un lado inferior (78) del material a ensayar (70).

3. Dispositivo según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque el depósito de agua (96) está obturado mediante un elemento obturador periférico como collarines de obturación, con respecto al lado inferior (78) del material a ensayar (70).

4. Dispositivo según la reivindicación 2 ó 3, caracterizado porque el depósito de agua (96) está dotado de elementos de deslizamiento como patines de deslizamiento en la dirección de ensayo hacia el lado inferior (78) del material a ensayar (70), para prevenir daños al depósito de agua causados por irregularidades excesivamente grandes de la pieza a ensayar.

5. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los palpadores (PKI – PKn) cubren una anchura dentro de un margen de $1.000 \text{ mm} \leq B \leq 5.300 \text{ mm}$.

6. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los palpadores (PKI – PKn) presentan de forma preferida una superficie activa dentro de un margen de 30 mm x 150 mm.

7. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los elementos de convertidor de ultrasonidos (10) están dispuestos a una distancia mutua dentro de un margen de 0,2 mm a 3 mm.

8. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los palpadores (PK1 – PKn) pueden programarse según zonas focales individuales.

9. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los palpadores (PKI – PKn) pueden acoplarse mediante técnica de inmersión por segmentos al material a ensayar (78).

10. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado

- porque se emite un frente de ondas completo sobre al menos un segmento a ensayar de la chapa, mediante varios elementos ultrasónicos independientes,

- porque mediante el gran número de elementos ultrasónicos independientes entre sí puede detectarse una onda reflejada por la estructura de la chapa,

- porque la unidad de emisión/recepción presenta una unidad de digitalización para digitalizar en pasos de digitalización las señales recibidas por los elementos ultrasónicos,

- porque la unidad de emisión/recepción presenta una unidad de control para la modificación continua de valores de retardo y/o del número de elementos ultrasónicos para cada paso de digitalización (on-the-fly).

11. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque los valores de retardo pueden calcularse, desde un retardo inicial archivado (ley focal para la posición superficial) hasta un retardo final (ley focal para la posición de pared trasera), mediante una función distanciadora 1/R con R = radio.

12. Dispositivo según la reivindicación 10 u 11, caracterizado porque los valores de retardo están archivados en una tabla de referencia, en especial en el caso de coherencia compleja.

13. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque mediante la modificación lineal del número de elementos receptores puede ajustarse una adaptación de apertura.

14. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque un inicio de la modificación de los valores de retardo y/o de la adaptación de apertura puede activarse mediante la posición “time-of-flight” del eco de interfaz superficial.

15. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la unidad de recepción presenta un sumador para sumar diferentes disparos de transmisor focalizados, para formar una señal, mediante la utilización de una función TGC digital

16. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque pueden definirse valores de retardo mediante dependencias funcionales, como términos de una función de BEZIER, una función polinómica o de otro tipo, en donde la función utiliza índices de elemento como argumento y ofrece como resultado los valores de retardo, mientras que los parámetros se establecen en función de la aplicación.

17. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque pueden generarse valores de retardo mediante la combinación lineal de una o varias instancias de un método o mediante la combinación lineal de diferentes instancias de varios de los métodos citados.

18. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los elementos detectores presentan un módulo de memoria electrónico (42, 46) para el almacenamiento intermedio de los datos.

