

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 616 552**

51 Int. Cl.:

G01N 29/04 (2006.01)

G01N 29/28 (2006.01)

G01N 29/44 (2006.01)

G01N 29/06 (2006.01)

G01N 29/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.12.2008** **PCT/FR2008/001751**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.09.2009** **WO09106711**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2008** **E 08872809 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.11.2016** **EP 2223098**

54 Título: **Control no destructivo, en particular para tubos en curso de fabricación o en estado acabado**

30 Prioridad:

21.12.2007 FR 0709045

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

13.06.2017

73 Titular/es:

**V & M FRANCE (100.0%)
27 AVENUE DU GÉNÉRAL LECLERC
92100 BOULOGNE-BILLANCOURT, FR**

72 Inventor/es:

**LESAGE, FRÉDÉRIC;
SEGURA RODRIGUEZ, NIDIA ALEJANDRA y
BISIAUX BERNARD**

74 Agente/Representante:

MIR PLAJA, Mireia

ES 2 616 552 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

Control no destructivo, en particular para tubos en curso de fabricación o en estado acabado

5 **[0001]** La invención se refiere al control no destructivo de materiales, particularmente para tubos en fabricación.

[0002] Ya se conocen diferentes propuestas, sobre las que hablaremos más adelante, que están destinadas a utilizar las redes neuronales en el marco del control no destructivo de materiales. Pero estas propuestas existentes no tienen la capacidad de funcionar en un entorno industrial, en equipos que ya se encuentran en servicio, en tiempo real, y
10 permitiendo una clasificación sobre la marcha, de las imperfecciones según su naturaleza, de manera tal que un problema suscitado en fase de producción pueda ser remediado rápidamente.

[0003] La solicitud de patente francesa FR2903187 trata sobre el control no destructivo.

15 **[0004]** Otra solicitud, a saber la FR2796153, describe un dispositivo de sensores ultrasónicos que constituyen una herramienta de ayuda a la explotación, para el control no destructivo, en curso o en salida de fabricación, de productos siderúrgicos, tales como tubos u otros productos largos.

[0005] Un objetivo de la invención es mejorar la situación en dirección a un sistema que pueda:
20 - ser utilizado en un entorno industrial e implantado fácilmente en equipos ya existentes en este entorno,
- ser utilizado en tiempo real, es decir ofrecer un diagnóstico rápido particularmente a una velocidad suficiente para no disminuir la velocidad de producción global, y
- permitir una clasificación de las imperfecciones según su naturaleza, a partir de una cantidad reducida de información, para conocer su gravedad y para permitir la determinación de la causa técnica que origina la imperfección y así
25 remediar rápidamente el problema en fase de producción.

[0006] Según la invención, se propone un dispositivo que constituye una herramienta de ayuda para la explotación, para el control no destructivo de tubos (u otros productos siderúrgicos) en curso de fabricación y al salir de la misma, tal como se define por medio de la reivindicación 1. Una herramienta de este tipo está destinada a obtener informaciones
30 sobre eventuales imperfecciones del producto. Se excitan selectivamente sensores ultrasónicos emisores según una ley de tiempo seleccionada. Se captan señales de retorno mediante sensores ultrasónicos receptores que forman una disposición de geometría seleccionada, montada en acoplamiento ultrasónico con el tubo a través de un medio líquido. Finalmente, se produce un movimiento relativo de rotación/traslación entre el producto y la disposición de transductores.

[0007] La herramienta propuesta de ayuda a la explotación comprende:
35 - un conversor, capaz de aislar selectivamente una representación digital de posibles ecos en ventanas temporales designadas, en función del movimiento relativo de rotación/traslación, y de obtener una imagen de posibles imperfecciones del producto, comprendiendo dicha representación la amplitud y el tiempo de vuelo de al menos un eco, y de generar un grafo 3D paralelepípedo,
40 - un bloque de transformación capaz de generar una imagen 3D de posibles imperfecciones en el tubo a partir del grafo 3D y de una base de datos,
- un filtro, capaz de determinar, en las imágenes, zonas de hipotética imperfección, así como propiedades de cada imperfección hipotética,
- una etapa de salida configurada para generar una señal de conformidad o de no conformidad de un producto.

[0008] La invención también puede situarse en el nivel de un dispositivo de control no destructivo de tubos (u otros productos siderúrgicos) en curso de fabricación o a la salida de la misma, que comprende:
45 - una disposición de transductores ultrasónicos de geometría seleccionada, ensamblada en acoplamiento ultrasónico con el tubo a través de un medio acoplador, con movimiento relativo de rotación/traslación entre el tubo y la disposición de transductores,
50 - circuitos para excitar selectivamente estos elementos transductores según una ley de tiempo seleccionada, y para recoger las señales de retorno que son captadas por los mismos, y
- una herramienta de ayuda a la explotación tal como se define anteriormente.

[0009] La invención se refiere también a un procedimiento de control no destructivo de tubos (u otros productos siderúrgicos) en curso de fabricación o a la salida de la misma, según se define por medio de la reivindicación 14, que comprende las etapas siguientes:
55 a. prever una disposición de transductores ultrasónicos de geometría seleccionada, ensamblada en acoplamiento ultrasónico con el tubo a través de un medio acoplador, con movimiento relativo de rotación/traslación entre el tubo y la disposición de transductores,
60 b. excitar selectivamente estos elementos transductores según una ley de tiempo seleccionada,
c. recoger las señales de retorno captadas por los mismos, con el fin de analizar selectivamente estas señales de retorno, para obtener informaciones sobre eventuales imperfecciones del tubo, comprendiendo dichas informaciones la amplitud y el tiempo de vuelo de al menos un eco, y generar un grafo 3D paralelepípedo.

d. aislar selectivamente una representación digital de posibles ecos en ventanas temporales designadas, en función del movimiento relativo de rotación/traslación, y obtener una imagen 3D de posibles imperfecciones en el tubo a partir del grafo 3D paralelepípedo y de una base de datos,
e. generar una señal de conformidad o de no conformidad de un producto.

[0010] La etapa e puede comprender:

- e1. filtrar las imágenes según criterios de filtrado seleccionados, con el fin de determinar en las mismas, zonas de hipotética imperfección Zcur, así como propiedades de cada hipotética imperfección,
- e2. formar entradas digitales de trabajo, a partir de un extracto de las imágenes en correspondencia con una zona de hipotética imperfección Zcur, de propiedades de la imperfección hipotética en la misma zona, procedentes del filtro; y de datos de contexto,
- e3. aplicar las entradas así formadas a por lo menos una disposición de tipo circuito neuronal,
- e4. tratar digitalmente la salida de la disposición de tipo circuito neuronal según criterios de decisión seleccionados, para obtener una decisión y/o una alarma, y
- e5. descartar y marcar tubos de los cuales se ha decidido que no están en conformidad mediante la etapa e4.

[0011] Otros aspectos, características y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto al examinar la descripción detallada que se ofrece a continuación de algunos modos de realización no limitativos, así como los dibujos anexos en los cuales:

- la figura 1 es una vista esquemática en perspectiva de un tubo, con imperfecciones o defectos llamados patrones;
- la figura 2 es una vista lateral esquemática que ilustra un ejemplo de instalación del tipo "control de cabeza giratoria" sobre un tubo a la salida de fabricación;
- las figuras 3A a 3C son detalles de diferentes tipos de medida de espesor y de control de imperfecciones longitudinales y transversales;
- la figura 4 es el esquema conceptual de la electrónica asociada a un sensor ultrasónico de control no destructivo en una instalación clásica;
- las figuras 5A y 5B son una vista extrema y una vista lateral de un tipo particular de celda de control no destructivo, comúnmente llamada "de cabeza giratoria" y representada esquemáticamente;
- la figura 6 muestra la complejidad de los trayectos ultrasónicos encontrados en un tubo, en un ejemplo simple;
- las figuras 6A y 6B son diagramas temporales esquemáticos de señales ultrasónicas, para un sensor bajo incidencia oblicua, y para un sensor bajo incidencia normal (perpendicular), respectivamente;
- la figura 7 es una gráfica que muestra una representación clásica de la selectividad de una instalación de control;
- la figura 8 es un esquema conceptual de la electrónica asociada a un sensor ultrasónico de control no destructivo en un ejemplo de instalación susceptible de llevar a la práctica la invención;
- la figura 8A es un esquema funcional más detallado de una parte de la figura 8;
- la figura 8B es otro esquema funcional más detallado de una parte de la figura 8;
- la figura 9 es una copia de pantalla esquematizada que ilustra imágenes ultrasónicas digitalizadas de imperfecciones potenciales en un tubo;
- la figura 9A es una copia de pantalla según otra orientación;
- las figuras 10A a 10D son representaciones esquemáticas de diferentes tipos de imperfecciones según la clasificación API (American Petroleum Institute) y que constituyen los datos de salida de la red neuronal que está destinada a determinar el tipo de la imperfección;
- la figura 11 es el esquema funcional más detallado de otra parte de la figura 8;
- la figura 11A es una vista detallada del bloque de transformación de la figura 11;
- la figura 12 es un diagrama secuencial que ilustra el tratamiento de imperfecciones potenciales sucesivas en una imagen;
- la figura 13 es el esquema funcional de un sistema de filtros;
- la figura 14 es el esquema funcional de un conjunto ensamblado de red neuronal destinado a determinar el tipo de una imperfección en un tubo;
- la figura 15 es el esquema funcional de un conjunto ensamblado de red neuronal destinado a determinar el grado de seriedad de una imperfección en un tubo;
- la figura 16 es el esquema funcional del modelo de neurona;
- la figura 17 es un ejemplo de función de transferencia de una neurona elemental; y
- la figura 18 es el esquema general de una instalación para la detección de los defectos con diferentes tipos de sensores.

[0012] Los dibujos contienen elementos de carácter definido. Podrán servir, entonces, no solo para comprender mejor la presente invención, sino también para contribuir a su definición, dado el caso.

[0013] En la continuación del presente texto, un sensor ultrasónico podrá ser designado indistintamente con los términos sensor, o palpador o transductor, bien conocidos por el experto en la materia.

Circuitos neuronales

[0014] La utilización de redes neuronales en el marco del control no destructivo de materiales ha sido objeto de numerosas publicaciones, la mayor parte del tiempo bastante teóricas, y las cuales se considerarán a continuación.

[0015] El artículo "Localization and Shape Classification of Defects using the Finite Element Method and the Neural Networks" de ZAOUI, MARCHAND y RAZEK (NDT.NET-AOUT 1999, vol. IV n° resumen 8) formula propuestas en este ámbito. Sin embargo, estas propuestas se realizan en el marco de manipulaciones en laboratorio, y la aplicación descrita no permite una utilización en línea, en un entorno industrial. Además, solo se trata la detección por corrientes de Foucault, lo que habitualmente es insuficiente.

[0016] El artículo "Automatic Detection of Defect in Industrial ultrasound images using a neural Network" de Lawson y Parker (Proc. of Int. Symposium on Lasers, Optics, and Vision for Productivity in Manufacturing I (Vision Systems: Applications), Junio de 1996, Proc. of SPIE vol. 2786, págs. 37 a 47, 1996), describe la aplicación del tratamiento de imágenes y redes neuronales con la interpretación de lo que se denomina "scan TOFD". El método llamado TOFD (Time of Flight Diffraction) consiste en identificar las posiciones del sensor ultrasónico en donde se puede observar una difracción del haz en los bordes de la imperfección, lo que permite en consecuencia dimensionar la imperfección. Este método es difícilmente adaptable a los equipos de control no destructivo ya existentes, en particular en un entorno industrial.

[0017] El artículo "Shape Classification of Flaw Indications in 3-Dimensional ultrasonic Images" de Dunlop y McNab (TEE Proceedings - Science, Measurement and Technology – julio de 1995- Volumen 142, edición 4, p. 307 a 312) se refiere al diagnóstico en términos de corrosión de tuberías. El sistema permite un control no destructivo en profundidad y permite un análisis en tres dimensiones y en tiempo real. Sin embargo, el sistema es muy lento. Esto hace que su utilización en un entorno industrial resulte relativamente difícil.

[0018] El artículo "Application of neuro-fuzzy techniques in oil pipelines ultrasonic nondestructive testing" de Ravanbod (NDT&E International 38 (2005) p 643-653) sugiere que los algoritmos de detección de la imperfección pueden ser mejorados por medio de la utilización de elementos de lógica difusa, combinados en la red neuronal. Sin embargo, las técnicas estudiadas se refieren en ese caso también a la inspección de imperfecciones de tuberías y a un diagnóstico sobre imperfecciones de corrosión.

[0019] El documento DE 42 01 502 C2 describe un método para crear una señal destinada a una red de neuronas, pero no aporta más que una enseñanza nimia o nula sobre la interpretación de los resultados, en términos de diagnóstico. Además, una vez más, solo se trata la detección por corrientes de Foucault.

[0020] La publicación de patente japonesa 11-002626 se refiere a la detección de imperfecciones longitudinales únicamente, y solo por corrientes de Foucault.

[0021] La publicación de patente N° 08-110323 se conforma con un estudio en frecuencia de las señales obtenidas por ultrasonidos.

[0022] La publicación de patente N° 2003-279550 describe un programa para diferenciar una zona calificada como sana de otra zona mala de un producto utilizando una red de neuronas. Este programa no va más allá, y no permite la clasificación ni la localización de imperfecciones. En consecuencia, la aplicación de este programa puede conducir frecuentemente al rechazo de piezas que, sin embargo, serían consideradas como buenas si los resultados fueran interpretados por un operador humano.

Control no destructivo de tubos

[0023] La descripción detallada a continuación se efectúa esencialmente en el marco del control no destructivo de tubos a la salida de fabricación, a título no limitativo.

[0024] Como se indica en la figura 1, las imperfecciones en un tubo T se pueden distinguir según su posición. Así, las imperfecciones de superficie, interna o externa, comprenden las imperfecciones longitudinales LD, y las imperfecciones circunferenciales (o cruzadas o atravesadas o transversales) CD y las imperfecciones oblicuas o inclinadas ID; mediante diferentes disposiciones de sensores, se intenta detectarlas cuando se extienden sobre una longitud y una profundidad definidas según las normas o las especificaciones o pliegos de condiciones de los clientes (a título de ejemplo un valor de longitud de imperfección citado en las normas es de 1/2 pulgada, es decir 12,7 mm aproximadamente con una profundidad de alrededor de 5% del espesor del producto controlado). También son de interés las imperfecciones "dentro de la pared", es decir dentro de la masa MD (no visibles en la figura 1), que se corresponden habitualmente con inclusiones o pliegues de laminación, cuya detección se pretende al mismo tiempo que se realiza una medición del espesor. Los haces ultrasónicos se representan como divergentes en la figura 1 para hacer comprender la detección de imperfecciones. En la práctica, serán más bien convergentes, tal como se verá. Clásicamente, en el control no

destrutivo por ultrasonidos, se utiliza uno de los tres tipos de instalaciones siguientes: las instalaciones llamadas "de cabeza giratoria", las instalaciones llamadas "de tubo giratorio", y las instalaciones de sensores circundantes multi-elemento, todas ellas bien conocidas por el experto en la materia. En el caso de utilización de sensores que operan en barrido electrónico, la rotación relativa tubo/sensores es virtual. Tal como se utiliza aquí, la expresión "movimiento relativo de rotación/traslación entre el tubo y la disposición de transductores" cubre el caso en que la rotación relativa es virtual.

[0025] En la figura 2, la máquina de control no destructivo de cabeza giratoria comprende un dispositivo de ultrasonidos propiamente dicho, montado en un recinto de agua o "caja de agua" 100, que es atravesada por el tubo T a la velocidad de, por ejemplo, $v = 0,5$ metro por segundo. Los sensores o palpadores de ultrasonidos emiten ondas longitudinales en el agua. Un sensor dado trabaja por ejemplo a 1 ó varios MHz. Es excitado repetitivamente por impulsos, de forma de onda seleccionada, con una cadencia (o frecuencia) de repetición F_r que es del orden de algunos kHz o decenas de kHz, por ejemplo de 10 kHz.

[0026] Por otra parte, un transductor de ultrasonidos posee:
- una radiación de campo próximo, prácticamente paralela, en una zona llamada de Fresnel, sede de numerosas interferencias, cuya longitud en el eje del haz es

$$N = 0,25 D^2 / \lambda$$

donde D es el diámetro de la pastilla activa del transductor, y λ su longitud de onda de trabajo, y
- una radiación de campo lejano, en una zona llamada de Fraunhofer, según un haz divergente de ángulo 2α , con

$$\text{sen } \alpha = 1,22 \lambda / D$$

[0027] Las figuras 3A, 3B, 3C representan sensores que se han hecho convergentes por medio de una lente (de ultrasonidos) cóncava, tales como los que se utilizan habitualmente en las aplicaciones de control de los tubos. Se utiliza preferentemente la zona de Fraunhofer la cual tiene menos perturbaciones.

[0028] Así, para sensores tales como P11 y P12, el haz de ultrasonidos, que está en general focalizado, se extiende en las proximidades de un plano perpendicular al eje del tubo T. La detección se realiza pues sensiblemente en sección transversal. Sus cometidos son los siguientes:

- o bien, su haz es también perpendicular al eje del tubo T en sección transversal, y sirven para la medición del espesor (por ejemplo P1, figura 3A); se habla entonces de "palpación transversal";
- o bien, su haz incide sobre el eje del tubo T, en sección transversal, y sirven para detectar las imperfecciones longitudinales (por ejemplo P11, figura 3B). En este caso, el ángulo de incidencia en sección transversal se selecciona, preferentemente, para crear en el tubo solo ondas ultrasónicas transversales o de cizallamiento, teniendo en cuenta características de la interfaz agua/metal del tubo (en principio agua/acero). Se prevé generalmente dos sensores P11 y P12, de incidencias opuestas con respecto al eje del tubo (figura 2).

[0029] La máquina comprende también sensores tales como P21 y P22 cuyo haz de ultrasonidos, en cambio, que por norma general también está focalizado, se extiende en las proximidades de un plano que pasa por el eje del tubo, pero incidente con respecto al plano perpendicular al eje del tubo T (véase el sensor P21, Figura 3C). En este caso, el ángulo de incidencia con respecto al plano perpendicular al eje del tubo es preferentemente elegido para crear en el tubo solo ondas ultrasónicas transversales o de cizallamiento, teniendo en cuenta características de la interfaz agua/metal del tubo (en principio agua/acero). Estos sensores sirven para detectar las imperfecciones transversales. Se prevé generalmente dos sensores P21 y P22, de incidencias opuestas con respecto al plano perpendicular al eje del tubo (figura 2).