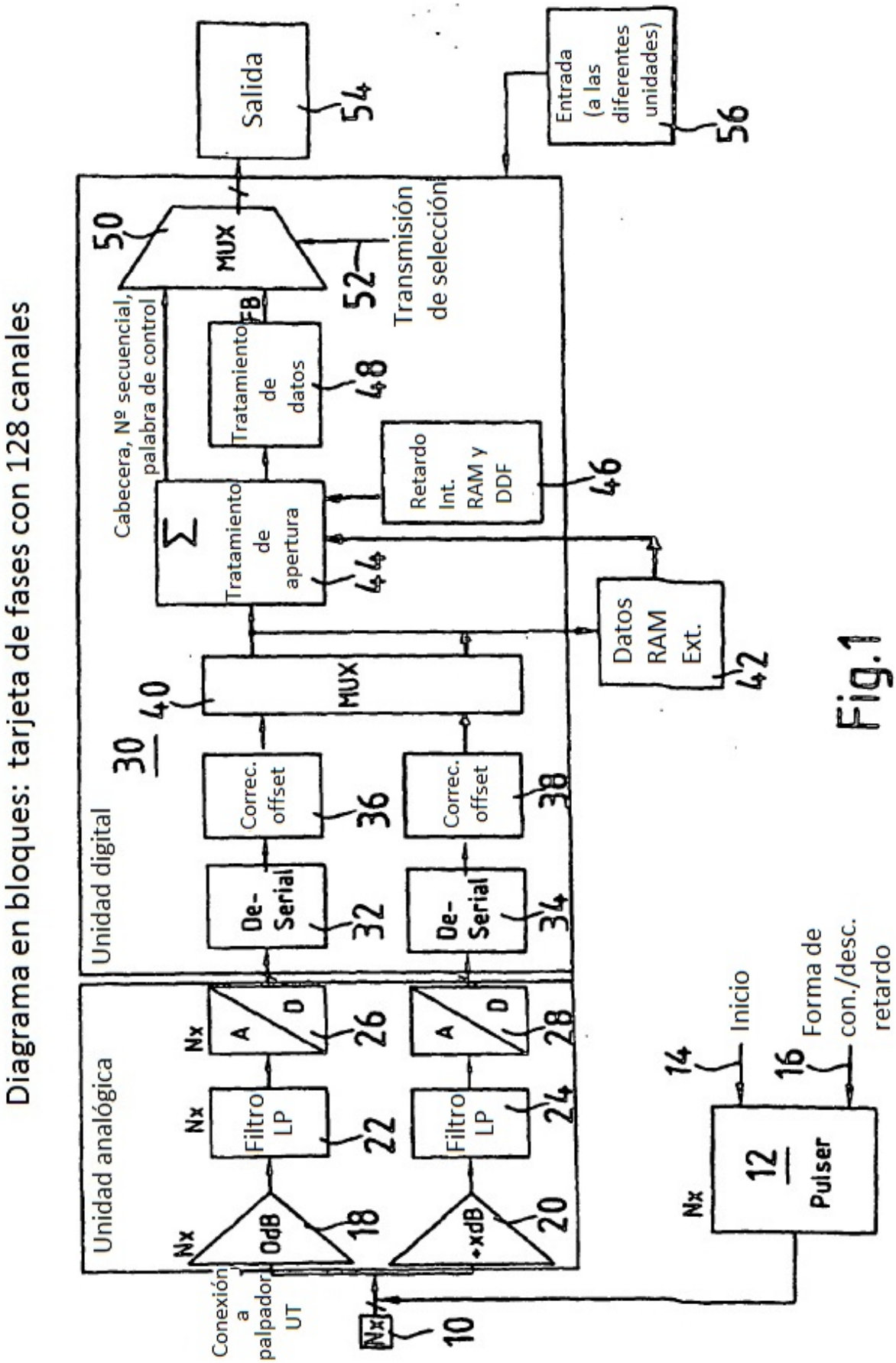


Diagrama en bloques: tarjeta de fases con 128 canales
Unidad analógica
Unidad digital
Nx
0dB
+xdB
18
20
Filtro LP
22
24
A D
26
28
De-Serial
32
34
Correc. offset
36
38
MUX
40
30
Tratamiento de apertura
44
Retardo Int. RAM y DDF
46
Datos RAM Ext.
42
Tratamiento de datos
48
FB
MUX
50
52
Transmisión de selección
Cabecera, Nº secuencial, palabra de control
Salida
54
Entrada (a las diferentes unidades)
56
Conexión a palpador UT
10
12
Pulser
14
Inicio
16
Forma de con./desc. retardo