[0030] El control de las imperfecciones se realiza generalmente focalizando el haz. El punto de focalización se mide con respecto al "salto", que se corresponde con el primer trayecto de ida y vuelta de los ultrasonidos en el espesor del tubo. Así, el sensor de la figura 3A se focaliza a mitad del salto, mientras que los sensores de las figuras 3B y 3C se focalizan a tres cuartos del salto. Por otra parte, el control de las imperfecciones externas se realiza generalmente en el salto, y el de las imperfecciones internas en la mitad del salto.

[0031] Se designa con T_a el tiempo de presencia requerido para que el palpador pueda recibir correctamente el retorno del haz de ultrasonidos, representativo de una eventual imperfección. Este tiempo T_a depende de la suma de los dos tiempos siguientes:

- por un lado el tiempo de propagación de ida y vuelta de ondas ultrasónicas longitudinales, sobre la altura de la "columna de agua" presente entre el palpador y el tubo, en el trayecto de los ultrasonidos,
- por otro lado el tiempo de propagación de ondas ultrasónicas transversales, tal como el que se requiere en el interior del tubo para conseguir que el control sea no destructivo. Este tiempo depende principalmente de una elección del número deseado de reflexiones de las ondas transversales en el interior de la pared del tubo.

[0032] Clásicamente, los palpadores son puestos en rotación en torno al eje del tubo, por medios no representados, a una velocidad T del orden de varios millares de vueltas por minuto, (6000 rpm por ejemplo). En el caso también conocido por los expertos en la materia, en el que es el tubo el que es puesto en rotación mientras que los palpadores no lo son (instalación llamada "de tubo giratorio") la velocidad de rotación del tubo es del orden de algunas decenas a algunos millares de vueltas por minuto.

[0033] Se puede llamar "celda" a cada conjunto de sensor - medio de transmisión (agua) - tubo. Para una celda, se debe considerar además la abertura de haz Od de los palpadores de ultrasonidos en detección. Una abertura se puede definir con dos componentes (figura 1), una $Od1$ en la sección transversal del tubo, y la otra $Od2$ en el plano que pasa por el eje del tubo y el palpador.

[0034] El reglaje de la instalación (en función de la velocidad de rotación, de la velocidad de desplazamiento, de las dimensiones $Od1$ y $Od2$ y del número de palpadores) debe garantizar un barrido, por parte de los haces ultrasónicos, del conjunto de las superficies y del volumen del tubo a controlar.

[0035] Cabe destacar que ciertas normas o pliegos de condiciones o especificaciones de los clientes imponen un recubrimiento de las zonas barridas.

[0036] Por lo tanto, el tiempo de análisis Ta se define por un compromiso entre:

- la cadencia (o frecuencia) de repetición Fr ,
- en sección transversal del tubo, la velocidad de rotación ω , teniendo en cuenta la abertura en detección $Od1$ de los palpadores de ultrasonidos (en otras palabras, teniendo en cuenta la rotación de los sensores, la componente $Od1$ de la abertura de haz debe permitir un tiempo de presencia de la imperfección delante de los sensores, que sea al menos igual a Ta),
- la longitud del tubo, la velocidad de desplazamiento v del mismo, teniendo en cuenta la abertura en detección $Od2$ de un palpador de ultrasonidos, y del número NFi de palpadores dedicados a la misma función Fi (que constituyen por lo tanto un grupo de palpadores), en la periferia del tubo (en otras palabras, teniendo en cuenta el avance del tubo, la componente $Od2$ de la abertura de haz debe permitir un tiempo de presencia de la imperfección delante del sensor (o del grupo de sensores), que sea al menos igual a Ta).
- el número de palpadores dedicados al mismo cometido (es decir a la misma función), y
- los tiempos de propagación de las ondas tal como se ha definido anteriormente.

[0037] Clásicamente, la maquina comprende de manera típica en total dos sensores tales como $P11$, $P12$ para el control de las imperfecciones de tipo LD, y eventualmente ID, dos sensores tales como $P21$, $P22$ para el control de las imperfecciones de tipo CD, a los que se suma en principio un sensor tal como $P1$, para la medida del espesor del producto y el control de las imperfecciones de tipo MD. Cada sensor puede ser de hecho un grupo de sensores que trabajan en conjunto, como se verá más adelante.

[0038] La máquina posee, de forma integrada o aparte, una electrónica de excitación y de detección asociada a cada uno de los sensores. Comprende (figura 4) un emisor 70 de impulsos, por ejemplo a 250 voltios para la excitación del palpador $P0$ montado en la caja de agua 100. Como parte integrante del sistema de control no destructivo, el palpador de ultrasonidos $P0$, aquí emisor/receptor, recibe los ecos consecutivos de esta excitación. Las líneas 700 y 710 transmiten respectivamente el impulso de excitación y la señal de los terminales del palpador a un amplificador 73.

[0039] La salida del amplificador 73 sirve para la visualización por parte del operador y/o el gobierno de un autómata de clasificación, capaz de descartar (aguas abajo) los tubos no conformes.

[0040] La visualización se realiza por ejemplo mediante un osciloscopio 750, que recibe como señal la salida del amplificador 73, y como base de tiempos 752 una señal de una etapa de sincronización 753 proveniente del emisor 70. Una etapa de umbral 754 evita la saturación del osciloscopio en el momento del impulso de emisión.

[0041] Otra salida del amplificador 73 va hacia una etapa de tratamiento de señal 760. Este tratamiento comprende generalmente una rectificación, un alisado y un filtrado. Le sigue una etapa de detección o selector 762, capaz de aislar los ecos significativos, según una manera conocida. En la detección de la imperfección, es la presencia de un eco, con su amplitud o su duración (por lo tanto su energía), lo que es significativo, en ciertos intervalos de tiempo, esencialmente en la mitad del salto y en el salto. Para la detección del espesor, se verifica que la distancia equivalente de la separación temporal entre los ecos de fondo respectivos se corresponde bien con el espesor deseado del tubo. Las anomalías detectadas según estos criterios pueden servir para emitir una alarma en 764, y/o para gobernar un autómata 766 de clasificación que rechaza los tubos no conformes, marcándolos según la anomalía o anomalías detectadas.

[0042] Materialmente, en el caso de una instalación de cabeza giratoria (figuras 5A y 5B), la celda comprende nuevamente, sobre un soporte mecánico 80, la caja de agua 100, que aloja un conjunto sensor $P0$, con una conexión 701, que une las líneas 700 y 710 de la figura 4. Se prevén por ejemplo tres rodamientos 81 a 83 para centrar el tubo T .

[0043] Según la técnica conocida (maquina comercializada por ejemplo por la sociedad alemana GE NUTRONIK, antiguamente NUKEM), el conjunto sensor P0 comprende sensores que giran a algunos millares de revoluciones/minuto alrededor del tubo. Se puede utilizar también una pluralidad de sensores repartidos en anillo alrededor del tubo. El anillo comprende por ejemplo 6 sectores de 128 sensores ultrasónicos, repartidos en torno a la periferia. Los sectores de sensores están ligeramente desplazados de manera alternada en el sentido del eje del tubo. Esto permite tener un solapamiento entre dos sectores de sensores consecutivos longitudinalmente, y reduce también los problemas de interferencias. La interferencia tiene lugar cuando un sensor dado recibe ecos debidos a un disparo efectuado sobre otro sensor.

[0044] A esto se le suma un mecanismo (no representado) de guiado del tubo aguas arriba y abajo del puesto de control no destructivo, para posicionar bien el tubo que se desplaza continuamente, con respecto a los sensores de ultrasonidos.

[0045] El control no destructivo debe realizarse sobre toda la periferia del tubo. Pero también es esencial que este control siga la velocidad lineal v del tubo a la salida de fabricación. Se llega pues a un compromiso entre la velocidad lineal v del tubo, la cadencia (o frecuencia) de repetición Fr , el tiempo de análisis Ta , la abertura de trabajo Od del palpador de ultrasonidos en detección, y la velocidad de rotación ω , de manera que el número de sensores garantiza la misma función y la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas.

[0046] También es deseable que la misma instalación pueda trabajar sobre toda una gama de diámetros de tubos (y también de espesores de tubos), que cubran la gama de producción. Es frecuente por tanto prever varios valores de la velocidad de rotación ω y de la frecuencia de repetición Fr , valores que se seleccionan en función del diámetro del tubo a tratar.

[0047] Se observará finalmente que todo cambio de fabricación implica un nuevo reglaje de los ángulos de ataque de los ultrasonidos de cada sensor en la periferia del tubo. Esta operación delicada, efectuada manualmente, lleva normalmente del orden de media hora, tiempo durante el cual se interrumpe la producción de tubos. Tales son las condiciones en las que se efectúa actualmente el control no destructivo por ultrasonidos de los tubos, o de otros productos perfilados y/o de paredes finas, a la salida de fabricación.

[0048] En el ámbito del control no destructivo por ultrasonidos, se utiliza habitualmente la siguiente terminología:

- "barrido" (o "scan") designa una sucesión de posiciones relativas tubo/sensor,
- "incremento" designa el paso del barrido (inversamente proporcional a la frecuencia de repetición o frecuencia de disparos ultrasónicos),
- "Ascan" designa la gráfica de la tensión eléctrica medida en los terminales de un sensor ultrasónico, que tiene como abscisa el tiempo de vuelo y como ordenada una representación de la tensión eléctrica, llamada también amplitud ultrasónica,
- "Bscan" designa una imagen relativa a un valor dado del incremento, que tiene, como abscisa, el barrido correspondiente al disparo ultrasónico, eventualmente expresado en grados de ángulo del sensor con respecto a la pieza a inspeccionar, como ordenada el tiempo de vuelo, y en cada punto la amplitud ultrasónica convertida en escala de grises o colores.
- "Ecodinámica" designa una gráfica que tiene, como abscisa, la indicación del disparo ultrasónico y como ordenada la amplitud máxima hallada en un selector temporal del Ascan para el disparo correspondiente,
- "Cscan" designa una imagen que tiene, como abscisa y como ordenada, la posición equivalente en un espacio plano, del punto de disparo de la onda ultrasónica, y que representa, convertida en escala de grises, la amplitud ultrasónica máxima para este disparo hallada en el selector temporal considerado del Ascan ("amplitud de la imagen"). En el caso de un tubo, un punto de la abscisa del Cscan se corresponde con una posición sobre la longitud del tubo y un punto de la ordenada se corresponde con una posición sobre la circunferencia del tubo. En el caso de un producto plano, un punto de la abscisa del Cscan se corresponde con una posición sobre la longitud del producto plano, y un punto de la ordenada se corresponde con una posición sobre el ancho del producto plano.

[0049] Por otra parte, la solicitante utiliza en lo que sigue de la descripción los siguientes términos:

- "Bscan 3D paralelepípedo" que designa una representación 3D que consta además de la posición del sensor en el eje del tubo, considerándose la representación como bruta, y no apareciendo la forma del tubo,
- "Bscan 3D reducido" que designa un Bscan 3D paralelepípedo limitado a una zona con indicación ultrasónica de defecto probable a la salida de los filtrados,
- "Bscan 3D tubo" que posee las mismas dimensiones que el Bscan 3D paralelepípedo, representándose los datos en el tubo inspeccionado, y pudiendo constituir eventualmente la amplitud una dimensión suplementaria.

[0050] La figura 6 es una vista en sección longitudinal esquemática de un sistema formado por un sensor, su columna de agua y el tubo, y con una ilustración de diferentes trayectos ultrasónicos que forman ecos. Esta permite comprender bien la complejidad de estos trayectos, y la dificultad del análisis.

[0051] La figura 6A es un diagrama esquemático de amplitud/tiempo de la señal ultrasónica en el nivel de un sensor que trabaja bajo incidencia oblicua. A partir del instante T_{excit} de excitación del sensor, se encuentra un eco de interfaz agua-tubo en el instante T_{interf} (que se puede también indicar como $T_{phiExter0}$). A continuación se marcan (línea de puntos vertical) el instante $T_{phiInter}$ en el que el haz de ultrasonidos alcanza la superficie interna del tubo, donde se refleja y refracta, así como el instante $T_{phiExter1}$ en el que el haz de ultrasonidos alcanza la superficie externa del tubo. Debido a la incidencia oblicua, no hay eco reflejado significativo que vuelva al sensor en $T_{phiInter}$ en ausencia de imperfecciones en este lugar. Esto vale también en $T_{phiExter1}$.

[0052] La figura 6B es un diagrama esquemático de amplitud/tiempo de la señal ultrasónica en el nivel de un sensor que trabaja bajo incidencia normal. La cronología general de las señales es la misma que para la figura 6A (salvo por un factor ligado a la incidencia). Por el contrario, bajo incidencia normal, hay ecos significativos en $T_{phiInter}$ y en $T_{phiExter1}$, incluso en ausencia de imperfecciones en los lugares en cuestión del tubo.

[0053] Actualmente, los sistemas de control no destructivo utilizados en producción de tubos funcionan aplicando la relación K entre:

- la amplitud A_s de una señal que proviene del tubo a inspeccionar, y
- la amplitud A_0 de la señal que proviene de un defecto patrón de referencia, para el tipo de control considerado. Este "defecto patrón de referencia" está en general definido en un tubo patrón provisto de un defecto artificial (por ejemplo una entalla en U o en V) de características dimensionales seleccionadas, por ejemplo de acuerdo a una norma de control no destructivo, y/o al pliego de condiciones de un cliente.

[0054] La hipótesis implícita es que esta amplitud de señal es proporcional a la criticidad de la imperfección, es decir a su profundidad (DD). La gráfica de la figura 7 (bien conocida por los expertos en la materia, véase *Nondestructive Testing Handbook* - capítulo *statistics* del volumen 7 publicado por la ASNT- *American Society for Nondestructive Testing*) representa la repartición real $K = f(DD)$. Muestra que en realidad, la correlación es muy mala (del orden de 0,3 a 0,4 para el control por ultrasonidos).

[0055] Más precisamente, en la gráfica de la figura 7, si se fija la amplitud de referencia A_0 ($K=1$) en el valor XL (profundidad de la imperfección máxima aceptable) en el centro de la distribución (ella misma alineada sobre la oblicua TDis), se ve que aún se pueden encontrar imperfecciones en $K = 0,5$ de profundidad DD superior a XL. De ahí resulta que, por prudencia, es necesario fijar A_0 para un valor claramente más bajo que XL. En consecuencia, se rechazan de la producción tubos que, sin embargo, serían de hecho satisfactorios. Económicamente esto resulta todavía más nefasto por cuanto las técnicas de fabricación de tubos continúan siendo bastante arduas, tanto en complejidad como en necesidades de energía.

[0056] La Solicitante, por lo tanto, se propone mejorar la situación.

[0057] La figura 8 muestra un dispositivo mejorado con respecto al de la figura 4.

[0058] La salida del amplificador 73 es aplicada a una etapa 761, que digitaliza la amplitud de la señal proveniente del amplificador 73, y trabaja sobre esta señal digitalizada. Este tratamiento será descrito más adelante en referencia a la figura 11. A continuación se pueden mantener etapas 764 y 766 funcionalmente similares a las de la figura 4. La señal bruta del sensor, tal como se ve en el osciloscopio 750, se denomina A-Scan por parte de los expertos en la materia. Comprende ecos según el esquema definido por la figura 6.

[0059] Es deseable pasar a la obtención de imágenes de las imperfecciones del tubo, con la ayuda de las señales de ultrasonidos. Se describirá ahora la obtención de una imagen.

[0060] En la práctica, una imagen se obtiene considerando varias exploraciones sucesivas del tubo por un sensor Px, bajo ángulos sucesivos que cubren sensiblemente una sección transversal del tubo. Es posible realizarlo con disparos sucesivos por un solo sensor, utilizando la rotación relativa tubo/sensor.

[0061] Nos situamos aquí, a título de ejemplo no limitativo, en el caso de una instalación del tipo llamado de cabeza giratoria.

[0062] En la figura 8A, se considera un sensor Px, que puede ser de uno de los tipos P1, P11, P12, P21 y P22 citado previamente. En el ejemplo ilustrado, este sensor Px comprende de hecho n sensores elementales Px-1, ..., Px-i, ..., Px-n, que están alineados según el eje longitudinal del tubo, y que son objeto de un disparo ultrasónico en el mismo momento. En la figura 8A, lo que se encuentra entre los sensores elementales y el grafo 3D de salida 769 puede ser considerado como un conversor.

[0063] La señal Ascan del primer sensor elemental Px-1 es aplicada a un amplificador 73-1, seguido de dos vías paralelas: la del selector 763-1A y la del selector 763-1B. Cada selector 763-1A comprende dos salidas respectivamente

de amplitud máxima y de tiempo de vuelo. La salida de amplitud máxima está conectada a un digitalizador de línea 765-1Aa. La salida de tiempo de vuelo está conectada a un digitalizador de línea 765-1At.

[0064] La salida del digitalizador de línea 765-1Aa de amplitud máxima está conectada a unos medios de almacenamiento intermedio de datos 768-Aa que recopilan los datos provenientes de los digitalizadores de línea de amplitud máxima 765-iAa de índice i que va de 1 a n. La salida del digitalizador de línea 765-1At de tiempo de vuelo está conectada a unos medios de almacenamiento intermedio de datos 768-At que recopilan los datos provenientes de los digitalizadores de línea de tiempo de vuelo 765-iAt de índice i que va de 1 a n. La salida del digitalizador de línea 765-1Ba de amplitud máxima está conectada a unos medios de almacenamiento intermedio de datos 768-Ba que recopilan los datos provenientes de los digitalizadores de línea de amplitud máxima 765-iBa de índice i que va de 1 a n. La salida del digitalizador de línea 765-1Bt de tiempo de vuelo está conectada a unos medios de almacenamiento intermedio de datos 768-Bt que recopilan los datos provenientes de los digitalizadores de línea de tiempo de vuelo 765-iBt de índice i que va de 1 a n.

[0065] Sobre la base de las informaciones obtenidas durante el avance del tubo patrón, el operador puede introducir en los medios de almacenamiento intermedio 768-Aa y 768-At la información T_1A correspondiente a una indicación de posición y de ancho temporal, que le indica, en función de la geometría conocida del tubo, los instantes en los que encontrará un "eco de superficie interna", relativo al interior del tubo por ejemplo el primer eco Int1 de la figura 6. La figura 6A muestra más claramente la ventana temporal "Int" correspondiente, en torno a TphiInter.