Fig.1

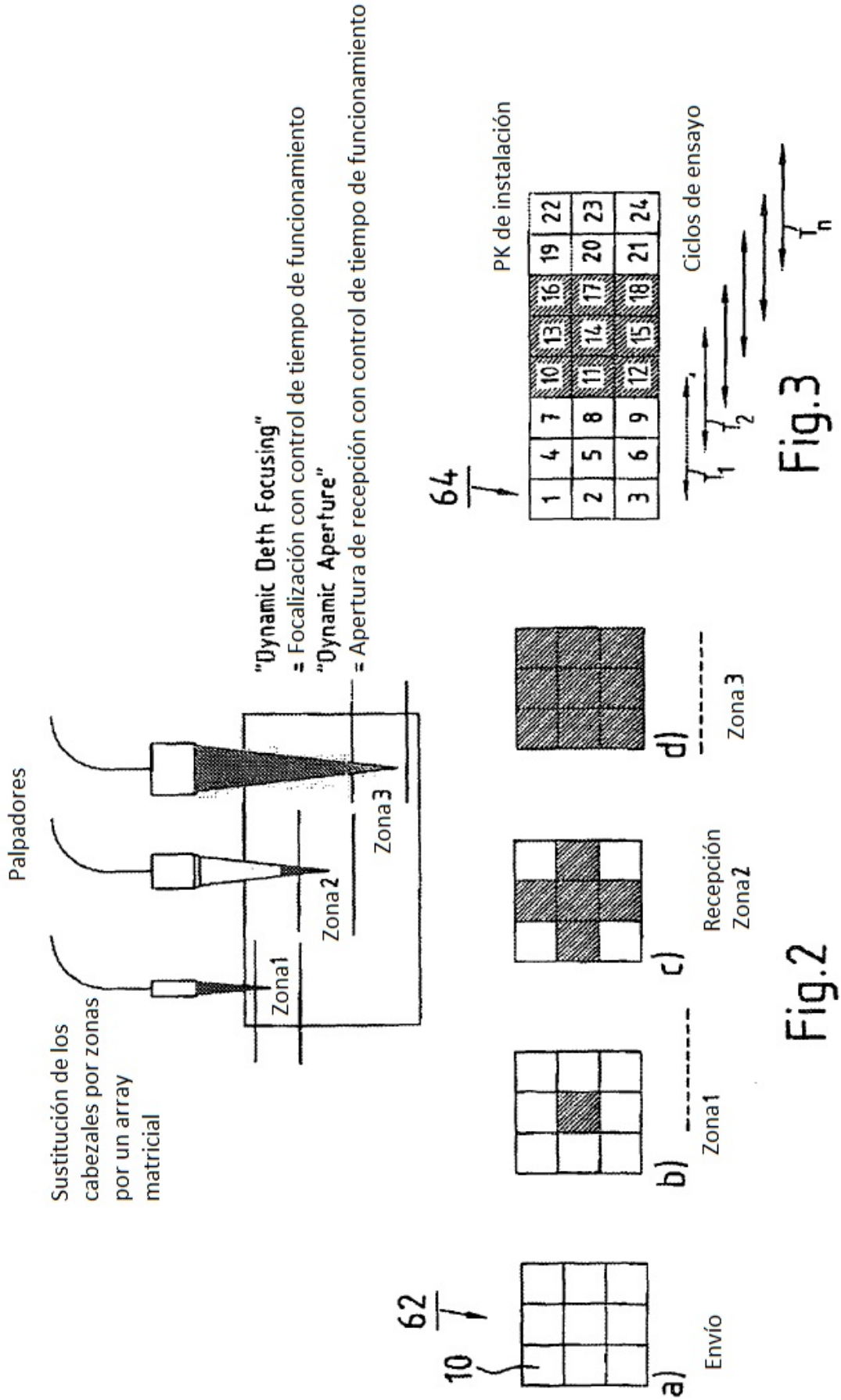

Palpadores
Sustitución de los cabezales por zonas por un array matricial
Zona1
Zona2
Zona3
"Dynamic Deth Focusing"
= Focalización con control de tiempo de funcionamiento
"Dynamic Aperture"
= Apertura de recepción con control de tiempo de funcionamiento
64
PK de instalación
1 4 7 10 13 16 19 22
2 5 8 11 14 17 20 23
3 6 9 12 15 18 21 24
Ciclos de ensayo
T_1 T_2 T_n
62
10
a) Envío
b) Zona1
c) Recepción Zona2
d) Zona3

Fig.2

Fig.3

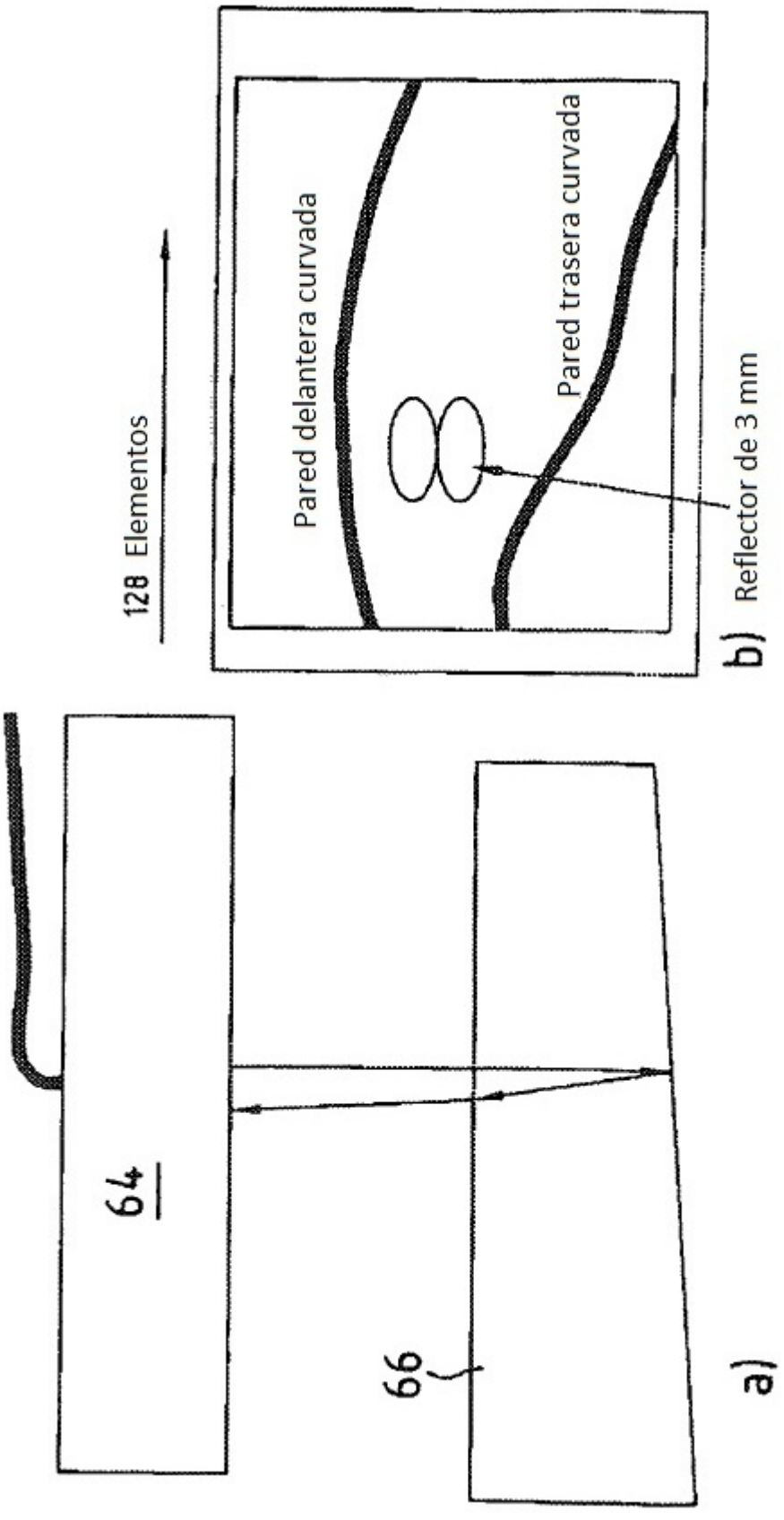

64
66
a)
128 Elementos
Pared delantera curvada
Pared trasera curvada
Reflector de 3 mm
b)