[0066] Del mismo modo, sobre la base de las informaciones obtenidas durante el avance del tubo patrón, el operador puede introducir en medios de almacenamiento intermedio 768-Ba y 768-Bt la información T_1B que se corresponde con una indicación de posición y de ancho temporal, que le indica, en función de la geometría conocida del tubo, los instantes en los que encontrará un "eco de superficie externa", relativo al exterior del tubo, por ejemplo el primer eco Ext1 de la figura 6. La figura 6A muestra más claramente la ventana temporal "Ext" correspondiente, en torno a TphiExter.

[0067] El esquema se repite para los otros sensores Px-2, ... Px-i, ... Px-n.

[0068] Así, cada selector temporal 763 define ventanas temporales teniendo en cuenta el instante de emisión de los ultrasonidos, e intervalos de tiempo predeterminables en los que se pueden esperar ecos referentes a este selector. La ilustración de las figuras 6 muestra cómo se pueden definir los intervalos de tiempo interesantes, teniendo en cuenta el ángulo de ataque del haz ultrasónico sobre el tubo, así como el diámetro (interno o externo) y el espesor del tubo. Un intervalo de tiempo dado se corresponde con un eco dado en un punto dado del tubo, para una posición relativa dada entre el tubo y el sensor.

[0069] Para simplificar, se admite aquí que los instantes de disparos están sincronizados con la rotación relativa tubo/sensores, de manera tal que un sensor elemental trabaja siempre sobre la misma generatriz longitudinal del tubo. La salida de su selector provee, por lo tanto, una serie espaciada de muestras analógicas de señal, que se corresponden cada una con la amplitud de un eco esperado en una pared del tubo. Estas muestras del sensor Px-1 (por ejemplo) son digitalizadas en 765.

[0070] El sincronismo con la emisión se puede garantizar mediante una conexión (no representada) con el emisor 70, o con su disparador, el circuito de sincronización 753, o su base de tiempos 752 (figura 8). La visualización 750 puede ser mantenida, si se desea. El sistema puede funcionar sobre un tubo que gira a velocidad sensiblemente constante. En este caso, la velocidad angular y el avance del tubo pueden ser medidos con la ayuda de un codificador angular preciso, por ejemplo el modelo RS0550168 provisto por la sociedad Hengstler, y de un velocímetro láser, por ejemplo el modelo LSV 065 provisto por la sociedad Polytec. El tubo también puede no girar, mientras que es el sistema de sensores el que gira. En este caso, el velocímetro láser es suficiente para medir el avance del tubo, mientras que la velocidad de rotación de los sensores es conocida por medio de un codificador angular.

[0071] Para un disparo dado, el conjunto de los sensores Px-1 a Px-n provee una línea de una imagen, que se corresponde con una sección transversal del tubo. En la otra dimensión de la imagen, un sensor elemental dado provee una línea que se corresponde con una generatriz del tubo.

[0072] Los digitalizadores 765-1Aa, 765-2Aa, ..., 765-iAa, ..., 765-nAa y 765-1At, 765-2At, ..., 765-iAt, ..., 765-nAt permiten completar una imagen "interna", relativa a la superficie interna del tubo. Los digitalizadores 765-1Ba, 765-2Ba, ..., 765-iBa, ..., 765-nBa y 765-1Bt, 765-2Bt, ..., 765-iBt, ..., 765-nBt permiten completar una imagen "externa", relativa a la superficie externa del tubo, con Tvol max el tiempo de vuelo del eco de amplitud máxima.

[0073] El grafo 3D paralelepípedo memorizado en 769 se corresponde con el sensor o grupo de sensores Px considerado. Cada punto de esta imagen, transportado a tonalidades de gris, se corresponde con un valor de amplitud del eco debido a la reflexión de la señal ultrasónica sobre una imperfección eventual de la zona del tubo considerada. Este valor también puede representar la relación entre la amplitud máxima de la señal ultrasónica captada en el tubo en

el curso de la prueba y la amplitud máxima de la señal ultrasónica obtenida con un "defecto patrón de referencia" artificial, tal como se ha definido anteriormente. El grafo 3D paralelepipedico es una representación del Bscan 3D preparatorio digitalizado en 769 - preparatorio en el sentido de que sirve como base para la generación del Bscan 3D del tubo. La forma del grafo 3D es generalmente distinta de la forma del producto examinado, particularmente para los tubos.

[0074] Las informaciones del grafo 3D paralelepipedico pueden comprender el conjunto de los pares (tiempo de vuelo, amplitud) de la curva AScan en una duración de digitalización determinada.

[0075] Los grafos 3D paralelepipedicos digitalizados en 769 comprenden los grafos 3D paralelepipedicos 891 contruidos a partir de los datos provenientes de un grupo de sensores P11 y los grafos paralelepipedicos 892 contruidos a partir de los datos provenientes de un grupo de sensores P12 y respectivamente P21 y P22 tal como se representa en la figura 11.

[0076] Esta imagen se corresponde ahora con una zona del tubo, obtenida por la unión de las zonas sensiblemente anulares del tubo que se corresponden con cada una de las líneas digitalizadas. De hecho, se trata de zonas anulares o helicoidales si el haz de ultrasonidos se aplica sensiblemente de forma perpendicular al eje del tubo. Se sabe que es de otra forma según el movimiento relativo tubo/sensor. Las zonas son por tanto más bien elípticas y, de hecho, alabeadas o están "torcidas" en el espacio. En la presente descripción, la expresión "zonas anulares" cubre estas diferentes posibilidades.

[0077] Cabe destacar que para obtener una reproducción completa del grafo 3D, la información suplementaria de posicionamiento del sensor con respecto al tubo es necesaria. Esta se encuentra disponible en una entrada separada 740. Esta información viene de un codificador o de un conjunto de láseres que permiten medir el posicionamiento espacial. Como el tubo se puede equiparar a un cilindro sin espesor, la información de posición puede ser reducida a dos dimensiones.

[0078] Se entiende que la puesta en práctica de la invención en un banco existente de control por ultrasonidos ("UT bench") implica:

- la accesibilidad a los datos brutos de control por ultrasonidos ("UT Raw Data"), que se realiza por ejemplo con la ayuda de una tarjeta de adquisición, como el modelo NI 6024 serie E o NI 6251 serie M de la sociedad National Instrument, o por acceso directo a los datos digitales de una electrónica de control del Banco,
- la disponibilidad de una información en línea sobre la velocidad de rotación (del tubo o sensor) o la posición angular relativa del tubo con respecto al sensor, y
- la disponibilidad de una información en línea sobre la velocidad de avance del tubo o la posición lineal relativa del sensor proyectada en el eje.

[0079] El esquema de la figura 8A puede ser aplicado:

- en paralelo a un sensor de tipo P11 y a un sensor de tipo P12 que observan la misma zona del tubo según dos direcciones diferentes. Cada sensor va a permitir obtener una imagen interna y una imagen externa. A continuación, podrá seleccionarse una de las imágenes en función de una orden denominado "Int/Ext".
- en paralelo a un sensor de tipo P21 y a un sensor de tipo P22, que, también en este caso, permitirán, cada uno de ellos, obtener una imagen interna y una imagen externa.

[0080] El esquema de la figura 8A puede también ser aplicado a un sensor de tipo P1, en cuyo caso se prevén tres vías paralelas detrás de cada amplificador (al menos de forma virtual). Una de las vías funciona en un intervalo temporal repetitivo posicionado tal como se indica en "Volum." en la figura 6B. Esta vía permite un control de imperfecciones de volumen, es decir en el espesor del tubo.

[0081] Las otras dos vías pueden funcionar respectivamente en los intervalos temporales repetitivos posicionados como se indica en "WphiExter0" y en "WphiInter1" en la figura 6 B. Estas otras dos vías permiten una medida del espesor del tubo.

[0082] La distinción entre las 3 vías es puramente funcional (virtual). En efecto, las otras dos vías mencionadas pueden ser físicamente la misma, en la que se discriminan los instantes o intervalos "WphiExter0" y "WphiInter1". Se puede también utilizar una sola vía física, en la que se discriminan los instantes o intervalos "WphiExter0", "Volum." y "WphiInter1".

[0083] Es representativo describir de forma más detallada el caso de un sensor de tipo P11 con un sensor de tipo P12. Esto es lo que se hará a continuación.

[0084] Se recuerda que estos dos grupos de sensores P11 y P12 sirven para la detección de imperfecciones longitudinales en los tubos. El control ultrasónico es realizado con disparos de ultrasonidos (US) en dos direcciones privilegiadas ("clock wise" - "counter clock wise"):

- Un sensor o grupo de sensores P11 provee una imagen ultrasónica del tubo en una dirección de trabajo ("clock wise").
- Un segundo sensor o grupo de sensores P12 provee una imagen ultrasónica del mismo tubo en otra dirección de trabajo ("counter clock wise").

- 5 **[0085]** Así, las imperfecciones longitudinales son ventajosamente detectadas con 2 sensores o grupos de sensores cuyos ejes de haz están inclinados simétricamente con respecto a un plano perpendicular al eje del tubo. La inclinación es por ejemplo de aproximadamente $\pm 17^\circ$. Esto aporta un ejemplo de aplicación del sistema con dos sensores, o dos grupos de sensores, tal como se ha mencionado anteriormente.
- 10 **[0086]** En el modo de realización de la figura 8B, cada ventana de digitalización 782 proveniente de un amplificador 781 puede ser caracterizada por un comienzo, una duración y una frecuencia de digitalización que definen un número n de puntos de la señal AScan que se está considerando. Cada ventana de digitalización 782 provee por tanto un número n de pares de información (Amplitud, Tiempo de vuelo), para cada disparo ultrasónico. La Memoria intermedia/Multiplexor 788 entrega el conjunto de los datos así recopilados al grafo 3D paralelepípedo 769 teniendo en cuenta posiciones respectivas de los sensores en el momento en que la señal se ha recibido, esto gracias a la vez al conocimiento de la configuración geométrica de los sensores unos con respecto a los otros, y gracias a la información de posicionamiento tubo/sensor en el momento del disparo ultrasónico 740.
- 15 **[0087]** Se hace ahora referencia a la figura 9. Para el primer sentido de control (pestaña "sentido 1" seleccionada), las imágenes 903 y 904 son vistas en sección (respectivamente transversal y longitudinal) del Bscan 3D de Tubo, 3D con la geometría del tubo, tal como se describe más adelante, proveniente de los sensores P11. El posicionamiento de estas secciones se fija gracias a los parámetros "sección transversal a (mm)" y "sección longitudinal a (grados)". Las imágenes 905 (interna) y 906 (externa) son CScans, tal como se ha definido precedentemente, concentrándose la imagen 905 (respectivamente 906) en una zona temporal del Ascan donde se supone que se han detectado las imperfecciones de superficie interna (respectivamente externa). Las informaciones necesarias para la reconstrucción de las imágenes 905 y 906 provienen del BScan 3D paralelepípedo 891 de la figura 11.
- 20 **[0088]** La imagen 901 es una representación 3D en transparencia del Bscan 3D de Tubo de una porción del producto a controlar, porción en la que se identifican zonas potencialmente interesantes, tal como se describe más adelante. Las mismas imágenes 903 bis, 904 bis, 905 bis y 906 bis y 902 se reproducen para el segundo sentido de control (pestaña "sentido 2" activada), véase la figura 9A.
- 25 **[0089]** Se recuerda aquí que la descripción precedente se refiere a la detección de defectos en orientación longitudinal. El mismo razonamiento se aplica para la búsqueda de defectos transversales (con los grupos de sensores P21 y P22).
- 30 **[0090]** Ahora se hace referencia a la figura 11. Los bloques de imágenes 901 y 902 son obtenidos a partir de los grafos 3D paralelepípedos 891 y 892 por medio del bloque de transformación 930 tal como se detalla en la figura 11A. El bloque conversor 891 de la figura 11 se corresponde con el conjunto ensamblado de la figura 8A, aplicado al sensor P11. De la misma forma, el bloque conversor 892 se corresponde también con el conjunto ensamblado de la figura 8A, pero aplicado al sensor P12. Los bloques conversores 891 y 892 utilizan los datos de contexto de tubo/sensores del bloque 740. Estos datos son relativos a las características del tubo en curso de examen y de los sensores en curso de utilización.
- 35 **[0091]** El bloque de transformación 930 está dispuesto aguas abajo de los grafos 3D paralelepípedos 891 y 892, y puede presentar la estructura ilustrada en la figura 11A. El bloque de transformación 930 efectúa un cálculo temporal de recorrido de la propagación de las ondas en el tubo tomando en cuenta la conversión de modos en el momento del impacto de una onda ultrasónica en un defecto. En el impacto, una onda transversal puede transformarse en onda longitudinal y viceversa. El bloque de transformación 930 puede estimar la propagación de la energía del haz acústico a partir de cálculos de coeficientes de transmisión y de reflexión. Se puede realizar un análisis del espectro frecuencial del Ascan. El bloque de transformación 930 puede comprender una base de datos 939 de ensayos reales o simulados que permite una comparación con los grafos 3D recibidos. El bloque de transformación 930 puede reproducir la imagen Bscan 3D con la geometría del tubo.
- 40 **[0092]** Como se ilustra en la figura 11A, el bloque de transformación 930 comprende dos bloques 931 y 932 de eliminación de zonas no útiles de Bscans 3D a partir de un grafo 3D, el bloque 931 que procesa los datos de las imágenes 3D 891 y el bloque 932 que procesa los datos de las imágenes 3D 892, dos bloques 933 y 934 de filtrado por aplicación de una ventana temporal simulada, aguas abajo respectivamente de los bloques 931 y 932, un bloque de simulación teórica 935, un bloque de cálculo de tolerancia 937 que alimenta un bloque de algoritmo inverso 936, el bloque 936 que provee las imágenes 901 y 902 definidas precedentemente.
- 45 **[0093]** La eliminación por parte de los bloques 931 y 932 permite reducir la cantidad de información procesada conservando las zonas potencialmente interesantes a representar de forma tridimensional. El filtrado puede ser efectuado a partir de un Cscan de manera longitudinal. La longitud seleccionada puede ser superior a la longitud de una
- 50
- 55
- 60

zona de amplitud superior a un umbral. A continuación, se pueden procesar los Bscans 3D paralelepípedicos que contienen una zona de imperfección potencial.

[0094] El filtrado por parte de los bloques 933 y 934 puede ser efectuado acotando la ventana temporal por los ecos de interfaz y de fondo. Estos bloques de filtrado pueden también acotar la zona angular del tubo potencialmente interesante y si es necesario desplazar estas zonas con el fin de delimitar y reproducir completamente la zona potencialmente interesante. Las imágenes provenientes de los bloques 933 y 934 son Bscans 3D reducidos.

[0095] El bloque de simulación teórica 935 puede comprender una base de datos de simulaciones, por ejemplo de Ascans o de Bscans 3D en función de los tipos y posición de los defectos. La base de datos puede comprender resultados simulados y/o resultados de ensayos sobre defectos naturales y/o artificiales. El bloque de algoritmo inverso 936 puede comparar Ascans o Bscans 3D teóricos que provienen del bloque de simulación teórica 935 y Ascans o Bscans 3D obtenidos durante la inspección con el fin de determinar el Ascan o el Bscan 3D teórico más próximo y, en consecuencia, el(los) defecto(s) más probable(s). A título de ejemplo, el bloque de algoritmo inverso 936 compara un Ascan experimental filtrado correspondiente a una posición en longitud y a una posición angular con los Ascans teóricos en esta misma posición en longitud y en despliegue. A título de ejemplo, el bloque de algoritmo inverso 936 compara un Bscan 3D resultante de un Bscan 3D reducido correspondiente a una posición en longitud, con los Bscans 3D teóricos en esta misma posición en longitud. Pueden efectuarse las dos comparaciones. El mejor conjunto de representaciones teóricas de los ecos es entonces el conjunto que presenta la menor diferencia con respecto a los datos experimentales.

[0096] Después del bloque de transformación 930 se ilustran los filtros 921 y 922, véase figura 11, que permiten particularmente realizar extractos de las imágenes, y de sus datos de preparación, en calidad de datos de entrada reunidos por el bloque combinador 960 para el tratamiento neuronal o experto 970.

[0097] En el modo de realización descrito, el filtro 921 posee:

- una salida de señal Zcur que designa una zona de trabajo en la imagen. Esta salida es utilizada por una función de extracción 951 que efectúa en consecuencia un extracto de la imagen (Cscan) para la zona Zcur, y un acceso a la preparación de imagen 891 para obtener en ella informaciones memorizadas (llamadas Ascan) relativas a la misma zona Zcur. El conjunto de estos datos es transmitido por la función de extracción 951 al combinador 960, como entradas de tratamiento neuronal o experto 970,
- una salida que provee informaciones obtenidas por filtrado, algunas al menos relativas a la zona Zcur, que este transmite como entrada del tratamiento neuronal o experto,
- opcionalmente, (línea de trazos) salidas de datos complementarias filtradas hacia una memoria 990.

[0098] Ocurre lo mismo para el filtro 922, con la función de extracción 952, para la misma zona actual Zcur.

[0099] El sistema neuronal 970 alimenta una lógica de decisión y de alarma 992, que gobierna un automatismo de clasificación y marcado 994. Se puede prever una interfaz de interpretación 996 por parte de un operador, la cual puede presentar la totalidad o parte de los datos contenidos en la memoria 990, con respecto a la porción de tubo en curso de examen. Los datos contenidos en la memoria 990 provienen de los filtros 921 y 922.

[0100] Además de su predicción (origen, tipo y gravedad de la indicación) el sistema neuronal 970 provee una evaluación de la confianza que se puede aportar a esta predicción. Esta información es accesible a los operadores que disponen también de datos complementarios más cualitativos, tales como el histórico del pedido en curso o los problemas presentados durante la elaboración del producto. El operador, o un especialista puede entonces intervenir para ponderar, en consecuencia, las predicciones.

[0101] Aquí, la figura 11 procesa informaciones provenientes como mínimo de dos grupos de sensores que garantizan la misma función o destinados al mismo tipo de control (los 2 grupos P11 y P12 o los 2 grupos P21 y P22). El mismo esquema puede servir para procesar las informaciones provenientes de un número mayor de grupos de sensores destinados a controles de tipo diferente. El número de imágenes procesadas al mismo tiempo aumenta otro tanto.