Fig.4

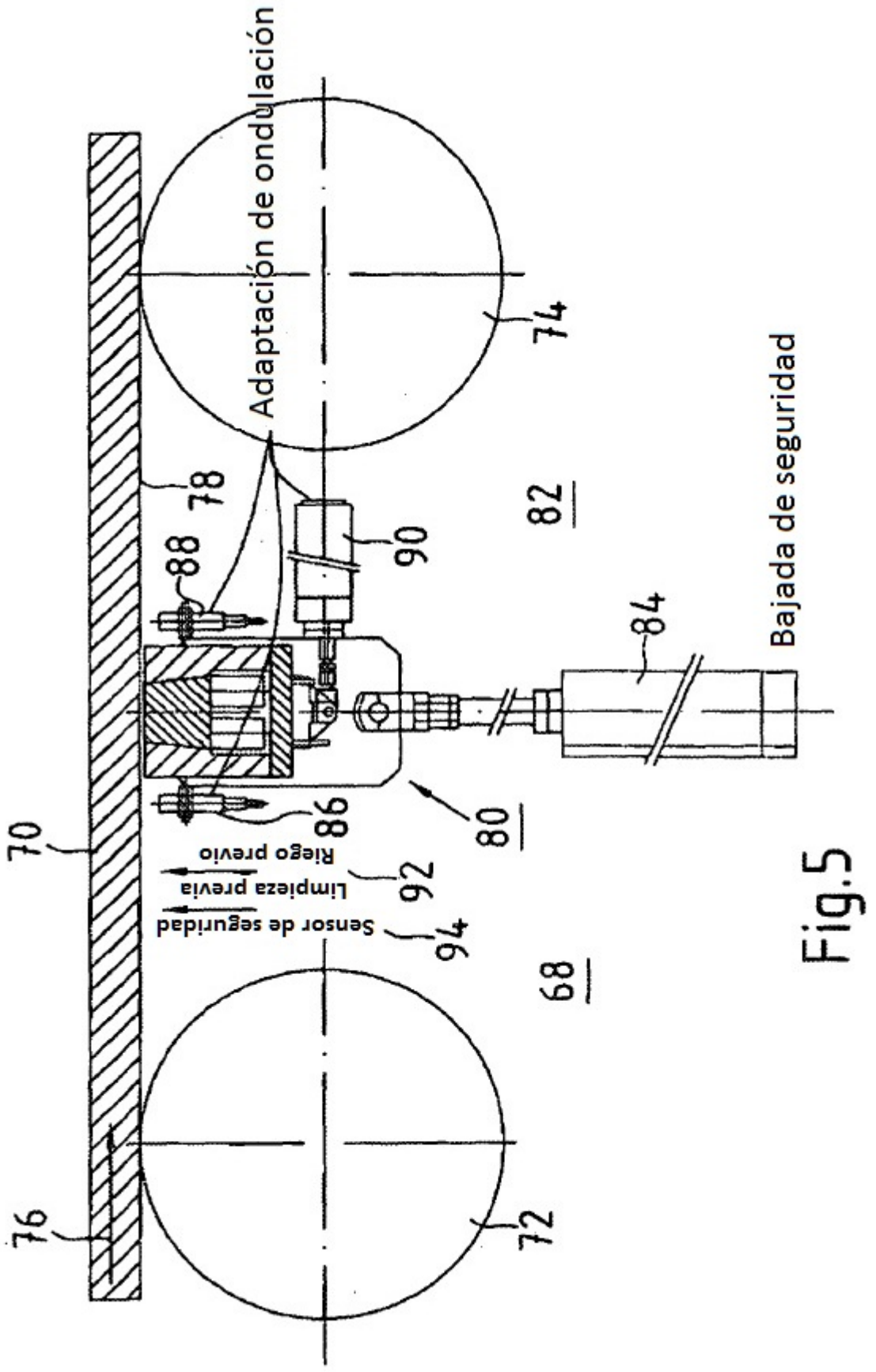

Adaptación de ondulación
Bajada de seguridad
Riego previo
Limpieza previa
Sensor de seguridad
70
72
74
76
78
80
82
84
86
88
90
92
94
68

Fig.5

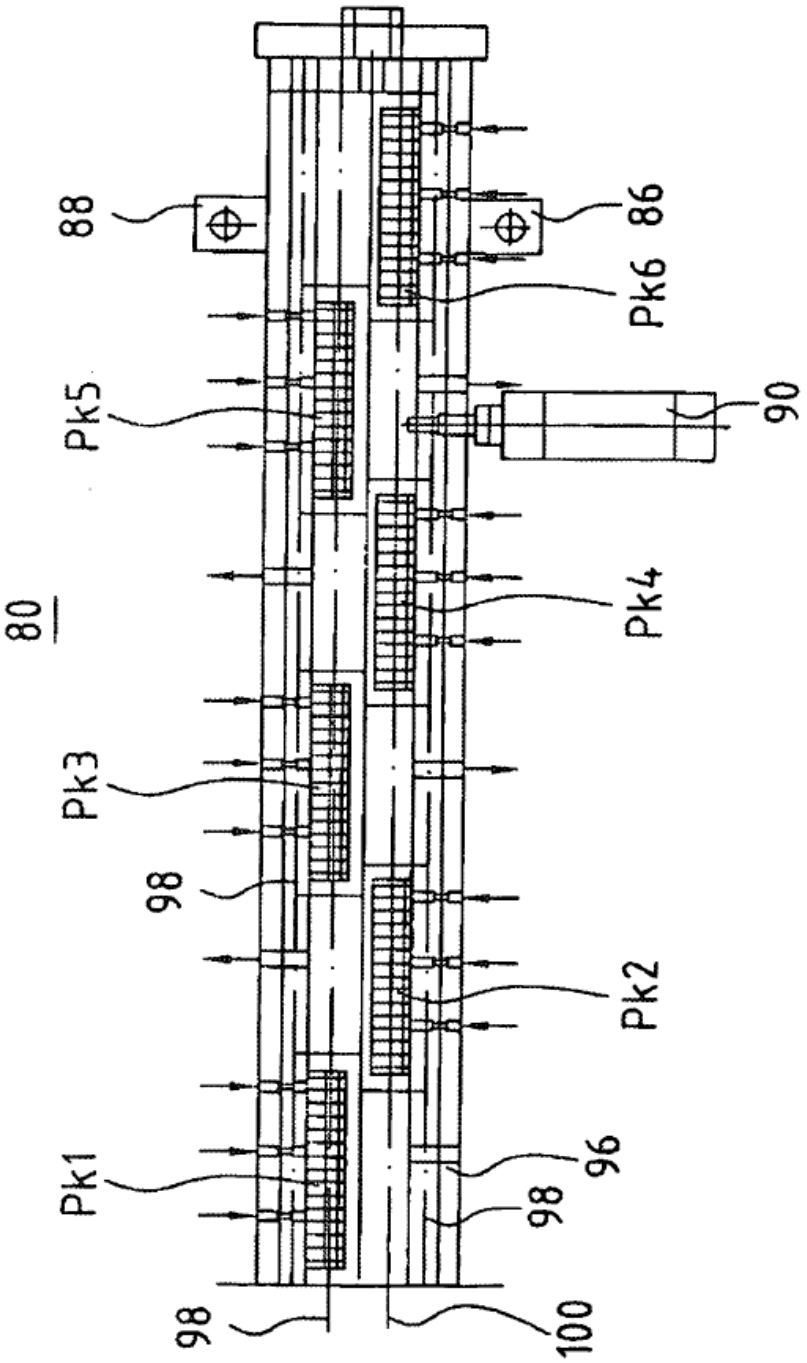
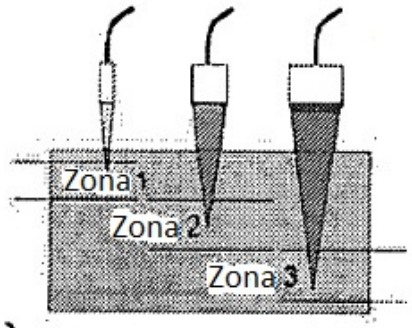


Fig.6

Sustitución de los cabezales por zonas por un array matricial



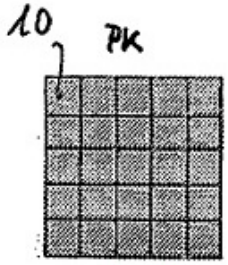
e)

Zona 1: a 3 mm de la superficie

Zona 2: centrado

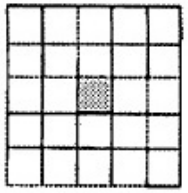
Zona 3: a 3 mm de la pared trasera

Vista en planta (principio)



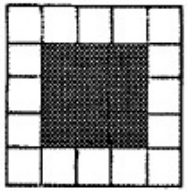
Envío

a)



Zona 1

b)



Recepción

Zona 2

c)

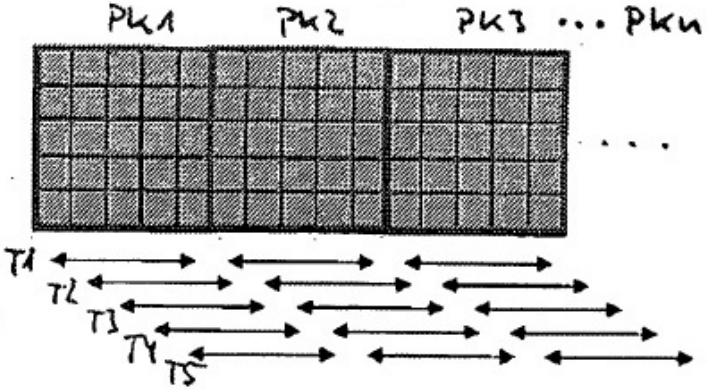
Zona 3

d)