[0102] La función primaria de los filtros 921 y 922 es determinar zonas de imperfecciones en las imágenes 901 y 902. De forma general, el filtrado está dispuesto para señalar las zonas a analizar, y distinguir en ellas las imperfecciones de las otras indicaciones. El filtrado trabaja sobre dos porciones homologas de dos imágenes. Los dos filtros pueden trabajar de forma conjunta.

[0103] Por barrido de la imagen digitalizada, se localizan en primer lugar los lugares de la imagen en los que existen imperfecciones potenciales. Para esto, es posible aplicar un umbral fijo establecido por calibración.

[0104] Se puede utilizar un umbral que se adapta al nivel de ruido en curso de la imagen. El método se basa en la teoría de la detección de una señal en un ruido blanco, que puede fundamentarse en dos hipótesis:

Hipótesis H0: medida = ruido blanco de promedio m_b y de desviación estándar std_b

Hipótesis H1: medida = señal + ruido blanco

Se procede a pruebas estadísticas, que permiten determinar si se está en el marco de la hipótesis H0, o de la hipótesis H1. Estos cálculos estadísticos son efectuados en tiempo real sobre n puntos móviles de la imagen correspondientes a disparos consecutivos; el número n puede ser determinado por aprendizaje.

[0105] Según este método (caso llamado "aditivo gaussiano"), se puede por ejemplo utilizar el criterio de Neyman-Pearson para determinar un umbral de detección según una probabilidad de falsa alarma (pfa) dada. Esto se expresa mediante la fórmula [21] adjunta. Se utiliza la función acumulativa gaussiana, denominada en general Q (o incluso la función de error erf), que se debe invertir para obtener el umbral, según la fórmula [22] adjunta.

[0106] En la práctica, se constata frecuentemente la presencia de ruido de fondo que puede tener varios orígenes (por ejemplo: presencia de agua en el interior del tubo, zumbido eléctrico, fenómenos acústicos debidos a la estructura de la materia del producto controlado).

El uso de un umbral variable evita las falsas alarmas que se producen si se aplica un umbral fijo.

[0107] Entre las otras falsas indicaciones susceptibles de aparecer, los ruidos parásitos se manifiestan por picos muy breves en la señal de ultrasonidos. Estos parásitos pueden ser descartadas por algoritmos simples a los que se puede llamar algoritmos de recuento acumulativo o incluso integradores (ejemplo: "n golpes antes de la alarma" o "doble umbral").

[0108] La solicitante consideró también la "espira", que es el trayecto seguido por el sensor a lo largo de la superficie cilíndrica a la cual equivale el tubo. Se puede efectuar un filtrado a lo largo de cada espira para reducir más la tasa de falsas alarmas. Se utiliza a tal efecto por ejemplo un filtro de Butterworth, y/o una transformada de Fourier discreta, tal como una transformada de Fourier rápida. Esta técnica es aplicada a cada línea digital.

[0109] El mismo tipo de algoritmo puede aplicarse en el sentido de la longitud del tubo.

[0110] Así, se localizan imperfecciones potenciales. Cuando se detecta una imperfección, su posición se corresponde con la posición analizada en las imágenes de la figura 9 (por ejemplo), con una imagen 3 D, una sección transversal y una sección axial. Las indicaciones de posición radial/espesor (o más simplemente de situación interna, externa o en masa de la imperfección) pueden ser representadas como atributos de los puntos de imagen. Se tendrá así:

- dos imágenes 2D que representan las imperfecciones eventuales de superficie externa del tubo,
- dos imágenes 2D que representan las imperfecciones eventuales de superficie interna del tubo, y
- una imagen 2D que representa las imperfecciones eventuales en el espesor del tubo.

[0111] Se consideran ahora las imperfecciones "confirmadas", después de la eliminación de los parásitos y de las falsas alarmas, particularmente.

[0112] A continuación, la solicitante ha elegido actualmente trabajar en una zona de imagen de tamaño fijo. Por lo tanto, es necesario delimitar esta zona sobre los datos de existencia de imperfección que acaban de ser obtenidos.

[0113] Dicho de otra forma, hace falta posicionar los puntos señalados como superiores al umbral para determinar la zona completa en torno a una imperfección. Es necesario, por ejemplo, si se desea determinar la oblicuidad de una imperfección.

[0114] El algoritmo se articula en torno a diferentes etapas:

- detección de contorno (gradiente de Roberts por ejemplo),
- dilatación (concentración de los contornos próximos),
- erosión, y a continuación cierre, lo cual permite determinar una máscara en torno a las imperfecciones,
- una última etapa de cercado (*entourage*) permite localizar completamente la imperfección.

[0115] Para cada imperfección, se obtienen así las coordenadas de la zona de imagen correspondiente, que serán útiles para el análisis por red neuronal que tiene lugar después.

[0116] La figura 12 ilustra este tratamiento de las zonas de imagen bajo la forma de un diagrama de flujo.

[0117] Al comienzo de las imágenes (801), se tienen de cero a p zonas de imagen a procesar, como poseedoras de una imperfección confirmada. La operación 803 supone que existe al menos una primera zona, que sirve como zona actual a procesar Zcur en 805. Para esta zona Zcur:

- la operación 807 extrae selectivamente los datos de las imágenes 901 y 902 que se corresponden con esta zona (definida por sus coordenadas en la imagen).
- la operación 809 extrae selectivamente datos que intervienen en la preparación de las imágenes 901 y 902, y que se corresponden con la zona Zcur. Se darán a continuación ejemplos de estos datos.

- la operación 811 lleva a cabo el tratamiento neuronal o experto propiamente dicho, al que se volverá más adelante.
- los resultados obtenidos para la zona Zcur son memorizados selectivamente en 813, en correspondencia con una designación de la zona Zcur.
- la prueba 820 averigua si existe otra zona a procesar en la imagen, en cuyo caso se vuelve a comenzar en 805 con esta otra zona como se indica en 821; si no, el tratamiento de la imagen o imágenes en curso se termina (822).

[0118] En el caso del tratamiento del sensor P1, solo hay una imagen, lo cual cambia el número de parámetros de entrada. Aparte de esto, el tratamiento puede generalmente ser el mismo.

[0119] Después de la determinación de cada zona de interés Zcur, el filtrado puede constar de otras funciones. Para estas otras funciones, la figura 13 ilustra de forma esquemática la interacción entre el filtrado y la sucesión de las operaciones ilustradas en la figura 11.

[0120] La figura 13 es similar a la figura 11, pero solamente para la imagen 901. Muestra:

- los elementos de contexto tubo-sensores del bloque 740,
- el extractor 951 que encuentra los datos para la zona Zcur, en la imagen 901 y su preparación 891,
- un bloque interno/externo 7410, que indica si la imperfección, de la zona Zcur considerada, está situada en superficie interna o en superficie externa.

[0121] Lo que añade el filtrado a los datos de base, se define con más detalle, concretamente, para cada zona Zcur (bloque 805), como indica el contenido del recuadro con línea de trazos:

- una búsqueda del ángulo de oblicuidad en 941,
- una indicación de longitud de la imperfección 942,

Se le puede añadir además, particularmente:

- una indicación de alineamiento de C-Scan, en 945, y
- en 946, una indicación sobre la existencia de otras imperfecciones en la misma sección transversal del tubo.

[0122] En el modo de realización descrito, los datos tales como 945 y 946 van hacia la memoria 990. El resto va hacia las redes neuronales o sistemas expertos 970. Estos se separan aquí en dos funciones, como se verá ahora.

[0123] Una imperfección en un tubo se puede definir por su posición, su tipo, y su gravedad comúnmente equiparada a su profundidad. En el modo de realización descrito, el tipo y el grado de profundidad de una imperfección de tubo se determinan de forma independiente con la ayuda de dos procesos neuronales de la misma estructura general, que se detallará ahora con un ejemplo.

[0124] El caso del tipo de la imperfección se trata según la figura 14, mientras que el caso de la gravedad se trata según la figura 15.

[0125] Los tipos se pueden definir, por ejemplo, como se ilustra en las figuras 10A a 10D. Estas figuras ilustran cuatro tipos, que constituyen una opción simplista con respecto a la lista de las imperfecciones provistas por la API y que se pueden generar con los procesos de elaboración del tubo. Los encabezamientos en español y en inglés son aquellos utilizados por los expertos en la materia para designar la naturaleza de las imperfecciones. Se observa que las imperfecciones de los tipos 1 y 3 son transversales, y que las de las figuras 2 y 4 son arqueadas ("chord").

[0126] Una correspondencia entre las imperfecciones reales y los cuatro tipos mencionados anteriormente puede ser definida de la siguiente forma:

<i>Nombre en español</i>	<i>Nombre en inglés</i>	<i>Asignación</i>
Entalla	Notch	TIPO 1
Grieta	Crack	TIPO 1
Pliegue perpendicular o transversal (laminado)	Seam (perpendicular)	TIPO 1
Pliegue (laminado)	Seam (arcuate), "overlap"	TIPO 2
Granulación	Sliver	TIPO 3
Laminación de cuerpos extraños	Rolled-in-slug	TIPO 4
Rayado	Gouge	TIPO 4
Inclusión	Inclusion	TIPO 4
Falta de material ("socavación")	Bore-slug	TIPO 4
Superposición/recubrimiento/pliegue	Lap	TIPO 4

[0127] Aquí, tanto la figura 14 como la 15 utilizan circuitos neuronales de tres neuronas intermedias (o "neuronas ocultas"), denominadas NC121 a NC123 para la figura 14, y NC141 a NC143 para la figura 15.

[0128] Las figuras 14 y 15 tienen en común un cierto número de entradas. Para intentar facilitar la comprensión, las entradas se ilustran por medio de tipos de líneas diferentes.

[0129] Las líneas dobles indican que las entradas son múltiples, es decir, repetidas Para cada punto de la zona Zcur.

[0130] En primer lugar, en 7410, se aporta, según el estado considerado de los selectores 763 en cuestión, una información que indica si se trata de procesar una imperfección situada en la superficie interna o en la superficie externa de la pared del tubo. Esta información también puede ser obtenida del BScan 3D.

[0131] La segunda categoría de magnitudes comunes de entradas comprende las magnitudes de contexto, que vienen del bloque 740 (figura 13):

- en 7401, *WT/OD*, que es la relación del espesor de la pared con el diámetro del tubo,
- en 7402, *Frec*, que es la frecuencia de trabajo de las sondas de ultrasonidos,
- en 7403, *ProbDiam*, que es el diámetro útil de las sondas de ultrasonidos.

[0132] La tercera categoría de magnitudes comunes comprende cantidades provenientes del filtrado que pueden ser consideradas como comunes a los dos sensores 921 y 922 (o más). Se lleva a cabo, por ejemplo, el promedio de los resultados de los dos sensores, o bien se toma el resultado más representativo (máximo/mínimo, según el caso). Estas cantidades son las magnitudes de 9201, la oblicuidad del defecto, y de 9202 su longitud. Estas dos magnitudes son fácilmente visibles en las dos imágenes de la figura 9, que tienen presentan simetría especular.

[0133] Se hace referencia ahora a la figura 14 solamente. La categoría siguiente de magnitudes comprende magnitudes de medidas distintas para cada uno de los dos sensores (o grupo de sensores), y para cada una de las zonas Zcur, lo cual se refleja en el dibujo con una línea doble.

[0134] Para un primer sensor, se tiene:

- en 9511, *K1*, que es la relación entre la amplitud máxima de la señal ultrasónica encontrada en la zona Zcur y en la imagen 901, con respecto a la amplitud máxima del "defecto patrón de referencia" citado previamente. De hecho, en el ejemplo, la amplitud en cada píxel de la imagen 901 está definida por esta relación; *K1* es entonces simplemente el máximo de amplitud encontrado en la zona Zcur de la imagen 901; se indica como *Pmax1* el punto de la zona Zcur donde se encuentra este máximo.
- en 9512, *QBE1* que es una magnitud del C-Scan llamada *QuantBumpsEchodyn*, que representa el número de máximos locales encontrados en la zona Zcur de la imagen 901 cerca del punto *Pmax1* de amplitud máxima. Este número *QBE1* está limitado a los máximos locales encontrados en las proximidades de *Pmax1*, por un lado y a otro, pero sin que la amplitud de la señal vuelva a bajar por debajo de un nivel correspondiente al ruido de fondo. *QBE1* generalmente adoptará o bien el valor 1, o bien el valor 2.

[0135] Estas dos magnitudes provienen de la imagen 901, a través del extractor 951, lo cual se refleja la notación 951(901) en el dibujo. Se añade:

- en 9518, *RT1* que es una magnitud que representa el tiempo de subida del eco en la señal nativa ultrasónica llamada A-Scan, (se trata de la diferencia entre el momento en el cual la señal es máxima y el último momento anterior en el cual la señal está en el nivel del ruido de fondo, expresada normalmente en microsegundos). Esta magnitud *RT1* fue anteriormente medida a la salida del amplificador 73 en cuestión (figura 8A); se almacenó, por ejemplo en 891, en correspondencia con el punto del tubo al que se refiere. Es así como la misma puede ser recuperada selectivamente por el extractor 951. La magnitud *RT1* se puede ahora medir directamente por parte del operador en la imagen 903 de la figura 9, o incluso en el BScan 3D paralelepípedo.

[0136] Para el segundo sensor, se tiene:

- en 9521, *K2*, que se define como *K1*, pero para la imagen 902 en lugar de la imagen 901. En el ejemplo, *K2* es simplemente el máximo de amplitud encontrado en la zona Zcur de la imagen 902; se indica como *Pmax2* el punto de la zona Zcur donde se encuentra este máximo.
- en 9522, *QBE2* se define como *QBE1*, pero en la imagen 902 en lugar de la imagen 901, y en las proximidades de *Pmax2*. Allí también, *QBE2* adoptará generalmente o bien el valor 1, o bien el valor 2.

[0137] Estas dos magnitudes provienen de la imagen 902, por medio del extractor 952. Se añade:

- en 9528, *RT2* que es una magnitud que representa el tiempo de subida del eco en la señal nativa llamada A-Scan. Como anteriormente, esta magnitud *RT2* ha sido anteriormente medida a la salida del amplificador 73 en cuestión (figura 8A); se almacenó, por ejemplo en 892, en correspondencia con el punto del tubo al que se refiere. Es así como la misma puede ser recuperada selectivamente por el extractor 952. La magnitud *RT2* puede ser ahora directamente medida por el operador en la imagen 903A de la figura 9, o incluso en el Bscan 3D paralelepípedo.

[0138] La ultima entrada 958 de la red neuronal es un valor constante, indicado como *ConstantA*, que representa una constante determinada en el momento de la calibración del modelo y resultante del aprendizaje.

[0139] La salida 998 de la figura 14 es una magnitud indicativa del tipo de la imperfección y su inclinación promedio (definida en función del tipo).

[0140] El caso del grado de profundidad (o gravedad) de la imperfección se trata según la figura 15. Las entradas son las mismas que para la figura 14, salvo:

- para el primer sensor, el bloque 9512 es reemplazado por un bloque 9513, que trata una magnitud EW_1 , o *EchodynWidth*, que es el ancho a media altura (50%) de la forma de onda ecodinámica, para este primer sensor. Esta magnitud EW_1 se obtiene del Cscan.

- asimismo, para el segundo sensor, el bloque 9522 es reemplazado por un bloque 9523, que trata la magnitud EW_2 , o *EchodynWidth*, que es el ancho a media altura (50%) de la forma de onda ecodinámica, para este segundo sensor.

- en 959, la constante, indicada ahora como *ConstantB*, es diferente.

- la salida 999 es una indicación de la gravedad de la imperfección, indicada como DD.

[0141] Cabe destacar que, en los dos casos (figuras 14 y 15), un circuito neuronal 970 dado procesa un extracto de imagen 951 para uno de los grupos de sensores ultrasónicos, así como un extracto de imagen 952 que se corresponde con la misma zona, pero que proviene de otro grupo de sensores.

[0142] La solicitante observó que era posible obtener resultados muy satisfactorios, bajo reserva de un ajuste adecuado de los parámetros de un sistema experto, por ejemplo de los circuitos neuronales, y eventualmente de su número, para optimizar la predicción.

[0143] Además, la solicitante ha constatado que por combinación de las informaciones recogidas por las diferentes redes neuronales era posible afinar aún más la predicción.

[0144] Globalmente, los parámetros de entrada de la red neuronal o del sistema experto son por tanto características de las dos imágenes 3D (relación de la amplitud máxima con respecto a la amplitud del patrón, ancho de eco, orientación del eco representativo de la oblicuidad de la imperfección...) y del control (sensor, dimensiones del tubo...).

Los parámetros de salidas son las características de la imperfección (profundidad, inclinación/tipo). La decisión y/o alarma 992 puede adoptarse automáticamente con la ayuda de criterios de decisión seleccionados, a base de umbrales, acompañados de un margen de seguridad según las necesidades. Para definir estos umbrales, es posible ayudarse con los resultados del aprendizaje.

[0145] Ahora se hace referencia a la Figura 16, que es un modelo del circuito neuronal elemental de las figuras 14 ó 15, para dos sensores.

[0146] Este modelo comprende un nivel o capa de entrada IL ("Input Layer"), que agrupa todos los parámetros de entrada (habitualmente llamados "neuronas de entrada"). Para no saturar la figura, se representan solo tres neuronas E1 a E3, más una constante, que puede ser considerada también como una neurona E0. Esta constante es habitualmente llamada "sesgo". En la práctica, las neuronas de entrada son más numerosas, conforme a la figura 14 ó a la figura 15, según el caso.

[0147] A continuación se prevé al menos un nivel o capa HL ("Hidden Layer" o "capa oculta"), que comprende k neuronas (de las cuales solo 2 están representadas para no saturar el dibujo).

[0148] Finalmente viene la neurona de salida S1, que proporciona la decisión, en la forma de un valor representativo de la importancia de una imperfección del tubo, por ejemplo una imperfección longitudinal. Esta salida se corresponde con el bloque 998 en la figura 14 y 999 en la figura 15.

[0149] Se verá que la "neurona" - constante E0 interviene para ponderar no solo la capa o capas ocultas HL, sino también la neurona de salida (capa OL o "Output Layer").

[0150] El comportamiento general de un circuito neuronal, tal como se utiliza aquí, viene dado por la fórmula [11] del Anexo 1, donde w_{ij} es el peso asignado a la señal X_i presente en la entrada de la neurona j.

[0151] En el circuito previsto aquí, una neurona elemental se comporta según la fórmula [12], como se esquematiza en la figura 17.

[0152] La salida S1 de la figura 16 provee un valor estimado que se corresponde con la fórmula [13] del anexo 1.

Por aprendizaje, la solicitante ajustó las neuronas ocultas y sus pesos de manera tal que la función f sea una función no lineal, continua, derivable y acotada. El ejemplo preferido actualmente es la función arco-tangente.

[0153] Se sabe que una red neuronal determina sus coeficientes w_{ij} comúnmente llamados sinapsis por aprendizaje. Este aprendizaje debe hacer intervenir típicamente de 3 a 10 veces más ejemplos que pesos a calcular, cubriendo correctamente el rango de las condiciones de trabajo deseadas.

[0154] Partiendo de ejemplos E_p ($p = 1$ a M), se determina para cada ejemplo la desviación D_p entre el valor S_p dado por el circuito neuronal y el valor real R_p medido o definido experimentalmente. Esto es lo que recupera la fórmula [14].

5 **[0155]** La calidad de funcionamiento del circuito neuronal está definida por una magnitud global de desviación C_g , llamada "coste". Puede expresarse por ejemplo según la fórmula [15], como una magnitud global de desviación cuadrática ponderada.

10 **[0156]** El aprendizaje plantea diferentes problemas en un caso como el del control de las imperfecciones en los tubos, particularmente por el hecho de que se trata de técnicas complejas, como ya se ha indicado.

15 **[0157]** La solicitante llevó a cabo, en primer lugar, un primer aprendizaje en simulación. Se puede utilizar a tal efecto el software CIVA desarrollado y comercializado por el Comisariado de la Energía Atómica, Francia. Este primer aprendizaje permitió identificar los parámetros influyentes, y construir una primera versión de la red neuronal en base a imperfecciones virtuales. La función de coste fue optimizada.

20 **[0158]** La solicitante a continuación llevó a cabo un segundo aprendizaje que combina los resultados obtenidos en simulación e imperfecciones artificiales, es decir, creadas intencionadamente en tubos reales. Este segundo aprendizaje permite construir una segunda versión de la red de neuronas, cuya función de coste también fue optimizada.

25 **[0159]** La solicitante a continuación combinó los resultados obtenidos de las imperfecciones artificiales, y de un conjunto de imperfecciones presentes en tubos reales, siendo conocidas estas imperfecciones con precisión gracias a mediciones realizadas a posteriori fuera de la cadena de fabricación. Esta tercera fase permitió validar la última versión de la red de neuronas. Esta versión ha resultado ser operativa para la supervisión en fabricación. Sin embargo, en el momento de su implantación en una instalación nueva o modificada, conviene actualmente someterla a una "calibración", con la ayuda de una decena de muestras artificiales que cubren el conjunto de la gama de las imperfecciones a tratar. De esto, resulta naturalmente una optimización.

30 **[0160]** Las figuras 11,12,14 y 15 han sido descritas en el marco de los sensores P11 y P12.

[0161] El mismo principio puede ser aplicado al grupo de sensores P1. En este caso, no habrá imagen 2, y la red construida tiene menos parámetros de entrada, tal como ya se indicó. Los circuitos descritos para dos sensores pueden ser utilizados por uno solo, pero sin parámetros de entrada para la parte "Imagen 2".

35 **[0162]** El mismo principio puede aplicarse también a los dos grupos de sensores P21 y P22, encargados de detectar las imperfecciones transversales, teniendo en cuenta el hecho de que, para esta detección, los sensores están inclinados (por ejemplo de +/- 17°) en un plano que pasa por el eje del tubo.

40 **[0163]** Se comprenderá que, en cada caso, interviene un tratamiento digital del tipo definido por la figura 11, exceptuando los elementos 992 a 996. Este tratamiento se indica globalmente con 763, conforme a la figura 8, en donde le siguen los bloques 764 y 766.

[0164] Se obtiene así un conjunto tal como se representa en la figura 18, con:

- para el sensor P1, un tratamiento 763-1, seguido de una fase de decisión y alarma 764-1;
- 45 - para los sensores P11 y P12, un tratamiento 763- 10, seguido de una fase de decisión y alarma 764-10;
- para los sensores P21 y P22, un tratamiento 763-20, seguido de una fase de decisión y alarma 764-20;
- las tres fases 764-1, 764-10 y 764-20 son interpretadas conjuntamente por el autómata de clasificación y de alarma 767.

50 Una variante de la figura 18, no representada, consiste en solo prever una fase "Decisión y alarma", que utiliza directamente las salidas de los tres tratamientos 763-1, 763-10 y 763-20.

55 **[0165]** El control no destructivo propiamente dicho se realiza "sobre la marcha", es decir a medida que el tubo se desplaza dentro de la instalación de control. La decisión resultante del tratamiento de las informaciones descrito anteriormente puede ser tomada también a medida que el tubo se desplaza en la instalación de control (con decisión-alarma y marcado "sobre la marcha"); una variante consiste en tomar esta decisión después de que se haya inspeccionado toda la longitud del tubo, o incluso aún más tarde (después del control del conjunto de un lote de tubos por ejemplo), quedando detectado/identificado cada tubo (N° de orden por ejemplo). En este caso, es necesario que las informaciones obtenidas sean registradas (memorizadas). Los registros pueden ser objeto de un análisis posterior por

60 un operador habilitado para tomar una decisión después de haber analizado los resultados registrados y procesados por la(s) red(es) neuronal(es).

[0166] Evidentemente, teniendo en cuenta las propiedades de los circuitos neuronales, es posible agrupar, al menos parcialmente, el conjunto de los circuitos neuronales (contenidos en los tratamientos 763-1, 763-10 y 763-20) en un solo circuito neuronal, que tiene todas las entradas deseadas.

5 [0167] El modo de realización descrito utiliza directamente redes neuronales a título de ejemplo de sistemas expertos. La invención no está limitada a este tipo de realización. Aquí, la expresión "disposición de tipo circuito neuronal" puede cubrir otras técnicas de análisis de datos no lineales, con o sin circuitos neuronales.

10 [0168] De forma general, el conversor puede comprender una entrada de amplitud máxima en un selector y una entrada de tiempo de vuelo correspondiente. Dichas entradas pueden proveer los datos suficientes para la decisión de conformidad o de no conformidad de un producto.

15 [0169] El bloque de transformación puede comprender un elemento de eliminación de datos inservibles, un elemento de filtrado de zonas identificadas, un simulador y un elemento de interpretación. La reducción de la cantidad de información permite una velocidad de tratamiento más alta.

[0170] El simulador puede comprender un elemento de simulación teórica, un módulo de cálculo de tolerancia y un algoritmo inverso.

20 [0171] La etapa de salida puede comprender:

- un combinador, dispuesto para preparar entradas digitales de circuito neuronal, a partir de un extracto de las imágenes correspondiente a una zona de imperfección hipotética, a partir de propiedades de la imperfección hipotética en la misma zona, provenientes del filtro, y a partir de datos de contexto,
- al menos un circuito neuronal, que recibe entradas salidas del combinador,
- 25 - una etapa digital de decisión y alarma, que opera sobre la base de la salida del circuito neuronal, y
- un autómata de clasificación y de marcado, dispuesto para descartar y marcar tubos que se consideraron no conformes por la etapa digital de decisión y alarma.

30 [0172] El sistema aquí propuesto se ha descrito en el caso del control no destructivo durante la fabricación de tubos sin soldadura, caso en el que la invención se aplica particularmente bien. Las mismas técnicas pueden ser aplicadas particularmente a productos siderúrgicos largos no necesariamente tubulares.

35 [0173] En el caso de tubos soldados u otros productos soldados (como por ejemplo chapas o placas), el sistema resulta capaz de determinar además los límites del cordón de soldadura, y en consecuencia localizar las eventuales imperfecciones en el cordón de soldadura, que puedan tener que ser supervisadas. Por su parte, las imperfecciones situadas fuera de los límites del cordón de soldadura, que se pueden corresponder con inclusiones ya presentes en el fleje (o producto) de base, se deben considerar de otra forma.

40 Anexo

Sección 1

[0174]

$$Y_i = F \left(\sum_j w_{ij} X_j \right) \quad (11)$$

$$S_1 = F \left(\sum_{i=1}^N E_i w_i + w_0 \right) \quad (12)$$

$$S = \sum_{i=1}^k S_i w'_i + w'_0 \quad (13)$$

$$D_p = S_p - R_p \quad (14)$$

$$Cg = \frac{\sum_{p=1}^{p=M} D_p^2}{2 M} \quad (15)$$

Sección 2

[0175]

5

$$pfa = \int_{umbral}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \, std_b} e^{-\frac{x-m_b^2}{2 \, std_b^2}} dx = Q\left(\frac{umbral - m_b}{std_b}\right) \quad (21)$$

$$umbral = std_b Q^{-1}(pfa) + m_b \quad (22)$$

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo que constituye una herramienta de ayuda para la explotación, para el control no destructivo, en curso de fabricación o en la salida de la misma, de productos siderúrgicos, tales como tubos u otros productos largos, estando destinada esta herramienta a obtener informaciones sobre eventuales imperfecciones del producto, a partir de señales de retorno que son captadas (73), consecutivamente a la excitación selectiva (70) de sensores ultrasónicos emisores según una ley de tiempo seleccionada, por sensores ultrasónicos receptores que forman una disposición de geometría seleccionada, montada en acoplamiento ultrasónico con el producto a través de un medio líquido, con movimiento relativo de rotación/traslación entre el tubo y la disposición de transductores, estando caracterizada dicha herramienta de explotación por que comprende:

- un conversor (891; 892) capaz de aislar selectivamente una representación digital de posibles ecos en ventanas temporales designadas, en función del movimiento relativo de rotación/traslación, comprendiendo dicha representación la amplitud y el tiempo de vuelo de al menos un eco, y de generar un grafo 3D paralelepípedo,
- un bloque de transformación (930) capaz de generar una imagen 3D (901; 902) de posibles imperfecciones en el tubo a partir del grafo 3D y de una base de datos,
- un filtro (921; 922), capaz de determinar, en las imágenes (901; 902), zonas de hipotética imperfección (Zcur), así como propiedades de cada imperfección hipotética,
- una etapa de salida configurada para generar una señal de conformidad o de no conformidad de un producto.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el cual el conversor (891; 892) comprende una entrada de amplitud máxima en un selector y una entrada de tiempo de vuelo correspondiente.

3. Dispositivo según la reivindicación 1 ó 2, en el cual el bloque de transformación comprende un elemento de eliminación de datos inservibles, un elemento de filtrado de zonas identificadas, un simulador y un elemento de interpretación.

4. Dispositivo según la reivindicación 3, en el cual el simulador comprende un elemento de simulación teórica, un módulo de cálculo de tolerancia y un algoritmo inverso.

5. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual la etapa de salida comprende:

- un combinador (960), dispuesto para preparar entradas digitales de trabajo, a partir de un extracto (951; 952) de las imágenes que se corresponden con una zona de imperfección hipotética (Zcur), y de propiedades de la imperfección hipotética en la misma zona, obtenidas a la salida del filtro (921; 922),
- al menos una disposición de tipo circuito neuronal (970), que recibe entradas de trabajo obtenidas a la salida del combinador (960),
- una etapa digital de decisión y alarma (992) que opera sobre la base de la salida de la disposición de tipo circuito neuronal (970), y
- un autómata de clasificación y de marcado (994) dispuesto para descartar y marcar productos seleccionados como no conformes por la etapa digital de decisión y alarma (992).

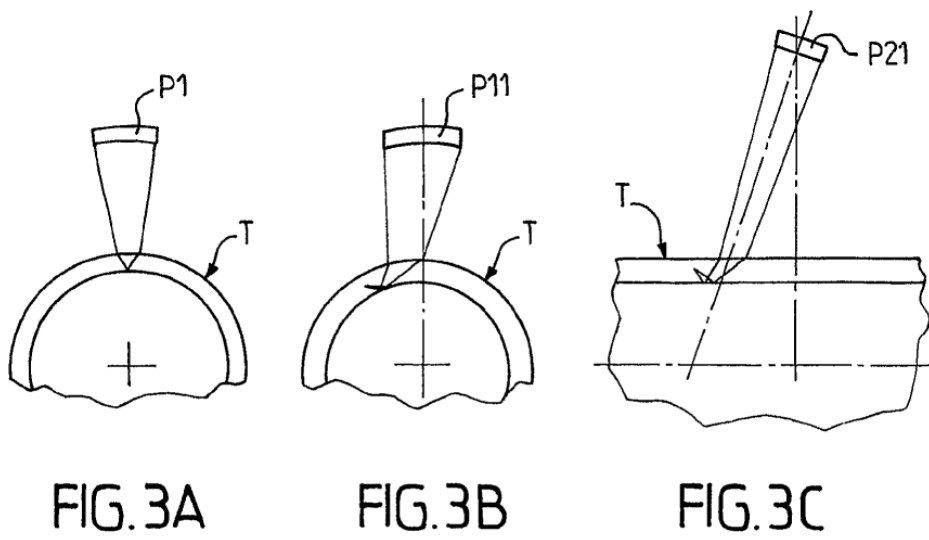
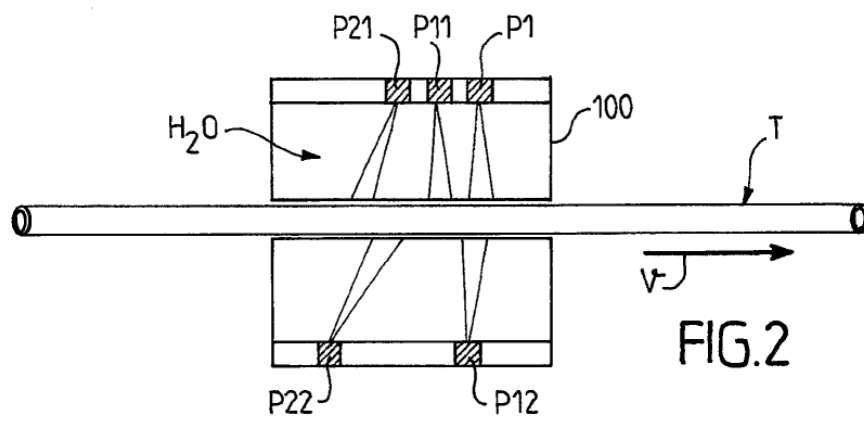
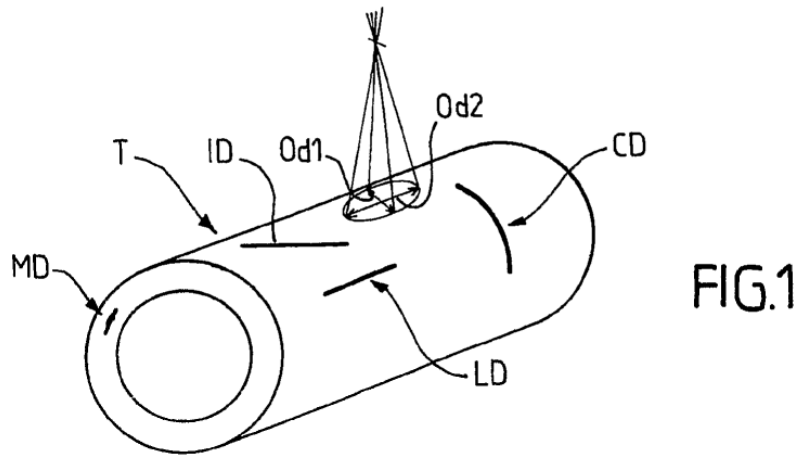
6. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual dicha herramienta de explotación comprende dos conversores (891,892) respectivamente dedicados a dos disposiciones de transductores (P11, P12; P21, P22) ultrasónicos de geometría seleccionada (P11, P12; P21, P22), montados en acoplamiento ultrasónico sensiblemente siguiendo una simetría especular de la dirección de sus haces ultrasónicos respectivos, y el combinador (960) está dispuesto para actuar selectivamente sobre los ecos de superficie interna o sobre los ecos de superficie externa o sobre los ecos que se producen en la masa del tubo, aunque al mismo tiempo sobre los datos relativos a una y otra de las dos disposiciones de transductores.

7. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual el conversor (891; 892) está dispuesto para aislar selectivamente una representación digital de posibles máximos de ecos en ventanas temporales designadas que se corresponden con ecos de superficie interna, con ecos de superficie externa, así como ecos que provienen de la masa del tubo, respectivamente, y el combinador (960) está dispuesto para actuar selectivamente sobre los ecos de superficie interna o sobre los ecos de superficie externa o sobre los ecos que se producen en la masa.

8. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual el combinador (960) recibe al menos una entrada (9511; 9521) relativa a un extremo de la amplitud de la imagen en la zona de imperfección hipotética.

9. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual el filtro (921; 922) está dispuesto para producir, como propiedades de cada imperfección hipotética, su oblicuidad y su longitud, mientras que el combinador (960) recibe entradas correspondientes de oblicuidad de imperfección (931) y de longitud de imperfección (932).

10. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual el filtro (921; 922), el combinador (960), el circuito neuronal (970) y la etapa digital de decisión y alarma (992) están dispuestos para actuar iterativamente sobre una sucesión de zonas de imperfección hipotética (Zcur), determinadas por dicho filtro (921; 922).
11. Dispositivo según la reivindicación 10, en el cual el filtro (921; 922), el combinador (960), el circuito neuronal (970) y la etapa digital de decisión y alarma (992) están dispuestos para actuar alternativamente sobre la superficie interna y la superficie externa del tubo.
12. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual dicha disposición de tipo circuito neuronal comprende:
 - un primer circuito neuronal (NC 121-NC 123) apto para evaluar la naturaleza de una imperfección entre una pluralidad de clases predefinidas, y
 - un segundo circuito neuronal (NC141-NC143) apto para evaluar la gravedad de una imperfección.
13. Dispositivo de control no destructivo de tubos en curso o en salida de fabricación, que comprende:
 - una disposición de transductores ultrasónicos de geometría seleccionada, montada en acoplamiento ultrasónico con el tubo a través de un medio de acople, con movimiento relativo de rotación/traslación entre el tubo y la disposición de transductores,
 - circuitos para excitar selectivamente (70) estos elementos transductores según una ley de tiempo seleccionada, y para recopilar (73) las señales de retorno captadas por ellos, y
 - una herramienta de ayuda a la explotación según una de las reivindicaciones precedentes.
14. Procedimiento de control no destructivo de productos siderúrgicos, tales como tubos u otros productos largos, en curso de fabricación o en la salida de la misma, que comprende las etapas siguientes:
 - a. prever una disposición de transductores ultrasónicos de geometría seleccionada, montada en acoplamiento ultrasónico con el tubo a través de un medio de acople, con movimiento relativo de rotación/traslación entre el tubo y la disposición de transductores,
 - b. excitar selectivamente (70) estos elementos transductores según una ley de tiempo seleccionada,
 - c. recoger (73) las señales de retorno captadas por ellos, con el fin de analizar selectivamente estas señales de retorno (760-766), para obtener informaciones sobre eventuales imperfecciones del tubo, comprendiendo dichas informaciones la amplitud y el tiempo de vuelo de al menos un eco, y generar un grafo 3D paralelepípedo,
 - d. aislar selectivamente una representación digital de posibles ecos en ventanas temporales designadas, en función del movimiento relativo de rotación/traslación (891; 892), y obtener una imagen 3D (901; 902) de posibles imperfecciones en el tubo a partir del grafo 3D y de una base de datos,
 - e. generar una señal de conformidad o de no conformidad de un producto.
15. Procedimiento según la reivindicación 14, en el que la etapa e., comprende:
 - e1. filtrar (921;922) las imágenes (901; 902) según criterios de filtrado seleccionados, con el fin de determinar en ellas zonas de imperfección hipotética (Zcur), así como propiedades de cada hipotética imperfección,
 - e2. formar (960) entradas digitales de trabajo, a partir de un extracto (951; 952) de las imágenes que se corresponden con una zona de imperfección hipotética (Zcur), de propiedades de la imperfección hipotética en la misma zona, obtenidas a la salida del filtro (921; 922), y de datos de contexto (740),
 - e3. aplicar las entradas así formadas (960) a por lo menos una disposición de tipo circuito neuronal (970),
 - e4. procesar digitalmente la salida de la disposición de tipo circuito neuronal (970) según criterios de decisión seleccionados, para obtener una decisión y/o una alarma (992), y
 - e5. descartar y marcar (994) tubos considerados como no conformes por la etapa e4.



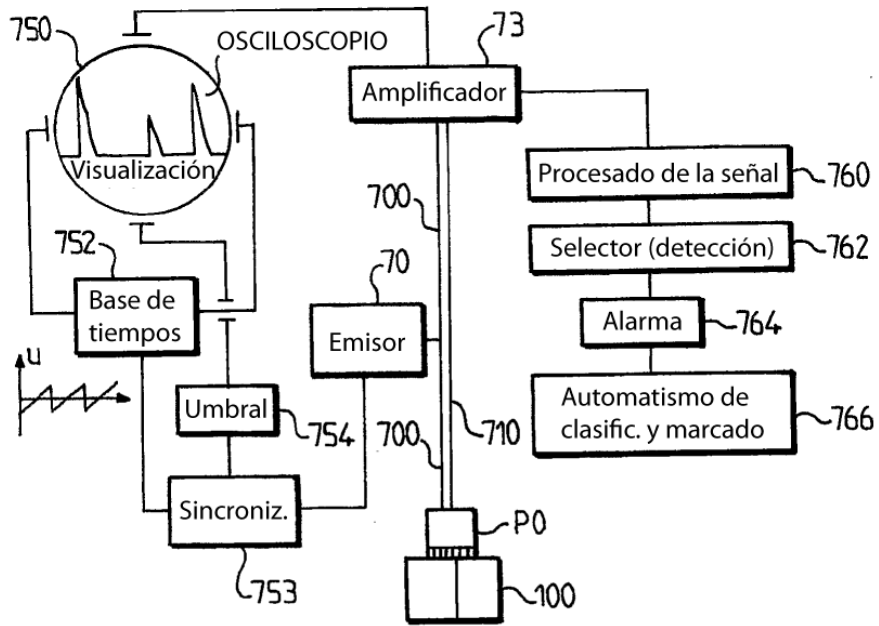


FIG.4

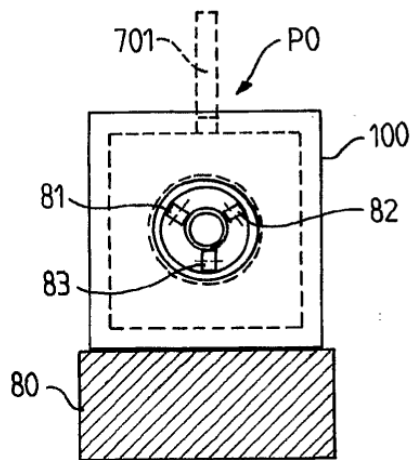


FIG.5A

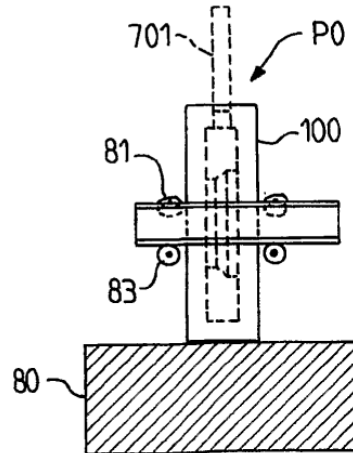
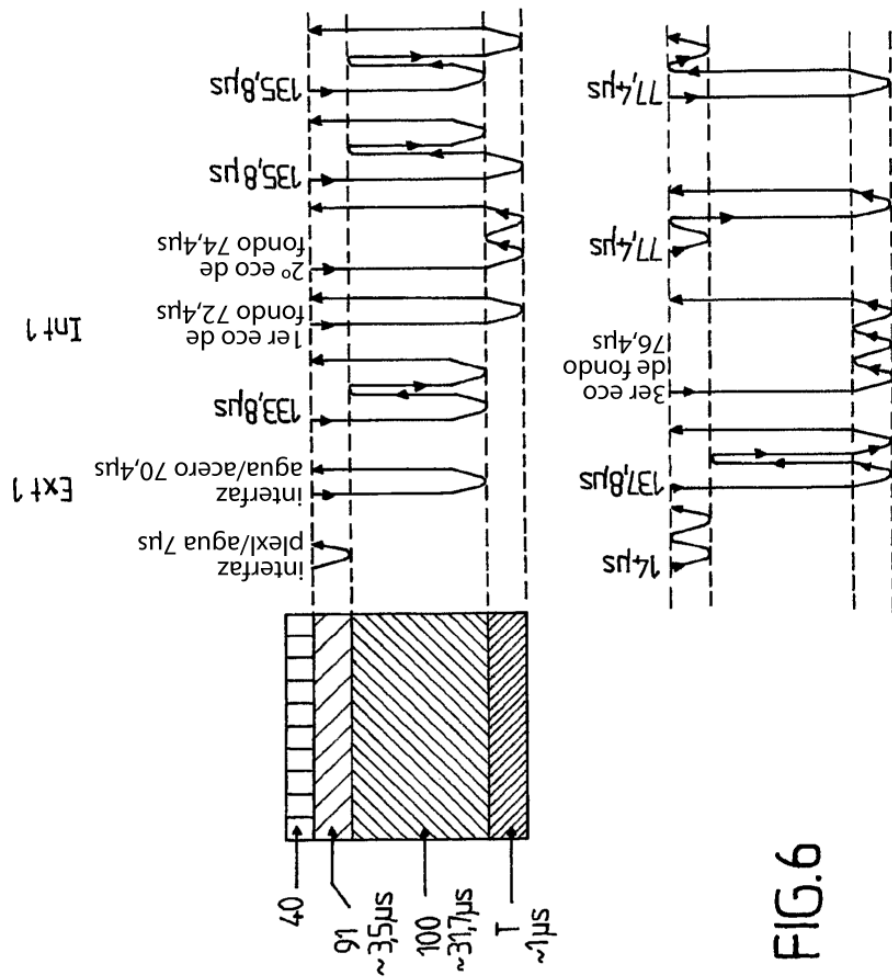


FIG.5B



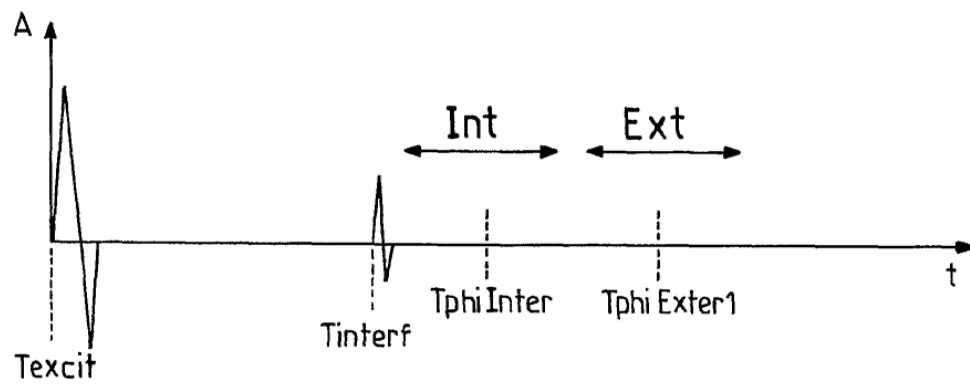


FIG. 6A

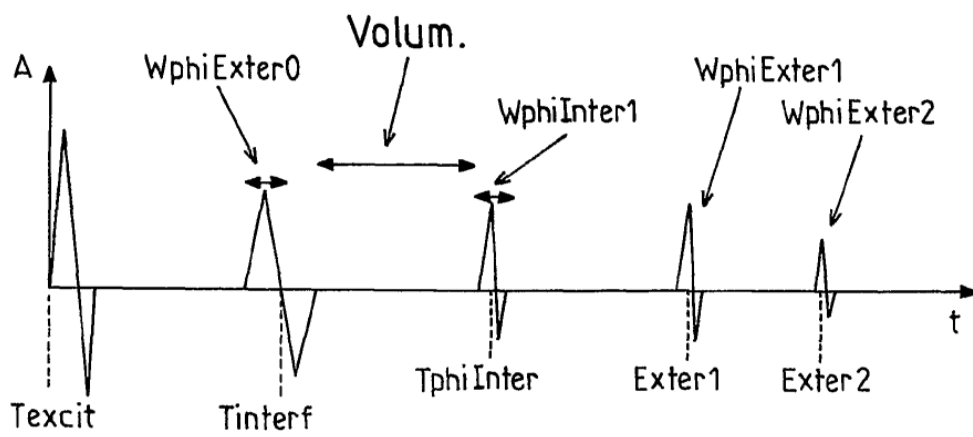


FIG. 6B

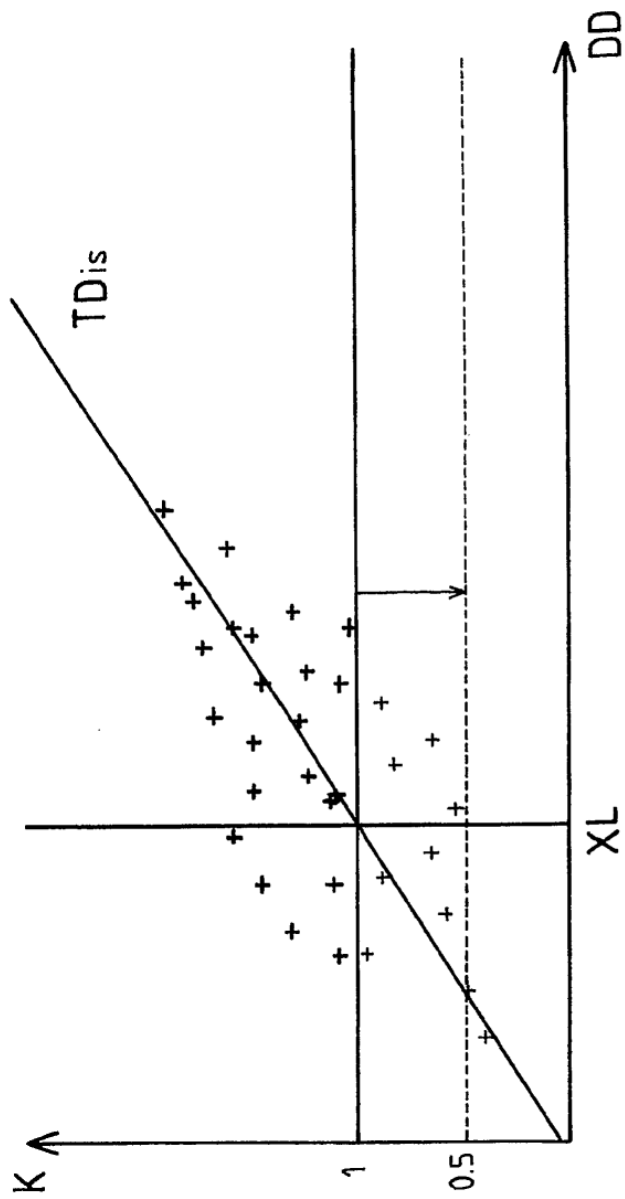


FIG.7

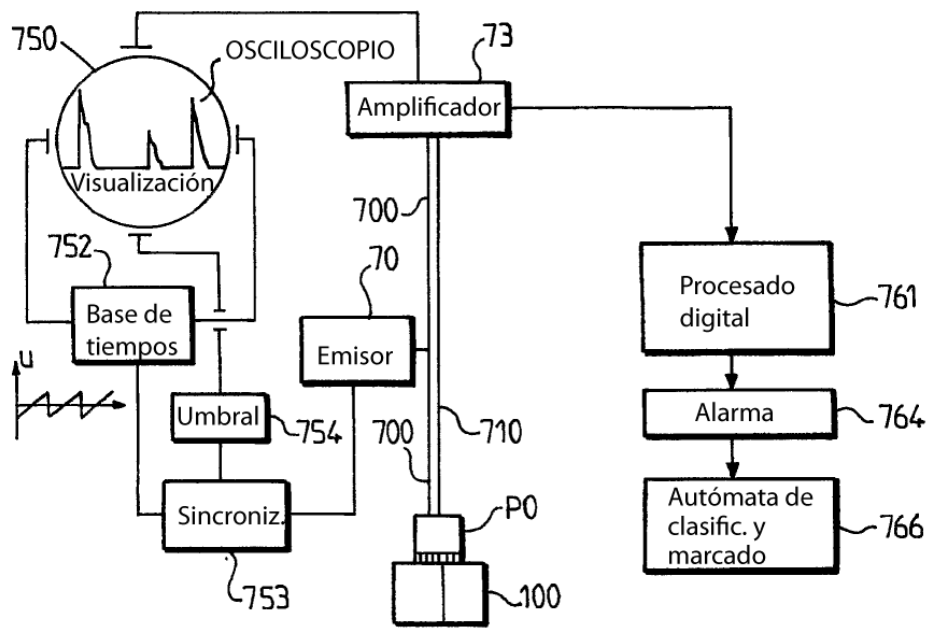
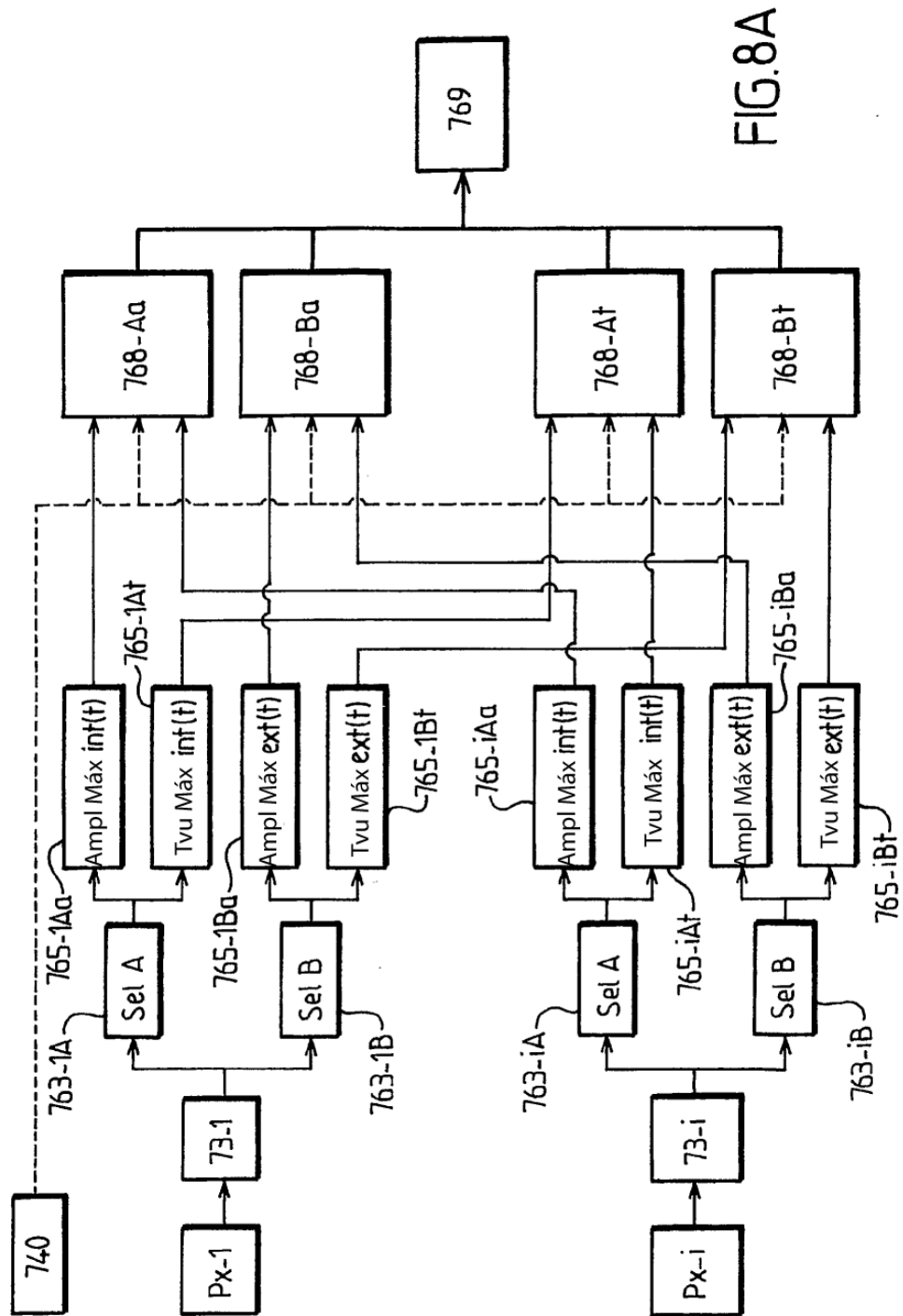