Fig. 7

APK / PKL

PK de instalación



Ciclos de ensayo

Fig. 8

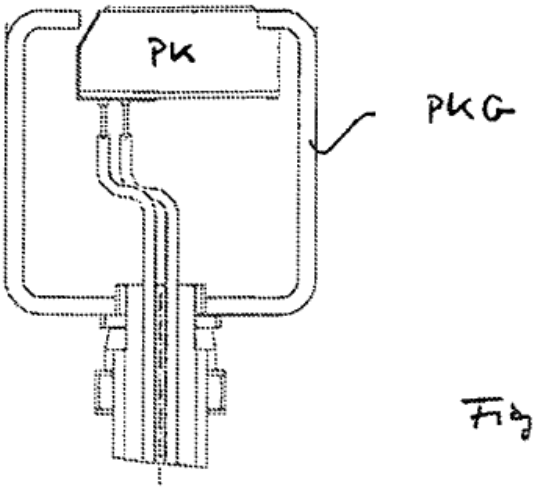


Fig. 9a

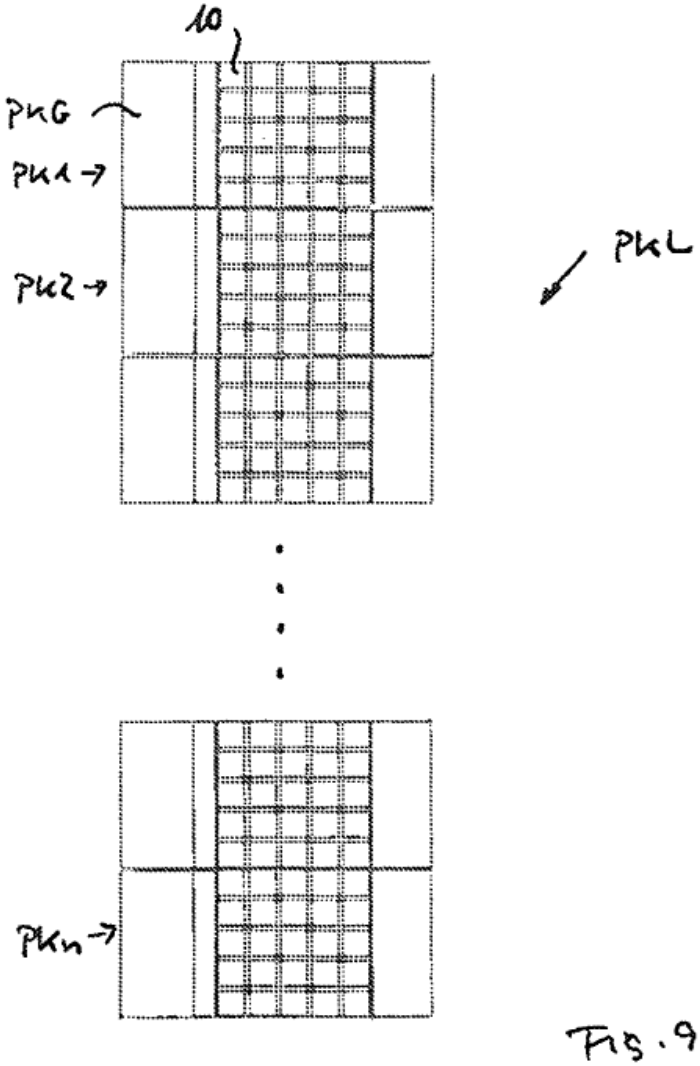


Fig. 9b

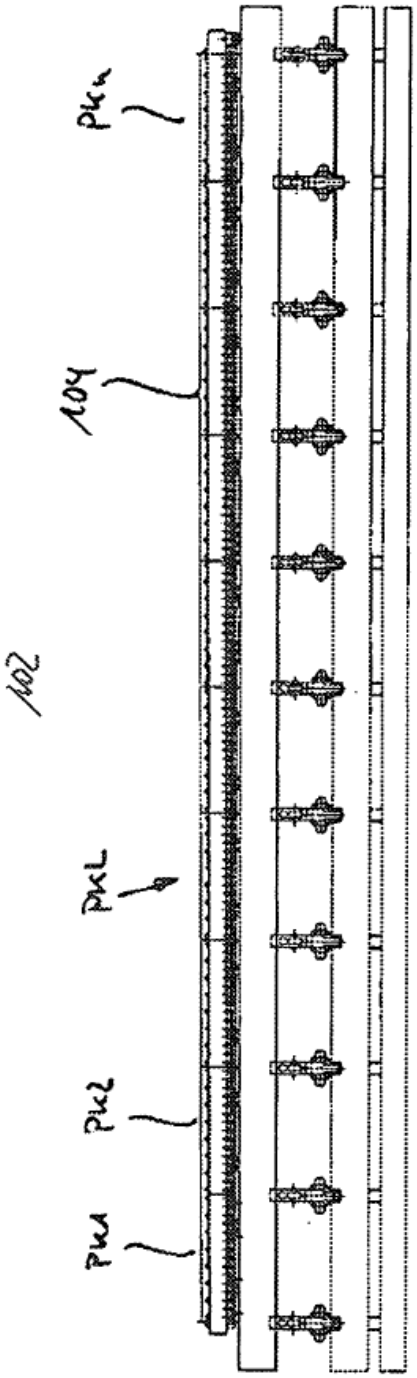


Fig. 10

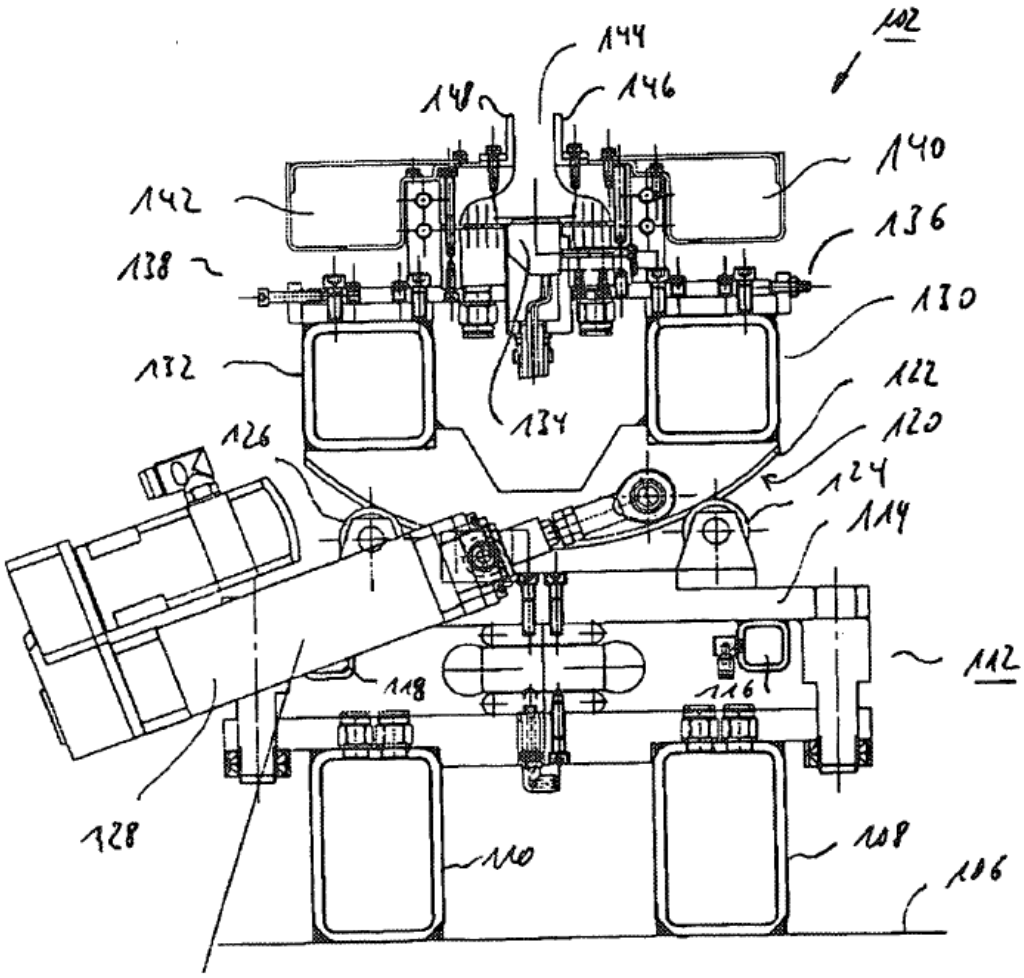

102
144
146
148
140
142
136
138
130
132
122
134
120
126
124
114
112
118
116
128
110
108
106

Fig. 11

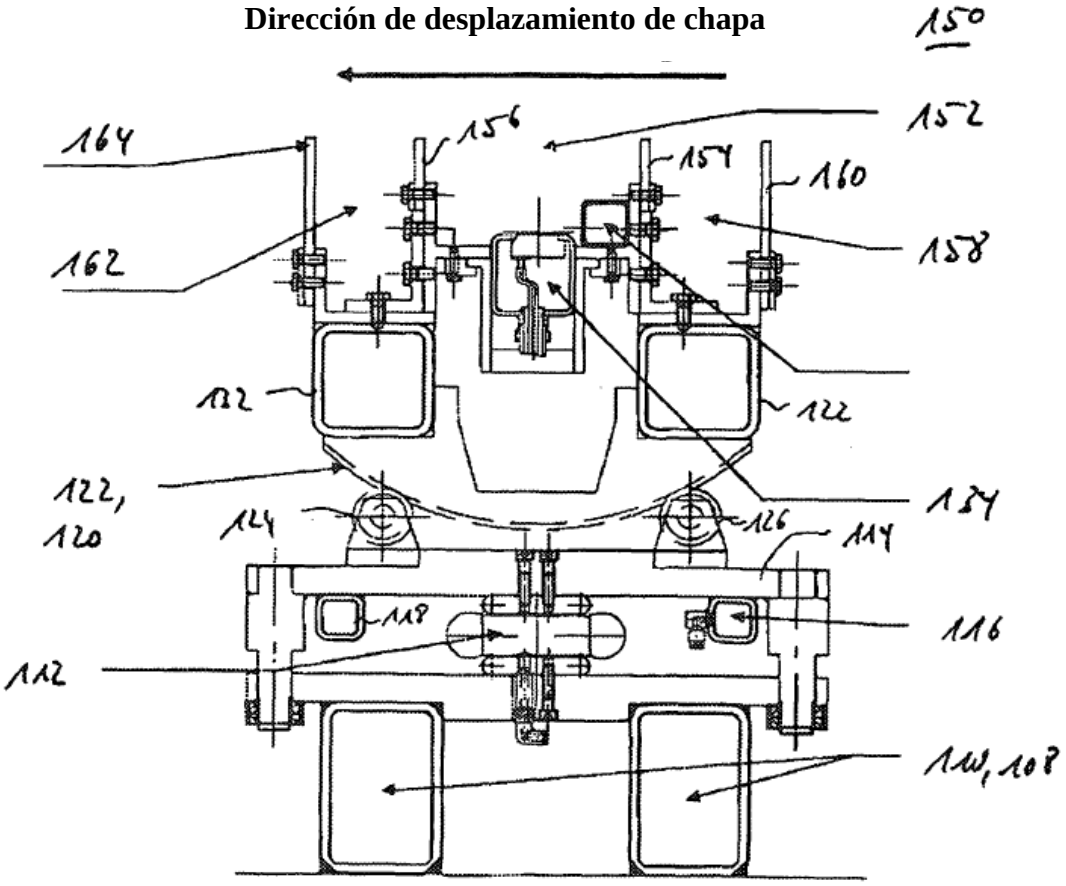

Dirección de desplazamiento de chapa
150
164
156
152
154
160
162
158
112
122
122, 120
124
126
114
118
116
112
110, 108

Fig. 12