FIG.8



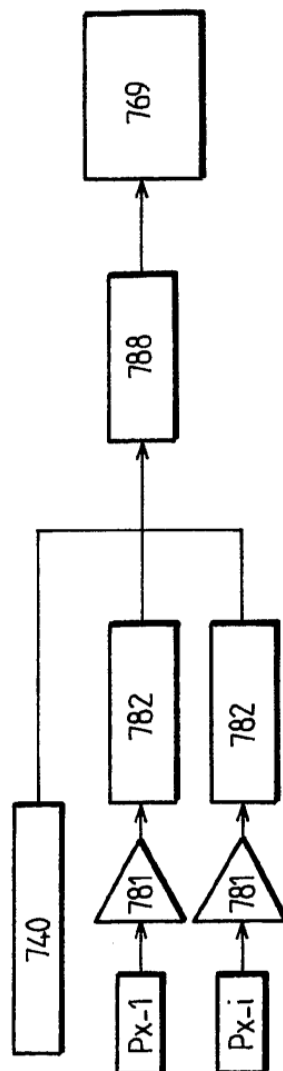


FIG. 8B

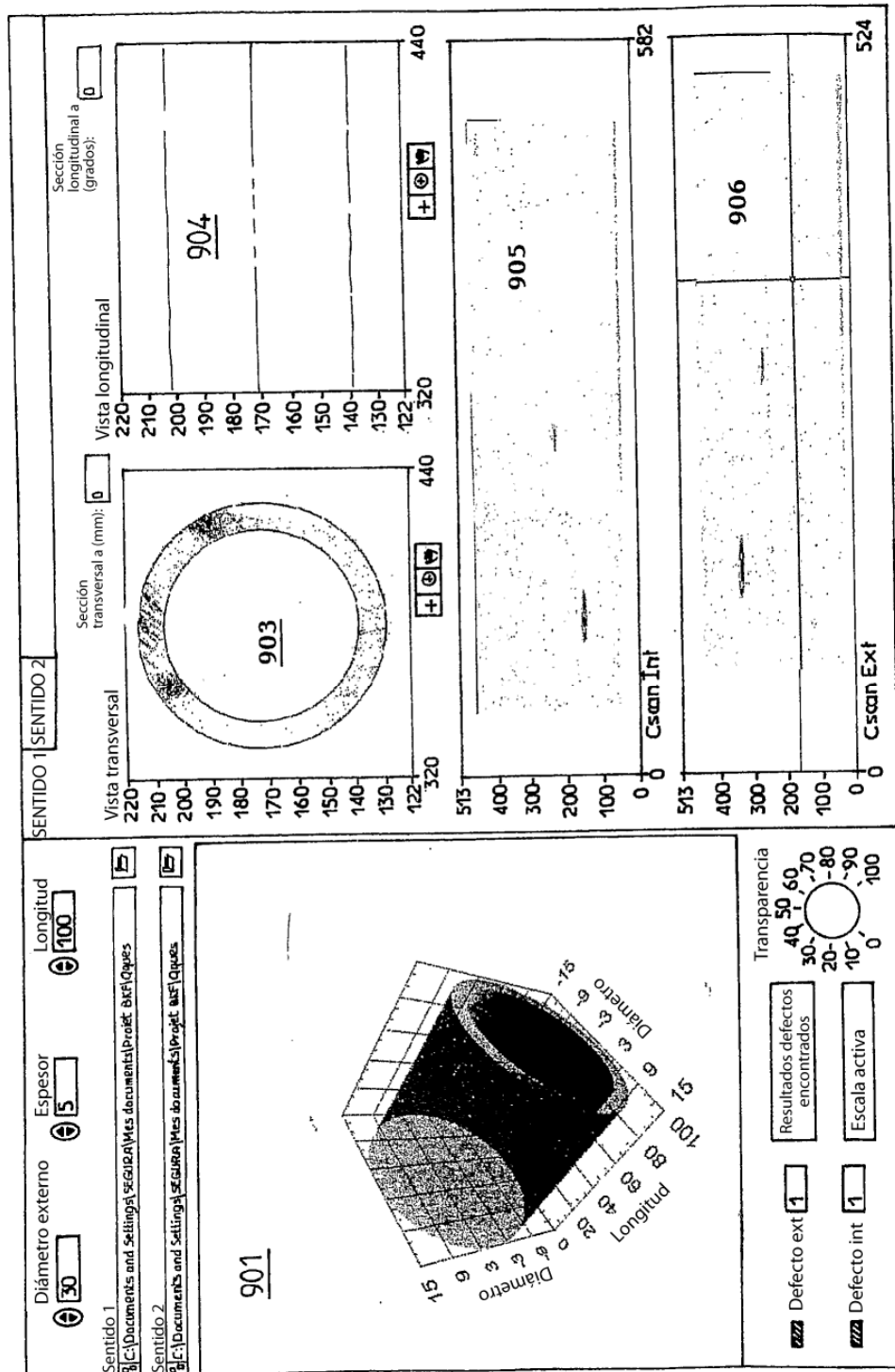


FIG.9

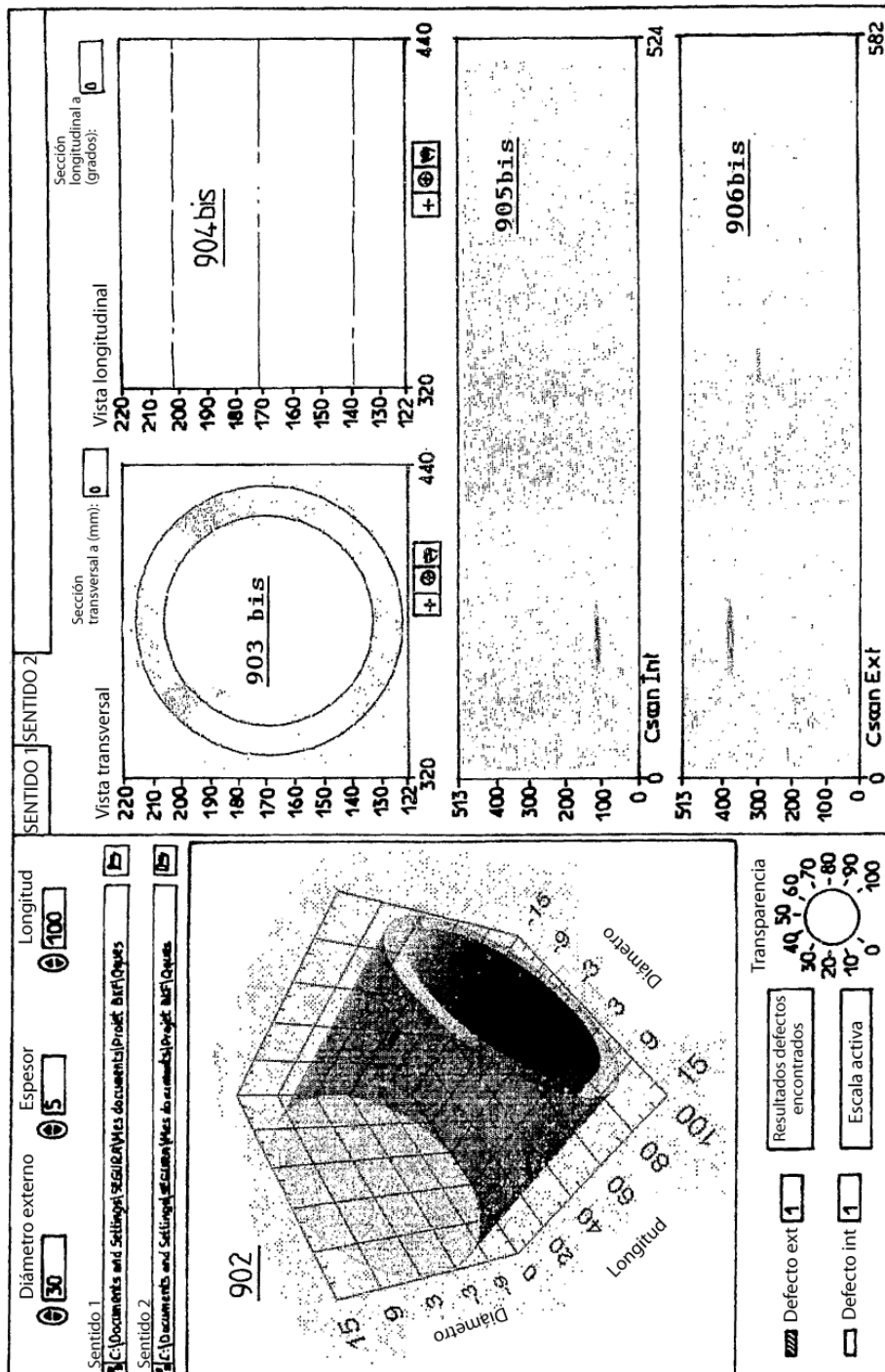


FIG.9A

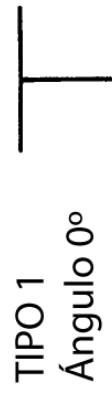


FIG.10A

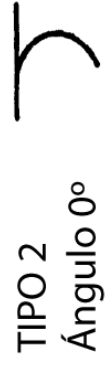


FIG.10B

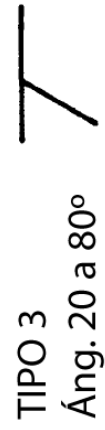


FIG.10C

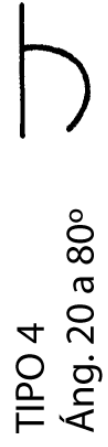


FIG.10D

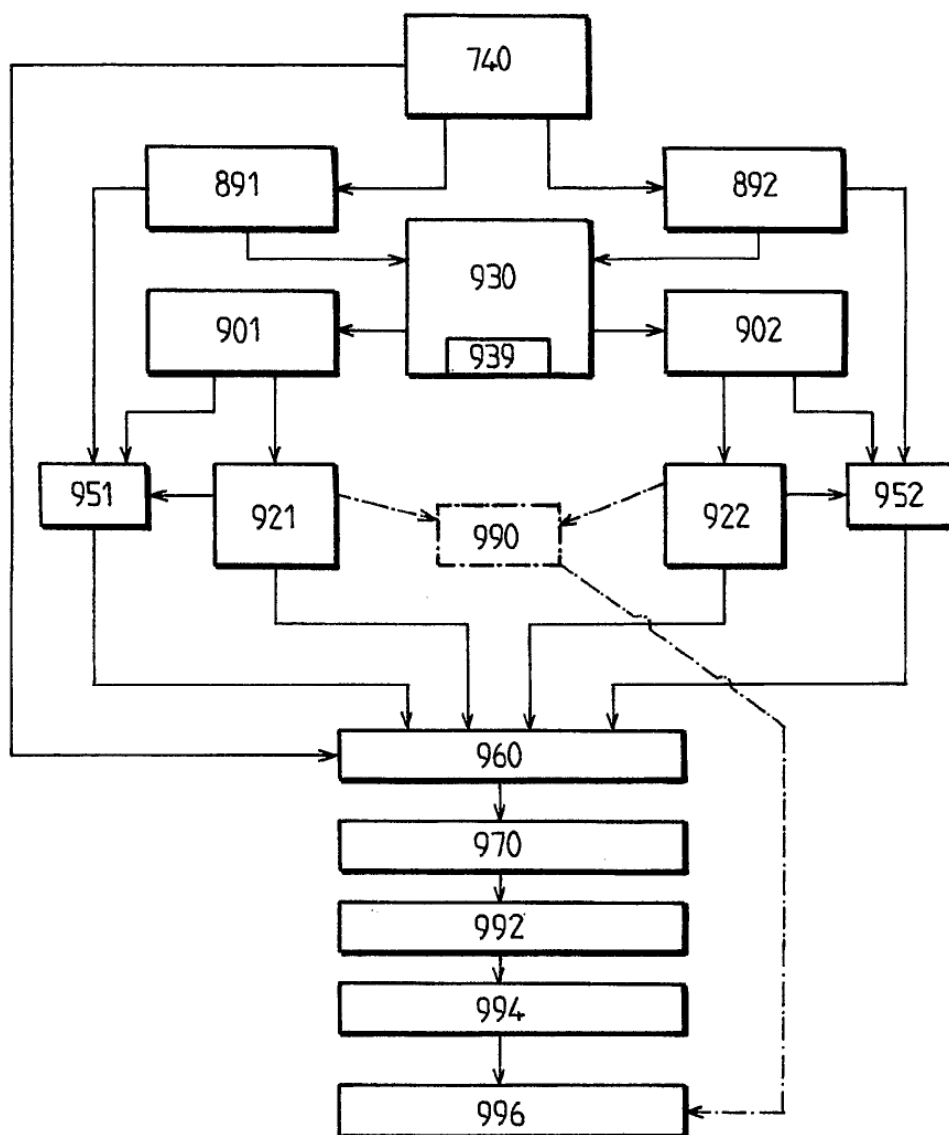


FIG.11

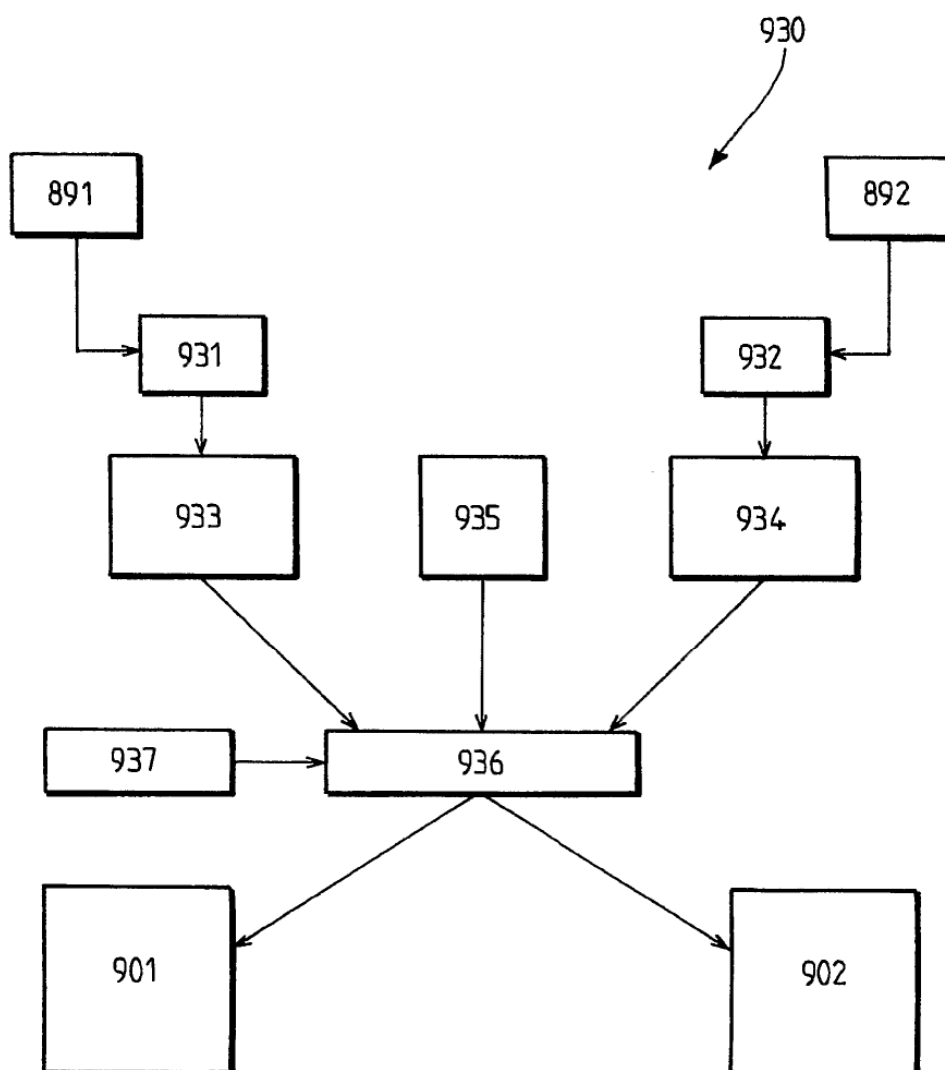


FIG.11A

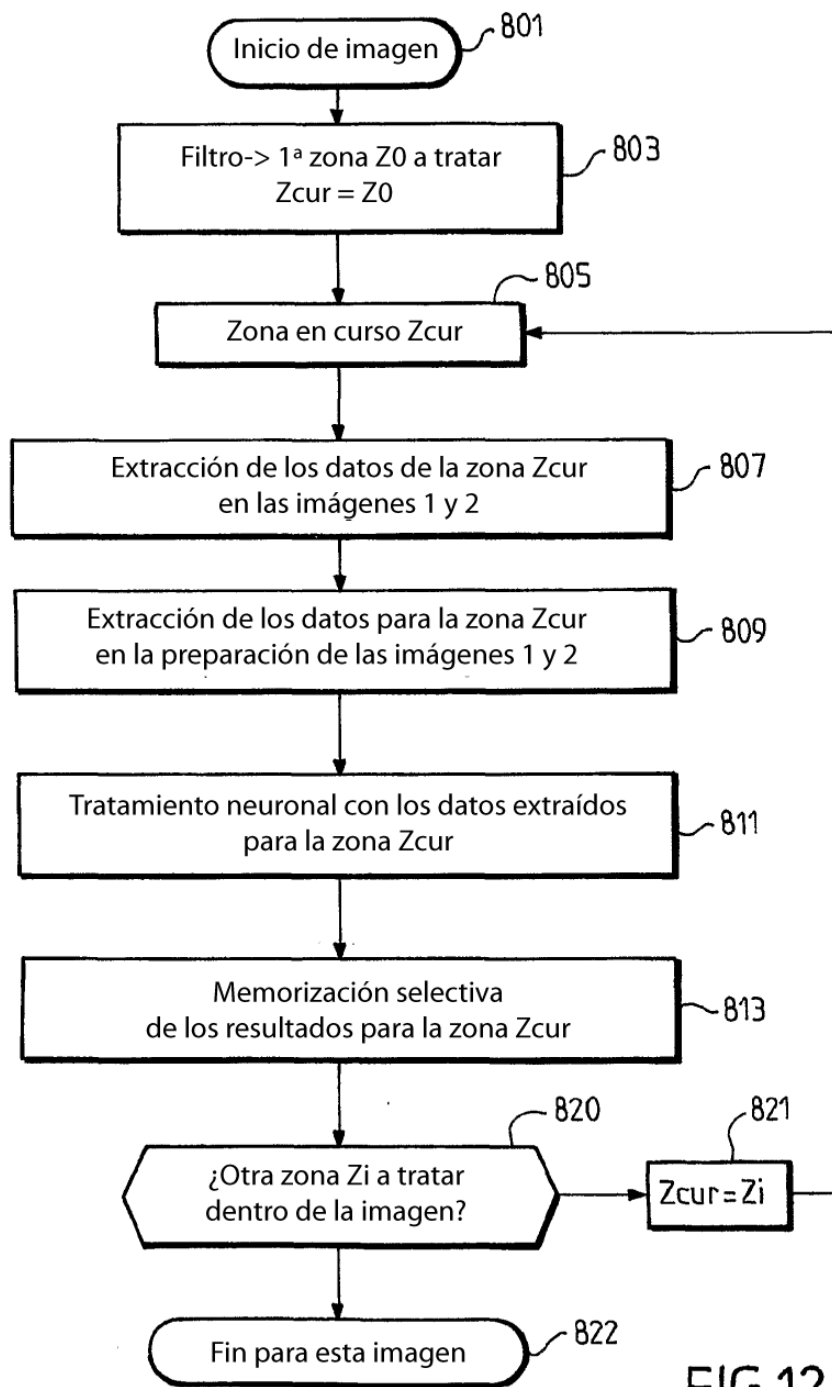


FIG.12

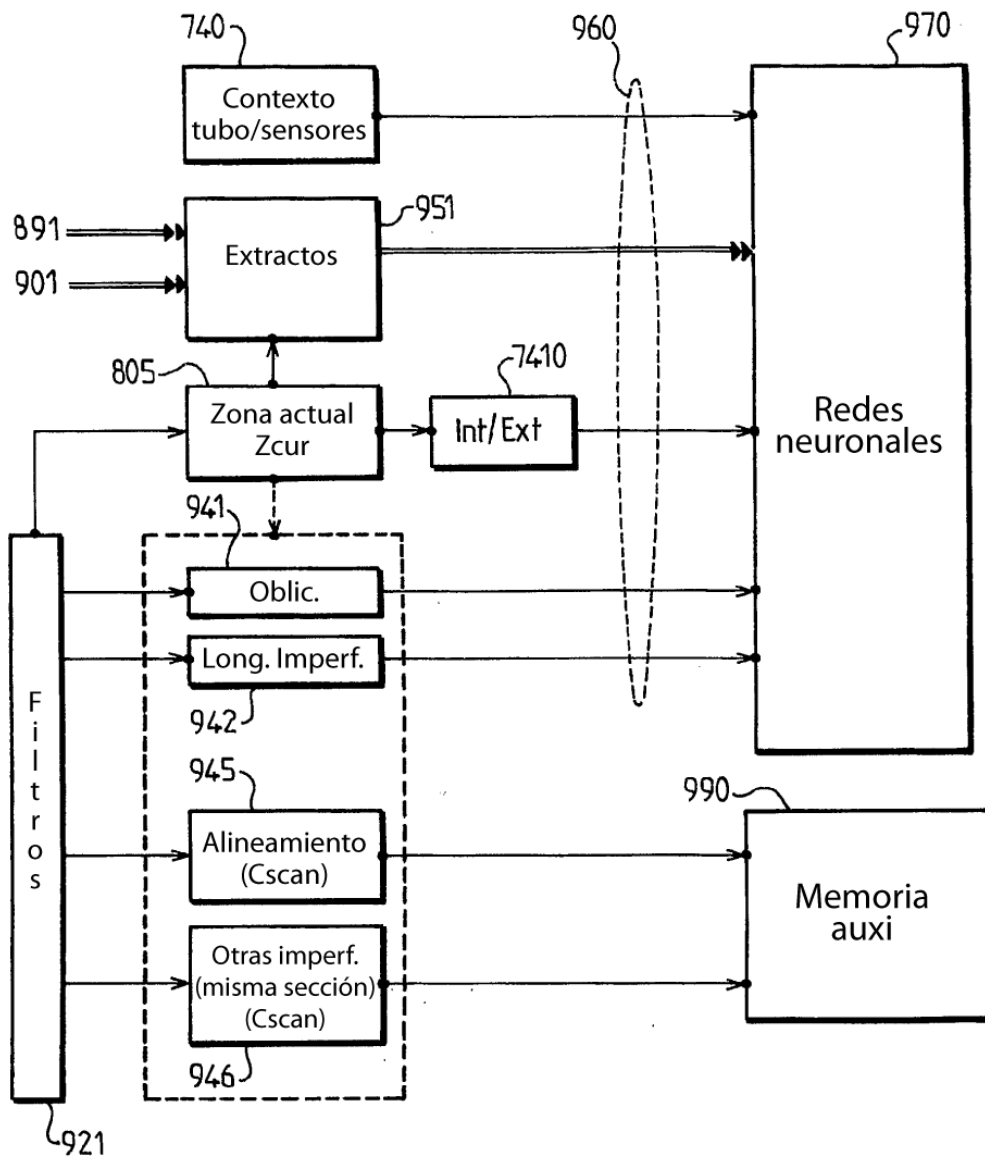


FIG.13

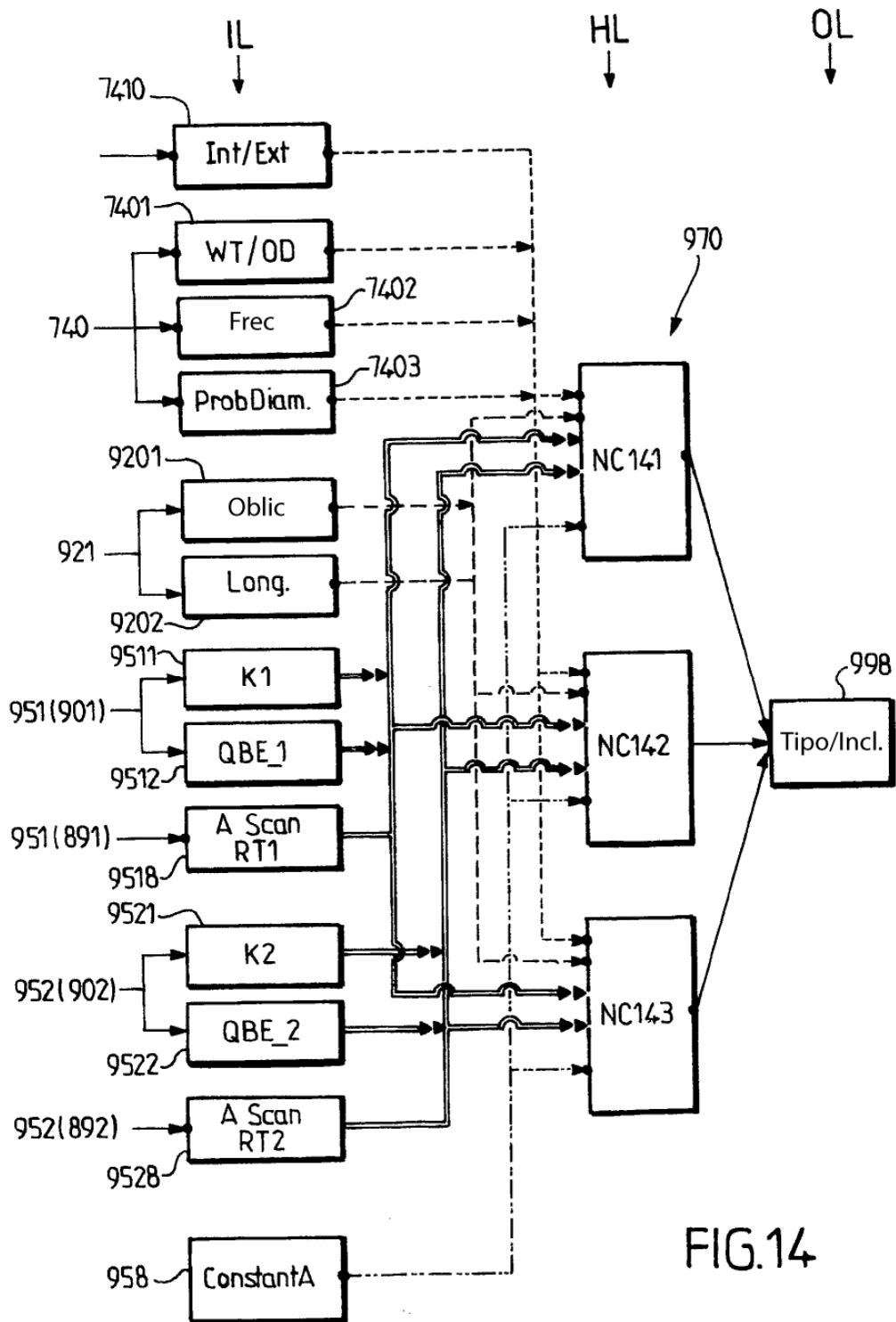


FIG.14

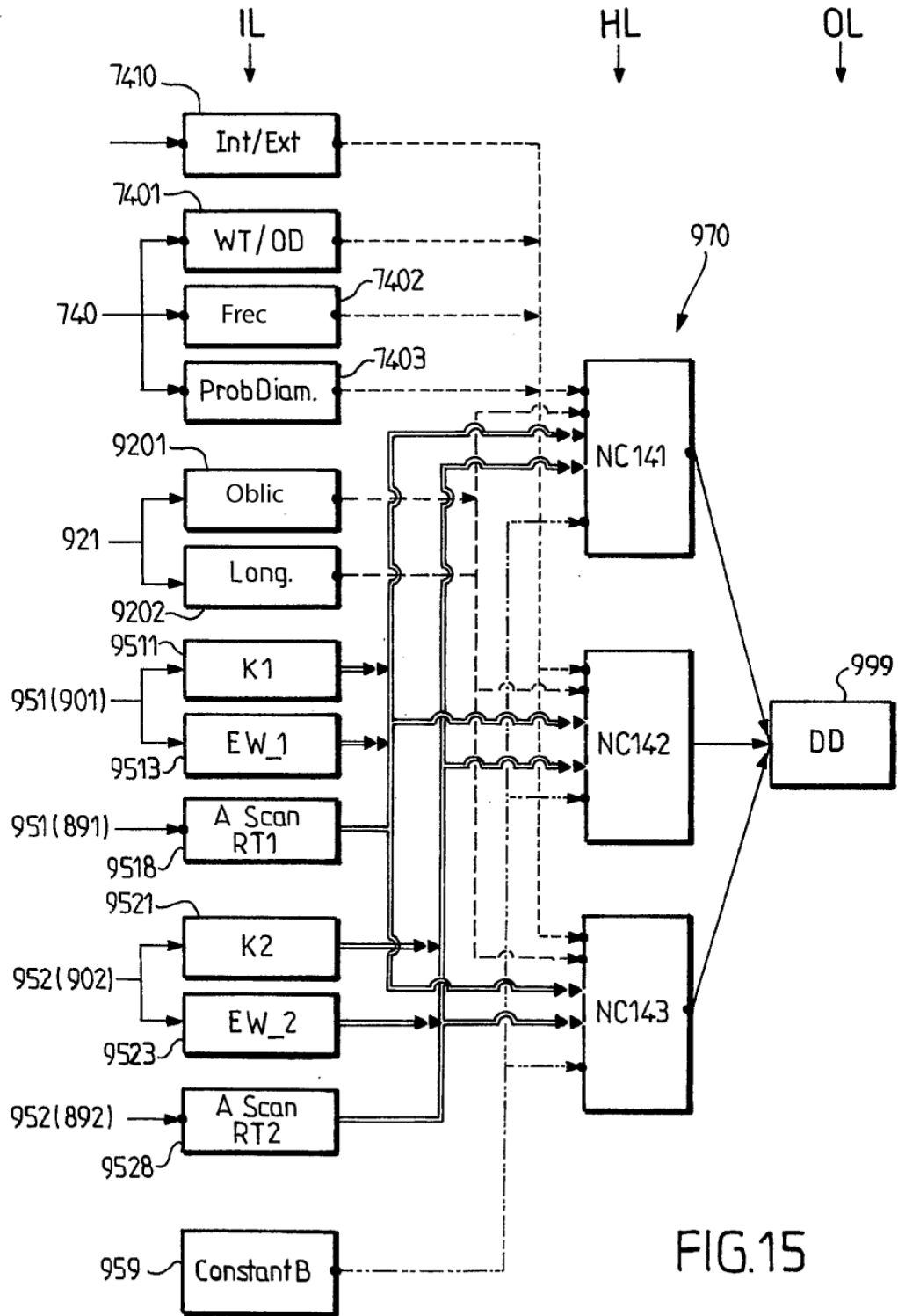


FIG.15

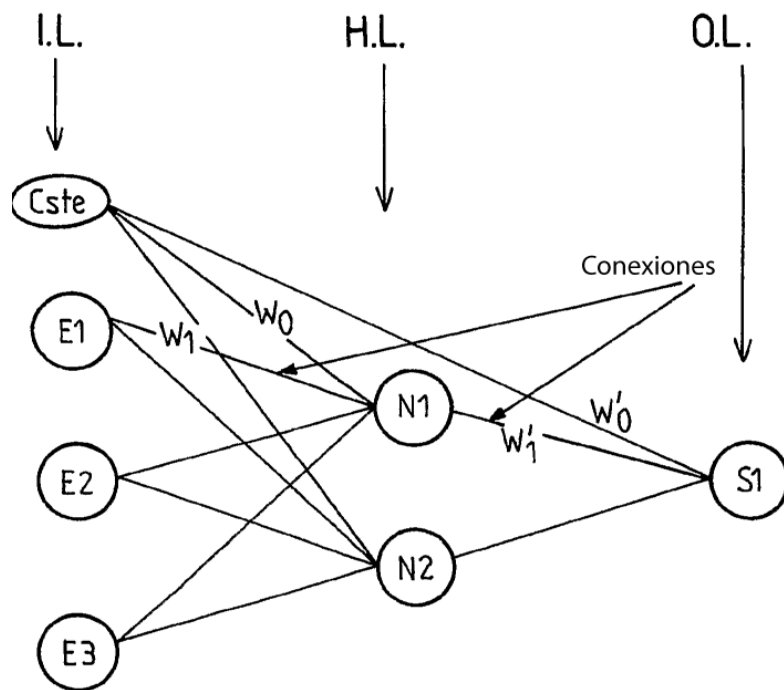


FIG.16

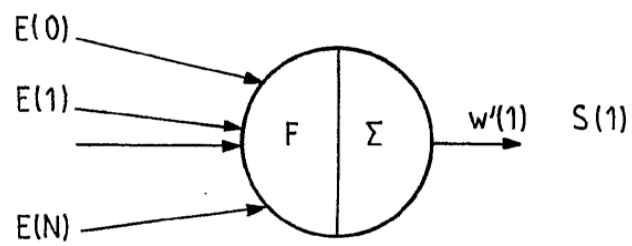


FIG.17

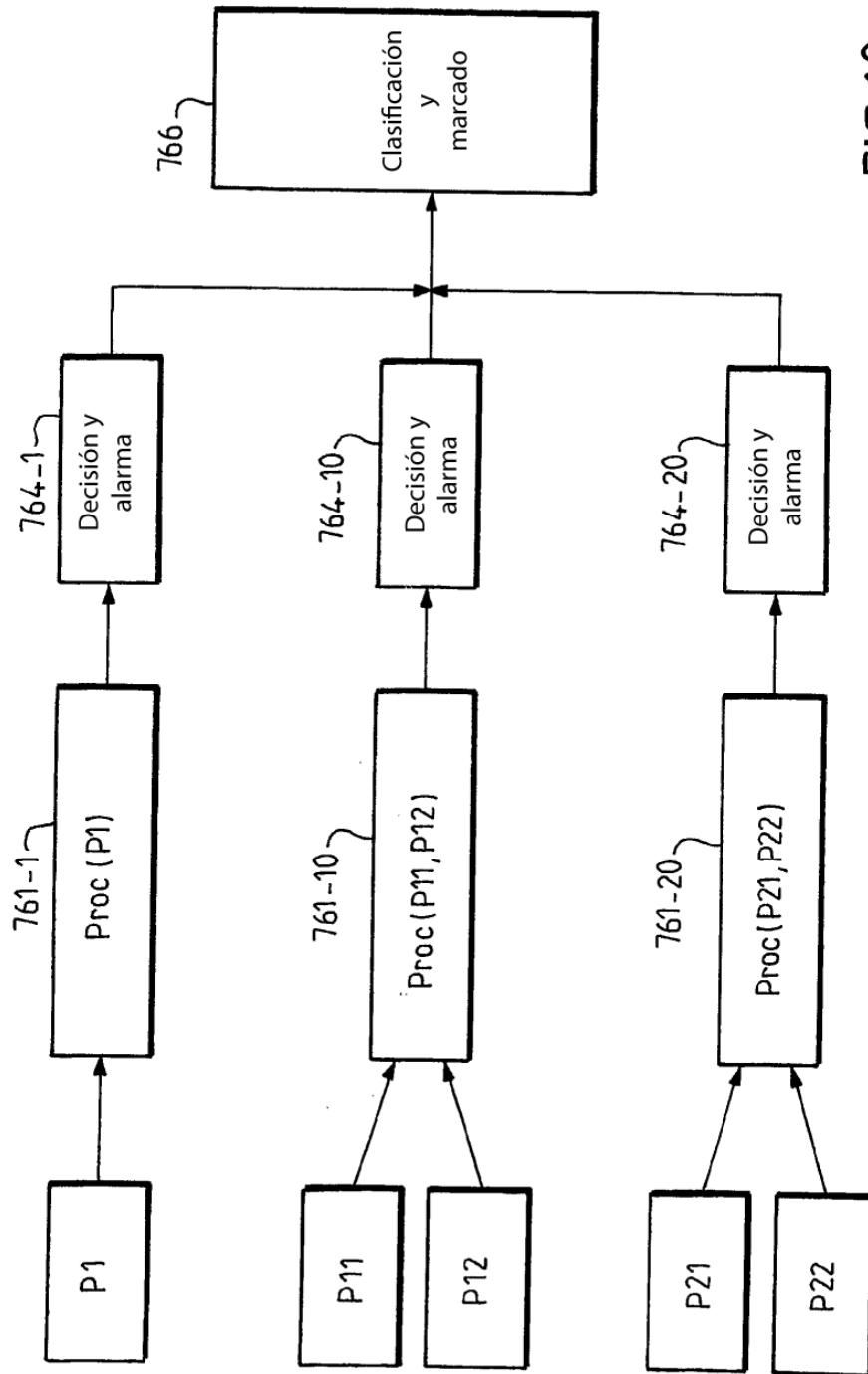


FIG.18